Sat. Sep 4, 2021

ch1

Oral | T1. [Topic Session] New perspectives of subduction zone earthquake dynamics through experiments across-scales

[1ch101-04] T1. [Topic Session] New perspectives of subduction zone earthquake dynamics through experiments across-scales

Chiar:Masa Kinoshita
8:00 AM - 9:00 AM ch1 (ch1)

[T1-O-1] Subduction of Kyushu-Palau Ridge can cause local thermal disturbance, as estimated from new heat flow data in the forearc in the eastern Kyushu, Japan

*Masa Kinoshita[1], Rie Nakata[1], Yoshitaka Hashimoto[2], Yohei Hamada[3], IODP proponents Hyuga-Nada (1. ERI/UTokyo, 2. Kochi University, 3. JAMSTEC)

8:00 AM - 8:15 AM

[T1-O-2] Subduction plate boundary fault found in Okitsu Melange, Cretaceous Shimanto Belt, Kochi Prefecture

*Tomoya Mukae[1], Sakaguchi Arito[1] (1. Yamaguchi Univ.)

8:15 AM - 8:30 AM

[T1-O-3] 3D rheological heterogeneity of northeastern Japan from postseismic deformation following the 2011 Tohoku-oki earthquake by dense geodetic observations and nonlinear rheology of rocks

*Jun Muto[1], Sambuddha Dhar[1], James D. P. Moore[2,3], Yusaku Ohta[4], Takeshi Iinuma[5], Satoshi Miura[4] (1. Dept. Earth Sci., Tohoku University, 2. Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University, 3. Inst. Geophysics, Victoria University of Wellington, 4. Dept. Geophysics, Tohoku University, 5. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (Jamstec))

8:30 AM - 8:45 AM

[T1-O-4] Depth-dependent static frictional properties of mud gouge in the Nankai Trough accretionary prism

*Kyuichi Kanagawa[1], Takuma Ogawa[2], Yusuke Okuno[2], Junya Fujimori[3], Michiyo Sawai[1] (1. School of Science, Chiba University, 2. Faculty of Science, Chiba University, 3. Graduate School of Science and Engineering, Chiba University)

8:45 AM - 9:00 AM

Oral | T3. [Topic Session] Collaboration and advance of geological, experimental, and seismological research on slow earthquakes

[1ch105-12] T3. [Topic Session] Collaboration and advance of geological, experimental, and seismological research on slow earthquakes

Chiar:Kohtaro Ujiie, Ken-ichi Hirauchi, Simon Richard Wallis
9:15 AM - 11:45 AM ch1 (ch1)

[T3-O-1] [Invited]Activity style of slow earthquakes and its geological background

*Kazushige Obara[1] (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

9:15 AM - 9:45 AM

[T3-O-2] High Fluid-Pressure Patches beneath the plate boundary fault: A Potential Source of Slow Earthquakes in the Nankai Trough off Cape Muroto

*Takehiro Hirose[1], Yohei Hamada[1], Wataru Tanikawa[1], Nana Kamiya[2], Yuzuru Yamamoto[3], Takeshi Tsuji[4], Masataka Kinoshita[5] (1. Kochi/JAMSTEC, 2. Graduate School of Engineering, Kyoto University, 3. Graduate School of Science, Kobe University, 4. Graduate School of Engineering, Kyusyu University, 5. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

9:45 AM - 10:00 AM

[T3-O-3] Spatial relationships between decollement geometry, stress, physical property and shallow VLFEs in Nankai Trough off Kii Peninsula

*Yositaka Hashimoto[1], Shigeyuki Sato[1], Haruki Kuchimoto[1], Gaku Kimura[2], Masataka Kinoshita[3], Ayumu Miyagawa[4], Gregory Moore[5], Masaru Nakano[2], Kazuya Shiraishi[2], Yasuhiro Yamada[6] (1. Kochi University, 2. JASMTEC, 3. ERI, 4. AIST, 5. University of Hawaii, 6. Kyushu University)

10:00 AM - 10:15 AM

[T3-O-4] Depth profile of frictional properties of cuttings collected from the Nankai Trough and implications for shallow slow-earthquakes

*Ikuo Katayama[1], Riho Fujioka[1], Manami Kitamura[2], Hanaya Okuda[3], Takehiro Hirose[4] (1. Hiroshima Univ., 2. AIST, 3. Univ. of Tokyo AORI, 4. JAMSTEC Kochi Institute)

10:15 AM - 10:30 AM

[T3-O-5] Frictional weakening behavior of a fault in quartz

©The Geological Society of Japan

material

*Akito Tsutsumi[1], Yuko Onoe, Akira Miyake[1] （1. Graduate school of science, Kyoto University）

10:45 AM - 11:00 AM

[T3-O-6] Spontaneous slip acceleration under a boundary condition that constrains shear stress

*Miki Takahashi[1] （1. Geological Survey of Japan, AIST）

11:00 AM - 11:15 AM

[T3-O-7] Evolution of the hydraulic transmissivity of wet and dry faults induced by frictional sliding at slow to fast slip velocity with large shear displacement

*Wataru Tanikawa[1] （1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology）

11:15 AM - 11:30 AM

[T3-O-8] Geological factors affecting broad spectrum of fault behavior in subduction zones

*Asuka Yamaguchi[1], Yuichi Okuma[1], Hanaya Okuda[1], Ippei Yamamoto[1], Rina Fukuchi[2] （1. Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, 2. Naruto University of Education）

11:30 AM - 11:45 AM

Oral | T3. [Topic Session] Collaboration and advance of geological, experimental, and seismological research on slow earthquakes

[1ch113-20] T3. [Topic Session] Collaboration and advance of geological, experimental, and seismological research on slow earthquakes

Chiar:Kohtaro Ujiie, Ken-ichi Hirauchi, Simon Richard Wallis

1:00 PM - 3:30 PM ch1 (ch1)

[T3-O-9] [Invited]The slow earthquake spectrum in the Japan Trench illuminated by the S-net seafloor observatories

*Tomoaki Nishikawa[1], Takanori Matsuzawa[2], Kazuaki Ohta[2], Naoki Uchida[3], Takuya Nishimura[1], Satoshi Ide[4] （1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. The National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. Tohoku University , 4. The University of Tokyo）

1:00 PM - 1:30 PM

[T3-O-10] The Geological Fingerprints of Slow Earthquakes

*Kohtaro Ujiie[1], Naoki Nishiyama[1], Madison Frank[1], Minoru Yamashita[1], Yasushi Mori[2], Hanae Saishu[3], Norio Shigematsu[3], Takayoshi Nagaya[4] （1. University of Tsukuba, 2. Kitakyushu Museum of Natural History and Human History, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. University of Tokyo）

1:30 PM - 1:45 PM

[T3-O-11] Spatial changes in inclusion band spacing as an indicator of temporal changes in slow slip and tremor recurrence intervals

*Naoki Nishiyama[1], Kohtaro Ujiie[1], Masayuki kano[2] （1. University of Tsukuba, 2. Tohoku University）

1:45 PM - 2:00 PM

[T3-O-12] Temporal changes in pore fluid pressure during slow earthquake cycle estimated from foliation-parallel extension veins

*Makoto Otsubo[1], Kohtaro Ujiie[2], Hanae Saishu[1], Ayumu Miyakawa[1] （1. Geological Survey of Japan, 2. University of Tsukuba）

2:00 PM - 2:15 PM

[T3-O-13] Which serpentinite bodies are suitable for discussing subduction boundary processes? :Evidence from the Sanbagawa belt, SW Japan.

*Simon Richard Wallis[1], Mutsuki Aoya[2] （1. The University of Tokyo, 2. Tokushima University）

2:30 PM - 2:45 PM

[T3-O-14] Quantification of silica transportation at subduction zone using volume change of metamorphic rocks

*Soejima Shogo[1], WALLIS Simon[1] （1. University of Tokyo）

2:45 PM - 3:00 PM

[T3-O-15] Slow slip associated with talc-forming metasomatism of serpentinite

*Yasushi Mori[1], Kohtaro Ujiie[2], Tadao Nishiyama[3], Miki Shigeno[1], Kazuya Noro[2] （1. Kitakyushu Museum of Natural History and Human History, 2. University of Tsukuba, 3. Kumamoto University）

3:00 PM - 3:15 PM

[T3-O-16] Fracturing in paleo-mantle wedge serpentinite at high pore fluid pressures and implications for cycles of deep slow earthquakes

*Ken-ichi Hirauchi[1], Yurina Nagata[1], Ryosuke Oyanagi[2], Atsushi Okamoto[3], Katsuyoshi Michibayashi[4] （1. Shizuoka University, 2. Kokushikan University, 3. Tohoku University, 4. Nagoya University）

3:15 PM - 3:30 PM

©The Geological Society of Japan

ch2

Oral | R9 [Regular Session]Origin, texture and composition of sediments

[1ch201-02] R9 [Regular Session]Origin, texture and composition of sediments

Chiar:Dan MATSUMOTO
8:00 AM - 8:45 AM ch2 (ch2)

[R9-O-1] Paleomagnetic and sedimentological study of deep sea sediments collected in the Northwest Pacific and its significance

*Maki Suzukawa[1], Kiichiro Kawamura[1], Yasuyuki Nakamura[2], Go Fujie[2] (1. Yamaguchi University, 2. JAMSTEC)

8:00 AM - 8:15 AM

[R9-O-2] [Invited]Anthropogenic impacts on coastal sedimentation and erosion in the Mekong Delta, Vietnam

*Toru Tamura[1,2] (1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo)

8:15 AM - 8:45 AM

Oral | R11 [Regular Session]Geology and geochemistry of petroleum and coal

[1ch203-05] R11 [Regular Session]Geology and geochemistry of petroleum and coal

Chiar:Yuya Yamaguchi, Yoshikazu Sampei
9:00 AM - 10:00 AM ch2 (ch2)

[R11-O-1] Characteristics of external shape and internal structures of the uppermost Quaternary Shizunai submarine landslide in Hidaka Trough, offshore southern Hokkaido

*Hiroyuki Arato[1], Yuzuru Yamamoto[2], Yasuhiro Yamada[3], Shun Chiyonobu[1], Kazuya Shiraishi[4] (1. Graduate School of International Resource Sciences, Akita University, 2. Graduate School of Science, Kobe University, 3. Graduate School of Engineering, Kyushu University, 4. Research Institute for Marine Geodynamics, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

9:00 AM - 9:15 AM

[R11-O-2] [Invited]Recent developments in natural gas evaluation using stable and clumped isotopes

*Amane Waseda[1] (1. Japan petroleum exploration co., ltd.)

9:15 AM - 9:45 AM

[R11-O-3] Uppermost Cenozoic calcareous nannofossil biostratigraphy of the hot spring wells in the onshore Tokyo and Kanagawa area, central Japan

*Shun Chiyonobu[1], Naoki Sakuyama[1] (1. Akita Univ.)

9:45 AM - 10:00 AM

Oral | R10 [Regular Session]Origin of carbonate rocks and related global environments

[1ch206-10] R10 [Regular Session]Origin of carbonate rocks and related global environments

Chiar:Fumito SHIRAISHI, Natsuko Adachi
10:15 AM - 11:45 AM ch2 (ch2)

[R10-O-1] [Invited]Carbonate rocks in the Eoarchean: Their origins and depositional conditions

*Tsuyoshi Komiya[1] (1. Komaba, The University of Tokyo)

10:15 AM - 10:45 AM

[R10-O-2] Age-specific characteristics of late Cambrian Furongian microbialites in North China: key to deciphering the changes from Cambrian to Ordovician biota

*Yoichi EZAKI[1], Natsuko ADACHI[1], Jianbo LIU[2] (1. Osaka City University, 2. Peking University)

10:45 AM - 11:00 AM

[R10-O-3] Differences in rock textures due to different diagenetic history in dolomites of the Daito Formation, Minami-daito Island.

*Hiroki Matsuda[1], Rikuya Ohtsuka[2] (1. Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, 2. Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University (Presently ENEOS Corporation))

11:00 AM - 11:15 AM

[R10-O-4] Interpretation of stalagmite oxygen isotopes: case studies from Japan

*Akihiro Kano[1] (1. The University of Tokyo)

11:15 AM - 11:30 AM

[R10-O-5] Abiotic and biotic processes controlling travertine deposition: Insights from eight hot springs in Japan

*Fumito SHIRAISHI[1], Yusaku HANZAWA[1], Yuki NAKAMURA[1], Yuki ENO[1], Asayo MORIKAWA[1], Rafael França DE MATTOS[2], Jiro ASADA[3], Leonardo Fadel CURY[2], Anelize Manuela BAHNIUK[2] (1. Hiroshima

©The Geological Society of Japan

University, 2. Federal University of Parana, 3. INPEX CORPORATION)
11:30 AM - 11:45 AM

Oral | T2. [Topic Session] Submarine Mass Movements and Their Consequences

[1ch211-13] T2. [Topic Session] Submarine Mass Movements and Their Consequences

Chiar:Kiichiro KAWAMURA
1:00 PM - 2:15 PM ch2 (ch2)

[T2-O-1] [Invited]Risk assessment of submarine landslide tsunami for important coastal facilities
*Masafumi Matsuyama[1] (1. Central Research Institute of Electric Power Industry)
1:00 PM - 1:30 PM

[T2-O-2] Flow transformation of sandy debris flow: Investigation of turbidity cloud generation based on a two-layered shallow-water model
*Yuichi Sakai[1], Hajime NARUSE[1] (1. Kyoto Univ.)
1:30 PM - 1:45 PM

[T2-O-3] [Invited]Tsunami simulations using a non-hydrostatic two-layer flow model and detailed bathymetry of submarine mass movements
*Toshitaka Baba[1] (1. Tokushima University)
1:45 PM - 2:15 PM

Oral | R19 [Regular Session]Engineering geology and non-tectonic structures

[1ch214-18] R19 [Regular Session]Engineering geology and non-tectonic structures

Chiar:Shintaro Yamasaki, Ken-ichi NISHIYAMA
2:30 PM - 3:45 PM ch2 (ch2)

[R19-O-1] Rockslides induced by the 2020 south Kumamoto heavy rainfall event
*Shintaro Yamasaki[1], Noriyuki Arai[1], Ken-ichi Nishiyama[2], Yasuyuki Maruya[3], Shinichiro Yano[3] (1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, Tokushima University, 3. Faculty of Engineering, Kyushu University)
2:30 PM - 2:45 PM

[R19-O-2] Rock failure caused by 1946 Showa Nankai Earthquake in Hongu Town, Tanabe City, Wakayama Prefecture
*Ken-ichi NISHIYAMA[1], Seisuke USHIRO[2] (1. Tokushima University, 2. Wakayama University)
2:45 PM - 3:00 PM

[R19-O-3] Fracture structure regulate collapse form
*Tatsuro Yoshimura[1] (1. Daiichi Fukken Co. Ltd.)
3:00 PM - 3:15 PM

[R19-O-4] Depth of the S-wave velocity discontinuity in the post-LGM incised-valley fills beneath the Tokyo Bay area : How deep is the base of "soft" strata ?
*Junko Komatsubara[1], Ikuo Cho[1], Kentaro Sakata[1], Tsutomu Nakazawa[1] (1. Geological Survey of Japan, AIST)
3:15 PM - 3:30 PM

[R19-O-5] Ground-type classification based on the 3D Urban Geological Map of central Tokyo and the corresponding ground motion characteristics
*Tsutomu Nakazawa[1], Ikuo Cho[1], Junko Komatsubara[1], Tomonori Naya[1], Susumu Nonogaki[1], Yoshinori Miyachi[1], Masanori Ozaki[1], Kentaro Sakata[1], Hiroomi Nakazato[2], Takehiko Suzuki[3], Toshio Nakayama[4] (1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Institute for Rural Engineering, NARO, 3. Tokyo Metropolitan University, 4. Civil Engineering Support and Training Center, Tokyo Metropolitan Government)
3:30 PM - 3:45 PM

ch3

Oral | R12 [Regular Session]Deformation and reactions of rocks and minerals

[1ch301-08] R12 [Regular Session]Deformation and reactions of rocks and minerals

Chiar:Kiyokazu Ohashi, Atsushi Okamoto, Hideki Mukoyoshi, Keishi Okazaki
9:00 AM - 11:45 AM ch3 (ch3)

[R12-O-1] [Invited]Applicability and potential of Raman carbonaceous material geothermometer
*Yui Kouketsu[1] (1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)
9:00 AM - 9:30 AM

[R12-O-2] Strain localization and development of deformation bands in a forearc coal-bearing Paleogene fold and thrust belt, eastern Hokkaido, northern Japan
Hiromi Kaji[1,2], *Toru Takeshita[1] (1. Department of Earth and Planetary Science, Hokkaido University, 2. Oyo Co. Ltd.)
9:30 AM - 9:45 AM

©The Geological Society of Japan

[R12-O-3] Evaluation of crack connectivity and effect of the crack connectivity on physical properties of rock

*Miki Takahashi[1], Kanami Iwasaki[2,3], Hayato Hitotsumatsu[4], Manami Kitamura[1], Shin-ichi Uehara[5], Tohru Watanabe[6] （1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Sch. of Sci., Toho Univ., 3. Kaminokawa Junior High Sch., Kaminokawa, Tochigi, 4. Grad. Sch. of Sci. &Eng for Edu., Univ. of Toyama., 5. Grad. Sch. of Sci., Toho Univ., 6. Dpt. Sustainable Design, Univ. of Toyama.）

9:45 AM - 10:00 AM

[R12-O-4] 3-D morphology of bubbles and melt flow pattern in the pseudotachylyte associated with Tsergo Ri Landslide in Nepal

*Akiyuki Iwamori[1,2], Haruyuki Makita[1], Nobutaka Asahi[3], Shintaro Nohara[4], Hideo Takagi[1] （1. Waseda Univ., 2. Kansai Electric Power. Co., 3. DIA Consultants. Co., 4. Central Research Institute of Electric Power Industry）

10:00 AM - 10:15 AM

[R12-O-5] [Invited]Ultrahigh-pressure pseudotachylyte

*Tadao Nishiyama[1] （1. Kumamoto University）

10:30 AM - 11:00 AM

[R12-O-6] Volume-increasing reactions fracture rocks and self-accelerate fluid flow in the lithosphere: Experimental constraints from MgO– H_2O system

*Masaoki Uno[1], Atsushi Okamoto[1], Noriyoshi Tsuchiya[1] （1. Tohoku University）

11:00 AM - 11:15 AM

[R12-O-7] Antigorite deformation mechanism and coupling depth of shallow wedge mantle

*Takayoshi Nagaya[1], Simon Wallis[1] （1. The University of Tokyo）

11:15 AM - 11:30 AM

[R12-O-8] Deformation-enhanced dehydration reaction of antigorite serpentinite at the slab mantle conditions

Sakurako Okude[1], *Ichiko Shimizu[1], Mugen Ogata[1] （1. Kyoto Universityu）

11:30 AM - 11:45 AM

Oral | R2 [Regular Session]Petrology, mineralogy and economic geology

[1ch309-13] R2 [Regular Session]Petrology, mineralogy and economic geology

Chiar:Hikaru Sawada, Kentaro Yoshida

1:00 PM - 2:15 PM ch3 (ch3)

[R2-O-1] The formation process of Zebra rock indicating a paleo-hydrothermal system

*Hirokazu Kawahara[1,2], Hidekazu Yoshida[3], Koshi Yamamoto[3], Nagayoshi Katsuta[4], Shoji Nishimoto[5], Ayako Umemura[3], Ryusei Kuma[6] （1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University , 2. JOGMEC, 3. Nagoya University Museum, 4. Gifu University, 5. Aichi University, 6. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University）

1:00 PM - 1:15 PM

[R2-O-2] Zircon U– Pb age from the Tanigawa-dake Quartz Diorite: Potential for new zircon standard

*Raiki Yamada[1], Sota Niki[2], Hayato Ueda[1], Takafumi Hirata[2] （1. Niigata University, 2. University of Tokyo）

1:15 PM - 1:30 PM

[R2-O-3] Soft clustering analysis of a felsic igneous rock database

*Taku YUTANI[1], Tatsu KUWATANI[1], Kenta YOSHIDA[1], Kenta UEKI[1], Atsushi NAKAO[1], Mitsuhiro TORIUMI[1], Naoto HIRANO[2] （1. JAMSTEC, 2. Tohoku University）

1:30 PM - 1:45 PM

[R2-O-4] Petrology and C– O isotope geochemistry of meta-carbonate rocks from the Hida Belt, Japan: Potential significance of dolomitic marble

*Hironobu Harada[1], Tatsuki Tsujimori[1] （1. Tohoku University）

1:45 PM - 2:00 PM

[R2-O-5] Fe(III)-distribution at serpentinized crust-mantle boundary within the Oman ophiolite

*Atsushi Okamoto[1], Kazuki Yoshida[1], Ryosuke Oyanagi[2], Masakazu Fujii[3], Yasuhiro Niwa[4], Yasuo Takeichi[4], Masao Kimura[4] （1. Tohoku University, 2. Kokushikan University, 3. National Institute of Polar Research, 4. High Energy Accelerator Organization ）

2:00 PM - 2:15 PM

Oral | R4 [Regular Session]Metamorphic rocks and tectonics

[1ch314-18] R4 [Regular Session]Metamorphic rocks and tectonics

Chiar:Kentaro Yoshida, Tomoki Taguchi, Tatsuro Adachi

2:30 PM - 4:00 PM ch3 (ch3)

[R4-O-1] Progressive metamorphism and attribution of metamorphic rocks from the Seto Inland Sea, South of Yamaguchi Prefecture

*ZEJIN LU[1], Masaaki OWADA[1] （1. Yamaguchi Univ.）

©The Geological Society of Japan

2:30 PM - 2:45 PM

[R4-O-2] [Invited]Igneous, metamorphic and deformation history of the Ryoke Belt (Mikawa area, Japan) - A petrochronological study

*Tetsuo Kawakami[1], Tomoe Ichino[1], Keiichi Kazuratachi[1], Shuhei Sakata[2], Kota Takatsuka[1] （1. Kyoto University, 2. The University of Tokyo）

2:45 PM - 3:15 PM

[R4-O-3] The thermal structure of the NE Honshu arc crust: insight from P-wave and S-wave velocities

*Masahiro Ishikawa[1] （1. Yokohama National University）

3:15 PM - 3:30 PM

[R4-O-4] Reaction kinetics and size-dependent growth of garnets in high-pressure metamorphic rocks

*Kazuhiro Miyazaki[1] （1. Geological Survey of Japan）

3:30 PM - 3:45 PM

[R4-O-5] Kompeito-like growth of minerals and fluid flow velocity

*mitsuhiro toriumi[1] （1. JAMSTEC）

3:45 PM - 4:00 PM

ch4

Oral | T4. ［Topic Session］ Reconstructiong modified ancient arc-trench systems: examples of Japan etc.

[1ch401-07] T4. ［Topic Session］ Reconstructiong modified ancient arc-trench systems: examples of Japan etc.

Chiar:Yukio Isozaki, Kazumasa Aoki
8:00 AM - 10:30 AM ch4 (ch4)

[T4-O-1] Trace element composition of zircon in Kofu granites: Quantitative indicator of sediment involved in parent magma

*Yusuke Sawaki[1], Shuhei Sakata[1], Takeshi Ohno[2] （1. The University of Tokyo, 2. Gakushuin University）

8:00 AM - 8:15 AM

[T4-O-2] Zircon U-Pb ages of Cretaceous granititoids in Oita Prefecture, southwest Japan

*Yukiyasu Tsutsumi[1], Kenichiro Tani[1] （1. Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science）

8:15 AM - 8:30 AM

[T4-O-3] Boron isotope mapping of serpentinites in the Osayama Serpentinite Mé lange, SW Japan

*Tatsuki Tsujimori[1], Chinatsu Yamada[1], Shogo Aoki[2], Kazumasa Aoki[3], Qing Chang[4], Jun-Ichi Kimura[4] （1. Tohoku University, 2. Akita University, 3. Okayama University of Science, 4. JAMSTEC）

8:30 AM - 8:45 AM

[T4-O-4] [Invited]Review of detrital zircon studies and chronology: Perspectives on the history of geotectonic evolution and growth of continents

*Hikaru Sawada[1] （1. JAMSTEC X-Star）

8:45 AM - 9:15 AM

[T4-O-5] Cretaceous arc-trench system along southern margin of the Sea of Okhotsk: Constraints from clastic composition of the Nikoro Group accretionary complex (Tokoro Belt, Eastern Hokkaido).

*Hayato Ueda[1], Komei Nara[2], Yuta Akutsu[2] （1. Faculty of Science, Niigata University, 2. Kowa Co Ltd.）

9:30 AM - 9:45 AM

[T4-O-6] Two distinct events of crustal reforming in Eocene Japan: preliminary view from provenance age analysis of Paleogene sandstones

*Yukio Isozaki[1], Tomohito Nakano[1], Ryo Hasegawa[1], Juliana Ferreira Godot Souza[1], Yukiyasu Tsutsumi[2], Tomomi Kani[3] （1. Univ. Tokyo Komaba, 2. Deprtment of Geology and Paleontology, National Musem of Nature and Science, 3. Fac. Sci., Kumamoto Univ. ）

9:45 AM - 10:00 AM

[T4-O-7] [Invited]Tectonic relationship between the Ryukyu arc and the South China block shown by structural and zircon U– Pb– Hf isotopic studies of Tokunoshima Island, southwest Japan.

*Hiroshi Yamamoto[1], Kazuaki Okamoto[2], Shuro Ueda[3], Masaru Terabayashi[4] （1. Kagoshima University, 2. Saitama University, 3. Geological Technology Research Co., Ltd, 4. Kagawa University）

10:00 AM - 10:30 AM

Oral | R6 [Regular Session]Geopark

[1ch408-11] R6 [Regular Session]Geopark

Chiar:Kazuo Amano, Hideo Takagi
10:45 AM - 11:45 AM ch4 (ch4)

[R6-O-1] Tsunami-damaged remains in the Sanriku area-10 years of dismantling and preservation

*Hideo Takagi[1] （1. Waseda University）

10:45 AM - 11:00 AM

[R6-O-2] Geotourism in Corona (COVID-19) related crisis - Advantage of being outdoors: In case of San'in Kaigan UNESCO Global Geopark -

©The Geological Society of Japan

*Noritaka Matsubara[1], Satoshi Nagahama[1], Daichi Kohmoto[2] （1. University of Hyogo, 2. Nara University of Education）

11:00 AM - 11:15 AM

[R6-O-3] Genbu-do Lava, Toyooka City, Hyogo Prefecture: From view of regional geological resources

*Norithito Kawamura[1] （1. University of Hyogo）

11:15 AM - 11:30 AM

[R6-O-4] Application of the Big History concept to Geopark

*Kazuo Amano[1] （1. Csis Univ. Tokyo）

11:30 AM - 11:45 AM

Oral | R5 [Regular Session]Regional geology and stratigraphy, chronostratigraphy

[1ch412-16] R5 [Regular Session]Regional geology and stratigraphy, chronostratigraphy

Chiar:Daisuke Sato, Tomonori Naya
1:00 PM - 2:15 PM ch4 (ch4)

[R5-O-1] Heavy mineral assemblage of river sands along the Brahmaputra River, eastern India

*Kohki Yoshida[1,4], Subhadeep Kumar[2], Lalit Kumar Rai[3], Tomoyuki Hakiai[1] （1. Faculty of Science, Shinshu University, 2. Department of Geology, Presidency University, 3. Graduate School of Medicine, Science and Technology, Shinshu University, 4. Institute of Science, Shinshu University）

1:00 PM - 1:15 PM

[R5-O-2] Lithofacies, structure and accretionary age of the Otori Unit in the northeast part of the North Kitakami Belt

*Shun Muto[1], Tsuyoshi Ito[1] （1. Geological Survey of Japan, AIST）

1:15 PM - 1:30 PM

[R5-O-3] Possible origin of the stepped distribution of the basal plane of Yabu Formation beneath the Musashino Upland, central Tokyo area, Japan

*Tomonori Naya[1], Tsutomu Nakazawa[1], Susumu Nonogaki[1], Kentaro Sakata[1], Hiroomi Nakazato[2], Toshio Nakayama[3] （1. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,, 2. Institute for Rural Engineering, NARO, 3. Civil Engineering Support and Training Center, Bureau of Construction, Tokyo Metropolitan Government ）

1:30 PM - 1:45 PM

[R5-O-4] Geologic structure and newly discovered active faults, eastern area of Nagano Prefecture, central Japan

*Kazuki Watanabe[1], Tsutomu Otsuka[2] （1. PASCO CORPORATION, 2. Shinshu Univ. Disaster Mitigation and Prevention Center）

1:45 PM - 2:00 PM

[R5-O-5] Holocene sediments and enviromental changes in the Iriai lowland, Oga Peninsula

*Osamu Nishikawa[1], Chieko SHIMADA[2], Isao TAKASHIMA （1. Mineral Industry Museum, Akita University, 2. Department of Geology and Paleontology, National Museum of Science and Nature）

2:00 PM - 2:15 PM

Oral | R7 [Regular Session]Cenozoic geological records of Japan

[1ch417-22] R7 [Regular Session]Cenozoic geological records of Japan

Chiar:Jun Hosoi, Toshiki Haji
2:30 PM - 4:00 PM ch4 (ch4)

[R7-O-1] Eocene to Miocene tectonics in the Amakusa area at the junction of the SW Japan and Ryukyu arcs

*Kentaro Ushimaru[1], Atsushi Yamaji[1] （1. Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University）

2:30 PM - 2:45 PM

[R7-O-2] Early Miocene two-phase subsidence of the Ichishi basin, SW Japan

*HIDEKI KINOSHITA[1,2], ATSUSHI YAMAJI[1] （1. Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University, 2. oyo corporation, water and disaster engineering business division）

2:45 PM - 3:00 PM

[R7-O-3] Period of activities of the Setouchi Volcanic Rocks in the Kii Peninsula

*Hironao Shinjoe[1], Yutaka Wada[2], Yuji Orihashi[3] （1. Tokyo Keizai University, 2. Department of Earth Sciences, Nara University of Education, 3. Graduate School of Earth and Environmental Sciences, Hirosaki University）

3:00 PM - 3:15 PM

[R7-O-4] Origin and water depth of a quite peculiar limestone and paleoecologic system of *Bathymodiolus* in the Miocene Taishu Group, southwestern Japan

©The Geological Society of Japan

*Takashi Ninomiya[1], Toshiro Yamanaka[2], Shoichi Shimoyama[3], Yuichiro Miyata[4], Takashi Shimazu[5], Sho Taniguchi[6], Takahiro Aoki[7], Tamio Nishida[3], Toshihiro Takahashi[5] （1. Kyushu Univ., 2. Tokyo Univ. of Marine Sci. &Tech., 3. Saga Univ., 4. Yamaguchi Univ., 5. JAPEX, 6. HAZAMA ANDO CORPORATION, 7. Shinwa Techno, Co., Ltd.）

3:15 PM - 3:30 PM

[R7-O-5] Crustal rotation in western Tsugaru in northern Honshu

*Hiroyuki HOSHI[1], Motoharu Kuno[2] （1. Aichi University of Education, 2. Graduate, Aichi University of Education）

3:30 PM - 3:45 PM

[R7-O-6] Estimation of the age when the direction of the drainage from the Kobiwako basin changed

*Yasufumi Satoguchi[1] （1. Lake Biwa Museum）

3:45 PM - 4:00 PM

ch5

Oral | R18 [Regular Session]Environmental geology

[1ch501-06] R18 [Regular Session]Environmental geology

Chiar:Yoshiyuki Tamura
8:45 AM - 10:15 AM ch5 (ch5)

[R18-O-1] Relationship between geology and ^{222}Rn concentration in hot springs and groundwater in Kagoshima, Japan

*Kuniyo Kawabata[1], Mai Watanabe[1], Yujin Kitamura[1], Akinori Nakano[1], Takashi Tomiyasu[1] （1. Kagoshima University）

8:45 AM - 9:00 AM

[R18-O-2] Inverse analysis of groundwater modeling: An example of the contamination site in Mobara City

*Katsuhiro Fujisaki[1] （1. Geo-environmental Consultant）

9:00 AM - 9:15 AM

[R18-O-3] Low atmospheric pressure induced groundwater level change : Impact of the 2019 Typhoon 15 FAXAI and 19 HAGIBIS in Chiba prefecture, Japan

*Atsushi Kagawa[1] （1. Research Institute of Environmental Geology, Chiba）

9:15 AM - 9:30 AM

[R18-O-4] Temporal and special variations of land subsidence in Yachimata-Tomisato Area, Chiba Prefecture

*Itaru Ogitsu[1], Hisashi Yabusaki[1], Takeshi Yoshida[1] （1. Chiba Prefectural Environmental Research Centre）

9:30 AM - 9:45 AM

[R18-O-5] The importance of the geo-stratigraphical unit investigation and monitoring effect of CVOC groundwater pollution site after 20 years

*Hiroshi TAKASHIMA[1], Shinji TAKEUCHI[2], Osamu KAZAOKA[3] （1. Daiichi institute of technology, 2. Nihon University, 3. Research Institute of Environmental Geology, Chiba prefecture）

9:45 AM - 10:00 AM

[R18-O-6] Main cause of the large deformation of the embankment and neighborhood road: from geological survey on liquefaction-fluidization phenomena at the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake in northern part of reclaimed land around Tokyo bay, central Japan

*Osamu Kazaoka[1], Takahiro Kojima[1], Naoto Ito[1], Itaru Ogitsu[1], Atsushi Kagawa[1], Takeshi Yoshida[1] （1. Research Institute of Environmental Geology, Chiba）

10:00 AM - 10:15 AM

Oral | R23 [Regular Session]Nuclear energy and geological sciences

[1ch507-10] R23 [Regular Session]Nuclear energy and geological sciences

Chiar:Kenichi Yasue, Shinji Takeuchi
10:30 AM - 11:45 AM ch5 (ch5)

[R23-O-1] Study on groundwater flow and solute transfer around the Minamisoma City, Fukushima Prefecture.

*Shinji Takeuchi[1], Fengrui Zhang[1], Hiroaki Suzuki[2] （1. Nihon University, 2. Nippon Koei）

10:30 AM - 10:45 AM

[R23-O-2] Danger of the tsunami backflow: Improvement of anti-tsunami measures of the JAEA Tokai Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories

*Akira Ishiwatari[1] （1. Nuclear Regulation Authority）

10:45 AM - 11:00 AM

[R23-O-3] Study on the hydro-mechanical characterization by calcite sealing of the calcareous concretion

©The Geological Society of Japan

*Sachiko Nakamura[1], Shinji Takeuchi[2], Hidekazu Yoshida[1] （1. Nagoya University, 2. Nihon University）

11:00 AM - 11:15 AM

[R23-O-4] [Invited]Issues on integration of multidisciplinary knowledge through review activity of NUMO Safety Case

*Keiichiro Wakasugi[1] （1. Tokai University）

11:15 AM - 11:45 AM

Oral | R3 [Regular Session]Eruption, volcanic evolution and volcanic products

[1ch511-13] R3 [Regular Session]Eruption, volcanic evolution and volcanic products

Chiar:Takeshi Hasegawa
1:00 PM - 2:00 PM ch5 (ch5)

[R3-O-1] Chronology of lahar deposits in the Sukawa basin and linkage to the past eruptions at Adatara volcano, northeast Japan

*Kyoko Satish Kataoka[1], Atsushi Urabe[1], Yoshitaka Nagahashi[2] （1. Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, 2. Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University）

1:00 PM - 1:15 PM

[R3-O-2] Volcano sector collapse: Effect on its magmatic plumbing -Case of Oshima-Oshima Volcano-

*Osamu Ishizuka[1,2], Kyoko S. Kataoka[3], Fukashi Maeno[4], Hajime Katayama[1], Jun Arimoto[1], Hiroaki Koge[1], Gen Shimoda[1], Yumiko Harigane[1], Chris Conway[1], Seishiro Furuyama[5], Mayu Ogawa[6], Izumi Sakamoto[7], Yuka Yokoyama[1], Ryota Uchiyama[7], Shingo Ando[7], Katsura Kameo[8], Yuki Miyajima[10], Mitsuteru Kuno[9], Ryosuke Komatsu[11], Ayanori Misawa[1] （1. GSJ/AIST, 2. JAMSTEC, 3. Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery Niigata University, 4. ERI, University of Tokyo, 5. Tokyo University of Marine Science and Technology, 6. Kyoto University, 7. Tokai University, 8. AORI, University of Tokyo, 9. NME, 10. MWJ, 11. MOL Marine）

1:15 PM - 1:30 PM

[R3-O-3] [Invited]On the magma feeding system of andesitic to dacitic volcanoes: petrologic case studies

*Masao Ban[1] （1. Yamagata University）

1:30 PM - 2:00 PM

Oral | T7. ［Topic Session］ Advance in geochronology applied for high resolution eruption and evolution history of volcanoes

[1ch514-18] T7. ［Topic Session］ Advance in geochronology applied for high resolution eruption and evolution history of volcanoes

Chiar:Teruki OIKAWA, Shinpei Uesawa
2:15 PM - 4:00 PM ch5 (ch5)

[T7-O-1] [Invited]Zircon U-Pb dating for Quaternary tephrochronology

*Hisatoshi Ito[1] （1. Central Research Institute of Electric Power Industry）

2:15 PM - 2:45 PM

[T7-O-2] Zircon U– Pb dating of Quaternary ash tuff bed exposed along the Shiribetsu River at the northern foot of Yotei Volcano, southwest Hokkaido, Japan

*Shimpei Uesawa[1], Hisatoshi Ito[1], Mitsuhiro Nakagawa[2] （1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Hokkaido University）

2:45 PM - 3:00 PM

[T7-O-3] Eruption history and magma plumbing system of Futamatayama Volcano, southern Fukushima, Japan

*Shota WATANABE[1], Takeshi HASEGAWA[1], Naoya OBATA[2], Shin TOYODA[3], Takeshi IMAYAMA[4] （1. Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, 2. Graduate School of Science, Okayama University of Science, 3. Institute of Paleontology and Geochronology, Okayama University of Science, 4. Research Institute of Frontier Science and Technology, Okayama University of Science）

3:00 PM - 3:15 PM

[T7-O-5] [Invited]Paleomagnetic secular variation stratigraphy: Contributions to volcanic stratigraphy

*Nobutatsu Mochizuki[1], Chisato Anai[2], Akira Baba[3], Hidetoshi Shibuya[4] （1. Kumamoto University, 2. Kyoto University, 3. Mount Fuji Research Institute, 4. Doshisya University）

3:30 PM - 4:00 PM

Mon. Sep 6, 2021

ch1

Oral | R13 [Regular Session]Subduction zones and on-land accretionary complexes

[3ch101-11] R13 [Regular Session]Subduction

©The Geological Society of Japan

zones and on-land accretionary complexes

Chiar:Yositaka Hashimoto, Yasuyuki Nakamura, Arito Sakaguchi
8:00 AM - 11:45 AM ch1 (ch1)

[R13-O-1] Geological structures of Permian accretionary complex around the Akiyoshi Limestone, and its possible accretionary process

*Koji Wakita[1], Tomohiro Tsuji[1], Masao Kametaka[2] (1. Yamaguchi University, 2. Dia Consultants)

8:00 AM - 8:15 AM

[R13-O-2] Pore fluid flow with grain dissolution in consolidated sand stone.

*Takumi MIYAHARA[1], Arito SAKAGUCHI[1] (1. Yamaguchi University)

8:15 AM - 8:30 AM

[R13-O-3] The thermal structure and thermal properties around the Ashizuri granite.

*Shiho Nishizawa[1], Yasutomo Omori[2], Weiren Lin[3], Shun Chiyonobu[4], Yuzuru Yamamoto[1] (1. Kobe Univ., 2. JAMSTEC, 3. Kyoto Univ., 4. Akita univ.)

8:30 AM - 8:45 AM

[R13-O-4] Consolidation anisotropy of Quaternary sedimentary rocks in the eastern part of the Boso Peninsula, central Japan

*Masahiro Miyazaki[1], Nana Kamiya[1], Weiren Lin[1] (1. Department of Urban Management, Graduate School of Engineering, Kyoto University)

8:45 AM - 9:00 AM

[R13-O-5] Effects of surface frictional condition on a subducting seamount

*Yuichi Okuma[1,2,3], Atsushi Noda[3], Hiroaki Koge[3], Yasuhiro Yamada[4], Asuka Yamaguchi[1], Juichiro Ashi[1,2] (1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo , 2. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. FACULTY OF ENGINEERING, KYUSHU UNIVERSITY)

9:00 AM - 9:15 AM

[R13-O-6] A watershed of the Nankai forearc basin -Origin of the tectonic swell off the Kii Peninsula and its effect on segmentation of the Nankai seismogenic zones-

*Gaku KIMURA[1], Yasuyuki NAKAMURA[1], Kazuya SHIRAISHI[1], Gou FUJIE[1], Takeshi TSUJI[2], Rina FUKUCHI[3], Asuka YAMAGUCHI[4] (1. Japan Agency of Marine Science and Technology, 2. Kyushu University, 3. Naruto University of Education, 4. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo)

9:15 AM - 9:30 AM

[R13-O-7] [Invited]Proposal to IODP: Drilling and monitoring in Hyuga-Nada to unvail effects of ridge subduction on slow earthquakes

*Rie Nakata[1], Masataka Kinoshita[1], Yoshitaka Hashimoto[2], Yohei Hamada[3] (1. University of Tokyo, 2. Kochi University, 3. JAMSTEC)

9:45 AM - 10:15 AM

[R13-O-8] [Invited]Overview of IODP drilling active backarc basin, Okinawa Trough: ongoing rifting of Eurasian continental margin

*Makoto Otsubo[1], Co-proponents of scientific drilling Okinawa Trough (1. Geological Survey of Japan)

10:15 AM - 10:45 AM

[R13-O-9] Detailed seafloor morphology and geological structure in the southern part of the Okinawa Trough north off Ishigaki Island

*Ayanori Misawa[1], Ryuta Arai[2], Masahiko Sato[3], Saki Ishino[1], Hiroaki Koge[1], Makoto Otsubo[1], KH-21-3 Shipboard Scientists (1. GSJ, AIST, 2. JAMSTEC, 3. Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo)

10:45 AM - 11:00 AM

[R13-O-10] Heat flow distribution in the southern part of Yaeyama Rift, southern Okinawa Trough

*Masa Kinoshita[1], Ayanori Misawa[2], Ryuta Arai[3], Makoto Otsubo[2], KH-21-3 Scientists (1. ERI/UTokyo, 2. AIST, 3. JAMSTEC)

11:00 AM - 11:15 AM

[R13-O-11] Examining the characteristics of turbidites in the southern part of Okinawa Trough using numerical experiments based on cores from Expedition KH-21-3

*Zhirong Cai Cai[1], Hajime Naruse[1], Ken Ikehara[2], KH-21-3 Shipboard Scientists (1. Department of Geology and Mineralogy, Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

11:15 AM - 11:30 AM

©The Geological Society of Japan

Oral | R14 [Regular Session]Tectonics

[3ch112-19] R14 [Regular Session]Tectonics

Chiar:Asuka Yamaguchi, Ayumu miyakawa, Rina Fukuchi
1:00 PM - 3:45 PM ch1 (ch1)

[R14-O-1] Seismogenic source faults in the Tsugaru Peninsula, northern Honshu, Japan

*Hiroshi Sato[1], Tatsuya Ishiyama[2], Hideo Saito[4], Mamoru Nakata[4], Naoko Kato[3], Susumu Abe[4] (1. The University of Tokyo, Shizuoka Univ., 2. The University of Tokyo, 3. The University of Tokyo, Nihon Univ., 4. JGI, Inc.)

1:00 PM - 1:15 PM

[R14-O-2] An apparent polar wander path for southwest Japan records Cenozoic two-phase rotations with respect to the Asian continent

*Koji UNO[1], Yuta IDEHARA[1], Daichi MORITA[1], Kuniyuki FURUKAWA[2] (1. Okayama University, 2. Aichi University)

1:15 PM - 1:30 PM

[R14-O-3] [Invited]Cretaceous-Paleogene tectonics of the Akaishi mountains in Southern Nagano

*Yoshihiro Nakamura[1], Kazuhiro Miyazaki[1], Yutaka Takahashi[1] (1. Geological Survey of Japan, AIST)

1:30 PM - 2:00 PM

[R14-O-4] [Invited]Geological study for the Cretaceous subduction mega-complexes on the central Kii Peninsula, SW Japan: For unraveling the tectonics at plate convergent margins

*Yusuke Shimura[1], Tetsuya Tokiwa[2], Makoto Takeuchi[3] (1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Shinshu University, 3. Nagoya University)

2:00 PM - 2:30 PM

[R14-O-5] The stress inversion of 3D directional data from calcite e-twins: Accuracy, resolution and paleo-depth

*Atsushi Yamaji[1], Kei Wakamori[1] (1. Kyoto University)

2:45 PM - 3:00 PM

[R14-O-6] Differential stresses and minimum burial depths evaluated from calcite *e*-twins

*Kei Wakamori[1], Atsushi Yamaji[1] (1. Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University)

3:00 PM - 3:15 PM

[R14-O-7] Trench survey on the Chomonkyo Fault in northeastern Yamaguchi Prefecture (Part 1): Results of Trench Observations

Kotaro Aiyama[1], Akira Fukuchi[2], *Takahiro Iida[3] (1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Hanshin Consultants Co., Ltd., 3. Ceres, Inc.)

3:15 PM - 3:30 PM

[R14-O-8] Trench survey on the Chomonkyo Fault in northeastern Yamaguchi Prefecture (Part 2): SEM and STEM observations on fault planes

*Kotaro Aiyama[1], Kohei Hirano[2] (1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Ceres, Inc.)

3:30 PM - 3:45 PM

ch2

Oral | R22 [Regular Session]History of the Earth

[3ch201-10] R22 [Regular Session]History of the Earth

Chiar:Kento 1 Motomura, Yuki Tomimatsu, Anju Sakuma
8:00 AM - 11:30 AM ch2 (ch2)

[R22-O-1] Correlation of Cretaceous-Paleogene boundary interval in the circum-Australian basins and plateaus

*Junichiro Kuroda[1] (1. Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo)

8:00 AM - 8:15 AM

[R22-O-2] Continuous stratigraphy across the Triassic-Jurassic boundary in the Mino Belt, central Japan

*Katsuhito Soda[1], Yuki Tomomatsu[2], Daisuke Yamashita[3], Tetsuji Onoue[2], Minoru Ikehara[1] (1. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi Univ., 2. Dept. Earth. Planet. Sci., Kyushu Univ., 3. Koshiki Museum, Kagoshima Pref.)

8:15 AM - 8:30 AM

[R22-O-3] Marine osmium isotope record during the Carnian “pluvial episode” in the pelagic Panthalassa Ocean

*Yuki Tomimatsu[1], Tatsuo Nozaki[2], Honami sato[3], Yutaro Takaya[4], Jun-Ichi Kimura[2], Chang Qing[2], Hiroshi Naraoka[1], Tetsuji Onoue[1] (1. Kyushu University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. University of Padova, 4. Tokyo University)

8:30 AM - 8:45 AM

[R22-O-4] Enhanced continental weathering in the NW Tethys during the end-Triassic mass extinction

*Tetsuji Onoue[1], Jozef Michalík[2], Hideko Shirozu[3],

©The Geological Society of Japan

Katsuyuki Yamashita[4], Misa Yamashita[4], Kohei Kawakami[4], Soichiro Kusaka[5], Katsuhito Soda[6] (1. Kyushu Univ., 2. Slovak Acad. Sci., 3. Fukuoka City Museum, 4. Okayama Univ., 5. Tokai Univ., 6. Kochi Univ.)

8:45 AM - 9:00 AM

[R22-O-5] Formation of modern iron formation: Formation mechanism of iron oxyhydroxide chimney mound and iron oxyhydroxide sediments --Satsuma Iwo-jima, Kagoshima Prefecture --

*Shoichi Kiyokawa[1,6,7], koki hori[1,2], naoya sakamoto[1,3], takashi kuratomi[1,4], Shusaku Goto[5], minoru Ikehara[6] (1. Kyushu Univ. Earth and Planetary Sciences, 2. OYO Corporation, 3. Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd., 4. Japan Petroleum Exploration Co., Ltd, 5. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 6. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 7. University of Johannesburg, Dept. Geology)

9:15 AM - 9:30 AM

[R22-O-6] Mapping of biomarkers in the 2.7 Ga sedimentary rocks by MALDI-TOFMS

*Hiroki Saito[1], Kosei Yamaguchi[2], Akira Iziri[3], Tomoyo Okumura[4] (1. Toho University Graduate School, 2. Toho University, 3. Kobe University, 4. Kochi University)

9:30 AM - 9:45 AM

[R22-O-7] [Invited]Life on the early Archean Earth – new insights from lenticular microfossils

*Kenichiro Sugitani[1] (1. Nagoya University)

9:45 AM - 10:15 AM

[R22-O-8] Reconstruction of East Antarctic Ice Sheet changes since the Last Interglacial period using GIA modeling and sediments analysis

*Takeshige Ishiwa[1], Yusuke Suganuma[1], Jun'ichi Okuno[1], Yuki Tokuda[2], Kota Katsuki[3], Toru Tamura[4], Takuya Itaki[4], Satoshi Sasaki[3] (1. National Institute of Polar Research, 2. Tottori University of Environmental Studies, 3. Shimane University, 4. Geological Survey of Japan, AIST)

10:30 AM - 10:45 AM

[R22-O-9] Variations of Terrestrial and Marine Organic Burial Rates during Phanerozoic and Their Relationships with Atmospheric Oxygen Level

*Kazuhiro Aoyama[1], Eiichi Tajika[1], Kazumi Ozaki[2] (1. Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 2. Department of Environmental Science, Toho University)

10:45 AM - 11:00 AM

[R22-O-10] [Invited]Decoding the History of Surface Environment on Earth and Mars

*Hitoshi Hasegawa[1] (1. Faculty of Science and Technology, Kochi University)

11:00 AM - 11:30 AM

Oral | R16 [Regular Session]The Jurassic +

[3ch211-11] R16 [Regular Session]The Jurassic +

Chiar:Shin-ichi Sano

11:30 AM - 11:45 AM ch2 (ch2)

[R16-O-1] A global correlation of the Jurassic– Cretaceous boundary among pelagic, neritic and terrestrial sequences in the Pacific and Circum-Pacific regions, and Ocean Drilling Program

*Atsushi Matsuoka[1], Junichiro Kuroda[2], Erika Tanaka[3], Kazutaka Yasukawa[4] (1. Faculty of Science, Niigata University, 2. AORI, the University of Tokyo, 3. JAMSTEC, 4. School of Engineering, the University of Tokyo)

11:30 AM - 11:45 AM

Oral | R24 [Regular Session]Mineral resources and global material cycles

[3ch212-19] R24 [Regular Session]Mineral resources and global material cycles

Chiar:Kentaro Nakamura, Kazuhide Mimura

1:00 PM - 3:30 PM ch2 (ch2)

[R24-O-1] [Invited]The Core Competence of the Laser Ablation-ICP-MS for Geochemical and Geochronological Studies

*Takafumi Hirata[1] (1. The Univ. Tokyo, Geochemical Research Center)

1:00 PM - 1:30 PM

[R24-O-2] Development of the simple and rapid Re-Os isotope analytical method for organic-rich sediments

*Moei YANO[1,2], Junichiro OHTA[2,1], Tatsuo NOZAKI[3,2,4,1], Yasuhiro KATO[2,1,3] (1. CIT, 2. Univ. Tokyo, 3. JAMSTEC, 4. Kobe Univ.)

1:30 PM - 1:45 PM

[R24-O-3] Automatic detection of microfossils by a deep learning technique: Toward constraining depositional ages of REY-rich mud

©The Geological Society of Japan

*Kazuhide Mimura[1], Shugo Minabe[2], Kentaro Nakamura[2,1], Junichiro Ohta[2,1], Kazutaka Yasukawa[2], Koichiro Fujinaga[1,2], Kazuhiro Takao[2], Yasuhiro Kato[2,1] （1. Chiba Institute of Technology, 2. University of Tokyo）

1:45 PM - 2:00 PM

[R24-O-4] High density characterizes REY enrichment in pelagic clay around Minamitorishima Island in the western North Pacific

*Yoichi Usui[1], Kazutaka Yasukawa[2,3], Koichi Iijima[1], Hideaki Machiyama[1], Yuji Ichiyama[4], Erika Tanaka[1], Koichiro Fujinaga[3] （1. JAMSTEC, 2. The University of Tokyo, 3. Chiba Institute of Technology, 4. Chiba University）

2:00 PM - 2:15 PM

[R24-O-5] Os isotopic record during the middle Cretaceous seawater reconstructed by Aki umber deposit as ancient REY-rich mud in the Japanese accretionary complexes

*Koichiro Fujinaga[1,2], Kentaro Nakamura[2,1], Junichiro Ohta[2,1], Moei Yano[1,2], Yusuke Kuwahara[2], Kazutaka Yasukawa[2], Yutaro Takaya[2,3,4], Ken Nakayama[5], Tastuo Nozaki[4,2,6,1], Yasuhiro Kato[2,1,4] （1. Chiba Institute of Technology, 2. The University of Tokyo, 3. Waseda University, 4. JAMSTEC, 5. Kochi University, 6. Kobe University）

2:30 PM - 2:45 PM

[R24-O-6] Geochemical features of Fe-Mn micronodules in deep-sea sediments around Minamitorishima Island: Potential for co-product metal extraction from REY-rich mud

*Kazutaka Yasukawa[1], Satoshi Kino[1], Keishiro Azami[1], Erika Tanaka[2,3,1], Kazuhide Mimura[3], Junichiro Ohta[1,3], Koichiro Fujinaga[3,1], Kentaro Nakamura[1,3], Yasuhiro Kato[1,3] （1. The University of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. Chiba Institute of Technology）

2:45 PM - 3:00 PM

[R24-O-7] Geochemical characteristics of ferromanganese nodules from the Minamitorishima EEZ

*Kentaro Nakamura[1,2], Daiki Terauchi[1], Ryo Shimomura[1], Shiki Machida[2,1], Kazutaka Yasukawa[1], koichiro Fujinaga[2], Yasuhiro Kato[1,2] （1. The University of Tokyo, 2. Chiba Institute of Technology）

3:00 PM - 3:15 PM

[R24-O-8] High-resolution dating of ferromanganese nodules around Minamitorishima Island based on osmium isotopic ratio

*Sota Aoyagi[1], Junichiro Ohta[1,2], Keishiro Azami[1], Kentaro Nakamura[1,2], Kazutaka Yasukawa[1], Tatsuo Nozaki[3,1,4,2], Shiki Machida[2,1], Jun-ichi Kimura[3], Yasuhiro Kato[1,2] （1. University of Tokyo, 2. Chiba institute of Technology, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 4. Kobe University）

3:15 PM - 3:30 PM

ch3

Oral | R1 [Regular Session]Plutonic rocks, volcanic rocks and magmatic processes

[3ch301-12] R1 [Regular Session]Plutonic rocks, volcanic rocks and magmatic processes

Chiar:Tatsuo Kanamaru, K Michibayashi, Yumiko Harigane
8:00 AM - 11:45 AM ch3 (ch3)

[R1-O-1] Microstructural analyses of coarse-grained peridotite in the vicinity of mantle diapir in Oman opholite: Implication for seismic anisotropy in lithospheric mantle

*K Michibayashi[1,2,3], Kakihata Yuki[1], Onoue Ayaka[2], Ohya Syoma[2], Odashima Norihiro[2] （1. Nagoya University, 2. Shizuoka University, 3. JAMSTEC）

8:00 AM - 8:15 AM

[R1-O-2] The structure of magma chamber below a fast-spreading ridge based on field observations and core analyses of the Oman ICDP drilling

*Susumu Umino[1], Yuki Kusano[2], Osamu Ishizuka[2], Takahiro Fudai[3], Akihiro Tamura[1], Tomoaki Morishita[1] （1. School of Geosciences and Civil Engineering, Kanazawa University, 2. Geological Survey of Japan, AIST, 3. Taiheiyo Cement Corrperation）

8:15 AM - 8:30 AM

[R1-O-3] Petrography of gabboric xenoliths sampled from northern offshore Oshima-Oshima volcano, Hokkaido

*Yumiko Harigane[1], Osamu Ishizuka[1], Christopher Conway[1], Gen Shimoda[1], Fukashi Maeno[2], Scientific Party of Scientific Party of KH-20-7 cruise （1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Earthquake Research Institute, University of Tokyo）

8:30 AM - 8:45 AM

[R1-O-4] Temporal changes of source mantle compositions for Late Cenozoic volcanic rocks in

©The Geological Society of Japan

Oki islands, SW Japan

*Masataka Aizawa[1], Ryuichi Shinjo[2,3], Satoshi Okamura[4,5], Yasuhiro Hirai[6] （1. Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus, 2. Faculty of Science, University of the Ryukyus, 3. Research Institute for Humanity and Nature (RIHIN), 4. Hokkaido Education University, 5. Hokkaido Soil-Research Co-op., 6. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)）

8:45 AM - 9:00 AM

[R1-O-5] Zircon U-Pb dating of the Okueyama Volcano-plutonic Complex, Kyushu, Southwest Japan

*Kenichiro Tani[1], Yukiyasu Tsutsumi[1], Kazuki Omura[2], Masaki Takahashi[2], Tatsuo Kanamaru[2] （1. National Museum of Nature and Science, 2. Nihon University）

9:15 AM - 9:30 AM

[R1-O-6] Emplacement mechanism of the ring dike and batholithic pluton of the Okueyama volcano-plutonic complex inferred from anisotropy of magnetic susceptibility

*Tatsuo Kanamaru[1], Masaki Takahashi[1], Kenichiro Tani[2], Hirokazu Kunishima[1], Daiki Tomita[1], Nozomi Takahashi[1], Joichiro Maru[1], Kenya Iida[1], Kei Hayashi[1], Riku Uetsuki[1], Ryosuke Suzuki[1] （1. College of Humanities and Sciences, Nihon University, 2. National Museum of Nature and Science）

9:30 AM - 9:45 AM

[R1-O-7] Gology and evolution of the Okueyama volcano-plutonic complex, revisited

*Masaki Takahashi[1], Tatsuo Kanamaru[1], Kenichiro Tani[2] （1. College of Humanities and Sciences, Nihon University, 2. National Museum of Nature and Science）

9:45 AM - 10:00 AM

[R1-O-8] [Invited]Origin and tectonics of Permo-Triassic volcanic rocks in southern Mongolia and Paleoproterozoic granitoids in central Nepal

*Takeshi Imayama[1] （1. Okayama University of Science）

10:00 AM - 10:30 AM

[R1-O-9] Magma source of San-yo and Ryoke belt granites and fluid-rock interaction of silicoeus veins and Ryoke metamorphic belt schists

*HAFIZ U. REHMAN[1], YAMAMOTO Hiroshi[1] （1. Kagoshima University）

10:45 AM - 11:00 AM

[R1-O-10] Zircon U-Pb ages and petrographic properties of the Middle Miocene Granitic rocks in Koshikijima, Kagoshima Prefecture, Japan

*Marimo Nakabayashi[1,2], Hafiz U. Rehman[2] （1. Kyushu Univ., 2. Kagoshima Univ.）

11:00 AM - 11:15 AM

[R1-O-11] Crust formation beneath the Japanese Islands viewed from Sr isotopes of the granitic and mafic roks

*Takshi Nakajima[1,2] （1. National Museum of Nature and Science, 2. Kanagawa Prefectural Museum of Natural History）

11:15 AM - 11:30 AM

[R1-O-12] Petrological and Geochemical study of Early ~ Middle Miocene volcanic rocks in Hokuriku region, southwest Japan arc

*Syun WATANABE[1], Toshiro TAKAHASHI[1], Gen SHIMODA[2], Kosuke GOTO[2] （1. Niigata univ., 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology）

11:30 AM - 11:45 AM

Oral | R8 [Regular Session]Marine geology

[3ch313-21] R8 [Regular Session]Marine geology

Chiar:Yoshiaki Suzuki, Yasuhiko Ohara

1:00 PM - 3:30 PM ch3 (ch3)

[R8-O-1] Reconstruction of Early Pleistocene sea-surface temperature in the Northwestern Pacific region based on calcareous nannofossil assemblages

*Daisuke Kuwano[1], Koji Kameo[1], Yoshimi Kubota[2], Masayuki Utsunomiya[3], Kanako Mantoku[4,2], Makoto Okada[5] （1. Chiba University, 2. National Museum of Nature and Science, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. National Institute for Environmental Studies, 5. Ibaraki Univesity）

1:00 PM - 1:15 PM

[R8-O-2] Reorganization of the Asian monsoon and nutrient provenance during the late Miocene global cooling in the Japan Sea

*Kenji M. Matsuzaki[1], Mayasuki Ikeda[2], Ryuji Tada[2] （1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Graduate School of Science, The University of Tokyo）

1:15 PM - 1:30 PM

[R8-O-3] Total organic carbon concentration and isotope

©The Geological Society of Japan

composition changes over the last 66 ka in the southern part of the Japan Sea

*Naoto Ishida[1], Koji Seto[2], Fumio Akiba[3], Ryo Matsumoto[4] （1. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 2. Estuary Research Center, Shimane University, 3. Diatom Mini Lab., 4. Gas Hydrate Research Laboratory, Meiji University）

1:30 PM - 1:45 PM

[R8-O-4] ^{14}C age of the dead deep-sea coral *Pleurocorallium elatius* off Zanpa Cape, Okinawajima island and its geological significance

*Fujio KUMON[1], Hidekazu TOKUYAMA, Tomoyo OKUMURA[1], Masayoshi Arai[2], Kosaku ARAI[3] （1. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 2. Fukada Salvage and Marine Works Co. LTD, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology）

1:45 PM - 2:00 PM

[R8-O-6] Reconstruction of ice sheet history since the LGH in Lutzow Holm Bay, East Antarctica revealed by sedimentological records

*Yusuke Suganuma[1,2], Yuki Haneda[3], Takuya Itaki[3], Takeshige Ishiwa[1], Masakazu Fujii[1,2], Yuji Kato[9], Takayuki Omori[7], Atsuko Amano[3], Masao Iwai[9], Naoshisa Nishida[10], Kazuya Kusahara[8], Daisuke Hirano[1,2], Mosamu Seki[4], Kota Katsuki[5], Moto Kawamata[1,11], Hiroki Matsui[6], Jyun'ichi Okuno[1,2], Minoru Ikehara[9], Hideki Miura[1,2] （1. National Institute of Polar Research, 2. The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), 3. Geological Survey of Japan, AIST, 4. Hokkaido University, 5. Shimane University, 6. Akita University, 7. University of Tokyo, 8. JAMSTEC, 9. Kochi Core center, 10. Tokyo Gakugei Daigaku, 11. CERI）

2:30 PM - 2:45 PM

[R8-O-7] Clarification of eruption mechanism of submarine mud volcanoes off Tanegashima Island by thermal history analysis of sediments

*Ryoma Setoguchi[1], Akira Ijiri[2], Takeyasu Yamagata[3], Hiroyuki Matsuzaki[3], Kyoko Hagino[1], Yohei Hamada[5], Osamu Tadai[6], Wataru Tanikawa[5], Juichiro Ashi[4], Masafumi Murayama[1] （1. Kochi University, 2. Kobe University, 3. The University Museum, The University of Tokyo, 4. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 5. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 6. Marine Works Japan Ltd.）

2:45 PM - 3:00 PM

[R8-O-8] A report of YK20-14S/YK21-07S scientific cruises to Petit-spot volcanic fields, Tohoku-Oki, Japan

*Norikatsu Akizawa[1], Naoto Hirano[2], Shiki Machida[3], Akira Ishikawa[4], Gen Shimoda[5], Kazutaka Yasukawa[6], Kenji Matsuzaki[1], Chiori Tamura[1], Junji Kaneko[7], Onboard Science Party （1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The Univ. Tokyo, 2. Tohoku Univ., 3. Chiba Tech., 4. Tokyo Tech., 5. AIST, 6. School of Engeneering, The Univ. Tokyo, 7. JAMSTEC）

3:00 PM - 3:15 PM

[R8-O-9] **Rotation of the Philippine Sea plate inferred from paleomagnetism of oriented cores taken with a ROV-based coring apparatus**

*Toshitsugu Yamazaki[1], Shun Chiyonobu[2], Osamu Ishizuka[3,4], Fumisato Tajima[5], Naoki Uto[5], Shinichi Takagawa[5] （1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Graduate School of International Resource Sciences, Akita University, 3. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Techonology, 5. KOKEN BORING MACHINE CO. LTD）

3:15 PM - 3:30 PM

ch4

Oral | T5. [Topic Session] Culture geology

[3ch401-06] T5. [Topic Session] Culture geology

Chiar:Norithito Kawamura, Masaki Umeda, Hisashi Suzuki, Ohtomo Yukiko

8:30 AM - 10:45 AM ch4 (ch4)

[T5-O-1] [Invited]Earth Science of the Jyomon Stone Circles distributed in Northern Akita Prefecture Northeast Japan

*Yukio FUJIMOTO[1] （1. Akita Association of Educational Earth Science）

8:30 AM - 9:00 AM

[T5-O-2] [Invited]Green quartz collected from Zaimoku Site, Mogami Town, Yamagata Prefecture

*Hiroyuki MISAWA[1] （1. Shumei University）

9:00 AM - 9:30 AM

[T5-O-3] Microscopic observation of green quartz

©The Geological Society of Japan

collected from Zaimoku site at the Mogami Town
*Ohtomo Yukiko[1], Hiroyuki Misawa[2] （1. Yamagata University, 2. Shumei University）
9:30 AM - 9:45 AM

[T5-O-4] Possibility of correlation between Teshima-ishi and the stone lantern in Suga Shrine, Santo, Asago City, Hyogo Prefecture, Japan
*Norithito Kawamura[1] （1. University of Hyogo）
10:00 AM - 10:15 AM

[T5-O-5] Brand stone carried by debris flow: Mikage-ishi (Rokko Granite)
*Tohru Sakiyama[1] （1. Institute of Geo-history, Japan Geochronology Network ）
10:15 AM - 10:30 AM

[T5-O-6] Location and geology of water-power plants in Kumano Acidic Rocks, Southwest Japan
*Seisuke Ushiro[1] （1. Wakayama University ）
10:30 AM - 10:45 AM

Oral | R21 [Regular Session]Quaternary geology

[3ch407-09] R21 [Regular Session]Quaternary geology

Chiar:Yoshihiro Takeshita
11:00 AM - 11:45 AM ch4 (ch4)

[R21-O-1] Geological outline on NB-1 drilling core at Sanjo-honmachi, Nara City by the survey on the Nara eastern margin fault zone of the Nara basin, central Japan
*Muneki Mitamura[1], Haruna Takahashi[1], Tomotaka Iwata[2] （1. Osaka City University, 2. Kyoto University）
11:00 AM - 11:15 AM

[R21-O-2] **Correlation of the volcanic glass rich tephra in Pleistocene Kamiizumi Formation and Ata-Th tephra, Chiba, central Japan**
*Takeshi Yoshida[1], Naoto Ito[1], Masao Ban[2], Osamu Kazaoka[1] （1. Chiba prefectural evironmental research center, 2. Faculty of Science, Yamagata University）
11:15 AM - 11:30 AM

[R21-O-3] Frequency of small-scale eruptions at Adatara volcano during the past 13,000 years revealed by the event deposits in lacustrine sediments, Lake Inawashiro-ko, Fukushima Prefecture
*Yoshitaka Nagahashi[1], Kyoko S Kataoka[2] （1. Fukushima University, 2. Niigata University）
11:30 AM - 11:45 AM

Oral | R17 [Regular Session]Geoinformatics and its application

[3ch410-13] R17 [Regular Session]Geoinformatics and its application

Chiar:Yosuke Noumi
1:00 PM - 2:00 PM ch4 (ch4)

[R17-O-1] Super-Resolution of DEM based on Slope and Aspect using Deep Learning
*Shinji Masumoto[1], Keita Mizuochi[1], Susumu Nonogaki[2], Tatsuya Nemoto[1] （1. Osaka City University, 2. Geological Survey of Japan, AIST）
1:00 PM - 1:15 PM

[R17-O-2] Investigation on a machine learning approach for stratal correlation based on geotechnical features
*Susumu NONOGAKI[1], Shinji MASUMOTO[2], Tatsuya NEMOTO[2] （1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Osaka City University）
1:15 PM - 1:30 PM

[R17-O-3] Prototype of simplified legend of Seamless Digical Geological Map of Japan (1:200,000) V2
*Makoto Saito[1] （1. Geological Survey of Japan, AIST）
1:30 PM - 1:45 PM

[R17-O-4] Development an AR application for Geological information "Geo View"
*Yoshinori MIYACHI[1], Susumu NONOGAKI[1], Osamu FUJIWARA[1], Mahito WATANABE[1] （1. Geological Survey of Japan）
1:45 PM - 2:00 PM

Oral | T6.［Topic Session］Future of Academic collections in universities and Museums, Japan

[3ch414-18] T6.［Topic Session］Future of Academic collections in universities and Museums, Japan

Chiar:Rie S. Hori, Tsuyoshi Komiya
2:15 PM - 3:45 PM ch4 (ch4)

[T6-O-1] [Invited]Three things I consider about natural history collections and natural history museums.
*Tatsuo Oji[1] （1. University Museum, Nagoya University）
2:15 PM - 2:45 PM

[T6-O-2] Curatorial methodologies for effective utilization of paleontological collections in scientific

©The Geological Society of Japan

research

*Takenori Sasaki[1] （1. University Museum, University of Tokyo）

2:45 PM - 3:00 PM

[T6-O-3] Introduction of the Kagawa University Museum and the problems of university museum management

*Masaru TERABAYASHI[1] （1. The Kagawa University Museum）

3:00 PM - 3:15 PM

[T6-O-4] Sample deposite and sharing in Geoscience

*Rie S. Hori[1] （1. Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University）

3:15 PM - 3:30 PM

[T6-O-5] Our application entitled by “Building of archive and curating system for astrogeoscience materials” for Master Plan 2020 of Large Research Project, and future plans

*Tsuyoshi Komiya[1] （1. Komaba, The University of Tokyo）

3:30 PM - 3:45 PM

©The Geological Society of Japan

Oral | T1. [Topic Session] New perspectives of subduction zone earthquake dynamics through experiments across-scales

[1ch101-04] T1. [Topic Session] New perspectives of subduction zone earthquake dynamics through experiments across-scales

Chiar:Masa Kinoshita
Sat. Sep 4, 2021 8:00 AM - 9:00 AM ch1 (ch1)

[T1-O-1] Subduction of Kyushu-Palau Ridge can cause local thermal disturbance, as estimated from new heat flow data in the forearc in the eastern Kyushu, Japan

*Masa Kinoshita[1], Rie Nakata[1], Yoshitaka Hashimoto[2], Yohei Hamada[3], IODP proponents Hyuga-Nada (1. ERI/UTokyo, 2. Kochi University, 3. JAMSTEC)

8:00 AM - 8:15 AM

[T1-O-2] Subduction plate boundary fault found in Okitsu Melange, Cretaceous Shimanto Belt, Kochi Prefecture

*Tomoya Mukae[1], Sakaguchi Arito[1] (1. Yamaguchi Univ.)

8:15 AM - 8:30 AM

[T1-O-3] 3D rheological heterogeneity of northeastern Japan from postseismic deformation following the 2011 Tohoku-oki earthquake by dense geodetic observations and nonlinear rheology of rocks

*Jun Muto[1], Sambuddha Dhar[1], James D. P. Moore[2,3], Yusaku Ohta[4], Takeshi Iinuma[5], Satoshi Miura[4] (1. Dept. Earth Sci., Tohoku University, 2. Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University, 3. Inst. Geophysics, Victoria University of Wellington, 4. Dept. Geophysics, Tohoku University, 5. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (Jamstec))

8:30 AM - 8:45 AM

[T1-O-4] Depth-dependent static frictional properties of mud gouge in the Nankai Trough accretionary prism

*Kyuichi Kanagawa[1], Takuma Ogawa[2], Yusuke Okuno[2], Junya Fujimori[3], Michiyo Sawai[1] (1. School of Science, Chiba University, 2. Faculty of Science, Chiba University, 3. Graduate School of Science and Engineering, Chiba University)

8:45 AM - 9:00 AM

©The Geological Society of Japan

Subduction of Kyushu-Palau Ridge can cause local thermal disturbance, as estimated from new heat flow data in the forearc in the eastern Kyushu, Japan

*Masa Kinoshita[1], Rie Nakata[1], Yoshitaka Hashimoto[2], Yohei Hamada[3], IODP proponents Hyuga-Nada

1. ERI/UTokyo, 2. Kochi University, 3. JAMSTEC

100%の固着の挙動を示す南海トラフ地震発生帯の西方境界は不明確である．日向灘沖の地震活動は南海トラフ主要部とは明らかに異なることが知られており，また最近のVLFEやSSEなど，SEの発見により，日向灘の固着率は弱いとされるが，その実態はいまだ不明である．その実態解明に向けて，現在IODP掘削提案を提出準備中である（Nakata 他，JpGU2021）．地震断層の挙動を知るためには，広域探査データをベースとして，プレート境界断層や上盤からの試料採取等により，破壊の素過程に迫ることが必要である．本発表では，新たに得られた熱流量データから日向灘沖の熱・水理構造を推定する． JAMSTECの構造探査測線7本に沿ってBSR反射面が同定され，その深度から熱流量を新たに得た．九州パラオ海嶺（KPR）の延長線を境にその東では50-100mW/m2，西では25-40mW/m2と顕著に異なる．その変化はKPR延長上でわずか20㎞程度で起きているようである．KPR延長上の東側では，局所的に100mW/m2を超える高い熱流量があるが，それは南海トラフ軸付近に見られるものと同じである．同様の高い熱流量が西側に見られないのは，BSRやプローブからの熱流量が存在しないためかもしれない． 日向灘沖の熱構造は，Yoshioka (2007, EPSL)による数値計算結果が詳しい．その結果，KPRの西側（古い地殻が沈み込む）では熱流量が低いためプレート境界面の温度が低く，その結果として海側では地震が発生しないと主張した．今回はこの解析をベースとして，新たに得られたデータを加え，KPRをはさんだ両側地殻の熱交換や斜め沈み込みの影響を考慮したモデル計算を行った．トラフ軸から陸側に100㎞以内では，プレート傾斜角が4度程度で南海トラフと日向灘沖で変わらないことから，九州パラオ海嶺を境として東側と西側の年齢差が20Maであるとし，年間7㎝で沈み込んでいるとした．25Ma b.p. に四国海盆が形成後現在まで計算を行い，得られた熱流量を観測結果と比較した． 計算結果は，上記観測熱流量とほぼ整合的である．また東側での100mW/m2の熱流量は，沈み込む前の計算値とほぼ合っていることから，四国海盆側では100から50まで急激に減少していることが説明できる．KPRおよび西側の熱流量をよく見ると，minimumの地点はKPRの延長上にあり，地磁気異常から推定された沈み込んだ海山の位置や，Tremorの位置に一致しているように見える． 特に，KPRの沈み込んだ直後(地磁気異常あり)の地点で，急激に熱流量が変化しているようであり，局所的な間隙水移動の影響の可能性を指摘しておく．

Keywords: Kyushu-Palau Ridge, Heat flow, IODP, Slow earthquake

© 2021 Geological Society of Japan

Subduction plate boundary fault found in Okitsu Melange, Cretaceous Shimanto Belt, Kochi Prefecture

*Tomoya Mukae[1], Sakaguchi Arito[1]

1. Yamaguchi Univ.

【はじめに】付加体深部における底付け付加作用は大規模なデュープレックス構造を成すことで特徴づけられ，そのような深部では堆積物が岩石化し，地震発生帯を成すと考えられている．そのため，陸上付加体におけるプレート沈み込み帯の断層の調査はいくつか行われており（Rowe et al., 2005など, Geology），デュープレックス構造の上部のルーフスラストではシュードタキライトを含む震源断層の報告がされている（Ikesawa et al., 2003など, Geology）．一方，活動的プレート境界そのものであるフロアスラストは震源域であるにもかかわらず未調査のままだった．これはフロアスラストの陸上断層露頭が未発見であったことに起因した．本研究では，興津メランジュの下位の地層境界付近にプレート境界のフロアスラストの断層露頭を発見することができたため報告する．

【地質概要】本断層露頭は四国四万十帯興津メランジュの下位地層境界に露出し、興津メランジュは黒色頁岩基質中に玄武岩やチャートなどの遠洋性堆積物のブロックを含むテクトニックメランジュであり，玄武岩層は側方延長を追うことができ、シート状の海洋底層序を複数回繰り返しており，興津メランジュが大規模なデュープレックス構造を持つ底付け付加体であることを示している．ビトリナイト反射率から求められた最高被熱温度は240～270℃（Sakaguchi, 1996, Geology）であり，地震発生温度領域を経験した地質体である．また興津メランジュの上位の地層境界であるルーフスラストからはシュードタキライトが報告されており，震源断層であったことが示唆されている（Ikesawa et al., 2003, Geology）．

【結果と考察】断層コアの厚さは約15mであり，平均方位はN17°E79°Wであり，興津メランジュの一般的な方位であるN50°E71°Wとやや斜交するが、興津メランジュの黒色頁岩の劈開面の方向は，フロアスラストに近づくにつれて断層の方位と平行になる．これは断層近傍のメランジュ面構造はフロアスラストの断層活動の影響を受けているものだと考えられる．断層コアの外側にも変形が及んでおり、上盤側である興津メランジュでは，フロアスラストの走向と平行に幅 50 cm 未満の小断層が断層変形帯の境界から約10mまでに多数見られる．一方で下盤側の中村層ではこのような小断層はみられない．これは断層の剪断作用による変形は上盤と下盤で非対称であり，上盤側の興津メランジュでのみ被っていると考えられる．

断層コアの変形様式の違いからHigh sheared shale zone，Cataclasite zone，Ultra cataclasite zoneの三つの破砕帯に区分した．High sheared shale zoneは興津メランジュの一般的な頁岩に比べて，断層の剪断作用により層がより細かく剪断された頁岩から成る破砕帯である．その他見られる特徴として，層平行剪断に伴う微褶曲が多く確認できたが，頁岩の劈開面を保っているHigh sheared shale zoneは三つに区分した破砕帯の中で破砕の度合いは最も小さいと考えられる．

Cataclasite zoneは幅5cm未満の黒色のカタクレーサイトとブーディンやピンチアンドスウェルが発達した砂岩が互層を成している破砕帯で，黒色頁岩基質起源のカタクレーサイトには丸みを帯びた砂岩岩片を多く含んでいる．この破砕帯は，地下深部で剪断応力を被る以前は母岩の興津メランジュは黒色頁岩と砂岩ブロックが互層を成しており，断層の剪断作用が生じた際に比較的破壊強度の弱い黒色頁岩の部分にのみ破壊が集中した結果，砂岩は破砕をほぼ受けず，特徴的なカタクレーサイトと砂岩の互層を形成したと考えられる．

Ultra cataclasite zoneは石英脈や方解石脈を多く産する強変形帯であり、ウルトラカタクレーサイトに含まれる岩片は円形～亜円形で0.1mm未満の粒径であり，断層摩擦により細粒化したものと考えられる．また緑泥石や沸石などの低温鉱物を多く含み，これは断層沿いの流体による変質作用によるものと考えられる．SEM-EDS観察の結果，外形が湾曲した石英粒子が確認された．これは石英が摩擦熱によって溶融して変形したためであると考えられる．石英は1730℃で融解するとされており（前原, 2002, 電学論），フロアスラストが高速すべりしたものと考えられる．

震源域のプレート境界であるフロアスラストは，厚さ15m程度とメランジュ等に比べて非常に薄く，地震性高速剪断をした断層であることがわかった．

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: accretionary complexes, floor thrust, fault rocks, subdution zone

© 2021 Geological Society of Japan

3D rheological heterogeneity of northeastern Japan from postseismic deformation following the 2011 Tohoku-oki earthquake by dense geodetic observations and nonlinear rheology of rocks

*Jun Muto[1], Sambuddha Dhar[1], James D. P. Moore[2,3], Yusaku Ohta[4], Takeshi Iinuma[5], Satoshi Miura[4]

1. Dept. Earth Sci., Tohoku University, 2. Earth Observatory of Singapore, Nanyang Technological University, 3. Inst. Geophysics, Victoria University of Wellington, 4. Dept. Geophysics, Tohoku University, 5. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (Jamstec)

2011年に発生した東北沖地震（Mw9.0）は、稠密な観測網下で起こった超巨大地震であり、様々な変動が詳細に記述された。その中でも、地震後の地殻変動である余効変動は、稠密GNSS観測網によって現在も詳細に記録されている。余効変動の主要なメカニズムは以下の3種である（Wang et al., 2012*Nature*）：地震による応力変化が上部マントルの流動を引き起こす粘弾性緩和、震源断層の浅部・深部などのゆっくりすべりである余効すべり、次の地震につながるプレートの固着。粘弾性緩和はアセノスフェアの流動特性を、余効すべりはプレート境界の摩擦特性を反映する。観測される余効変動において両者を丁寧に区分することで、地下の流動・摩擦（レオロジー）特性の評価に加え、次の地震への備えとなるプレート固着の評価が可能になる。 これまでの測地学的観測では、本震1年後に観測された海底西向きの変動が、おもに粘弾性緩和によって説明できること（Sun et al., 2014*Nature*）や、福島・岩手沖での余効すべりが本震の大すべり域と棲み分けていること（Iinuma et al., 2016*Nat. Commun.*）が明らかになってきた。また、東北大学は、震源直上を通る宮城ー山形に、GEONETを上回る、観測点距離が10 km以下の超稠密な東西２次元観測網を有している。これらの観測網は、余効変動初期における鳴子火山での局所的な沈降を観測（Muto et al., 2016*GRL*）するなど、稠密観測と岩石の変形特性（べき乗流動特性および速度状態依存摩擦構成則）に基づく数値解析から東北日本弧の不均質なレオロジー構造を解明することに貢献し、震災後の石巻の隆起が深部での余効すべりに起因することが明らかになった（Muto et al., 2019*Sci. Adv.*）。 1964 年アラスカ地震（Mw9.2）では現在も明瞭な余効変動が継続しており、東北沖地震の余効変動も今後数十年は続くと予想される。しかし、現在、日本海溝周辺において余効変動の影響が弱くなり、2021年3月には1978年宮城県沖地震（Mw7.2）の固着域西部を破壊するような中規模地震（M_{JMA} 6.9）も起こっている。震災時に沈降した太平洋沿岸部は、隆起を続けているものの、本震時の沈降量の大きい宮城や岩手沿岸部は未だに震災前の地盤高さを回復しておらず、中規模地震でも津波の被害が想定される。したがって、3次元の稠密余効変動解析による将来の詳細な隆起過程の評価が必要となっている。 本研究は、実験岩石学的に報告されているカンラン石のべき乗流動則（Karato and Jung, 2003*Philos. Mag.*）および速度強化摩擦則を含んだ応力依存の余効変動モデルを構築し、稠密観測から得られる2016年までの3次元余効変動場およびその時系列を統合的に再現することを目的とする。このモデルは、境界積分法を用いて余効変動の主要機構である粘弾性緩和と余効すべり、さらにはそれらの力学的相互作用を評価することができる手法を採用している（Barbot et al., 2017*BSSA*）。観測を再現するために得られた地下の粘性構造およびプレート境界の摩擦特性は、島弧に沿って不均質性を持つ。特に、2測線での稠密観測から、宮城および福島での前弧の粘性構造とプレート境界での余効すべりの発生状況の違いが明らかになった。宮城では、前弧側の顕著な隆起は震源深部延長での余効すべりによるが、福島周辺では浅部での余効すべりと厚い前弧の高粘性領域での変形が緩慢な隆起を引き起こしている。前弧の高粘性領域（コールドノーズ）は宮城より福島の方が厚く、より内陸部まで前弧域の粘性は高い。宮城と福島の粘性構造の違いは、両地域の地質構造（白亜紀阿武隈帯と新第三系堆積岩類）だけでなく、地温構造（Muto et al., 2013*GRL*）や地震発生層の下限深度（D90: Omuralieva et al., 2012*Tectonophysics*）などの空間変化とも調和的である。S–netによる地震波異方性の観測から、前弧マントルウェッジには、全域において、異方性を持たず流動しない高粘性領域があることが知られている（Uchida et al., 2021*Nat. Commun.*）。本研究では、稠密な余効変動観測と岩石のレオロジー特性を考慮した3次元解析により、そのようなマントルウェッジの対流パ

© 2021 Geological Society of Japan

ターン（コールドノーズの形状）が島弧にそって不均質性を持つことを明らかにした。このような粘弾性構造と余効すべりのパターンは、観測される余効変動場だけでなく、沿岸部の今後の隆起予測にも影響を及ぼす。発表では、これらの3次元余効変動解析と沿岸部の隆起予測についても紹介する。

Keywords: 2011 Tohoku-oki earthquake, post-seismic deformation, rhelogoy, dense observations

© 2021 Geological Society of Japan

Depth-dependent static frictional properties of mud gouge in the Nankai Trough accretionary prism

*Kyuichi Kanagawa[1], Takuma Ogawa[2], Yusuke Okuno[2], Junya Fujimori[3], Michiyo Sawai[1]

1. School of Science, Chiba University, 2. Faculty of Science, Chiba University, 3. Graduate School of Science and Engineering, Chiba University

In order to investigate the depth-dependent static frictional properties of mud gouge in the Nankai Trough accretionary prism, we conducted triaxial slide-hold-slide friction experiments on gouge of a mud sample cored from 2183.6 mbsf (meters below seafloor) at IODP Site C0002, at pressure, pore-water pressure and temperature conditions supposed at depths of 1000–6000 mbsf there, and an axial displacement rate of 1 μm/s during which sliding was held for periods ranging from 10 to 10^4 s.
The results show that the coefficient of static friction μ_s decreases from 0.37–0.38 at the 1000 mbsf condition to 0.30–0.31 at the 3000 mbsf condition, while it increases to 0.40–0.45 at the 6000 mbsf condition where stick slips were also observed. Healing $\Delta\mu$ (increase in friction coefficient upon resuming sliding after a holding time t_h) increases logarithmically with t_h. We then fitted the $\Delta\mu$ and t_h data by the equation $\Delta\mu = b \ln(t_h/t_c + 1)$, where t_c is a cutoff time, beyond which healing shows a log-linear increase with a slope b. b is also equivalent with a friction parameter relevant to the time-dependent evolutionary effect of the rate- and state-dependent friction constitutive law. Such fitting revealed that b value decreases from ≈0.0040 at the 1000 mbsf condition to ≈0.0014 at the 3000 mbsf condition, while it increases to ≈0.0057 at the 6000 mbsf condition.
Dehydration of smectite at the 3000 mbsf condition where temperature was 100˚C possibly increased pore pressure in the impermeable gouge layer, which was responsible not only for the minimum μ_s but also for the minimum b value, because increased pore pressure likely reduced the area of grain contacts and suppressed healing. This suggests the presence of a high pore-pressure and low fault-strength zone at ≈3000 mbsf of IODP Site C0002. While increasing μ_s as well as b value with increasing supposed depth at ≧3000 mbsf suggest that fault strength increases downward from ≈3000 mbsf of IODP Site C0002 due to time-dependent healing, which also promotes seismic faulting as illustrated by stick slips at the 6000 mbsf condition.

Keywords: static frictional properties, mud gouge, Nankai Trough accretionary prism

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | T3. [Topic Session] Collaboration and advance of geological, experimental, and seismological research on slow earthquakes

[1ch105-12] T3. [Topic Session] Collaboration and advance of geological, experimental, and seismological research on slow earthquakes

Chiar:Kohtaro Ujiie, Ken-ichi Hirauchi, Simon Richard Wallis
Sat. Sep 4, 2021 9:15 AM - 11:45 AM ch1 (ch1)

[T3-O-1] [Invited]Activity style of slow earthquakes and its geological background

*Kazushige Obara[1] (1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)
9:15 AM - 9:45 AM

[T3-O-2] High Fluid-Pressure Patches beneath the plate boundary fault: A Potential Source of Slow Earthquakes in the Nankai Trough off Cape Muroto

*Takehiro Hirose[1], Yohei Hamada[1], Wataru Tanikawa[1], Nana Kamiya[2], Yuzuru Yamamoto[3], Takeshi Tsuji[4], Masataka Kinoshita[5] (1. Kochi/JAMSTEC, 2. Graduate School of Engineering, Kyoto University, 3. Graduate School of Science, Kobe University, 4. Graduate School of Engineering, Kyusyu University, 5. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)
9:45 AM - 10:00 AM

[T3-O-3] Spatial relationships between decollement geometry, stress, physical property and shallow VLFEs in Nankai Trough off Kii Peninsula

*Yositaka Hashimoto[1], Shigeyuki Sato[1], Haruki Kuchimoto[1], Gaku Kimura[2], Masataka Kinoshita[3], Ayumu Miyagawa[4], Gregory Moore[5], Masaru Nakano[2], Kazuya Shiraishi[2], Yasuhiro Yamada[6] (1. Kochi University, 2. JASMTEC, 3. ERI, 4. AIST, 5. University of Hawaii, 6. Kyushu University)
10:00 AM - 10:15 AM

[T3-O-4] Depth profile of frictional properties of cuttings collected from the Nankai Trough and implications for shallow slow-earthquakes

*Ikuo Katayama[1], Riho Fujioka[1], Manami Kitamura[2], Hanaya Okuda[3], Takehiro Hirose[4] (1. Hiroshima Univ., 2. AIST, 3. Univ. of Tokyo AORI, 4. JAMSTEC Kochi Institute)
10:15 AM - 10:30 AM

[T3-O-5] Frictional weakening behavior of a fault in quartz material

*Akito Tsutsumi[1], Yuko Onoe, Akira Miyake[1] (1. Graduate school of science, Kyoto University)
10:45 AM - 11:00 AM

[T3-O-6] Spontaneous slip acceleration under a boundary condition that constrains shear stress

*Miki Takahashi[1] (1. Geological Survey of Japan, AIST)
11:00 AM - 11:15 AM

[T3-O-7] Evolution of the hydraulic transmissivity of wet and dry faults induced by frictional sliding at slow to fast slip velocity with large shear displacement

*Wataru Tanikawa[1] (1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)
11:15 AM - 11:30 AM

[T3-O-8] Geological factors affecting broad spectrum of fault behavior in subduction zones

*Asuka Yamaguchi[1], Yuichi Okuma[1], Hanaya Okuda[1], Ippei Yamamoto[1], Rina Fukuchi[2] (1. Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, 2. Naruto University of Education)

©The Geological Society of Japan

11:30 AM - 11:45 AM

©The Geological Society of Japan

[Invited]Activity style of slow earthquakes and its geological background

*Kazushige Obara[1]

1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

【はじめに】　スロー地震とは，通常の地震に比べて断層すべりがゆっくり進行する現象であり，近年の高密度地震・地殻変動観測網によって明らかにされてきた．地震現象は震源断層とその周囲の構成物質に支配されるが、スロー地震を生み出す地質学的環境はどのようなものであろうか．本講演では，その解明の一助となることを期待し，最近の結果を含めて主に西南日本におけるスロー地震を概観する．

【深部スロー地震の分類と主な特徴】　西南日本では、スロー地震が固着域の深部側と浅部側に分かれて活動する。先に発見された深部スロー地震は、時定数の違いによって4種類に大別される。①すべりが数か月から数年継続する長期的スロースリップイベント（SSE），②数日程度継続する短期的SSE，③卓越周期が数10秒の超低周波地震（VLF），④数Hz程度の低周波微動．このうち、短期的SSEとVLF，微動は時空間的に同期し（Episodic Tremor and Slip：ETS）、活動域は走向方向に細長く広がり、複数セグメントに分かれて周期的に活動する。長期的SSEはETSと固着域の間の細長い領域に分布し、やはりセグメント構造を有する．ETSを構成する微動とVLFの間の帯域は脈動のため検出は困難であったが、最近スタッキング解析により微動やVLFに同期したシグナルが検出され、スロー地震が広帯域に及ぶ連続的現象であることが確認された。

【浅部スロー地震の新たな発見】　固着域より浅部の南海トラフ近傍では，陸域観測網によるVLFの発見以降、海底地震計によって微動・VLFが、さらに掘削孔を活用した間隙水圧計によって短期的SSEが発見された。SSEによる圧力変化はVLF積算モーメントの時間変化とよく一致し、これらがETSとして一体的な現象であることを示している。また、音響GNSSによる海底地殻変動観測で長期的SSEも検出され、スロー地震の組み合わせが浅部と深部で共通することが分かった。浅部ではトラフ軸に沿って異なる種類のスロー地震やカップリングの強い領域が分布しており、浅部の方が深部より不均質が強いと言える。この浅部の強い不均質性は日本海溝でも共通かもしれない。

【世界のスロー地震】　環太平洋の多くの沈み込み帯では深部スロー地震、その中でも長期的SSEがよく検出されているが、西南日本以上にETSが活発なCascadiaでは長期的SSEが検出されていない．固着域より浅部側のスロー地震は、日本周辺以外ではコスタリカのみで検出されている。ニュージーランドでもヒクランギ沖の浅部でスロー地震が起きるが、これは固着域より深部側で房総SSEに似ている。これらのスロー地震の発生様式の違いは，沈み込み帯を比較・分類する新たな指標として注目されている。

【スロー地震と地下構造】　スロー地震活動は走向方向に不均質であり、その主な原因は震源付近の水と考えられる。例えば、深部微動には上盤への水の浸透の違いによるプレート境界付近の間隙水圧が影響し、また浅部VLFも低速度異常と一致することが示されている。一方、深部スロー地震は深さ方向に長期的SSEとETSに分かれるとともに、ETSはその狭い幅の中でも深いほど活動間隔が短い。このような深さ依存の系統的遷移性は、脆性延性の不均質性や粘性の温度依存性を考慮したモデルで説明可能である一方、長期的SSEとETSというすべり現象の急変は、上盤地質構造における大陸性下部地殻とマントルウェッジの違いによるとも考えられる。

【房総SSEのテクトニクス】　スロー地震の構造地質学的解釈は、房総SSEについてなされている。房総SSEは西南日本で頻発するSSEとは異なり、約１週間の継続期間で約6年間隔で発生し、すべり域の下端付近で通常の地震の群発活動を伴う。この周辺の地下構造探査データ再解析の結果、沈み込むプレートの最上層が剥がれて上盤の底部に付加する底付け作用が生じている領域がSSE域と一致したことから、SSEは力学境界が物質境界

© 2021 Geological Society of Japan

からプレート内部に遷移するステップダウンに伴う内部変形であると考えられる。

【スロー地震の地質学的メカニズム】氏家らは、メランジュ内に濃集したクラックシール石英脈が、数年以内の間隔で繰り返し発生した剪断・開口クラック破壊を記録しており、それがETSの微動であると推定した。この周期は観測結果と調和的であり、さらに過去のETSの履歴の推定が試みられている。これは、現状しか把握できない地球物理学的モニタリングに対して、時間軸を広げる重要な意義を有する。一方、それでも我々が取得しうるデータは現在のプレート境界に起きるスロー地震と地表露頭に記録されたスロー地震の化石だけであり、スロー地震の痕跡を連続的にトレースすることができれば、日本列島形成史の解明にも貢献するものと期待される。

Keywords: Slow earthquake, tremor, very low frequency earthquake, slow slip event, subduction zone

© 2021 Geological Society of Japan

High Fluid-Pressure Patches beneath the plate boundary fault: A Potential Source of Slow Earthquakes in the Nankai Trough off Cape Muroto

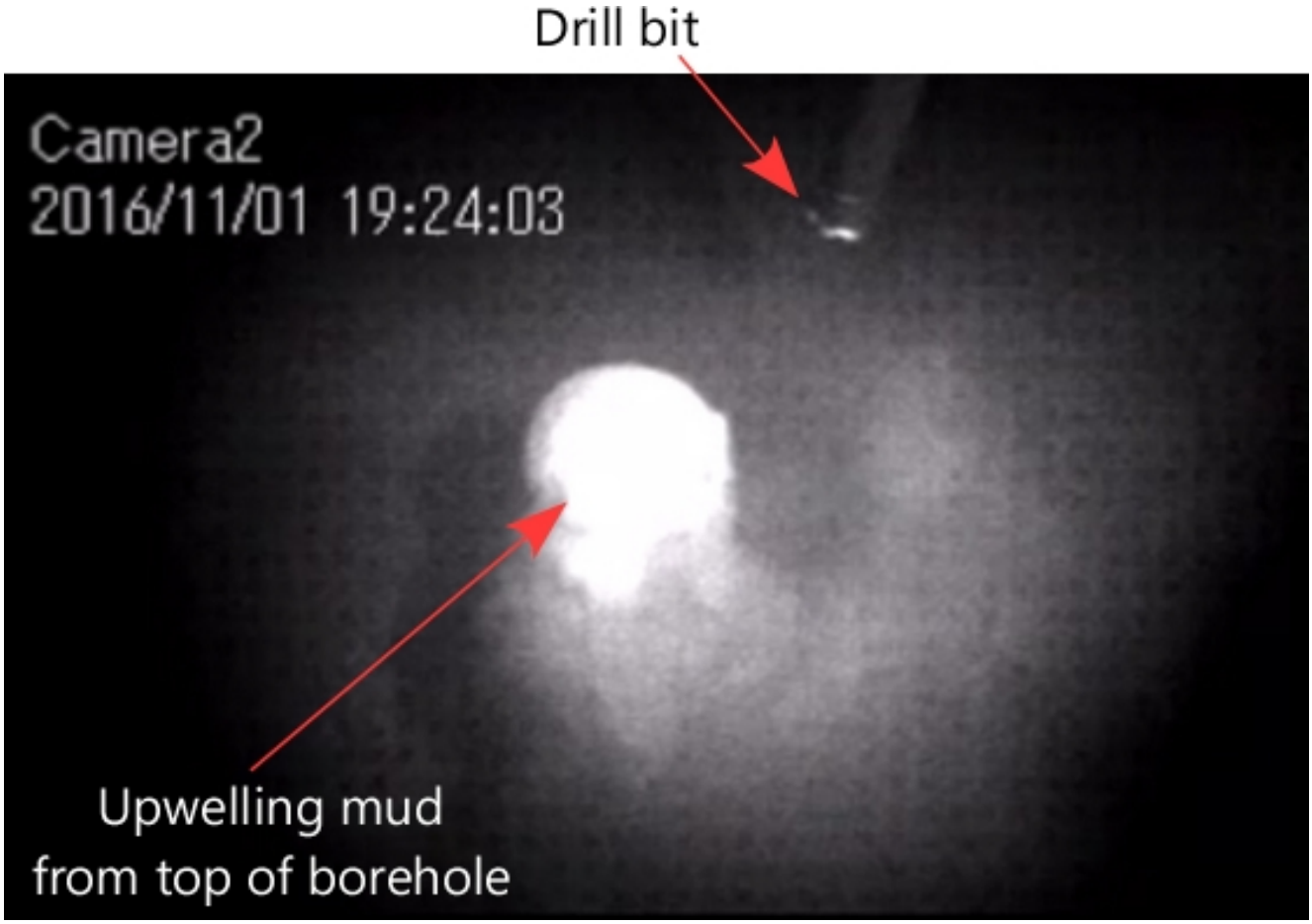
*Takehiro Hirose[1], Yohei Hamada[1], Wataru Tanikawa[1], Nana Kamiya[2], Yuzuru Yamamoto[3], Takeshi Tsuji[4], Masataka Kinoshita[5]

1. Kochi/JAMSTEC, 2. Graduate School of Engineering, Kyoto University, 3. Graduate School of Science, Kobe University, 4. Graduate School of Engineering, Kyusyu University, 5. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

Pore pressure plays a key role in the generation of earthquakes in subduction zones. However, quantitative constraints for its determination are quite limited. Here, we estimate the subsurface pore pressure by analyzing the transient upwelling flow of drilling mud from borehole C0023A of the International Ocean Discovery Program (IODP) Expedition 370, in the Nankai Trough off Cape Muroto. This upward flow provided the first direct evidence of an overpressured aquifer in the underthrust sediments off Cape Muroto (Figure). To estimate the pre-drilling pore pressure in the overpressured aquifer around a depth of 950–1050 meters below sea floor, we examined the measured porosities of core samples retrieved from nearby IODP wells; we then proceeded to explain the observed time evolution of the flow rate of the upwelling flow by modeling various sized aquifers through solving a radial diffusion equation. It was observed that for a permeability of 10^{-13} m^2, the aquifer possessed an initial excess pore pressure of ~5 to 10 MPa above the hydrostatic pressure, with a lateral dimension of several hundred meters and thickness of several tens of meters. The overpressure estimates from the porosity-depth profile at Site C0023 differ from those at other drill sites in the region, suggesting the possible existence of multiple overpressured aquifers with a patchy distribution in the underthrust sediments of the Nankai Trough. As pore pressure is relevant in maintaining fault stability, the overpressured aquifers may be the source of slow earthquakes that have been observed around the drilling site.

Keywords: Pore fluid pressure, the Nankai Trough, slow earthquake

© 2021 Geological Society of Japan



© 2021 Geological Society of Japan

Spatial relationships between decollement geometry, stress, physical property and shallow VLFEs in Nankai Trough off Kii Peninsula

*Yositaka Hashimoto[1], Shigeyuki Sato[1], Haruki Kuchimoto[1], Gaku Kimura[2], Masataka Kinoshita[3], Ayumu Miyagawa[4], Gregory Moore[5], Masaru Nakano[2], Kazuya Shiraishi[2], Yasuhiro Yamada[6]

1. Kochi University, 2. JASMTEC, 3. ERI, 4. AIST, 5. University of Hawaii, 6. Kyushu University

紀伊半島沖南海トラフ浅部デコルマ地形に応じた応力・物性分布と超低周波地震との空間的関係 浅部スロー地震の分布は、その発生場が基盤の地形の影響を強く受けていることを示唆している（Bell et al.,2014 Yamashita et al., 2015）。その原因として、地形による応力場の改変あるいは物性・流体圧の不均質分布の影響が提案されている（Sun et al., 2020, Barnes et al.,2020）。これまで流体圧の影響を支持する根拠が多く出されている一方、応力場の改変についてはアナログ実験や数値モデルにとどまっており、天然から根拠が示されたことはない。また、応力場と物性・流体圧の相互関係についても天然から示されたことはない。そこで本研究では、沈み込み帯浅部デコルマ地形による応力場の改変をスリップテンデンシー(Ts)・ダイレンションテンデンシー(Td)をマップとして示し、この応力分布とデコルマ面上の物性分布および超低周波地震の分布との相互関係を明らかにすることを目的とする。

対象地域は紀伊半島沖南海トラフである。IODP NanTroSEIZEのトランセクトのために3次元地震反射ボックスが得られている(Moore et al., 2007)。その後、解析技術が発達したため、近年、同反射断面のデータを再解析した(Shiraishi et al., 2019)。その結果、弾性波速度分布、深度変換、ノイズ除去などの精度の上がった画像が得られた。また、同地域では、浅部超低周波地震が複数回観測されている。特に2016年4月の超低周波地震イベントでは、多くのCMT解が得られている（Nakano et al., 2018）。このように３次元地震反射断面と浅部超低周波地震が共存している地域は他にない。

浅部デコルマ面の地形は全体的に北西へ深くなるが、海溝軸とほぼ並行な軸を持つ凹凸が複数回繰り返す。デコルマ面上の弾性波速度は全体的に北西へ増加する傾向があるが、やはり海溝軸とほぼ並行に高速度場と低速度場が複数回繰り返す。しかし、デコルマ地形との一致は見られない。CMT解の低角な節面とすべり方向を用い、小断層多重逆解法で応力を推定したところ、低角な北西南東圧縮場が得られた。複数の応力場は見られず、一つのクラスターのみだったため、得られた応力場は広域応力を示すと解釈する。デジタル化したデコルマ面を50 X 50 mのメッシュに区切り、それぞれのメッシュ面に広域応力を与え、その面上の垂直応力と剪断応力の大きさを、差応力で規格化した値として得る。この値から各メッシュ面のTsとダイレイションテンデンシーTdを計算し、デコルマ面上のその分布を表すことができる。その結果、海溝軸とほぼ並行にTsおよびTdの高い場所と低い場所が交互に繰り返す分布が見られた。同地域の堆積物の室内実験で、弾性波速度、間隙率、有効圧の関係が得られている。この関係を用いて、弾性波速度を間隙率および有効圧へ変換する。その結果、デコルマ面全体として有効圧は1500-6500kPaで、全体として深さと共に増加するがやはり海溝軸に並行な高低の分布が見られた。超低周波地震の分布を約半日から1日の時間で区切り、超低周波地震の配列分布を目視で認定した。配列分布の幅や長さにばらつきが見られるものの、ほぼ海溝軸と並行な配列分布が複数確認された。この超低周波地震の複数の配列分布はTs, Tdの高いところと一致する。他にも一部クラスター的な分布も見られたが、これは位置決定の解像度に依存する可能性がある。

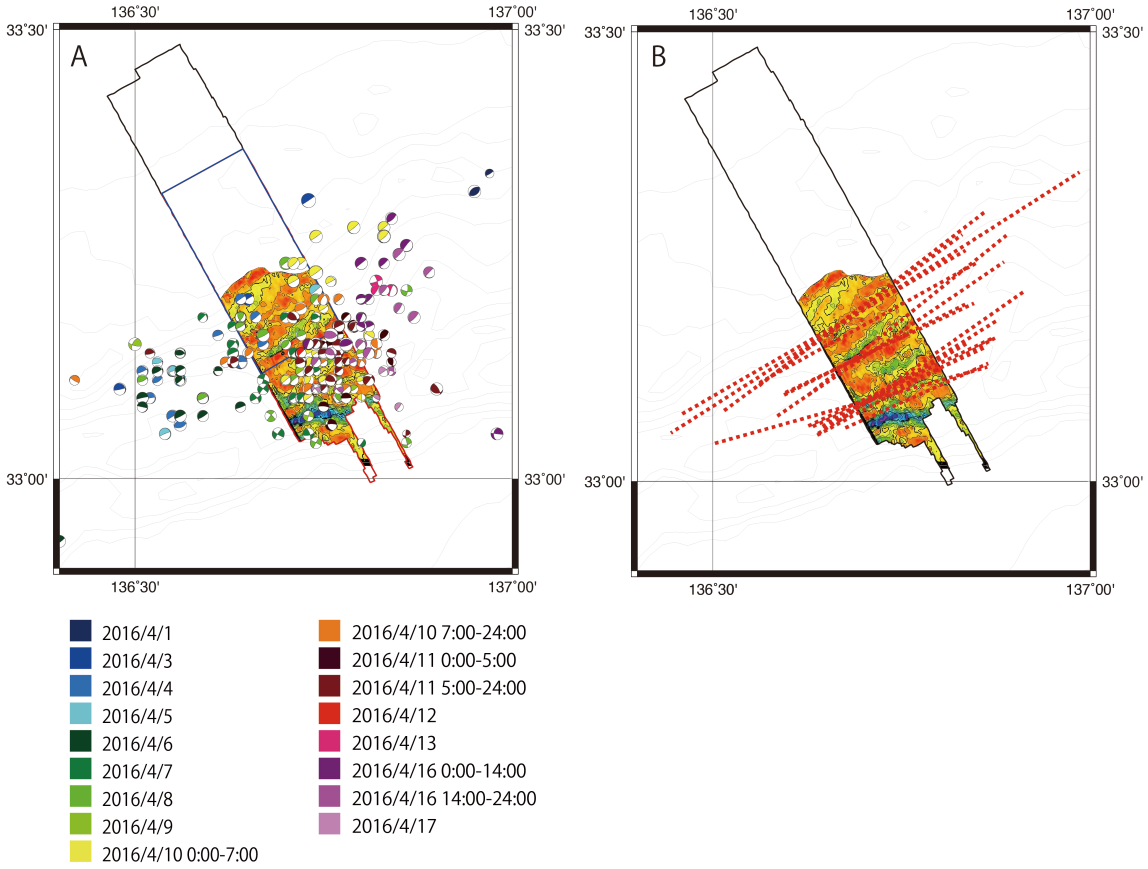
Tsは断層再活動の確率の高さを示しており、超低周波地震がTsの高いところに分布することは理解しやすい。広域応力とデコルマ地形の関係のみがこのTsの分布を決定していることから、プレート運動とデコルマ地形が第一義的な超低周波地震の原因と考えてよいかもしれない。Tdは断層の開きやすさの指標であり、流体移動をコントロールすることが期待できる。すなわち、デコルマ地形は物性にも影響を与えることが考えられる。有効圧の分布もやはりTsおよびTdの分布とほぼ並行であり、デコルマ地形による物性の改変を示唆するものと考えられる。これらの流体移動・物性改変は地形に依存した二次的な原因であるが、超低周波地震の発生を促進する可能性がある。

引用文献：Bell et al., 2014, EPSL; Yamashita et al., 2015, Science; Sun et al., 2020, Nature Geoscience;

© 2021 Geological Society of Japan

Barnes et al., 2020, Science Advance; Moore et al., 2007, Science; Shiraishi et al., 2019, G-cube; Nakano et al., 2018, Nature communications.

Keywords: Very Low Frequency Earthquake, Nankai Trough, decollement geometry, slip tendency



© 2021 Geological Society of Japan

Depth profile of frictional properties of cuttings collected from the Nankai Trough and implications for shallow slow-earthquakes

*Ikuo Katayama[1], Riho Fujioka[1], Manami Kitamura[2], Hanaya Okuda[3], Takehiro Hirose[4]

1. Hiroshima Univ., 2. AIST, 3. Univ. of Tokyo AORI, 4. JAMSTEC Kochi Institute

南海トラフ熊野灘に位置するC0002地点では海底下3262.5mまでの掘削に成功し，現在のところ科学掘削としては世界最深の掘削深度レコードになります（Tobin et al. 2019）。この掘削プロジェクトでは，コア試料を一部区間で採取していますが，掘削時に生じる岩石破片であるカッティングスはほぼ全区間において連続的に回収されています。そこで本研究では，C0002地点の海底下980mから3150mまでの区間で回収されたカッティングスについて，ほぼ50mごとに試料を選定し摩擦試験を行うことで，付加帯内部での摩擦特性プロファイルを作成しましたのでその予察的な結果を報告させていただきます。

摩擦実験では，カッティングス試料をすりつぶし粒径が106μm以下のものを模擬断層ガウジとして用いました。摩擦試験は広島大学設置の二軸摩擦試験機を使用し，カッティングス試料が採取された原位置の有効圧（静水圧を仮定）での実験を行いました。なお，断層ガウジは0.5 mol/L NaCl溶液に浸した含水条件での摩擦特性を調べました。初期のすべり速度は3μm/sとし，摩擦係数が定常状態に達したのち，0.3-33μm/sの範囲で速度急変実験を行い，摩擦の速度依存性ならびに臨界すべり変位の解析を行いました。

定常状態の摩擦係数は，海底下1000m付近ではμ=0.5程度であるのに対し，深さとともにやや上昇し深度3000m付近ではμ=0.65程度になります。IODPデータレポートによると，深さとともにスメクタイト／イライトの量比が低下していることからも，深さによる摩擦係数の上昇は粘土鉱物種の変化に対応していると考えられます。速度依存性は，ほぼ全ての深度ですべり速度強化（a-b>0）を示し，粘土鉱物量比との相関はみられません。臨界すべり変位については，深さとともに若干減少する傾向がみられ，これは定常摩擦係数とも対応していることから，粘土鉱物種との関連性が考えられます。

これまでの予察的な解析の結果では，海底下3000m付近までいずれの深度でもすべり速度強化を示すことから，静水圧条件であれば付加帯内部は安定すべり領域であるため震源核には発展しないことが推察されます。一方で，より海溝近傍の付加帯内部では同様の物質であるにもかかわらず超低周波地震などが報告されています（e.g., Ito and Obara, 2006）。このことからも，付加体内部での浅部スロー地震の発生プロセスには，物質に加え間隙水圧の変動が効いており，付加体内部での間隙水圧のモニタリングが重要であることが示唆されます。

引用文献：

Ito and Obara (2006) Dynamic deformation of the accretionary prism excites very low frequency earthquakes. Geophys. Res. Lett. 33, doi:10.1029/2005GL025270

Tobin et al. (2019) International Ocean Discovery Program Expedition 358 Preliminary Report: NanTroSEIZE Plate Boundary Deep Riser 4: Nankai Seismogenic/Slow Slip Megathrust. IODP. doi.org/10.14379/iodp.pr.358.2019

Keywords: frictional property, Nankai Trough, slow earthquake

© 2021 Geological Society of Japan

Frictional weakening behavior of a fault in quartz material

*Akito Tsutsumi[1], Yuko Onoe, Akira Miyake[1]

1. Graduate school of science, Kyoto University

スロー地震や巨大地震などの多様な地震発生の過程や断層のすべり挙動をモデル化する上で，断層摩擦強度のすべり距離，およびすべり速度依存性を明らかにすることが重要である．1990年代に， すべり速度v = 1 m/s付近の高速条件で顕著な摩擦弱化が見られることが実験的に明らかにされ（嶋本ほか，2003），摩擦の高速すべり特性を地震発生モデルに組み込むことの重要性が認識されるようになった．近年になり，石英質物質の摩擦について，より遅いすべり速度での弱化挙動が明らかにされ（e.g., Goldsby and Tullis, 2002），注目されている．さらに最近の我々の研究で，この石英高速摩擦弱化挙動が湿度の影響を受けること，また乾燥条件下ではわずか v = 10 μm/s といった低速の条件において定常摩擦係数が0.2程度まで低下する顕著な速度弱化の現れることがわかってきた（堤ほか, 2019; 尾上・堤, 2020）．石英質物質が示すこのような低速すべり速度条件での特徴的な弱化挙動は，例えば日本海溝や中米海溝など，海洋性プレート上に堆積した珪質物質が持ち込まれる沈み込み帯におけるプレート境界断層の摩擦を議論する上で重要である．本研究では，人工水晶を用いた２種類の摩擦実験（一定すべり速度実験とSlide-Hold-Slide（SHS）実験）を試料近傍の相対湿度RHを制御した条件でおこない，摩擦弱化挙動に及ぼす湿度の影響の詳細を調べた．また，摩擦弱化直後の試料について，FIBを用いた断層断面切り出しを試み，TEMを用いた変形構造観察を行った．
試料には，直径約25 mmに整形した人工水晶を使用し，回転式中一高速摩擦試験機を用いて摩擦実験を行った．垂直応力は1.5 MPaとし，すべり速度v = 0.005－105 mm/sにおいて，試料近傍の相対湿度をRH = 0－80%の範囲で制御した．実験の結果，一定すべり速度実験における水晶の定常摩擦係数の値は，これまでに報告されていた石英岩の実験結果と同様，すべり速度に対して負の依存性を示すが，その挙動が相対湿度に依存することが明らかになった．また，SHS実験においてすべり開始直前の摩擦係数に見られる待機時間に依存した強度回復の挙動（いわゆるlog t ヒーリング）もまた，相対湿度に依存している．今回の実験で得られた各すべり速度条件における定常摩擦の値および，各待機時間における摩擦の強度回復の大きさは，相対湿度RHが20 %までの範囲において，1/ln(1/RH)に比例する関係を示す．TEMによる断層内部構造観察の結果，すべり弱化完了直後（すべり量 = 9 m，v = 105 mm/s，大気湿度）の水晶断層部には，厚さ約20 μmの断層ガウジ層が成長しており，ガウジ層の内部には，幅数100 nmの周期で非晶質細粒シリカの集合体が積層するナノスケール面構造が発達することが明らかになった．
以上の結果から，（１）石英物質の高速域での摩擦特性は，乾燥条件下で見られるv ≧ 10 μm/s での著しい速度弱化特性を本来の性質としており，（２）湿度条件下においては，相対湿度とすべり速度に依存して摩擦が増加する機構が働いているものと考えられる．また（３）摩擦変形はナノスケール積層構造中の各層境界に局所化している可能性がある。発表では，湿度下において非晶質シリカガウジ粒子間に形成される水架橋が，石英の摩擦強度に及ぼす影響について考察する．

参考文献：
Goldsby and Tullis, 2002, GRL 29(17) 1844 doi:10.1029/2002GL015240.
尾上・堤, 2020, JpGU-AGU Joint Meeting 2020講演要旨, SSS15-11.
嶋本ほか, 2003, 地学雑誌, 112(6) 979-999. https://doi.org/10.5026/jgeography.112.6_979.
堤ほか, 2019, 日本地質学会学術大会講演要旨, R13-O-13.

Keywords: high-velocity friction, quartz rocks, fault gouge, water meniscus

© 2021 Geological Society of Japan

Spontaneous slip acceleration under a boundary condition that constrains shear stress

*Miki Takahashi[1]

1. Geological Survey of Japan, AIST

大地震が発生するには、断層面上の広範囲に高い剪断応力がかかり、高い弾性歪エネルギーを蓄積している必要があろう。地震発生前、断層はその剪断応力より高い強度を持っている必要がある。一般に高温・高圧下で働く、圧力溶解クリープや転移クリープなどの塑性流動変形は、破壊時の強度より十分に低い応力でゆっくりと歪を解消（永久変形）するため、蓄積される弾性歪エネルギーは小さい。これら塑性流動変形は、剪断応力の増加に伴い変形速度が増加する速度強化の特性を持つ。この速度強化が示される剪断応力ー変形速度の範囲において、断層はゆっくりと安定的に滑り続けることが可能である。もし、剪断応力をさらに高くし続けるとどうなるか。いずれ剪断応力は断層の最大強度に達し、破壊による動的弱化と高速すべりを起こす。その際に放出される弾性エネルギーが地震すべりや地震波となって甚大な被害をもたらすのである。蓄積される弾性エネルギーの大きさを考える上で、速度強化が果たす役割は重要であるにもかかわらず議論は十分ではない。また、圧力溶解クリープは未固結物質を固結により強化する作用をもち、低い応力に見合ったゆっくりとした永久変形を起こしながらも、最大強度を高く育んでいる。この観点をもとに、本研究では、圧力溶解クリープ変形を常温でも起こしうるアナログ物質を用いて、応力をその最大強度に至るまでステップ状に増加させる実験を行った。特に、応力が最大強度に達したときに起こる、自発的なすべりの加速と暴走すべりの開始について議論する。

用いたアナログ物質は岩塩80wt.%、白雲母20 wt.%からなる粉体混合物である。試験装置は産総研活断層・火山研究部門所有の回転式高速摩擦試験機である[Togo and Shimamoto, 2012, JSG]。このアナログ物質約1.5gを外径50mm内径38mmのリング状のピストンに挟みこみ、垂直応力5MPaになるよう荷重をかける。飽和塩水を間隙水として流しいれ、圧力溶解クリープが起きるようにする。この条件におけるアナログ物質の強度は、先行研究[e.g. Niemeijer and Spiers, 2007, JGR; Takahashi et al., 2017, G-cubed]にて調べられており、1nm/sにて約1.4MPa(摩擦係数にして0.28)、1μm/sにて最大値の約3.5MPa(摩擦係数にして0.70)、約20 μm/s以上ではばらつきはあるもの約1.4MPa(摩擦係数にして0.28)あたりの剪断強度を示すことがわかっている。この物質はすべり速度1μm/sを境に極端な速度強化と速度弱化の領域と、約20μm/s以上での速度依存のない領域とを持っている。ここでは剪断応力をステップ状に増加させ、その後のすべり速度の変化を観測した。速度強化の領域では、先行研究の結果に整合的で、すべり速度は定常状態へと漸近した。一方、剪断応力が最大強度に到達すると、すべりは自発的に加速し、最終的には装置の最大すべり速度にまで加速しながら動的弱化を起こした（暴走すべり）。すべり速度が1μm/sをこえた時点から暴走すべりが発生するまでの間は2〜4時間あり、この間、剪断応力は最大強度に等しい高い値を保っていた。また暴走すべりが起きた時点でのすべり速度は15〜30μm/sであり、値として速度依存が現れなくなる20μm/sに近い。さて、1μm/sを超えると強度は極端に低下するにもかかわらず、この物質は、摩擦係数にして0.70もの高い剪断応力を数時間も維持できたことになる。なぜか。この理由は、摩擦の直接効果により説明できる。先行研究[Takahashi et al., 2017, G-cubed]によると、摩擦の直接効果（$a = d\mu/d\ln V|_{state}$）はすべり速度が1μm/sにて0.1もの高い値を持つが、20μm/sにてほぼ0にまで急減する。（20μm/sにて摩擦の直接効果が0になることと速度依存がなくなることの両者は、高速でdilatancy角が0になることにより説明される。）この物質は、高い剪断応力を維持するため、摩擦の直接効果を使い一時的な強度を得ようと加速しているのである。一方、定常の強度は速度の増加に伴い低下を続けるため、さらに加速を必要とする。最終的には20μm/sにて、摩擦の直接効果が0になるため、一時的な強度すら獲得できず暴走すべりを起こすのである。このアナログ物質において、すべり速度1μm/sと20μm/sは重要なkey velocityであると言える。これらkey velocityが天然においてはどのような値になるのか、それらを計ることが大地震発生を議論する上で重要になるだろう。

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: pressure solution creep, direct effect, shear stress control test

© 2021 Geological Society of Japan

Evolution of the hydraulic transmissivity of wet and dry faults induced by frictional sliding at slow to fast slip velocity with large shear displacement

*Wataru Tanikawa[1]

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

断層帯は剪断すべりに伴い力学特性だけでなく流体移動特性が変動することが想定される。流体移動特性の変動は地震サイクルや地震時の断層のすべり挙動に大きく影響をあたえる可能性が高いが、高速すべり時の変動量やすべり速度依存性はほとんど分かっていない。そこで本研究では、リング剪断式摩擦実験装置を用いて、低速（0.1mm/s）から高速（1m/s）の範囲におけるすべり速度、2MPaの垂直応力、および浸水および乾燥環境下で模擬断層（亀裂）の透水性（＝水透過率、hydraulic transmissivity）の変化を調べた。模擬断層試料として、花崗岩とドレライトを用いた。浸水環境で行った実験結果の特徴として、断層すべりの開始と同時に，見かけの透過率は急激に上昇し，すぐに定常状態に達した。また、すべりを止めた後は十数分かけてゆっくり低下していった。また、すべり中の透過率と摩擦の平均値はともにすべり速度依存性を示し，高速すべりでは透過率が大きく向上し，摩擦が減少した（図1a）。速度ステップ試験では，透過率は正のすべり速度依存性を示した。剪断すべりにともなう透過率の増加と透過率の速度依存性は，摩擦発熱による水理開口幅と水圧差の増加によるものと考えられる。一方、摩擦の速度依存性は、thermal pressurization、もしくはflash heatingが影響していると考えられる。花崗岩はドレライトよりも低い透過率と摩擦を示したが、ドレライトと比較して花崗岩により多く含まれる硬い石英粒子がすべり面の平滑化を促進したためと考えられる。 一方、乾燥環境による実験結果では、すべり速度の増加とともに透過率と摩擦のどちらも増加する特徴を示した（図1b）。乾燥環境では浸水環境と比較して摩擦発熱量が大きくなり、摩擦すべり面の摩耗レートが高くなる。そのため、摩耗物（ガウジ）の増加が引き金となって、微視的凹凸率の増加に伴う摩擦が増大したものと解釈できる。 本実験結果を踏まえると、地震発生時には断層帯の透過率が大きく増加し、断層沿いに速い流速で流体が流れる可能性がある。 ただし、断層深部もしくは周囲から十分な流体が流入するための供給源との流路の連結が必須となる。

Keywords: Water Permeability, Frictfion, Thermal Pressurization, Earthquake

© 2021 Geological Society of Japan

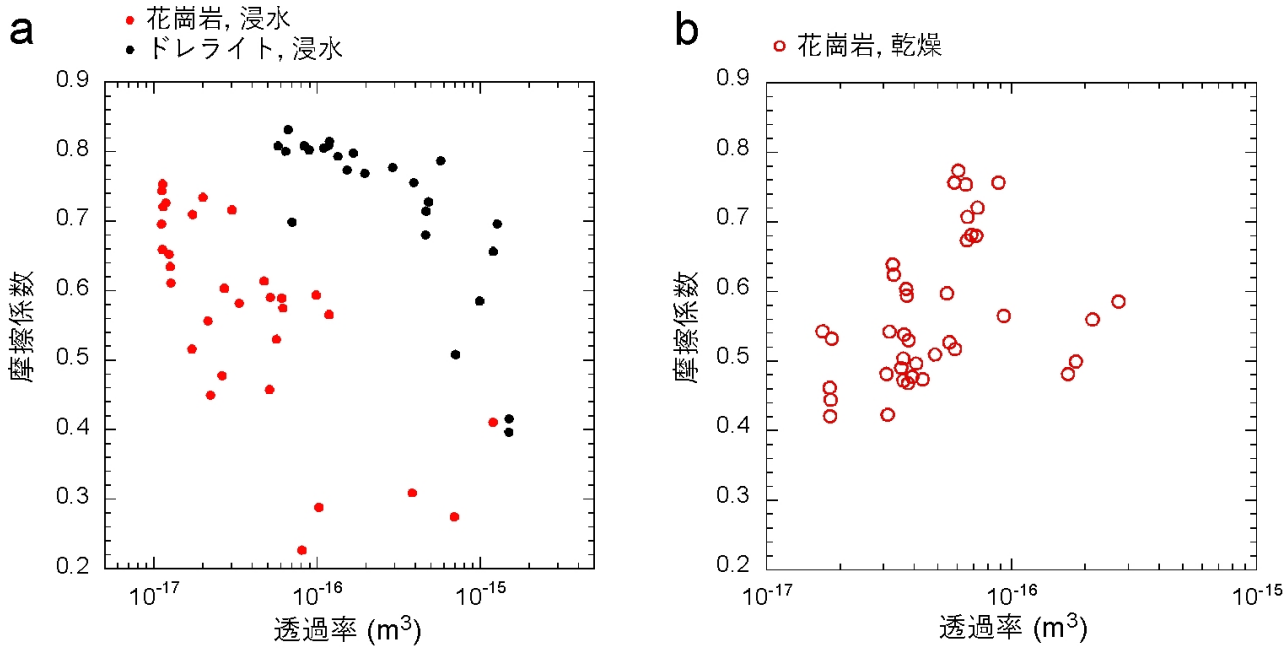


図1. すべっている間の水透過率と摩擦係数. (a)浸水条件(b)乾燥条件

© 2021 Geological Society of Japan

Geological factors affecting broad spectrum of fault behavior in subduction zones

*Asuka Yamaguchi[1], Yuichi Okuma[1], Hanaya Okuda[1], Ippei Yamamoto[1], Rina Fukuchi[2]

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo, 2. Naruto University of Education

2010年ごろまで、沈み込み帯の地震現象は、温度に依存する「地震発生帯」の上下に安定すべり域が存在するというある仮想的な断面の中での議論が多かった。しかし、プレート境界浅部における超低周波地震、プレート境界深部の短期的／長期的スロースリップ・微動などの一連のスロー地震の発見や、2011年東北地方太平洋沖地震における海溝軸まで達するすべりの観測などにより、プレート境界断層の空間的な挙動は沈み込み帯によって異なるばかりか、一つの沈み込み帯の内部でも多様であることが明らかになってきた。本発表ではそのような沈み込み帯の断層挙動の多様性をもたらしうる地質学的な要因について概観する。

①地形的凹凸
Cloosによる海山アスペリティモデル (Cloos, 1992)の提唱以来、海山のような地形的凹凸の役割は注目されてきた。近年では、海山沈み込みは上盤プレートを破壊し、強度を下げることでクリープをもたらすとするWang and Bilek (2011) のモデルが注目されている。大熊ほか(本大会)は表面が高摩擦の海山、表面が低摩擦の海山、海山なしの３条件で砂箱実験を行い、海山沈み込みによる付加体の地形や断層発達には表面の摩擦条件が大きく影響することを示した。このことは、砂箱実験と対応するような臨界尖形モデルの適用可能深度では、海山のような海洋プレート上の地形的凹凸の役割は、断層面の凹凸を作るだけでなく、周囲と摩擦特性の異なる物質をプレート境界に強制的に持ち込む効果も大きいことを強く示唆する。

②物質ごとの摩擦挙動と続成反応
日本海溝における緊急掘削（JFAST）で得られたIODP Site C0019のスメクタイトに富むプレート境界断層や、ジュラ紀付加体のチャート中に見られる前期三畳紀の層準規制的なデコルマなどは、沈み込む物質の摩擦強度がプレート境界断層の発達位置を規定することを示唆している。物質ごとの摩擦の安定性（a-b）についてはIkari et al. (2011)などでまとめられているものの、実際の沈み込み物質や、温度・有効圧・速度依存性については系統的な実験が途上である。また、泥質岩のスメクタイト-イライト転移に加え、変質玄武岩のサポナイト-緑泥石、遠洋性珪質堆積物のオパール-石英、火山灰のガラス-スメクタイトなど、続成反応に伴う鉱物相の変化が重要であると考えられる。

③脆性-延性遷移と温度
四万十帯を対象とした研究 (Kimura et al., 2012など) では延性変形に関する議論はほとんどなされてこなかったが、その後、Pallazin et al. (2016)やTully et al. (2020) により四万十帯およびその深部の岩石を用いて沈み込み帯の強度断面が描かれている。近年、海嶺沈み込みと関連して形成されたと考えられる沖縄県慶良間諸島の約100Maの付加体で、礫岩を原岩とするマイロナイトが発見された（山本ほか、投稿中）。四万十帯において明らかにマイロナイトと認定される岩石の発見はこれまでになく、海嶺沈み込みに伴う高い地温勾配下の沈み込み帯におけるレオロジーを制約するものとして期待される。

④流体
スロー地震の発生に対する流体の関与は沈み込み帯浅部（Tonegawa et al., 2021など）・深部（Kano et al., 2019など）ともにさまざまな観測から確実視されており、四万十帯の高変成部における鉱物脈の解析結果とも整合的である（Ujiie et al., 2018など）。変形における流体の役割は第一に有効応力を下げることであり、流体の存在がもたらす低い有効応力の中での上記①～③のバリエーションが重要であると考えられる。一方で流体と岩石の反応や流体からの鉱物沈殿が断層物質の摩擦や断層内の間隙流体圧を制御する可能性もあり、その発生条件の検討も必要である。

© 2021 Geological Society of Japan

文献
Cloos, 1992, Geology, 20, 601-604; Ikari et al., 2011, Geology, 39, 83-86; Kano et al., 2019, Sci. Rep., 25, 9270; Kimura et al., 2012, Tectonophysics, 568, 25-38; Palazzin et al., 2016, Tectonophysics, 687, 28-43; Tonegawa et al., 2021, EPS, 73, 89; Tulley et al., 2020, Sci. Adv., 6, eaba1529; Ujiie et al., 2018, GRL, 45, 5371-5379; Wang and Bilek, 2011, Geology, 39, 819-822

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | T3. [Topic Session] Collaboration and advance of geological, experimental, and seismological research on slow earthquakes

[1ch113-20] T3. [Topic Session] Collaboration and advance of geological, experimental, and seismological research on slow earthquakes

Chiar:Kohtaro Ujiie, Ken-ichi Hirauchi, Simon Richard Wallis
Sat. Sep 4, 2021 1:00 PM - 3:30 PM ch1 (ch1)

[T3-O-9] [Invited]The slow earthquake spectrum in the Japan Trench illuminated by the S-net seafloor observatories

*Tomoaki Nishikawa[1], Takanori Matsuzawa[2], Kazuaki Ohta[2], Naoki Uchida[3], Takuya Nishimura[1], Satoshi Ide[4] (1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. The National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. Tohoku University , 4. The University of Tokyo)

1:00 PM - 1:30 PM

[T3-O-10] The Geological Fingerprints of Slow Earthquakes

*Kohtaro Ujiie[1], Naoki Nishiyama[1], Madison Frank[1], Minoru Yamashita[1], Yasushi Mori[2], Hanae Saishu[3], Norio Shigematsu[3], Takayoshi Nagaya[4] (1. University of Tsukuba, 2. Kitakyushu Museum of Natural History and Human History, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. University of Tokyo)

1:30 PM - 1:45 PM

[T3-O-11] Spatial changes in inclusion band spacing as an indicator of temporal changes in slow slip and tremor recurrence intervals

*Naoki Nishiyama[1], Kohtaro Ujiie[1], Masayuki kano[2] (1. University of Tsukuba, 2. Tohoku University)

1:45 PM - 2:00 PM

[T3-O-12] Temporal changes in pore fluid pressure during slow earthquake cycle estimated from foliation-parallel extension veins

*Makoto Otsubo[1], Kohtaro Ujiie[2], Hanae Saishu[1], Ayumu Miyakawa[1] (1. Geological Survey of Japan, 2. University of Tsukuba)

2:00 PM - 2:15 PM

[T3-O-13] Which serpentinite bodies are suitable for discussing subduction boundary processes? :Evidence from the Sanbagawa belt, SW Japan.

*Simon Richard Wallis[1], Mutsuki Aoya[2] (1. The University of Tokyo, 2. Tokushima University)

2:30 PM - 2:45 PM

[T3-O-14] Quantification of silica transportation at subduction zone using volume change of metamorphic rocks

*Soejima Shogo[1], WALLIS Simon[1] (1. University of Tokyo)

2:45 PM - 3:00 PM

[T3-O-15] Slow slip associated with talc-forming metasomatism of serpentinite

*Yasushi Mori[1], Kohtaro Ujiie[2], Tadao Nishiyama[3], Miki Shigeno[1], Kazuya Noro[2] (1. Kitakyushu Museum of Natural History and Human History, 2. University of Tsukuba, 3. Kumamoto University)

3:00 PM - 3:15 PM

©The Geological Society of Japan

[T3-O-16] Fracturing in paleo-mantle wedge serpentinite at high pore fluid pressures and implications for cycles of deep slow earthquakes

*Ken-ichi Hirauchi[1], Yurina Nagata[1], Ryosuke Oyanagi[2], Atsushi Okamoto[3], Katsuyoshi Michibayashi[4] （1. Shizuoka University, 2. Kokushikan University, 3. Tohoku University, 4. Nagoya University）

3:15 PM - 3:30 PM

©The Geological Society of Japan

[Invited]The slow earthquake spectrum in the Japan Trench illuminated by the S-net seafloor observatories

*Tomoaki Nishikawa[1], Takanori Matsuzawa[2], Kazuaki Ohta[2], Naoki Uchida[3], Takuya Nishimura[1], Satoshi Ide[4]

1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. The National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. Tohoku University , 4. The University of Tokyo

沈み込み帯プレート境界では、多様な過渡的低速断層滑り現象（スロー地震）が発生する。沈み込み帯で発生するスロー地震の活動を詳細に明らかにすることは、プレート境界の滑り挙動を推測する上で重要である。東北地方太平洋沖に位置する日本海溝では、Kawasaki et al. (1995, J. Phys. Earth) により、1992年7月、岩手県はるか沖合においてM_j 6クラスの群発地震を伴うM_w 7.3～7.7の過渡的な非地震性滑りが観測された。また、Kato et al. (2012, Science) や Ito et al. (2013, Tectonophysics) は、2011年東北地方太平洋沖地震（以下、東北沖地震）に一か月程度先行するM_w 7.0のスロースリップイベント（以下、SSE）を観測した。このSSEは、繰り返し地震を含むM_j 5クラスの群発地震を伴い、宮城県沖に位置する東北沖地震の滑り領域内部で発生した。これらの先駆的研究により、日本海溝でスロー地震が発生することは知られていた。しかし、スロー地震が発生する場所が陸から遠いはるか沖合であったことや、これまで海底地震・測地観測が限られた地域及び期間でしか行われていなかったこともあり、日本海溝全域におけるスロー地震の詳細な分布は明らかではなかった。

2016年、防災科学技術研究所が日本海溝海底地震津波観測網（S-net）の運用を開始した。S-netは、海底地震計と海底圧力計が一体となった150基の観測装置からなり、日本海溝全域と千島海溝南端部に敷設されている。本研究は、2016年8月から2018年8月までにS-netが記録した地震波形データから、スロー地震の一種であるテクトニック微動（以下、微動）を、エンベロープ相関法（Obara, 2002, Science; Ide, 2010, Nature）により検出した。検出された微動は、F-net広帯域地震観測網で観測された超低周波地震や、GEONET GNSS連続観測システムで観測されたSSEなど、異なる種類のスロー地震と同期していた。本研究は、上述のスロー地震の検出結果と、スロー地震に関連する諸現象（陸域の微小地震観測網により観測された繰り返し地震、及び地震活動の統計的解析により検出された群発地震）の検出結果を総合し、日本海溝全域にわたるスロー地震とその関連現象の詳細な分布図を作成した。その結果、日本海溝沿いでは、スロー地震及びその関連現象が、東北沖地震の滑り領域と相補的に分布することが明らかとなった。本研究は、スロー地震の分布に基づき、日本海溝を走向方向に3つのセグメントに分割する。北部（岩手県沖）及び南部（茨城県沖）セグメントでは、スロー地震とその関連現象が頻繁に発生している。一方、東北沖地震の滑り領域が位置する中部（宮城県沖）セグメントでは、スロー地震とその関連現象の活動は低調である。

ごく最近、日本海溝のスロー地震研究にさらなる進展があった。Baba et al. (2020, JGR) は、東北沖地震前後の期間（2003年から2018年）のF-netの観測データを用いて、超低周波地震の網羅的な検出を行なった。また、Nishimura (2021, G-Cubed) は、東北沖地震前後の期間（1994年から2020年）のGEONETの観測データを用い、茨城県沖においてSSEの網羅的な検出を行なった。また、Kubo & Nishikawa (2020, Sci. Rep.) は、岩手県沖および茨城県沖では、スロー地震とM_j 7クラスのプレート境界地震の滑り領域が相補的に分布することを指摘した。

本研究は、S-netによる微動検出結果と上述の最近の研究成果の比較に基づき、日本海溝沿いのスロー地震活動の走行方向変化は東北沖地震の前後の期間を通して存在する持続的な特徴であると提案する。東北沖地震前の超低周波地震の分布は、東北沖地震後の微動の分布と良く相関し、超低周波地震・微動ともに、宮城県沖の東北沖地震滑り領域内部では活動が低調である。東北沖地震に一か月先行して宮城県沖で発生したSSEは特筆すべき例外であるものの、日本海溝ではスロー地震とプレート境界大地震が相補的に分布する。これらの観測結

© 2021 Geological Society of Japan

果から、岩手県沖と茨城県沖に位置するスロー地震多発地域は、プレート境界大地震の滑りの伝播を妨げる摩擦特性を有することが推測される。また、日本海溝沿いのスロー地震活動の走行方向変化は、プレート境界面からの反射強度の変化（Fujie et al., 2002, GRL）や、沈み込む海山（Mochizuki et al., 2008, Science）の位置と一部対応しており、プレート境界の構造の不均質性がスロー地震活動の空間変化を生むことを示唆する。

Keywords: Slow earthquake, Subduction zone, Japan Trench, S-net

© 2021 Geological Society of Japan

The Geological Fingerprints of Slow Earthquakes

*Kohtaro Ujiie[1], Naoki Nishiyama[1], Madison Frank[1], Minoru Yamashita[1], Yasushi Mori[2], Hanae Saishu[3], Norio Shigematsu[3], Takayoshi Nagaya[4]

1. University of Tsukuba, 2. Kitakyushu Museum of Natural History and Human History, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. University of Tokyo

高速断層運動に伴う摩擦溶融物が固化することで形成されたシュードタキライトは地震性滑りの最も明確な地質学的証拠であるが、低速変形であるスロー地震の明確な地質学的証拠確立は未だ成されていない。これまでのスロー地震を対象とした地球物理学的観測、モデル研究に基づくと、流体と不均質性がスロー地震の地質学的痕跡を探る上で鍵となりそうである。そこで我々は、若くて暖かいプレートの沈み込み時に地震発生帯より下限側のスロー地震発生域で形成され、流体が関与した変形・反応と岩石分布が不均質な沈み込み帯メランジュや変成岩を対象に研究を行っている。ここでは、これまでの研究により導き出されたスロー地震の地質学的痕跡候補について紹介する。

１. 石英充填クラックシール脈と低周波地震からなる微動
九州東部四万十付加体槙峰メランジュには石英充填クラックシール脈の濃集部が厚さ数十メートル以上、長さ100 m以上に渡って認められる。クラックシール脈は、脆性ー延性遷移領域における沈み込み時に静岩圧に近い間隙水圧下で低角逆断層滑りが繰り返し起こったことを示しており、脆性破壊時の剪断強度は10^{-1} MPaオーダーと非常に低い。石英析出反応速度式を用いて求めた低角逆断層滑りの発生間隔は1, 2年未満と短く、スロー地震の発生間隔と比較可能である。これらのことからメランジュ中のクラックシール脈の濃集部は、低周波地震からなる微動の地質学的痕跡である可能性があげられる（Ujiie et al., 2018）。ヘリウム同位体及び希ガス分析に基づくと、このクラックシール脈をもたらした流体は主として蛇紋岩化したマントルを起源としており、微動は深部からの流体移動によりもたらされたことが示唆される（Nishiyama et al., 2020）。更に最近、このクラックシール脈中のinclusion bandsの厚さが周期的に変化していることが見出され、微動の発生間隔の変化と対応している可能性が指摘されている（Nishiyama et al., 2021）。

２. 交代作用に伴う微動とスロースリップの発生
長崎西彼杵変成岩中に分布する西樫山メランジュは、蛇紋岩化したマントルウェッジとスラブの境界付近で発達したと考えられている（Mori et al., 2014）。このメランジュでは、泥質片岩と緑泥石ーアクチノ閃石片岩間の交代作用によりシリカを含む流体が排出され、脆性破壊による石英脈形成と延性剪断変形の局所化による歪速度の2桁増加をもたらしている。このような変形の特徴は、例えば南海トラフにおけるマントルウェッジ付近での微動やスロースリップを説明する新たな地質学的描像となり得るか現在検討しているところである。

３. 深部デュープレックス構造形成と地震波低速度層の発達
石垣島東北部に分布するトムル変成岩は、塩基性片岩と泥質片岩が厚さ数km以上に渡り何度も繰り返し露出することで特徴づけられる。変成鉱物組み合わせと炭質物のラマン地質温度計に基づくと、トムル変成岩は温度約440–480℃、緑簾石–青色片岩相の条件下で発達しており、塩基性片岩には緑簾石、曹長石脈が、泥質片岩には石英脈が満遍なく密に発達する。トムル変成岩の変成温度圧力条件は、北米カスケード沈み込み帯の深部スロー地震発生域に相当しており、塩基性片岩と泥質片岩の繰り返しは地球物理学的観測から推定されている深部デュープレックス構造と比較することが可能である。この場合、密に発達する石英脈などの鉱物脈は、プレート境界に沿った地震波低速度層の発達、流体移動、低周波地震の分布を説明することができるかもしれない。我々は現在、トムル変成岩を北米カスケード沈み込み帯におけるスロー地震の発生過程・発生環境を明らかにする上での有力な陸域アナログ対象として研究を進めているところである。

References

© 2021 Geological Society of Japan

Mori et al., EPS, 2014, doi:10.1186/1880-5981-66-47
Nishiyama et al., EPSL, 2020, https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116199
Nishiyama et al., EPS, 2021, https://doi.org/10.1186/s40623-021-01448-7
Ujiie et al., GRL, 2018, https://doi.org/10.1029/2018GL078374

Keywords: Crack-seal vein, Metasomatism, Duplex structure

© 2021 Geological Society of Japan

Spatial changes in inclusion band spacing as an indicator of temporal changes in slow slip and tremor recurrence intervals

*Naoki Nishiyama[1], Kohtaro Ujiie[1], Masayuki kano[2]

1. University of Tsukuba, 2. Tohoku University

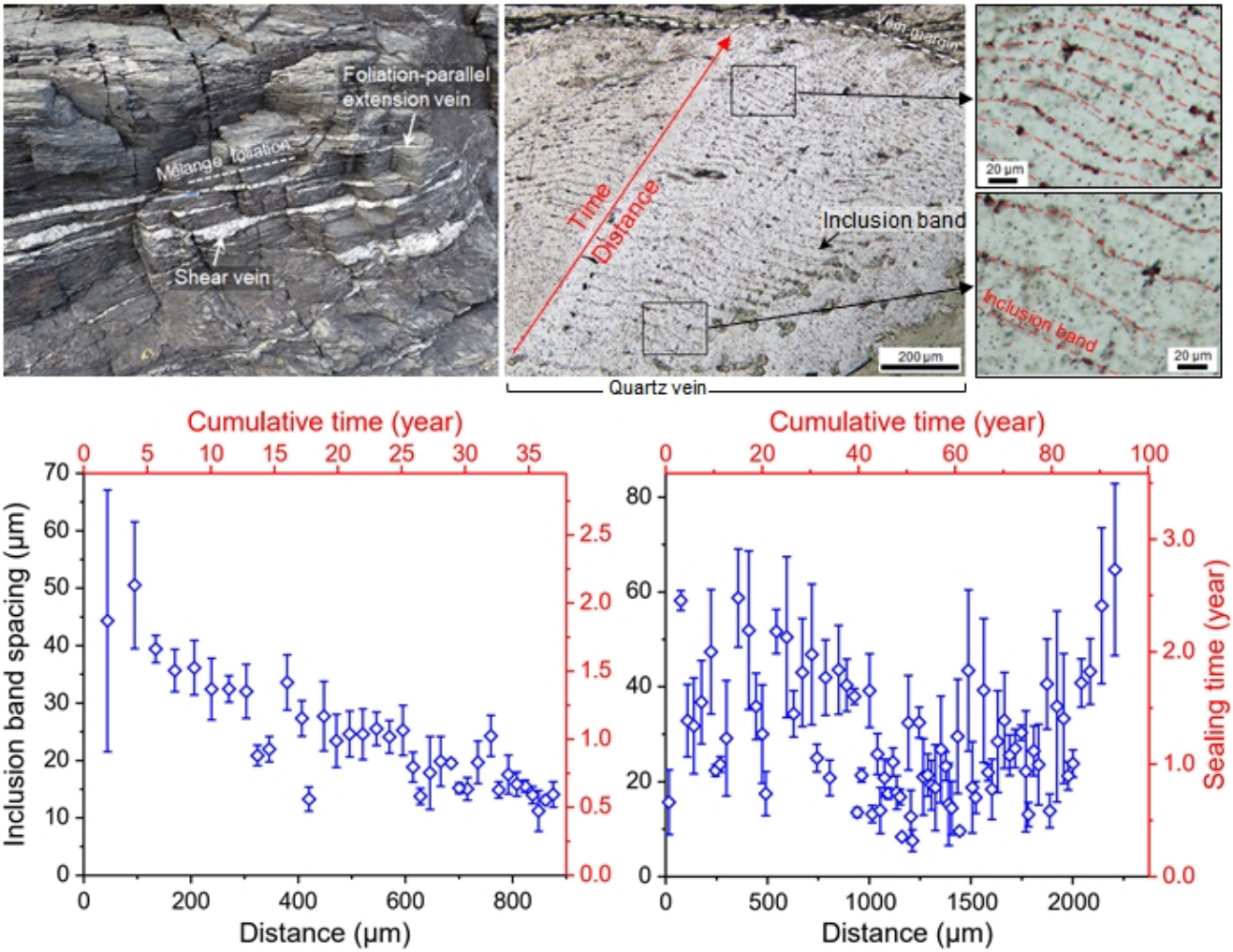
Slow slip and tremor (SST) represent transient plate boundary slip that lasts from days to years with recurrence intervals of months to years [1]. Slow earthquakes such as SST downdip of the seismogenic zones may trigger megathrust earthquakes due to frequent stress transfer to seismogenic zones [2]. Geodetic observations have suggested that the recurrence intervals of slow slip decrease toward the next megathrust earthquake [3]. However, temporal variations in the recurrence intervals of SST during megathrust earthquake cycles remain poorly understood because of the limited duration of geodetic and seismological monitoring of slow earthquakes. Repeated brittle thrusting near the downdip limit of the seismogenic zone was recorded in quartz-filled, crack-seal shear veins in the Makimine mélange of the Late Cretaceous Shimanto accretionary complex, Japan [4]. The measurement of spacing of inclusion bands in shear veins shows cyclic changes in the inclusion band spacing in the range from 4 to 65 μm. The two-phase primary fluid inclusions in quartz between inclusion bands exhibit varying vapor/liquid ratios regardless of inclusion band spacing, suggesting a common occurrence of fast quartz sealing due to a rapid decrease in quartz solubility associated with a large fluid pressure reduction. A kinetic model of quartz precipitation, considering a large fluid pressure change and inclusion band spacing, indicates that the sealing time during a single crack-seal event cyclically decreased and increased in the range from 0.16 to 2.7 years, with one cycle lasting at least 27 to 93 years [5]. The ranges of sealing time and duration of a cycle may be comparable to the recurrence intervals of SST and megathrust earthquakes, respectively. We suggest that the spatial change in inclusion band spacing is a potential geological indicator of temporal changes in SST recurrence intervals, particularly when large fluid pressure reduction occurs by brittle fracturing.

References

[1] Behr WM, Bürgmann R (2021) Phil Trans R Soc A 379: 20200218.
[2] Obara K, Kato A (2016) Science 353: 253–257.
[3] Kano M, Kano Y (2019) Earth Planets Space 71:95.
[4] Ujiie K. et al. (2018) Geophys Res Lett 45:5371–5379.
[5] Nishiyama N., Ujiie K., Kano M. (2021) Earth Planets Space 73:126.

Keywords: Crack-seal vein, Slow earthquakes, Recurrence interval, Fluid pressure, Quartz precipitation

© 2021 Geological Society of Japan



© 2021 Geological Society of Japan

Temporal changes in pore fluid pressure during slow earthquake cycle estimated from foliation-parallel extension veins

*Makoto Otsubo[1], Kohtaro Ujiie[2], Hanae Saishu[1], Ayumu Miyakawa[1]

1. Geological Survey of Japan, 2. University of Tsukuba

間隙流体圧（P_f）はスロー地震発生域での力学を理解する上で重要な要素の一つであり，石英の濃集と間隙流体圧の上昇プロセスが沈み込み帯でのスロー地震発生を制御している可能性が議論されている（例えば，Hyndman et al., 2015）．
我々は，沈み込み帯スロー地震発生域における間隙流体圧と流体移動に注目し，九州東部の白亜紀後期の四万十帯である槙峰メランジュにおいて，モードIクラックを埋めるfoliationに平行の石英脈（foliation parallel extension veins, 以下FPEVとする）の形成中の間隙流体圧を推定した．ここでは，比較的若くて温かい海洋地殻が深度10〜15 kmの摩擦-粘性遷移に沈み込んだ際のプレート境界の変形として考えられており，槙峰メランジュでは最高被熱温度は300〜350度に達する（Palazzin et al., 2016）．宮崎県延岡市直海の海岸露頭では，槙峰メランジュは石英で満たされた3タイプの脈，剪断脈（shear veins, 以下SVとする），foliationに平行な伸長脈（FPEV），および雁行状の伸長亀裂を充填する脈（echelon extension veins, 以下EEVとする）が認められる（Ujiie et al., 2018）．鉱物脈は過去の岩石中の流体通路の化石であり，北北西方向に低角な傾斜をもつSVとFPEVは“切りつ切られつの関係”であることから，これらの亀裂は同じσ_1が水平に近い逆断層形成応力場の下でのメランジュ内の流体経路として機能している可能性がある．これらのメランジュで石英脈のうち，特にSVとFPEVでは露頭において明瞭な分布の空間的な不均一が認められ，これらの脈が濃集している領域とそうでない領域が認められた．
グリフィスの条件に基づくと，モードIクラック中の間隙流体圧がσ_3を超えた時にそれらの亀裂を埋める鉱物脈が形成される（Jolly and Sanderson, 1997）．σ_3を超える間隙流体圧をここでは間隙流体圧の過剰分ΔP_f（$\Delta P_f = P_f - \sigma_3$）とする．本研究ではFPEV形成時の間隙流体圧の過剰分を推定するために，FPEVのアスペクト比に二次元の多孔質弾性体モデル（Gudmundsson, 1999）を採用した．その結果，槙峰メランジュの場合でのP_fとΔP_fは約280 MPaと80〜160 kPaであった（深さ= 10 km，密度= 2750 kg / m^3，引張強度= 1 MPa，ヤング率= 7.5〜15 GPaと仮定）．クラック中に流体が流れて間隙流体圧の過剰分が解放されるとクラックが閉じて間隙水圧の低下が停止するが，槙峰メランジュの場合では間隙流体圧が低下した後に正規化された間隙流体圧比λ^*（$\lambda^* = (P_f - P_h) / (P_l - P_h)$，$P_l$：静岩圧; P_h：静水圧）は約1.01（$P_f > P_l$）であった．この結果は，foliationに平行なモードIクラック形成後でも間隙流体圧が常にメランジュ内で静岩圧を維持していることを示す．
さらに，我々が取り扱う二次元の多孔質弾性体モデルでは，鉱物脈群の間隔は，亀裂中の間隙流体圧の過剰分，ヤング率，および鉱物脈の開口幅に依存する（Price and Cosgrove, 1990）．間隙流耐圧を見積もった際の上記の条件においては，鉱物脈の間隔が大きい場合（~10 m）と間隔が小さい場合（~1 m）では，間隙流体圧の過剰分に最大500 kPa程度の差が生じていることが明らかとなった．それらの鉱物脈の間隔はスロー地震発生サイクル内での間隙流体圧の過剰分の時間変化の結果である可能性があり，間隙流体圧の過剰分がスロー地震のサイズを規定する可能性がある．

[引用文献] Gudmundsson (1999) Geophys. Res. Lett., 26, 115–118; Hyndman et al. (2015) Jour. Geophys. Res., 120, 4344–4358; Jolly and Sanderson (1997) Jour. Struct. Geol., 19, 887–892; Palazzin et al. (2016) Tectonophysics, 687, 28–43; Price and Cosgrove (1990) Analysis of Geological Structures. Cambridge University Press, Cambridge, 502 p; Ujiie et al. (2018) Geophys. Res. Lett., 45, 5371–5379.

Keywords: Slow earthquake, Fluid, Extension crack, Quartz, Subduction

© 2021 Geological Society of Japan

Which serpentinite bodies are suitable for discussing subduction boundary processes? Evidence from the Sanbagawa belt, SW Japan.

*Simon Richard Wallis[1], Mutsuki Aoya[2]

1. The University of Tokyo, 2. Tokushima University

沈み込み帯の地震発生領域以深で発生するスロー地震（深部ETS）は、一般にウェッジマントル分（先端部）の直下で発生する。熱モデル計算によれば、このマントル領域は低温であり、沈み込むスラブから放出されたH_2Oに富む流体との反応によって強く蛇紋岩化していると考えられている。すなわち、スロー地震発生領域は蛇紋岩が直下の領域とみなせるため、蛇紋岩がスロー地震の誘発に関与している可能性が注目されてきた。その主要な課題の一例として、沈み込み帯深部流体の流速とその異方性に、蛇紋岩が及ぼす影響の究明が挙げられる。また、蛇紋岩基質を持つ剪断帯によく見られるblock-in-matrix変形構造を重視する研究もある。これらの議論を深めるためには、ウェッジマントル最浅部由来の天然試料を入手することが重要である。沈み込み型変成帯には一般に蛇紋岩が点在する。しかし、それらの蛇紋岩すべてが沈み込み帯上盤側のウェッジマントル由来とみなせるとは限らず、沈み込むプレートの一部として沈み込み帯深部まで持ち込まれた可能性もある。もし海洋プレート浅部由来であれば、蛇紋岩の特徴のほとんどは沈み込み前のプロセスに関連するものであり、スロー地震発生を含む沈み込みプロセスを議論するのには不向きである。加えてまた、蛇紋岩の変形構造を用いて沈み込みプロセスを議論する場合、変形の段階を慎重に検討することが必要である。収束プレート境界域の深さ数10kmから上昇して来た岩石は、確実に上昇時のテクトニックなプロセスも経験している。そのために、沈み込み型変成帯で見られる岩石の変形組織の多くは、上昇時に生じたものであり、沈み込みプロセスを反映していない。天然岩石試料中の変形組織物を用いて、スロー地震など、の沈み込みに関連するプロセスを議論する際には、まず変形が起きた深さを制約することが必要である。沈み込み型変成帯である三波川帯には、スラブ由来の砂質・泥質・珪質・塩基性片岩の中に、数cmから数kmスケールの蛇紋岩及び蛇紋岩への交代替作用によって生じた岩相のブロックが多数分布しているが、これらに対しては。「沈み込んだスラブ」と「ウェッジマントル」という双方の起源が提案されてきた。しかし、これらの蛇紋岩ブロックの分布を四国中央部の23×30km^2（1/5万「日比原」及び「新居浜」）の範囲で注意深く記録したところ、そのすべてが高変成度部に限定されていることがわかった。これは、スラブ由来の片岩類がマントル岩と接するために、まず約30～35kmの深さまで沈み込まなければならなかったことを示唆している。すなわち、四国中央部の蛇紋岩はウェッジマントル由来であり、スラブの一部として沈み込んだものではないという、明確な地質学的証拠と読める。一方、三波川帯の大規模な蛇紋岩体（白髪山岩体）の底部には主にアンチゴライトからなる幅100m程度の剪断帯が発達する。このような剪断帯が沈み込み帯深部に実際に存在し、沈み込み帯境界に沿った流体の流動様式に強い影響を与えているとの推論が既になされている。ただし、地上で観察される蛇紋岩組織の情報を、この現世の議論に組み込むためには、地上剪断帯が過去にどの深さで形成されたかを制約する必要がある。ところが、アンチゴライトは非常に広い安定領域場を持つため、その形成温度・圧力条件を制約するのは一般に難しい。そこで、オリビンに富むマントルを単純に加水すると、アンチゴライトに加えて最大で約20vol%のbruciteが形成される点に着目する。かつてのスラブ-マントルウェッジ境界に沿ってほぼ完全なアンチゴライトの領域が形成されたとすれば、それは下方を沈み込む石英に富む岩相（砂・泥質片岩など）からの水溶シリカの添加を示唆しており、三波川帯の例はそれに該当する。また、三波川帯ではスラブ-マントルウェッジ境界から鉛直方向に約100m以上離れた場所で、蛇紋岩中にbrucite+アンチゴライト=カンラン石、という反応によって形成した変成カンラン石と残余のbruciteが見みられる。さらに、この変成カンラン石が局所的に antigorite shear zone fabric を包有して成長した組織も見られる。したがって、アンチゴライト剪断帯は変成作用のピーク（カンラン石の成長）以前に形成されたものと解釈でき、ウェッジ・マントルにおける沈み込みプロセスを議論する上で有用なものであると考えられる。他の変成帯に分布する蛇紋岩体の特徴を用いてスロー地震の発生を議論しようとする場合にも、三波川変成帯と同様な

© 2021 Geological Society of Japan

議論が必要不可欠である。

Keywords: slow earthquakes, serpentinite, subduction

© 2021 Geological Society of Japan

Quantification of silica transportation at subduction zone using volume change of metamorphic rocks

*Soejima Shogo[1], WALLIS Simon[1]

1. University of Tokyo

近年、沈み込み境界に沿って移動する水流体によって輸送されるSiO2が注目されている。大陸地殻下部へのシリカの濃集がスロー地震の繰り返し時間スケールに影響を与える可能性が提案され、5－15vol.%の石英が大陸地殻下部に付加するプロセスが地震学的データをもとに考えられている[1]。また、地震学的観測によってウェッジマントルの底部に沿ったアンチゴライトに富む領域の存在の可能性が示唆されている。しかしそのアンチゴライト領域のマントルウェッジにおける存在量の推定値は、全ての沈み込み帯において20vol.%以下という推定[2]から地域によっては100vol.%に達する場合もある[3]という推定まで幅広く、これまでの地震学的観測のみでは十分制約されていない。広範囲のアンチゴライト領域の形成には水とともに大量のシリカが必要である。したがって、スロー地震の繰り返しの時間スケールを説明する説の検証やマントルウェッジにおけるアンチゴライト領域の存在量の制約のために、沈み込み帯におけるシリカの移動の定量化が必要である。しかし、沈み込んだ岩石の中で輸送されたシリカの量の制約はほとんどできてない。このようなシリカの供給源として、沈み込んだ石英に富む堆積物が考えられる。沈み込み境界に沿って輸送される水に富む流体は、高温高圧下でシリカをよく溶解し、移動させる可能性がある。ある領域からのシリカの除去と、別の領域での再沈殿は、岩石の大きな体積変化と関連付けられ、マントルウェッジ下部での岩石の体積変化の大部分はシリカの移動によるものだと考えられる。したがって、沈み込んだ堆積物由来の変成岩類の体積変化を推定できれば、沈み込み境界域におけるシリカの移動を議論できる。最大の問題は、信頼できる体積変化の推定法が存在しないことである。ここではその問題を解決できる新しい解析法を提案する。 これまでに提案された岩石の体積変化を推定する方法は、絶対伸縮を含む歪みの推定に基づく幾何学的方法と、全岩化学組成に基づく化学的方法に大別される。しかし、これらの手法は同じ地域に適用した場合でも推定結果に大きな不一致が生じる場合が多く、妥当性には疑問が残される。本研究では、変形脈群法という変形した鉱物脈の組の方向と変形タイプを用いて、体積変化の推定を行う新たな手法を検討した。 この手法を体積変化の推定に用いることができる可能性は以前から認識されていた[4] [5]が、その実用化についてはほとんど検討されていなかった。変形脈群法は、他の幾何学的なアプローチよりも信頼性が高い可能性がある。なぜなら、鉱物脈は個々の鉱物粒子よりもはるかに大きなスケールで発達し、粒界の滑りの効果を含む変形を記録することができるためである。本研究では，さらに変形脈群法の不確実性を評価するために，統計解析を組み込んだ新しいアプローチを開発した．新たに開発した手法を、フランシスカン帯のデルプエルトキャニオンの変成砂岩の変形解析に適用した。この解析によって、有限変形の3つの要素（歪み、平均渦度数、体積変化）すべてに制約を与えられる。解析結果は、無視できる程度の体積変化に対応しているが、大幅な体積増加の可能性も示す。これは、同地域の先行研究で鉱物粒子の観察に基づいて推定された大幅な体積減少を示す結果[6]とは真反対である。実際には、個々の鉱物結晶の周りに顕著な過成長などの体積増加を示す組織が認められないため、体積増加は限定的であろう。 顕著な体積変化がないことは、流体フラックスが限られているか、流体中のシリカが飽和しているために、この地域では大規模なシリカ輸送がないことを意味する。これは、マントルウェッジ下部での厚さ数キロメートルのアンチゴライト領域の形成や、地殻下部のスロー地震発生領域での大規模なシリカの濃集領域の形成に十分なシリカが存在しないことを意味する。したがって我々のデータは、他の沈み込み型変成帯でも同様のことを確認できればマントルウェッジの底部に沿ったアンチゴライトに富む領域は、一般的に考えられているよりも限定的であり、シリカの付加以外のプロセスがスロー地震のタイムスケールを支配している可能性を示唆している。 [1] Audet & Burgmann (2014), Nature, 510, 389–392. [2] Abers et al. (2017), Nat. Geosci., 10, 333–337. [3] Bostock et al. (2002), Nature, 417, 536–538. [4] Passchier (1990), Tectonophysics, 180, 185–199. [5] Wallis (1992), J. Struc. Geol., 14, 271–280. [6] Ring (2008), *GSA, Special paper*, 445

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Volume change, Deformed vein, Slow earthquakes, Silica transportation

© 2021 Geological Society of Japan

Slow slip associated with talc-forming metasomatism of serpentinite

*Yasushi Mori[1], Kohtaro Ujiie[2], Tadao Nishiyama[3], Miki Shigeno[1], Kazuya Noro[2]

1. Kitakyushu Museum of Natural History and Human History, 2. University of Tsukuba, 3. Kumamoto University

短期的スロースリップイベントは、深さ30～60 km、温度400～500℃付近の沈み込みプレート境界で発生する（例えば、Yoshioka and Murakami, 2007; Obara and Kato, 2016）。沈み込みプレート境界ではスラブ由来の岩石とウェッジマントル由来の岩石が混合されてメランジュを形成していると考えられる（Bebout and Penniston-Dorland, 2016）。このことから、短期的スロースリップイベントの痕跡は青色片岩相からエクロジャイト相で形成されたメランジュ中の剪断帯として記録されていると予想される。

九州西部に露出した長崎変成岩類は、深さ約40 km、温度440～530℃で変成された片岩類を主体としメランジュを伴う（Nishiyama et al., 2017; Mori et al., 2019）。このメランジュ中には、緑泥石アクチノ閃石片岩の剪断集中帯が発達する。緑泥石アクチノ閃石片岩は、野外観察の所見や全岩化学組成の特徴から、(1)蛇紋岩の滑石化、(2)滑石と苦鉄質変成岩の混合、(3)カルシウムに富む流体との反応という連続的な交代作用と岩石混合をへて形成されたと考えられる。滑石の存在は岩石の剪断強度を著しく弱めることが知られており（例えば、Hirauchi et al., 2013）、滑石化が蛇紋岩と苦鉄質変成岩の混合と剪断変形の局所化を促進したと考えられる。さらに、蛇紋岩の滑石化は著しい脱水を伴うことから高間隙水圧の維持に貢献した可能性があり、このことも剪断集中帯の形成を促進したと考えられる。このように、蛇紋岩の滑石化は沈み込みメランジュにおいて局所化した剪断変形と高間隙水圧の原因となる。

短期的スロースリップイベントは、高間隙水圧下で流体移動を伴いながら起きると考えられる（例えば、Ito et al., 2007; Tanaka et al., 2018）。このことは、長崎変成岩類のメランジュにおける剪断帯の形成過程と調和的である。滑石＋蛇紋石（アンチゴライト）の安定領域は、沈み込みプレート境界に沿ってエクロジャイト相に相当する深度まで達し（Spandler et al., 2008）、短期的スロースリップイベントの発生域をカバーする。このことは、蛇紋岩の滑石化交代作用が短期的スロースリップイベントの発生に深く関わっている可能性を示唆する。

文献

Bebout, G. E., Penniston-Dorland, S. C. (2016) Lithos, 240–243, 228–258.
Hirauchi, K., den Hartog, S. A. M., Spiers, C. J. (2013) Geology, 41, 75–78.
Ito, Y., Obara, K., Shiomi, K., Sekine, S., Hirose, H. (2007) Science, 315, 503–506.
Mori, Y., Shigeno, M., Miyazaki, K., Nishiyama, T. (2019) J. Mineral. Petrol. Sci., 114, 170–177.
Nishiyama, T., Mori, Y., Shigeno, M. (2017) J. Mineral. Petrol. Sci., 112, 197–216.
Obara, K., Kato, A. (2016) Science, 353, 253–257.
Spandler, C., Hermann, J., Faure, K., Mavrogenes, J. A., Arculus, R. J. (2008) Contrib. Mineral. Petrol., 155, 181–198.
Tanaka, Y., Suzuki, T., Imanishi, Y., Okubo, S., Zhang, X., Ando, M., Watanabe, A., Saka, M., Kato, C., Oomori, S., Hiraoka, Y. (2018) Earth Planets Space, 70, 25.
Yoshioka, S., Murakami, K. (2007) Geophys. J. Int., 171, 302–315.

Keywords: Slow earthquakes, Metasomatism, Mélange, Nagasaki Metamorphic Complex

© 2021 Geological Society of Japan

Fracturing in paleo-mantle wedge serpentinite at high pore fluid pressures and implications for cycles of deep slow earthquakes

*Ken-ichi Hirauchi[1], Yurina Nagata[1], Ryosuke Oyanagi[2], Atsushi Okamoto[3], Katsuyoshi Michibayashi[4]

1. Shizuoka University, 2. Kokushikan University, 3. Tohoku University, 4. Nagoya University

深部低周波微動とスロースリップが同期して発生するepisodic tremor and slip（以下、ETS）の一部は前弧マントルウェッジ先端（深さ約30 km）付近において発生し、異常間隙水圧下での剪断すべりに起因する（例えば、Obara, 2011）。したがって、浅部マントルウェッジ蛇紋岩体の流体および変形プロセスを調べることは、ETSの発生機構の理解を理解する上で重要である。これまでは深部（約60 km以上）マントルウェッジ起源の蛇紋岩体について主に構造解析が行われており、蛇紋岩体の変形は蛇紋石集合体の延性流動によって特徴付けられている（例えば、Mizukami and Wallis, 2005; Hirauchi et al., 2010）。そこで本研究は、ETSの震源域に相当する温度圧力条件下（温度約500˚C、圧力約1 GPa）で形成した浅部マントルウェッジ起源の蛇紋岩体（Aoya et al., 2013）を研究対象とし、構造岩石学的解析を行った。

四国中央部三波川帯には大小様々な蛇紋岩体が散在的に分布する。本研究では、富郷地域におけるざくろ石帯と曹長石・黒雲母帯の境界（深さ約30 km；Aoya et al., 2013）の泥質片岩および塩基性片岩に囲まれた幅数10 mからなる蛇紋岩体に着目した。この蛇紋岩体には無数の開口破壊および開口・剪断破壊が発達し、レンズ状のブロック（最大長さ1 m）と周囲のマトリックスからなるblock-in-matrix構造が認められる。ブロックの形状は亜円礫状から円礫状をなし、ブロックの表面が溶解した構造をもつ。ブロックとマトリックスはともに蛇紋石（アンチゴライト）からなる。マトリックスからなるアンチゴライトの一部は幅数10 μmの局所的な剪断帯を形成しており、動的再結晶による粒径減少が認められる。

上記の解析結果は、前弧マントルウェッジ先端付近において、蛇紋岩体が静岩圧を超える間隙水圧下において開口および開口・剪断破壊していたことを示唆する。そして、破壊後の比較的低い間隙水圧下において、アンチゴライトの溶解・沈殿プロセスが起こり、マトリックスが形成されたと考えられる。このプロセスは再び破壊に必要な高間隙水圧条件の達成を促すことから、破壊イベントの発生サイクルがアンチゴライトのカイネティクスに依存することを示唆する。また、一部のマトリックスに存在する局所的な剪断帯の発達は、破壊直後における低間隙水圧および高歪速度下でのアンチゴライトの転位クリープの結果として考えられる。したがって、本地域で観察された破壊イベントとETSに関連性があると仮定した場合、ETSは静岩圧を超える高間隙水圧下での数多くの破壊面（モードI型およびモードI–II型）の形成（微動）と引き続き起こる局所的な粘性クリープ（スロースリップ）であると理解することができる。

引用文献：Aoya et al. (2013), *Geology*, 41, 451–454. Hirauchi et al. (2010), *Earth Planet. Sci. Lett.*, 299, 196–206. Mizukami and Wallis (2005), *Tectonics*, 24, TC6012.

Keywords: slow earthquake, mantle wedge, serpentinite, deformation

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R9 [Regular Session]Origin, texture and composition of sediments

[1ch201-02] R9 [Regular Session]Origin, texture and composition of sediments

Chiar:Dan MATSUMOTO

Sat. Sep 4, 2021 8:00 AM - 8:45 AM ch2 (ch2)

[R9-O-1] Paleomagnetic and sedimentological study of deep sea sediments collected in the Northwest Pacific and its significance

*Maki Suzukawa[1], Kiichiro Kawamura[1], Yasuyuki Nakamura[2], Go Fujie[2] （1. Yamaguchi University, 2. JAMSTEC）

8:00 AM - 8:15 AM

[R9-O-2] [Invited]Anthropogenic impacts on coastal sedimentation and erosion in the Mekong Delta, Vietnam

*Toru Tamura[1,2] （1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo）

8:15 AM - 8:45 AM

©The Geological Society of Japan

Paleomagnetic and sedimentological study of deep sea sediments collected in the Northwest Pacific and its significance

*Maki Suzukawa[1], Kiichiro Kawamura[1], Yasuyuki Nakamura[2], Go Fujie[2]

1. Yamaguchi University, 2. JAMSTEC

はじめに

底層流堆積物は，堆積速度が速く，高精度に古環境が記録されていると言われ，大西洋では底層流堆積物中の有孔虫を用いた古環境研究が盛んに行われている．一方，太平洋では底層流堆積物の報告例は少なく，古環境研究はほとんど行われていない (Rebesco, 2014など)． しかし，日本近海では小笠原海溝～千島海溝に沿った南極底層水起源の底層流が報告されており (Owens and Warren, 2001など)，このような観測結果は，これらの海溝に沿って底層流堆積物を堆積させていることを予見させる． 本研究では，北西太平洋で採取された深海底堆積物を用いて，様々な研究手法を実施した．また，地震波探査記録の検討も行った．結果，それらに底層流が記録されていると結論付けた．

今後，

1) 粒子組成解析結果に基づいた北西太平洋における堆積メカニズムの検討
2) 火山灰分析による堆積物の年代測定と堆積速度の検討
3) 微化石等を用いた酸素同位体測定による古環境の推定

を目標とし，北西太平洋の底層流堆積物を用いた気候変動や底層流変動の総合的な解明を目指す．

研究航海

2018年9月1日～9月10日にかけにかけ行われた「白鳳丸」による学術研究航海KH-18-5で，４ｍヒートフロー・ピストンコアラーシステムを用いて，千島海溝に沈み込むプレートの直上でPC01 (214.5 cm)，PC02 (35 cm)，PC03 (44 cm)，PC04 (230 cm)と，それらに付随するパイロットコアPL01 (14 cm)，PL03 (44.5 cm)，PL04 (15 cm)が採取された．採取地点はいずれも水深5000 mを超える深海底である． また，同調査地域では，2009年6月19日～7月5日にかけて行われた「かいれい」よる学術研究航海KR09-06にて，マルチチャンネル地震波データKR09-06A2が取得されている．

KH-18-5の研究航海で採取された試料の概要

PC01は上層部 (0 –35 cm)は砂質層，中層部～下層部 (35 –214.5 cm)はシルト質粘土層で構成されており，パミス粒子に富むパミス優性層が7枚観察された．PC04は主に粘土で構成されており，上層部33 cm –45 cmの層準で火山灰層が確認された．

研究手法

研究手法として，山口大学にて，スミアスライド観察，粒子組成解析，またEPMAによる火山ガラスの主成分化学分析が行われた．また，高知大学の海洋コア研究センターにて，X-Ray CT画像撮影，古地磁気測定，帯磁率・帯磁率異方性測定，またITRAXによる元素分析などが実施された．さらに，地震波データKR09-06A2を用いて，地震波探査記録の解釈が行われた．

結果・考察

1) PC01では，パミスに富んだパミス優性層が確認された．粒子組成解析，帯磁率，帯磁率異方性の結果に着目すると，パミス優性層に向かって帯磁率は上昇傾向に，帯磁率異方性 (P値・F値)が減少傾向にあった．以上の結果から，パミス優性層に向かって徐々にパミスの割合が上昇する「逆級化構造」があることが分かった．それは，底層流の流れが徐々に強くなったことを表していると考えた．
2) 帯磁率異方性測定に基づいてステレオ投影図を作成した結果，はっきりとした粒子配列が示され，それは，Fujio and Yanagimoto (2005)に示される現在の底層流の流向と似ていた．
3) 調査地域近海の地震波探査解析結果から，Rebesco (2014)などに示される「浸食トランケーション」という底層流堆積物特有の浸食構造が確認された．

以上より，それらの堆積物に底層流が記録されていると結論付けた．

引用文献

© 2021 Geological Society of Japan

Owens and Warren (2001) Deep circulation in the northwest corner of the Pacific Ocean. *Deep Sea Research Part I*, **48**, 959-993.
Rebesco et al (2014) Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State-of-the-art and future considerations. *Marine geology*, **352**, 111-154.
Fujio and Yanagimoto (2005) Deep current measurements at 38˚N east of Japan, *JOURNAL of GEOPHYSICAL RESEARCH*, **110**, C02010.

Keywords: Contourite , Volcanic ash, Seismic survey, Microfossils

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Anthropogenic impacts on coastal sedimentation and erosion in the Mekong Delta, Vietnam

*Toru Tamura[1,2]

1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

東南アジアのメコン河は６か国を流れ下る世界有数の国際河川である．流域では6000万人の人口を抱え，今後さらなる経済成長が見込まれる．メコン河最下流のメコンデルタでは，過去30年間に水力発電・灌漑を目的とした河川ダムや川砂採取などの影響による深刻な土砂不足で海岸侵食が発生し，2005年以降には面積が縮小を始めたとされている．完新世において年間約5平方kmの速度で拡大してきたメコンデルタでは面積の縮小は異常事態である．ただし海岸の堆積・侵食作用には空間的・時間的な多様性があり，そうした観点からの海岸侵食，およびその人間活動との関連についての検討は十分ではない．ここでは，地層・地形形成過程や詳細な年代測定をふまえ，これらの観点からのメコンデルタ海岸の堆積・侵食作用についての見解を述べる． メコンデルタは河川，潮汐，波浪の３つのプロセスがバランスよく作用するデルタの典型例と考えられているが，実際には場所によりプロセスの相対的な寄与が異なる． 分岐流路は潮汐-河川遷移帯であり，河口近傍の海岸は潮位変動の影響を受けた波浪と河川との相互作用，デルタ南西部のカマウ半島では波浪と潮流による南西への泥の沿岸漂流が卓越する．さらに，雨季に多量の土砂が河口に流出し乾季に北東の強い季節風が波向を変える，モンスーンの影響が顕著である．海岸侵食はこの複雑な海岸システムの中で均一に起こっているわけではない．砂の多い河口域では堆積量が減少してものの侵食傾向には至っていない一方，カマウ半島の泥質海岸は大幅に侵食されており，合計としてデルタ平野の面積の縮小が認められる． 河口域では，河口砂州が海岸の数km沖合に成長し，それを核として海岸線が不連続に移動する現象が200年から600年の周期で過去2500年間繰り返されてきた．これは，海岸の土砂収支の見積りには，海岸線のマッピングとデルタ平野面積の評価では不十分で，浅海底の測深調査も必要なことを示している．カマウ半島の大幅な侵食は過去100年間にわたって続いており，近年の流域での河川ダムや川砂採取ではなく，土地利用の変化や三角州での運河網の構築などの影響が考えられる．このように堆積・侵食作用の複雑さや長期的傾向をふまえると，メコンデルタの海岸侵食を最近30年間の人間活動に単純に結びつける従来の見解には大きな疑問が残る．その一方で，ダムの河川流量に対する影響はメコン河上流域の巨大ダムの完成により2012年以降に強まっており，また川砂採取による分岐流路の地形変化が塩水くさびの挙動や堆積物運搬に影響するなど，人間活動の影響は，むしろ今後加速することが予測される．こうしたことから継続的なモニタリングを行い，メコンデルタ海岸の堆積・侵食作用のさらなる理解に努める必要がある．

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R11 [Regular Session]Geology and geochemistry of petroleum and coal

[1ch203-05] R11 [Regular Session]Geology and geochemistry of petroleum and coal

Chiar:Yuya Yamaguchi, Yoshikazu Sampei

Sat. Sep 4, 2021 9:00 AM - 10:00 AM ch2 (ch2)

[R11-O-1] Characteristics of external shape and internal structures of the uppermost Quaternary Shizunai submarine landslide in Hidaka Trough, offshore southern Hokkaido

*Hiroyuki Arato[1], Yuzuru Yamamoto[2], Yasuhiro Yamada[3], Shun Chiyonobu[1], Kazuya Shiraishi[4]

（1. Graduate School of International Resource Sciences, Akita University, 2. Graduate School of Science, Kobe University, 3. Graduate School of Engineering, Kyushu University, 4. Research Institute for Marine Geodynamics, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology）

9:00 AM - 9:15 AM

[R11-O-2] [Invited]Recent developments in natural gas evaluation using stable and clumped isotopes

*Amane Waseda[1]（1. Japan petroleum exploration co., ltd.）

9:15 AM - 9:45 AM

[R11-O-3] Uppermost Cenozoic calcareous nannofossil biostratigraphy of the hot spring wells in the onshore Tokyo and Kanagawa area, central Japan

*Shun Chiyonobu[1], Naoki Sakuyama[1]（1. Akita Univ.）

9:45 AM - 10:00 AM

©The Geological Society of Japan

Characteristics of external shape and internal structures of the uppermost Quaternary Shizunai submarine landslide in Hidaka Trough, offshore southern Hokkaido

*Hiroyuki Arato[1], Yuzuru Yamamoto[2], Yasuhiro Yamada[3], Shun Chiyonobu[1], Kazuya Shiraishi[4]

1. Graduate School of International Resource Sciences, Akita University, 2. Graduate School of Science, Kobe University, 3. Graduate School of Engineering, Kyushu University, 4. Research Institute for Marine Geodynamics, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

１．はじめに

海底地すべりが誘発する地すべり津波には，近年，防災上の注意が喚起されており，その規模や伝搬様式の数値シミュレーションが進んでいるが，多くは単純な形状の滑動体を前提としている．これは，海底地すべり現象の堆積地質学的な報告例が僅少なことが一因である．地すべり津波の挙動を正しく予測するために，海底地すべりの発生機構や滑動様式を堆積地質学的に正確に把握する必要がある．そこで著者らは，日高沖の「静内海底地すべり堆積体（以下，静内SLS）」が海底面直下に分布し震探上の分解能もよくコア試料の採取にも有利な点に着目し，堆積地質学的に現実的で数値シミュレーションに適用し得る地すべりモデルの構築を目指している．

２．静内SLSの特徴

日高トラフを埋積する厚い砕屑物には，多数かつ大量の海底地すべり堆積体が含まれている[1, 2]．三次元震探の解釈からは，供給源方向に基づき8系統の，少なくとも86の第四系滑動体が確認された[3]．静内SLSは，静内系統のもっとも新しい地すべり滑動体である[4]．同滑動体は北海道南部日高沖約40km，水深約1,000m前後の陸棚斜面に位置し，南西方向に滑動した形跡をもつ．ある特定の層理面をすべり面とし，厚さ～150m，長さ40km以上，幅約12kmの規模を有する．外郭は同層準の非変形層と垂直で明瞭な境界面で接し，側壁は直線的，下流側の前面は弓状である．層厚は，頭部外郭部で厚く尾部へ向かって減少する．また，頭部中央部から尾部中軸部にかけて上面に中央凹陥をもつ[5]．

頭部は連続性の悪いスランプ褶曲で構成され，軸面は外郭側に傾倒し前面の弓状外壁と同心円をなす．滑動体内部の同心円状構造は，福島県沖の更新統でも観察される[6]．尾部の反射面は不明瞭である．中央凹陥部で滑動体の層厚は薄いが，内部に残存ブロックを含む（図）[7]．

３．海底地すべり研究の試み

海底地すべりは，構造傾動，堆積速度変化，相対海水準変動，メタンハイドレートの分解などが原因とされるが，主因を理解するためには「いつ，どこが，どのような速度で」滑動したかを特定する必要がある[8, 9]．広い日高トラフ陸棚斜面のある一部に過ぎない静内SLSが滑動したことは，誘因が広域的であるにせよ弱層の存在が局所的であったためと，著者らはみている．しかし，こうした仮説を証明するためには，すべり面および同層準の滑らなかった面の岩相や物性の情報が不足している．

一方で，隣接する浦河SLSを掘り抜いた試錐の堆積物試料からは，滑動体と下位の非滑動堆積物とに大きな岩相の差異は観察されない[3]．これは，地すべりの範囲を決定づけるものが岩相やすべり面の物性の差は微視的なものでしかない可能性を示唆する．また，その滑動体基底面が産ガスを確認した区間直近に相当する[10]ことは，僅かな孔隙の差や炭化水素の存在も弱層に関係する可能性を示唆する．

現在著者らは，静内SLS基底部のすべり面が，周囲の同層準の滑らなかった面となにがどのように異なるのか，新データ取得とその検討計画を策定中である．

文献

[1] 辻野・井上, 2012, 海洋地質図77; [2] Noda et al., 2013, Geochem. Geophy. Geosys.; [3] 小瀧MS, 2021, 秋大卒論; [4] Arato, 2019, JpGU Abst.; [5] 荒戸, 2018, 日本堆積学会要旨; [6] Arato and Martizzi, 2019, IAS

© 2021 Geological Society of Japan

Abst.; [7] 荒戸, 2019, 日本地質学会要旨; [8] Kawamura et al., 2014, Mar. Geol.; [9] 川村他, 2017, 地質雑; [10] 石油資源開発(株), 2020, 調査報告書.

Keywords: submarine landslide, Hidaka Trough, Shizunai Submarine Landslide

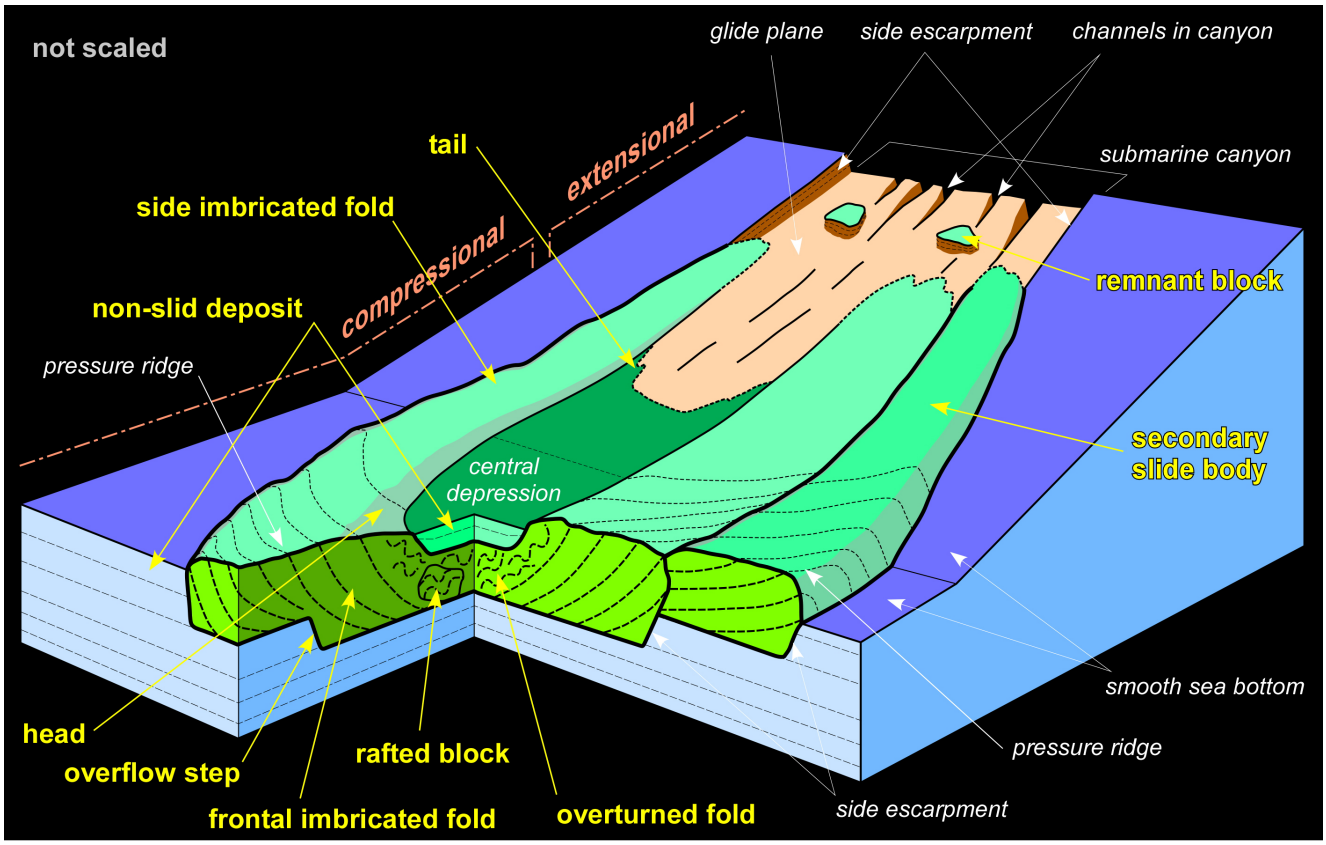


図　静内海底地すべり堆積体の概念モデル

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Recent developments in natural gas evaluation using stable and clumped isotopes

*Amane Waseda[1]

1. Japan petroleum exploration co., ltd.

天然ガスの起源分類

1960年代頃から天然ガスの炭素・水素同位体組成が測定され始めると，メタンの炭素同位体組成と$C_1/(C_2+C_3)$との二成分図がバーナード図（Bernard *et al.*, 1976）として微生物起源と熱分解起源の区別に使われるようになった。メタンの炭素同位体組成と水素同位体組成の二成分図も同様に広く使われている。この図では，微生物起源と熱分解起源の区別に加えて，微生物起源ガスの主要な生成経路である二酸化炭素還元と酢酸分解の二種類の区別に使われている。1980年代のドイツでは，熱分解起源ガスについてバーナード図上で起源有機物の種類（海洋有機物と陸源有機物）を区別できるとする報告がなされたが，現在では一般的に広く適用できる分類ではないことが明らかになっている。

Milkov and Etiope (2018)はその時点までに公表されていた20,000試料を越えるデータを用いて，ガスの起源を以下の5つに大分類している：熱分解起源，微生物起源（CO_2還元），微生物起源（酢酸分解），二次的微生物起源，非生物起源。個数としては熱分解起源が半数以上を占め，次に多いのが微生物起源（CO_2還元）と二次的微生物起源である。二次的微生物起源については，主に2000年以降にその存在が認識されてきた分類である。詳細は次に述べる。

二次的微生物起源ガス

微生物起源ガスの多くは地層中の有機物が埋没して分解される過程で生成した二酸化炭素，水素，酢酸などを基にメタン生成菌がメタンを生成する過程でできる。一方，二次的微生物起源ガスとは油の生物分解（biodegradation）に伴ってメタン生成菌が作るガスである。油・ガスの貯留層中で油が生物分解を受けると二酸化炭素が生成する。メタン生成菌は生成した二酸化炭素を水素で還元することによってメタンを生成する。したがって，共存する油・ガスの組成には通常，生物分解の影響が認められる。また，貯留層中には油とともに熱分解起源ガスが共存していることが多いため，二次的微生物起源ガスは熱分解起源ガスと混合している場合が多い。

シェールガス

シェールガスの主要な起源は熱分解起源と，二次的微生物起源である（Milkov *et al.*, 2020）。米国のMarcellus, Haynesville, Eagle Ford, BarnettやアルゼンチンのVaca Muerta，中国のWufeng-Longmaxiなど，経済的に最も成功しているシェールガスは熱分解起源である。特にMarcellus, Haynesvilleなどガスの埋蔵量が多いと推定されているシェールガスは熟成が進んだ（熟成後期の）ガスを主体とする。一方，米国のAntrim，New Albanyなどの二次的微生物起源に分類されるシェールガスは比較的埋蔵量が少ないものが多い。

メタンのクランプト同位体

近年ガスの生成深度（温度）に有力な情報をもたらすと期待されている技術の一つにメタンのクランプト同位体がある。一つの分子に重い同位体が二つ以上含まれる分子をクランプト同位体とよぶ。メタンの場合，CH_4のCとHに^{13}CとDが同時に入った$^{13}CH_3D$が最も存在度の高いクランプト同位体である。重い同位体は高い結合エネルギーを持つため，凝集（Clumping）しやすい性質をもつ。生成時に分子内部での同位体平衡が成り立っていれば，メタンのクランプト同位体の存在度は生成温度の関数となり，起源を問わず生成温度を知ることができる。

メタン・クランプト同位体のデータは2015年頃から公表され始めた。これまでの公表データをまとめたStolper *et al.*（2018）では，湖沼などの地表近くや牛の胃なで生成した微生物起源ガスの場合，クランプト同位体は異常な値を示し，温度を反映していないことが明らかになっている。一方，熱分解起源や地下深部の微生物起源ガスの場合は，想定される温度を示す場合が多い。この違いはメタンの生成速度が地表近くの環境では速いために同位体非平衡に，地下深部の環境では地質時間をかけてメタン生成が起こるために同位体平衡に

© 2021 Geological Society of Japan

なりやすいことが指摘されている。

引用文献

Bernard *et al*. (1976) *Earth Planet. Sci. Lett.* **31**, 48–54., Milkov and Etiope (2018) *Org. Geochem.* **125**, 109-120., Milkov *et al*., (2020) *Org. Geochem.* **143**, 103997., Stolper *et al*., (2018) Geol. Soc. London, Sp. Publ. **468**, 23-52.

Keywords: Natural gas, Origin, Stable isotope, Clumped isotope

© 2021 Geological Society of Japan

Uppermost Cenozoic calcareous nannofossil biostratigraphy of the hot spring wells in the onshore Tokyo and Kanagawa area, central Japan

*Shun Chiyonobu[1], Naoki Sakuyama[1]

1. Akita Univ.

東京を中心とする関東地域では，都市部における地震災害に対応する防災の観点から，平野地下に厚く堆積する三浦層群や上総層群に相当する地層の分布や基盤構造が注目されている．本講演で対象とする両層群およびその相当層は房総半島のみならず，東京から埼玉一帯にかけて広く分布するものの，人口が密集する東京およびその近郊では地表に露出することはほとんどない．そのため，関東平野の地下地質を明らかにするには掘削調査が不可欠である．しかし，一般的に両層群相当層は層厚や岩相の側方変化が激しいため，掘削調査により得られたコア，カッティングスおよび物理検層記録による地層対比は困難である．したがって，微化石による詳細な坑井間対比が必要とされるが，掘削調査地点の偏りなどが原因で，広域における詳細な年代データに乏しい．これまでに千代延ほか（2007）により，石灰質ナンノ化石層序に基づいた東京都中央部の新第三系地下層序区分が明らかにされたが，やはり広域的な情報は少なく，三浦層群および上総層群相当層の平面的な分布形態や層厚変化を含めた三次元構造は明らかとなっていない．
以上の点を踏まえ，講演者らは東京都大田区および神奈川県横浜市で温泉開発を目的に1000 m以上の掘削が行われている坑井試料の石灰質ナンノ化石を検討した．本講演では，神奈川県横浜市の二坑井（戸塚温泉井，瀬谷温泉井）および東京都大田区の一坑井（下丸子温泉井）の岩相層序と石灰質ナンノ化石層序の調査結果に基づいて，関東平野南部地域の堆積盆地埋積過程について報告する．
岩相は，各坑井ともに全層準を通じて細粒～極細粒砂岩および砂質シルト岩を主とし，礫岩および凝灰岩を豊富に含む．また，一部の深度で礫岩中に花崗岩が顕著に認められる．石灰質ナンノ化石層序結果は，これらの地層が房総半島に分布する安房層群（三浦層群相当）安野層から上総層群黄和田層に相当し，およそ1.2～3.8 Maの年代を示した．堆積速度の検討からは，全層準を通じて明瞭な堆積間隙は認められず，全坑井において速度変化はあるものの連続的な累重が指摘された．また，関東平野南部の層厚の変化に注目すると，2.2から1.7 Maを境にして，堆積の中心が現在の神奈川地域（西部地域）から東京～千葉地域（東部地域）へ大きく移動したことが明らかとなった．また，その変化パターンは西部から東部への前進的な堆積盆の埋積および陸化過程を表す．

引用文献

千代延俊・佐藤時幸・石川憲一・山﨑誠, 2007: 東京都中央部に掘削された温泉井の最上部新生界石灰質ナンノ化石層序. 地質雑, 113 (6), 223-232.

Keywords: Uppermost Cenozoic, Kazusa Group, Calcareous nannofossil biostratigraphy

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R10 [Regular Session]Origin of carbonate rocks and related global environments

[1ch206-10] R10 [Regular Session]Origin of carbonate rocks and related global environments

Chiar:Fumito SHIRAISHI, Natsuko Adachi

Sat. Sep 4, 2021 10:15 AM - 11:45 AM ch2 (ch2)

[R10-O-1] [Invited]Carbonate rocks in the Eoarchean: Their origins and depositional conditions

*Tsuyoshi Komiya[1] （1. Komaba, The University of Tokyo）

10:15 AM - 10:45 AM

[R10-O-2] Age-specific characteristics of late Cambrian Furongian microbialites in North China: key to deciphering the changes from Cambrian to Ordovician biota

*Yoichi EZAKI[1], Natsuko ADACHI[1], Jianbo LIU[2] （1. Osaka City University, 2. Peking University）

10:45 AM - 11:00 AM

[R10-O-3] Differences in rock textures due to different diagenetic history in dolomites of the Daito Formation, Minami-daito Island.

*Hiroki Matsuda[1], Rikuya Ohtsuka[2] （1. Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, 2. Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University (Presently ENEOS Corporation)）

11:00 AM - 11:15 AM

[R10-O-4] Interpretation of stalagmite oxygen isotopes: case studies from Japan

*Akihiro Kano[1] （1. The University of Tokyo）

11:15 AM - 11:30 AM

[R10-O-5] Abiotic and biotic processes controlling travertine deposition: Insights from eight hot springs in Japan

*Fumito SHIRAISHI[1], Yusaku HANZAWA[1], Yuki NAKAMURA[1], Yuki ENO[1], Asayo MORIKAWA[1], Rafael França DE MATTOS[2], Jiro ASADA[3], Leonardo Fadel CURY[2], Anelize Manuela BAHNIUK[2] （1. Hiroshima University, 2. Federal University of Parana, 3. INPEX CORPORATION）

11:30 AM - 11:45 AM

©The Geological Society of Japan

[Invited]Carbonate rocks in the Eoarchean: Their origins and depositional conditions

*Tsuyoshi Komiya[1]

1. Komaba, The University of Tokyo

炭酸塩岩は主に炭酸塩鉱物から構成される堆積岩で、顕生代においては炭酸塩骨格を形成する生物化石のホストや地球表層環境を記録する地球生命進化のアーカイブとして広く活用されている。一方で、初期地球では、大気の高CO_2濃度ゆえに、海洋のpHも現在に比べ低いとされ、堆積成炭酸塩岩は形成されなかったとする考えも根強い。実際、西グリーンランド・イスア表成岩帯に産する炭酸塩岩は堆積成とする解釈もある一方で、玄武岩や超塩基性岩の炭酸塩岩化作用で生じた二次的なものであるという解釈が支配的であった。本発表では原太古代の三つの地質体に産する炭酸塩岩の産状や化学組成についてまとめ、初期地球の表層環境について言及するとともに今後の研究について触れたい。
イスア表成岩帯は超塩基性岩、塩基性岩、チャート、炭酸塩岩、縞状鉄鉱層および砕屑性堆積岩から構成され、37～38億年前に形成された付加体である。そこには、礫岩と互層するタイプや玄武岩質海洋地殻の最上部に見られるタイプなどの炭酸塩岩が存在することは知られていたが、堆積成であることを示す明白な指標がなかったために、その起源は不明確であった。しかし、2000年代末頃から、希土類元素パターンからイスア表成岩帯に化学沈殿岩由来の炭酸塩岩が存在することが示され、さらに、2016にはストロマトライト構造を持つ炭酸塩岩が存在することが報告され、炭酸塩岩研究が再び動き出した。私たちは炭酸塩岩に伴われる岩相をもとに、チャートと互層するタイプと礫岩と互層するタイプに分類し、付加体地質学に従い、前者を遠洋域、後者を大陸縁で堆積したと考えた。両者は化学沈殿岩由来の指標であるY異常をもつ。また、前者の方がより大きなEu正異常を持ち、熱水の特徴をより強く持つ一方で、後者の方がRb, Ba, Kなどの陸源の特徴が強くみられた。その化学的特徴は付加体地質学から推定される造構場と調和的である。
ラブラドル北東部サグレック岩体の39億年前の表成岩帯にも炭酸塩岩が存在する。それらは、縞状鉄鉱層と玄武岩の間または泥質岩と互層して産し、それぞれ中央海嶺近辺と大陸縁で生じたと考えられる。それらはともにEu、YやUの正異常を持つが、前者の方がEu異常が大きく、Y異常が小さい。一般にUは酸化還元鋭敏元素の一つとされ、酸化的な陸上・海洋条件の時にThに比べて海洋中のU濃度が高くなるとされる。そのため、この結果は初期太古代においても完全な無酸素ではなく、UとThがデカップリングする程度には酸化的であったことを示す。そこで、当時の海洋のpHを5.8~6.3であったと仮定して、FeとUのpH-Eh図から当時の酸化還元状態を推定した結果、Ehは-0.1~0.0Vとなった。また、イスア表成岩帯とサグレック岩体に産する炭酸塩岩は現世の遠洋炭酸塩堆積物に比べて、Ni, V, Co, Znに富むことから、原太古代の海洋はこれらの元素に富んでいたと考えられる。加えて、これらの炭酸塩岩の化学組成のばらつきを、独立成分分析を用いて統計解析し、calcite、dolomite、珪化(SiO_2)、砕屑性物質、鉄酸化物の構成成分に分離した。
中太古代の玄武岩質海洋地殻では炭酸塩岩化や珪化が顕著に見られ、中央海嶺でのアルカリ性の熱水変成作用によると考えられている。一方で、緑色片岩相上部から角閃岩相以上の変成作用を受けた原太古代の地質体では、当時の方が大気CO_2濃度がより高かったと推測されるのに、顕著な炭酸塩岩化の証拠は得られていないと言った矛盾があった。ところで、ヌブアギツック表成岩帯の苦鉄質岩はCaOに乏しく普通角閃石ではなく、カミングトン閃石に富むといった特徴を持ちその起源は明らかにされていなかった。ルチルや球状石英が多いといった鉱物学的特徴や主成分元素組成は中原生代で見られる炭酸塩岩化された玄武岩と類似することからこの苦鉄質岩は炭酸塩岩化された玄武岩が、その後より高度な変成作用を受けて脱炭酸したものであると考えられる。このことは、原太古代においても、アルカリ熱水変成作用は起きていたことを示す。
最後に、私たちが現在行なっている研究を紹介する。一つは、炭酸塩岩の化学組成を用いた地球史を通じた古海洋組成の推定である。もう一つは、サグレックとヌブアギツック表成岩帯に産するチャート、炭酸塩岩、砕屑性堆積岩中の炭質物の全岩や局所微量元素および同位体分析である。後者の結果から、当時すでに生物が多様であったことが見えてきている。

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Carbonate rocks, Evolution of the earth and life, Carbonization of basaltic crusts, Eoarchean, Surface environment, The early Earth

© 2021 Geological Society of Japan

Age-specific characteristics of late Cambrian Furongian microbialites in North China: key to deciphering the changes from Cambrian to Ordovician biota

*Yoichi EZAKI[1], Natsuko ADACHI[1], Jianbo LIU[2]

1. Osaka City University, 2. Peking University

“カンブリア爆発”とオルドビス紀生物大放散(Great Ordovician Biodiversification Event: GOBE)は共に古生代前半に見られる生物の“放散現象”として知られている．前者は高次分類群での多様性で，後者は低次分類群での多様化で表現される場合が多い．相当する期間は，前者では前期から中期カンブリア紀であるのに対し，後者ではオルドビス紀全般に渡る．従って，両放散現象の関係を知るには後期カンブリア紀における生物相の情報が鍵になる．本発表では，北中国山東省に広く分布する炒米店層（芙蓉世［排碧期，江山期，第十期］）の微生物岩の特性に注目する．

微生物岩は炒米店層のとくに下部から中部にかけて発達し，典型的な「柱状・ドーム状ストロマトライト」の他に，「複雑に分岐する形状を示すストロマトライト(“maceriate microbialite”）」や「ドーム状スロンボライト」で特徴付けられる．微生物岩は巨視的には数十cmから数m規模のバイオハームやバイオストロームを形成する．微生物岩の本体部はしばしば強くドロマイト化作用を被っている．ストロマトライトのコラム部は，ミクライト部と骨針を欠くメッシュ状・バーミフォーム状の海綿組織部の互層，石灰質微生物の*Girvanella*やミクライト質のクロッツから構成される．微生物岩の本体部間は，ミクライト，ペロイド状粒子，三葉虫の生砕片などで充填される．炒米店層では石灰質扁平礫岩が頻繁に認められるが，微生物岩が石灰質扁平礫岩を基盤として，その直上に形成される場合もある．炒米店層よりも下位の張夏層（後期鳥溜期～前期古丈期）の微生物岩は，石灰質微生物である*Epiphyton*が走光性を示しながら集合し，スロンボライトを形成する場合が多い．局所的に，骨針を有し外形が明瞭なanthaspidellid lithistid海綿（*Rankenella*）やカンブリア紀サンゴ類（*Cambroctoconus*）が豊富に産出する．部分的に形成されているストロマトライト中では，炒米店層と同様にミクライト部と海綿組織部が認められる．

排碧期にはSteptoean positive carbon isotope excursion (SPICE)事変で代表される顕生累代の中でも最大規模の海洋無酸素事変が生じ，それに伴い大気中の酸素濃度が飛躍的に高くなっている．また，プランクトンの劇的な多様化（Plankton Revolution）が起きている（Saltzman et al., 2011）．芙蓉世では無酸素および硫化(euxinic)条件の海洋環境が支配的であり(Gill et al., 2011)，大型の造礁骨格生物がきわめて乏しい．現生海綿類の本体中には多種多様な微生物類が宿っており，海綿のみを対象にしてその生理的・代謝的な特性を議論することは困難である．カンブリア紀においても共存していた微生物類の活動による海綿本体の選択的な溶解や分解作用が，微生物岩を構成するミクライト，ペロイド状粒子，クロッツなどの生成と深く関与した可能性がある．その場合，ストロマトライト中のラミナ状組織の形成も「海綿と微生物類との共同体内での相互作用」の観点から調べていく必要がある．炒米店層の生物相は，還元環境下でも生息できる微生物類や骨格生物との関係から，張夏層とは別というよりも張夏層からの“生き残り”とも考えられる．炒米店層の生物相を“カンブリア爆発”による生物相の絶滅事変による結果と捉えるのか，GOBEの始まりと考えるのかは，今後，カンブリア紀からオルドビス紀にかけての生物相の放散現象の実態を考えていく際の鍵となる．

引用文献

Gill et al. (2011) Geochemical evidence for widespread euxinia in the later Cambrian ocean. Nature, 469, 80-83.

Saltzman et al. (2011) Pulse of atmospheric oxygen during the late Cambrian. PNAS, 108, 10, 3876-3881.

Keywords: Cambrian, Ordovician, microbialite, diversification

© 2021 Geological Society of Japan

Differences in rock textures due to different diagenetic history in dolomites of the Daito Formation, Minami-daito Island.

*Hiroki Matsuda[1], Rikuya Ohtsuka[2]

1. Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, 2. Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University (Presently ENEOS Corporation)

沖縄県南大東島は，沖縄本島の東方約340kmに位置する隆起環礁からなる海洋島であり，地表および地下浅部（少なくとも深度約50mまで）には，中新～更新統大東層が広く分布する．大東層は，サンゴ礁起源の石灰岩とドロマイトからなり，3つの堆積ユニット（下位から堆積ユニットI，IIならびにIII）で構成され，その堆積年代は9.5～6.5Ma，6.5～6.0Ma，6.0～2.5Maである（島津ほか，2015；島津，2018）．ドロマイトは，島東部と島東側縁辺部に広く分布し，地下浅部では堆積ユニット境界を横切って，下部ドロマイトと上部ドロマイトの2つのドロマイト層準が存在する．ドロマイトは，海水ドロマイト化作用により形成されており（橋本，2005），下部ドロマイトのドロマイト化年代は5.6～4.8Ma（一部1.7Ma），上部ドロマイトは6.7～6.3Ma，5.0～4.2Ma，ならびに3.3～2.4Maの複数のドロマイト化年代を示す（島津ほか，2015；島津，2018）．大東層炭酸塩岩の岩石組織や貯留岩性状については，島津ほか（2018）により堆積ユニットIII中の上部ドロマイトの検討はなされているが，堆積ユニットI中の下部・上部ドロマイトについては未だ十分に検討されていない．

そこで本研究では，下部・上部ドロマイトの岩石組織の層位的・地理的相違，ならびに貯留岩性状とその規制要因を明らかにするために，島東側縁辺部と島中央部で掘削された2本の試錐試料を用いて岩石組織の検討を実施した．前者は堆積ユニットIとIIIからなり，大部分が下部・上部ドロマイトで構成されるのに対し，後者は堆積ユニットI～IIIの石灰岩からなり，堆積ユニットIの一部に下部ドロマイトが含まれる．これら試錐試料について，肉眼・薄片観察により岩石組織と続成作用の関係を明らかにするとともに，貯留岩性状の検討を行った．特に堆積年代とドロマイト化年代の関係と島内の地理的位置に着目し，異なる堆積ユニット間での上部ドロマイト，堆積ユニットI内での下部・上部ドロマイト，堆積ユニットI内での異なる初生岩質の下部ドロマイト，ならびに縁辺部と中央部の下部ドロマイト，という異なるセッティングにあるドロマイトの岩石組織について比較・検討した．

検討の結果，ドロマイトのセッティングの違いにより岩石組織には，大きな相違があることが明らかとなった．島東側縁辺域では，堆積ユニットI・IIIいずれの上部ドロマイトも，初生堆積物の堆積からドロマイト化までの時間間隙がきわめて短いため，堆積物は顕著な淡水性続成作用を受けることなく，堆積時あるいは堆積直後の海水ドロマイト化作用により，アラレ石や高Mg方解石からなる生物遺骸粒子はドロマイト化されている．一方，堆積後2Ma程度経過した後にドロマイト化作用を受けた堆積ユニットIの下部ドロマイトでは，初生的に不安定炭酸塩鉱物からなる粒子の多くは，淡水性続成作用により低Mg方解石へと安定化し，現在も方解石として保存されており，ドロマイトの多くはセメントとして存在する．また堆積ユニットⅠの上部ドロマイトは，堆積ユニットIIIに比べドロマイトセメントが卓越し，緻密な貯留岩性状の悪いドロマイトとなっている．これは，堆積ユニットⅠでは初生堆積物のドロマイト化作用に加え，後の複数回のドロマイト化により過ドロマイト化作用が進んだと考えられる．

一方，島中央部の堆積ユニットⅠの下部ドロマイトでは，初期の淡水性続成作用によりサンゴ等が溶脱した岩石組織が形成された後，自形ドロマイト結晶による結晶間孔隙が形成されており，これらは現在もよく保存されている．そのため縁辺部に比べて明らかに貯留岩性状は良好である．また，この組織は島中央部の地表に分布する堆積ユニットIIIの上部ドロマイトで認められる組織とほぼ同様であることから，ドロマイト化後，5Ma程度経ているにも関わらず，その後は続成作用による大きな組織の改変が起きていないことを示している．

橋本直明，2005，海水ドロマイト化作用のメカニズム：沖縄県南大東島大東層を例に．熊本大学学位論文，130p.

© 2021 Geological Society of Japan

島津　崇，2018，新生代炭酸塩岩の貯留岩特性とそれに及ぼす近地表続成作用の影響ー沖縄県南大東島大東層を例にー．熊本大学学位論文，179p.
島津　崇・八木正彦・淺原良浩・峰田　純・松田博貴，2015，南大東島のサンゴ礁発達史．月刊地球，**37**，514-520.
島津　崇・八木正彦・切明畑伸一・松田博貴，2018，新生代炭酸塩ビルドアップの孔隙システムと近地表続成作用の影響ー沖縄県南大東島大東層の例ー．石技誌，**83**，81-93.

Keywords: Daito Formation, Minami-Daito Island, dolomite, dolomitization, rock texture, reservoir rock

© 2021 Geological Society of Japan

Interpretation of stalagmite oxygen isotopes: case studies from Japan

*Akihiro Kano[1]

1. The University of Tokyo

石筍は陸域古気候記録媒体として優れている。U-Th同位体による正確な年代モデルを基盤に，石筍の同位体・微量元素記録は過去50年間の気候変動を反映すると思われるパターンを提示してきた。中でも酸素同位体の記録は世界中から報告されており，氷期／間氷期のパターン，1000年スケール変動，北半球と南半球の対称性などが後期第四紀のモンスーン降水強度により説明されている。原理的には石筍方解石の酸素同位体比は滴下水の同位体比（降水の平均値に対応する）と温度（洞窟の場合，ほぼ年間平均気温に対応する）の２つに支配される。しかし，多くの研究では降水の酸素同位体比の変動が卓越すると解釈され，それに基づいて気候変動が論じられてきた。例えば，有名な南部中国の石筍酸素同位体記録は氷期／間氷期のサイクルで5‰ほどの振幅で変動し，東アジア夏季モンスーン (EASM) 強度の変動を示すと提案された。しかし，季節的に卓越するインドモンスーン降水の比率などの他の要因も指摘されている。
これらの議論を検証するために，インドモンスーンの影響が無視できる日本列島の石筍記録は格好な題材と言える。広島・岐阜・三重県で採集された石筍は中国石筍と似た酸素同位体比の傾向を示すが，氷期／間氷期の変化幅は2‰ほどであり，中国よりもはるかに小さい(Shen et al., 2010; Mori et al., 2018)。また，過去8万年間の三重石筍の記録は海水酸素同位体と良く一致する点で特徴的である。これは三重の洞窟もたらされる降水のソースが太平洋の海水であることを考えると当然のことと言える。海水同位体の変動を差し引くと，三重石筍の変化は温度変化でほぼ説明がつき，中期完新世と最終氷期の温度差は9ºC，ハインリッヒイベントでの寒冷化の幅は3ºC以下と見積もられる (Mori et al., 2018)。すなわち，EASM強度は氷期／間氷期で変化しただろうが，日本の石筍記録にはあまり影響しなかったのだろう。また，海水準低下による氷期での東シナ海の陸化の影響も見逃せない。氷期では，中国の洞窟の大陸度（海岸線ー水蒸気ソースからの距離）が増加し，レイリー分別により降水の酸素同位体比は増加したと思われ，これが氷期／間氷期コントラストの増加につながった。この効果は日本では小さかったと思われる。
新潟県で採集された石筍も海水酸素同位体比の重要性を示す。洞窟がある糸魚川市では，日本海から供給された水蒸気が冬に大量の雪をもたらし，それが特異的な石筍記録に反映される (Sone et al., 2013)。最終氷期の極端に低い酸素同位体比は温度低下でも強まった東アジア冬季モンスーンでも説明がつかない。最もありえそうな要因は海洋堆積物からも指摘されている氷期における日本海表層海水の酸素同位体比の低下であり，太平洋の記録と比較すると，その低下幅は約3‰であった (Amekawa et al., 2021)。
日本における石筍研究は端緒についたばかりである。酸素同位体比は全球的なシグナルを記録しているが，それは気温と海水の酸素同位体比の変化によるところが大きい。モンスーン強度の効果，すなわち「量的効果」は日本の石筍記録では疑わしく，中国の記録でも再評価されるべきであろう。今後は，炭酸凝集同位体温度計などを併用し，石筍酸素同位体比に対する水の同位体比と温度の効果を定量的に分離する試み (Kato et al., 2021)，あるいは降水の酸素同位体比のデータを収集し，「量的効果」の強さを定量化することが大切になる。

Amekawa, S. et al., 2021. Progress in Earth and Planetary Science, 8(1), 1-15.
Kato, H. et al., 2021. Quaternary Science Reviews, 253, 106746
Mori, T., et al. 2018. Quaternary Science Reviews, 192, 47-58.
Shen, CC. et al., 2010. Quaternary Science Reviews, 29, 3327-3335.
Sone, T. et al., 2013. Quaternary Science Reviews, 75, 150-160.

Keywords: Stalagmite, Oxygen isotopes, Paleoclimate

© 2021 Geological Society of Japan

Abiotic and biotic processes controlling travertine deposition: Insights from eight hot springs in Japan

*Fumito SHIRAISHI[1], Yusaku HANZAWA[1], Yuki NAKAMURA[1], Yuki ENO[1], Asayo MORIKAWA[1], Rafael França DE MATTOS[2], Jiro ASADA[3], Leonardo Fadel CURY[2], Anelize Manuela BAHNIUK[2]

1. Hiroshima University, 2. Federal University of Parana, 3. INPEX CORPORATION

トラバーチンは温泉性の炭酸塩沈殿物であり，微生物岩や石油貯留岩のアナログとして注目されている．トラバーチン形成を制御する非生物的・生物的過程を明らかにするため，日本の８つの温泉（二股，古遠部，奥奥八九郎，入之波，木部谷，長湯，塩浸，妙見）において水化学分析，鉱物分析，微小電極測定，顕微鏡観察を行った．検討を行ったトラバーチン沈殿場にはしばしばシアノバクテリアが生息しており，それらの多くは結晶核形成に不適な非酸性EPSを持っているために高過飽和度条件であるにも関わらず石灰化しておらず，しばしば孔隙形成に寄与していた．トラバーチン表面を流れる水は，一般的に下流へ向かうCO_2脱ガスによって炭酸化学平衡がシフトし，$CaCO_3$飽和度が上昇していた．微小電極による実測からは，そのCaCO$_3$飽和度上昇に起因して無機沈殿が起きていることが示された．しかしながら，トラバーチン表面に厚いシアノバクテリアマットを伴う試料では，水の化学組成が同じであってもより大規模な無機沈殿が起きており，これは恐らく微生物マットによる懸濁結晶のトラップによって結晶成長できる表面積が増大したためと考えられる．下流に向かうCO_2脱ガスはまた，$CaCO_3$飽和度昇に加えてCO_2緩衝の低減を引き起こし，光合成誘導$CaCO_3$沈殿に適した条件を作り出していた．しかしながら微小電極での実測では，そのような条件においても光合成誘導$CaCO_3$沈殿の寄与は小さかった．これは光合成微生物の密度が必ずしも高くなく，また光合成による沈殿抑制も起きていることなどによるものと考えられる．本研究で検討を行った８つの温泉における$CaCO_3$沈殿物形成への平均的寄与は，光合成誘導沈殿が16%，有機物の酸性官能基へのCa^{2+}吸着が3%，非生物的沈殿が81%であり，このことはトラバーチン形成において非生物的過程が卓越していることを示している．トラバーチンの鉱物組成は，長湯温泉ではアラゴナイトのみ，木部谷温泉ではカルサイトのみ，それ以外ではアラゴナイトおよびカルサイトであった．アラゴナイトとカルサイトの相対的割合は，水のMg/Ca比や温度などよりもMg^{2+}濃度およびSO_4^{2-}濃度と強く相関しており，それらがトラバーチンにおける$CaCO_3$多形をコントロールする重要な要因であることが示唆される．

© 2021 Geological Society of Japan

[1ch211-13] T2.［Topic Session］Submarine Mass Movements and Their Consequences

Chiar:Kiichiro KAWAMURA

Sat. Sep 4, 2021 1:00 PM - 2:15 PM ch2 (ch2)

[T2-O-1] [Invited]Risk assessment of submarine landslide tsunami for important coastal facilities

*Masafumi Matsuyama[1]（1. Central Research Institute of Electric Power Industry）

1:00 PM - 1:30 PM

[T2-O-2] Flow transformation of sandy debris flow: Investigation of turbidity cloud generation based on a two-layered shallow-water model

*Yuichi Sakai[1], Hajime NARUSE[1]（1. Kyoto Univ.）

1:30 PM - 1:45 PM

[T2-O-3] [Invited]Tsunami simulations using a non-hydrostatic two-layer flow model and detailed bathymetry of submarine mass movements

*Toshitaka Baba[1]（1. Tokushima University）

1:45 PM - 2:15 PM

©The Geological Society of Japan

[Invited]Risk assessment of submarine landslide tsunami for important coastal facilities

*Masafumi Matsuyama[1]

1. Central Research Institute of Electric Power Industry

海底地盤変動学に関係する自然災害の一つに海底地すべりによる発生する津波があげられる。日本周辺において、このように津波を発生させる海底地すべりが発生する可能性が指摘されている。この海底地すべりによる津波のように沿岸の重要施設に影響を与える自然災害は、地震等に加えて沿岸立地であるため台風時等の高波浪や高潮、津波があげられる。沿岸の重要施設には、具体的には港湾、原子力発電所等が代表的である。これらの沿岸重要施設の安全性を高める上で、このような自然災害によるリスクを評価することが必要である。(図1) 自然災害によるリスク評価は、沿岸重要施設自身の設計、その防護施設の設計、もしくはそれらを含めた沿岸重要施設全体の防護戦略に活用される。例えば、津波や高波浪の沿岸重要施設への影響を軽減する防潮堤は防護施設の代表例である。リスク評価手法の分類の一つとして、決定論的な手法と確率論的な手法があげられる(表1)。決定論的手法では、ある一つの事象(自然災害)による影響を評価する。例えば、沿岸の防潮堤の高さを、ある地震波源(断層運動の場所、形状、エネルギーなどを設定)による沿岸での津波高を基に決定した場合である。この場合には、事象の規模や事象進展のシナリオは、より悪い方向へ事象が進展していくとの仮定で作成されることが多く、事象に対する影響を増幅させる安全率はその仮定の一つと考えられる。確率論的手法では、複数の事象による影響を取扱い、各事象の発生確率とその影響を定量的に確率的に表現する。例えば、沿岸のある場所の津波高について、複数の津波波源を設定して、各波源に対する津波高とその発生確率(頻度)を一つ一つ算出し、それを処理して津波高(*x*軸)とその発生確率(頻度) (*y*軸)を2次元グラフに表したものが確率論的津波ハザード曲線である(図2)。このようなハザード曲線は、原子力発電所の確率論的リスク評価(PRA)ではその入力条件となり、炉心損傷頻度(CDF)と津波高の関係(レベル1PRA)が評価される。この結果は、多くの津波による事象進展シナリオを統合的に処理して表現されており、シナリオの見落としを防ぐことが目的の一つである。また、この処理過程における不確実さを定量的に評価することも大きな特徴の一つである。この不確実さは、現象のランダム性に基づく偶然的な不確実さと、データや知識の不足による認識論的不確実さに分類されて、定量化される。特に認識論的不確実さは、評価段階において専門家などで意見の分かれる評価項目について、そのわかれた意見をそれぞれ一つのシナリオとして取り込み、リスク評価結果に反映する。このようにPRAは事象進展を確率的に表現するだけでなく、その評価過程の不確実さを定量的に評価することがポイントである(図3)。(「PRA」という名称には不確実さの評価を表現できておらず、ネーミングとして適切ではないかもしれない。) 原子力発電所の安全性の評価においては、2011年の福島第一原子力発電所の事故を契機に、これまでの経験していない自然災害についてより広くリスクを評価することとなり、津波については、地震のみならず地震以外の要因による津波として、陸上や海底の地すべり、火山のカルデラ陥没、これらの原因による津波を考慮することとなった。陸上や海底の地すべりの津波については、日本において事例は少なく、明確な被害例としては、陸上の山体崩壊の突入(広義の地すべりの一つ)による津波が少なくとも3例ある。海底地すべりの痕跡や駿河湾での海底地すべりの発生事例報告があるものの、明確に海底地すべりを主な原因とした津波の被害事例は見られない。しかし、将来の海底地すべりによる津波災害を否定するものではなく、世界的には事例も存在するので、リスク評価の一項目として必要である。 こういった観点では、日本周辺における海底地すべりのリスク評価が必要である。具体的には、日本周辺海域で海底地すべりの規模と発生確率の関係を設定することが必要である。しかし、陸域と比較して、海域においては地質をはじめとして多くの情報が少なく、海底地すべりの規模と発生確率を評価する上で、地震による津波と比較して不確実さが大きい。特に津波の発生源として海底地すべりの規模と発生確率の情報は沿岸の津波高に第一義的な影響があり、今後の進展が急務である。そのために海域の詳細調査や海底地すべり津波の数値解析モデルの高度化など多くの課題の解決が望まれる。

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: submarine landslide, tsunami, risk evaluation, Probabilistic evaluation

© 2021 Geological Society of Japan

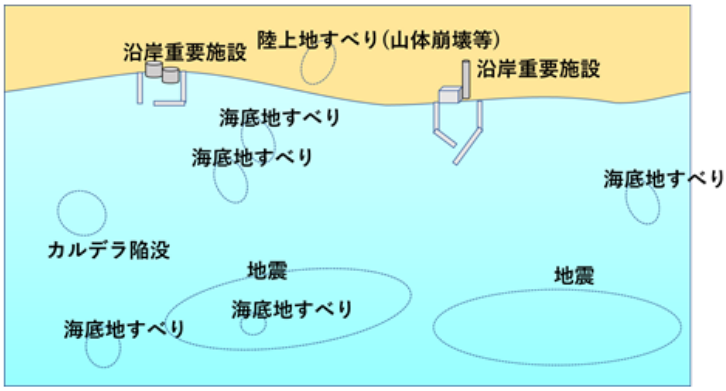


図1　沿岸重要施設における津波の代表的な発生要因

表1　沿岸重要施設における津波の代表的な発生要因

	決定論	確率論
手法	ある一つの事象(自然災害)による影響を評価	複数の事象による影響を取扱い評価
確率・頻度	評価しない	各事象の発生確率とその影響を定量的に確率的に表現
不確実さ	より悪い方向へ事象が進展していく方向で仮定することにより考慮	事象の進展過程の各項目で、基本的に中央値に対する事象のゆらぎとして不確実さを評価
判断基準	指標を決めて、YesかNoの二者択一	定量的な安全目標(リスク評価)などと比較
解析コスト	小	大

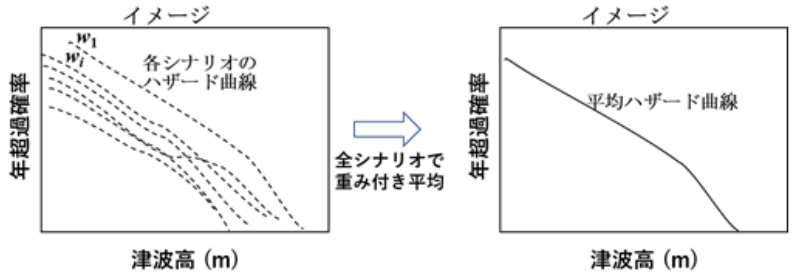


図2　確率論的津波ハザード曲線の作成イメージ

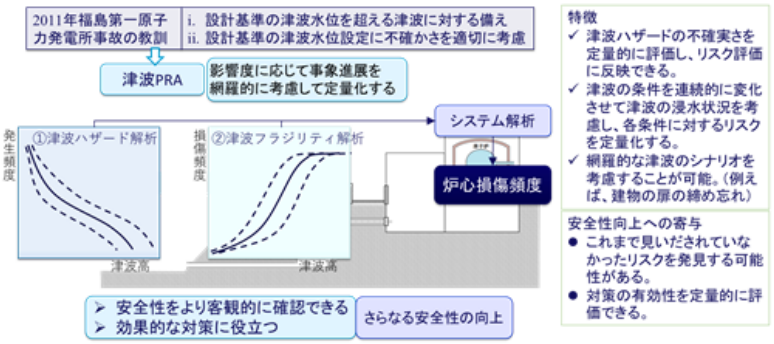


図3　確率論的津波ハザード曲線と津波PRA

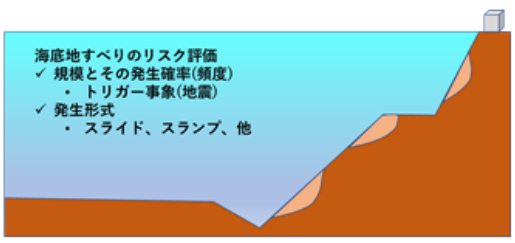


図4　海底地すべりのリスク評価における課題例

© 2021 Geological Society of Japan

Flow transformation of sandy debris flow: Investigation of turbidity cloud generation based on a two-layered shallow-water model

*Yuichi Sakai[1], Hajime NARUSE[1]

1. Kyoto Univ.

海底地すべりに起因して発生する土石流では、その流動過程において土石流から混濁流へのFlow transformationが生じるとされる。水槽実験により、初期の土石流の粒度構成によってFlow transformationの度合いが異なることがわかっている。初期の粒度構成が砂質の土石流の場合、流下中に初期状態から流れの特徴が大きく変化する。液状化した砂質土石流からは砂成分が選択的に沈降して堆積するのに対し、粘土成分は上層に分離して混濁流を生成することが指摘されている。しかし、このような流下方向・鉛直方向に変化する複雑な流れを表現できるモデルはない。これは、既往の水槽実験に基づいて混濁流の生成メカニズムが種々提示されているものの、定量的な議論が少なく定式化が十分でないためである。

そこで本研究では、砂質土石流のFlow transformationを二層浅水モデル（下層：土石流、上層：混濁流）で表現し、既往の実験結果と比較することで混濁流の生成メカニズムについて数値的に検討した。ここで、土石流層は液状化した砂と、水と粘土を含む均質な間隙流体からなるとしており、砂は沈降速度に応じて徐々に堆積すると考える。初期の土石流から混濁流が生成する過程は、「土石流表面での堆積物連行」と「間隙流体の湧き出し」の2種類のメカニズムを考慮し、それぞれのメカニズムごとのサスペンション生成速度に応じて土石流層から混濁流層への質量交換が生じるとした。「土石流表面での堆積物連行」は土石流層表面での摩擦で生じる堆積物の連行によって混濁流が生成されるとする考え方で、既往文献において両層の速度差に比例する形で定式化されている。一方、「間隙流体の湧き出し」は液状化した土石流層の間隙流体が鉛直上方に移動することで上層に湧き出して混濁流が生成されるとする考え方である。本研究では、砂が流動過程から堆積へと変化する際の濃度変化（圧縮）によって間隙流体が押し出されると仮定し、砂の堆積速度と間隙流体の流出速度をカップリングさせることで新たに定式化した。

数値実験では、既往の実験における条件にならって一様勾配の一次元斜面に上流端から土石流を供給した。混濁流の生成メカニズムの影響を検討するため、土石流表面での堆積物連行のみを組み込んだモデルによる計算と、土石流表面での堆積物連行と間隙流体の湧き出しの両者を考慮したモデルによる計算の2ケースを比較した。両ケースともに、土石流の流下に伴って上層に混濁流が徐々に形成され、混濁流が発達して加速し、堆積によって減衰した土石流を混濁流の頭部が追い越すことになった。既往の実験での測定結果と比較すると、間隙流体の湧き出しを考慮したモデルの計算結果の方が流れの先頭部付近での再現性が向上した。これは、流れ表面での連行による混濁流生成メカニズムは流れの下層（土石流）と上層（混濁流）の速度差が大きい混濁流の発達初期には効くものの、混濁流が発達して両層の速度差が小さくなるとサスペンションの生成速度が小さくなるためであると考えられる。一方、間隙流体の湧き出しによるサスペンションの生成は先頭部以外でも砂の堆積が生じる限り発生するため、後方部で生成したサスペンションが圧力勾配によって先頭部へ送り込まれているためと考えられる。以上のように、混濁流の発達段階に応じて混濁流生成メカニズムの寄与は変化する。そして、より連続的に混濁流の発達過程を考えるためには、従来考慮されていた「土石流表面での堆積物連行」作用に加えて、流れが十分に発達した後に重要となる「間隙流体の湧き出し」作用を考慮する必要があるだろう。

Keywords: Sediment gravity flow, Submarine debris flow, Submarine landslide, Turbidity current, Shallow-water model

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Tsunami simulations using a non-hydrostatic two-layer flow model and detailed bathymetry of submarine mass movements

*Toshitaka Baba[1]

1. Tokushima University

地震性津波は地震動を伴っているため揺れで津波の来襲を予期できるが，海底地すべりによる非地震性津波は地震動を伴わないか，あるいは弱いため，津波の来襲を見誤る恐れがある．我々は海底地すべりのリスク評価のため，海底地すべり痕の地形調査を実施しており，本発表ではこれまでに実施した調査結果について報告する．さらに，海底地すべり津波の予測を目的に開発した非静水圧二層流モデルを紹介する．

2009年に駿河湾内で発生したMw 6.5の地震では，地震規模から推定されるよりも大きい最大波高90cmの津波が焼津で観測された．駿河湾には静岡県が運用している駿河湾深層水取水施設が震源域にあり，地震を境に深層水の温度と濁度に急激な変化が見られた．その後，ROVを用いた海底調査により深層水取水管が海底地すべりによって破壊され下流に押し流されていることが明らかとなった．さらに，深海巡航探査機「うらしま」の海底付近からのマルチナロービーム測深により取得された水平分解能1mという超高分解能海底データから，取水管が流出した場所から約900m上流で，特徴的な地すべり地形である馬蹄形の滑落崖が見られた．馬蹄形の滑落崖の全長は約450ｍ，比高は約10～15ｍであった．また，馬蹄形の滑落崖の南東方向にある緩い海底谷では，流れがあった痕跡も認められた．

四国室戸岬の東の沖の大陸棚と土佐ばえ北側で，神戸大学深江丸でマルチナロービーム測深を行った．測線間隔500mで測深し，結果として水平分解能25mでの海底地すべり地形データを取得した．調査海域の水深はおよそ400m～1800mである．大陸棚の海底地すべり痕では，4つの馬蹄形の崩壊跡が見られる．最大の崩壊跡の崩壊土砂体積はおよそ4.8km^{3}である．海底地すべりによってできる斜面底部の崩壊堆積物が不明瞭であること，コア資料によれば約1万年前から現在まで海底堆積物が連続的に堆積していると解釈されるため，この大陸棚の地すべり痕は古いと思われる．一方，土佐ばえ北側斜面の痕跡の大きさは東西方向に約1.9km，南北方向に約2.3km，厚さ約60mであった．こちらの地すべり痕では舌状の崩壊堆積物が確認できる．開口性のリニアメントや，地すべり痕の上流側で新たな亀裂もあり，活動的であると解釈される．

海底地すべりによる津波の発生のモデル化は大きく分けて３つの方法がある．ひとつ目は何らかの方法で海水中の海底地すべりによる海底の変動を推定し，それを海面変化として津波計算に与える方法である．２つ目はWatts et al.(2005)によって提案された海底地すべり津波の発生モデルである．彼らは海底地すべり津波を模擬した水理実験と数値解析から海底地すべりによる初期水位分布の経験式を導いた．3つ目は，地すべり体と海水の運動とを双方向に連動させて解く二層流モデルである．先の２つの方法は静的な津波の発生だが，二層流モデルは上層と下層が相互に影響しながら計算が進む．海底地すべり津波では，上層が海水層に，下層が地すべり体（土石層）に対応する．土石層は海水よりも高密度な流体としてモデル化されている．このため，地すべり体も移動に伴って形状が変化する．二層流モデルでは，一般に波の波長が水深よりもかなり長いという静水圧近似が用いられているが，海底地すべりによる津波は地震による津波よりも波長が短く，非静水圧効果を無視できないはずである．そこで，本研究では，津波発生における非静水圧効果をKajiuraのフィルタ（Kajiura, 1963）を考慮することで，津波伝搬における非静水圧効果をブシネスク型の分散項を上層（海水層）に導入することで取り入れた．なお，Kajiuraのフィルタは，毎時間ステップに海水層と土石層をカップルしながら導入されている．Kajiuraのフィルタを考慮しない場合は，高速な土石層の移動により海面が大きく変動するが，フィルタを考慮した場合は滑らかな海面変動となった．また，我々が調査した四国室戸沖の海底地すべりを波源としたシミュレーションでは，津波の伝播過程における分散性も確認された．

引用文献

Kajiura, K. (1963), The leading wave of a tsunami, Bull. Earthquake Res. Inst., 41, 535–571.
Watts, P. (2005), Tsunami generation by submarine mass failure. II: predictive equations and case studies, J. Waterw. Port Coast. Ocean Eng., 131, 298–310.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Submarine Landslide, Tsunami, Simulation, Two-layer Flow Model

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R19 [Regular Session]Engineering geology and non-tectonic structures

[1ch214-18] R19 [Regular Session]Engineering geology and non-tectonic structures

Chiar:Shintaro Yamasaki, Ken-ichi NISHIYAMA
Sat. Sep 4, 2021 2:30 PM - 3:45 PM ch2 (ch2)

[R19-O-1] Rockslides induced by the 2020 south Kumamoto heavy rainfall event

*Shintaro Yamasaki[1], Noriyuki Arai[1], Ken-ichi Nishiyama[2], Yasuyuki Maruya[3], Shinichiro Yano[3] （1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, Tokushima University, 3. Faculty of Engineering, Kyushu University）

2:30 PM - 2:45 PM

[R19-O-2] Rock failure caused by 1946 Showa Nankai Earthquake in Hongu Town, Tanabe City, Wakayama Prefecture

*Ken-ichi NISHIYAMA[1], Seisuke USHIRO[2] （1. Tokushima University, 2. Wakayama University）

2:45 PM - 3:00 PM

[R19-O-3] Fracture structure regulate collapse form

*Tatsuro Yoshimura[1] （1. Daiichi Fukken Co. Ltd.）

3:00 PM - 3:15 PM

[R19-O-4] Depth of the S-wave velocity discontinuity in the post-LGM incised-valley fills beneath the Tokyo Bay area : How deep is the base of "soft" strata ?

*Junko Komatsubara[1], Ikuo Cho[1], Kentaro Sakata[1], Tsutomu Nakazawa[1] （1. Geological Survey of Japan, AIST）

3:15 PM - 3:30 PM

[R19-O-5] Ground-type classification based on the 3D Urban Geological Map of central Tokyo and the corresponding ground motion characteristics

*Tsutomu Nakazawa[1], Ikuo Cho[1], Junko Komatsubara[1], Tomonori Naya[1], Susumu Nonogaki[1], Yoshinori Miyachi[1], Masanori Ozaki[1], Kentaro Sakata[1], Hiroomi Nakazato[2], Takehiko Suzuki[3], Toshio Nakayama[4] （1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Institute for Rural Engineering, NARO, 3. Tokyo Metropolitan University, 4. Civil Engineering Support and Training Center, Tokyo Metropolitan Government）

3:30 PM - 3:45 PM

©The Geological Society of Japan

Rockslides induced by the 2020 south Kumamoto heavy rainfall event

*Shintaro Yamasaki[1], Noriyuki Arai[1], Ken-ichi Nishiyama[2], Yasuyuki Maruya[3], Shinichiro Yano[3]

1. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 2. Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, Tokushima University, 3. Faculty of Engineering, Kyushu University

はじめに

2020年7月3日から4日午前中にかけて熊本県南部を中心に発生した豪雨によって斜面災害が多発した．この災害では地質構造に崩壊の素因があり，概ね崩壊深度が大きい岩盤崩壊が多発した．本発表ではその発生場の地質・地形学的な特徴を報告すると共に，特に以下の３つのトピックについて取り上げる．

キャップロック構造の崩壊

津奈木町福浜の崩壊は，礫岩，砂岩，泥岩からなる堆積岩の上に強度の大きな灰白色の火山岩が位置するキャップロック構造で発生した崩壊である．火山岩は板状の斜長石斑晶に富んだ岩石であり，地域南側に分布する肥薩火山岩類に属すると思われる．崩壊前には周囲に比べて顕著な谷が形成されており，その谷頭をさらに拡大するように崩壊が発生した．崩壊発生後の2020年7月17日の調査時には火山岩と前述の堆積岩の境界付近に湧水が認められた．また，火山岩の直下にスメクタイトとカオリナイトを含む黄白色の軟弱な粘土層があり，この粘土層が湧水で侵食されていた．粘土層は山側に傾斜するか，部分的には乱れており，崩壊と関連する弱面となったかどうかは不明である．湧水は，上方の火山岩を浸透した水がこの粘土層付近で遮水され流出していると思われ，降雨時にはその水圧が崩壊源の背部に集中していた可能性がある．崩壊発生前に顕著な谷が形成されていたことを考えるとこの場所は周辺部と比べて特異的に地下水が集中し，侵食が集中していた場所であった可能性がある．

断層面を使った崩壊

芦北町宮浦の崩壊は斎藤ほか（2010）のジュラ紀付加体「秩父帯」の整然相の分布地に位置している．同図幅では泥岩および砂岩泥岩互層を伴う砂岩が分布する地域となっており，現地の崩壊源にも砂岩と泥岩が露出していた．また，本地域の北に約100 m離れた場所に整然相地域とメランジュ地域を区分する断層があるとされる．崩壊前の地形には小谷があり．崩壊はこの小谷の谷頭部を拡大させるように発生していた．崩壊物質によって削剥されて露出した谷の北側には比較的堅硬で風化の程度の弱い泥岩，谷の南側や崩壊源には砂岩が主体の砂岩泥岩互層が認められた．砂岩は亀裂に富んでおり，亀裂を黒色の鉱物脈が網状に充填していた．また，砂岩は全体的に黄色化して強く風化しており，容易にハンマーの打撃で破壊できた．崩壊して流下した物質を観察する限り，主な崩壊物質は砂岩である．谷頭部の南側の砂岩には複数枚の平滑な面が認められた．この面は波を打つように大小の波長を持って湾曲しており，テクトニックなせん断作用によって形成されたと考えられる断層面である．さらに，北側の泥岩主体の岩相と南側の砂岩主体の岩相を区分する幅約1 mの破砕帯があり，複合面構造を持っていた．宮浦の崩壊はこれらの断層面を分離面とするくさび形の砂岩のブロックが崩壊したと考えられる．

芦北町牛淵の崩壊は斎藤ほか（2010）のジュラ紀付加体で砂岩を主体とする層と層状チャートの整然相の分布地域に位置している．また，以上の砂岩や層状チャートの領域を区分する断層が同図には記載されており，これは崩壊の直近である．崩壊は幅が広く浅い谷の上部で発生し，崩壊に伴って断層ガウジやチャートの角礫を伴う幅5 m以上ある厚い破砕帯が露出した．崩壊は，明瞭に観察できる破砕帯中のY面と，それから分岐する湾曲した断層面の両方を使って分離するように発生したと考えられる． 牛淵で発生した岩盤崩壊は2波以上あり，おそらく第１波は，谷の南側（左岸側）で前述した破砕帯の断層面を分離面とするものである．その深さは最大10 m程度ありV字の谷を形成した．その時に崩壊した岩石は主に砂岩とチャートである．崩壊源に残された砂岩は黄色化して強く風化しており，灰白色の粘土脈を伴うこともある．第2波は谷の北側（右岸側）で発生したもので，地表付近に分布する厚さ1−2 m程度の赤褐色の土層が表層崩壊したものである．

© 2021 Geological Society of Japan

破砕帯中の強風化砂岩の崩壊とその高い流動性

芦北町宮浦および牛淵の崩壊は，いずれも断層面や破砕帯が分離面となっている岩盤崩壊であるが，岩盤崩壊によって流下した主な物質は砂粒子まで分解した砂岩の強風化物であった．そして，これらの崩壊物質は比較的長距離流動し，牛淵では民家を破壊させた．砂岩中に形成された破砕帯の物質が，強く風化して粒子化し，それが長距離を流走して大被害となった同様の例は，平成３０年西日本豪雨災害の際に愛媛県宇和島市吉田町畦屋でも発生している（山崎，2019）．破砕帯に含まれる砂岩風化物が崩壊後に粒子化し，そこに水が混合して土石流化したと思われる．

文献

斎藤眞ほか（2010）20万分の1地質図幅，八代及び野母崎の一部，地質調査総合センター
山崎新太郎 （2019）平成30年7月豪雨災害調査報告書，61-66，京都大学防災研究所

Keywords: rainfall-induced landslide, rockslide, deep-seated landslide, caprock, crush zone

© 2021 Geological Society of Japan

Rock failure caused by 1946 Showa Nankai Earthquake in Hongu Town, Tanabe City, Wakayama Prefecture

*Ken-ichi NISHIYAMA[1], Seisuke USHIRO[2]

1. Tokushima University, 2. Wakayama University

研究目的：南海トラフを震源として過去に発生した巨大地震では，しばしば山地斜面で大規模な斜面崩壊・地すべりが発生してきたことが知られており，1707年宝永地震で発生したとされる高知県室戸市の加奈木崩れや，静岡市の大谷崩がその代表例である．一方，歴代の南海地震の中ではやや規模が小さかったと考えられている1946年昭和南海地震時に発生した斜面崩壊・地すべりの事例はほとんど知られていなかった．今回筆者らは，南海トラフ巨大地震の影響をこれまでにも受けてきた和歌山県を対象に，郷土誌から，1946年昭和南海地震時に発生したとの目撃証言のある事例を見出し，現地調査によってその崩壊の実態把握を試みたので報告する．

災害記録：1946年昭和南海地震時に，和歌山県田辺市本宮町にある川湯温泉街で岩盤崩壊が発生したとの目撃証言がある（小渕，2002）．著者は川湯温泉の老舗温泉旅館の経営者であり，地震発生時（1946年12月21日午前4時20分頃），川湯温泉の建物から飛び出して大塔川の河原に避難した．その際の証言は以下の通りである：外に出ようとした時，大風でも吹くようなザーという轟音がした．これは，川湯温泉背後斜面の稜線にある無社殿の祠「鉾島（ホコジマ）」付近の岩が崩れ落ちたものであった．

地形・地質調査：上記の目撃証言をもとに，川湯温泉背後斜面の地形・地質調査を行った．紀伊半島中部の田辺市本宮地域は古第三系四万十帯堆積岩類が広く分布し，一部に中期中新世の貫入岩体が分布する．四万十帯からなる山地斜面には，比較的多くの地すべり地形も分布する．崩壊発生源との証言がある無社殿の祠「鉾島」付近（標高約300m）は丘陵頂部の稜線直下にあたり，四万十帯の礫岩～礫質砂岩（径数cm程度の亜円～円礫）が分布し，しばしば比高10mにも達するトアを形成している．トアの直下には，最大径3mを超えるような巨大な落石ブロックが散在する．一方，崩壊発生源の下方にあたる大塔川河床（標高約60m）にも，径2mを超える落石ブロックが認められる．地元住民への聞き取り結果では，これらの巨岩も1946年南海地震時に崩壊したものであり，崩壊後，船が川湯温泉街に付けられなくなったため，一部は火薬で爆破処理したとのことである．

結果と考察：以上の結果から，1946年昭和南海地震で発生した川湯温泉の岩盤崩壊は，最大で比高10m程度の礫岩からなる稜線のトアが大きく崩壊したものであり，巨岩はトア下方の谷を転動して大塔川河床に達し，河床部分にも径2m程度の岩塊が多数堆積したことが判明した．

当地域を含む田辺市本宮地域には，主に四万十帯よりなる斜面に地すべり地形が多く分布しており，2011年台風12号豪雨では斜面崩壊も多く発生した．一方，今回検討した1946年昭和南海地震での岩盤崩壊発生地点は，この種の地すべり地形ではなく，河床からの比高250m程度の比較的細長い稜線頂部のトアで発生した．このことは，記録的豪雨と大地震時における崩壊発生地点の地形・地質的差異を検討するうえで興味深い結果と言える．

文献：小渕ルリヱ（2002）川湯温泉覚書（一），熊野誌，48，75-85.

Keywords: Rock failure, Showa Nankai Earthquake

© 2021 Geological Society of Japan

Fracture structure regulate collapse form

*Tatsuro Yoshimura[1]

1. Daiichi Fukken Co. Ltd.

近年「記録的な大雨」が毎年のように降り，豪雨によって引き起こされた斜面崩壊や地すべりなどの災害が頻発している。吉村ら[1)]の報告では，γ線探査で同じ外力条件（降雨・地震）に対して斜面崩壊箇所を調査し，類似する条件の中でなぜそこが崩壊したのかに着目した結果, 崩壊地では「主断裂・共役断裂で形成される断裂構造」が影響をしていることを確認した。この崩壊の原因となる断裂の属性は広域地質図に記載されている地質断層とは異なり，断裂幅は0.5m～2.5mと小規模なものであり，現地形の大半が形成された第四紀地殻変動に伴うものと推定される[2)]。尾根・谷の屈曲に留意して，土砂災害発生箇所周辺の断裂線を描いた場合，崩壊箇所は「断裂線間隔が狭い区間」が交差した区域に対応している。崩壊しやすい区域のグリッド幅は崩壊幅にあたり，斜面崩壊で約80m，地すべりで約160m，深層崩壊（十津川村栗林地区）で約240mである。地すべりの崩壊幅がすべり面深度の7～10倍との関係[3)]から，崩壊形態別にすべり面深度を求めた。このすべり面深度は大まかに経験値と整合することから，断裂構造は崩壊形態を規制していると考えられる。従来，同じような地形地質であっても崩壊する斜面としない斜面があり，崩壊発生危険箇所の予測を難解にしている。崩壊形態を規制する「断裂構造」は，「岩石の破壊条件（地質）」と「応力配置（構造応力）」によって異なるため，断裂構造に関する構造地質学上の知識を斜面崩壊と関連づけて検討することがきわめて重要である。

文献 1) 吉村辰朗・吉松史徳(2019)：断裂による分断に起因する斜面崩壊発生機構，応用地質，59，6，pp.485-494． 2) 吉村辰朗(2021)：災害の因となる断裂について，めらんじゅ32号（印刷中）． 3) 渡　正亮・小橋澄治(1987)：地すべり・斜面崩壊の予知と対策，山海堂，pp.11-12.

Keywords: fracture structure, collapse form, gamma ray survey

© 2021 Geological Society of Japan

Depth of the S-wave velocity discontinuity in the post-LGM incised-valley fills beneath the Tokyo Bay area : How deep is the base of "soft" strata ?

*Junko Komatsubara[1], Ikuo Cho[1], Kentaro Sakata[1], Tsutomu Nakazawa[1]

1. Geological Survey of Japan, AIST

東京都湾岸部の沖積低地である東京低地には最終氷期の谷地形を埋めた沖積層が分布している．沖積層は軟弱な地層を主体とし木造建築に被害を与える周期1～2秒の地震波を増幅させると言われている（境，2009）．しかし特に沖積層が厚い地域では，沖積層の基底まですべてが軟弱な地層からなるわけではなく，沖積層中に軟弱な地層の基底がある（小川・中山，2009）．地盤を軟らかい/固い地層の二層構造で考えた場合，沖積層の厚い地域では沖積層中にS波速度不連続面が存在し，地盤の卓越周期の成因となっていると考えられる．
一方，東京低地の沖積層は従来上下に二分され，下位の七号地層は陸成層で比較的固く，上位の有楽町層は海成層で非常に軟弱と言われている（青木，1969）．両者で物性が異なるため，地盤震動特性もこれを反映しているはずだが，2層の境界と，S波速度不連続面との関係についてはこれまで詳細な検討は行われてこなかった．
そこで，（１）沖積層の厚さが地盤特性にどのような影響を与えるか，（２）軟弱な地層の基底であるS波速度不連続面は沖積層のどの層準にあるのか，（３）七号地層と有楽町層という地層境界とS波速度不連続面とはどのような関係にあるかについて明らかにするため，東京低地の中でも沖積層が厚く分布する東京湾岸部で常時微動観測を行った．
東京湾岸地域には標高-10 m付近に埋没平坦面１（小松原ほか，2021）が分布する地域と最深部の標高が-70 m付近にある埋没谷底の分布域があり，前者の地盤をタイプ１，後者をタイプ２とした．それぞれの地盤で常時微動観測を行ったところ，H/Vスペクトルのピーク周波数はそれぞれ0.5～0.9 Hzおよび1.7～2.3 Hzとなった．沖積層の厚い地盤（タイプ1）ではピーク周波数が低周波側に，薄い地盤（タイプ２）ではより高周波数側にあるという傾向は軟弱な地層の厚さの分布を反映していると考えられる．
さらに，沖積層のどこまでが低いピーク周波数を生み出す「軟弱な」地層なのかを調べるため，沖積層が厚いタイプ1の地盤についてピーク周波数と平均S波速度に1/4波長則を適用し，地盤の共振周波数を特徴付けるS波速度不連続面の深度を求めた．微動アレイ解析によりレーリー波位相速度を求め，深さ30 mまでの平均S波速度を計算したところ，160±15 m/sであった．これを用いて計算するとS波速度不連続面の深さは42.4～81.8 mとなり，近接した観測点間であっても比較的大きなばらつきを示した．また，観測した16地点中少なくとも8地点において，S波速度不連続面は七号地層と有楽町層の境界よりも下位に位置することがわかった．
東京湾岸部で掘削された層序ボーリングコアの柱状図においてS波速度不連続面に該当する層相境界は網状河川堆積物の礫層の上面（石原ほか，2004など），蛇行河川の流路堆積物（小松原ほか，2020など）および潮汐流路堆積物（田辺ほか，2012）の砂層の上面などが上げられる．蛇行河川流路堆積物および潮汐流路堆積物は流路に直交する方向に不連続であることが予想され，実際に既存の柱状図を用いた東京湾岸部の断面図（小松原ほか，2021）やボクセルモデルを用いた東京湾岸部の断面図（石原ほか，2013；田辺・石原，2020）でも，基底礫層や上位の海成泥層に比べて層厚が薄く，側方に不連続であることが確認できる．砂泥互層中の砂層が不連続であると，ある地点で砂層が存在し，その近くの地点でその砂層が途切れている場合，S波速度不連続面は前者に比べて後者でより深いところに存在することになる．このように，これらの砂層が側方に不連続であることが，H/Vスペクトルピーク周波数がばらつく原因となっていると考えられる．東京低地の地盤震動特性を検討する場合，七号地層中の層相変化を把握することが重要である．

青木, 1969, 海岸平野, 15-20.石原ほか, 2004, 地質調査研究報告, 55, 221-235. 石原ほか, 2013, 地質学雑誌,

© 2021 Geological Society of Japan

119, 554-566. 小松原ほか, 2020, 堆積学研究, 79, 1-12. 小松原ほか, 2021, 都市域の地質地盤図，産業技術総合研究所地質調査総合センター，https://gbank.gsj.jp/urbangeol/ 小川・中山, 2009, 平成21年度東京都土木技術支援・人材育成センター年報, 33-42. 境, 2009, 日本地盤工学会誌, no.9, 12-19. 田辺ほか, 2012, 地質学雑誌, 118, 1-19. 田辺・石原, 2020, 地質調査研究報告, 71, 201-213.

Keywords: Urban geological map, Post-LGM deposits, Microtremor measurement

© 2021 Geological Society of Japan

Ground-type classification based on the 3D Urban Geological Map of central Tokyo and the corresponding ground motion characteristics

*Tsutomu Nakazawa[1], Ikuo Cho[1], Junko Komatsubara[1], Tomonori Naya[1], Susumu Nonogaki[1], Yoshinori Miyachi[1], Masanori Ozaki[1], Kentaro Sakata[1], Hiroomi Nakazato[2], Takehiko Suzuki[3], Toshio Nakayama[4]

1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Institute for Rural Engineering, NARO, 3. Tokyo Metropolitan University, 4. Civil Engineering Support and Training Center, Tokyo Metropolitan Government

近年，首都圏の地下浅部の地質層序・堆積相の研究がすすみ，その成果をもとに3次元地質モデリングが実施され，2021年5月には東京都区部の3次元地質地盤図[URL1]が公開された．今回演者らは，この3次元地質地盤図で示された地質層序・堆積相構成をもとに東京都区部の地盤を類型化し，それぞれの地盤について常時微動観測を行うことで，地盤類型区分に対応した地盤震動特性の把握を試みたので報告する．
武蔵野台地東部の地下浅部に分布する“東京層”は，土木建築工事の基礎工事や地下水流動など応用地質学的な観点から古くから関心が持たれているが，“東京層”の層序，形成年代については長らく不明であった．都市域の地質地盤図「東京都区部」では，武蔵野台地東部の“東京層”を，層相，テフラ，花粉化石群集などをもとに再検討した結果（中澤ほか，2019，2020；納谷ほか，2020など），従来“東京層”と一括りにされていた地層には，時代の異なる複数の海進–海退サイクルが混在していることが明らかとなり，それらは薮層（MIS 9），上泉層（MIS 7e），東京層（MIS 5e）に区分された．このうち東京層（MIS 5e）は下部と上部に分かれ，下部は開析谷を埋積する主に軟らかい泥層からなる．今回，膨大なボーリングデータをもとに3次元地質モデリングを実施することで，現地形からは分からない東京層（MIS 5e）の谷埋め泥層の分布を抽出することができた．この東京層の谷埋め泥層の分布域で常時微動観測を実施したところ，地盤震動の増幅特性を示すとされるH/Vスペクトルには1～2 Hzとやや低周波に明瞭なピークが認められた．特に含泥率がほぼ100%の泥層の層厚が20 m以上に達する世田谷地域の埋没谷では1 Hzに明瞭なピークが認められた．一方，この開析谷の分布域以外の地域では同深度に薮層，上泉層の海成の砂層を主体とする地層が分布する．このような地域ではH/Vスペクトルに4 Hzとやや高周波にピークが認められた．このように武蔵野台地においても地下の地質状況，特に谷埋め泥層の分布を反映して地盤震動特性が場所により大きく異なることが明らかになった．
東京低地の沖積層については大正関東地震直後の復興局の先駆的な調査以降，層序学的，堆積学的，応用地質学的な研究が数多く行われてきた．東京低地下の沖積層は，河川やエスチュアリー成の礫層や砂泥互層からなる七号地層と，その上位の内湾成の軟らかい泥層を主体とする有楽町層に区分されることが多い．
都市域の地質地盤図「東京都区部」では，膨大なボーリングデータを使用して，これまでにない極めて詳細な沖積層基底の形状を明らかにした．沖積層基底に相当する埋没地形は，埋没谷底と埋没平坦面1～4に区分される．ここでは埋没谷底を軸とし，その右岸側の埋没平坦面2及び埋没平坦面1，左岸側の埋没平坦面1を横断する東西測線上（上野～小岩測線）にて常時微動観測を行った．その結果，埋没谷底や埋没平坦面2に相当する地域ではいずれも1 Hz付近にピークをもつH/Vスペクトルが得られた．この測線に沿う埋没平坦面1, 2及び埋没谷底相当地域の平均深度はそれぞれ10, 30, 60 m程度であるが，埋没谷底相当地域には，礫層や砂泥互層からなる七号地層が30 m程度の厚さで分布する．沖積層が厚い埋没谷底相当地域とそれよりも沖積層が薄い埋没平坦面2相当地域でピーク周波数が同程度となったのは，埋没谷底相当地域のピーク生成が沖積層基底ではなく，およそ七号地層と有楽町層の境界に由来するためと考えられる．実際，埋没平坦面2相当地域のピークは極めて明瞭だが，埋没谷底相当地域ではピークは幅の広いなだらかな山状となった．これは埋没平坦面2相当地域では埋没段丘礫層と沖積層（有楽町層相当）の物性のコントラストが極めて大きい一方で，埋没谷底相当地域における七号地層と有楽町層の物性コントラストはそれほどまでには大きくないことに対応している．他方，埋没平坦面1相当地域のH/Vスペクトルは高周波まで比較的フラットな特性を示した．これは平坦面が浅く，沖積層が薄いためと考えられ，低地でありながら，場所によりAVS30（深度30 mまでの平均S波速度）はローム層が厚い台地よりも大きい値を示した．
このように層序・堆積相の再検討と3次元地質モデリングにより地盤の類型化が可能となり，地盤類型区分ご

© 2021 Geological Society of Japan

との地盤震動特性を知ることで，都市平野部の地震ハザード予測の効率化と高精度化が図られるものと期待される．

文献

中澤ほか（2019）地質雑，**125**，367–385.
中澤ほか（2020）地調研報，**71**，19–32.
納谷ほか（2020）地質雑，**126**，575–587.
[URL1] 都市域の地質地盤図，https://gbank.gsj.jp/urbangeol/

Keywords: Quaternary, stratigraphy, buried valley, ground motion characteristics, central Tokyo

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R12 [Regular Session]Deformation and reactions of rocks and minerals

[1ch301-08] R12 [Regular Session]Deformation and reactions of rocks and minerals

Chiar:Kiyokazu Ohashi, Atsushi Okamoto, Hideki Mukoyoshi, Keishi Okazaki

Sat. Sep 4, 2021 9:00 AM - 11:45 AM ch3 (ch3)

[R12-O-1] [Invited]Applicability and potential of Raman carbonaceous material geothermometer

*Yui Kouketsu[1] (1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

9:00 AM - 9:30 AM

[R12-O-2] Strain localization and development of deformation bands in a forearc coal-bearing Paleogene fold and thrust belt, eastern Hokkaido, northern Japan

Hiromi Kaji[1,2], *Toru Takeshita[1] (1. Department of Earth and Planetary Science, Hokkaido University, 2. Oyo Co. Ltd.)

9:30 AM - 9:45 AM

[R12-O-3] Evaluation of crack connectivity and effect of the crack connectivity on physical properties of rock

*Miki Takahashi[1], Kanami Iwasaki[2,3], Hayato Hitotsumatsu[4], Manami Kitamura[1], Shin-ichi Uehara[5], Tohru Watanabe[6] (1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Sch. of Sci., Toho Univ., 3. Kaminokawa Junior High Sch., Kaminokawa, Tochigi, 4. Grad. Sch. of Sci. &Eng for Edu., Univ. of Toyama., 5. Grad. Sch. of Sci., Toho Univ., 6. Dpt. Sustainable Design, Univ. of Toyama.)

9:45 AM - 10:00 AM

[R12-O-4] 3-D morphology of bubbles and melt flow pattern in the pseudotachylyte associated with Tsergo Ri Landslide in Nepal

*Akiyuki Iwamori[1,2], Haruyuki Makita[1], Nobutaka Asahi[3], Shintaro Nohara[4], Hideo Takagi[1] (1. Waseda Univ., 2. Kansai Electric Power. Co., 3. DIA Consultants. Co., 4. Central Research Institute of Electric Power Industry)

10:00 AM - 10:15 AM

[R12-O-5] [Invited]Ultrahigh-pressure pseudotachylyte

*Tadao Nishiyama[1] (1. Kumamoto University)

10:30 AM - 11:00 AM

[R12-O-6] Volume-increasing reactions fracture rocks and self-accelerate fluid flow in the lithosphere: Experimental constraints from MgO– H_2O system

*Masaoki Uno[1], Atsushi Okamoto[1], Noriyoshi Tsuchiya[1] (1. Tohoku University)

11:00 AM - 11:15 AM

[R12-O-7] Antigorite deformation mechanism and coupling depth of shallow wedge mantle

*Takayoshi Nagaya[1], Simon Wallis[1] (1. The University of Tokyo)

11:15 AM - 11:30 AM

[R12-O-8] Deformation-enhanced dehydration reaction of antigorite serpentinite at the slab mantle conditions

Sakurako Okude[1], *Ichiko Shimizu[1], Mugen Ogata[1] (1. Kyoto Universituy)

11:30 AM - 11:45 AM

©The Geological Society of Japan

[Invited]Applicability and potential of Raman carbonaceous material geothermometer

*Yui Kouketsu[1]

1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

炭質物ラマン温度計とは，岩石中に含まれる炭質物をラマン分光分析し，スペクトル解析によって岩石が被った最高被熱温度を算出する手法のことである。炭質物ラマン温度計はBeyssac *et al.* (2002)によってはじめて提案された。この時は，適用温度範囲が330-650℃，誤差が±50℃であり，主に変成岩への適用に限られていた。その後，誤差を小さくするための新たな較正式の提案(Aoya *et al.*, 2010)や，続成作用を被った堆積岩など，より低温領域へ拡張するための新たな手法の開発(e.g., Kouketsu *et al.*, 2014; Lünsdorf *et al.*, 2017)に加えて，隕石(e.g., Homma *et al.*, 2015)や断層岩(e.g., Furuichi *et al.*, 2015)に適用可能な手法など，様々な岩石を対象とした炭質物ラマン温度計が提案され，適用性の広がりを見せている。加えて，天然や合成実験試料をベースにして，炭質物が被った被熱時間を考慮した反応式(Mori *et al.*, 2017; Nakamura *et al.*, 2017)や，断層岩など瞬時の加熱を受けた場合の炭質物の応答実験(Kaneki & Hirono, 2018)など，被熱温度以外の情報が引き出せる可能性も検証されている。

炭質物ラマン温度計は，2002年に提案されて以来，その簡便性と汎用性の高さから，岩石試料の温度を見積もるためのスタンダートな手法となり，多くの研究で活用されている。本発表では，炭質物ラマン温度計についてレビューを行うとともに，これまでの適用例について紹介する。また，今後の新たな展開の可能性についても検討してみたい。

[引用文献]

Aoya, M., Kouketsu, Y., Endo, S., Shimizu, H., Mizukami, T., Nakamura, D. & Wallis, S. (2010) *Journal of Metamorphic Geology* 28, 895–914.
Beyssac, O., Goffe, B., Chopin, C. & Rouzaud, J.N. (2002) *Journal of Metamorphic Geology* 20, 858–871.
Furuichi, H., Ujiie, K., Kouketsu, Y., Saito, T., Tsutsumi, A. & Wallis, S. (2015) *Earth and Planetary Science Letters* 424, 191–200.
Homma, Y., Kouketsu, Y., Kagi, H., Mikouchi, T. & Yabuta, H. (2015) *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences* 110, 276–282.
Kaneki, S. & Hirono, T. (2018) *Earth, Planets and Space* 70, 92.
Kouketsu, Y., Mizukami, T., Mori, H., Endo, S., Aoya, M., Hara, H., Nakamura, D. & Wallis, S. (2014) *Island Arc* 23, 33–50.
Lünsdorf, N.K., Dunkl, I., Schmidt, B.C., Rantitsch, G. & von Eynatten, H. (2017) *Geostandards and Geoanalytical Research* 41, 593–612.
Mori, H., Mori, N., Wallis, S., Westaway, R. & Annen, C. (2017) *Journal of Metamorphic Geology* 35, 165–180.
Nakamura, Y., Yoshino, T. & Satish-Kumar, M. (2017) *American Mineralogist* 102, 135–148.

Keywords: Carbonaceus material, Raman spectroscopy, Geothermometer, metamorphic rock, sedimentary rock, fault rock

© 2021 Geological Society of Japan

Strain localization and development of deformation bands in a forearc coal-bearing Paleogene fold and thrust belt, eastern Hokkaido, northern Japan

Hiromi Kaji[1,2], *Toru Takeshita[1]

1. Department of Earth and Planetary Science, Hokkaido University, 2. Oyo Co. Ltd.

Many studies have recently shown that deformation bands develop in porous sandstones constituting fold and thrust belts. We have analyzed microstructures of deformation bands in one such fold and thrust belt consisting of the Middle Eocence Urahoro Group, eastern Hokkaido, northern Japan, which is typical forearc basin deposits. In the study area, the folds have a wavelength of c. 1-2 km, the axis of which trends NNE-SSW and plunges nearly horizontally, where the strata generally dip either east or west at moderate angles. However, there is one flexure in the eastern part of the study area, where deformation bands are pervasively developed only in the Shakubetsu Formation, which contains mudstones and coal layers other than sandstones. In the other parts of the Urahoro Group in the study area, only sandstones occur without the development of deformation bands. Deformation bands could have formed at the maximum burial depth around 1.5 km inferred from the thickness of overlying strata, which conforms to the one (1.5-2.5 km) inferred from the vitrinite reflectance values (%Ro) of the coal layers (c. 0.5) from the Shakubetsu Formation. The deformation bands are inferred to have originated as phyllosilicate bands, which developed into cataclastic bands with increasing strain in sandstones of the Shakubetsu Formation with up to c. 10 volume % of phyllosilicate. In the cataclastic bands, the detrital grains in host sandstones are crushed into the sizes less than a half to one third of the original one, and also abrased during the formation of deformation bands. The latter fact can be revealed by a higher circularity of grains as well as its higher dependence on grain size in the deformation bands than in the host parts.

Keywords: Forearc basin deposits, Paleogene sediments, Folded belt, Deformation bands, Strain localization

© 2021 Geological Society of Japan

Evaluation of crack connectivity and effect of the crack connectivity on physical properties of rock

*Miki Takahashi[1], Kanami Iwasaki[2,3], Hayato Hitotsumatsu[4], Manami Kitamura[1], Shin-ichi Uehara[5], Tohru Watanabe[6]

1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Sch. of Sci., Toho Univ., 3. Kaminokawa Junior High Sch., Kaminokawa, Tochigi, 4. Grad. Sch. of Sci. & Eng for Edu., Univ. of Toyama., 5. Grad. Sch. of Sci., Toho Univ., 6. Dpt. Sustainable Design, Univ. of Toyama.

地下深部の水の存在は地震波速度構造や比抵抗構造によって検知されている[1]．では，その流体の経路や貯留を担う孔隙はどのような構造を持って岩石の中に収まっているのだろうか？高温・高圧の環境であっても，岩石の浸透率は高く10^{-14} m^2もの値が保たれていることが地震活動や地震波の減衰の周期的な時間変化から推察されている[2]．しかし10^{-14} m^2もの高い浸透率は，多孔質砂岩のような岩石でなければ保てず，そのような多孔質の岩石が数10 kmもの地下深部に存在できるとは考えにくい．むしろ亀裂が流体の経路となっていると考えるほうが自然であろう．亀裂は固体地球内における水循環の経路として重要な役割を担う．また，流体の移動を妨げる帽岩との組み合わせにより，亀裂のネットワークは貯留層としての役割も担う．亀裂を通って上昇し貯留される水は地下深部の熱エネルギーを浅部へ運び熱資源としての価値を持つ．また地下深部の水は断層や地殻の強度を低下させると考えられている．このように，岩石中の亀裂の連結性の評価は，固体地球における水循環，熱資源としての利用，地殻の変形などを議論する上で重要である．この研究では岩石の各種物性と亀裂の分布の間の関係を明らかにするべく，熱クラックにより人工的に亀裂を生成させた稲田花崗岩試料を用意し，弾性波速度・電気伝導度等の各種物性との比較を試みる．要旨では主にCT画像から亀裂の連結性を定量評価する方法を述べるが，発表にて亀裂連結性と弾性波速度・電気伝導度との関係まで議論する予定である．稲田花崗岩は外径25.8mm長さ25mmの円柱に整形し，2℃/分の速度で550℃もしくは650℃まで昇温した炉の中で2時間放置後，氷水に投入することで生成した．また，亀裂生成前後で孔隙率の測定，弾性波速度の測定，マイクロフォーカスX線CT撮影による亀裂の分布の把握を行った．550℃に比べ650℃から急冷した試料ほど生成される孔隙率は増加し，それに伴い弾性波速度の低下が見られた．まず，CT画像の画像処理による亀裂連結性の定量評価を試みる．ここで重要なのが，8ビットグレースケールのCT画像から亀裂のみを，いかに正確かつ客観的に抽出できるようにするか，である．下記に主な画像処理の手順を示す．まず，石英粒子と思われる部分のみ抽出し，それらグレーレベルの平均値を試料ごとに算出後，基準とした試料の平均値との差をそれぞれの試料の画像に加えることで全試料のCT画像の色味をそろえた．次にFiji (ImageJ)のプラグイン，Trainable Weka Segmentation [3]を用い，CT画像から亀裂を抽出した．この手法は機械学習の手法を応用し，対象の分離を行うものである．この手法を用いるにあたって，最も亀裂が明瞭に観察できた稲田花崗岩試料のCT画像のごく一部を，亀裂とマトリックスに詳細に分離したデータを教師データとした．この分離により，probability map（亀裂と認識される確率が高いほど白色となる8ビットグレースケール画像）が作られる．このprobability mapを二値化し，亀裂の連結性を評価するための画像の用意ができたことになる．二値化における閾値の決定もまた，様々な手法があるが，ここではTextured Renyi entropy法[4] を用いた．亀裂のみ抽出した画像をスケルトン化し，1本の亀裂あたりに交差する他の亀裂の本数の平均値ξを計測する．亀裂連結の確率pとξの間には$p=\xi/(\xi+2)$の関係が成立している[5]．発表では，亀裂連結の確率pを求め，稲田花崗岩の弾性波速度・電気伝導度との関係から，亀裂連結の進行がバルク物性を急変させる閾値p_cについて議論の予定である．

本研究は 科研費基盤研究(C)「亀裂連結性の定量評価手法の開発と亀裂連結性が岩石の物性に与える影響（19K04047）」のサポートを受け実施されております．また，高知大学海洋コア総合研究センター共同利用（20A012, 20B010）の採択を受け，亀裂生成前後のＸ線CT画像の撮影には同センター共同利用機器Xradiaを，また孔隙率の測定にペンタピクノメーターを使用させていただきました．記して謝辞といたします．

© 2021 Geological Society of Japan

引用文献　1: Ogawa et al., 2001, GRL; 2:Nakajima and Uchida, 2018, Nature Geoscience; 3: Arganda-Carreras et al. 2017, Bioinformatics; 4: Sahoo and Arora, 2004, Pattern Recognition; 5: Hestir and Long, 1990, JGR.

Keywords: crack connectivity, elastic wave velocity, electrical conductivity

© 2021 Geological Society of Japan

3-D morphology of bubbles and melt flow pattern in the pseudotachylyte associated with Tsergo Ri Landslide in Nepal

*Akiyuki Iwamori[1,2], Haruyuki Makita[1], Nobutaka Asahi[3], Shintaro Nohara[4], Hideo Takagi[1]

1. Waseda Univ., 2. Kansai Electric Power. Co., 3. DIA Consultants. Co., 4. Central Research Institute of Electric Power Industry

はじめに：Tsergo Ri地すべりは，ネパールのLangtang地域に分布する高ヒマラヤ変成岩類分布域で発生した世界最大規模の地すべりの１つであり，滑り面に沿ってシュードタキライトが形成している．Masch et al. (1985) は，地すべり岩塊の移動はWSW方向低角度 (18–30˚)，変位は水平方向に2,200m，垂直方向に650m以上としている．Takagi et al. (2007) は，露頭で採取したシュードタキライトの試料に含まれるジルコン粒を用いてフィッション・トラック年代測定を行い，地すべりの発生年代を51±13Kaとした．シュードタキライト中には数mm～最大数cm程度の扁平な気泡が多く含まれている．メルト中の気泡の３次元形態をもとにした変形について検討した例は火山岩マグマでの研究は知られているが（Manga et al., 1998；Ohashi et al.，2018など），シュードタキライトメルト中の気泡の変形について検討した例はほとんどない．本稿では，医療用X線CTを活用し，巨大山体崩壊時に形成したシュードタキライトに含まれる気泡の3次元分布状況を検討し，地すべり時の摩擦熱融解とその変形挙動について検討した．

測定試料およびCT画像解析：今回観察に用いたシュードタキライトの定方位試料は，すべり面（露頭における測定値はN68W, 26S）に沿って生成された“断層脈”A-1（厚さ約10cm）と，すべり面から上方の地すべり岩塊に向かってほぼ鉛直に延びるパイプ状注入脈A-3 (厚さ約4cm)を用いた．CT画像の撮影は，電力中央研究所の医療用X線CTスキャナ (Aquilion Precision TSX-304A) を使用した．撮影条件は，スライス厚を0.25 mm，1ピクセルのサイズを0.098 mm (A-3)–0.130 mm (A-1) とした．

CT画像解析は，A–1については水平断面における気泡の伸長方向を観察し，気泡のアスペクト比が最大となる長軸方向をすべり方向（S36W）として設定した．滑り面をXY面とした時のXZ面とYZ面における気泡のアスペクト比を測定し，気泡の三次元歪とZ軸方向の歪みの変化および長軸方向と滑り方向のなす角度の変化について検討した．注入脈A–３については，パイプの長軸方向に平行な面と断面に平行な面でスライスして気泡の配列を観察した．なお，いずれの断面においても1mm間隔でCT画像を取得した．

結果：“断層脈”A-1のXZ断面のCT画像について検討した結果，試料縁辺部の気泡のアスペクト比は約3～13であるのに対し，試料中央部付近は約1～2.5と明瞭な差がある．また，気泡の長軸方向は定方位試料が示す地滑り面の傾斜18˚SWに対して試料の上下で逆方向に傾斜して伸びている．このことから，シュードタキライト中の融解時の剪断歪は試料縁辺部で最も大きく，すべり方向の剪断流の流速は試料中央部付近で最も大きいことが示唆される．試料の縁辺部および中央部の代表的な気泡のフリンプロットによるk値は，変形が強い縁辺部（X/Z=11.6～9.4）で8.9～2.0であるのに対し，変形が弱い中部（X/Z=1.3）では0.15であった．従って，縁辺部の気泡の変形は偏長（一軸伸長）歪で特徴付けられる．また，縁辺部の上部と下部のどちらかで変形がより強いという傾向はみられない．

注入パイプ試料A–3をCT画像で観察した結果，パイプを縦割りにした半分の部分のみに気泡が発達している．その部分では，パイプの軸に平行な鉛直断面では上下に延びた扁平な気泡が多く認められ，特に気泡のない部分との境界に近接する気泡のアスペクト比は大きい．一方，水平断面では，概ね円形に近い気泡が多く認められるが，気泡のない部分との境界に近接する領域ではアスペクト比の大きい気泡も認められた．

以上より，A-1，A–3中の気泡は，地滑りが終了（上盤と下盤の相対速度がゼロ）し，シュードタキライトが冷却して固化するまでの間に発生した中央部と縁辺部との速度差に伴う単純剪断の痕跡を示すと考えられる．

引用文献：

Manga et al. (1998). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **87**, 15–28.
Masch et al. (1985). *Tectonophysics*, **115**, 131–160.
Takagi et al. (2007). *Journal of Asian Earth Sciences*, **29**, 466–472.

© 2021 Geological Society of Japan

Ohashi et al. (2018). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **364**, 59–75.

Keywords: Tsergo Ri Landslide, pseudotachylyte, bubbles, 3-D morphology, flow pattern

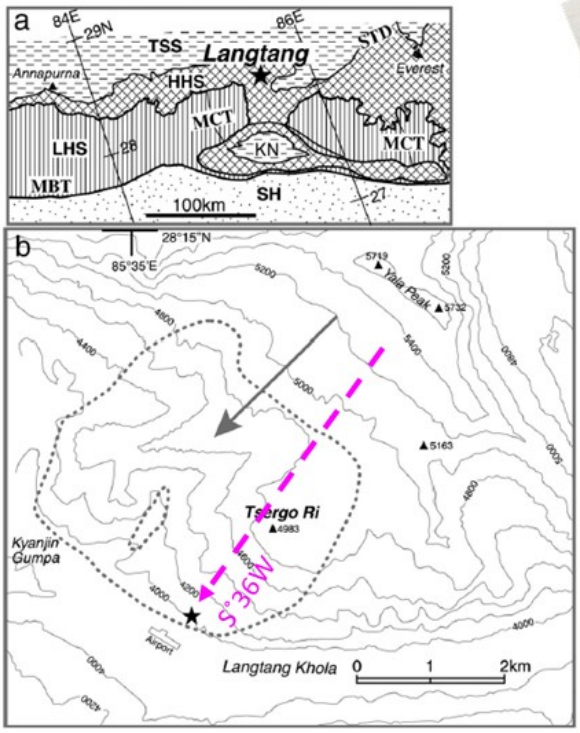


図1 (a) ランタン地域の地質概要,
(b) ランタン地すべり露頭位置図

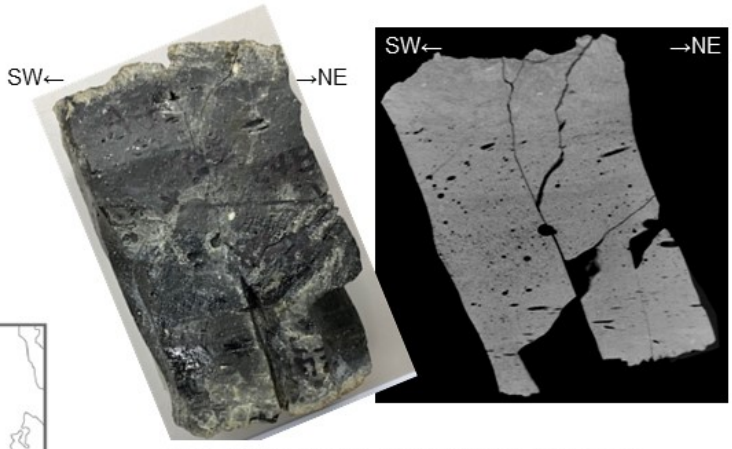


図2 A-1断層脈試料.(a) 試料写真, (b) CT画像

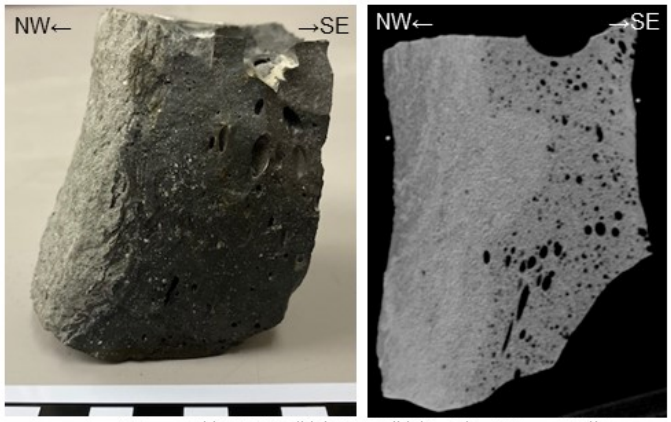


図3 A-3注入脈試料. (a) 試料写真, (b) CT画像

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Ultrahigh-pressure pseudotachylyte

*Tadao Nishiyama[1]

1. Kumamoto University

地震断層の化石として知られるシュードタキライトは，地殻下部の岩石や上部マントルのカンラン岩から知られている．これまで知られている最も高圧下で形成されたシュードタキライトは，ノルウェー西海岸のエクロガイト中のもので，その圧力は1.9 GPaとされている.今回われわれは，九州西端の西彼杵変成岩から，ナノダイヤモンド集合体を含む超高圧シュードタキライト（黒色シュードタキライト様脈）を発見したので，その詳細を報告し，成因と地球科学的意義を議論する． 西彼杵変成岩は白亜紀の低温高圧型変成岩で，泥質砂質片岩を主体とし，少量の塩基性片岩ならびに蛇紋岩を伴う．また蛇紋岩メランジュの産状を呈する塩基性ー超塩基性複合岩体が狭長な岩体として産し，ヒスイ輝石岩などの構造岩塊を伴う．問題の超高圧シュードタキライトは，西彼杵半島の北西海岸に狭く分布する雪浦メランジュ中に産する．雪浦メランジュでは，塊状蛇紋岩の一部に，泥質砂質片岩ならびに塩基性片岩が，大小さまざまの小岩体ならびにブロック（径2～5ｍ大の構造岩塊）として含まれる．Nishiyama et al.（2020）は，雪浦メランジュの泥質片岩，クロミタイト（蛇紋岩中に産するもの）ならびに黒色シュードタキライト脈中からマイクロダイヤモンドの産出を報告し，この雪浦メランジュが超高圧変成岩であることを明らかにした． 雪浦メランジュの塊状蛇紋岩はアンチゴライト＋マグネサイトの組み合わせを有し，石英・マグネサイト脈が発達する．塊状蛇紋岩の一部はこの石英・マグネサイト脈に沿って，塊状の石英炭酸塩岩（carbonated serpentinite）となっている．また同質の石英炭酸塩岩が構造岩塊として産し，その中に黒色シュードタキライト様脈が産する．石英・炭酸塩岩の鉱物組み合わせは石英＋マグネサイト±ドロマイトで，少量の緑泥石，フェンジャイトを伴うことがある．黒色シュードタキライト様脈の鉱物組合わせは基本的に母岩の石英・炭酸塩岩と同じである． 黒色シュードタキライト様脈には，カタクラサイト様組織を示す部分と均質な極細粒組織を示す部分がある．どちらも分岐構造を示すが，ガラスは残存しておらず，樹枝状結晶なども見られない．しかし，一部に特異な球顆状構造を呈する組織が見られる．この球顆は直径1 mm前後でほとんど細粒の石英のみからなるものと，マグネサイトを中心とし，石英，ドロマイトを伴うものがある．後者の場合，マグネサイトが球顆の中心部にあり，周囲からドロマイトに置換されるような組織を示す．稀に方解石がマグネサイトと接して産する．この組織はメルトからの急冷組織と判断されるため，黒色シュードタキライト様脈は，溶融を経験した断層岩，シュードタキライトであると判断した．マグネサイトと石英の溶融条件は，Kakizawa et al.(2015)によれば，無水の場合，6 GPaと非常に高圧になる． 黒色シュードタキライト様脈にはマイクロダイヤモンドが含まれ，その生成条件は2.8 GPa以上と見積もられる（Nishiyama, et al., 2020）．またわれわれは同じ黒色シュードタキライト脈からナノダイヤモンド集合体を見出した（大藤・西山，2019）．ナノダイヤモンド集合体は径1～2 mm程度の矩形粒子としてアモルファス炭素中に産し，径5～30 nmのナノダイヤモンド粒子の集合体である．部分的にラメラ状の部位が認められ，ロンズデーライトの共存が確認された．これにより石墨からのマルテンサイト相転移が示唆される．固相相転移によるロンズデーライトの形成は合成実験では，1000 ℃，13 GPaで成功している． 黒色シュードタキライト脈中のみ見られる方解石とマグネサイトの共生は，ドロマイトの高圧下での分解（ドロマイト＝アラゴナイト＋マグネサイト）を示唆している．この方解石がアラゴナイトから転移したものであるとすれば，その形成条件は，450 ℃で5 GPa以上となる． 以上，3つの独立した証拠（マグネサイトと石英の融解，ナノダイヤモンドとロンズデーライトの存在，方解石とマグネサイトの共存）から，この黒色シュードタキライト様脈は超高圧条件（5 GPa以上）で形成されたと推論される．しかし，この圧力条件は周囲の母岩（メランジュ岩石）の圧力条件（2.8 GPa以上）に比べて，高圧すぎる．この圧力差は何を意味するのだろう．講演では tectonic overpressure modelにより説明を試みる． 引用文献 Kakizawa, S. et al. (2015) JMPS, 110, 179-188. Nishiyama, T., Ohfuji, H., and 11 others (2020) Sci. Rept., 10, 11645 大藤・西山（2019）鉱物科学会2019年年会講演要旨

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: pseudotachylyte, nanodiamond, ultrahigh-pressure metamorphic rocks, Nishisonogi metamorphic rock, tectonic overpressure

© 2021 Geological Society of Japan

Volume-increasing reactions fracture rocks and self-accelerate fluid flow in the lithosphere: Experimental constraints from MgO–H_2O system

*Masaoki Uno[1], Atsushi Okamoto[1], Noriyoshi Tsuchiya[1]

1. Tohoku University

地殻やマントルにおける加水反応や炭酸塩化反応は，数%から数十%もの体積膨張をともなうため，応力を発生し，岩石を破壊させ，反応を加速しうる(e.g., Jamtveit et al., 2000; Kelemen et al., 2011; Kelemen and Hirth, 2012)．しかしながら，体積膨張は空隙を閉塞することで，流体流動を減少させ反応を阻害することもあり(e.g., Andreani et al., 2009; Peuble et al., 2018; Lisabeth et al., 2017)，系の応答を予測することができないのが現状である．本研究では，体積膨張反応のアナログ物質として，十分に反応速度が早く，空隙率の低い焼結体の用意できるペリクレース(MgO)の加水反応をもちい，系の力学–水理学応答の支配要因を実験的に探索した．

初期浸透率の異なる３種のペリクレース焼結体を用意し，流通式水熱反応実験を行い，反応に伴う浸透率変化を計測した．実験条件は温度200℃，封圧20 MPa, 上流流体圧5 MPaである．３種の出発物質の初期浸透率は，3×10^{-15}, 4×10^{-17}, および$<10^{-19}$ m^2であり，以下では「高透水」，「中透水」，「低透水」サンプルと呼ぶ．

ペリクレース焼結体の力学–水理学応答は，主に初期浸透率に依存した．高透水サンプルでは浸透率が２桁以上減少したのに対して，低透水サンプルでは浸透率が３桁以上上昇した．これは体積膨張反応において浸透率が明確に上昇した初めての実験である．中透水サンプルは中間的な挙動を示し，浸透率が一旦２桁減少した後に２桁上昇した．

浸透率が減少したサンプルでは反応が均質に進行して，空隙が閉塞していたのに対して，浸透率が上昇したサンプルでは反応が不均質に進行し，階層的に破壊が生じていた．こうしたサンプルごとの反応の不均質性を理解するために，「流体供給の速度」/「反応によるH_2Oの消費速度」の比（Ψ）を計算してみると，高透水サンプルで40–400，中透水サンプルで0.7–3.0, 低透水サンプルで1–4 $\times10^{-2}$であった．すなわち，高透水サンプルでは水の浸透が反応よりも十分早いのに対して，低透水サンプルでは水の浸透が遅く，空隙に到達した水が逐次反応していることを示す．以上より，流体供給速度／反応速度比Ψが，体積膨張反応における力学ー水理学応答に大きな影響を及ぼすことが分かった．

こうしたΨと反応による破壊の関係は，Shimizu & Okamoto (2016)の個別要素法（DEM）による数値シミュレーションの結果と整合的であり，初期浸透率の高い既存の蛇紋岩化やかんらん岩の炭酸塩化の実験では浸透率が上昇しないことを説明することができる．一方，天然のかんらん岩においては，多くの条件で反応速度≫流体供給速度となり，天然の蛇紋岩化やかんらん岩の炭酸塩岩化における亀裂生成を説明することができる．

以上より，本研究では，体積膨張反応において初めて，明確に浸透率が上昇しうることを示した．これらの反応を加速させるためには，非常に早い反応速度と低い空隙連結性により，局所的な応力擾乱を生じさせることが必須であり，その場合，階層的な岩石破壊により流体流れが加速度的に増加することが期待される．以上の知見は，リソスフェアの加水化や炭酸塩化のメカニズム，鉱物炭酸塩化による二酸化炭素地層貯留の加速化，粘土鉱物による断層の弱化の制御など，様々な岩石–流体反応の理解や制御に役立つと考えられる．

【引用文献】

Andreani, M., et al. (2009) *Environ. Sci. Technol.* **43**, 1226–1231.
Jamtveit, B., et al. (2000) *Nature* **408**, 75–78.
Kelemen, P.B., Hirth, G. (2012) *Earth Planet. Sci. Lett.* **345–348**, 81–89.
Kelemen, P.B., et al. (2011) *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **39**, 545–576.

© 2021 Geological Society of Japan

Lisabeth, H.P., et al. (2017) *Earth Planet. Sci. Lett.* **474**, 355–367.
Peuble, S., et al. (2018) *Chem. Geol.* **476**, 150–160.
Shimizu, H., Okamoto, A. (2016) *Contrib. to Mineral. Petrol.* **171**, 1–18.

Keywords: Reaction-induced fracturing, Reaction-induced permeability enhancement, Hydration reactions, Carbonation reactions

© 2021 Geological Society of Japan

Antigorite deformation mechanism and coupling depth of shallow wedge mantle

*Takayoshi Nagaya[1], Simon Wallis[1]

1. The University of Tokyo

沈み込み帯の熱モデリングから、火山弧の長期的な火成活動を説明するためには、沈み込むスラブとウェッジマントル間のカップリング(固着)に誘起されたマントル流動が必要であることを示されている。またこの固着深度は、多くの活動的な沈み込み帯で同様の値を取り、70-80kmとされている。これは、固着深度が沈み込むプレートの年齢など温度構造に依存していないことを意味し、その理由は沈み込み帯のダイナミクスを理解する上で重要な未解決問題となっている。この深度では、ウェッジマントルに主にアンチゴライトからなる蛇紋岩が存在していると考えられている。そのため、ウェッジマントルにおけるアンチゴライトの変形メカニズムを明らかにすることは、1) 沈み込み帯の浅部含水マントル領域のレオロジー特性の解明、2) 熱モデリングによって予想されるプレート間固着深度の物質学的な理解につながると考えられる。本研究では、ウェッジマントルにおける蛇紋岩の変形メカニズムを解明することで、プレート間固着深度が沈み込み帯の温度構造に依存しない理由を明らかにすること目的とする。
これまで、アンチゴライトの変形メカニズムは複数提案されており、(1) 転位クリープ、(2) キンクやリップロケーションによる変形、粒界すべりに伴う機械的回転(GBS)、流体促進下での拡散クリープや、溶解-沈殿クリープが提案されている。変形実験的手法は変形条件をコントロールすることで変形初期から変形途中までの変形組織が進行していく過程を追うことができる一方、天然での変形における歪み速度を再現して実験を行うことができない難点がある。本研究では、アンチゴライト蛇紋岩に存在する天然剪断帯における観察を使用する。その剪断帯で見られる歪み勾配は低歪み領域から高歪み領域の各領域の観察を可能にする。このような累進変形を代表する組織を観察することで、天然の歪み速度での変形過程の観察を行うことができると考えられる。本研究では、このような変形実験での利点を保ちつつ、天然の歪み速度での変形組織を観察することで新しい知見を得ることができた。具体的には剪断帯周辺の低歪み領域から剪断帯中心の高歪領域への各歪み領域における結晶軸選択配向(CPO)や鉱物化学組成を含む微細構造の特徴の比較・変化からアンチゴライトの変形メカニズムを推定した。天然剪断帯は四国中央部三波川変成帯別子地域及び白髪山地域から採取したアンチゴライト蛇紋岩中の微小剪断帯を用いた。
その結果、別子および白髪山ともにひずみの増加に伴う漸進的な微細構造の変化が明らかになった: (1) 歪みの増加に伴い、アンチゴライトの(001)結晶面が剪断面に平行になるように明確に回転する。 ii) 歪みの増加に伴い、鉱物伸長方向であるb軸が剪断方向に平行なB-typeアンチゴライトCPOが明確に形成される。 iii) CPOの強度や(001)面の回転と一致して、歪みの増加に伴いアンチゴライト粒子の形状はその長軸がより集中しながら剪断面に向かって回転する。 iv) 歪量にかかわらず、アンチゴライトは結晶内の結晶方位差、粒径、アスペクト比、主要元素の化学組成に有意な差異は見られない。以上から、アンチゴライトは歪みの増加に伴って再配向する一方で、結晶内の変形や粒径減少は見られないことが明らかになった。そのため、アンチゴライトのGBSによって、B-typeアンチゴライトCPOを形成・発達させながら、アンチゴライト蛇紋岩が変形したと考えられる。
天然試料から報告されているアンチゴライトCPOの多くはB-typeを示し、これらの配列強度も本研究のB-type CPOの強度と一致する。またアンチゴライトのGBSは室内条件からも報告されてため、本研究で使用した試料の周囲の変成岩のピーク温度・圧力などから、本研究ではウェッジの先端から～500-550℃、～0.8-1.0GPaまでのウェッジマントルで、GBSによるアンチゴライトの変形が広く卓越し、GBSの変形によってB-type CPOが形成することを提案する。アンチゴライトはその結晶構造から(001)面上で低摩擦係数を示し、(001)面上でもa軸方向に比べb軸方向で特に低摩擦係数を示す摩擦異方性の強い鉱物である。そのため、B-type CPOの形成過程は、この摩擦異方性に起因してすべりやすいb軸が剪断方向に平行になるように結晶が回転することで説明できる。
GBSは本質的には摩擦現象であり、固着深度付近を含むプレート境界に沿って分布する蛇紋岩では、変形を引

© 2021 Geological Society of Japan

き起こすのに必要な剪断応力は、温度の依存性は低く、主に深さに比例する垂直応力に依存していると考えられる。これは温度構造に関係なく、ほぼ全ての沈み込み帯で固着深度が同様していることを説明できる。

Keywords: Antigorite, Deformation mechanism, Slab-mantle coupling, CPO pattern, Wedge mantle

© 2021 Geological Society of Japan

Deformation-enhanced dehydration reaction of antigorite serpentinite at the slab mantle conditions

Sakurako Okude[1], *Ichiko Shimizu[1], Mugen Ogata[1]

1. Kyoto Universityuy

沈み込み帯で起こるやや深発地震は、マントルスラブ内の蛇紋岩が脱水反応温度(～650℃) に達する深さで頻発しているという指摘があり、その発生メカニズムとして間隙圧上昇による脱水脆性化が議論されてきた。そこで、脱水脆性化説を実験的に検証するために様々な研究が行われてきたが、実験の温度圧力条件や、用いる蛇紋岩の構成鉱物や組織の多様性などにより異なる力学挙動が報告されている。本研究では、スラブマントルに存在すると考えられるアンチゴライト蛇紋岩をもちいて、深さ60 km のやや深発地震の発生域を含む温度圧力条件下で、蛇紋岩の力学特性を調べるために変形実験をおこなった。　実験試料として、長崎変成帯のアンチゴライト蛇紋岩を選定した。本蛇紋岩は均質、等方的でアンチゴライトに富むが、一部低温型蛇紋石を含むことがラマン分光マッピングにより新たにわかった。試料は、直径8 mm、高さ約14 mm の円柱に成形して用いた。実験は固体圧式試験機を用いて封圧0.6–1.7 GPa の範囲でおこなった。蛇紋岩の脱水前と脱水後の挙動を比較するために， 温度は500℃ と700℃ でおこない、歪速度一定（$3.3\times10^{-5}sec^{-1}$）の軸圧縮試験を行った。　500℃、1.2 GPa でおこなった実験では、試料は完全に降伏せず歪硬化が続いた。実験後の試料には脱水反応はみられず、試料を貫く共役断層による変形がみられた。一方、700℃で封圧を変えた3つの実験では、ある差応力で降伏し、最後は定常クリープ的に変形した。最終的な強度（差応力）は0.5–1.2 GPa となった。力学データでは延性を示したが、回収試料には、試料を貫く断層破壊のほか微小断層による分散した変形が見られたため、準脆性的に変形をしたということができる。また、700℃ でおこなった実験回収試料の走査型電子顕微鏡による観察では断層に沿って繊維状のカンラン石（フォルステライト）が集中して生成していた。また、700℃ ，1.7 GPa の実験回収試料には、断層剪断帯に輝石（エンスタタイト）や赤鉄鉱も生成していることがラマン分光マッピングで確認された。断層の形成や剪断変形が脱水反応を促進したと考えられる。さらに同じ条件で行った検証実験では，試料は明瞭な降伏を示さず歪硬化がつづき，反応の進行も抑制されていた。　本実験では、大きな応力降下を引きおこすような脱水脆性化ではなく、準脆性的に変形し強度が低下する挙動（ここでは脱水軟化とよぶ）が見られた。本研究でみられたような断層変形による反応促進により、実際のスラブマントル中でもこのような脱水軟化が起きている可能性がある。やや深発地震のメカニズムとしては、蛇紋岩の脱水反応と変形により、周囲のカンラン岩に破壊が生じることが考えられる。

Keywords: serpentinite, dehydration reaction, suducting slab, intermediate-depth earthquakes, high-PT deformation experiment

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R2 [Regular Session]Petrology, mineralogy and economic geology

[1ch309-13] R2 [Regular Session]Petrology, mineralogy and economic geology

Chiar:Hikaru Sawada, Kentaro Yoshida

Sat. Sep 4, 2021 1:00 PM - 2:15 PM ch3 (ch3)

[R2-O-1] The formation process of Zebra rock indicating a paleo-hydrothermal system

*Hirokazu Kawahara[1,2], Hidekazu Yoshida[3], Koshi Yamamoto[3], Nagayoshi Katsuta[4], Shoji Nishimoto[5], Ayako Umemura[3], Ryusei Kuma[6] （1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University , 2. JOGMEC, 3. Nagoya University Museum, 4. Gifu University, 5. Aichi University, 6. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University）

1:00 PM - 1:15 PM

[R2-O-2] Zircon U– Pb age from the Tanigawa-dake Quartz Diorite: Potential for new zircon standard

*Raiki Yamada[1], Sota Niki[2], Hayato Ueda[1], Takafumi Hirata[2] （1. Niigata University, 2. University of Tokyo）

1:15 PM - 1:30 PM

[R2-O-3] Soft clustering analysis of a felsic igneous rock database

*Taku YUTANI[1], Tatsu KUWATANI[1], Kenta YOSHIDA[1], Kenta UEKI[1], Atsushi NAKAO[1], Mitsuhiro TORIUMI[1], Naoto HIRANO[2] （1. JAMSTEC, 2. Tohoku University）

1:30 PM - 1:45 PM

[R2-O-4] Petrology and C– O isotope geochemistry of meta-carbonate rocks from the Hida Belt, Japan: Potential significance of dolomitic marble

*Hironobu Harada[1], Tatsuki Tsujimori[1] （1. Tohoku University）

1:45 PM - 2:00 PM

[R2-O-5] Fe(III)-distribution at serpentinized crust-mantle boundary within the Oman ophiolite

*Atsushi Okamoto[1], Kazuki Yoshida[1], Ryosuke Oyanagi[2], Masakazu Fujii[3], Yasuhiro Niwa[4], Yasuo Takeichi[4], Masao Kimura[4] （1. Tohoku University, 2. Kokushikan University, 3. National Institute of Polar Research, 4. High Energy Accelerator Organization ）

2:00 PM - 2:15 PM

©The Geological Society of Japan

The formation process of Zebra rock indicating a paleo-hydrothermal system

*Hirokazu Kawahara[1,2], Hidekazu Yoshida[3], Koshi Yamamoto[3], Nagayoshi Katsuta[4], Shoji Nishimoto[5], Ayako Umemura[3], Ryusei Kuma[6]

1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University , 2. JOGMEC, 3. Nagoya University Museum, 4. Gifu University, 5. Aichi University, 6. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

【背景】 岩石と地下水の反応で生じるリーゼガング現象は、岩石中に特徴的なバンド模様を展開する。近年、そのバンドが岩石-流体反応の化学的特性や反応のタイムスケールを推測する手がかりになると指摘されている[1]。

豪州北部キンバレー地域東部に産するゼブラロックは、リーゼガングバンドの一例として知られる。ゼブラロックはエディアカラ紀のシルト岩層中にレンズ状に産し、酸化鉄鉱物(赤鉄鉱)からなる数mm～2 cm幅の赤褐色のバンド模様を示す。ゼブラロックが産する露頭は不連続ながら50 km以上に渡って分布し、広域の地質イベントに伴って生じた可能性がある。これまで、ゼブラロックに関する研究は数例あるが[2][3]、その形成プロセスは未解明である。

本研究では、ゼブラロックの成因を基に鉄バンド形成時の岩石-流体反応の化学的条件を述べる。さらに、ゼブラロック形成に関連した地質イベントや鉄バンドの金属鉱床探査への応用の可能性を提案する。

【結果】 薄片観察、XRD分析及びラマン分光分析の結果、ゼブラロックの主要構成鉱物は、極細粒の石英粒子及び粘土鉱物（カオリナイト、明礬石）である。特に粘土鉱物について、ほぼ明礬石からなるゼブラロックが本研究初めて記載され、(1)カオリナイト (Kao) に富むタイプと、(2)明礬石 (Alu) に富むタイプの2種類に分類された。XRF分析による両タイプの全岩組成は明瞭に異なり、特に鉄バンドのFe濃度は、Kaoタイプが ~9%、Aluが~30%と大きな差が認められた。

XGT分析による元素マッピングでは、鉄バンド中のFe濃度は一様ではなく、バンドの片側に偏在した非対称の濃度ピークとして分布している。この傾向は両タイプのゼブラロックで共通して認められ、一つのサンプル中におけるピークの偏りは全て同じ方向であった。

【考察】 ゼブラロックの粘土鉱物組み合わせの違いは、高硫化系浅熱水鉱床の周囲で、熱水の温度やpHの違いに応じて発達する変質分帯(珪化-明礬石帯及びカオリナイト帯)とよく一致している。これはゼブラロックが酸性熱水変質を被ったことを示している。さらに、Kaoタイプに比べてAluタイプに高濃度に含まれる鉄バンドのFeの存在は、Feの溶解度の温度依存性を反映し、Aluタイプの形成に関与した流体の方がより高温であったことを示唆する。実際に、変質分帯において、明礬石帯はカオリナイト帯より熱水系源に近く、より高温（かつ低pH）の流体が関与している。これらの結果から、ゼブラロックの粘土鉱物組み合わせとFe濃度の違いは熱水系のモデルと調和的であり、酸性熱水変質とバンド形成は同じイベントで生じたと考えられる。

ゼブラロックの元素マップで認められた鉄バンド中のFe濃度ピークは、浸透した流体と原岩との反応による鉄沈殿のリアクションフロントと見なすことができる。これは、Feを含む酸性熱水流体が原岩の堆積岩中に初生的に含まれていた炭酸塩鉱物との中和反応し、それに伴うpH上昇で、流体中のFeが酸化沈澱したことで説明することできる[4]。なお、ゼブラロック中に炭酸塩鉱物はほぼ含まれていないが、同層準の他地域の露頭では炭酸塩鉱物の存在が確認されている。

ゼブラロック形成に関与した熱水活動の候補として、豪州北部に分布するカンブリア紀のカルカリンジ洪水玄武岩の活動が挙げられる。その活動時期は初期–中期カンブリア紀の大量絶滅とほぼ同時期で、地球規模で表層環境に影響を与えたイベントとして注目されている。本研究地域では、ゼブラロックを胚胎する堆積岩層において、それより上位の年代で生じた火成活動はこの一度だけであることも本知見を支持する。

【結論】 本研究によって、ゼブラロックの成因について以下の点が明らかとなった：

・ゼブラロックは酸性熱水活動に関連して形成した
・鉄バンドは、鉄を含む酸性熱水と原岩中の炭酸塩鉱物の中和反応によるpH緩衝によって生じたと考えられる
・ゼブラロックの形成に関与した熱水活動は、カンブリア紀のカルカリンジ洪水玄武岩と関連する可能性が高

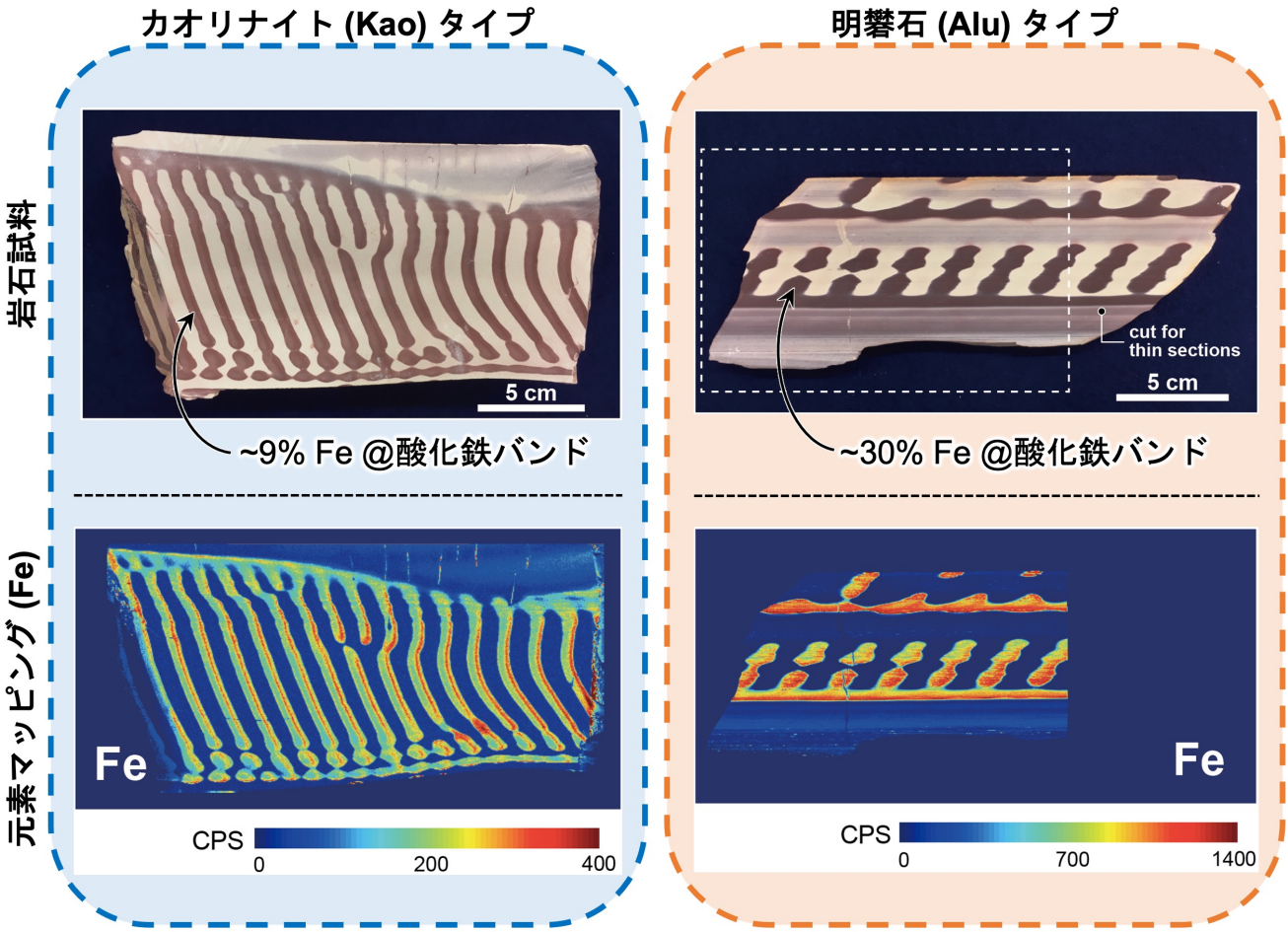
© 2021 Geological Society of Japan

い

また、鉄バンド中の一方向のFe濃度ピークの偏りは浸透した流体の流向を示している[1]。従って、流向を逆に辿ることで、熱水金属鉱床が賦存することのある熱水系の中心の方向を推測できる可能性がある。熱水変質分帯と熱水の流向の両方を記録するゼブラロックは、熱水鉱床探査の有効な手がかりになると期待される。

【文献】 [1] Yoshida et al., 2020: *Chem. Geol.* [2] Loughnan & Roberts, 1990: *Aust. Jour. of Earth Sci.* [3] Retallack, 2020: *Aust. Jour. of Earth Sci.* [4] Yoshida et al., 2018: Science Advances

Keywords: Liesegang band, pH buffering, Hydrothermal alteration, Iron oxide



© 2021 Geological Society of Japan

Zircon U–Pb age from the Tanigawa-dake Quartz Diorite: Potential for new zircon standard

*Raiki Yamada[1], Sota Niki[2], Hayato Ueda[1], Takafumi Hirata[2]

1. Niigata University, 2. University of Tokyo

1. はじめに

ジルコンのU–Pb年代測定は，特に近年のLA-ICP-MSの技術向上とともに大きく発達し，世界中に広く普及している年代測定のひとつである．その測定時には年代値を評価するための標準試料が，重要な役割を果たしている．世界的に普及している標準ジルコンとしては91500 [1]やPlešovice [2]などが挙げられる．近年では新生代の年代を示す若いジルコンも測定の対象となり，1 Maよりも若いジルコンが報告されている例も多い．国内ではOD-3 [3]が標準ジルコンとして普及しているが，10 Maよりも若い低Pb濃度のジルコンを評価するための標準試料は存在しない．本研究では中部日本に分布する鮮新世深成岩体の中から，標準ジルコンとなり得る岩石（TNG1）を採取し，若い標準ジルコンの確立を目指して年代測定をおこなっている．本発表ではその結果を報告し，TNG1の標準ジルコンとしてのポテンシャルを議論する．

2. 地質概説およびサンプル記載

サンプリングをおこなった谷川岳石英閃緑岩は新潟・群馬県境に位置し，主に中粒の石英閃緑岩～花崗閃緑岩からなる [4]．本岩体からは3.91 ±0.27 Maから3.10 ±0.39 Maの黒雲母K–Ar年代[5, 6]と4.4–1.9 MaのジルコンFT年代[7]が報告されている．採取されたサンプル（TNG1）は変質を被っていない中粒の花崗閃緑岩で，斜長石，石英，カリ長石，黒雲母，角閃石，直方輝石，単斜輝石および鉄–チタン酸化物からなる．それ以外にアパタイトおよびジルコンが副成分鉱物として含まれる．

3. ジルコンU–Pb年代

採取したサンプル（TNG1）を粉砕し，水簸，パンニング，磁選，重液分離を通してジルコンを分離した（約100 gで100粒以上）．分離したジルコンをエポキシ樹脂にマウントし，カソードルミネッセンス（CL）像を撮影した上で，新潟大学理学部地質科学教室設置の213nm ND-YAGレーザーアブレーションシステムを連結したquadrupole ICP-MSでジルコンU–Pb年代を測定した． TNG1のジルコンの最大径はおよそ300 μmに及び，顕著な波動累帯を示す粒子は少なく弱い累帯を示すものが多い．U–Pb年代を測定した粒子（n = 28）のうち75%がコンコーダントと判断され，3.42 ±0.08 Ma（MSWD = 2.2；probability fit = 0.2%）の^{238}U–^{206}Pb加重平均年代を得た．

4. 標準試料としてのポテンシャル

得られたジルコンの組織や年代値は，TNG1が年代的に均質であり，年代値が非常に良くまとまっていることを示唆している．[2]はジルコンの標準試料に要求される6つの条件を示しているが，それに従えばTNG1は新たな標準試料としてのポテンシャルがあると言える．①「Pb/U同位体比の均質でよくまとまること」：年代値の誤差は小さく，年代値の良いまとまりを示している．②「普遍鉛が少ないこと」：75%の粒子がコンコーダントと判断され，普遍鉛は少ないと考えられる．③「測定に適したU濃度」：U濃度は未測定なものの，測定に十分なシグナルが得られた．④「結晶構造が測定に適したものであること」：メタミクト化などは受けていないため，測定に適している．⑤「複数回の測定が可能な粒子の大きさ」：単粒子としては非常に大きいものではないものの，複数回測定することは可能である．⑥「一般に広く普及できること」：露頭規模も大きく，サンプルの枯渇はしばらく発生しないと考えられる．また，新潟大学に充分な試料を保管している．以上からTNG1は，新たな標準ジルコンとしてポテンシャルがあるサンプルであると考えられる．しかしながら，ジルコンのスタンダードとして確立するためには，同位体非平衡補正や他の手法（例えばMC-ICP-MSやSHRIMPなど）での更なる測定が望まれる．

（補足）サンプルが必要な方は第一著者（yamada.raiki.geo@gmail.com）宛てに連絡をください．

引用文献 [1] Wiedenbeck et al. (1995) Geostand. Geoanalytical Res., 19, 1–23. [2] Sláma et al. (2008) Chem. Geol., 249, 1–35. [3] Iwano et al. (2013) Isl. Arc 22, 382–394. [4] 茅原ほか（1981）5万分の1地質

© 2021 Geological Society of Japan

図幅「越後湯沢」および同説明書．[5] 川野ほか（1992）岩鉱，87，221–225．[6] 佐藤（2016）群馬県立自然史博物館研究報告，20，85–104．[7] 雁沢・久保田（1987）第94年地質学会要旨，194．

Keywords: Zircon U-Pb age, Standard, Tanigawa-dake Quartz Diorite

© 2021 Geological Society of Japan

Soft clustering analysis of a felsic igneous rock database

*Taku YUTANI[1], Tatsu KUWATANI[1], Kenta YOSHIDA[1], Kenta UEKI[1], Atsushi NAKAO[1], Mitsuhiro TORIUMI[1], Naoto HIRANO[2]

1. JAMSTEC, 2. Tohoku University

[火成岩岩石学と機械学習] 火山岩の化学組成データは複数の元素の含有量を格納する高次元データであり，適切に解析を行うことにより多くの情報を抽出できる可能性が秘められている．しかし高次元のデータは可視化の困難さ等もあり的確な理解，解釈をする上での障害は多い．近年それを解消するために多変量解析や機械学習などの数理的な手法による岩石学へのアプローチがなされるようになってきた．教師あり学習で高次元データを既知のラベル（岩石形成のテクトニクス場など）に紐付ける研究例ではPetrelli and Perugini (2016, Contrib. mineral. petrol, 171(10), 1-15.) やUeki et al．(2018, G3, 19, 1327-1347.) など成功例が増えつつある．一方でIwamori et al．(2017, G3, 18(3), 994-1012.) は教師なし学習として白色化＋K-means法 (KM) を玄武岩同位体データセットに適用し，玄武岩の起源の識別に有効であることを示した．一般的に教師なし学習によるデータ解析は探索的な解析となり，未知のデータセットや予察的な解析に有効である．そこで本研究では教師なし学習によるデータ解析の更なる有効性を検証すべく，火成岩のデータセットに対して複数のクラスタリング手法を適用して結果を比較した．
[目的と手法] 本研究では岩石学データベース ”GEOROC” の安山岩，デイサイトの微量元素組成データを用いて3つのクラスタリング手法 (KM，混合ガウス分布モデル (GMM)，混合t分布モデル (SMM)) を実装し，既知の岩石種が抽出可能か調べることで各手法の火山岩データベースに対する応用可能性を検証した．GMMはデータ点の集合を複数のガウス分布の和として最適化する手法である．SMMは正規分布よりも裾野の重いt分布の混合モデルであり，GMMよりも外れ値に頑健な手法である．今回，学習したパラメータを基に各クラスタの岩石生成プロセス抽出も試みた．XRFで分析可能な9種の微量元素組成データ
(Ti，Cr，Ni，Rb，Sr，Y，Zr，Nb，Ba) を対象とすることで，解析対象のデータ数は約２万点得られた．それらに白色化を施したのちにKM，GMM，SMMを行った．
[結果] 玄武岩の同位体比データでは精度の良い解釈が可能だったKMは，珪長質岩の微量元素組成データとテクトニクス場の対応付けにおいてはうまく機能しなかった．珪長質岩は玄武岩と比較するとデータの分布が複雑であるということが示唆される．GMMではクラスタ数を6以上と設定した場合に高Mg安山岩 (HMA) や未成熟な海洋性島弧に特徴的にみられる低Kソレアイト (LKT) に相当するグループの抽出に成功した．しかし外れ値に強く影響されるため，岩石学的解釈の困難な矮小なクラスタも見られた．一方ガウス分布よりも裾野の重く外れ値に影響されにくいSMMで学習した結果，より少ないクラスタ数の設定（4）でもHMA，LKT，その他のソレアイトおよびカルクアルカリ岩系列の4種の岩石種に相当するグループが検出され，火山岩の化学組成データと裾野の重い確率分布の混合モデルの相性が良いことが示唆される結果となった．また，GMMやSMMでは確率分布のパラメータ（各クラスタの重心や分散共分散行列など）が最適化される．各クラスタの高次元空間における分布の特徴（平均組成やトレンド）は学習されたパラメータの値により統一的・定量的に捉えることが可能である．これは高次元データの持つ情報量を保持しつつ火成岩岩石学的な解釈を可能にするものと考えられ，確率分布モデルの長所である．

Keywords: unsupervised learning, GEOROC, felsic igneous rocks

© 2021 Geological Society of Japan

Petrology and C–O isotope geochemistry of meta-carbonate rocks from the Hida Belt, Japan: Potential significance of dolomitic marble

*Hironobu Harada[1], Tatsuki Tsujimori[1]

1. Tohoku University

変成炭酸塩岩（変成炭酸塩堆積物）は造山帯には普遍的に産し、その鉱物組成共生関係や同位体組成に着目した岩石学・地球化学的研究は、変成炭酸塩岩の原岩と変成条件の束縛だけでなく、流体の起源と流体–岩石相互作用などの定量的な議論を可能にする（Harada *et al.* 2021a; Ogasawara *et al.* 2000; Satish-Kumar *et al.* 2010 など）。一般に、造山帯の変成炭酸塩岩の多くは珪酸塩鉱物を含み、炭酸塩鉱物との変成反応によってCO_2を放出する。従って、その脱炭酸変成反応の理解は地殻におけるCO_2（及び含CO_2流体）の挙動を明らかにする上でも重要である。本講演では飛騨帯の角閃岩相からグラニュライト相変成作用を被った変成炭酸塩岩の新知見を紹介し、さらに、ドロマイト質大理石を用いた地質記録解読の可能性についても紹介する。

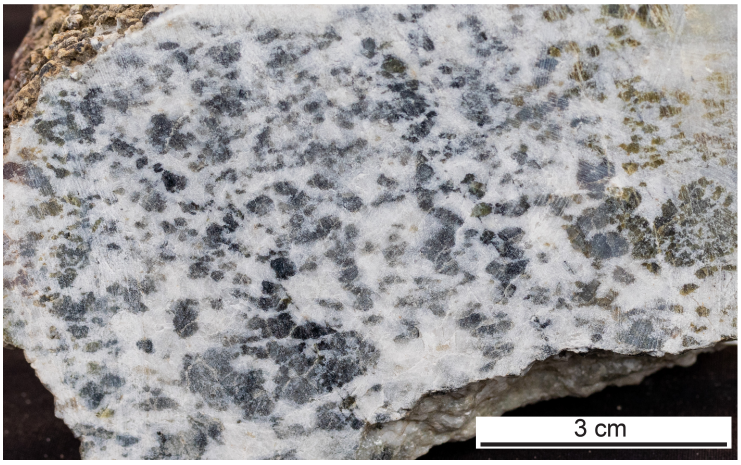
ペルム紀～三畳紀の大陸縁の地殻断片を主体とする飛騨帯は、過去20年間に年代学の進展があったが（Harada *et al.* 2021b; Sano *et al.* 2000; Takehara and Horie 2019など）、岩石学・地球化学的研究は停滞していた。最近、Harada *et al.* (2021a) は飛騨帯に産するドロマイトを含まない大理石及び石灰珪質岩についてマイクロサンプリングによる炭酸塩鉱物の炭素 (C)–酸素 (O)の微少量同位体組成分析を行い、幅広いC–O同位体組成を報告した（$\delta^{13}C$ = –4.4 to +4.2‰ [VPDB]、$\delta^{18}O$ = +1.6 to +20.8‰ [VSMOW]）。とりわけ、低い$\delta^{13}C$（$\delta^{13}C$ = –4.4 to –2.9‰）の石灰珪質岩は、炭酸塩鉱物と珪酸塩鉱物との間での脱炭酸反応による$\delta^{13}C$低下を示す。また、多くの大理石試料の$\delta^{13}C$は炭酸塩堆積物の範囲内であるものの、脱炭酸反応によりCa単斜輝石を形成し、脱炭酸反応の程度に応じて$\delta^{13}C$値はばらつく。一方、$\delta^{18}O$は炭酸塩堆積物に比べて低く、水流体や珪酸塩鉱物との同位体交換を記録する。しかしながら、$\delta^{18}O$の改変は認められるものの、Sr同位体比（$^{87}Sr/^{86}Sr$）は炭酸塩堆積物のそれに近い値で、初生的な同位体比を保持している可能性が高い。飛騨帯の変成炭酸塩岩の多くはドロマイトを含まない、いわゆる大理石であるが稀にドロマイト質大理石も産する。ドロマイト質大理石は含Mg方解石 + ドロマイト + かんらん石（$Fo_{\sim 93–94}$；一部蛇紋石化）の鉱物組み合わせを持ち、少量の金雲母やクリノヒューマイトなどを含む。含Mg方解石は顕著なドロマイトの離溶組織を呈し、大理石では読み解くことのできない熱史の解析を可能にする。また、かんらん石には初生的な流体包有物が保存されており、脱炭酸変成反応に関与した流体及び蛇紋石化に関与した水流体など、高い地殻熱流量で特徴付けられた大陸縁の地殻流体の実像を解明できる可能性がある。

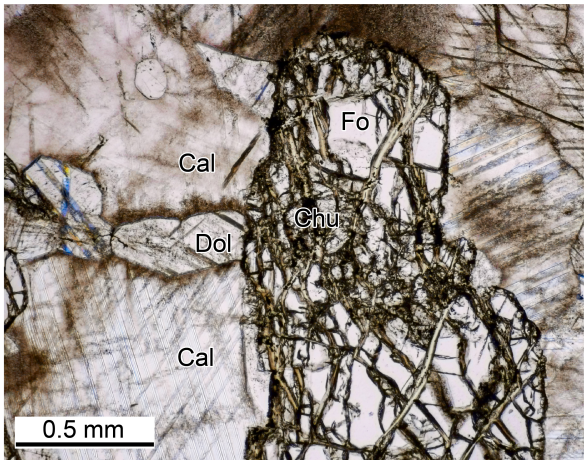
引用文献

Harada, H. et al., 2021a. *Island Arc* 30, e12389. doi: 10.1111/iar.12389
Harada, H. et al., 2021b. *Lithos* 398–399, 106256. doi: 10.1016/j.lithos.2021.106256
Ogasawara, Y. et al., 2000. *Island Arc* 9, 400–416. doi: 10.1046/j.1440-1738.2000.00285.x
Sano, Y. et al., 2000. *Geochem. J.* 34, 135–153. doi: 10.2343/geochemj.34.135
Satish-Kumar, M. et al., 2010. *Lithos* 114, 217–228. doi: 10.1016/j.lithos.2009.08.010
Takehara, M., Horie, K. 2019. *Island Arc* 28, e12303. doi: 10.1111/iar.12303

Keywords: Hida Belt, meta-carbonate rock, marble, dolomitic marble, olivine

© 2021 Geological Society of Japan





© 2021 Geological Society of Japan

Fe(III)-distribution at serpentinized crust-mantle boundary within the Oman ophiolite

*Atsushi Okamoto[1], Kazuki Yoshida[1], Ryosuke Oyanagi[2], Masakazu Fujii[3], Yasuhiro Niwa[4], Yasuo Takeichi[4], Masao Kimura[4]

1. Tohoku University, 2. Kokushikan University, 3. National Institute of Polar Research, 4. High Energy Accelerator Organization

海洋リソスフェアにおける蛇紋岩化作用は、かんらん石中のFe(II)を酸化すると同時に水を還元して水素を発生する。この反応は、酸素の乏しい海洋底の生物圏においてエネルギーを供給する重要なプロセスである。蛇紋岩化作用に伴って生成するFe(III)を含む主要鉱物は磁鉄鉱であるが、海洋底試料の磁化率は、必ずしも密度変化（蛇紋岩化作用の進行度）と線形的な相関があるわけではない(Fujii et al., 2016)。その１つの要因として、蛇紋石にはFe(III)が固溶することが指摘されているが、測定の煩雑さなどのために、その系統性はいまだによくわかっていない。本研究では、オマーンオフィオライトの陸上掘削で得られた地殻ーマントル境界の試料（CM1A, CM2B）について、含水量測定、組織観察とともに、高エネルギー加速器研究機構の放射光施設(Photon Factory)においてX線吸収分光の測定を実施した．粉末試料でのバルク測定(at BL12C)、薄片試料でのマッピング測定(解像度~20ミクロン，at BL15A1)により，Fe(III)/Fe(total)の比率とその分布を決定した。また、磁化率の測定結果と合わせて、数百メートルからマイクロスケールでのFe(III)の分布について考察する。CM1Aは下部地殻ー地殻マントル遷移帯ー上部マントルを貫く400mのコアであり、CM2Bは地殻マントル遷移帯から上部マントルにかけての300mのコアである。どちらも著しく蛇紋岩化作用が進んでおり、はんれい岩中のかんらん石は10-70%程度、地殻マントル遷移帯のダナイトはほぼ100%, 上部マントルのハルツバージャイトは70-80%程度蛇紋岩化作用が進んでいる(Kelemen et al., 2021; Yoshida et al., 2020)。全ての岩相において、メッシュ組織などを形成しながら浸透的に蛇紋岩化作用を起こしているのはリザダイト＋ブルース石＋磁鉄鉱であるが、CM1Aでの遷移帯中のダナイトには、特徴的なアンチゴライト脈のネットワークが形成されている。このアンチゴライト脈は、しばしばその周辺にブルース石の反応帯を持ち、磁鉄鉱が濃集している。バルクのFe(III)/Fe(total)比は含水量(LOI)が増加するほど線形的に増加し、はんれい岩で0.2-0.4, ハルツバージャイトで0.35-0.6、ダナイトで0.45-0.65 であった。また、Fe(III)/Fe(total)のマッピング測定の結果、リザダイトで0.3-0.4、アンチゴライト脈で0.2-0.3と，オマーンオフィオライトの蛇紋石の中にも相当量のFe(III)が含まれることが明らかとなった。一方で、磁化率から得られた磁鉄鉱の量とLOIの関係を見ると、蛇紋岩化作用が進行度はほぼ変わらなくても、ダナイト(2-9 wt%)の方がハルツバージャイト(0-3wt%)よりも磁鉄鉱の量が多く、ダナイトの中で磁鉄鉱の量は大きなバリエーションがあることがわかった。また、全岩のFe総量を合わせて考えると、ダナイトにおいては、Fe(III)は主に磁鉄鉱に含まれて存在し、ハルツバージャイトでは主に蛇紋石に存在していることがわかった。以上のことから、ハルツバージャイトを主とする上部マントルでは蛇紋岩化作用によって磁鉄鉱は出来にくいが、Fe(III)蛇紋石を生成することによって水素を発生するポテンシャルを持っている。一方で、ダナイトは、磁鉄鉱を作りながら蛇紋岩化作用が激しく進行している。一部、磁化率のばらつきは、オブダクションのステージの局所的な流体流入に伴うアンチゴライト脈の形成時期に、磁鉄鉱の溶解析出により不均質な分布を作っているためであると考えられる。Fujii, M., Okino, et al., 2016. Geocemistry, Geophysics, Geosystems, 17, 5024-5035.Kelemen, P.B., Matter, I.M., et al. 2020. Proceedings of the Oman Drilling Project, doi.org/10.14379/OmanDP.proc.2020.Yoshida, K., Okamoto, A., et al., 2020. Journal of Geophysical Research, solid earth 125, doi.org/10.1029/2020JB020268

Keywords: serpentinite, magnetite, Fe(III), Oman ophiolite

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R4 [Regular Session]Metamorphic rocks and tectonics

[1ch314-18] R4 [Regular Session]Metamorphic rocks and tectonics

Chiar:Kentaro Yoshida, Tomoki Taguchi, Tatsuro Adachi

Sat. Sep 4, 2021 2:30 PM - 4:00 PM ch3 (ch3)

[R4-O-1] Progressive metamorphism and attribution of metamorphic rocks from the Seto Inland Sea, South of Yamaguchi Prefecture

*ZEJIN LU[1], Masaaki OWADA[1] （1. Yamaguchi Univ.）

2:30 PM - 2:45 PM

[R4-O-2] [Invited]Igneous, metamorphic and deformation history of the Ryoke Belt (Mikawa area, Japan) - A petrochronological study

*Tetsuo Kawakami[1], Tomoe Ichino[1], Keiichi Kazuratachi[1], Shuhei Sakata[2], Kota Takatsuka[1] （1. Kyoto University, 2. The University of Tokyo）

2:45 PM - 3:15 PM

[R4-O-3] The thermal structure of the NE Honshu arc crust: insight from P-wave and S-wave velocities

*Masahiro Ishikawa[1] （1. Yokohama National University）

3:15 PM - 3:30 PM

[R4-O-4] Reaction kinetics and size-dependent growth of garnets in high-pressure metamorphic rocks

*Kazuhiro Miyazaki[1] （1. Geological Survey of Japan）

3:30 PM - 3:45 PM

[R4-O-5] Kompeito-like growth of minerals and fluid flow velocity

*mitsuhiro toriumi[1] （1. JAMSTEC）

3:45 PM - 4:00 PM

©The Geological Society of Japan

Progressive metamorphism and attribution of metamorphic rocks from the Seto Inland Sea, South of Yamaguchi Prefecture

*ZEJIN LU[1], Masaaki OWADA[1]

1. Yamaguchi Univ.

研究目的 山口県南部には、中生代の地質帯が広く分布する。それらは主に三畳紀高圧型変成岩類、白亜紀高温型変成岩類および白亜紀火成岩類（深成岩、火山岩）である。講演者らは、これまで山口県南部下松市~防府市沖の大島半島・粭島、大津島そして野島に産する泥質片岩に着目して変成作用の特徴、変成温度・圧力条件および変成年代について検討してきた。本発表は、これまでに得られたデータに笠戸島(Beppu & Okudaira, 2006)のデータを加えて整理し、この地域に分布する変成岩類の変成温度・圧力条件と黒雲母K–Ar年代から，変成作用の特徴や帰属を議論する。

地質概要 調査地域には泥質片岩が卓越し、珪質片岩や変成チャートをレンズ状岩体やブロックとして伴う。また、野島の北部には枕状構造が発達した変玄武岩ブロックが分布する。その他、石灰岩や石灰珪質片岩も少量伴われる。

岩石記載 泥質片岩は細粒で片理面が発達し、線構造も認められる。主な変成鉱物は黒雲母(Bt)、白雲母(Ms)、菫青石(Crd)、ザクロ石(Grt)、紅柱石(And)で、緑泥石(Chl)やカリ長石(Kfs)を伴う。各地域で北から南へ以下の組み合わせを示す。

笠戸島：Ms+Bt±Grt、Ms+Bt+Crd+Kfs±Grt、Ms+Bt+Grt+Kfs

大島半島・粭島：Bt±Ms、Bt+Crd±Ms、Bt+Crd+Grt±Kfs、Bt+Ms+And

大津島：Bt±Ms、Bt+Grt±Ms、Bt+Crd+And、Bt+Crd±Ms

野島：Bt+Ms±Chl±Grt、Bt+Ms+Grt+Kfs

K-Ar年代　粭島と野島の泥質片岩から黒雲母を分離し、K-Ar年代を測定した。その結果、粭島90.1±2.1Ma、野島92.1±2.1Maという冷却年代を得た。

変成分帯 変成鉱物組み合わせの変化から、笠戸島、大島半島・粭島および大津島は北部の黒雲母帯と南部の菫青石帯に分帯される。一方、野島は北部が黒雲母帯で、南部がザクロ石帯に分帯された。泥質片岩の化学組成は、野島のザクロ石帯とそれ以外の菫青石帯でFe/Fe+Mg(XFe)値とMn/Fe+Mg+Mn(XMn)値が異なり、いずれも野島産の岩石が最も高い。この傾向はザクロ石の組成でも同じである。従って、野島にザクロ石帯が存在するのは、泥質片岩の化学組成が高XFe・XMn値であることによると考えらえる。

ピーク時の変成温度と圧力 Beppu and Okudaira（2006）は笠戸島の領家帯変成岩について研究し、菫青石帯の変成温度・圧力条件として550℃、250MPaを見積もった。一方，野島産ザクロ石帯の変成岩類についても、480-530℃、180-300MPaが見積もられた。すなわち、菫青石帯とザクロ石帯の変成度はほぼ同じであると考えられる。

変成岩類の帰属 大島半島北部、粭島および大津島は、これまで高圧型変成作用を受けた周防帯とされてきた。本研究では、これらの地域から菫青石や紅柱石を見出し、鉱物組み合わせ，変成温度・圧力条件および黒雲母K–Ar年代から，山口県南部の笠戸島から野島に産する変成岩類は領家帯に帰属すると考えられる。一方、黒雲母帯と菫青石帯（ザクロ石帯）のアイソグラッドの位置は、大島半島・粭島から大津島は連続するが、笠戸島と野島には連続しない。この原因について、この地域の熱構造形成後の変形によって改変された可能性がある。

引用文献

芥川祐樹・大和田正明（2018）山口県南部に産する低圧型変成岩類の変形・変成作用．日本地質学会学術大会講演要旨（札幌）．

Beppu, Y. and Okudaira, T. (2006) Geology and metamorphic zonation of the Ryoke Metamorphic Belt on Kasado-jima Island, SW Japan. Journal of Mineralogocal and Petrological Sciences. **101**, 240-253.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Ryoke belt, Isograd, Biotite K-Ar age

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Igneous, metamorphic and deformation history of the Ryoke Belt (Mikawa area, Japan) - A petrochronological study

*Tetsuo Kawakami[1], Tomoe Ichino[1], Keiichi Kazuratachi[1], Shuhei Sakata[2], Kota Takatsuka[1]

1. Kyoto University, 2. The University of Tokyo

ペトロクロノロジーと野外地質調査を組み合わせた研究手法を用いて、領家帯三河地域における深成-変成-変形履歴を読み取る研究を行った。Bt帯からGrt-Crd帯までの変成分帯として記録された広域変成作用のうち、珪線石安定領域における部分溶融を伴う高度変成は約97 Ma～約89 Maまでの間、中部地殻深度(~ 21-14 km)で続いていた。約87 Maには珪線石-紅柱石脈が形成されていることから550 ℃以上のサブソリダス条件に変成度は下降していたと考えられ、87-75 Ma花崗岩類がGrt-Crd帯の最下部に貫入するまでサブソリダスな条件は継続していた。Grt-Crd帯の約79Maのペグマタイト脈が変形同時の産状を示すこと、81-75 Ma花崗岩類が変形していること、そして81-75 Ma花崗岩類はMTLに沿うように50 km以上にわたって分布していることから、81-75 Ma花崗岩類の貫入はGrt-Crd帯最下部の中部地殻における広域的なスケールの延性変形を引き起こしたと考えられる。Grt-Crd帯のミグマタイトには81-75 Ma花崗岩類の貫入同時期のジルコンのオーバーグロウスが見られるものがある。従って、三河地域のGrt-Crd帯の広域変成作用は複数相の変成・変形からなると言える。このような広域変成作用よりも若い片麻状花崗岩類のGrt-Crd帯への貫入と、貫入同時の変成・変形作用は、青山高原地域（Kawakami et al., 2019）や柳井地域（Skrzypek et al., 2016）では認められていない。従って、三河地域より西方地域のGrt-Crd帯では複数相の広域変成・変形のオーバープリントは起きていないと思われる。

広域変成作用の変成分帯で示される約97 Maから約75 Ma頃までの地殻断面のうち高変成度部は、約75-69 Maまでに傾斜しながら約13-9 kmまで上昇し、そこに変成分帯を横断するように75-69 Ma花崗岩類が貫入した（Takatsuka et al., 2018）。従って、約97 Maから約75 Ma頃までの地殻断面に斜交して上書きするように、約70Ma頃の地殻断面の記録が保存されている。約70 Maの三河地域の地殻断面（上部地殻のみが露出）は75-69 Ma花崗岩類とその接触変成帯、および濃飛流紋岩で代表される。75-69 Ma花崗岩類の中で最大のバソリスであり、約75-69 Maの年代幅を持つ伊奈川花崗閃緑岩の周囲にはミグマタイト帯が発達するが、そのミグマタイト中のジルコンリムは約74 Maを与える。また、伊奈川花崗閃緑岩の周囲の変成岩中に貫入する変形同時のペグマタイト脈は約70Maの年代を与える。これらのことから、伊奈川花崗閃緑岩の貫入が、周囲の接触変成帯における局所的な部分溶融と延性変形のきっかけとなったと考えられる。

本研究により、熱い地殻へのパルス状の花崗岩類の貫入は、様々な深度で広域的・局所的な延性変形を引き起こすきっかけとなることがわかった。エピソディックな花崗岩類の上・中部地殻への貫入は地殻の強度をコントロールする重要な要因の1つである。

引用文献

Kawakami et al., 2019, Lithos, 338–339, 189–203.
Skrzypek et al., 2016, Lithos, 260, 9-27.
Takatsuka et al., 2018, Lithos, 308–309, 428–445.

Keywords: Continental crust, Metamorphism, Petrochronology, U-Pb zircon dating, ductile deformation

© 2021 Geological Society of Japan

The thermal structure of the NE Honshu arc crust: insight from P-wave and S-wave velocities

*Masahiro Ishikawa[1]

1. Yokohama National University

地球の歴史において地球内部は時間とともに冷却していると考えられているが、地球内部の放射性元素、特にウラン、トリウム、カリウムの放射性崩壊は継続的に熱を発生している。地球は膨大な熱を放出しており、地球から宇宙へ放出される熱フラックスは44テラワット(Pollack et al., 1993 Reviews of Geophysics)もしくは31テラワット(Hofmeistar, 2005 Tectonophysics)という数値が得られている。しかし、原始地球誕生に由来する「残留原始熱」と放射性元素の崩壊による「放射性崩壊熱」の相対的な寄与は不確かなままであり、「放射性崩壊熱」の見積もりが重要な課題となっている(例えばKorenaga 2011 Nature Geoscience)。地殻は、大陸で約40km、島弧で約20-30㎞、海洋底で約7kmの厚さであり、固体地球に占める体積はわずかであるが、地球にあるウラン、トリウムのおよそ半分が地殻に濃縮していると予想されている。しかし、熱源になる放射性元素が、地殻内部のどこにどれくらいあるのかは明確にはなっていない。近年では、神岡鉱山跡でウランやトリウムなどが崩壊するときに放射される反電子ニュートリノ（地球ニュートリノ）を観測することで（Araki et al., 2005 Nature）、熱源になる放射性元素の分布を解明しようとする研究が行われており（The KamLAND Collaboration 2011 Nature Geoscience）、放射性崩壊熱とその熱源の分布を解明することは固体地球の熱放出プロセスと固体地球の熱進化に関する研究において非常に重要な課題となっている。
地殻内部の放射性崩壊熱とその熱源の分布を解明する上で、地殻内部の温度構造は重要な情報である。岩石学的研究や数値シミュレーションによるマントルウェッジの温度分布モデルによると、東北日本のモホ面の最高温度は約1000℃と推定されている（例；Tatsumi et al., 1983 JGR; Honda, 1985 Tectonophysics）。一方、坑井の温度計測から地温勾配を見積もると（田中他, 2004 日本列島及びその周辺域の地温勾配及び地殻熱流量データベース）、東北日本の地温勾配は広範囲で50℃/kmを超えており、東北日本の下部地殻の温度は1000～1500℃程度という超高温となってしまう。このようなソリダスやリキダスを超える下部地殻では広域に部分融解や全融解が起きることになり、現実の火山活動を説明できないという問題が生じる。坑井の温度計測による地温勾配は地殻浅部の温度構造の解明には有効であるが、地殻深部の温度分布の推定にはそのまま適用はできない。このような背景から、地殻内部の放射性崩壊熱とその熱源の分布を解明するためには、地殻深部の温度分布を高精度に三次元的に見積もる新たなアプローチが必要となる。そこで本研究では、新たなアプローチとして、地殻内部の地震波速度から温度成分を抽出し、地殻内部の高精度な温度構造を明らかにすることを目的とした。
　上部マントルの代表的な構成岩石はかんらん岩であり、上部マントルの地震波速度は大局的には温度構造を反映すると考えられる。一方、島弧地殻の場合、マントルと比較して地殻は構成岩石が多様かつ不均質であり、地震波速度は岩石種と温度に大きく影響されるために、地震波速度から地殻内の温度構造を見積もることが容易ではない。発表者らの研究グループによる高温高圧下の岩石の弾性波速度測定実験によると、P波速度（Vp）とS波速度（Vs）には温度依存性が明確である一方、Vp/Vsは温度依存性が極めて小さく、岩石種に大きく依存することがわかってきた。したがって、地殻の地震波速度から同一岩石種（一定範囲のVp/Vs）の地震波速度を抽出することで地震波速度を温度成分として読み取ることが可能となる。本研究において地震波速度から推定した東北本州弧地殻深部の温度分布は微小地震の深度分布から推定された温度構造(例えばHasegawa et al., 2000 Tectonophysics)と類似しており、奥羽脊梁山脈に沿って温度の高低が認められる。また、本研究の温度分布は地質との対応も見られ、中新世リフト地殻では低温になっている。この低温は玄武岩と花崗岩の熱拡散率の違いでは説明できないほど大きく、放射性元素の崩壊熱の違いを反映していると予想される。「マントルからの熱輸送と地殻の放射性元素の崩壊熱の割合が地域間でどのような不均質さを持つのか」つまり「熱源になる放射性元素が、地殻内部のどこにどれくらいあるか」という学術的問いに回答を与えるものとして今後の研究が期待される。

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Thermal structure, Honshu arc, crust

© 2021 Geological Society of Japan

Reaction kinetics and size-dependent growth of garnets in high-pressure metamorphic rocks

*Kazuhiro Miyazaki[1]

1. Geological Survey of Japan

変成反応動力学の決定は，地殻-マントル内部における流体の生成・移動・吸収とこれらと不可分な岩石組織の時間発展を予測するために必要である．さらに，流体の生成・移動・吸収は，沈み込み帯造山帯の構造進化を制御している．本研究では，沈み込み帯造山帯深部で形成された高圧型変成コンプレックス泥質片岩中のざくろ石を用いて反応動力学を推定した．ざくろ石は緑泥石などの含水鉱物が脱水して生じる代表的脱水反応生成物である． 本研究の反応動力学判別では，ざくろ石形態及び累帯構造と粒径を用いた判別を行った．ざくろ石形態及び累帯構造を用いた動力学判別では以下の性質を利用した． 1）過飽和度（非平衡度）の大きな拡散律速型成長では，Mullins-Sekerka不安定性が観測される(Miyazaki，2015)，2）拡散律速成長では近接する２粒子間で拡散成分の取り合いが起こるため，２つの核を持つ粒子は存在しない，の２点である．粒径を用いた判別では，初期粒径a_0を横軸に，最終粒径aを縦軸に取りプロットする (Miyazaki et al., 2017)．拡散律速型では，粒界が小さいほど成長量が多く，判別図上で，粒径が小さいほど傾き１の直線より上方へずれる．一方，界面律速型では，粒径によらず傾き１の直線上に配列する．以下では，ざくろ石累帯構造の同MnO量面を同時間面と仮定して初期粒径a_0を計測した．この計測を行うためには，泥質片岩から単離したざくろ石を使用しなければならないが．単離作業継続中のため，今回は薄片上で計測した．単離したざくろ石の累帯構造プロファイルは，三波川コンプレックスからはBanno et al. (1986)で，三波川コンプレックス西方延長の長崎変成コンプレックスからはMiyazaki (1991)で，先行研究がなされている．いずれの場合も，以下の２点が明らかとなっている． 1）粒径によらず，ざくろ石コアはMnOに富む， 2）ざくろ石MnOプロファイルから，初期粒径が大きい粒子ほど大きく成長している．ただし， 2については，計測された粒子数が２～３個と少なく，より多数の粒子の測定が必要である．本研究では， 1）の性質を利用して，薄片上でMnOに富むコアを持つざくろ石は，中心を通る断面に近い断面で作成されているとして，粒径の計測を行った． 研究に使用した泥質片岩は，高圧型変成コンプレックスである三波川コンプレックス高知県汗見川沿いのアルバイト黒雲母帯から採集した．試料中のざくろ石では，外形が凸凹になるMullins-Sekerka不安定性は観測されず，かつEPMAによるざくろ石累帯構造の観察の結果，２つ以上のMnOに富む核をもつざくろ石が観察された．以上の観察結果は，ざくろ石が界面律速型成長したことを示唆している． 粒径を用いた判別では，初期粒径a_0として，MnO 量が8, 6, 4, 及び2 wt%と，外縁部に認められるMnOスパイクを使用した．プロットの結果，いずれのa_0を用いても，初期粒径が大きいほど成長量が多くなる関係が得られた．このような関係は，オストワルド成長でもできるが，より詳細に見ると粒径の大きなところで，粒径と成長量がほぼ線形関係にあり，オストワルド成長で期待される粒径が大きいほど成長量増加が頭打ちになる関係が認められない．一方，ヒマラヤの衝突型造山帯泥質片岩中のざくろ石(Geroge and Gaidies, 2017)の粒径を用いた動力学判別では，傾き１の直線上にほぼ配列し，通常の界面律速型反応を示唆する．今回の沈み込み帯三波川コンプレックスの結果は，ヒマラヤの変成岩の結果と大きく異なる． 粒径に依存した成長量の増大の原因は今のところ不明である．しかしながら，弾性歪みを組み込んだオストワルド成長では，析出物が基質にくらべ固い場合，析出物間に斥力が働き，大きい粒子の成長が加速されると理論的に予測されている(Kawasaki and Enomoto, 1984)．弾性歪み効果が現れるためには，弾性歪みが塑性変形で緩和されるより早くオストワルド成長が進行する必要がある．弾性歪み効果が実在すれば，変成岩の構造形成及び反応進行速度に影響を及ぼすことになる．

文献：Banno et al. (1986) Lithos, 91,51-63. George and Gaidies (2017) Contrib Mineral Petrol, 175:57. Kawasaki and Enomoto (1988) Physica A, 150,463-498. Miyazaki (1991) Contrib Mineral Petrol,108,118-128. Miyazaki (2015) Progress in Earth and Planetary Science, 2:25. Miyazaki et al. (2017) Terra Nova, 30: 162-168.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Metamorphic rocks, Metamorphic reaction, Garnet, Reaction kinetics

© 2021 Geological Society of Japan

Kompeito-like growth of minerals and fluid flow velocity

*mitsuhiro toriumi[1]

1. JAMSTEC

There appears common occurrence of flower like shape of garnet, albite, and quartz which is surrounded by the matrix minerals such as chlorite, micas, and amphiboles in the regional metamorphic rocks, and of dendritic grains of cordierite, garnet, staurolite and plagioclase in the contact metamorphic rocks of thermal aureole. The latter is probably due to the rapid growth under the high degree of supersaturation, but the former is surely derived from the growth instability as like as the formation of icicle and hail which is characterized by regular spikes. This type of grain shape appears in the Japanese classic sugar ball something like small cake called as Kompeito in Japan which has also the periodic spikes on the surface. In this talk, the author intends to call this type of flower like grain as the kompeito grain hereafter and discuss the fluid flux producing the kompeito growth of albite by means of Mullins-Sekerka instability at the replacement of albite after chlorite.

Keywords: konpeito, metasomatic instability, fluid flow

© 2021 Geological Society of Japan

[1ch401-07] T4. [Topic Session] Reconstructiong modified ancient arc-trench systems: examples of Japan etc.

Chiar:Yukio Isozaki, Kazumasa Aoki
Sat. Sep 4, 2021 8:00 AM - 10:30 AM ch4 (ch4)

[T4-O-1] Trace element composition of zircon in Kofu granites: Quantitative indicator of sediment involved in parent magma

*Yusuke Sawaki[1], Shuhei Sakata[1], Takeshi Ohno[2] (1. The University of Tokyo, 2. Gakushuin University)

8:00 AM - 8:15 AM

[T4-O-2] Zircon U-Pb ages of Cretaceous granititoids in Oita Prefecture, southwest Japan

*Yukiyasu Tsutsumi[1], Kenichiro Tani[1] (1. Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science)

8:15 AM - 8:30 AM

[T4-O-3] Boron isotope mapping of serpentinites in the Osayama Serpentinite Mélange, SW Japan

*Tatsuki Tsujimori[1], Chinatsu Yamada[1], Shogo Aoki[2], Kazumasa Aoki[3], Qing Chang[4], Jun-Ichi Kimura[4] (1. Tohoku University, 2. Akita University, 3. Okayama University of Science, 4. JAMSTEC)

8:30 AM - 8:45 AM

[T4-O-4] [Invited]Review of detrital zircon studies and chronology: Perspectives on the history of geotectonic evolution and growth of continents

*Hikaru Sawada[1] (1. JAMSTEC X-Star)

8:45 AM - 9:15 AM

[T4-O-5] Cretaceous arc-trench system along southern margin of the Sea of Okhotsk: Constraints from clastic composition of the Nikoro Group accretionary complex (Tokoro Belt, Eastern Hokkaido).

*Hayato Ueda[1], Komei Nara[2], Yuta Akutsu[2] (1. Faculty of Science, Niigata University, 2. Kowa Co Ltd.)

9:30 AM - 9:45 AM

[T4-O-6] Two distinct events of crustal reforming in Eocene Japan: preliminary view from provenance age analysis of Paleogene sandstones

*Yukio Isozaki[1], Tomohito Nakano[1], Ryo Hasegawa[1], Juliana Ferreira Godot Souza[1], Yukiyasu Tsutsumi[2], Tomomi Kani[3] (1. Univ. Tokyo Komaba, 2. Deprtment of Geology and Paleontology, National Musem of Nature and Science, 3. Fac. Sci., Kumamoto Univ.)

9:45 AM - 10:00 AM

[T4-O-7] [Invited]Tectonic relationship between the Ryukyu arc and the South China block shown by structural and zircon U– Pb– Hf isotopic studies of Tokunoshima Island, southwest Japan.

*Hiroshi Yamamoto[1], Kazuaki Okamoto[2], Shuro Ueda[3], Masaru Terabayashi[4] (1. Kagoshima University, 2. Saitama University, 3. Geological Technology Research Co., Ltd, 4. Kagawa University)

10:00 AM - 10:30 AM

©The Geological Society of Japan

©The Geological Society of Japan

Trace element composition of zircon in Kofu granites: Quantitative indicator of sediment involved in parent magma

*Yusuke Sawaki[1], Shuhei Sakata[1], Takeshi Ohno[2]

1. The University of Tokyo, 2. Gakushuin University

砂岩中に含まれる砕屑性ジルコンの年代分析は、既に消失した地質体の年代も提供しうるため、日本列島の構造発達史の解明において大きな役割を果たしてきた(Aoki et al., 2012; Isozaki et al., 2017など)。これに加えて、ジルコンを供給した母岩組成などに関する情報も得る事ができれば、日本列島形成史の理解のさらなる深化が期待できる。ジルコンの酸素同位体比やHf同位体比などから、ジルコンを晶出したマグマ(母岩)が取り込んだ堆積物量などを見積もる手法が提案されている(Valley et al., 2005など)。この原理を砕屑性ジルコンに応用して、21億年前頃から堆積物を取り込んだ花崗岩マグマの比率が増加した事などが主張されている(Iizuka et al., 2013)。私たちはジルコン中の微量元素濃度からも、同様に母岩に関する情報を引き出したいと考えている。ジルコン中のREE濃度をマグマが取り込んだ堆積岩種の指標とすべく為された先行研究もあるが(Hoskin and Ireland, 2000など)、現状ではその有用性は確立されていない。これは分析に用いられた各々の花崗岩において初生メルトや取り込む堆積岩の組成、晶出鉱物が多様であることに一因があると考えられる。そこで初生メルトが似通っており、堆積物混入量が少しずつ異なる花崗岩を用いて、堆積物の混入量に応じて増加する微量元素を特定したいと考えている。 甲府花崗岩体は伊豆-ボニン-マリアナ弧(IBM弧)の北延に位置し、白亜紀から古第三紀の付加体である四万十帯に貫入している。甲府花崗岩体を構成する花崗岩は芦川-藤野木、笹子、塩平、三宝、広瀬、瑞牆、昇仙峡の7つ程度に細分され(Saito and Tani, 2017)、15～10Maの形成年代を持つ(Sawaki et al., 2020)。甲府花崗岩体の花崗岩はIBM弧下で形成された初生マグマが四万十帯の堆積物を取り込んだ混合マグマから形成されたと考えられている。各岩体における堆積物混入量は全岩の放射性起源Sr同位体比から見積もられており、おおよそ上述の順に堆積物の混入量が増加し、瑞牆岩体や昇仙峡岩体が最も堆積岩を取り込んで形成された花崗岩と見込まれている(Saito and Tani, 2017)。そのため甲府盆地周縁に産する花崗岩は本研究目的に対して最適である。 採取した花崗岩から粉末試料を作成した後にガラスビードを作成し、主要元素の全岩組成はXRF(RIX2100)にて測定した。また、ガラスビードを用いて全岩の微量元素濃度をLA-ICP-MSにて測定した。また、花崗岩から分離したジルコンをEpo-fix樹脂に埋め込み、学習院大学のLA-ICP-MSを用いて各ジルコン内の微量元素濃度を測定した。本発表では堆積岩混入指標としてよく使用されるNbやTa, Thなどの元素について、薄片内に見られる副次成分鉱物の晶出状況などを加味しながら有用性を議論する。砕屑性ジルコンに応用する際の鍵はジルコンの晶出温度とゼノタイム置換の度合いである事も明らかになりつつあり、これらが弧-海溝系の復元研究の一助となれば幸いである。

Keywords: Kofu granites, zircon, trace element

© 2021 Geological Society of Japan

Zircon U-Pb ages of Cretaceous granititoids in Oita Prefecture, southwest Japan

*Yukiyasu Tsutsumi[1], Kenichiro Tani[1]

1. Department of Geology and Paleontology, National Museum of Nature and Science

九州の先白亜紀基盤岩類は、第三紀以降の激しい火山活動による噴出物によって大部分が被覆されているものの、各所に白亜紀花崗岩類が点在することが分かっている。それらの活動史の研究は、長らくRb-Sr全岩（一鉱物アイソクロン）年代やK-Ar年代を用いて行われてきが、近年急速に普及したジルコンU-Pb年代は、古典的な活動史を各地において更新してきた。今回、大分県東北部の国東半島地域および西部の朝地地域より計12試料の白亜紀花崗岩類よりジルコンU-Pb年代測定を行ったので、その結果を報告する。

国東半島地域の花崗岩類は、半島南東部では108～111 Maと比較的古い値を、半島中央部から福岡県県境地域にかけて95～100 Maを示した。前者の年代は肥後帯（108～113 Ma：堤, 2019）に対応するものと思われる。一方、後者は領家帯に一般的にみられる年代に対応し、瀬戸内海を挟んだ柳井地域（Skrzypek et al., 2016）や高縄半島（Shimooka et al., 2019）の年代とも良い一致を示すので、領家帯の西方延長と考えることができる。

朝地地域古くは領家帯の西方延長と考えられてきたが、近年では肥後帯に含める場合もある。花崗岩類は、荷尾杵花崗岩を中心として、山中花崗閃緑岩、綿田花崗閃緑岩が存在する。荷尾杵花崗岩のジルコンはU濃度が極めて高く、激しくメタミクト化しているためにほとんど測定できなかったが、測定できた少数のデータは約117 Maおよび123 Maを示した。山中および綿田の試料は約105 Maを示した。荷尾杵花崗岩からは106 ±4 MaのモナザイトCHIME年代（高木ほか, 2007）や134.7 ±2.8 MaのジルコンU-Pb年代（藤井ほか, 2008）が報告されている。荷尾杵花崗岩のモナザイトCHIME年代は、山中・綿田両岩体の貫入を記録していると思われる。ジルコン年代に関しては今後も検討の余地が残るが、山中・綿田両岩体より古いことは確実であろう。

藤井ほか (2008) *地雑* **114**, 127-140.; Shimooka et al. (2019) *JMPS* **114** 284-289.; Skrzypek et al. (2016) *Lithos* **260**, 9–27. 高木ほか (2007) *地雑* **113**, 1-14.; 堤 (2019) *地質学会要旨* **126**, 42.

Keywords: zircon age, Kunisaki, Asaji, Ryoke, Higo

© 2021 Geological Society of Japan

Table. Zircon U-Pb ages of granitoids from the study area

No.	Sample name	area	rock body	n of data			Age	
				All	Conc.	Calc.	(Ma)	MSWD
1	YKG1	Kunisaki	Yamakunigawa	41	40	33	95.5 ± 1.0	1.92
2	YKG2	Kunisaki	Yamakunigawa	41	38	31	95.5 ± 1.0	2.46
3	MRT	Kunisaki	Maruta	44	40	39	100.4 ± 1.2	1.55
4	UYS1	Kunisaki	Ushiyashiki	44	40	23	110.8 ± 1.1	0.50
5	UYS2	Kunisaki	Ushiyashiki	44	41	33	98.0 ± 1.2	1.63
6	GMJ1	Kunisaki	Gyojamisaki	31	28	26	108.0 ± 0.9	2.18
7	GJM2	Kunisaki	Gyojamisaki	44	42	39	108.2 ± 1.0	2.98
8	KTZ	Kunisaki	Kurotsuzaki	33	28	24	110.2 ± 1.1	2.26
9	WTD	Asaji	Watada	29	26	25	105.3 ± 0.9	2.30
10	NOK1	Asaji	Nioki	4	3	3	(117.5 ± 3.8)	0.06
11	NOK2	Asaji	Nioki	3	2	2	(123 ± 17)	0.24
12	YMN	Asaji	Yamanaka	32	29	28	105.2 ± 1.1	1.58

Age errors are 95% conf.

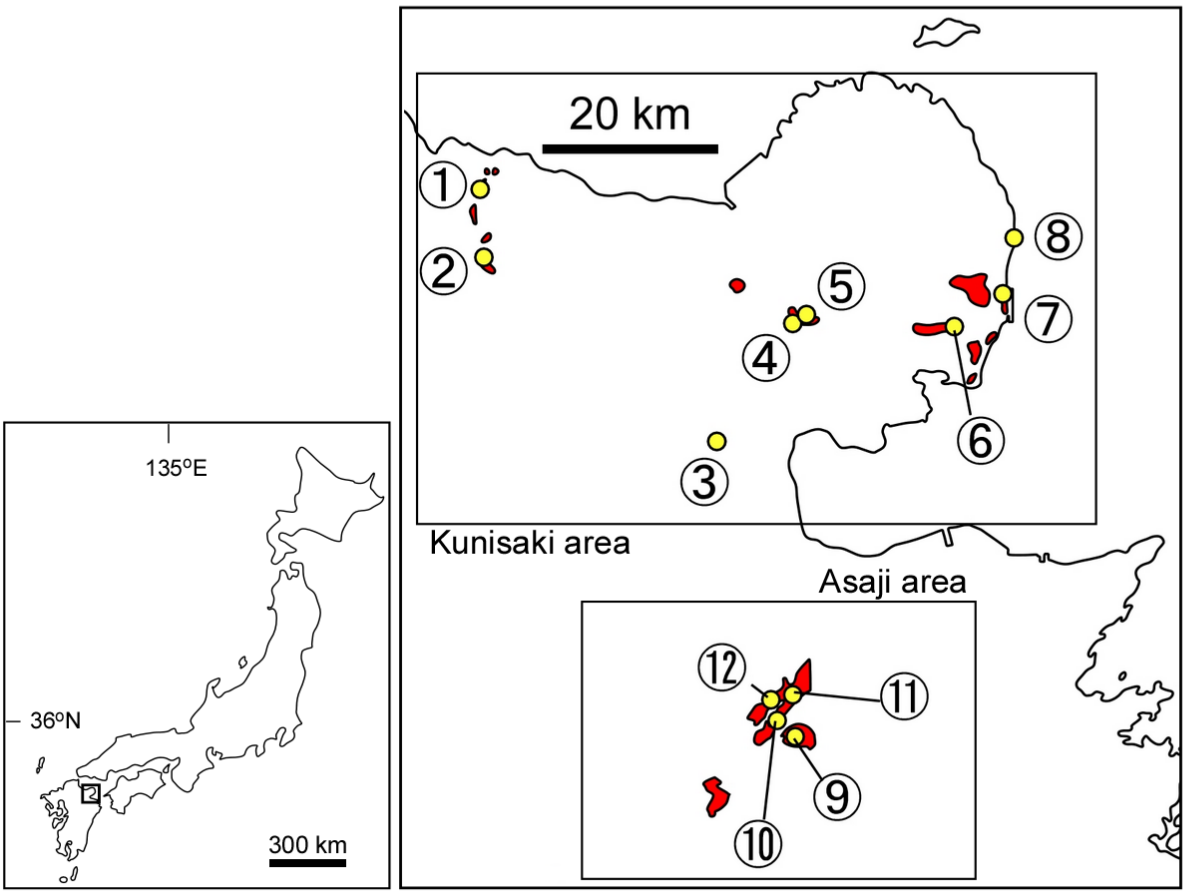


Figure. Distribution map of granitoids in the study area with sample locality.

© 2021 Geological Society of Japan

Boron isotope mapping of serpentinites in the Osayama Serpentinite Mélange, SW Japan

*Tatsuki Tsujimori[1], Chinatsu Yamada[1], Shogo Aoki[2], Kazumasa Aoki[3], Qing Chang[4], Jun-Ichi Kimura[4]

1. Tohoku University, 2. Akita University, 3. Okayama University of Science, 4. JAMSTEC

Based on the B-isotope characteristics, Yamada et al. (2019a) *Lithos* discriminated serpentinites in the Franciscan Complex into two groups. HP serpentinites showed lower δ^{11}B values (−12 to +8.8‰) than LP serpentinites (+7.2 to +24.4‰; mostly > +10‰). Yamada et al. (2019b) *JMPS* also showed a B-isotope difference of antigorite serpentinites among two different metamorphic units of the Itoigawa–Omi area; they found that low δ^{11}B (< +10‰) serpentinite in the blueschist- and eclogite-bearing unit can be distinguished from high δ^{11}B (> +10‰) serpentinite in the amphibolite-facies unit. These observations indicate that HP serpentinites were affected by forearc slab fluids with lighter B signature at deeper depths. In order to evaluate the origin of serpentinite in a blueschist-bearing serpentinite-mélange, we applied the isotope-mapping approach on a 1:5000 scale map of the Osayama Serpentinite Mélange (OSM), SW Japan. The OSM serpentinites show small chemical variations of relict Cr-spinel and no mappable systematics of those, excepting for sporadic occurrences of Na-bearing tremolite and Zn-rich metasomatic chromite rims. However, based on a 219-spots isotope analysis of 39 samples, we were able to map the distribution of two groups of serpentinites. Overall, OSM serpentinites show a wide range of B (9–913 μg/g; mostly > 100 μg/g). The B-isotope mapping revealed the distribution of lenticular antigorite serpentinite blocks with high-δ^{11}B (> +10‰) within low-δ^{11}B (< +10‰) serpentinites. The trace-elements geochemistry found a positive correlation between W and B; the correlation among W/Th and Ba/W ratios suggests an influence of sediments-derived fluids. Moreover, enrichments of As and Sb in the low-δ^{11}B serpentinite suggest an infiltration of As- and Sb-rich fluids from subducting sediments at blueschist-facies depths where sulfide breakdown occurs. We have also evaluated effects of contact metamorphism by a Cretaceous granite. The thermal effect is not extreme in the isotope changes, but in the contact aureole, our data suggests that deserpentinization reactions release boron and cause a small decrease of δ^{11}B. Our isotope-mapping approach offers an alternative and effective new method to constrain and map serpentinite mélange complexes.

Keywords: serpentinite-matrix mélange, serpentine, boron isotope mapping, trace-elements concentration, Osayama serpentinite mélange

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Review of detrital zircon studies and chronology: Perspectives on the history of geotectonic evolution and growth of continents

*Hikaru Sawada[1]

1. JAMSTEC X-Star

砕屑性ジルコンのウラン鉛年代測定は, 2000年頃からレーザー焼灼誘導結合プラズマ質量分析器(LA-ICPMS)の普及によって国内外で広く行われるようになった. 各地の多様な構造場で形成された砂岩などの堆積岩およびそれを原岩とする変成岩の中に含まれる砕屑性ジルコンの大量のデータが供給された. これらのデータは, 様々なスケールの地質研究の進展に大きく貢献した. それらを空間スケールの小さなものから順に列挙すると, (1)堆積年代制約, (2)後背地推定, そして(3)大陸地殻消長史などがあるが, 本発表では(2)および(3)についてレビューし, さらに今後の発展について議論する.
砕屑性ジルコン年代分布は, 堆積当時の後背地の地殻を構成する岩石の年代分布をおおよそ反映すると考えられている. このことを用いて, 古地理復元や大陸地殻消長の議論が行われてきた. 世界各地の地球史を通じた様々な年代の堆積岩から得られた砕屑性ジルコン年代分布のコンパイルを通じて, 大陸地殻消長史が議論されてきた.
当初は現世の世界各地の大河川の河口から得られた砕屑性ジルコン年代分布を用いて現在の大陸地殻の年代分布が議論されていたが(e.g. Rino et al., 2004; 2008), 後には年代や地域, 構造場などを区別せずにコンパイルした巨大なデータから, 大陸地殻の形成または保存の卓越した時期を探す試みが行われた(e.g. Condie et al., 2009; Hawkesworth et al., 2009). このような研究は定性的には非斉一的な大陸地殻成長を示す証拠となったものの, 形成と消失を繰り返す大陸地殻の進化を詳細に解読するにはこのような手法は不適であるとし, 堆積年代ごとに区別してデータをコンパイルした砕屑性ジルコン年代の多様性から大陸サイズの変遷を推定することが提案された(Sawada et al., 2018). 約34〜32億年前以前の堆積岩には堆積年代以前の数億年程度の間の砕屑性ジルコンしか含まれていないのに対して, 32〜23億年前頃には8〜10億年程度の間の砕屑性ジルコンが含まれるようになり, さらに23億年前以降は20億年以上の間のものが普遍的に含まれるようになることが示された. このような砕屑性ジルコン年代分布パターンの変化は, 大陸サイズの変化を表していると推定された. 約34億年前以前は海洋性島弧のような細長く年代多様性の少ない大陸地殻が主体で, それらのマントルへの消失も活発であった. このような未熟な大陸地殻が衝突・合体を繰り返し, 32億年前頃には数百〜数千kmスケールの萌芽的大陸が現れ, さらに23億年頃には現代の大陸に匹敵する10,000 kmスケールの大陸が現れたと考察される. 一方で, 近年, このような砕屑性ジルコン年代分布パターンの変化を大陸サイズそのものではなく, 大陸地殻の厚さの変化に依存した海面から上に露出している陸地部分の変化でしか無いという見方も提案されている (Reimink et al., 2021). 2020年代となった今でも砕屑性ジルコン分析に依拠した研究は進行しているが, 理解の進展を得るにはこれまでの単純な延長, 拡大では限界に達している. 特に弧海溝系での大陸地殻形成についてはこれまで単純化して議論されてきたが, それらの構造的な個性や地質時代の違いによる区別した議論しなければならず, それを可能とするためには現状の砕屑性ジルコン年代分布以外の判別指標の構築をする必要がある. このような観点から(1)ジルコン以外の鉱物の年代測定, (2)砂岩の全岩組成, (3)LA-ICPMSでは直接分析不可能な微細サイズのジルコン粒子の分析, 等についても紹介する予定である.

Rino et al. (2004). Physics of the Earth and Planetary Interiors, 146, 369-394.
Rino et al. (2008). Gondwana Research, 14, 51-72.
Condie et al. (2009). Gondwana Research, 15, 228-242.
Hawkesworth et al. (2009).Science, 323, 49-50.
Sawada et al. (2018). Geoscience Frontiers, 9, 1099-1115.
Reimink et al. (2021). Earth and Planetary Science Letters, 554, 116654.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: detrital zircon, chronology, sandstone

© 2021 Geological Society of Japan

Cretaceous arc-trench system along southern margin of the Sea of Okhotsk: Constraints from clastic composition of the Nikoro Group accretionary complex (Tokoro Belt, Eastern Hokkaido).

*Hayato Ueda[1], Komei Nara[2], Yuta Akutsu[2]

1. Faculty of Science, Niigata University, 2. Kowa Co Ltd.

【はじめに】北海道東部の常呂帯仁頃層群は，オホーツク海南縁に形成された付加体と考えられている．オホーツク海は20 km内外の薄い大陸性地殻を有するが，ジュラ紀以降の岩石（おもに花崗岩類や苦鉄質～珪長質火山岩）しかドレッジされておらず，その起源が不明な海盆である．同海盆の北や西には陸弧（オホーツクーチュコトカ火山帯や東シホテアリン火山帯）や白亜紀付加体があるため，白亜紀（～古第三紀？）には，オホーツク海はユーラシア大陸とも，太平洋の海洋プレート（イザナギプレート）とも独立したプレートであった可能性が高い．したがってその成因は，中生代の日本列島周辺のプレート配置や新生代の衝突テクトニクスに大きな制約を与えうる．本発表では，常呂帯仁頃層群で認識された海溝充填堆積物の産状と砕屑物組成に基づいて，オホーツク海の成因や地史について議論したい．

【仁頃層群の海溝堆積物】仁頃層群は，玄武岩（MORB～OIB）や火山砕屑岩，赤色泥岩とチャートを主体とする付加体であり，黒色泥岩や石英長石質砂岩を全く含まない．このため，付加体でありながら海溝充填堆積物が充分認識されてこなかった．我々は，玄武岩に伴われるトラカイトからジュラ紀のジルコンU-Pb年代を得た一方で，従来海山玄武岩に伴う再堆積性の火砕岩類として扱われてきた緑色の火山砕屑性砂岩から，チャート（ジュラ紀末～前期白亜紀）より若い後期白亜紀の砕屑性ジルコンを得た．また，EDS面分析やLA-ICPMSによって，火山岩片が本質的に火山弧起源の組成を持つことが示された．以上から，仁頃層群の緑色砂岩は，海山のエピクラスタイトでなはく，海溝充填堆積物であったと評価される．

【砕屑物組成】仁頃層群の砂岩はきわめて岩片質で，玄武岩から流紋岩までの幅広い組成の火山岩片を主体とし，しばしば火山ガラス片や軽石片を多量に含む．これらに加え，角閃岩～変斑れい岩やトーナル岩片を様々な割合で含むことがある．砂岩に伴われる赤色泥岩はしばしば含礫泥岩状であり，玄武岩やドレライトのほか角閃岩～変斑れい岩やトーナル岩を角礫として含む．赤色泥岩を伴う混在相中には，メートルサイズのトーナル岩のブロックも見られた．砂岩中の火山岩片と含礫泥岩中の変成岩片は島弧火山岩の特徴を示す一方，含礫泥岩中の火山岩片はMORBに類似した組成を示した．トーナル岩ブロックからはジュラ紀末のジルコンU-Pb年代が得られた．砂岩は砕屑性ジルコンにきわめて乏しいが，80–100 Maのジルコンが最若集団をつくるほか，後期ジュラ紀から前期白亜紀のジルコンもわずかに含まれる．

【後背地】 含礫泥岩と砂岩では砕屑物の組成や粒度に違いがあるため，少なくとも２種類の後背地が推定される．一つ目はタービダイト砂岩の給源としての後期白亜紀火山弧である．ジュラ紀より古い砕屑性ジルコンを欠くなどユーラシア大陸の古期岩類の関与が認められないことや，苦鉄質～珪長質の多様な火山岩で構成される点は，オホーツク海のドレッジと共通する．そのため，この火山弧はオホーツク海の古千島弧であったと対比できる． ２つ目は含礫泥岩の給源としての海溝陸側斜面であり，MORB的な火山岩と角閃岩化した島弧火成岩，および古期トーナル岩が露出していたと推定される．IBM海溝陸側斜面には，島弧形成初期の岩石・層序が露出することが知られる．そのため，海溝陸側斜面から供給されたと推定される仁頃層群の含礫泥岩中の礫やブロックも，オホーツク海の古千島弧形成初期の岩石である可能性がある．それらの岩石は，古千島弧の基盤が元来は海洋地殻的であり，ジュラ紀末には既に島弧火成活動がおこり，後期白亜紀にかけて火成弧として成熟していった生い立ちを示唆している．

Keywords: Sea of Okhotsk, trench-fill sediments, clastic composition, Tokoro Belt

© 2021 Geological Society of Japan

Two distinct events of crustal reforming in Eocene Japan: preliminary view from provenance age analysis of Paleogene sandstones

*Yukio Isozaki[1], Tomohito Nakano[1], Ryo Hasegawa[1], Juliana Ferreira Godot Souza[1], Yukiyasu Tsutsumi[2], Tomomi Kani[3]

1. Univ. Tokyo Komaba, 2. Deprtment of Geology and Paleontology, National Musem of Nature and Science, 3. Fac. Sci., Kumamoto Univ.

中新世に起きた日本海の拡大は現在の列島の形を決めた主要なイベントであったが、その直前の古第三紀の古地理の詳細については未解明の点が多く残されている。とくに低温高圧型三波川変成岩の最初の地表露出（成田ほか, 1999）および低角度の古中央構造線（plaeo-MTL; 磯崎・丸山, 1991）の活動開始の時期がともに始新世であったと推定されている（長谷川ほか, 2019; 磯崎ほか, 2020; 中野ほか, 2021）。演者らの研究グループは弧-海溝系の構成要素が比較的良く保存されている白亜紀に注目し、当時の火山弧周辺および前弧で堆積した砂岩の後背地の変遷を砕屑性ジルコン年代の大量測定によって解明してきた（Aoki et al., 2014; 中畑ほか, 2016; 堤ほか, 2018; 長谷川ほか, 2018; 石坂ほか, 2021など）。10,000粒を越すジルコン年代測定の結果、白亜紀日本の後背地の地殻構成が、先白亜紀付加体などの多様な地質体の組み合わせからほぼ白亜紀の火成岩類のみへと、白亜紀中葉アルビアンに非可逆的に変化したことが明示された（長谷川ほか, 2020）。またこの体制は古第三紀暁新世まで継続し、白亜紀中葉(100 Ma)から暁新世末（56 Ma）までの約4500万年間は極めて安定した前弧堆積場が存続したたことも確認された（磯崎ほか, 2020; 中野ほか, 2021）。
一方、その直後の始新世および漸新世での後背地地殻の変遷については、これまで年代情報が不足していた。そこで、演者らは日本各地に産するこれらの年代の前弧砂岩について検討を進めている。本発表では、九州天草の始新統弥勒・本渡層群、山口西部の漸新統日置層群・幡生層、四国西部の始新統ひわだ峠礫岩と平田層、そして北海道中央部の始新統石狩層群から得られた結果について予察的に考察する。

各地層から採取した砂岩中の砕屑性ジルコンのU-Pb年代測定（最若粒子の年代：YSGおよび1σYC）の結果、平田層は漸新統最上部、また幡生層はおそらく始新統と、各々従来とは異なる堆積年代が判明した。さらに年代スペクトルを比較した結果、始新世に明瞭な２回の後背地地殻構成の変化が検出された。すなわち、白亜紀後期から暁新世まで、前弧域にほとんど供給されていなかった先白亜紀（ジュラ紀、石炭・ペルム・三畳紀、原生代前期）の古期粒子が始新世前期に流入し始め、さらに始新世後半には原生代後期粒子が前弧に流入し始めた。前者は、それまで後背地に支配的に露出していた白亜紀火成岩類に加えて、おそらくその下位のジュラ紀付加体も地表砕剝され、古期粒子がリサイクルされたことを、また後者は、さらに大陸（大・南中国地塊西側の揚子ブロック）から新たな種類の砕屑物が直接供給された始めたことを記録している。前者は、始新世最前期に三波川変成岩が最初に地表露出したタイミングであり（成田ほか, 1999）、変成岩の構造的上位に累重していたジュラ紀付加体の地表削剝を示している。これはKubota et al. (2020)が指摘した正断層活動の時期とよく一致する。一方、後者は初生的な低角度MTLが活動を開始した時期、またKubota et al. (2020)が先砥部時階と呼んだ逆断層活動の時期にあたる。おそらく弧地殻の大陸側部分が長距離海洋側へ移動した時期と推定される。その後、中新世直前まで同様大陸地殻からの古期砕屑粒子の流入が継続した。

これまで年代データの不足から詳細不明であった日本海拡大直前の日本の弧-海溝系の前弧地殻変遷について、砂岩の砕屑物の年代組成の変化から初めて具体的な議論が可能となりつつある。

文献: Aoki et al. (2014) *Terra Nova* **28**, 139-149; 長谷川ほか(2019, 2020) 地学雑 **128**, 391-417, **129**, 397-421; 石坂ほか(2021) 地学雑 **130**, 63-83; 磯崎ほか(2020) 地質雑 **126**, 639-644; 磯崎・丸山(1991) 地学雑 **100**, 697-761; Kubota, Y. et al. (2020) *Tectonics*, **39**, e2018TC005372; 中畑ほか(2016) 地学雑 **125**, 353-380; 中野ほか(2021 印刷中) 地学雑 **130**; 成田ほか(1999) 地質雑 **105**, 305-308; 堤ほか (2018) 地学雑 **127**, 21-51.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: fore-arc basin, Paleogene, provenance, detrital zircon, Sanbagawa metamorphic rocks, MTL

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Tectonic relationship between the Ryukyu arc and the South China block shown by structural and zircon U–Pb–Hf isotopic studies of Tokunoshima Island, southwest Japan.

*Hiroshi Yamamoto[1], Kazuaki Okamoto[2], Shuro Ueda[3], Masaru Terabayashi[4]

1. Kagoshima University, 2. Saitama University, 3. Geological Technology Research Co., Ltd, 4. Kagawa University

琉球弧は九州南端と台湾の間に約 1200 km にわたって連なる島々からなる島弧である．琉球弧の地体構造は、専ら「本州弧の〇〇帯の延長がどこを通過するか」という観点からから検討されている。地理的に隣接する台湾や中国南東部を含めた議論はほとんどなされていない。日本に比べて台湾や中国の地質情報が不十分という問題があったかもしれないが、その差はなくなりつつある．
徳之島は琉球弧中央のやや北東寄りに位置し，大きさは南北約26 km, 東西約14 km である. 徳之島の地質は，中川(1967)，斎藤ほか (2009)などによる先行研究から要約すると，先古第三紀の堆積岩類，玄武岩質火山岩類，古第三紀の花崗岩質貫入岩類, およびそれらを不整合に覆う第四紀の礁性石灰岩と火砕堆積物から構成されていて, 島の中央部には超マフィック岩類を含むメランジが分布する．Ueda et al., (2017) は, 徳之島中央部の剥岳周辺の詳細な地質踏査と変形構造解析を行い, 斎藤ほか (2009)が「四万十付加体のメランジ」としている岩体が，泥質片岩，砂質片岩，閃緑岩質片麻岩，角閃岩, 超マフィック岩類から構成され，角閃岩相の低圧部に相当する温度圧力条件を経た変成ユニットであることを明らかにして，この変成ユニットの内部構造が北西に緩傾斜するホースからなるデュープレックスであることを提示した．Ueda et al., (2017) は,この変成ユニットの帰属の候補として本州弧の複数の低圧高温型変成帯を挙げているが，特定には至っていない．
Yamamoto et al., (2020) は， Ueda et al., (2017) が記載した砂質片岩，閃緑岩質片麻岩,および島の北部に分布する花崗閃緑岩から分離したジルコンのU–Pb年代 とHf 同位体比を測定し，閃緑岩質片麻岩の2試料から2つのインターセプト上限年代 (1846 ±27 Ma, 1814 ±57 Ma) と，1つの 下限年代 (185.9 ±5.6 Ma)を， 砂質片岩の1試料から1組の上限・下限年代 (2089 ±18 Ma, 181 ±15 Ma) を決定した．また，古原生代のジルコン測定スポットが正の $\varepsilon_{Hf}(t)$ 値 (+0.8 ～ +12.7) を示し，ジュラ紀の測定スポットが負の値 (-22.8, -19.6) であることから，古原生代に形成された地殻物質が前期ジュラ紀に変成作用を受けたと考えた．Isozaki et al. (2010)などは，南中国地塊に属するカタイシア (Cathaysia)の延長部が沖縄トラフおよび九州北部に達していることを提唱しているが，徳之島中央部の変成ユニットの年代はカタイシアで知られている地殻形成・改変のイベントと調和し，この見解を支持するものである．
Yamamoto et al., (2020) によると，花崗閃緑岩の試料から抽出したジルコンの$^{206}Pb/^{238}U$ 重み付平均年代は 61.3 ±1.0 Ma で， $\varepsilon_{Hf}(t)$ 値 (+12.0, +12.6) は未成熟のマグマソースを示す．徳之島の花崗閃緑岩は，暁新世の中国南東部にあった火成活動帯に由来し，その北東延長が本州の山陰帯花崗岩類に相当すると考えられる．

引用文献
Isozaki et al., 2010, Gondwana Research, 18, 82–105.
中川久夫, 1967,東北大学地質古生物研究邦報, no. 63, 1-39.
斎藤眞ほか, 2009, 20万分の1地質図幅「徳之島」. 産総研.
Ueda et al., 2017, Island Arc, 26. e12199.
Yamamoto et al., 2020. International Geology Review, vol. 63, 1-16.

Keywords: Ryukyu arc, Cathaysia, tectonics, geological structure, U–Pb age, Hf isotope

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R6 [Regular Session]Geopark

[1ch408-11] R6 [Regular Session]Geopark

Chiar:Kazuo Amano, Hideo Takagi

Sat. Sep 4, 2021 10:45 AM - 11:45 AM ch4 (ch4)

[R6-O-1] Tsunami-damaged remains in the Sanriku area-10 years of dismantling and preservation

*Hideo Takagi[1] （1. Waseda University）

10:45 AM - 11:00 AM

[R6-O-2] Geotourism in Corona (COVID-19) related crisis - Advantage of being outdoors: In case of San'in Kaigan UNESCO Global Geopark -

*Noritaka Matsubara[1], Satoshi Nagahama[1], Daichi Kohmoto[2] （1. University of Hyogo, 2. Nara University of Education）

11:00 AM - 11:15 AM

[R6-O-3] Genbu-do Lava, Toyooka City, Hyogo Prefecture: From view of regional geological resources

*Norithito Kawamura[1] （1. University of Hyogo）

11:15 AM - 11:30 AM

[R6-O-4] Application of the Big History concept to Geopark

*Kazuo Amano[1] （1. Csis Univ. Tokyo）

11:30 AM - 11:45 AM

©The Geological Society of Japan

Tsunami-damaged remains in the Sanriku area-10 years of dismantling and preservation

*Hideo Takagi[1]

1. Waseda University

目的：2011年3月11日の東日本大震災から10年が経過した．本発表では，筆者が取材した経験のある三陸ジオパークおよび南三陸地域の津波被災遺構について，解体と保存の経緯を振り返るとともに，改めてそれらの重要性を指摘したい．
経緯：甚大な津波災害をニュースで目の当たりにして，災害の爪痕を見たときに，その爪痕を後世に残し，防災に役立てることはできないものか，と思った研究者有志が数名でメールの意見交換を行うようになった．私もそれに3月下旬から加わり，次第にグループの人数が増えていき，メーリングリストができたのが地震後１ヶ月経過してからのことであった．当初は12名からスタートしたMLは，2年後の5月1日には50名ほどになり，3年余り継続して情報交換がなされた．その間に，筆者は2011年8月をはじめとして4回ほどジオサイトの取材も兼ねて現地を訪れ，新聞や著書などで津波被災遺構の保存の重要性を訴えた．取材した津波被災遺構は下の通りである．
解体・撤去された主な遺構候補
1．岩手県大槌町の民宿に乗り上げた釜石市の観光船「はまゆり」2011年5月撤去 同「はまゆり」を乗せた民宿「あかぶ」および大槌町役場　2021年2月撤去
2．宮城県石巻市の雄勝公民館の上に乗った大型バス　2012年3月撤去
3．宮城県気仙沼市の大型漁船（第18共徳丸） 2013年9月～撤去
4．岩手県女川町の転倒ビル（女川サプリメント，江島共済会館）2014年3月～ 2016年1月撤去
保存が決まった遺構
6．岩手県女川町の転倒ビル（女川交番）2013年11月に保存決定，2020年整備
7．岩手県宮古市の田老観光ホテル　2013年11月復興庁が保存を決定，復興交付金の予算がついた．
8．岩手県陸前高田市の陸前高田YH・奇跡の一本松・道の駅高田松原タピック45・下宿定住促進住宅
2015年8月，高田松原津波復興祈念公園基本計画策定
9．宮城県南三陸町防災対策庁舎　2015年6月　町は解体の方針だったが，宮城県が保存・管理
10．宮城県南三陸町吉野会館　震災伝承ネットワーク協議会が遺構として認定
11．宮城県気仙沼市　気仙沼向洋高校跡（東日本大震災遺構・伝承館：写真）
解体か保存か：解体と保存を分けた理由として次のようなことが考えられる．
１．非常にリアルで強い発信力をもつ遺構：解体が決まった上記４つはすべてこれに当てはまり，船や大型バスが最大800mも移動，あるいは建物の上に乗り上げたもの（1–3）は，遺構としての強い発信力をもつが故に，住民のマイナスの感情も大きく，解体された．一方，保存された遺構は多くの場合，津波による移動がほとんどない建物（6–11）であった．
２．犠牲者の有無：保存が決まった遺構の多くは犠牲者を出さなかったことが挙げられる（佐藤・今村，2016）．ただし，上記の中では９が例外であり，南三陸町は解体の方針であったが，宮城県が保存・管理するようになり，長期間のやり取りの末保存が決まった．そのほか，石巻市大川小学校では，児童生徒74人，教職員10人が犠牲となったが，避難行動の遅れを教訓として2016年に市が保存を決定した．
３．時間の経過：時間の経過に伴い，住民の感情が解体から保存に変わってきたことも重要である．手付かずのまましばらく放置された気仙沼向洋高校は，6年経過して重要な津波被災遺構，語り部の活動，映像を統合した重要なサイトになりつつある．
４．復興のシンボルになり得るもの：奇跡の一本松や，住民の命を守った防潮堤などは，保存されやすい．
５．予算的な問題と都市計画：県や国が買い取り，維持費を保証するか否か，ある程度時間を要したが，このような場合は保存されやすい．大槌町役場やはまゆりを乗せた民宿は10年経過した結果，予算がつかずに解体された．また，復興に邪魔になるものは撤去されやすい．女川の倒壊ビルの中で撤去されたビルと残された交

© 2021 Geological Society of Japan

番の違いはこの点も大きい.

文献 佐藤翔輔・今村文彦，2016, 東日本大震災の被災地における震災遺構の保存・解体の議論に関する分析ー震災発生から 5 年の新聞記事データを用いてー，日本災害復興学会論文集，no.9, 11-19.

Keywords: Tsunami-damaged remains, 2011 earthquake off the Pacific coast of Tōhoku, Sanriku Geopark

© 2021 Geological Society of Japan

Geotourism in Corona (COVID-19) related crisis - Advantage of being outdoors: In case of San'in Kaigan UNESCO Global Geopark -

*Noritaka Matsubara[1], Satoshi Nagahama[1], Daichi Kohmoto[2]

1. University of Hyogo, 2. Nara University of Education

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）は世界中のツーリズムに大きな影響を及ぼしている．ジオパークにおいても，様々な活動が制約されており，観光業の多くも，様々な対応に迫られている．一方で，山陰海岸ジオパークのいくつかの活動団体では，その入り込み数が大きく減っていなかったり，増えていたりすることが分かった．また，客層にも変化が見られた．なぜ観光客数が減らない，あるいは増えるサイトや団体があったのかを議論する．
＜日本海拡大を記録した山陰海岸ジオパーク＞
山陰海岸ジオパークでは，構造発達史を主に3つのステージに区分して説明しており，エリア内には，大陸の時代，日本海形成の時代，日本列島形成後から現在までの地層や岩石が分布し，各所でそれらが美しい景観を形作っている．これらを舞台に，各地で，フィールドでのガイドや自然を生かしたアクティビティがガイド団体や企業等によって提供されている．特に，海岸部や山間部の渓谷などを利用したアクティビティが盛んなのが特徴である．
＜コロナ禍のジオツーリズム˜フィールドの強み＞
コロナ禍に見舞われた2020年度は，各地で入り込み客数の減少がみられた．例えば山陰海岸ジオパークの世界的価値である豊岡市玄武洞公園の案内者数を見ると，2019年度17470人から2020年度には5359人と31%まで落ち込んだ．玄武洞の地域別案内者数を両年度について比較すると，2020年度の関東からの来訪者は前年の18%，近畿からの来場者が前年の49%に減少している．玄武洞公園のある兵庫県内からの来訪者数を見ると，前年の63%と，ほかに比べると小さい．案内者の「個人旅行」「団体旅行」を比較すると，2020年度の団体客は前年の18%に減少している．一方で，個人客は前年の52%と，団体客に比べると減少が小さい．観光客が団体旅行や県境をまたぐ移動を敬遠した可能性がある．次に，海で行われているアクティビティに注目すると，例えば兵庫県豊岡市竹野町で行われているジオカヌーのうち，海の家メリ（株式会社マザーアース）が提供しているカヌーの利用者数は，2か月間自粛により営業を停止していたにもかかわらず，2019年度2333人から2020年度2448人と増加している．これは，ジオカヌーが野外であるのに加え，個人間の距離は基本的に3m以上離れており，加えてカヌーという乗り物の性質上基本的に個人客のみであり，安心感につながった可能性がある．さらに，兵庫県内からの来訪者が増えた（最も多いのは大阪府），今まで海外や沖縄などでカヌーをやっていた方がここに変更した，などの証言（海の家メリ宮崎氏へのヒアリングより）もあり，近距離移動の安心感が利用者を増加させた背景にあることが考えられる．同じく船の大きさによる制限で個人客がメインターゲットになる，小型漁船を利用した海上タクシーでは，新温泉町三尾の但馬御火浦海上タクシーで2020年度は2019年度の85%，香美町香住区のかすみ海上GEO TAXIでは，2020年度は2019年度の70%と，減りが少ない．これも，個人客利用の安心感により観光客数の減少が小さかったものと考えられる．このように，ソーシャルディスタンスが確保され，また個人や家族，友人など個人旅行で楽しめるフィールドでのアクティビティは，観光客に安心感を与え，コロナ禍，そしてwithコロナの中で観光客の維持や増加に寄与できる可能性がある．ジオパークで行われるジオツーリズムの多くは野外の地質資源や風景，自然，人の暮らしをその対象としており，ジオパークでのツーリズムは工夫次第で持続的に継続できる可能性がある．

Keywords: geopark, tourism, COVID-19

© 2021 Geological Society of Japan

Genbu-do Lava, Toyooka City, Hyogo Prefecture: From view of regional geological resources

*Norithito Kawamura[1]

1. University of Hyogo

日本地質学会は2016年に「県の石」を発表した．選定の趣旨は，一般市民の方々に大地の性質や成り立ちに関心を持っていただくこと，「ジオパーク」への貢献ほかが挙げられている（http://www.geosociety.jp/name/content0121.html）． 例えば兵庫県の石の一つはアルカリ玄武岩であり，選定理由の説明では，玄武洞は美しい柱状節理と「玄武岩」という岩石名の由来となったこと，国の天然記念物であること，松山基範が地球磁場の逆転を唱えるきっかけとなった場所として国際的にも知られていること，玄武洞はもともと採石場であり，市内各地の伝統的な石積みや漬物石に使用されていること，が述べられている（http://www.geosociety.jp/name/content0147.html）．採石によりもたらされた特徴的な景観であることは江戸時代より知られ観光地となっていたが，地球科学史的に重要な岩石であることは，山陰海岸ジオパークになってから一層強調されていると思われる．他方，近代において地域の人々にとって重要な岩石資源であったことは，北但大震災で被災した豊岡市の復興資材として活用されたことが指摘されるものの，近世における石材の活用状況は，ほとんど具体的には明らかにされていない．

ところで，岩石資源の価値を評価するあり方の一つに“Global Heritage Stone Resource”（以下，GHSR）がある．IUGSの小委員会のウェブサイトによると，天然石は低エネルギーで利用可能で，加工品は無毒であり，最も耐久性のある建築資材であることから，持続可能な鉱物質の資源の最たるものである．GHSRは，芸術・建築作品，伝統的建造物などにおける，天然石の卓越性を強調することを狙っている（http://globalheritagestone.com/overview/）． このような天然石に対する認識の強化は，地質学者や建築家，関係する産業従事者を主としており，一般市民には言及されていない．歴史的に用いられた岩石資源について，地域社会との関わりを歴史的に明らかにするとともに，地域産業の資源，あるいは建造物，石製品における利用例を具体的に示すことで，一般市民に対して身近な地質資源への関心を高めうる可能性があると演者は考える．

　人と地質資源の関わりから見たとき，玄武洞の玄武岩（玄武洞溶岩）は，採石が行われていた近世以来の地域社会にとっての価値を解明する余地があると考える．例えば，大正時代には豊岡市南部の豪農の屋敷改築の際に玄武洞溶岩が用いられた記録があり，このような記録を蓄積して，水害常襲地帯における農家の敷地の防災に近代以前に玄武岩が広く貢献したことを明らかにすることなどが考えられる．

Keywords: San-in Kaigan Geopark, Genbu-do, basalt, stone material, geological resources

© 2021 Geological Society of Japan

Application of the Big History concept to Geopark

*Kazuo Amano[1]

1. Csis Univ. Tokyo

「ビッグヒストリー」は，全ての歴史を宇宙の歴史の中で扱う研究・教育法を指す用語として，Christian(1991)によって提唱された．Christianは1989年からオーストラリアのマッコリ–大学でビッグヒストリーの講義を開講していた．その後，その内容はChristian(2004)の大著にまとめられた．ビッグヒストリー研究・教育の基本的姿勢は，138億年の宇宙の開闢からはじまってその未来までの時間軸の中に人類の歴史を位置づける点が特徴である（クリスチャン，2019; クリスチャンほか2名，2016など）．H.G.ウェルズ(1966)の歴史記述手法の現代版と言える．

一方地質学では，ジオストーリーを明らかにするために，宇宙形成から現在までの時間軸の設定を，近代地質学成立以来重要な課題として追求されてきた．現在では放射性同位元素や古地磁気研究等の技術的発展により高い精度できめられるようになった（日本地質学会, 2007）．地質学がビッグヒストリー研究・教育分野ではたす役割は大きい．

ジオパークは，大地（ジオ）の上に広がる動植物や生態系（エコ）の中での私たち人（ヒト）の生活や文化や産業・歴史を楽しみながら学ぶことを目標としている（https://geopark.jp/about/）．これはまさにビッグヒストリーの目指す方向と一致している．本講演では，茨城県北ジオパーク構想のジオストーリーに，ビッグヒストリーの考え方を導入しオリジンストーリーを作成した実践例を紹介する（水戸市立博物館, 2020）．概要は以下の通り．第1章：地球と太陽系の誕生（ここでは宇宙の誕生からストーリーを始めた），第2章：先カンブリア時代の地球と水戸，第3章：古生代の地球と水戸，第4章：中生代の地球と水戸，第5章：新生代の地球と水戸Ⅰ（古・新第三紀），第6章：新生代の地球と水戸（第四紀），第7章：未来の地球と水戸．

ビッグヒストリーにより地球の未来を語る場合，「人新世」の枠組みにもとづいた展開も必要になる．人新世は，人類が地球環境に決定的な影響を与えた時代として提唱されている新しい時代区分である．現時点において地質学界では正式の時代区分としては認定されていないが，ビッグヒストリーの観点から地球の未来を語る場合，人新世の枠組みは無視できない．人新世の始まりは，人の経済活動等が地球環境に大きな影響を及ぼしはじめた1960年前後におかれる可能性がある．人新世の境界に関連した出来事は，ジオパークにおいても観察の対象となり得る．それは多くの場合，環境問題の負の遺産である場合が多く，ジオパークのツーリズムの中で，「ダークツーリズム」として展開される．講演では，茨城県北ジオパークにおけるダークツーリズムの例として，太平洋戦争中の風船爆弾をテーマとしたツアーを取り上げる（天野・茨城県北ジオパーク構想ジオネット北茨城, 2020）．

［引用文献］

・天野一男・茨城県北ジオパーク構想ジオネット北茨城, 2020, 茨城県北ジオパーク構想における風船爆弾ツアー．日本地球惑星科学連合2020年大会要旨．（https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2020/subject/HCG34-P02/programpage）
・Christian, D., 1991, The Case for “Big History”. *J. World History*, 2, 223-238.
・Christian, D., 2004, *Maps of Time-An Introduction to Big History*. Univ. Calif. Press, 642pp.
・クリスチャン,D., 2019, オリジン・ストーリー　138億年全史．筑摩書房, 385pp.（柴田裕之訳）
・クリスチャン,D.ほか2名, 2016, ビッグヒストリー．明石書店, 400pp.（石井克弥ほか2名訳）
・水戸市立博物館, 2020, 水戸の大地の成り立ち–水戸140億年史．水戸市立博物館特別展図録，79pp.
・日本地質学会, 2017, はじめての地質学．ベレ出版, 247pp.
・ウェルズ，H.G., 1966, 世界史概観　上・下．岩波書店，223pp.,235pp.（長谷部文雄・安部智二訳）

Keywords: big history, geopark, Anthropocene

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R5 [Regular Session]Regional geology and stratigraphy, chronostratigraphy

[1ch412-16] R5 [Regular Session]Regional geology and stratigraphy, chronostratigraphy

Chiar:Daisuke Sato, Tomonori Naya

Sat. Sep 4, 2021 1:00 PM - 2:15 PM ch4 (ch4)

[R5-O-1] Heavy mineral assemblage of river sands along the Brahmaputra River, eastern India

*Kohki Yoshida[1,4], Subhadeep Kumar[2], Lalit Kumar Rai[3], Tomoyuki Hakiai[1] （1. Faculty of Science, Shinshu University, 2. Department of Geology, Presidency University, 3. Graduate School of Medicine, Science and Technology, Shinshu University, 4. Institute of Science, Shinshu University）

1:00 PM - 1:15 PM

[R5-O-2] Lithofacies, structure and accretionary age of the Otori Unit in the northeast part of the North Kitakami Belt

*Shun Muto[1], Tsuyoshi Ito[1] （1. Geological Survey of Japan, AIST）

1:15 PM - 1:30 PM

[R5-O-3] Possible origin of the stepped distribution of the basal plane of Yabu Formation beneath the Musashino Upland, central Tokyo area, Japan

*Tomonori Naya[1], Tsutomu Nakazawa[1], Susumu Nonogaki[1], Kentaro Sakata[1], Hiroomi Nakazato[2], Toshio Nakayama[3] （1. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,, 2. Institute for Rural Engineering, NARO, 3. Civil Engineering Support and Training Center, Bureau of Construction, Tokyo Metropolitan Government ）

1:30 PM - 1:45 PM

[R5-O-4] Geologic structure and newly discovered active faults, eastern area of Nagano Prefecture, central Japan

*Kazuki Watanabe[1], Tsutomu Otsuka[2] （1. PASCO CORPORATION, 2. Shinshu Univ. Disaster Mitigation and Prevention Center）

1:45 PM - 2:00 PM

[R5-O-5] Holocene sediments and enviromental changes in the Iriai lowland, Oga Peninsula

*Osamu Nishikawa[1], Chieko SHIMADA[2], Isao TAKASHIMA （1. Mineral Industry Museum, Akita University, 2. Department of Geology and Paleontology, National Museum of Science and Nature）

2:00 PM - 2:15 PM

©The Geological Society of Japan

Heavy mineral assemblage of river sands along the Brahmaputra River, eastern India

*Kohki Yoshida[1,4], Subhadeep Kumar[2], Lalit Kumar Rai[3], Tomoyuki Hakiai[1]

1. Faculty of Science, Shinshu University, 2. Department of Geology, Presidency University, 3. Graduate School of Medicine, Science and Technology, Shinshu University, 4. Institute of Science, Shinshu University

【はじめに】

ベンガルファンはインド洋北部のベンガル湾に位置し，ヒマラヤ山脈からの砕屑物によって形成された．現在，この海底扇状地はヒマラヤ山脈南部のガンジス平原を東流するGanges川と，ヒマラヤ山脈の背後に源を発し、ヒマラヤ山脈東端を横切った後、ガンジス平原を西流するBrahmaputra川による供給を受けている．バングラデッシュ北部で両河川は合流してベンガル湾岸に達する．そのため，両河川が運搬する砕屑物の性質は，ベンガルファン堆積物の理解のために不可欠である．これまで，Ganges川支流である中央ネパールのKali Gandaki川においてヒマラヤ山脈の地質体が生産する現世河川砕屑物の組成について検討を行った（吉田ほか，2019）．今年度はBrahmaputra川の上流部と下流部の砕屑物組成を検討し，その起源となる地質体を議論し，ベンガルファン堆積物との関連を検討した．

ヒマラヤ山脈の北側を東へ流れるShang川はインド北東部でヒマラヤ山脈を縦断して南下し，ビルマ山脈西麓に由来する河川(Diban 川，Lo Hit 川, Noa Dihing River 川)と合流して，Brahmaputra川となる．Brahmaputra川はガンジス平原を西側へ流れ，バングラデシュ北部でGanges川と合流する．この検討では，これらの河川およびバングラデシュ北部のBrahmaputra川下流で現世河床堆積物を採取し，その重鉱物組成について検討した．また，角閃石やザクロ石については化学組成を検討した．試料調製にあたっては，細粒砂サイズに粒度をそろえた上で重液を用いて重鉱物を分離した．重鉱物の同定は主に電子マイクロプローブを用いて行い，アルミノケイ酸塩については偏光顕微鏡を用いた．

【Brahmaputra川上流・下流における川砂の重鉱物組み合わせ】

Shang 川：角閃石，ザクロ石，普通輝石，緑れん石が卓越するが，電気石，ルチル，藍晶石，珪線石，イルメナイトが普遍的に含まれる．ザクロ石はパイロープ成分を含むアルマンディンザクロ石が多い．角閃石はAlやTiに富むものが多いものの，多様である．

Lo Hit 川，Diban 川：角閃石と緑れん石が卓越し，ルチル，藍晶石，珪線石が含まれる．角閃石のAlやTiは多様である．ザクロ石はパイロープ成分に富むアルマンディンが多い．

Noa Dihing 川：角閃石，緑れん石，ザクロ石が多く，ルチル，藍晶石，珪線石が含まれる．ザクロ石はパイロープ成分に富む．角閃石はAl, Tiに富む．

Brahmaputra 川下流：角閃石が卓越し，緑れん石，ザクロ石が次ぐ．ザクロ石はパイロープ成分を含むアルマンディンザクロ石が多い．角閃石はAlやTiに富むものが多い．

【議論：ブラマプトラ川における川砂の特徴】

吉田ほか(2019)では高ヒマラヤ帯が輝石やAl, Tiに富む角閃石を生産すること，テチスヒマラヤ帯や低ヒマラヤ帯がイルメナイトを砕屑することを示した．この観点から，ビルマ山脈西麓に源を発する河川の河床堆積物はそれぞれ類似し，Al, Tiに富む角閃石を含むことから高ヒマラヤ帯起源の砕屑物が卓越すると推定される．一方，Shang 川では特徴的にイルメナイトが含まれるため，テチスヒマラヤ帯や低ヒマラヤ帯が寄与していると言える．また，Brahmaputra川上流と下流での重鉱物組み合わせは共に角閃石と緑れん石の卓越で特徴付けられるため，明瞭な差異は見いだせない．

他方，ベンガルファンの鮮新統・第四系では角閃石と緑れん石の卓越が特徴的であり，今日のBrahmaputra川のそれによく類似している．今後，Ganges川下流の試料を採取し，比較を行う必要がある．

【引用文献】

吉田孝紀・中嶋 徹・Lalit Kumar Rai・増田麻子，2019，中央ネパール・カリガンダキ川における川砂重鉱物構成．日本地質学会学術大会講演要旨 2019, 473.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Late Cenozoic, Himalaya, Bengal Fan, Heavy mineral

© 2021 Geological Society of Japan

Lithofacies, structure and accretionary age of the Otori Unit in the northeast part of the North Kitakami Belt

*Shun Muto[1], Tsuyoshi Ito[1]

1. Geological Survey of Japan, AIST

北部北上帯には，ジュラ紀に形成された付加体が広く分布しており，これは西南日本や極東ロシアのジュラ紀付加体と一連の海溝で形成されたものと考えられている（例えば永広ほか，2008）．特に，岩相および構造層序の比較から，北部北上帯は西南日本の秩父帯南帯や極東ロシアのタウハ帯との関連が論じられている（大藤・佐々木，2003；高橋ほか，2016）．一方で，北部北上帯のジュラ紀付加体は白亜紀花崗岩の貫入による変成作用により砕屑岩類の年代を決定するための放散虫化石の産出が著しく限定的になっていることもあり，付加体地質学的な研究は他地域と比較して遅れている．
本講演では，北部北上帯北東部の安家地域にて5万分の1地質図「門」作成の一環として行った，安家川上流域に分布する大鳥ユニット（大鳥層および大坂本層；杉本，1974）に関する研究の成果を報告する．大鳥ユニットは構造的下位を占めるチャートと珪質泥岩が構造的に繰り返す部分と，構造的上位を占める泥質混在岩からなることを明らかにした．チャートと珪質泥岩は複数回繰り返して構造的な累重関係にあり，わずかに泥岩や砂岩を伴う．泥質混在岩は主に数cmから数十cmの長径を持つ砂岩を含む泥質岩からなり，頻繁に数mにおよぶ長径を持つ砂岩を含む．また，泥質混在岩中には一部チャートや緑色岩が含まれている．一方，石灰岩は全く認めていない．
構造的下位に分布する珪質泥岩およびそれに含まれるマンガンノジュールから，中期ジュラ紀を示す放散虫化石を得た．中期ジュラ紀放散虫はチャートに構造的に挟在する珪質泥岩からも得られ，チャートと珪質泥岩がスラストにより繰り返していることを示す．泥質混在岩中の砂岩からは加重平均175.4±1.4 Ma，最若粒子170.9±3.8 Maの砕屑性ジルコンU–Pb年代が得られ，放散虫により示唆される中期ジュラ紀の付加年代と整合的である．また，過去に報告された珪質泥岩中のマンガンノジュールから産出した放散虫化石年代とも整合的である（鈴木ほか，2007）．
従来，大鳥ユニットは下位の層状チャートと上位の泥岩からなる整然相の付加体であると記されていた（高橋ほか，2016）．しかし，本研究では，構造的下位のチャート・珪質泥岩はスラストによる構造的繰り返しを，構造的上位の泥質岩はチャートや緑色岩などの海洋性岩石をも取り込む混在化を経験していることが明らかになった．

文献

永広昌之 ほか（2008）*地質学雑誌*，**114補遺**，121–139.
大藤茂・佐々木みぎわ（2003）*地学雑誌*，**112**，406–410.
杉本幹博（1974）*東北大学地質古生物研邦報*，**74**，1–48.
鈴木紀毅ほか（2007）*地質学雑誌*，**113**，274–277.
高橋聡 ほか（2016）*地質学雑誌*，**122**，1–22.

Keywords: Jurassic accretionary complex, radiolarian, detrital zircon

© 2021 Geological Society of Japan

Possible origin of the stepped distribution of the basal plane of Yabu Formation beneath the Musashino Upland, central Tokyo area, Japan

*Tomonori Naya[1], Tsutomu Nakazawa[1], Susumu Nonogaki[1], Kentaro Sakata[1], Hiroomi Nakazato[2], Toshio Nakayama[3]

1. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology,, 2. Institute for Rural Engineering, NARO, 3. Civil Engineering Support and Training Center, Bureau of Construction, Tokyo Metropolitan Government

はじめに

産総研では2021年5月に東京都区部の３次元地質地盤図を公開した[URL1]．東京都区部の地質地盤図では，層序ボーリングの解析結果に基づき層序区分を更新し，従来“東京層”と呼ばれていた地層の大部分が，下総層群の薮層に相当することが示された．また，従来“東京礫層”と呼ばれていた礫層のかなりの部分が薮層基底の礫層であることが分かってきた．

東京都区部の武蔵野台地における薮層基底の標高は，台地の西側で高く，台地の南側では東に向かって，台地の北側では北東に向かって低くなり，大局的には現在の台地面の標高分布と似た傾向を示す．一方で，薮層基底には標高が急変する部分があり，基底面が複数の平坦面から構成されているようにも見える場所がある．“東京礫層”に分布深度が急変する場所があることは以前から指摘されており，地下に伏在する断層など，地質構造を推定する根拠とされることもあった（例えば，豊蔵ほか，2007）．従って，礫層の標高変化に関しては，礫層の形成年代を含め，その分布形態の成因を慎重に検討することが重要である．

本研究では薮層基底礫層分布の成因を明らかにするために，ボーリングコアの層相，珪藻化石，テフラ対比に基づき，各ボーリング地点の堆積環境と堆積当時の地形条件を検討した．さらに，ボーリング柱状図データにより堆積相分布を側方へ追跡することにより，千代田区と台東区の間に見られる，急変する礫層分布の成因を考察した．

薮層の堆積相の特徴

ボーリングコアにみられる武蔵野台地地下の薮層は，礫層及び泥層からなる下部と，主に砂層からなる上部に分けられる．

上部の層相は各地点で類似しており，基底部は貝殻片を含む砂層からなり，その上位は淘汰の良い極細粒～細粒砂が重なり，さらに上部では白斑状生痕化石（*Macaronichnus segregatis*）が観察される．これらは外浜～前浜・後浜の堆積物と考えられ，上部の下面は，外浜侵食によって形成されたラビンメント面と解釈される．

下部は地点によってその層相と層厚が大きく異なる．台東区上野公園や板橋区大山では，最下部の礫層の上に層厚約10 mの内湾成の泥層と泥質砂層が重なる．千代田区紀尾井町では，礫層の上に層厚約2 mの淡水成の泥層と泥炭層が重なる．江東区有明では礫層を欠き，下位の地蔵堂層の前浜堆積物の上に，層厚約2 mの内湾成泥層が直接重なる．

薮層基底地形と礫層分布の成因

堆積相の特徴から，基底部に礫層を伴う厚い泥層は，低海水準期に形成された谷地形が海水準の上昇に伴って内湾化して形成された谷埋め堆積物と考えられる．一方，礫層を伴う薄い淡水成泥層も谷埋め堆積物と考えられるが，その堆積場は海水準よりも高かったと考えられる．つまり，礫層や泥層の標高差は，堆積当時から存在した可能性が高い．

ボーリング柱状図データに基づけば，紀尾井町と上野公園の間の薮層下部の基底は，深度が異なる２つの平坦面から構成される．紀尾井町の平坦面は浅く，上野公園の平坦面はやや深く，２つの平坦面の境界付近では礫層の深度が急変する．一方で，砂層からなる薮層上部の基底面（ラビンメント面）には，礫層の深度が急変する地点において，大きな標高の変化は認められない．

これらの堆積相の分布から，紀尾井町と上野公園間にみられる薮層基底の２つの平坦面は，東京低地の地下の埋没段丘のような，薮層基底の開析谷内に発達した異なる段丘面であると考えられる．この解釈に従え

© 2021 Geological Society of Japan

ば，少なくとも千代田区と台東区に間に見られる薮層基底礫層の段差構造は，断層によって形成された可能性は低く，当時の地形を反映したものである．

低地に位置する江東区有明のボーリングコアでは薮層の基底に礫層が分布しないことから，この地点では開析谷は形成されなかったことを示す．現時点では，低地の地下まで薮層基底の礫層の分布を追跡できていないが，薮層の開析谷の縁で礫層は不連続になることが予想される．

以上の検討から，薮層基底の礫層の分布は，堆積当時の地形を反映して，かなり複雑である可能性が示された．この結果は，礫層の分布を利用して地質構造を推定する際には，礫層の形成年代だけではなく，過去の地形の条件なども総合的に考慮して判断する必要性を示唆している．

文献

[URL1] 産総研地質調査総合センター・東京都土木技術支援・人材育成センター，都市域の地質地盤図，https://gbank.gsj.jp/urbangeol/
豊蔵ほか（2007）地学雑誌，116，410–430.

Keywords: Tokyo Formation, Tokyo Gravel Bed, The Middle Pleistocene, Stratigraphy, Sedimentary Facies

© 2021 Geological Society of Japan

Geologic structure and newly discovered active faults, eastern area of Nagano Prefecture, central Japan

*Kazuki Watanabe[1], Tsutomu Otsuka[2]

1. PASCO CORPORATION, 2. Shinshu Univ. Disaster Mitigation and Prevention Center

長野県東部、フォッサマグナ地域に含まれる東信地域では，層序に関する研究，火山活動とそれに伴う砕屑物に関する研究は蓄積されてきたが，詳細な地質構造に重きをおいた研究は少なく，活断層をはじめとする活構造の議論もされてきていないことが課題のひとつである．渡邉ほか(2019)での上田盆地，渡邉ほか(2020)での八重原・御牧ケ原台地と佐久盆地を対象とした地表地質踏査から作成した地質図を本発表において統合・再編集した. 東信地域の地質体の分布および構造について報告するとともに, 第四紀に形成された地質構造，とくに活断層について議論する.

研究地域には，中生界および新第三系以降の地質体が存在する．研究地域の基盤岩として，中生界の秩父帯付加体および中新統の火山岩・火砕岩・堆積岩・貫入岩が分布し，それらを第四系が覆う．第四系は，陸成層および火山砕屑物からなる小諸層群，周囲の第四紀火山が起源の火山岩・火山砕屑物・山体崩壊堆積物などによって構成される．また，平野部には上記地質体を覆う上小湖成層および段丘堆積物などの上部更新統以降の地層が分布する．

研究地域において第四系に変位を与える18例の断層および断層群，2例の褶曲，1例の撓曲について構造を検討した．見出された第四紀断層の多くは盆地や台地の縁辺部に沿って見出され，現在の地形が第四紀の構造運動を強く反映していることが浮き彫りになった． さらに，第四紀断層のなかには，段丘堆積物などの後期更新世以降の地層に変位を与えるものが見出された．とくに，上田盆地東縁部では，中新統が河床礫に衝上する逆断層露頭のガウジ帯に含まれる木片から，156±21yrBPのきわめて若い14C年代値(暦年較正)が得られた．この年代値を踏まえると，1791年7月23日の地震(松本で被害)，1791年9月13日の地震(信濃国で被害)が該当し，歴史地震の際に活動した可能性がある(渡邉ほか 2020).

これらの地質構造は，東信地域の地形形成に関与する第四紀以降の構造運動が存在したこと，さらに後期更新世から完新世にかけての最新期の断層運動があったことを示している．本研究の結果は広域的かつ詳細な地質図の作成とともに，東信地域において従来不明とされてきた地震に直結する活断層の存在が明らかとなった.

【引用(図表内も含む)】

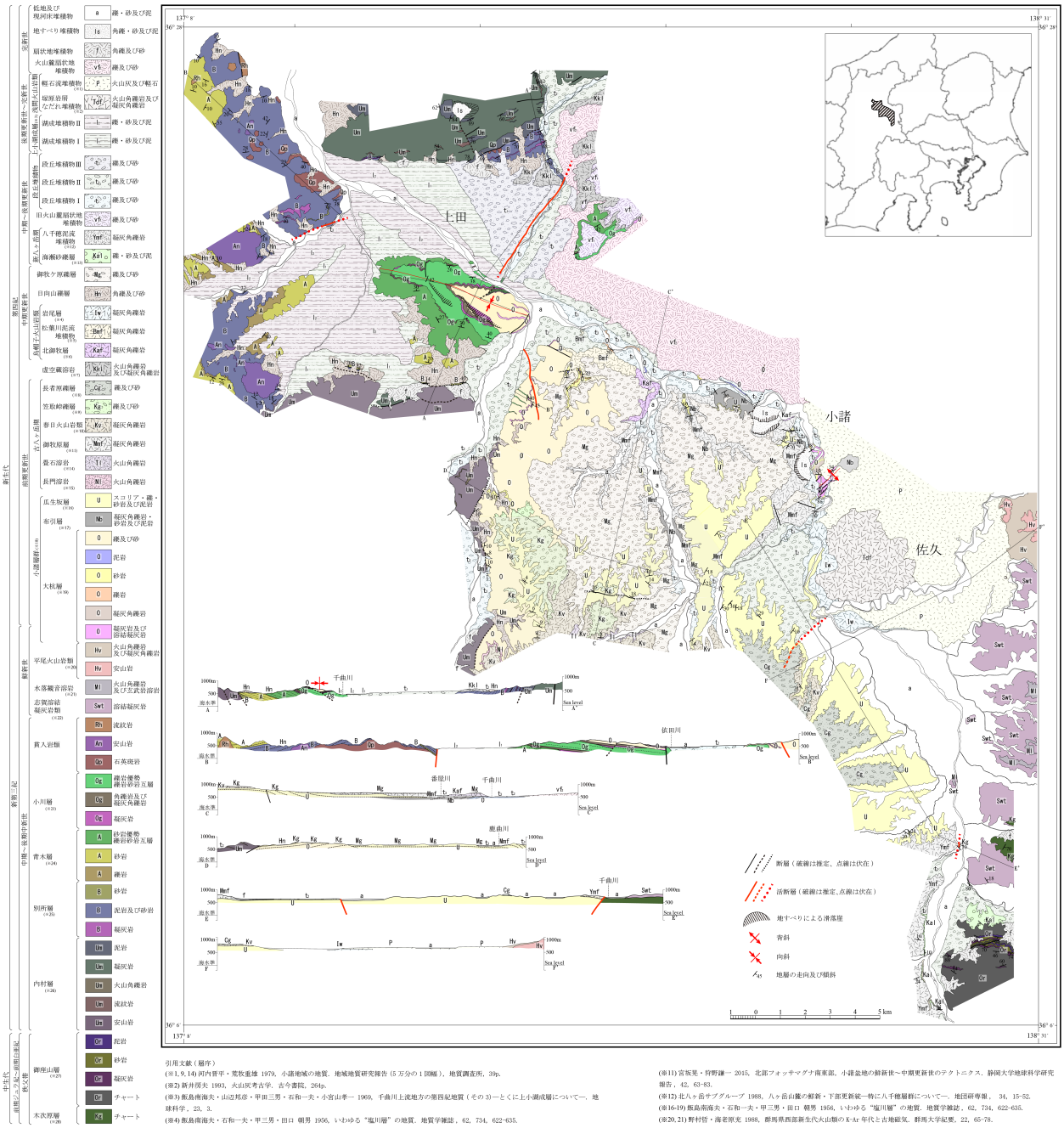
(1)新井房夫 1993, 火山灰考古学．古今書院，264p.
(2)本間不二男 1931, 信濃中部地質誌. 古今書院，331p.
(3)飯島南海夫・石和一夫・甲三男・田口 朝男 1956, いわゆる“塩川層”の地質．地質学雑誌, 62, 734, 622-635.
(4)飯島南海夫・山辺邦彦・甲田三男・石和一夫・小宮山孝一 1969, 千曲川上流地方の第四紀地質(その3)ーとくに上小湖成層についてー. 地球科学, 23, 3.
(5)岩崎敏典・指田勝男・猪郷久義 1989, 関東山地北西部,長野県南佐久郡北相木-川上地域の中生界.地質学雑誌，95，10，733-753.
(6)河内晋平 1974, 蓼科山地域の地質．地域地質研究報告(5万分の1図幅)，地質調査所，128p.
(7)河内晋平・荒牧重雄 1979, 小諸地域の地質．地域地質研究報告(5万分の1図幅)，地質調査所，39p.
(8)北八ヶ岳サブグループ 1988，八ヶ岳山麓の鮮新・下部更新統ー特に八千穂層群についてー．地団研専報, 34, 15-52.
(9)宮坂晃・狩野謙一 2015, 北部フォッサマグナ南東部，小諸盆地の鮮新世～中期更新世のテクトニクス．静岡大学地球科学研究報告, 42, 63-83.
(10)長野県地学会 1957，1/20万長野県地質図説明書.
(11)西来邦章・高橋康・松本哲一 2013, 浅間・烏帽子火山群の火山活動場の変遷. 地質学雑誌, 119, 474-487.

© 2021 Geological Society of Japan

(12)野村哲・海老原充 1988，群馬県西部新生代火山類のK-Ar年代と古地磁気．群馬大学紀要，22，65-78.
(13)八ヶ岳団体研究グループ 1988, 八ヶ岳山麓の中部更新統，地団研専報，34, 53-89.
(14)渡邉和輝・大塚勉 2019, 長野県上田盆地における第四紀の構造運動. 信州大学環境科学年報, 41, 14-32.
(15)渡邉和輝・大塚勉 2020, 長野県東信地域における第四紀の地質構造. 信州大学環境科学年報, 42, 54-84.
(16)渡邉和輝・大塚勉 2020, 長野県上田盆地神川河床に露出する完新統に変位を与える断層. 信州大学環境科学年報, 42, 85-91

Keywords: Active fault, Quaternary geology, Geological map, History earthquake

© 2021 Geological Society of Japan



引用文献（層序）
(※1, 9, 14) 河内晋平・荒牧重雄 1979．小諸地域の地質．地域地質研究報告（5 万分の 1 図幅），地質調査所，39p.
(※2) 新井房夫 1993．火山灰考古学．古今書院，284p.
(※3) 飯島南海夫・山辺邦彦・甲田三男・石和一夫・小宮山孝一 1969．千曲川上流地方の第四紀地質（その 3）—とくに上小涸成層について—．地球科学，23，3.
(※4) 飯島南海夫・石和一夫・甲三男・田口 朝男 1956．いわゆる“塩川層”の地質．地質学雑誌，62，734，622-635.
(※5, 6) 八ヶ岳団体研究グループ 1988．八ヶ岳山麓の中部更新統．地団研専集，34，53-89.
(※7) 西来邦章・高橋康・松本哲一 2013．浅間・鳥帽子火山群の火山活動場の変遷．地質学雑誌，119，474-487.
(※8, 10, 13, 15) 河内晋平 1974．蓼科山地域の地質．地域地質研究報告（5 万分の 1 図幅），地質調査所，128p.
(※11) 宮坂晃・狩野謙一 2015．北部フォッサマグナ南東部，小諸盆地の鮮新世～中期更新世のテクトニクス．静岡大学地球科学研究報告，42，63-83.
(※12) 北八ヶ岳サブグループ 1988．八ヶ岳山麓の鮮新・下部更新統—特に八千穂層群について—．地団研専報，34，15-52.
(※16-19) 飯島南海夫・石和一夫・甲三男・田口 朝男 1966．いわゆる“塩川層”の地質．地質学雑誌，62，734，622-635.
(※20, 21) 野村哲・海老原充 1988．群馬県西部新生代火山類の K-Ar 年代と古地磁気．群馬大学紀要，22，65-78.
(※22) 長野県地学会 1957．1/20 万長野県地質図説明書．
(※23-26) 木間不二男 1931．信濃中部地質誌．古今書院，331p.
(※27, 28) 岩崎敏典・指田勝男・猪郷久義 1989．関東山地北西部，長野県南佐久郡北相木－川上地域の中生界．地質学雑誌，95，10，733-753.

図 1　研究地域の地質図

渡邉ほか (2019)，渡邉ほか (2020)，渡邉ほか (2020) の地質図を引用，再編集・加筆した．地質図中の赤線は上部更新統以上に変位を与える断層を示す。

© 2021 Geological Society of Japan

Holocene sediments and enviromental changes in the Iriai lowland, Oga Peninsula

*Osamu Nishikawa[1], Chieko SHIMADA[2], Isao TAKASHIMA

1. Mineral Industry Museum, Akita University, 2. Department of Geology and Paleontology, National Museum of Science and Nature

五里合低地は，男鹿半島北岸基部に位置する，南北2.4㎞　東西1.5㎞の小規模な沖積低地である．東縁を申川断層の断層崖で区切られており，直線的な地形境界が発達する．海成段丘が発達し隆起傾向を示している男鹿北岸地域の中で，東側の八郎潟低地帯(白石，1990)とともに南北走向の断層の活動に関連した構造的な沈降が示唆される低地である．これまで，地下5mまでの表層部に限って堆積相の解析が行われているが（藤ほか，1995)，深部の調査はほとんど行われていないため，低地を埋積している地層の全体像はわかっていない．著者らは，2000年代に入って土木調査で基盤まで掘られた数本のボーリング試料を秋田県から入手し，堆積物の解析を行っている．本講演では，低地中央部で掘られた1本のコアについて，岩相記載，珪藻群集解析，放射性炭素年代測定および，砂層の熱ルミネッセンス（TL）発光特性の検討等で得られた成果を報告する．五里合低地の堆積物は，最終氷期に侵食されてできた谷が，後氷期の海進で埋積され陸化するまでの過程を詳細に記録していた．

解析したボーリングコアの長さは23.45mである．標準貫入試験のN値が急に大きくなることにより，基盤深度が17.5mから19.5 mの間にあると推定される．基盤は，シルト混じりの極細粒砂で，周辺の段丘を構成する潟西層の岩相に似ている．その上の層序は，砂礫層（厚さ1m），砂層（厚さ0.6m），腐食土層 I （厚さ1.4m），シルト質細粒砂層（厚さ2.6m），厚い粘土層（厚さ7.3m；深度12 8m～4.5 m），有機質シルト層（厚さ1m），シルト混じり砂層（厚さ1.5m），腐植土層 II （厚さ1.9m），現地表の水田土壌となっている．放射性炭素年代は，腐植土層 I 下部（深度15.63 m）が8990±30 yBP, 厚い粘土層の上部（深度5.81m） の有機物が5580±30 yBP, 有機質シルト層（深度3.72 m）の中の炭質物が3990 ±30 yBP, 腐植土層 II 下部（深度1.9 m）が2930 ±30 yBPである．

N値が変化する上下の砂層に含まれる石英の赤色領域のTL発光特性はよく似たパターンを示し，層準による大きな違いはない．基底の砂礫層の礫種は硬質泥岩や流紋岩，火砕岩からなり，男鹿半島西部山地の火山岩類および女川層が給源と考えられる．よく円摩された細礫および中礫であり，西部山地と五里合低地は水系がつながっていないことから，基盤の潟西層や鮪川層に含まれる礫のリワークであると考えられる．一方，五里合低地の南側に存在する寒風山の噴出物は堆積物中に確認できなかったことから，堆積物を供給した河川は，寒風山北東麓の滝の頭から流下し低地中央を縦断する鮪川川ではなく，低地東方の潟西段丘を開析する谷であると考えられる．この台地には申川断層の活動に伴って申川背斜構造が発達し、東方に傾動している。珪藻化石群集については，基盤の砂層は海生種からなるが，深度15.72ｍの腐植土層は海生種をほとんど含まない．その上位の厚い粘土層までの地層は，砂泥底質に付着する海生種を多産ないし随伴するようになるが，淡水種や汽水種も産する．さらに上位の地層では，次第に汽水種から淡水種へと変化する．

これ等の結果から，五里合低地の環境変遷と堆積過程をまとめると以下のようになる．最終氷期に基盤の潟西層を削剥した谷が形成されていた．後氷期の海進によって，まず，基底砂礫層の堆積が始まり，湿地に環境変化して腐植土層が堆積した．さらに，小河川等の陸水の影響が強い内湾へ変化していき，細粒の砂が堆積した．厚い粘土層の堆積時期に縄文海進の高海面期に至ったと考えられる．その後，4000年～3000年前ごろから再び湿地の環境を経て陸化した．堆積速度は，下部の海進期にあたる地層で2.9 mm/yと速く，上部の地層では1.3~1.7mm/yと見積もられる．

文献

白石　1990，秋田県八郎潟の完新世地史, 地質学論集， 36, 47-69.

藤　ほか　1995，男鹿半島五里合(いりあい)における完新世の古環境解析．日本海域研究所報告, 26, 1-35, 金沢大学.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Holocene, Iriai lowland, Oga peninsula, Diatom fossil

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R7 [Regular Session]Cenozoic geological records of Japan

[1ch417-22] R7 [Regular Session]Cenozoic geological records of Japan

Chiar:Jun Hosoi, Toshiki Haji

Sat. Sep 4, 2021 2:30 PM - 4:00 PM ch4 (ch4)

[R7-O-1] Eocene to Miocene tectonics in the Amakusa area at the junction of the SW Japan and Ryukyu arcs

*Kentaro Ushimaru[1], Atsushi Yamaji[1] （1. Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University）

2:30 PM - 2:45 PM

[R7-O-2] Early Miocene two-phase subsidence of the Ichishi basin, SW Japan

*HIDEKI KINOSHITA[1,2], ATSUSHI YAMAJI[1] （1. Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University, 2. oyo corporation, water and disaster engineering business division）

2:45 PM - 3:00 PM

[R7-O-3] Period of activities of the Setouchi Volcanic Rocks in the Kii Peninsula

*Hironao Shinjoe[1], Yutaka Wada[2], Yuji Orihashi[3] （1. Tokyo Keizai University, 2. Department of Earth Sciences, Nara University of Education, 3. Graduate School of Earth and Environmental Sciences, Hirosaki University）

3:00 PM - 3:15 PM

[R7-O-4] Origin and water depth of a quite peculiar limestone and paleoecologic system of *Bathymodiolus* in the Miocene Taishu Group, southwestern Japan

*Takashi Ninomiya[1], Toshiro Yamanaka[2], Shoichi Shimoyama[3], Yuichiro Miyata[4], Takashi Shimazu[5], Sho Taniguchi[6], Takahiro Aoki[7], Tamio Nishida[3], Toshihiro Takahashi[5] （1. Kyushu Univ., 2. Tokyo Univ. of Marine Sci. &Tech., 3. Saga Univ., 4. Yamaguchi Univ., 5. JAPEX, 6. HAZAMA ANDO CORPORATION, 7. Shinwa Techno, Co., Ltd.）

3:15 PM - 3:30 PM

[R7-O-5] Crustal rotation in western Tsugaru in northern Honshu

*Hiroyuki HOSHI[1], Motoharu Kuno[2] （1. Aichi University of Education, 2. Graduate, Aichi University of Education）

3:30 PM - 3:45 PM

[R7-O-6] Estimation of the age when the direction of the drainage from the Kobiwako basin changed

*Yasufumi Satoguchi[1] （1. Lake Biwa Museum）

3:45 PM - 4:00 PM

©The Geological Society of Japan

Eocene to Miocene tectonics in the Amakusa area at the junction of the SW Japan and Ryukyu arcs

*Kentaro Ushimaru[1], Atsushi Yamaji[1]

1. Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

日本列島形成史において古第三紀はミッシングリンクである．というのも，西南日本の帯状構造が大きく改変され，また，日本海拡大を準備した時期であったにもかかわらず，当時の地層が前後の時代のものに比べてあまり残っていないためである．しかし，九州北部には例外的に古第三紀の地層が多く残っている．中でも天草地域には，断層・褶曲・火成岩の貫入をうけた厚さ3 kmにおよぶ始新統が露出し，多くの情報が読み出されないまま残されている．そこでわれわれは，天草地域の地質構造の再調査を進めている．その結果，この地域の始新統が褶曲時階をはさんで２段階の伸張テクトニクスを被ったことがわかった．

天草の始新統はNEトレンドの褶曲をなし，また，NEトレンドとNWトレンドの断層群に切られている(高井ほか, 1997; 斎藤ほか, 2010)．今回の調査の結果，NE系とNW系のものはいずれも正断層であることが確認できた．また，前者が古く，後者が新しいことがわかった．さらにまた，NW系の断層は，褶曲の両翼で姿勢や変位方向に系統的な違いが見られないことから，褶曲後にできたものと判断された．

天草地域には14〜15 Maの貫入岩体が多数存在するが，それらがNW系の正断層によって切られる露頭を複数発見した．貫入岩体を切る小断層のデータをHough変換法（Yamaji et al., 2006; Sato, 2006）で応力解析したところ，NNE-SSW引っ張りの正断層型応力が検出された．これは地質図規模のNW系断層群と整合的な応力である．これらのことから，NW系正断層は火成活動より若いと判断された．

本研究の結果，天草地域は褶曲の前後に伸張テクトニクスを経験したことが分かった．このうち，褶曲より古いNE系正断層群は活動時期の制約が弱いが、低角正断層もあり、伸長歪み量は大きい．したがってこの系統の断層群は、東シナ海域で深いグラーベンを多数つくった暁新世〜始新世の伸張テクトニクス（e.g., Itoh et al., 1999; Cuker et al., 2011）の一環として動いた可能性がある．他方，褶曲・貫入より新しいＮＷ系正断層群は，山口西部〜九州北部に分布するＮＷ系の正断層群と対比できる．従来，九州北部のＮＷ系統の正断層群は「筑豊型構造」と呼ばれ，古第三紀の堆積同時正断層とされてきたが（松下，1971; 酒井，1993），近年は中期中新世頃の正断層とされている（尾崎，2013）．本研究の結果は後者と整合的で，天草を含めて北西九州は中期中新世に広く島弧直交方向の伸張場にあった可能性がある．また，火成活動時の天草は琉球弧に属していたという示唆があるが（山元, 1991），当時の天草の応力は西南日本と同一である（Ushimaru & Yamaji, in prep.）．つまり，中新世までの天草は，琉球弧北端ではなく，西南日本西端として考えた方が良さそうである．天草の褶曲は，設楽地域の漸新世のナップ形成（長谷川ほか, 2019）や三陸沖の始新統の褶曲（大澤ほか, 2002）と同時だった可能性がある．

◆引用文献： Cukur et al., 2011, *Mar. Geophys. Res.*, **32**, 363–381.　長谷川ほか, 2019, *地学雑誌*, **128**, 391–417.　Itoh et al., 1999, *Island arc*, **8**, 56–65.　松下, 1971, *九大理研報 (地質学之部)*, **11**, 1–16.　大澤ほか, 2002, *石油技術協会誌*, **67**, 38–51.　尾崎, 2013, 海域シームレス地質情報集「福岡沿岸域」, 産総研地質調査総合センター.　斎藤ほか, 2010, 20万分の1地質図幅「八代および野母崎の一部」, 地質調査所.　酒井, 1993, *地質学論集*, **42**, 183–201.　Sato, 2006, *Tectonophysics*, **421**, 319–330.　高井ほか, 1997, 天草炭田地質図説明書, 地質調査所.　Yamaji et al., 2006, *J, Struct. Geol.*, **28**, 980–990.　山元, 1991, *地調月報*, **42**, 131–148.

Keywords: Japan Sea opening, sedimentary basin, stress, dike

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

Early Miocene two-phase subsidence of the Ichishi basin, SW Japan

*HIDEKI KINOSHITA[1,2], ATSUSHI YAMAJI[1]

1. Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University, 2. oyo corporation, water and disaster engineering business division

日本海の背弧拡大時、西南日本孤には伸張テクトニクスが存在した。西南日本孤では、各地で様々なトレンドの下部中新統グラーベンがみられるが、このことは孤内リフティングの方向が多様であったことを示唆する。そういったリフティングの場では必ず、堆積盆形成断層のスリップに走向方向の成分が含まれる。しかしそういった成分は、これまで西南日本では知られてこなかった。

そこで本研究は、下部中新統一志層群を対象に地質調査を行った。一志層群は、西南日本の中央を横断する中央構造線の北側に分布する。本研究により、一志層群の堆積盆は、正断層および NE-SW 走向の左横ずれ断層に沿うグラーベン群から構成されることが分かった。これらグラーベン形成断層の活動は、堆積盆の sub-basin を画する基盤の高まりをつくった。

加えて、本研究は、一志層群の中部で低角の傾斜不整合を見出し、その面を境に一志層群を上部と下部に区分した。下部層は、堆積盆の sub-basin を埋積した。また、下部層および基盤岩は上部層にオンラップされた。これらのことは、一志層群の堆積盆が transtension の場で形成され、その堆積盆形成が、不整合が形成された約18～17.5 Ma の間に終了したことを意味する。その後は、正断層のfold-related foldingとしてできたsag
basinに、一志層群上部がたまったのだろう。

Keywords: Early Miocene, southwest Japan, angular uncomformity, transtension, sag

© 2021 Geological Society of Japan

Period of activities of the Setouchi Volcanic Rocks in the Kii Peninsula

*Hironao Shinjoe[1], Yutaka Wada[2], Yuji Orihashi[3]

1. Tokyo Keizai University, 2. Department of Earth Sciences, Nara University of Education, 3. Graduate School of Earth and Environmental Sciences, Hirosaki University

瀬戸内火山岩類の活動時期は，かつては主に全岩のK-Ar法で拘束され，Tatsumi (2006; Ann. Rev. Earth Planet. Sci.)による全域的なコンパイルでは13.7 ±1.0 Maとまとめられた．珪長質な火成活動が苦鉄質な火成活動に先行するという主張もあり，巽ほか(2010; 地質雑)による小豆島の試料のマルチ年代測定では下位の珪長質な岩相が14.3～14.4 Ma, 上位の安山岩・玄武岩が13.1～13.4 Maの活動とされた．一方，近年の九州東部，四国西部，備讃瀬戸地域のジルコンU-Pb法や40Ar/39Ar法による検討では，多くの年代が14.3～15.1 Maの範囲に入るが（新正・折橋，2017; 地質雑; 新正ほか，2017; 地質学会予稿; Nakaoka et al., 2021; Isl.Arc; Sato and Haji, 2021; Isl.Arc），讃岐平野のデイサイトのジルコンU-Pb年代が13.8 Maにピークをもつという報告もある（Gao et al., 2021; Lithos）．本報告では，これまでの層序関係，放射年代等の情報を整理して，紀伊半島の瀬戸内火山岩類の分布の主体である二上層群の活動時期とその意義を論ずる．二上層群についてはTatsumi et al.(2001; Geophys. J. Int.)は高Mg安山岩を含むサヌキトイドを産する原川累層につき５試料のK-Ar年代の荷重平均として13.6 ±0.7 Maを与えていた．一方，Hoshi et al. (2000; JMPS)は原川累層とその上位の定ヶ城累層の境界付近に正・逆の地磁気極性境界を見いだし，吉川ほか（1996; 地質雑）のK-Ar年代を参照して該当しうる極性サブクロンから二上層群の年代は14.6～15.2 Maに入るとした．さらに星ほか(2002: 地質雑)で二上層群の全体からほぼ14.5-15.0 Maの範囲のジルコンフィッション・トラック（FT）年代を報告し，1500万年前頃の数十万年以内の短期間の活動を強調した．その後，新正ほか(2011; 地質学会予稿)は14.9～15.0 Maの二上層群のジルコンU-Pb年代を報告し星ほか(2002)のFT年代と整合的であるとした．二上層群の最上部の定ヶ城累層の上部の玉手山凝灰岩は室生火砕流堆積物に対比される（星ほか，2002；岩野ほか，2007; 地質雑；山下ほか，2007; 地質雑; 新正ほか，2010; 地質雑）．さらに和田ほか(2012; 地質学会予稿)は室生火砕流堆積物直下の山辺層群中の凝灰岩層から溶結した火砕岩片を見いだし，重希土類元素に枯渇する瀬戸内火山岩類の流紋岩にみられる全岩組成の特徴を持つことから二上層群のドンズルボー累層に由来するものと推定した（新正ほか，2012; 地質学会予稿）．なお，Takashima et al. (2021; Isl. Arc)はアパタイト組成により室生火砕流堆積物の下部を外帯の大台カルデラの噴出物と対比した．また房総半島の木ノ根層の凝灰岩のアパタイト組成による対比から，大台カルデラの噴火後すぐに熊野カルデラが噴火したことが推定された（高嶋ほか，2018; 地質学会予稿）．すなわち二上層群は紀伊半島外帯のカルデラ形成を伴う大規模珪長質火成活動に先行して形成されたことになる．外帯の大規模カルデラ形成に伴う火成活動の時期はShinjoe et al. (2021; Geol. Mag.)のジルコンU-Pb年代では14.5～15.0 Maの範囲に入る．以上より，二上層群の活動時期はHoshi et al. (2000)や星ほか(2002)の提案のように1500万年前頃の数十万年以内の短期間の活動と見られる．二上層群を形成した火成活動は外帯の大規模カルデラ噴火に先行するが，放射年代からは明確に区別できず，フィリピン海プレートの沈み込みの進行に伴って火成活動の領域が北進したのではなく（Kimura et al.,2005; Bull. Geol. Soc. Am.），島弧横断方向に少なくとも幅80 km程度の領域でほぼ同時期に火成活動が生じたとみられる．瀬戸内地域ではマントル深度での堆積物融解による重希土類元素に枯渇した流紋岩マグマやスラブメルトとマントルの反応による高Mg安山岩マグマなどスラブ融解に由来するマグマ生成が，外帯地域では付加体深部あるいは沈み込むスラブ表層の堆積物融解によるSタイプ花こう岩の特徴を持つ大規模珪長質マグマの生成があり，日本海拡大に関連したマントルウェッジの高温状況と拡大直後の四国海盆スラブの沈み込みのもとで海溝寄り地域での広範な火成活動が引き起こされたものと考えられる．

Keywords: middle Miocene, southwest Japan, arc magmatism, Philippine Sea Plate

© 2021 Geological Society of Japan

Origin and water depth of a quite peculiar limestone and paleoecologic system of *Bathymodiolus* in the Miocene Taishu Group, southwestern Japan

*Takashi Ninomiya[1], Toshiro Yamanaka[2], Shoichi Shimoyama[3], Yuichiro Miyata[4], Takashi Shimazu[5], Sho Taniguchi[6], Takahiro Aoki[7], Tamio Nishida[3], Toshihiro Takahashi[5]

1. Kyushu Univ., 2. Tokyo Univ. of Marine Sci. & Tech., 3. Saga Univ., 4. Yamaguchi Univ., 5. JAPEX, 6. HAZAMA ANDO CORPORATION, 7. Shinwa Techno, Co., Ltd.

日本海南西部に分布する対州層群は，筆者らの研究により18～16 Maの日本海拡大期に短期間に堆積したことが明らかになった(Ninomiya et al., 2014)．対州層群下部の吹崎石灰岩から*Bathymodiolus* sp.が記載され，その産状から化学合成化石群集の可能性を指摘した(Ninomiya, 2011)．しかし，吹崎石灰岩が深海で形成され，*Bathymodiolus* sp. が化学合成群集であることを示す明瞭な証拠がなかった．本研究は，それらの証拠を得ることを目的とした．

吹崎石灰岩は泥岩に含まれる幅約4m，厚さ約50cmの現地性の特異な石灰岩体で，下部の苦灰岩，上部の*Bathymodiolus* sp.を含む石灰岩，これらを切るカルサイト脈からなり，石灰岩直下の泥岩中に直径5cm以下のドロマイトからなるコンクリーションを多数含んでいる．石灰岩周辺を含む対州層群下部は水深を示す示相化石に乏しいが，底生有孔虫(Sakai & Nishi, 1990)やまれに泥岩から産出する貝類化石(Masuda, 1970)は，吹崎石灰岩を含む対州層群下部は水深800m以深の深海環境で堆積したことを示す．

石灰岩の炭酸塩の低いδ^{13}C値(−39.8‰から−31.7‰)は，石灰岩が熱分解起源もしくは微生物起源のメタンの嫌気的メタン酸化により海底面下で形成されたことを強く示唆している．苦灰岩，コンクリーション, カルサイト脈から得られたδ^{13}C値(−5.8‰から−9.7‰)は，通常の海洋性炭酸塩のδ^{13}C 値(−2‰から+6‰; Veizer et al., 1999)よりも低い．それゆえ，これらの炭酸塩岩は，嫌気的メタン酸化に由来する炭酸イオンと海水中の炭酸イオンの混合により形成されたことを示唆している．

また，石灰岩，苦灰岩およびコンクリーション中のパイライトのδ^{34}S値は−3.3‰から−16.4‰と0‰より低く，硫酸還元細菌の活動によって形成されたことを示しており，活発な嫌気的メタン酸化がおこっていたことを示唆する．硫酸還元細菌によって生成された硫化水素が化学合成の一次生産に使用される場合，RuBisCOによって固定された有機物のδ^{13}C値は−35 ±5‰の範囲に入ることが知られている(e.g., Nelson & Fisher, 1995)． 石灰岩から得られた全有機炭素(TOC)のδ^{13}C値は−37.6‰であったことから，化学合成によって固定された有機物と考えられる．苦灰岩およびコンクリーションのTOCのδ^{13}C値(−27.9‰から−29.9‰)は，−35 ±5‰よりも高いが，通常の海洋性堆積物のTOCのδ^{13}C値(−25‰; Denies, 1980)と比べて低い．石灰岩中のTOCと同様に化学合成によって固定された有機物である可能性が高い．

これらの結果と*Bathymodiolus* sp. がδ^{13}C値とδ^{34}S値が最も低い石灰岩に限られ，16 Ma以前のシンカイヒバリガイ類は硫黄酸化細菌を共生させていたと考えられている(Lorion et al., 2013)．吹崎石灰岩中の*Bathymodiolus* sp.は，硫黄酸化細菌のみを共生させ，嫌気的メタン酸化により生成される硫化水素に依存していたと考えられる．対州層群の年代やデイサイトの活動を加味すると(Ninomiya et al., 2014)，対州層群下部の環境は浅海から急速に深海化し，メタンが湧出する背弧海盆となっていたことを示唆している．

文献 Denies, P., 1980, In: Fitz, P., Fontes, J.C. (Eds.), pp. 239–246. Lorion et al, 2013, Proc. R. Soc. B 280, 20131243. Masuda, 1970, Mem. Nat. Sci. Mus. 14, 25-32. Nelson, D.C., Fisher, C.R., 1995, In: Karl, D.M. (Ed.), pp. 125–167. Ninomiya, T., 2011, Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. D, Earth & Planet. Sci. 32, 11–26. Ninomiya et al., 2014, Isl. Arc 23, 206–220. Sakai, H., Nishi, H., 1990, J. Geol. Soc. Jap. 96, 389–392. Veizer et al., 1999, Chem. Geol. 161, 59–88.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Japan Sea opening, deep-sea, Anaerobic methane oxidation

© 2021 Geological Society of Japan

Crustal rotation in western Tsugaru in northern Honshu

*Hiroyuki HOSHI[1], Motoharu Kuno[2]

1. Aichi University of Education, 2. Graduate, Aichi University of Education

Northeast Japan rotated counterclockwise during the early Miocene major opening stage of the Japan Sea, but the timing, amount, and mode of the rotation remain poorly constrained. These issues should be resolved by an interdisciplinary geological study in areas where the well-dated rock sequences formed in the period of the Japan Sea opening are present. Here we present geological and paleomagnetic data from northern Honshu and show that counterclockwise rotation occurred after the formation of early Miocene volcanic rocks. After mapping geological structures in the field, we collected samples for paleomagnetic analysis at more than 60 sites in two areas (Fukaura and Kodomari) in the western Tsugaru region of Aomori Prefecture. In the Fukaura area, andesites and rhyolites of the Odose Formation (ca. 20–18 Ma: Hoshi et al. 2003) have a remanent magnetization direction counterclockwise deflected from the early Miocene expected direction, although several site-mean directions of lava flows are not corrected for bedding tilt due to possible paleotopographic slopes. A similar magnetization direction is recorded in the various types of early Miocene volcanic rocks of the Gongenzaki Formation (ca. 23–20 Ma: Danhara et al. 2005) and Fuyube Formation (ca. 17–16 Ma: Hoshi et al. 2013, 2016) in the Kodomari area. It is noteworthy that a rhyolite lava unit of the Fuyube Formation preserves a westerly magnetization direction, suggesting counterclockwise rotation after 17 Ma. Future research should aim to determine magnetization directions and U–Pb zircon dates of middle Miocene and younger formations in western Tsugaru.

Ref.
Danhara, T. et al., 2005, *J. Geol. Soc. Japan* **111**, 476–487; Hoshi, H. et al., 2003, *J. Japan. Assoc. Petrol. Tech.* **68**, 191–199; Hoshi, H. et al., 2013, *J. Japan. Assoc. Petrol. Tech.* **78**, 414–418; Hoshi, H. et al., 2016, *J. Geol. Soc. Japan* **122**, 163–170.

Keywords: Northeast Japan, crustal rotation, Japan Sea opening, tectonics, Miocene, paleomagnetism, Aomori Prefecture, western Tsugaru

© 2021 Geological Society of Japan

Estimation of the age when the direction of the drainage from the Kobiwako basin changed

*Yasufumi Satoguchi[1]

1. Lake Biwa Museum

【近畿地方における水系変化】　日本における鮮新一更新世の古環境推定は，現在の地理的に隔たれた同一堆積盆内で形成されたと考えられる“層群”単位で検討が行われることが多く，隣り合った地域に同時代の層群が分布していても，それらの水系のつながりを議論することは難しい．

近畿・東海地方には，東から西へ，鮮新一更新統の東海層群，古琵琶湖層群，大阪層群が分布しており，各地域は基盤岩によって隔てられている（e.g. 日本第四紀学会編，1987）．これらの層群は，大阪層群の上部の一部層準を除き，湖沼，河川，湿地などで形成された陸水成層からなり（e.g. 日本地質学会編，2009），淡水の水系としてのつながりを明らかにすることは，当時のこの地域における構造運動を知る上で，また現在の淡水生物分布の成立過程を考える上でも重要である．鮮新一更新世の機関における，近畿・東海地方の水系変化については，里口（2017）がまとめているが，その変化をした正確な時期は不明としている．その変化の中で，現在の水系につながる大きな変化として，近江盆地からの水の排水方向が，伊勢湾方向から現在と同じ京都・大阪方向へ変わった事があげられ，この変化が当時の近江盆地の水環境を大きく変えた可能性が指摘されている（里口，2015）．本発表ではその変化をした時期の検討する．

【水系変化のタイミングの検討】　古琵琶湖堆積盆から京都・大阪地域への水系のつながりは，古琵琶湖層群中部付近の蒲生層下部にある約230万年前の虫生野火山灰層（Msn-Jwg4テフラ）堆積時には存在していることから（里口，2017），230万年前よりも以前にできたといえる．古琵琶湖層群における蒲生層の下位に位置する甲賀層は，現在の甲賀市付近に深く安定した湖があったと推定される塊状泥層からなり，本層堆積時期における水の排出方向の直接的なデータは示されていないものの，甲賀層下部の堆積期には東側の伊勢湾方向へと図示されている（川辺，1994）．つまり，甲賀層から蒲生層下部のいずれかの時期に流出方向が変化したと推定される．

琵琶湖の南東方向にある滋賀県湖南市の野洲川河床には，甲賀層最上部が分布しており，河川や周辺湿地，止水域の環境を示す地層から構成されている．このうち，河川堆積物と考えられる砂礫層の古流向を測定したところ，概ね北方向を示していた．この地点は，当時の湖があったと考えられる地域に対して，西方に位置していることから（川辺，1994），北方向を示す流れの河川は，この地域から東方にあった湖へ流入していたとは考えにくい．それに対し，本地点の西側と南側には基盤岩の高まりがあり，これら周辺の古琵琶湖層群との境界付近の変形などが見られないことから，本地域堆積期以降に地域的な構造運動はなかったと推定され，本層堆積時期にもこの基盤岩の高まりがあったと考えられる．つまり，本地域は堆積当時の地形的制約として西方へ流れることができなかったと考えられる．本調査地点のみの古流向で，当時の堆積盆の水系を議論するのはあまりに危険ではあるが，本地点の北向きの流れは，西方へ流れることができなかった地形的制約を避けるために北側の流れを作っていた可能性も考えられ，甲賀層最上部の堆積時期には，近江盆地からの排水方向が東方向から異なる方向へ変化していたことを示しているのかもしれない．

【文献】　川辺孝幸，1994，琵琶湖の自然史．25-72，八坂書房．；日本第四紀学会編，1987，日本第四紀地図，東京大学出版会．；日本地質学会編，2009，近畿地方，朝倉書店，p453．；里口保文，2015，日本地質学会第122年学術大会講演要旨，70．；里口保文，2017，化石研誌，60-70.

Keywords: Plio-Pleistocene, Kinki and Tokai districts, pale-water systems, Kobiwako Group

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R18 [Regular Session]Environmental geology

[1ch501-06] R18 [Regular Session]Environmental geology

Chiar:Yoshiyuki Tamura

Sat. Sep 4, 2021 8:45 AM - 10:15 AM ch5 (ch5)

[R18-O-1] Relationship between geology and ^{222}Rn concentration in hot springs and groundwater in Kagoshima, Japan

*Kuniyo Kawabata[1], Mai Watanabe[1], Yujin Kitamura[1], Akinori Nakano[1], Takashi Tomiyasu[1] (1. Kagoshima University)

8:45 AM - 9:00 AM

[R18-O-2] Inverse analysis of groundwater modeling: An example of the contamination site in Mobara City

*Katsuhiro Fujisaki[1] (1. Geo-environmental Consultant)

9:00 AM - 9:15 AM

[R18-O-3] Low atmospheric pressure induced groundwater level change : Impact of the 2019 Typhoon 15 FAXAI and 19 HAGIBIS in Chiba prefecture, Japan

*Atsushi Kagawa[1] (1. Research Institute of Environmental Geology, Chiba)

9:15 AM - 9:30 AM

[R18-O-4] Temporal and special variations of land subsidence in Yachimata-Tomisato Area, Chiba Prefecture

*Itaru Ogitsu[1], Hisashi Yabusaki[1], Takeshi Yoshida[1] (1. Chiba Prefectural Environmental Research Centre)

9:30 AM - 9:45 AM

[R18-O-5] The importance of the geo-stratigraphical unit investigation and monitoring effect of CVOC groundwater pollution site after 20 years

*Hiroshi TAKASHIMA[1], Shinji TAKEUCHI[2], Osamu KAZAOKA[3] (1. Daiichi institute of technology, 2. Nihon University, 3. Research Institute of Environmental Geology, Chiba prefecture)

9:45 AM - 10:00 AM

[R18-O-6] Main cause of the large deformation of the embankment and neighborhood road: from geological survey on liquefaction-fluidization phenomena at the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake in northern part of reclaimed land around Tokyo bay, central Japan

*Osamu Kazaoka[1], Takahiro Kojima[1], Naoto Ito[1], Itaru Ogitsu[1], Atsushi Kagawa[1], Takeshi Yoshida[1] (1. Research Institute of Environmental Geology, Chiba)

10:00 AM - 10:15 AM

©The Geological Society of Japan

Relationship between geology and ^{222}Rn concentration in hot springs and groundwater in Kagoshima, Japan

*Kuniyo Kawabata[1], Mai Watanabe[1], Yujin Kitamura[1], Akinori Nakano[1], Takashi Tomiyasu[1]

1. Kagoshima University

ラドンは不活性のガスとして存在し水に対する溶解度が高く岩石の間隙流体や地下水に容易に溶け込むことが知られている．そのため，水中ラドンは地下の岩石種のトレーサーや地下水の帯水層の情報を得るために測定されてきた．また，岩石から放出されるラドンは亀裂の増加や，岩石・水比の変化，間隙率変化をもたらす地殻歪変化によって濃度が変化するため，地震などの地殻変動検との関係についても調査されてきた．（例えばUlmov and Mavashav, 1971; Wakita et al., 1980; Igarashi et al., 1995; Kuo et al., 2006; Tsunomori and Tanala, 2014）．

鹿児島県には活断層や断層が多く存在し，温泉施設も多い．本研究では特に鹿児島市近辺の温泉・地下水中のラドン濃度を測定し，市内に分布する活断層・断層と水中ラドン濃度の関係について考察を行う．鹿児島市内の温泉水は現在の一般的な地温勾配に従って温度が高くなることから，マグマや火成岩の熱的な影響を受けていないことが明らかとなった．また酸素水素同位体分析結果から，断層近傍の温泉でマグマに関係した水の混入が認められた．水中ラドン濃度測定の結果，基盤岩である四万十累層群とその上位に堆積する火砕流堆積物の帯水層から得られる水中ラドン濃度に顕著な差が認められた．これは帯水層が多孔質であるか否かという岩石の性状に起因している可能性が高く，多孔質の火砕流堆積物ではラドン濃度が高くなり，間隙が少ない四万十累層群では低くなるためと考えられる．温泉水中ラドン濃度分布から，活断層や基盤岩中に発達する断層付近においてラドン濃度が高い温泉が認められた．これらの温泉は岩石中の比表面積や間隙が大きい断層を流路としている可能性が考えられる．特に鹿児島市下の基盤岩グラーベン構造を作る断層近傍の温泉は，マグマの影響を受けた水が断層を流路として上昇している可能性が考えられる．

また，鹿児島市内には，ヒ素が検出される井戸が確認されている．これらの井戸の深度は不明なことが多く，汚染源が特定されていない．本発表では，上記のラドン濃度と地質の関係から，深度不明井戸の地下水中ラドン濃度を測定し，汚染源深度を推定する試みについても発表を行う．

Igarashi et al., *Science*, 269, 1995
Kuo et al., *Ground Water*, 44, 2006
Tsunomori and Tanaka, *Radiat. Meas*, 60, 2014
Wakita et al., *Science*, 207, 1980
Ulmov and Mavashav, *Akad. Nauk Uzbek*, 1971

Keywords: 222Rn, hot spring, groundwater, Kagoshima

© 2021 Geological Society of Japan

Inverse analysis of groundwater modeling: An example of the contamination site in Mobara City

*Katsuhiro Fujisaki[1]

1. Geo-environmental Consultant

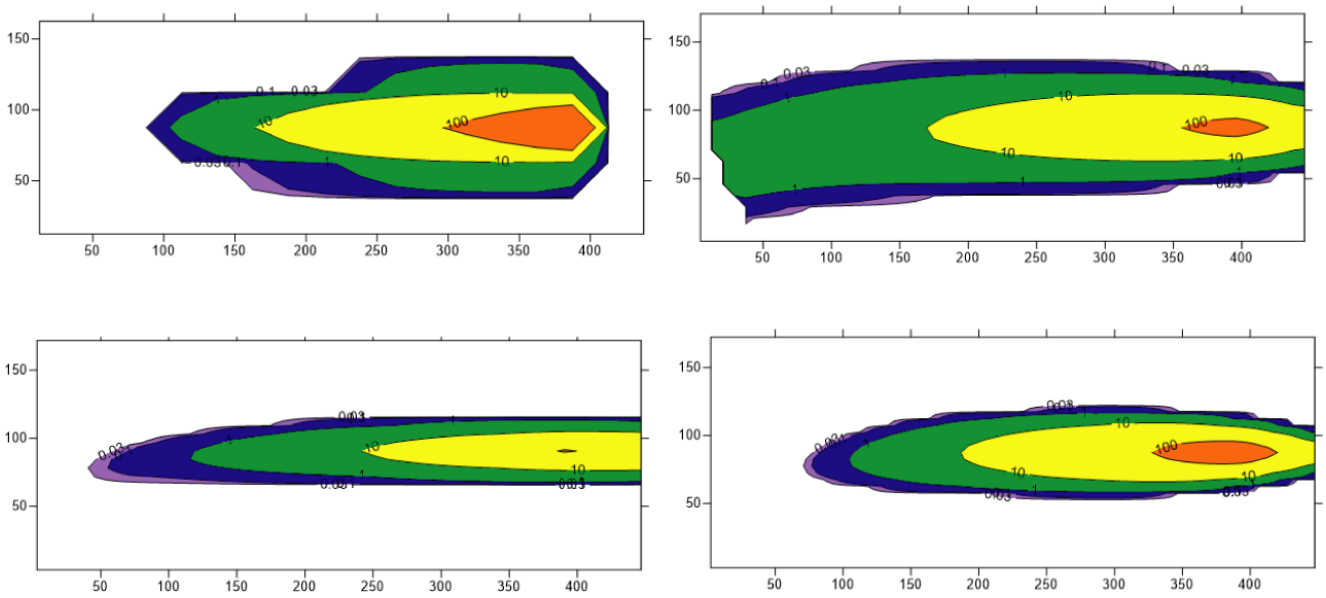
地下水モデルのパラメータ（透水係数など）を観測値（地下水位など）から求める逆解析は，数学的に難しいことと適当な解析ソフトがないことから，わが国での普及は進んでいない．筆者は，汎用ソフトPEST（Doherty, 2018）を用いて，静岡市の汚染事例（藤崎他，2005）について解析をおこなった（藤崎，2019a；2019b；2020）．濃度観測値をそのまま使用した場合，格子幅を小さくするにつれて小さい透水係数と大きな涵養量，大きな透水係数と小さい涵養量が交互に求められる不自然な結果となった．また，計算濃度分布も観測値の分布と異なっている．高濃度観測値の方が目的関数への寄与が大きいため，それらに偏ってパラメータが修正されると考え，観測値を対数変換した．透水係数・分散長は元のパラメータに近い値が求められ，計算濃度分布も観測値に近いものとなった． 茂原市の汚染事例（藤崎他，2005）について，地下水位観測値12個（定常状態），TCE濃度観測値214個（1989/11～1998/2）に対応する出力値を地下水流モデル（MODFLOW）と物質移動モデル（MT3DMS）で計算し，PESTで観測値を対数変換して透水係数・縦方向分散長・横方向分散長・涵養量・生物分解半減期の5パラメータを逆解析した．格子幅を25mからその1/2～1/5へと細かくしていくと，目的関数・AIC（赤池情報量基準）とも小さくなり，精度が向上するようにみえる．しかし，12.5m格子（1/2）ではPESTは収束せず，6.25m格子（1/4）では長大な計算時間を要し非常に大きな縦方向分散長が求められる．計算濃度分布も観測値と一致しない．8.333m格子（1/3）では，やや大きい縦方向分散長と短い半減期が得られるが，計算濃度分布は観測値にくらべてプリュームが下流方向に伸びている．5m格子（1/5）でもやや大きい縦方向分散長と短い半減期が求められるが，計算濃度分布は観測値と調和的である．静岡市の例では格子幅によらずほぼ同じ結果が得られたが，この場合の格子幅による差の原因はよく分からない．25m格子で観測点数を214点，154点，106点，59点と減らしていくと，目的関数・AICとも大きくなり，観測点数が多くなるとともに精度が高くなるようである．106点を例外として，観測点数が少なくなると縦方向分散長が大きく，半減期が短くなる傾向がある．計算濃度分布は観測値とほぼ一致する．観測値数が106点の場合，透水係数が大きく，半減期が短く求められ，計算濃度分布は観測値とことなり100mg/l以上の高濃度部がなくなっている．106点の前後の118点と94点では，他の場合と同様の結果を示しており，なぜ106点の場合のみ特異な値が得られるのかは原因が不明である．以上の結果は，特定の観測値群を使用した場合に，パラメータ推定精度が低下することを示していて，観測値の選択についても注意しなければならないことが示されている．観測値には検出限界（0.02mg/l）未満のデータが多く含まれる．対数変換するにあたって，ゼロにはできないので仮に検出限界の1/20の１E-4mg/lとした．実際の濃度は分からないが，幅広い値となっていると考えられる．そこで，検出限界の1/2（１E-3mg/l）と1/200（１E-5mg/l）とした場合についても検討したが，それらに大きな差はみられない．

参考文献

Doherty, J., 2018, PEST: Model-independent parameter estimation user manual 7th ed., Watermark Numerical Computing, 368p. 藤崎克博，2019a，日本地質学会第126年学術大会講演要旨，134. 藤崎克博，2019b，第29回環境地質学シンポジウム論文集，49-52. 藤崎克博，2020，第30回環境地質学シンポジウム論文集，1-4. 藤崎克博他，2005，社会地質学会誌，Vol.1, no.1, 1-18.

Keywords: Inverse Analysis, Groundwater Modeling, Grid Design

© 2021 Geological Society of Japan



1989/11 計算 TCE 濃度分布. 左上格子幅 25m, 右上 8.333m, 左下 6.25m, 右下 5m

© 2021 Geological Society of Japan

Low atmospheric pressure induced groundwater level change : Impact of the 2019 Typhoon 15 FAXAI and 19 HAGIBIS in Chiba prefecture, Japan

*Atsushi Kagawa[1]

1. Research Institute of Environmental Geology, Chiba

千葉県では2019年9月から10月にかけて，台風第15号，第19号および第21号に伴う大雨により大きな被害を受けた．特に台風第15号は強い勢力のまま本県を直撃し，暴風による倒木や家屋の損壊，大規模停電を生じるなど被害は甚大となり，「令和元年房総半島台風」と命名された．また，台風第19号通過の際には市原市で竜巻が発生し，死者を伴う被害が出た．これら低気圧の影響を受け，千葉県内の観測井で観測された顕著な地下水位変動について報告する．

2019年台風第15号・第19号の概況と地下水位観測体制：台風第15号は，9月5日に南鳥島近海で発生し，9月9日未明に三浦半島を通過，午前5時前に暴風域を伴い千葉市付近に上陸した後，午前8時頃には茨城県沖へと通過した．上陸時の気圧は960hPa，千葉市の最大瞬間風速は57.5m/sを記録し観測史上1位となった[1)]．台風第19号は，10月6日南鳥島近海で発生し，10月12日19時前に伊豆半島に上陸した後，22時過ぎに野田市付近を965hPaで通過した[2)]．通過に先立つ08時過ぎに市原市で竜巻が発生し，死者1名，住家の全壊12棟，半壊23棟の被害を生じた[3)]．なお，千葉県では154井の地下水位・地盤沈下観測井を設置し，地下水位を連続観測している他，環境研究センター直営の約30井においても地下水位を連続観測している[4)]．また，地下水圧センサーの大気圧補正を目的とした気圧計を9地点に設置している．

気圧低下と地下水位変動：台風第15号は上陸時の中心気圧が960hPa，暴風半径が南東90km北西70kmとされる[1)]一方，台風第19号は通過時の中心気圧が965hPa，暴風半径が南東330km北西260kmとされ[2)]，中心気圧は同規模であったが台風の「大きさ」は1ケタ異なる規模であった．富里立沢観測所（富里市立沢）は，台風第15号の最接近時に中心から約10km，台風第19号で約40kmの距離に位置した．本観測所の気圧計では，台風第15・19号最接近時に，それぞれ973 hPaおよび975hPaを記録した．また，1000hPaから最低気圧までの低下時間を見ると，台風第15号は3時間たらず，台風第19号では9時間以上を要している．なお本観測所に設置されたWTM-1号井（井戸深度：20.2m，スクリーン深度：16～19m）では，いずれの台風でも30cmを超える地下水位の上昇が観測された．この30cm地下水位上昇に要した時間は，台風第15号で約4時間，台風第19号で約17時間となっている．この気圧と地下水位変動の相関から，10hPaの変化で8～10cm地下水位が変動することが推定される．

竜巻と地下水位変動：台風第19号通過に先立つ10月12日08時08分頃，台風からの暖かく湿った空気が流れ込んだ影響で活発な積乱雲が発生し，その通過中に市原市北部で竜巻と推定される突風が発生した[3)]．竜巻被害地域は，北西-南東方向に約1800m・幅約700mの帯状に認められた．この周囲には，約10本の地下水位観測井が設置されており，そのいくつかにおいて竜巻の影響と考えられる地下水位変動が確認された．このうち竜巻被害地域の南東約3800mに位置するIc-4号井，同約1300mに位置するIc-3号井，被害地域北東側約800mに位置するW-6号井，被害地域北西約2200mに位置するW-5号井では，竜巻発生時刻に前後して1～2cm程度のスパイク状の地下水位上昇が観測された．これら観測井の位置と地下水位上昇時間の差から，竜巻は南東方向から北西方向に向かって時速60km/hを超える速度で移動したものと推定される．

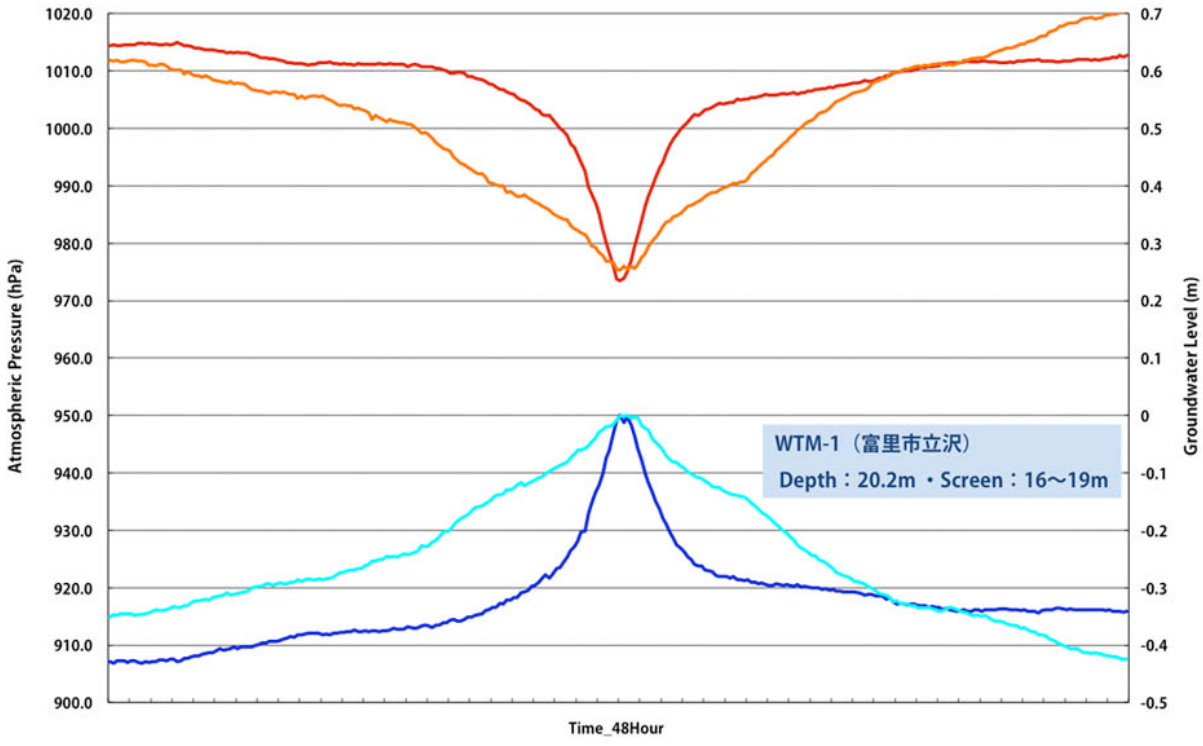
引用文献

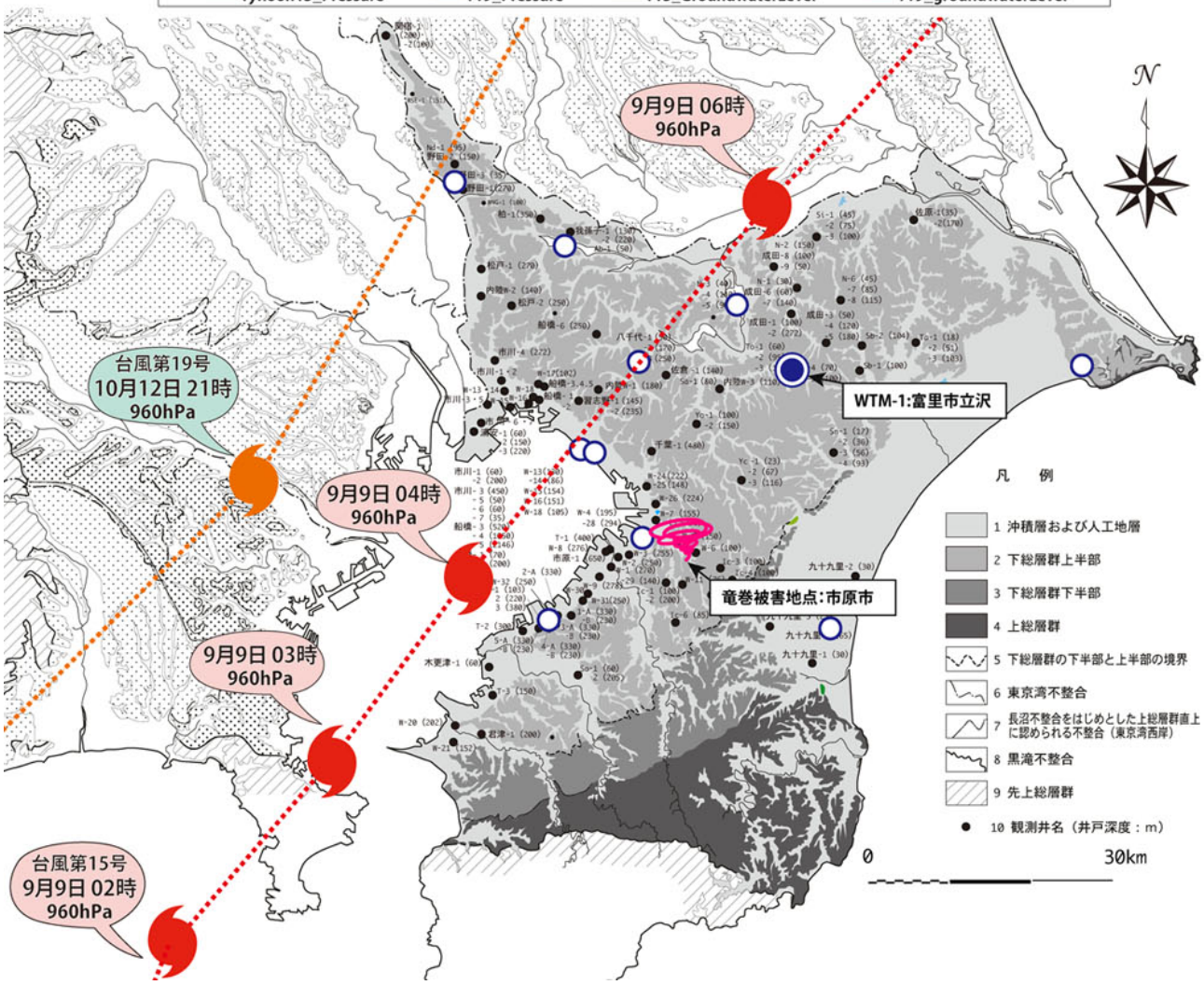
[1)] 気象庁，2020，災害時自然現象報告書（令和元年房総半島台風等），2.
[2)] 気象庁，2019，災害をもたらした気象事例，台風第19号による大雨，暴風等（速報）.
[3)] 銚子地方気象台，2020，現地災害調査報告 令和元年10月12日に千葉県市原市で発生した突風について.
[4)] 千葉県環境研究センター地質環境研究室，2020，千葉県の地盤沈下（観測井資料編），51.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: groundwater level change, low atmospheric pressure, tornado

© 2021 Geological Society of Japan





© 2021 Geological Society of Japan

Temporal and special variations of land subsidence in Yachimata-Tomisato Area, Chiba Prefecture

*Itaru Ogitsu[1], Hisashi Yabusaki[1], Takeshi Yoshida[1]

1. Chiba Prefectural Environmental Research Centre

はじめに

地盤沈下は地下水や天然ガスかん水等の採取や自然圧密等に起因していると考えられ、これらの要因を特定しその寄与度を明らかにすることは地盤沈下の防止を考える上で非常に重要である。千葉県による精密水準測量の結果から、近年、八街市や富里市付近に複数箇所の中心を持つ広域的な地盤沈下が確認されている(荻津・八武崎, 2019)。本発表では当該地域の最近の地盤変動について、地盤沈下の要因解明のための基礎資料とすることを目的にInSAR解析を実施したのでその結果について予察的な報告を行う。

地盤沈下の概要

精密水準測量の結果(千葉県, 1976-2019)によると、1年間変動量図では1996年頃からは八街市に中心をもつ沈下が確認されはじめ、2000年代の始めからは沈下が富里市付近でも明瞭になっている。この傾向は現在まで続き2019年の沈下量は佐倉市と八街市の境界付近及び富里市の芝山町側境界付近に沈下の中心を確認できる。5年間累積変動量分布ではより顕著にこの地域の沈下を確認することができる。2012年-2017年に5cm以上沈下した地域は佐倉市から芝山町まで東北東・西南西方向に伸長した長さ約10km幅約5kmの範囲に分布している。佐倉市と八街市の境界付近、八街市と富里市の境界付近及び八街市の芝山町との境界付近の合計3カ所に沈下の中心が確認できる(荻津・八武崎, 2019)。

InSAR解析について

InSARは人工衛星等により2回以上の地表観測を行い、反射波の位相差から地表の変動を把握する技術である。近年、InSAR解析により千葉県内を対象とした地盤沈下の報告がなされている(e.g.,出口・他, 2009; 山中・他, 2013; 石塚・松岡, 2016; 環境省, 2017)が、本研究では本地域の地盤沈下について時空間的により詳細に把握することを目的にInSAR時系列解析を行った。2017年7月から2021年4月までの欧州宇宙機関(ESA)のSentinel-1A及び1BのデータをStaMPS/MTI(Hooper et al., 2012)によりPSInSAR解析を行った。

InSAR解析結果

2018年及び2019年の年間変動量の分布は精密水準測量結果と概ね整合的であった。精密水準測量で確認されている3カ所の沈下の中心は今回InSAR解析で得られた1年間変動量の分布でも認められた。また、富里市北西部から成田市にかけての地域及び富里市北東部から成田市と芝山町の境界付近に伸びる地域で若干の沈下が確認されたが、精密水準測量結果では水準点の配置の関係からこの沈下についてはとらえきれていない。
三か月毎の変動量の分布では、各時期の変動量分布の変化が大きく毎年同じ時期に同じような変動を示すような明瞭な周期変動は確認できなかった。しかし、佐倉市と八街市の境界付近に中心をもつ沈下は、4～6月に沈下範囲が南側に広がる傾向が認められた。

各地点の変動の時系列変化については、沈下の中心に近い地盤沈下の顕著な場所において単調な沈下傾向がみられた。しかし、その周辺部では時間とともに沈下と隆起を繰り返し、長期的にみると沈下傾向または隆起傾向を示していた。これらの変化は場所によって様々に異なり一様ではなかった。

まとめ

八街市・富里市周辺においてInSAR解析を実施したところ、精密水準測量では把握出来なかった地盤沈下の時空間変化を確認できた。今後、精密水準測量に加えInSAR解析やGNSS観測により詳細な地盤変動の把握を目指すとともその要因解明を進めることが必要である。

引用文献

千葉県, 1976-2019, 精密水準測量成果.
出口知敬・六川修一・松島潤, 2009, 干渉SARの時系列解析による長期地盤変動計測. 日本リモートセンシング学会誌, 29, 418-428.

© 2021 Geological Society of Japan

Hooper, A., D. Bekaert, K. Spaans, and M. Arikan, 2012, Recent advances in sar interferometry time series analysis for measuring crustal deformation. Tectonophysics, 514-517, 1–13.
石塚師也・松岡俊文, 2016, ALOS/PALSARデータを用いたPS干渉SAR解析の精度評価ー千葉県九十九里地域の地表変動を例として. 日本リモートセンシング学会誌, 36, 328-337.
環境省, 2017, 地盤沈下観測等における衛星活用マニュアル.
荻津達・八武崎寿史, 2019, 日本地質学会第126年学術大会講演要旨.
山中雅之・森下遊・大坂優子, 2013, 干渉SAR時系列解析による地盤沈下の検出. 国土地理院時報, 124, 1-14.

Keywords: Land Subsidence, InSAR

© 2021 Geological Society of Japan

The importance of the geo-stratigraphical unit investigation and monitoring effect of CVOC groundwater pollution site after 20 years

*Hiroshi TAKASHIMA[1], Shinji TAKEUCHI[2], Osamu KAZAOKA[3]

1. Daiichi institute of technology, 2. Nihon University, 3. Research Institute of Environmental Geology, Chiba prefecture

千葉県Ｎ市では，昭和63年にトリクロロエチレン等有機塩素系化合物（CVOC）による地下水汚染が確認され，千葉県の協力の下，過去に7カ所で地質汚染機構解明調査及び対策が実施されてきた．これらはすべてオールコアボーリングにより汚染サイトの地質構造解析を行い，地質層序の単元ごとに汚染の存在を確認した上で，当該単元情報を基に構築された帯水層単元にあわせて観測井戸を設置し，地下水位や水質を観測する手法で行われた．また，地域の土地利用の変遷等の地暦や地形，周辺の地下水利用状況，周辺井戸の諸元等の調査も併せて実施され，総合的な解析が行われた．調査範囲は敷地境界に関わりなく，汚染が検出されなくなるまで追跡が行われ，科学的に汚染経路と汚染範囲を明確にした（例えば髙嶋他、2008）．こうした地質単元を詳細に観察し，科学的に地下水流動を把握する調査手法は単元調査法と呼ばれている（楡井､2007）．当該調査は，行政と研究者，汚染の存在が確認された企業，地下水利用者等がチームを構成し，地域自治会や周辺企業等の協力を得て実施された． 汚染機構解明調査の結果より，汚染原因や機構が明確になるため，調査後の汚染対策及びモニタリングは基本的に汚染原因者や汚染土地所有者等が主体となって実行され，行政はこの進捗を確認している．対策手法は概ね不飽和帯の地下空気汚染対策及び揚水ばっ気処理によるものである．対策手法やその規模は，対策主体の実情に合わせて取りうる範囲で実施される．こうした活動はすでに調査対策から15年～20年を経過し，浄化対策が進展した箇所も多いが，今なお継続されている．浄化規模や手法の違いもあるが，根本的に地下に浸透した汚染物質を取り除くことはきわめて難しい．また，この程度の時間経過では自然減衰しないことも明確となった．Ｎ市で行ったＭＮＡ(自然減衰能力)の検討（Takashima *et.al,* 2015）においても，汚染の減衰はほとんど期待できない結果であったが，これが確認された形である． 地下水汚染状況は，継続的なモニタリングによりサイトごとに経時的に確認されている．この結果，浄化が進むサイトでは周辺の地下水濃度の大幅な低下が認められる．また，モニタリング対応中心のサイトでは，現状の場を形成する地下水利用状況において、ほとんど汚染が移動せず，その場にとどまっていることが明かとなった（例えば井上・竹内､2020）．単元調査法により汚染機構と汚染プリューム全体が，当初の調査の段階でほぼ完全に掌握されているため，調査対策から20年を経て，なお，汚染の状況を明確に説明可能となっている．これは，モニタリングが継続されているからであり，かつその基礎となった単元調査法が科学に忠実に実施されたからである．さらに，この取り組みは，曝露経路の明確化による地域住民の健康の確保と周辺の地下水利用の安全性の確保に大きく寄与している． 土壌汚染対策法が施行されて約20年が過ぎようとしているが、指定の解除後の除去対策の効果を確認するスキームは与えられていない．逆に、汚染対策を行ったにもかかわらず、観測井からの汚染検出が続き、指定解除できない事例など、問題も指摘されている．長い年月の間に汚染原因者は土地を売却し，地下水汚染との関わりを断つことが出来るかもしれないが，地域の住民や自治体はその土地を離れることは出来ない．その地域の地下水は依然としてその地域に存在し，自然の法則に従い流動し，そして活用されている．健全な水循環を確保し，持続可能な地下水汚染対応を真剣に考えた時，単元調査法に基づく汚染調査対策手法がかつて実施され，未だに効果を上げていることは注目に値すると考えられる．

井上雄太・竹内真司, 2020MS, 千葉県野田市における揮発性有機塩素化合物の汚染分布の現状と将来予測, 日本大学文理学部地球科学科, 47.
楡井久, 2007, 単元調査法と無単元調査法. 産業と環境, 7, 68-72.
髙嶋　洋･古野邦雄･楠田　隆, 2008, 1.1.1.トリクロロエタンによる地下水汚染機構と汚染分布特性, The Proceedings of the 18th Symposium on Geo-Environments and Geo-Tecnics, 57-62.
TAKASHIMA H, UTSUGI K, HOSHOTANI T, KAZAOKA O, SAKAI Y, KAGAWA A, 2015, The examination of Dehalococcoides sp. on VOCs groundwater pollution site in NODA City, The Fifth International

© 2021 Geological Society of Japan

Symposium on Man-Made Strata and Geo-Pollution, Urayasu Chiba JAPAN, 107-112.

Keywords: groundwater pollution, the geo-stratigraphical unit investigation, Monitoring natural attenuation, groundwater monitoring

© 2021 Geological Society of Japan

Main cause of the large deformation of the embankment and neighborhood road: from geological survey on liquefaction-fluidization phenomena at the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake in northern part of reclaimed land around Tokyo bay, central Japan

*Osamu Kazaoka[1], Takahiro Kojima[1], Naoto Ito[1], Itaru Ogitsu[1], Atsushi Kagawa[1], Takeshi Yoshida[1]

1. Research Institute of Environmental Geology, Chiba

はじめに：2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とその余震の際，東京湾岸埋立地の北部では，直径百～数百mの斑状に，液状化－流動化に伴う地盤の沈下部分が多数発生した（千葉県環境研究センター，2011）．今回は，埋立地外周の護岸に沿う舗装道路の内陸側に隣接した比高約2mの堤体の一部で最大約1m沈下し，道路の一部が最大約0.8mマウンド状に膨れ上がった部分で調査した．

オールコアボーリングは堤体が最も沈下した付近の法面下部（北緯35度39分31秒，東経140度0分27秒，標高4.09m）で深度12mまで行なわれた．これに補足し，堤体の頂部から隣接道路までの堤体斜面にて，斜面に平行に2m間隔で調査測線を設け，各測線の変形部分～非変形部分を4～8m間隔で斜面調査用簡易貫入試験を深度約9mまで行い，人工地層から沖積層上部までの地層を調べた．

地層構成：標高-4.08mに人自不整合があり，これより上位は人工地層，下位は沖積層である．

沖積層は，標高-5.25mを境に，上位が生物擾乱構造がみられ貝化石を含む泥質分が少なく粒径の揃った灰色の細粒砂層，下位がサンドパイプ状の生痕化石や貝化石を含み生物擾乱構造が発達する暗オリーブ灰色の極細粒砂質シルト層である．沖積層の砂層は生痕化石や生物擾乱構造がみられ，液状化－流動化の痕跡はみられない．また簡易貫入試験値（以下簡易貫入試験値を「Nc=」と略す）は30～50と中位の硬さをなす．

人工地層は，標高3.17mを境にこの上位が盛土アソシエーション（以下「アソシエーション（Nirei et al., 2012）」を「As」と略す．），下位が埋立Asである．

埋立Asは，シルト層主体の最下部，中粒砂層主体の下部，貝殻混じり中粒砂層と貝殻片密集層主体の上部，シルト層主体の最上部の各バンドル（以下「バンドル（Nirei et al., 2012）」を「Bd」と略す）からなる．

最下部Bdは，標高-4.08～-3.35mにみられ，数mmの厚さの粗粒シルトのラミナをしばしば挟む暗オリーブ灰色のシルト層からなる．硬さはNc=5～10とやわらかい．

下部Bdは，標高-3.35～0.16mにみられ，泥質分の少ない浅黄～灰黄色の中粒砂層を主体とし，基底付近に泥質分の少ない細粒砂層を挟む．下半部は葉理や層理が不明瞭である．上半部は頂部を除き葉理や層理は消失し塊状である．硬さはNc=10～15とゆるい．

上部Bdは，標高0.16～2.52mにみられ，貝殻片混じりの浅黄～灰黄色の中粒砂層やシルト礫が混じる細礫～中礫大の貝殻片密集層からなり，厚さ約10cmのシルト層を数枚挟む．下半部の中粒砂層には葉理が不明瞭な部分がごく一部みられる．硬さはNc=10～30とゆるい～中位である．地下水面は本層中の標高1.1～1.2mである．

最上部Bdは，標高2.52～3.17mにみられ，浅黄色のシルト層からなり，厚さ1～15cmの細粒～中粒砂層を挟む．

盛土Asは，関東ローム層や黒ボク土壌層の亜角～亜円礫の密集層からなり，硬さはNc=2～10とゆるいが，基底部の厚さ20～40cmはNc=20～40と中位である．

液状化－流動化に関して：液状化－流動化の判定は，地層断面において，初生的な堆積構造の状態により可能である（風岡，2003）．埋立アソシエーションの下部の砂層の大部分では，葉理や層理が不明瞭ないし消失しており，この部分が液状化及び流動化したものと考えられる．

また，簡易貫入試験より，埋立As最上部Bdの泥層は，堤体頂部の沈下部分において，地表変形が見られない部分と比較すると0.1～0.5m低くなっている．人自不整合面は調査部分においてはほぼ水平である．また最上

© 2021 Geological Society of Japan

部Bdの泥層はほぼ水平に堆積したものであるので，この泥層よりも下位の埋立Asの一部が流出したため沈下したと考えられる．法面下端付近の盛り上がった付近では，地表変形が見られない部分と比較すると同泥層は0.6～1.0m高くなっているものの，人自不整合面はほぼ水平である．よって，この泥層よりも下位の埋立As内において地層の厚さが増加していると考えられる．これらを総合すると，埋立As下部Bdの砂層の多くの部分が液状化ー流動化し，堤体頂部付近ではその自重により液状化部分に上載圧が加わる一方，堤体の法面下端部では上載圧が減少しているため，堤体頂部付近の埋立As下部Bdの液状化部分が法面下端方向の同層準へ側方に流入し，これによって堤体頂部付近が沈下し，堤体法面の下端付近が隆起したものと推定される．

引用文献：風岡 修，2003，アーバンクボタ40号，5-13．千葉県環境研究センター，2011，千葉県環境研究センター報告，G-8, 2-1～2-69．Nirei et al.，2012，Episod, vol.35, 333-336.

Keywords: human made strata, liquefaction-fluidization, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, around Tokyo bay, reclaimed land

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R23 [Regular Session]Nuclear energy and geological sciences

[1ch507-10] R23 [Regular Session]Nuclear energy and geological sciences

Chiar:Kenichi Yasue, Shinji Takeuchi

Sat. Sep 4, 2021 10:30 AM - 11:45 AM ch5 (ch5)

[R23-O-1] Study on groundwater flow and solute transfer around the Minamisoma City, Fukushima Prefecture.

*Shinji Takeuchi[1], Fengrui Zhang[1], Hiroaki Suzuki[2] （1. Nihon University, 2. Nippon Koei）

10:30 AM - 10:45 AM

[R23-O-2] Danger of the tsunami backflow: Improvement of anti-tsunami measures of the JAEA Tokai Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories

*Akira Ishiwatari[1] （1. Nuclear Regulation Authority）

10:45 AM - 11:00 AM

[R23-O-3] Study on the hydro-mechanical characterization by calcite sealing of the calcareous concretion

*Sachiko Nakamura[1], Shinji Takeuchi[2], Hidekazu Yoshida[1] （1. Nagoya University, 2. Nihon University）

11:00 AM - 11:15 AM

[R23-O-4] [Invited]Issues on integration of multidisciplinary knowledge through review activity of NUMO Safety Case

*Keiichiro Wakasugi[1] （1. Tokai University）

11:15 AM - 11:45 AM

©The Geological Society of Japan

Study on groundwater flow and solute transfer around the Minamisoma City, Fukushima Prefecture.

*Shinji Takeuchi[1], Fengrui Zhang[1], Hiroaki Suzuki[2]

1. Nihon University, 2. Nippon Koei

１． はじめに

東京電力福島第一原子力発電所（1F）事故により，広範囲に放射性セシウム（以下，Cs）が放出され，阿武隈山地には比較的高濃度のCsが降下・沈着した。これまでの研究ではCsの多くは地表土壌等に強く吸着されていることが明らかとされてきたものの，土壌が薄い地域や基盤の花崗岩類が地表に露出する場所では基盤岩中に移行する可能性は否定できない。 本研究では，公開された地形データと地質情報に基づいて地質モデルを構築し，福島県南相馬市の南部地域を対象に，阿武隈山地から海岸に向けた地域における地下水流動シミュレーションとパーティクルトラッキング解析を実施し，地下水の移動経路や移行時間を推定した。

２． 研究対象領域と解析方法

研究対象域の福島県南相馬市小高区周辺の地形地質は，花崗岩類を基盤とする西側の阿武隈高地と堆積岩類が分布する東側の平野部から構成される。両者の境界には南北走向の双葉断層帯が存在する。久保ほか（1990）によれば、この領域の堆積岩類は，新第三紀後期鮮新世の大年寺層（砂岩）が地表付近に概ね水平に広く分布する。更にその下位には，前期鮮新世の向山層（泥岩・砂岩・礫岩），前期中新世の五安層（細粒砂岩）が分布する。一方，断層の西側の山地部は白亜紀前期の国見山花崗閃緑岩が分布する。 解析領域は，研究対象領域である東西約15㎞，南北約11㎞内に含まれる分水嶺を境界として設定した。また，鉛直方向は解析領域内の最高点522mから標高-1,000mとした。解析領域全体を一律100m間隔でグリッドを設定した。なお，断層より東側堆積岩分布域は，平坦な平野部であり，複数の異なる地質要素が分布することから，解析精度向上のため鉛直方向のグリッド間隔を25mに細分化した。解析には，有限差分法コードであるVisual MODFLOW®を用いた。構築した水理地質構造モデルの各地質要素に原位置で採取した試料の室内透水試験結果と一般的な値を参考に地質要素ごとの水理パラメータを設定した。これらのうち，双葉断層帯と泥岩層の透水係数については高透水性と低透水性の２ケースを設定し，これらの透水性が地下水流動解析結果に与える影響を検討した。解析の境界条件は地表面に該当地域の年平均降水量を与え，側方境界は海側を標高0mの固定水頭境界，その他は不透水境界として定常の地下水流動解析を行った。またパーティクルトラッキング解析は，断層より西側の山地部の地表面からパーティクル（仮想的な粒子）を投入した際の領域境界に到達するまでの移行時間と移行経路を計算した。

３． 解析結果

３．１ パーティクルトラッキング解析

パーティクルトラッキング解析の結果，山地部から放出された粒子は，双葉断層の手前，平野部，そして東側境界（海岸部）に流出した。この傾向は断層と泥岩層の透水係数を変更しても同様の傾向となった。さらに上述の平野部における流出箇所は特定の３地点であり、この位置は解析条件によらず同様の地点となった。

３．２ 移行時間と移行距離の関係

山地部から放出された粒子の移行時間と移行距離の関係から、大きく３つのグループ（断層の手前で流出する粒子群，平野部の河川部の特定の３地点で流出する粒子群，海側に流出する粒子群）に区分可能となった。これらは上述のパーティクルトラッキング解析による粒子群の流出箇所と一致する。具体的には，断層手前で流出する粒子群は全体の約80%を占めており，100日前後で全ての粒子が地表に流出している。また，中央の粒子群の移行時間は2000~6000日程度であり，さらに最も右側の粒子群は移行時間が23,000~75,000日で，移行距離は13~15㎞程度を示した。

４． まとめと今後の方針

福島県南相馬市付近を対象に実施した地下水流動解析とこれに基づくパーティクルトラッキング解析の結果，山側から放出された粒子は，断層や泥岩層の透水係数の設定に関わりなく，ほぼ同様な地点に流出する結果を得た。特に平野部の流出地点周辺はいずれも地形の変換地点付近に位置し、地下水が流出しやすい地形条

© 2021 Geological Society of Japan

件にある。今後は，解析によって明らかとなった平野部の流出地点における空間線量率などの測定により解析結果の妥当性を確認していく予定である。さらに水理地質構造モデルにおける水理パラメータについても現地調査等でデータを充実させ，解析の信頼性を向上させていく予定である。

引用文献

久保ほか（1990）原町及び大甕地域の地質．地域地質研究報 告 （5万分の1地質図幅），地質調査所, 155p

Keywords: Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accient, hydrogeological Structure, Particle Tracking Analysis

© 2021 Geological Society of Japan

Danger of the tsunami backflow: Improvement of anti-tsunami measures of the JAEA Tokai Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories

*Akira Ishiwatari[1]

1. Nuclear Regulation Authority

日本原子力研究開発機構（JAEA）核燃料サイクル工学研究所（核サ研）東海再処理施設は、茨城県東海村の日本原子力発電東海第二発電所や大強度陽子加速器施設（J-PARC）の南方、二級河川「新川」右岸の河口近くに位置する。現在この施設は廃止措置中であるが、リスク低減のため高放射性廃液のガラス固化処理を速やかに行う必要があるので稼働が認められており、原子力規制委員会の東海再処理施設安全監視チームがその稼働と廃止措置の安全対策を監視している。この施設の標高は約6mであり、この付近の2011年3月11日津波の痕跡高は標高4.0～5.2mだったので、この津波による浸水はなかった（中野貴文ほか, 2015; 平成23年東北地方太平洋沖地震後の東海再処理施設の健全性に係る点検・評価の結果について。日本原子力学会誌, 57, 14-20）。昨2020年6月17日の第10回原子力規制委員会において同チームの報告があり、その中で、津波漂流物が高放射性廃液貯蔵場（HAW）建屋に衝突・破壊して高放射性廃液が環境に漏れることへの対策として、同建屋の海側と新川側に防護柵を設置する計画が示された。私は、津波は押し波（遡上波）だけが危険なのではなく、川沿いの低地に入り込んだ津波が海に戻る時の引き波も同様に危険であり、漂流物対策の柵を設けるのであれば陸側（上流側）にも設けるべきある旨を指摘した（議事録参照）。
畑村洋太郎（平田直ほか著, 2011;「巨大地震　巨大津波　東日本大震災の検証」p. 168、朝倉書店）は、「津波は押し寄せてくるときだけでなく、引くときにも破壊的な力をもつ」と述べている。このことは、岩手県大槌町江岸寺の津波被災墓地を調査した石渡明ほか（平川新・今村文彦編著, 2013;「東日本大震災を分析する」第1巻p. 271-274、明石書店）も確認していて、「この墓地を襲った津波の引き波の流速は、自動車が走る速さ（36km/h）に達していたと考えられる。これは、豪雨の際に山間地で発生する土石流のスピードとパワーに匹敵する」と述べている。大槌の浸水高（津波痕跡の標高）は最高12.9mだったが、この墓地附近では8.6m程度だった（原口強・岩松暉, 2011;「東日本大震災津波詳細地図」上・下, 古今書院）。宮城県気仙沼市の浸水高は大川沿いで最高6.98m、鹿折川沿いで最高9.17mだったが（同書）、その記録DVDを見ると、押し波と引き波はどちらも10km/h程度の速さだったように見え、南三陸町志津川の津波（最高浸水高17.51m（同書））はそれより速かったように見える（東北放送, 2011「東日本大震災の記録～3.11宮城～」）。また、別のDVD（ビデオプラザ神奈川, 2011「東日本大震災　宮城・石巻地方の記録」）には、石巻市雄勝町名振地区の住人の、「下げる時の速さね…すごいスピードで降りて行くんだね」という証言がある。名振地区は海岸に山が迫り、浸水高は最高34.94mだった（原口・岩松, 2011）。
東海村の新川の下流部河川勾配（0.0012）は大槌の大槌川（0.0030）や志津川の八幡川（0.0058）よりは小さいものの、気仙沼の大川（0.0010）や鹿折川（0.0016）と同程度であり（原口・岩松, 2011から読図）、東海村の新川沿いの引き波の破壊力は気仙沼の2011年津波と同様と考えられる。
昨年6月の原子力規制委員会における私の指摘から約１年後、JAEAは2021年5月18日の第58回東海再処理施設安全監視チーム会合で、引き波用津波漂流物防護柵をHAW建屋の上流側にも設置する方針を示し、構内を走る公用車（中型バス約9.7t）を漂流物の対象として、浸水標高10.5m、流速2.7m/s（9.7km/h）を設計条件とすることを表明した（同会合資料7）。津波の対策には引き波への配慮が不可欠である。
なお、私は昨年６月の指摘の中で、津波火災への対策の必要性も述べた。大槌や石巻などでは津波漂流物の油や木材が燃えて火災が発生し、石巻では門脇（かどのわき）小学校が津波火災で全焼した（石渡ほか, 2013）。防護柵は大きい漂流物を防ぐことはできても、燃え盛る油の流入を防ぐことはできない。火災対策は津波対策とは別の事項であるが、実際に発生するのは複合災害であり、今後の火災対策は津波火災にも配慮してほしい。

© 2021 Geological Society of Japan

図１．津波の引き波で川の下流側へ倒されて２つに割れ、津波火災により角が取れて丸くなった標準型の縦長の墓石。表面に彫られた字が火災による剥離のためにほとんど読めなくなっており、基礎部分の石材も丸くなっている。この墓地では地震による墓石の転倒はほとんどなかった。岩手県大槌町江岸寺の墓地で2011年7月31日石渡撮影。

Keywords: tsunami drifts, tsunami backflow ebb, high-level radioactive liquid waste, tsunami fire by spilled oil, tsunami-devastated cemetery

© 2021 Geological Society of Japan

Study on the hydro-mechanical characterization by calcite sealing of the calcareous concretion

*Sachiko Nakamura[1], Shinji Takeuchi[2], Hidekazu Yoshida[1]

1. Nagoya University, 2. Nihon University

コンクリーションとは堆積岩中に認められる球状岩塊で、堆積物の粒子間隙に鉱物が析出・充填することによって硬く凝結した岩塊のことを指す。このコンクリーションの中でも、炭酸カルシウムを主成分とするものは、死滅した生物遺骸から供給される有機酸の拡散と空隙水中のカルシウムイオンとの過飽和・沈殿反応で急速に形成されることが明らかとなっている[1]。この急速な炭酸カルシウムの沈殿と堆積物の空隙をシーリングするメカニズムを、地下空洞やトンネルなどの建造物における、岩盤地下水亀裂のシーリング技術に応用することなどが検討されている。これまでの研究から、コンクリーションの内部におけるカルシウムなどの濃度が概ね一定に分布することが判明しているが[2,3]、一方で炭酸カルシウムのシーリングに伴う透水特性や硬度特性などの水理・力学特性について、定量的に検討された例は未だにない。 本研究ではコンクリーションの材料学的特性を把握するために、コンクリーションの内 部と周辺母岩を対象に組織の観察のほか、空隙率測定、硬度試験、透水試験等を実施した。試験に用いた試料は神奈川県三浦半島に分布する新第三紀葉山層群中に産するコンクリーションと、岐阜県の新第三紀瑞浪層群中に産するコンクリーションである。 コンクリーション内部の構造や組成の観察を目的として、電子走査顕微鏡（SEM）での 観察や薄片の作成・観察を行った。透水特性の検討のために乾燥重量と湿潤重量を計測し空隙率を算出した。加えてコンクリーション内部と母岩部から直径５cm、厚さ約3㎝の試料をコアリングし変水位透水試験により透水係数を測定した。硬度試験はエコーチップ（超鋼製のボールチップを岩石表面に打撃し、その落下速度と跳ね返り速度から硬度を算出する測定装置）を用い、切断研磨した岩石表面で測定を行った。また同時に一軸圧縮試験を実施した。 薄片観察及び電子顕微鏡による岩石内部の空隙状態の観察の結果、コンクリーション内部は、微細な空隙までが炭酸カルシウム（カルサイト）によって充填・シーリングされていることが確認された。この炭酸カルシウムの充填によって、空隙率は低下し、低いものでは５％以下にまで低下する。エコーチップでの硬度を測定した結果、コンクリーションは、周辺母岩よりも硬度が高く、炭酸カルシウムのシーリングによって緻密さが増していることが示された。さらに透水試験の結果、透水係数は10^{-12}(m/s)オーダーとほぼ花崗岩に匹敵する値を示した。これらの結果から、コンクリーションが風化に強いのは、堆積後の早い段階から炭酸カルシウムによるシーリングが進行し、透水性を低下させるとともに、緻密度も増し、物理的及び化学的風化に対して耐久性を有するからだと考えられる。このようなシーリング効果は、長期のシーリングとしても機能することが期待され、今後、工学的な応用化にこれらの情報を活用していく予定である。 [1] Yoshida,H., Ujihara,A., Minami,M., Asahara,Y., Katsuta,N., Yamamoto,K., Sirono,S., Maruyama,I., Nishimoto,S., Metcalfe,R.(2015) Early post mortem formation of carbonate concretions around tusk-shells over week-month timescales. Scientific Reports, [2] Yoshida,H., Yamamoto,K., Minami,M., Katsuta,N., Sirono,S., Metcalfe,R. (2018) Generalized conditions of spherical carbonate concretion formation around decaying organic matter in early diagenesis. Scientific Reports [3] Yoshida,H., Asahara,Y., Yamamoto,K., Katsuta, N., Minami,M., Richard,M. (2019) 87Sr/86Sr age determination by rapidly formed spherical carbonate concretions. Scientific Reports

Keywords: concretion, sealing, hydro-mechanical characterization

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Issues on integration of multidisciplinary knowledge through review activity of NUMO Safety Case

*Keiichiro Wakasugi[1]

1. Tokai University

1. はじめに

原子力発電環境整備機構（以下，NUMO）は，高レベル放射性廃棄物およびTRU等廃棄物の安全な地層処分の実現に向けた包括的技術報告書「わが国における安全な地層処分の実現－適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築－」[1]（以下，包括的技術報告書）を取りまとめ，そのレビュー版を2018 年11 月21 日に公表した。この包括的技術報告書は，文献調査に応募があった際のサイト調査，処分場の設計・建設・操業、閉鎖後長期の安全評価に関する方法論を総合的に示し，地層処分の実施主体として技術的な準備が整っていることを示すことを目標としている。この目標を達成するためにNUMOは、包括的技術報告書が国内外の最新の科学的・技術的知見に照らして，サイトが特定されていない段階のセーフティケースとして，十分な技術的信頼性を有していることを，客観性，科学的・技術的妥当性，技術的信頼性等の観点から確認するため，日本原子力学会にレビューを依頼した。日本原子力学会は14名の専門家で構成されるNUMO 包括的技術報告書レビュー特別専門委員会を設置し、１年間にわたるレビュー作業の結果を報告書[2]としてまとめ、2019年12月に公開した。ここでは、そのレビューの内容について報告するとともに、レビュー作業において生じた異分野間での議論や課題について報告する。

2. 原子力学会によるレビュー

包括的技術報告書における地質環境分野に関する主要な成果は、対象母岩を日本地質学会の分類に基づく7岩種から、岩石特性の類似性を考慮し3岩種（深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類）に類型化を行うとともに、地質環境の特徴の詳細度に応じた3段階のスケール区分を提示したことである。これに基づき、地質環境情報（地質構造モデル、水理地質構造、水理、岩盤力学）を統合したモデルを構築するための一連のプロセスを具体的なパラメータや設定根拠とともに提示し、サイト選定に用いられる調査・評価技術が体系的に取りまとめられた。レビューの全体的な結論としては、包括的技術報告書はサイト選定の前段階におけるセーフティケースとして科学的・技術的に十分なレベルの信頼性を有し、国際的な枠組みとも整合しており、今後サイト選定を進めていく上で、適切にサイト調査や工学設計、安全評価を行うことができる手法が開発されている、とされた。一方、報告書の信頼性をさらに向上させるための技術的根拠の補強や説明の拡充などのコメントが700件以上も挙げられた。

3. 異分野間の知識の統合化における論点

包括的技術報告書は専門性の高い技術報告書であり，地層処分についてある程度の技術的な知識を持った専門家を対象として作成されている。このため、レビューにおいては地層処分に近いと考えられる専門家が招聘され、作業が進められた。しかしながらレビューの過程においてはしばしば意見の一致を見ない議論があった。例えば、地層処分における「地質環境」の定義が専門家ごとに異なることに起因してセーフティケースの文脈が正しく理解されない、専門家間で安全評価の論理構造について共通の理解が得られないまま地質環境の長期安定性が議論され論点がかみ合わない、などといった議論である。これは，地層処分特有の専門用語と方法論が存在するためであり、これらは地層処分コミュニティには通じても，一般的な科学技術コミュニティに通じるとは限らないことに起因していると考えられる。地層処分では数km四方の不均質な岩盤を対象に数万年以上の時間スケールで安全評価を行う必要があり、これに起因する不確実性への対応が必須である。そのためサイト調査，工学設計，および安全評価の各領域間の相互補完やフィードバックによる不確実性低減に向けた段階的アプローチを行う必要があり、今後分野間の連携はますます重要になると考えられる。レビュー委員会では回を重ねるごとに議論の視点の共有化が図られていったことを踏まえると、異分野間の知識の統合化や、地層処分の専門家以外の科学技術コミュニティからの地層処分への理解を求めるためには、今

© 2021 Geological Society of Japan

後，地層処分特有の専門用語や方法論に関する共通理解の促進を図るための取り組み（e.g. 専門用語を技術的、社会的、言語学的な観点から分かりやすく説明した共通語彙基盤の構築）を進め、地層処分に関する理解の向上を図ることが有効であると考えられる。

文献

[1]NUMO：包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現ー適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築ー（レビュー版） 2018年11月21日, NUMO-TR-18-03, 2018.
[2]日本原子力学会：「NUMO 包括的技術報告書」レビュー報告書, 一般社団法人 日本原子力学会「NUMO 包括的技術報告書レビュー」特別専門委員会（2019年12月）, 2019.

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R3 [Regular Session]Eruption, volcanic evolution and volcanic products

[1ch511-13] R3 [Regular Session]Eruption, volcanic evolution and volcanic products

Chiar:Takeshi Hasegawa

Sat. Sep 4, 2021 1:00 PM - 2:00 PM ch5 (ch5)

[R3-O-1] Chronology of lahar deposits in the Sukawa basin and linkage to the past eruptions at Adatara volcano, northeast Japan

*Kyoko Satish Kataoka[1], Atsushi Urabe[1], Yoshitaka Nagahashi[2] （1. Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, 2. Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University）

1:00 PM - 1:15 PM

[R3-O-2] Volcano sector collapse: Effect on its magmatic plumbing -Case of Oshima-Oshima Volcano-

*Osamu Ishizuka[1,2], Kyoko S. Kataoka[3], Fukashi Maeno[4], Hajime Katayama[1], Jun Arimoto[1], Hiroaki Koge[1], Gen Shimoda[1], Yumiko Harigane[1], Chris Conway[1], Seishiro Furuyama[5], Mayu Ogawa[6], Izumi Sakamoto[7], Yuka Yokoyama[1], Ryota Uchiyama[7], Shingo Ando[7], Katsura Kameo[8], Yuki Miyajima[10], Mitsuteru Kuno[9], Ryosuke Komatsu[11], Ayanori Misawa[1] （1. GSJ/AIST, 2. JAMSTEC, 3. Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery Niigata University, 4. ERI, University of Tokyo, 5. Tokyo University of Marine Science and Technology, 6. Kyoto University, 7. Tokai University, 8. AORI, University of Tokyo, 9. NME, 10. MWJ, 11. MOL Marine）

1:15 PM - 1:30 PM

[R3-O-3] [Invited]On the magma feeding system of andesitic to dacitic volcanoes: petrologic case studies

*Masao Ban[1] （1. Yamagata University）

1:30 PM - 2:00 PM

©The Geological Society of Japan

Chronology of lahar deposits in the Sukawa basin and linkage to the past eruptions at Adatara volcano, northeast Japan

*Kyoko Satish Kataoka[1], Atsushi Urabe[1], Yoshitaka Nagahashi[2]

1. Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, 2. Faculty of Symbiotic Systems Science, Fukushima University

御嶽山2014年噴火で発生したような小規模噴火は，山頂周辺から近傍域のテフラ層序により復元されることが多い．しかしながら，近傍域はテフラの保存ポテンシャルが低く，地質記録から検知できない噴火も多い．一方で，小規模噴火といえども，それに密接に関連し発生するラハールの堆積物が下流の陸水成層や湖成層に挟まることが知られており（Cronin et al., 1997; 片岡ほか，2015; Kataoka et al., 2018），その解析から過去の噴火の発生時期や様式を復元する試みも近年なされている（Van Daele et al., 2014; Kataoka and Nagahashi, 2019; Minami et al., 2019）．

安達太良火山における過去1万年間の近傍テフラ層序では，ブルカノ式噴火と水蒸気噴火によるテフラ層がそれぞれ6層（Ad-NT1～6）と5層（Ad-p1～5）報告されており（山元・阪口，2000），長橋・片岡（2019）は新たに2層の水蒸気噴火によるテフラ層（Ad-p4.5，-p4.7）を認定した．火山近傍で認められた同火山の小規模噴火由来のテフラ層は過去1万年前までが多く，比較的規模の大きな噴火による2層のテフラ（Ad-NH，-JM）を除けば，ブルカノ式に由来するものを含めたより古いテフラは，最終氷期における侵食作用で消失した可能性も指摘されている（山元・阪口，2000）．一方，沼ノ平火口から約7 km下流に位置する酸川盆地には，酸川沿いの露頭調査により，過去約14000年間に堆積した18層のラハール堆積物が認められ（山元，1998；片岡ほか，2015），そのうち17層は泥質ラハール堆積物で，安達太良山の過去の水蒸気噴火を起源とする（片岡ほか，2015）．さらに下流に位置する猪苗代湖の湖底堆積物からは，過去約5万年間にさかのぼり，安達太良火山の水蒸気噴火に由来するラハールの遠方相となる湖底密度流堆積物が多数見つかっている（Kataoka and Nagahashi, 2019）．

本研究では，酸川盆地の若宮木地小屋で掘削されたボーリングコア堆積物（SKW2018コア：掘削深度32 m）を検討した．コア上部（深度0～16.5 m）は，ラハールを含むイベント堆積物，有機質土壌層，河川成砂礫層からなる．コア下部（深度16.5 mから32 m）は河川成砂礫層と中新統の火砕岩（木地小屋層：山元，1994）のブロック（数10 cm～数 m）の互層となる．上部のイベント堆積物は，泥質ラハール堆積物が13層，砂質イベント堆積物が6層，礫質（巨礫を含む）イベント堆積物が1層，認められた．そのうち，泥質ラハール堆積物は，層厚が13 cm～2.7 mで，灰色や青灰色で粘土分の多い泥を基質とし，塊状・不淘汰・基質支持で，中礫から大礫サイズの安山岩亜円礫および角張った白色変質岩片を含む．堆積物の特徴は，酸川沿いの露頭で認められるラハール堆積物（山元，1998；片岡ほか，2015）と同じであり，粘着性土石流による堆積物と解釈できる．また，粘土や変質岩片に富む特徴は，安達太良火山の変質帯を起源とする水蒸気噴火によるものと考えられる．

泥質ラハール堆積物中に含まれる有機物または上下に挟在する古土壌層から^{14}C年代値を得た．その結果，酸川沿いの露頭から発見された既存のラハール堆積物よりも，より古い年代値を示す約31,000年前頃（暦年値）のものが少なくとも5層あることが明らかとなった．この5層は年代値が近接しているが，それぞれの間に土壌層を挟むことから，火山噴出物やラハール堆積物を母材とした繰り返しの再堆積ではなく，個別の噴火に対応したラハールイベントが発生したことが考えられる．猪苗代湖の湖底堆積物に挟まる安達太良火山の個々の小規模噴火に由来するラハール堆積物の遠方相は，その挟在間隔は数年から数十年単位のものが数多く捉えられていることから（Kataoka and Nagahashi, 2019），ラハールの起因となった安達太良火山での小規模水蒸気噴火は，短周期で繰り返し発生していた可能性が高い．

© 2021 Geological Society of Japan

＜文献＞ Cronin et al. (1997) JVGR, 76, 47–61．片岡ほか（2015）火山，60，461–475．Kataoka et al. (2018) EPS, 70, 113．Kataoka and Nagahashi (2019) Sedimentology, 66, 2784–2827. Minami et al. (2019) JVGR, 387, 106661．長橋・片岡（2019）地球科学，73，47–48．Van Daele et al. (2014) GSAB, 126, 481–498．山元（1994）地調月報，45，135–155．山元（1998）火山，43，61-68．山元・阪口（2000）地質雑，106，865–882.

Keywords: Adatara volcano, lahar, small-scale eruption, phreatic eruption, cohesive debris flow

© 2021 Geological Society of Japan

Volcano sector collapse: Effect on its magmatic plumbing -Case of Oshima-Oshima Volcano-

*Osamu Ishizuka[1,2], Kyoko S. Kataoka[3], Fukashi Maeno[4], Hajime Katayama[1], Jun Arimoto[1], Hiroaki Koge[1], Gen Shimoda[1], Yumiko Harigane[1], Chris Conway[1], Seishiro Furuyama[5], Mayu Ogawa[6], Izumi Sakamoto[7], Yuka Yokoyama[1], Ryota Uchiyama[7], Shingo Ando[7], Katsura Kameo[8], Yuki Miyajima[10], Mitsuteru Kuno[9], Ryosuke Komatsu[11], Ayanori Misawa[1]

1. GSJ/AIST, 2. JAMSTEC, 3. Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery Niigata University, 4. ERI, University of Tokyo, 5. Tokyo University of Marine Science and Technology, 6. Kyoto University, 7. Tokai University, 8. AORI, University of Tokyo, 9. NME, 10. MWJ, 11. MOL Marine

[目的] 地球上には，大規模な山体崩壊を繰り返し引き起こしながら成長していく火山が多く存在している．日本国内にもこれまで大規模な山体崩壊を起こした火山が多く存在する．とくに1640年北海道駒ケ岳，1741年渡島大島，1792年雲仙眉山では多くの犠牲者が出たが，これは大量の火山砕屑物が海へ流入して津波が発生し，甚大な災害に発展したためである．このように海に囲まれた日本の火山では山体崩壊が大きな災害の要因になりうるが，崩壊メカニズムや火山活動との関係については不明な点も多い． 山体崩壊の原因とトリガーについてはこれまで多くの研究がなされてきたが，山体崩壊が起きることによるその後のマグマ，噴火活動への影響については理解が遅れている．本研究では，1741年に大規模山体崩壊を起こした渡島大島火山について，陸上および海底に分布する山体崩壊前後の火山噴出物，堆積物調査と室内分析を基にこのテーマに取り組む． [渡島大島火山] 北海道西方の日本海に位置する渡島大島火山は，東北日本弧の最も背弧側に位置する活動的火山である．渡島大島火山では，1741-42年の噴火の際，北側斜面で山体崩壊を起こし，山頂部には馬蹄形のカルデラ地形と中央火口丘（寛保岳）が形成された．このため，寛保岳周辺や，山頂カルデラ縁等において，山体崩壊イベント前後の火山噴出物が採取できることが期待される．これら地域での露頭の調査により，火山体崩壊イベント前後のマグマ組成変化の検出を試みるため，火山体崩壊前後の火山噴出物及び^{14}C年代測定用試料を採取した．またより長期の変動を確認する目的でカルデラ壁に露出する溶岩の採取も行った． [海底調査] 渡島大島北側の海底斜面には流れ山地形が見られ，加藤（1997）によるしんかい2000による潜航調査により，崩壊堆積物が存在していることが確認された．また周囲を海に囲まれていることから，周辺海底に火山噴出物の良好な連続記録の保存が期待できる．2020年8月実施の学術研究船「白鳳丸」KH-20-7航海では，渡島大島周辺海底を調査対象とし，1)渡島大島火山の山体崩壊由来の堆積物の構造，厚さ，分布範囲を明らかにするための反射法音波探査とサブボトムプロファイラによる浅部構造探査（本学会，有元ほかの発表を参照），2)火山灰および山体崩壊に関連した堆積物コアの採取，3)流れ山の由来あるいは側火山噴出物の特徴を解明するためのドレッジによる岩石試料採取及び海底撮影，4)山体崩壊堆積物の分布や堆積状況を明らかにするための海底地形調査，5)火山体とその基盤の構造を理解するための重磁力調査，を実施した． [予察的結果] 渡島大島山頂部の複数地点の露頭から採取した主に1741年以降の噴出物の層序と岩石学的，化学的特徴から1)1741-42年噴火の経過を反映して，主成分，微量成分組成ともに明瞭かつ系統的な時間変化を示す．2)一連の噴出物は大部分が玄武岩質マグマの活動によるものだが，２層準に安山岩質噴出物を含む．この噴出物の組成変化は，古文書の記載“白灰黒砂降る”に相当するのではないかと考えられる．3)1741年の津波を引き起こした山体崩壊は，2)で記した安山岩噴出物のうち，上位のものが噴出した後で発生した可能性が高い．4)明らかになった化学組成変化は，同一マグマの結晶分化作用では説明できない．5)特に大きな組成変化が山体崩壊前に噴出したと考えられる安山岩質噴出物の活動の前後で起きた．6) 中央火口丘等山体崩壊後の噴出物に安山岩質のものはなく，これらの噴出物を覆う安山岩質噴出物も認めていない．7)山体崩壊後の火山噴出物中の化学組成範囲は，結晶分化作用のみで説明できない，ことが明らかになった． これらの結果は，渡島大島火山のマグマ組成が1741-2年の噴火活動の中で時間の経過とともに変化したが，その変化の中には山体崩壊に関連すると考えられる短時間で非常に大きな変化と，徐々に系統的に変化していくものと２種類あることを示唆する．今後海底で採取された噴出物との対比を進め，山体崩壊前後のマグマ供給系の時間変化の詳細を明らかにしたい． 引用文献：加藤　幸弘（1997）JAMSTEC J. Deep Res., 13, 659-667.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: arc volcano, sector collapse, Oshima-Oshima, magmatic plumbing, Submarine survey

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]On the magma feeding system of andesitic to dacitic volcanoes: petrologic case studies

*Masao Ban[1]

1. Yamagata University

火山のマグマ供給系の解明に有効なもののひとつに岩石学的研究がある。本発表では、岩石学的研究によって明らかになってきた地殻内マグマ供給系の全容について概観した後、主に安山岩～デイサイト質火山の地殻内マグマ供給系に関する解明すべき主要な事項について、岩石学的解析方法や得られている成果などを、発表者が携わったものも含む事例研究を基にして紹介する。

◇地殻内マグマ供給系の全体像：主に岩石学的な研究結果を基にして、地殻内マグマ供給系の全容について簡単にまとめると次のようになる。地殻下部は苦鉄質マグマの注入・固結・マグマ抽出等が繰り返し起こり、マグマ組成を複雑に変化させる領域と捉えられる。抽出されたマグマは上昇・冷却し、半固体状マグマ溜りが地殻（中～）上部に多数存在するようになる。新たに上昇したマグマが、半固体状のマグマ溜りを活性化しメルト量を増大させるなどして噴火に至るというものである。活性化される部分は単一火山下でも噴火毎に異なる場合が多い。

◇地殻上部のマグマ溜りの存在位置や特性：単一の火山の岩石学的データを基に解析できるのは、地殻（中～）上部についてである場合が多い。例えば沈み込み帯の安山岩質火山の場合は、噴出物はマグマ混合によって形成されたものからなる場合が多いが、その全岩組成と含まれる斑晶の組織・組成を解析することによって、混合に関与した地殻上部に位置する半固体状マグマと深部から上昇したマグマの組成、温度や圧力などの条件を求めることができる。なお、この種の解析の際に、深部由来マグマの一部が急冷固結して噴出物中に残存している苦鉄質包有物を扱うと、両マグマの組成の推定等に際してより有用な情報が得られる。

◇地殻上部のいろいろな場所が活性化される場合が多い：噴火が繰り返している火山の場合に、噴出物の全岩化学組成を噴火時期毎に分けてみると各々異なっている場合が多い。その組成差が明瞭で、異なるもの同士の組成が結晶分化などの単純なプロセスでは説明がつかないという例も示されていることから、このような組成差は活性化される部分が時期毎に異なっていることによる可能性が高いと考えられる。なお、単一の噴火で異なる複数の場所が活性化され同時に噴出する場合もある。

◇斑晶組織と組成から推定されるマグマ溜り内プロセス：マグマ溜り内のプロセスの解析に斑晶組織や組成の情報を用いる場合が多い。中でも斜長石については多くの研究が行われている。例えば、混合によって形成された噴出物中の斜長石斑晶については、累帯構造・各種溶融組織や化学組成に基づいて分類され、各タイプの特徴からそれらをもたらしたプロセスやマグマ組成の変化などが推定される。なお、斜長石斑晶の組織・化学組成に基づく分類は研究者によってやや異なるので注意が必要である。また、一回～一連の噴火において連続的に採取された試料を用いれば、斑晶の特徴の変化を調べることによってプロセスの時間変化の解明が可能である。

◇供給系の持続時間について：20年ほど前から盛んに行なわれている累帯構造解析に基づく滞留時間推定の研究などによって、斑晶と思われていた結晶の幾つかあるいは多くが、それらを含む噴出物の噴火年代よりも古い時期に形成されたものであることがわかってきた。これらはantecrystと呼ばれ、過去のマグマ活動によって形成された後に供給系内に留まっていた結晶が噴出されたものである。antecrystの年代は、地殻上部より、深部に由来するの方がより古いものまで認められる傾向があり、供給系は深部の方が持続時間が長いと考えられている。

◇噴出物中に含まれる多様な深度由来の結晶について：さらに、斑晶中に含まれるメルト包有物の揮発性成分の分析結果や角閃石斑晶の生成深度推定の研究などの結果から、それらの斑晶が多様な深度で形成されたことを示す研究例が報告されるようになった。この場合は、噴火の際には中～上部の様々な深度に存在する結晶が深部由来のマグマに取り込まれて地殻上部に到達して地殻上部に存在するマグマ共々噴火すると説明されている。

◇地殻深部のマグマプロセスの解明：噴出物に記録されている岩石学的情報の多くは、地殻上部のマグマプロ

© 2021 Geological Society of Japan

セスに起因するものである。地殻上部のマグマプロセスは噴火に直結するものとしても重要であり、今後さらなる精密化が望まれる。一方で、中部～深部については、例えば活火山下では広範囲に地震波の低速度領域が認められる場合が多く重要であると考えられるが、その領域のマグマプロセスについては全岩組成に残されている間接的な方法によって推定されている現状である。前項で示した多様な深さから由来した結晶が認められるようになってきた現在、それらを直接的に岩石学的に扱うことによって地殻（中部～）下部における供給系の解明が進むことが期待される。

Keywords: magma feeding system, magmas dispersing in the upper to lower crust , magmas from deeper part, crustal magma processes, mineral texture

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | T7. [Topic Session] Advance in geochronology applied for high resolution eruption and evolution history of volcanoes

[1ch514-18] T7. [Topic Session] Advance in geochronology applied for high resolution eruption and evolution history of volcanoes

Chiar:Teruki OIKAWA, Shinpei Uesawa
Sat. Sep 4, 2021 2:15 PM - 4:00 PM ch5 (ch5)

[T7-O-1] [Invited]Zircon U-Pb dating for Quaternary tephrochronology

*Hisatoshi Ito[1] (1. Central Research Institute of Electric Power Industry)

2:15 PM - 2:45 PM

[T7-O-2] Zircon U– Pb dating of Quaternary ash tuff bed exposed along the Shiribetsu River at the northern foot of Yotei Volcano, southwest Hokkaido, Japan

*Shimpei Uesawa[1], Hisatoshi Ito[1], Mitsuhiro Nakagawa[2] (1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Hokkaido University)

2:45 PM - 3:00 PM

[T7-O-3] Eruption history and magma plumbing system of Futamatayama Volcano, southern Fukushima, Japan

*Shota WATANABE[1], Takeshi HASEGAWA[1], Naoya OBATA[2], Shin TOYODA[3], Takeshi IMAYAMA[4] (1. Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, 2. Graduate School of Science, Okayama University of Science, 3. Institute of Paleontology and Geochronology, Okayama University of Science, 4. Research Institute of Frontier Science and Technology, Okayama University of Science)

3:00 PM - 3:15 PM

[T7-O-5] [Invited]Paleomagnetic secular variation stratigraphy: Contributions to volcanic stratigraphy

*Nobutatsu Mochizuki[1], Chisato Anai[2], Akira Baba[3], Hidetoshi Shibuya[4] (1. Kumamoto University, 2. Kyoto University, 3. Mount Fuji Research Institute, 4. Doshisya University)

3:30 PM - 4:00 PM

©The Geological Society of Japan

[Invited]Zircon U-Pb dating for Quaternary tephrochronology

*Hisatoshi Ito[1]

1. Central Research Institute of Electric Power Industry

従来，5万年よりも古い第四紀テフラを対象とした年代測定は，主にK-Ar法もしくはジルコンのフィッション・トラック（FT）法が適用されてきた．一方，最近の10～20年で，ジルコンのU-Pb法の我が国の地質学への貢献は凄まじく，主に第四紀よりも古い地質を対象に，従来の常識を覆す様々な成果が創出されている．ジルコンのU-Pb法は，第四紀の地質試料にも適用可能であり，発表者は第四紀のテフラや花崗岩を対象に同法の適用を進めてきた．
今回，約10万年前に噴出したとされる以下の3つのテフラ，すなわち，洞爺カルデラ起源のToya，鬼界カルデラ起源のK-Tz，立山起源のTt-D （もしくはDPm）とこれらに関連するテフラのジルコンのU-Pb年代，U-Th年代，(U-Th)/He年代，を紹介し，これらのテフラの噴出に関連した巨大カルデラのマグマ活動の変遷に関して，ジルコンから得られる知見を紹介する．
Toyaに関しては，LA-ICP-MS装置により，ジルコン1粒から，同時にU-Pb年代とU-Th年代が得られることを報告した（Ito, 2014）．その後の指摘（Guillong et al., 2015）もあり，残念ながらU-Th法に関しては，確立した方法には至っていないが，本手法のその後の取り組みを紹介する．
屋久島に分布する3枚の広域テフラのうち，K-Tzからは，最も若いジルコンが約10万年前を示すことや，60～70万年前の2枚のテフラ（Anbo, Ksd）も鬼界カルデラ起源である可能性があることを紹介する（Ito et al., 2017）．
大町テフラ（中谷，1972）のうち，A1PmとDPmを対象に，ジルコンのU-Pb年代と(U-Th)/He年代を求めた（Ito and Danišík, 2020）．閉鎖温度が低い(U-Th)/He法からは，予想される噴出年代（A1Pmは約40万年前）とほぼ一致する年代が得られた．マグマからジルコンが晶出した年代を示すU-Pb法からは，最若年代で，それぞれの噴出年代にほぼ一致する年代を示すことや，これらのテフラを噴出したマグマが数10万年に亘ってジルコンを晶出する活動を続けたことを紹介する．

引用文献：
Guillong, M., A.K. Schmitt, O. Bachmann, 2015. Comment on “Zircon U–Th–Pb dating using LA-ICP-MS: Simultaneous U–Pb and U–Th dating on 0.1 Ma Toya Tephra, Japan” by Hisatoshi Ito. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **296**, 101–103.
Ito, H., 2014. Zircon U–Th–Pb dating using LA-ICP-MS: Simultaneous U–Pb and U–Th dating on the 0.1 Ma Toya Tephra, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **289**, 210–223.
Ito, H. and Danišík, M., 2020. Dating late Quaternary events by the combined U-Pb LA-ICP-MS and (U-Th)/He dating of zircon: A case study on Omachi Tephra suite (central Japan). *Terra Nova*, **32**, 134–140.
Ito, H., Uesawa, S., Nanayama, F., and Nakagawa, S., 2017. Zircon U–Pb dating using LA-ICP-MS: Quaternary tephras in Yakushima Island, Japan. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **338**, 92–100.
中谷　進，1972．大町テフラ層とテフロクロノロジー，第四紀研究，**11**，305–317．

Keywords: zircon, U-Pb dating, widespread tephra, Quaternary, magma

© 2021 Geological Society of Japan

Zircon U–Pb dating of Quaternary ash tuff bed exposed along the Shiribetsu River at the northern foot of Yotei Volcano, southwest Hokkaido, Japan

*Shimpei Uesawa[1], Hisatoshi Ito[1], Mitsuhiro Nakagawa[2]

1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Hokkaido University

はじめに:
南西北海道中央部に位置する羊蹄火山の最初期の活動を把握するため，我々は火山周辺の堆積物層序を再検討している．羊蹄火山北麓の地質は，下位より中位段丘堆積物，留寿都層（洞爺火砕流堆積物など），低位段丘堆積物，真狩別層（主に羊蹄火山のテフラ層からなる：Uesawa et al., 2016）で構成されているという報告がある（土居・長谷川，1956）のみで，堆積物の詳細な記載や年代値は明らかにされていなかった．そこで，尻別川沿いの堆積物を調査したところ，最下位の層準に未記載の第四紀の凝灰岩を発見した．本論では，この凝灰岩を巽(たつみ)凝灰岩層（新称）と命名し，そのジルコンU–Pb年代を得たので報告する．

層相および記載岩石学的特徴:
巽凝灰岩層は，羊蹄火山北麓の尻別川沿いに幅約25m，長さ約90mの範囲で露出している．非溶結であり，淡茶褐色の風化した十数センチ～数センチの軽石と砂サイズ未満の火山灰の基質からなり，ash tuff (Le Maitre, 2002)に分類される．露出している部分で観察する限りでは，石質岩片は少ない．本堆積物が含有する鉱物は，斜長石・直方輝石・不透明鉱物・石英であり，わずかに単斜輝石も含まれている．石英は，角の取れた他形のものや清澄な正八面体に近い自形のものを含む．ガラスの多くは粘土化しているが，残存するガラスは茶褐色を呈し，形態はバブルウォール～繊維状発泡である．

ジルコンU–Pb年代:
抽出した20粒のジルコンのU， Pb， ThをLA-ICP-MSで測定し，Sakata(2018)に基づきU–Pb年代を算出した結果，1～30Maの幅広い年代を示した．このうち最若の6粒のジルコンU–Pb年代の加重平均年代は，1.21±0.23Maであった．また，同じ6粒に対してTera-Wasserburg図を用いた回帰直線のコンコーディア年代を検討したところ，1.24±0.20Maが得られた．これらの検討結果から，発見した凝灰岩の噴出年代は，約1.2Maと推定される．

議論・今後の課題:
今回発見された凝灰岩は，河川沿いに露出した岩体であり，他の堆積物との直接の層位関係は不明であるが，得られた年代値や構成物から，調査地域周辺に広く分布する洞爺火砕流堆積物や支笏火砕流堆積物でないことは明らかである．周辺火山で1Ma頃の活動が報告されている火山としては，ニセコ火山群（約2Ma～現在まで活動：新エネルギー総合開発機構, 1986）があげられるが給源の詳細は不明である．給源などの詳細を明らかにするためには，分布やガラス組成分析など更なる検討が必要である．

謝辞:
北海道大学の宮坂瑞穂博士には調査の際にお世話になった．本研究は，文部科学省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」の研究費の一部を使用した．記して感謝いたします．

引用文献:
Le Maitre R. W. (ed.), 2002, Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. 236p.
土居繁雄・長谷川潔, 1956, 5万分の 1 地質図説明書 倶知安 札幌-第28号．47p.
Sakata, S., 2018, Geochemical Journal, 52, 281–286.

© 2021 Geological Society of Japan

新エネルギー総合開発機構, 1986, ニセコ地域調査　火山岩分布年代報告書．87p.
Uesawa, S., Nakagawa, M., Umetsu, A., 2016, Jour. Volcanol., Geotherm., Res., 325, 27–44.

Keywords: zircon, U-Pb dating, Tatsumi ash tuff, Yotei Volcano

© 2021 Geological Society of Japan

Eruption history and magma plumbing system of Futamatayama Volcano, southern Fukushima, Japan

*Shota WATANABE[1], Takeshi HASEGAWA[1], Naoya OBATA[2], Shin TOYODA[3], Takeshi IMAYAMA[4]

1. Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, 2. Graduate School of Science, Okayama University of Science, 3. Institute of Paleontology and Geochronology, Okayama University of Science, 4. Research Institute of Frontier Science and Technology, Okayama University of Science

二岐山火山は，福島県南部に位置する成層火山で，同時期に活動した那須火山群の北端から約6 kmとやや離れた場所に分布する．本火山の活動年代として，K–Ar年代や指標テフラとの関係から140～90 ka（少なくとも約5万年間）の値が得られているが[1]，より解像度の高い編年および層序は確立されていない．一方，那須火山群を構成する成層火山はいずれも10万年以上の活動期間[2]であることが分かっている（活動中の茶臼岳を除く）．今回，我々は二岐山火山の地形判読と地質調査を行い，岩石記載と全岩化学組成分析による岩石学的特徴を加えて層序を確立した．そして，熱ルミネッセンス（TL）年代測定を複数試料に適用することで時間軸を導入し，噴火史，マグマ供給系，那須火山群との比較について議論したので報告する．

二岐山火山は，山体中央に2つの溶岩ドームを有し，その基底には複数の溶岩流および火砕流堆積物が分布する．地形，層序，岩石学的特徴から，本火山の活動期は東部～南部～西部に主に溶岩流を流出させたステージ1（6ユニット，約1.6 km^3），北部に大規模な溶岩流を流出させたステージ2（2ユニット，約2.0 km^3），山体中央に主に溶岩ドームを形成したステージ3（3ユニット，約0.1 km^3）に分けられる．

全てのユニットには苦鉄質包有物（SiO_2 = 50.6–59.3 wt.%）が認められ，母岩はより珪長質な溶岩（SiO_2 = 56.2–68.4 wt.%）で構成される．斑晶鉱物組み合わせとして，斜長石，単斜輝石，直方輝石，不透明鉱物が全ての本質物質に含まれ，母岩（珪長質）では全てに石英を，一部に角閃石を含み，包有物（苦鉄質）では一部にかんらん石を含む．これらは，中間カリウム・カルクアルカリ（CA）系列に，苦鉄質の一部は低カリウム・ソレアイト（TH）系列に属する．また，ステージ1～2とステージ3は，FeO*/MgO-SiO_2図などで，平行で明瞭に異なる直線的トレンドを示す（SiO_2 = 64.1 wt.%のとき，FeO*/MgOはステージ1～2：1.9，ステージ3：2.2）．

TL年代測定は，ステージ1噴出物から2つ，ステージ2とステージ3噴出物からそれぞれ1つずつ，合計4試料について実施した．その結果，ステージ1噴出物から163 ±7 kaおよび93 ±3 ka，ステージ2噴出物から79 ±3 ka，ステージ3噴出物から56 ±4 kaの年代値が得られた．これらは層序や地形の侵食程度と整合的で，ステージ1噴出物については先行研究で得られた140 ±20 kaのK–Ar年代[2]ともよく一致しており，得られたTL年代値の信頼性は高いと評価できる．これにより，本火山の活動期間は，那須火山群の成層火山と同様に10万年以上に及んだことが明らかになった．

那須火山群の中でも約20万年前以降に活動した火山ー南月山（210～80 ka），二岐山，活火山である茶臼岳（16 ka以降）[2,3]ーについてマグマ系の変遷を検討した［朝日岳（170～70 ka）は十分な公表データがないため除いた］．南月山はTHとCAが共存するが，より若い年代の噴出物を含む茶臼岳と二岐山では主にCAが活動する[4]．Rb/Y-FeO*/MgO図（図1）をみると，南月山のTHおよびCAは，Rb/Yが異なる平行な組成変化トレンドを示す．二岐山火山では，この2つのトレンドを結ぶようにステージ1～2およびステージ3噴出物は，2本の異なる直線トレンドを形成する．これらはRb/Y = 1.5で規格化した場合，FeO*/MgO = 1.8前後（トレンドA）と2.2前後（トレンドB）を示し，より分化したトレンドBは茶臼岳のそれとよく一致する．従来研究では，茶臼岳のこの組成トレンドはTHとCAマグマの混合によって説明されており[4]，本火山のマグマも茶臼岳と同様のプロセスで形成された可能性が示唆される．

本地域では，210 ka以降，南月山でTHおよびCAマグマの活動が開始したが，160～80 ka頃に，両者が混合（トレンドAを形成）して二岐山火山の主山体（基底部）を成長させるマグマを噴出した．約60 ka以降，本火山ではマグマ系が入れ替わり，トレンドBに由来するマグマを少量噴出して現在の山頂部を形成した．トレンドBのマグマは茶臼岳でも活動し，現在も存在すると考えられる．本研究では，野外で得られた噴出物の層序・分布・噴出量・噴火様式の情報に加え，TL法による年代軸を導入することで，高解像度で信頼性の高い火

© 2021 Geological Society of Japan

山活動史とマグマ供給系を復元することができた．このような事例研究を増やすことで個々の火山のみならず，周辺地域も含めたマグマ変遷の解明にも重要な知見をもたらすと期待できる．

引用文献

1. 山元（1999）「田島」地質図；2. 伴・高岡（1995）火山；3. 山元（1997）地質雑；4. 山元・伴（1997）那須火山地質図

Keywords: eruption history, magma plumbing system, thermoluminescence dating, Futamatayama, Nasu volcano group

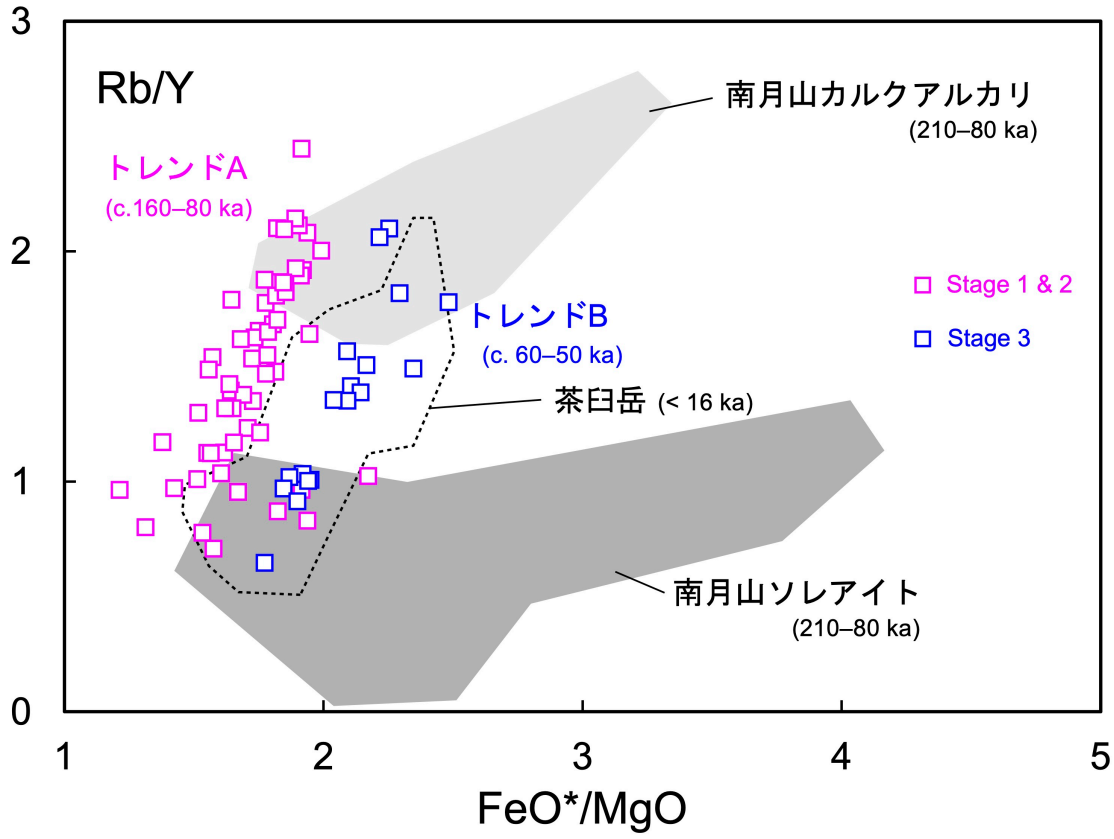


図1．Rb/Y-FeO*/MgO図．南月山，茶臼岳の組成範囲は山元・伴（1997）による．

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Paleomagnetic secular variation stratigraphy: Contributions to volcanic stratigraphy

*Nobutatsu Mochizuki[1], Chisato Anai[2], Akira Baba[3], Hidetoshi Shibuya[4]

1. Kumamoto University, 2. Kyoto University, 3. Mount Fuji Research Institute, 4. Doshisya University

日本付近における地磁気方位は，地軸双極子磁場方位のまわり約30度の領域を，（100年あたり数度のペースで）ゆるやかに変動している。このような古地磁気方位の時間変動を古地磁気永年変化と呼ぶ。日本においては，考古遺物（土器の窯跡）から過去2千年間の古地磁気永年変化曲線が報告されていて（Hirooka, 1971），最近はその再検討も進められている。火山が多い日本では，火山岩による古地磁気永年変化の復元が可能であり，我々のグループは過去数千年間の古地磁気学的研究を進めている。考古遺物や火山噴出物から高精度な古地磁気永年変化を復元することは，地球磁場の生成・維持プロセスを理解するための基礎データとして地球物理学的に興味のあるところであるが、層序学的な応用においても重要な可能性を持っている。
地磁気の変動は，火山活動とは無関係な独立した物理量であるので，火山噴出物の時間軸となりうる。また、火山噴出物自体が年代決定の材料となるので，年代測定試料と火山噴出物の関連性を議論する必要がないのも利点である。古地磁気極性や酸素同位体変動が海洋堆積物の年代決定に利用されているように，古地磁気永年変化層序は火山噴出物に対して年代情報を提供できるポテンシャルを持っている。本発表では，古地磁気永年変化とその火山噴出物層序研究への応用として，（1）阿蘇中央火口丘群北西部の溶岩・火砕物の古地磁気学的研究と（2）支笏カルデラ噴火の火砕流堆積物の古地磁気学的研究の2例を紹介する。
（1）阿蘇の古地磁気学的研究では，おもに杵島岳溶岩，往生岳溶岩，米塚溶岩の複数の露頭において定方位試料を採取して，古地磁気方位測定を行った。テフラ層序や地質図の溶岩分布からは，前述の順序で約4–3 kaに噴火したと報告されている。我々の古地磁気学的研究では，20数サイトから精度の良い古地磁気方位が得られた。それらの方位データは，1つの曲線を描くように分布し，4–3 kaの古地磁気永年変化曲線を捉えたと考えられる。曲線の始まりと終わり付近のデータに炭素14年代が報告されているので，この古地磁気永年変化曲線には年代推定値を入れることができた。古地磁気方位データに基いて，阿蘇中央火口丘群北西部の溶岩・火砕物の高時間分解能な噴出順序を提示できた。（2）支笏カルデラ噴火（46 ka）による火砕物について，覚生川の露頭に5ユニットの非溶結火砕流堆積物が確認できる（中川ほか，2018）。我々のグループは，非溶結火砕流堆積物を精度よく定方位採取する方法を開発・適用した上で，これらのユニットの古地磁気方位測定を行った。その結果，これらの火砕流堆積物から精度の良い（95%信頼限界にして2-3度）古地磁気方位データを得た。得られた方位データは１つの曲線上に分布し，その変化量は約15度であった。このことから，5ユニットの火砕流堆積物は数百年間の噴火で形成されたことが示唆される。
以上のように，溶岩・火砕流堆積物から高精度の古地磁気方位データを得ることは，古地磁気永年変化曲線の復元につながるだけでなく，火山噴火履歴の研究に時間情報を提供する。日本の火山噴出物とくに完新世の火山噴出物から古地磁気方位を基礎データとして得ることは有用と考えている。
引用文献
Hirooka, K. (1971): Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University. Series of geology and mineralogy, 38(2), 167-207.
中川ほか（2018）：地学雑誌, 127(2), 247-271, doi:10.5026/jgeography.127.247.

Keywords: paleomagnetic direction, paleomagnetic secular variation, volcanic stratigraphy, volcanic rock, Holocene

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R13 [Regular Session]Subduction zones and on-land accretionary complexes

[3ch101-11] R13 [Regular Session]Subduction zones and on-land accretionary complexes

Chiar:Yositaka Hashimoto, Yasuyuki Nakamura, Arito Sakaguchi
Mon. Sep 6, 2021 8:00 AM - 11:45 AM ch1 (ch1)

[R13-O-1] Geological structures of Permian accretionary complex around the Akiyoshi Limestone, and its possible accretionary process

*Koji Wakita[1], Tomohiro Tsuji[1], Masao Kametaka[2] (1. Yamaguchi University, 2. Dia Consultants)

8:00 AM - 8:15 AM

[R13-O-2] Pore fluid flow with grain dissolution in consolidated sand stone.

*Takumi MIYAHARA[1], Arito SAKAGUCHI[1] (1. Yamaguchi University)

8:15 AM - 8:30 AM

[R13-O-3] The thermal structure and thermal properties around the Ashizuri granite.

*Shiho Nishizawa[1], Yasutomo Omori[2], Weiren Lin[3], Shun Chiyonobu[4], Yuzuru Yamamoto[1] (1. Kobe Univ., 2. JAMSTEC, 3. Kyoto Univ., 4. Akita univ.)

8:30 AM - 8:45 AM

[R13-O-4] Consolidation anisotropy of Quaternary sedimentary rocks in the eastern part of the Boso Peninsula, central Japan

*Masahiro Miyazaki[1], Nana Kamiya[1], Weiren Lin[1] (1. Department of Urban Management, Graduate School of Engineering, Kyoto University)

8:45 AM - 9:00 AM

[R13-O-5] Effects of surface frictional condition on a subducting seamount

*Yuichi Okuma[1,2,3], Atsushi Noda[3], Hiroaki Koge[3], Yasuhiro Yamada[4], Asuka Yamaguchi[1], Juichiro Ashi[1,2] (1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo , 2. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. FACULTY OF ENGINEERING, KYUSHU UNIVERSITY)

9:00 AM - 9:15 AM

[R13-O-6] A watershed of the Nankai forearc basin -Origin of the tectonic swell off the Kii Peninsula and its effect on segmentation of the Nankai seismogenic zones-

*Gaku KIMURA[1], Yasuyuki NAKAMURA[1], Kazuya SHIRAISHI[1], Gou FUJIE[1], Takeshi TSUJI[2], Rina FUKUCHI[3], Asuka YAMAGUCHI[4] (1. Japan Agency of Marine Science and Technology, 2. Kyushu University, 3. Naruto University of Education, 4. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo)

9:15 AM - 9:30 AM

[R13-O-7] [Invited]Proposal to IODP: Drilling and monitoring in Hyuga-Nada to unvail effects of ridge subduction on slow earthquakes

*Rie Nakata[1], Masataka Kinoshita[1], Yoshitaka Hashimoto[2], Yohei Hamada[3] (1. University of Tokyo, 2. Kochi University, 3. JAMSTEC)

9:45 AM - 10:15 AM

©The Geological Society of Japan

[R13-O-8] [Invited]Overview of IODP drilling active backarc basin, Okinawa Trough: ongoing rifting of Eurasian continental margin

*Makoto Otsubo[1], Co-proponents of scientific drilling Okinawa Trough （1. Geological Survey of Japan）

10:15 AM - 10:45 AM

[R13-O-9] Detailed seafloor morphology and geological structure in the southern part of the Okinawa Trough north off Ishigaki Island

*Ayanori Misawa[1], Ryuta Arai[2], Masahiko Sato[3], Saki Ishino[1], Hiroaki Koge[1], Makoto Otsubo[1], KH-21-3 Shipboard Scientists （1. GSJ, AIST, 2. JAMSTEC, 3. Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo）

10:45 AM - 11:00 AM

[R13-O-10] Heat flow distribution in the southern part of Yaeyama Rift, southern Okinawa Trough

*Masa Kinoshita[1], Ayanori Misawa[2], Ryuta Arai[3], Makoto Otsubo[2], KH-21-3 Scientists （1. ERI/UTokyo, 2. AIST, 3. JAMSTEC）

11:00 AM - 11:15 AM

[R13-O-11] Examining the characteristics of turbidites in the southern part of Okinawa Trough using numerical experiments based on cores from Expedition KH-21-3

*Zhirong Cai Cai[1], Hajime Naruse[1], Ken Ikehara[2], KH-21-3 Shipboard Scientists （1. Department of Geology and Mineralogy, Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology）

11:15 AM - 11:30 AM

©The Geological Society of Japan

Geological structures of Permian accretionary complex around the Akiyoshi Limestone, and its possible accretionary process

*Koji Wakita[1], Tomohiro Tsuji[1], Masao Kametaka[2]

1. Yamaguchi University, 2. Dia Consultants

山口県中央部には、東西約15km南北約8kmの広がりをもつ秋吉石灰岩が分布している．秋吉石灰岩は，前期石炭紀から中期ペルム紀の化石を含み，パンサラッサ海において噴火した海底火山の頂部に形成された石灰礁を起源としている．秋吉石灰岩の下位には玄武岩溶岩があり、石灰岩と玄武岩を合わせて、秋吉ユニットとする。秋吉ユニットの南東側と北西側には，チャート一砕屑岩シーケンスの繰り返しからなる大田ユニット(大田層群)と別府ユニット(別府層)がそれぞれ分布している．大田ユニットと別府ユニットは，海洋プレート層序上部の剥ぎ取りによって形成された中期ペルム紀の付加体である．秋吉ユニットの南西側には，砂岩泥岩互層や含礫泥岩層からなる常森層が分布している．常森層については，海溝充填堆積物の付加で形成された説（Sano and Kanmera, 1991）があるが、本報告では、前弧海盆ないし陸棚堆積盆で形成された説（Wakita, 2018）を採用する．従って本報告では、付加体の区分用語として層や層群ではなくユニットを用いるが、常森層にはその用語を適用しない。

秋吉石灰岩は，小澤(1923)によって層序が逆転していることが明らかにされ，その逆転構造の形成については様々な横臥褶曲構造が検討されてきた（藤川ほか, 2019）．一方, Sano and Kanmera（1991）は，秋吉石灰岩が海溝で崩壊する際に上下が逆に積み重なったと考えた．秋吉石灰岩の逆転構造に関するこれらの研究は，いずれも石灰岩体を中心に検討され，同時期に形成された他の付加体構成要素との関係はあまり考慮されてきていなかった．著者らは，秋吉石灰岩周辺の地質体の地質構造に着目し，秋吉石灰岩の逆転構造の形成メカニズムの再検討を試みることにした．今回検討したのは，秋吉石灰岩北西部に分布する別府ユニットの一部である．別府ユニットは，大田ユニットと同様にチャート一砕屑岩シーケンスの繰り返しからなるが，地層の傾斜が低角度であるために，地質図上ではその繰り返しが明瞭ではない．今回調査を実施したのは，美祢市秋芳町別府西部の湯の上川流域及び美祢市於福北西一雁飛山地域である．

湯の上川流域では，地層の走向はほぼ東西方向で，北側が南に南側が北にそれぞれ20-40度傾斜している．標高約150mの湯の上川沿いには泥岩が露出し，標高200-230mに酸性凝灰岩ないし珪質泥岩が露出している．標高230m-300mに主としてチャートが露出しており，調査範囲で一番高い標高220-230mに泥岩優勢な砂岩泥岩互層が分布している．一方，於福西方一雁飛山地域では，標高の低い地点から高い地点に向かって泥岩→酸性凝灰岩ないし珪質泥岩→チャートの順で重なっている．

付加体を形成する海洋プレート層序では，下位からチャート→珪質泥岩ないし酸性凝灰岩→泥岩及び砂岩と重なることが知られており，本調査地域の地層群は，上下が逆転した海洋プレート層序から構成されていることがわかる．つまり，秋吉石灰岩の逆転構造は石灰岩体が単独で逆転しているのではなく，秋吉石灰岩とともに砕屑岩類を主体とした付加体が大規模に逆転していることから，その形成メカニズムを再検討することが必要となる．

引用文献

藤川将之・中澤　努・上野勝美(2019)地質学雑誌, 125, 609-631.小澤儀明(1923) 地質学雑誌, 30,227-243.
Sano, H. and Kanmera, K.(1991) Jour.Geol.Soc.Japan, 97,631-644.
Wakita, K., Yoshida, R. and Fushimi, Y. (2018) Heliyon, https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e01084

Keywords: Akiyoshi Belt, Akiyoshi Limestone, Beppu unit, oveturned, accretionary complex, Permian

© 2021 Geological Society of Japan

Pore fluid flow with grain dissolution in consolidated sand stone.

*Takumi MIYAHARA[1], Arito SAKAGUCHI[1]

1. Yamaguchi University

《研究背景》
海溝型タービダイトは炭酸塩補償深度よりも深く到達することから堆積時に炭酸塩鉱物はほとんど含まれない。固結した後の鉱物脈としてのみ炭酸塩鉱物は観察されてきた。しかし白亜系付加体タービダイト相の四国四万十帯野々川層と下津井層において、数十㎝から1m程度の領域に炭酸塩鉱物が異常に濃集している「炭酸塩濃集スポット」が報告された（中川・坂口2016）。この斑状炭酸塩鉱物は、周囲の砂岩粒子である石英や長石の圧力溶解変形をオーバープリントしている点や斑状炭酸塩鉱物と周囲の粒子との関係から、砂岩粒子を溶解しながら進む新たな流体移動のモデルの産状として考えられた（中川・坂口2016）。先行研究では炭酸塩濃集スポットの中心部に注目して研究されたが、中心部には鉱物脈があるなど構成の影響が懸念される。そこで本研究では炭酸塩濃集スポット外縁部からサンプリングされた微細な炭酸塩鉱物について、濃集部形成初期の情報が残されていると考え調査を行った。

《地質概要》
四国四万十帯は主にタービダイトが占め、本調査地域の白亜系下津井層、野々川層、中村層、砂岩優勢砂岩泥岩互層が主体で、砂岩層は石英や長石などの陸源砕屑物からなる。一般に珪質であり、鉱物脈を除けば有孔虫やナノ化石など石灰質微化石を含めて炭酸塩鉱物はごく少ない。

《結果と考察》
希塩酸による中和反応から今回新たに中村層での炭酸塩濃集スポットの存在を確認した。こちらは10㎝程の大きさで先行研究に比べると小さい。炭酸塩濃集スポットの内部は珪酸塩の砂岩粒子が溶解しその間隙を炭酸塩鉱物が充填している様子が確認できる。これらの炭酸塩鉱物は微細なものが濃集しており中心部では大きく濃集している一方で外縁部に近づくほど濃集サイズは微細になっている。濃集した炭酸塩鉱物は極小で単一粒子としての観察が困難なものから数百μm程度の粒径で観察できるものもあり、これについては炭酸塩濃集スポット中心部にのみ観られ中心部の炭酸塩鉱物は再結晶した可能性がある。 また炭酸塩濃集スポットのない一般的な砂岩層についてもごく少量ながら斑状炭酸塩鉱物が観察されており、同様のメカニズムにより付加体砂岩中に普遍的に炭酸塩鉱物が存在している可能性がある。 この微細な斑状炭酸塩鉱物についてSEM-EDS分析を行った結果、微細な斑状炭酸塩鉱物には多くの場合においてSiが含まれることが分かった。Siの含有量についてはそれぞれ斑状炭酸塩鉱物によってばらつきがあり分布的な傾向は認められない。またこれらの斑状炭酸塩鉱物の試料からはFeやMgのピークはあまり得られず、斑状炭酸塩鉱物は基本的にカルサイトであるとみる。よって炭酸塩濃集スポットの砂岩粒子が溶解した産状と合わせて考えるとこのSiは流体が珪酸塩の砂岩粒子を溶解していたために混在していると考えることができる。

《引用文献》
中川美菜子・坂口有人，日本地質学会第123年大会，2016

Keywords: Shimanto belt, carbonate, calcite, dissolution

© 2021 Geological Society of Japan

The thermal structure and thermal properties around the Ashizuri granite.

*Shiho Nishizawa[1], Yasutomo Omori[2], Weiren Lin[3], Shun Chiyonobu[4], Yuzuru Yamamoto[1]

1. Kobe Univ., 2. JAMSTEC, 3. Kyoto Univ., 4. Akita univ.

花崗岩は、生成に水の関与が不可欠であることから、太陽系の中で唯一それが豊富に確認存在している地球に特有な要素の一つとされ、その過程が注目されている。足摺岬花崗岩体は、中期中新世に西南日本外帯で上昇した多くの花崗岩体の１つである。その化学組成や生成年代は明らかにされている一方、その貫入様式は詳細が明らかになっていない。本研究では、花崗岩の定置メカニズムを知るために、古第三系四万十帯とその上に堆積した中新統三崎層群（前弧海盆）において、応力解析と被熱解析を行った。

応力解析

足摺岬花崗岩体の北方から西方に分布する四万十帯と三崎層群下部にはスレート劈開が発達している。その走向は花崗岩体の北方に位置する窪津漁港でほぼ東一西（N89.9±2.2°E）を示し、西に向かって北東一南西に変化し、西方に位置する片粕大橋では南一北に近づく（N25.9±2.0°E）。この分布が各地点における花崗岩分布近似円に沿っていることから、これらの構造は花崗岩上昇時に形成された可能性がある。調査地域は、沈み込み帯に位置していることから、付加に伴うスレート劈開である可能性があり、より広い範囲における同様の解析から、これらを明確に区別する必要がある。

被熱解析

被熱解析では、最高被熱温度、熱伝導度、それに空隙率の測定を行った。被熱時間を100万年と仮定して、ビトリナイト反射率から見積もった最高被熱温度は、花崗岩近傍の下部～中部三崎層群で一様に300℃程度の高い温度を示す一方、上部（竜串層）において特徴的に低い値を示した。両者の境界付近では、竜串層に向かって連続的に温度が急減する。

さらに同地域における地質体の熱伝導度を、Hot-Disk法（Gustafsson, 1991; Iso, 2008）を用いて測定した。このとき測定面は、均質で異方性がないことを仮定した。下部～中部三崎層群の砂岩は一様に高い熱伝導度（3.2～3.5 $Wm^{-1}K^{-1}$）を示す一方、上部の竜串層（軟質砂岩）では特徴的に低い値（2.77±0.33 $Wm^{-1}K^{-1}$）を示した。これは前述の最高被熱温度と整合的である。さらに、熱伝導度と空隙率の間には負の相関（R^2＝0.76）が認められ、熱伝導度は空隙率に規制されていることが示された。これらの結果は、調査地域における熱の伝わり方が一様ではなく、竜串層の特徴的に低い熱伝導度によって花崗岩からの被熱を効率的に伝導できなかったことを示す。

以上のことから、本地域における花崗岩からの被熱モデルを以下の2つに区分することができる。１）高い熱伝導度を持ち、一様に300℃程度まで温度が上昇する花崗岩近傍の被熱モデルと、２）低い熱伝導度を持ち、最高被熱温度が特徴的に低い竜串層における被熱モデルである。この境界を花崗岩からの被熱フロントであるとみなし、それぞれに異なる被熱モデルを適応することによって、今後足摺岬花崗岩体の上昇メカニズムを明らかにすることができると期待される。

Gustafsson, S. E., 1991 Transient plane source techniques for thermal conductivity and thermal diffusivity measurements of solid materials., *Review of Scientific Instruments,* **62,** 797–804. doi: 10.1063/1.1142087

ISO, 2008 Plastics–determination of thermal conductivity and thermal diffusivity–part 2: transient plane heat source (hot disc) method, International Standard ISO 22007-2. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Keywords: Granite, Thermal conductivity

© 2021 Geological Society of Japan

Consolidation anisotropy of Quaternary sedimentary rocks in the eastern part of the Boso Peninsula, central Japan

*Masahiro Miyazaki[1], Nana Kamiya[1], Weiren Lin[1]

1. Department of Urban Management, Graduate School of Engineering, Kyoto University

南海トラフの熊野海盆では付加体形成に起因した正断層が確認されており（Moore et al., 2013），付加体だけでなく前弧海盆もプレートの沈み込み運動を記録している可能性が示唆され，プレート境界に位置する日本列島の成り立ちの解明の一助になると期待されている．房総半島には，沈み込み帯に特徴的な一連の構造が陸上に露出し，南から順に付加体，隆起帯，前弧海盆で構成される．これらのうち前弧海盆堆積物では，圧密試験により堆積岩の圧密降伏応力を算出することでその地層の最大埋没深度の推定ができる．この手法により，房総前弧海盆の圧密特性を検討する研究が行われ，形成過程に関連した圧密特性が明らかにされているほか，側方圧縮による圧密の進行が指摘されている（Kamiya et al., 2017）．しかし側方圧縮応力がどの程度，圧密に影響を与えるのかといった，圧密異方性についてはよく分かっていない．本研究では，圧密異方性を明らかにすることを目的として，房総前弧海盆東部に分布する堆積軟岩の圧密試験を行い，堆積構造に対する圧密降伏応力の違いについて検討した．さらに，試料の堆積構造と各種物性値の関係を明らかにするために，岩石の基本的な物性値である引張強度および弾性波速度の異方性を検討すべく，圧裂引張試験および弾性波速度測定を行った．

房総前弧海盆東部に分布する上総層群は第四紀に連続的に厚く堆積した前弧海盆堆積物であり，本研究では，上総層群のうち上位から順に梅ヶ瀬層，大田代層，黄和田層，大原層，勝浦層の泥質岩を試料として用いた．圧密試験では載荷方向が堆積面に対して直交方向と平行方向の２方向で試験を実施した．圧裂引張試験はコアリング方向が堆積面に対して直交と平行の２方向に加えて，平行方向をさらに破断面が堆積面に対して平行か直交かで区別した３方向で行い，弾性波速度測定は，波動伝播方向に対して直行と平行の２方向で試験を行った．

圧密試験の結果，直交方向と平行方向の圧密降伏応力はそれぞれ，梅ヶ瀬層では約1.1MPa，約1.5MPa，大田代層では約5.6MPa，約6.9MPa，黄和田層では約5.6MPa，約5.0MPa，大原層では約8.4MPa，約10.2MPa，勝浦層では，約8.3MPa，約10.7MPaとなり，平行方向の圧密降伏応力は直交方向と比べてほとんど同じか大きくなることが分かった．水平方向の応力が作用しないと仮定した状態では，K_0値（直交方向に対する平行方向の応力の比）は動ポアソン比を用いて求められ，K_0=0.64~0.80となる．一方，本研究で得られた圧密降伏応力の直交方向に対する平行方向の比より得られたK0値の過去最高値K_{0MAX}はK_{0MAX}=0.90~1.33であり，動ポアソン比から求めたK_0値よりも大きな値をとる．また圧裂引張試験の結果，破断面と堆積面が平行な方向は他の2方向に対して著しく強度が低下しており，圧密降伏応力よりも顕著に堆積構造を反映した異方性を示した．

引張強度は，破断面と層理面が平行な方向で弱く直交な方向で強くなる異方性が確認された．一方，圧密試験の結果からは，層理面に対し平行方向の圧密降伏応力が直交方向と同等か，それ以上となる異方性が明らかになり，層理面に平行な方向に対しても，圧密作用を受けている可能性が示された．これらから，堆積層理面は乱されていないものの，圧密異方性は過去に経験した側方圧縮応力を反映していると考えられる．

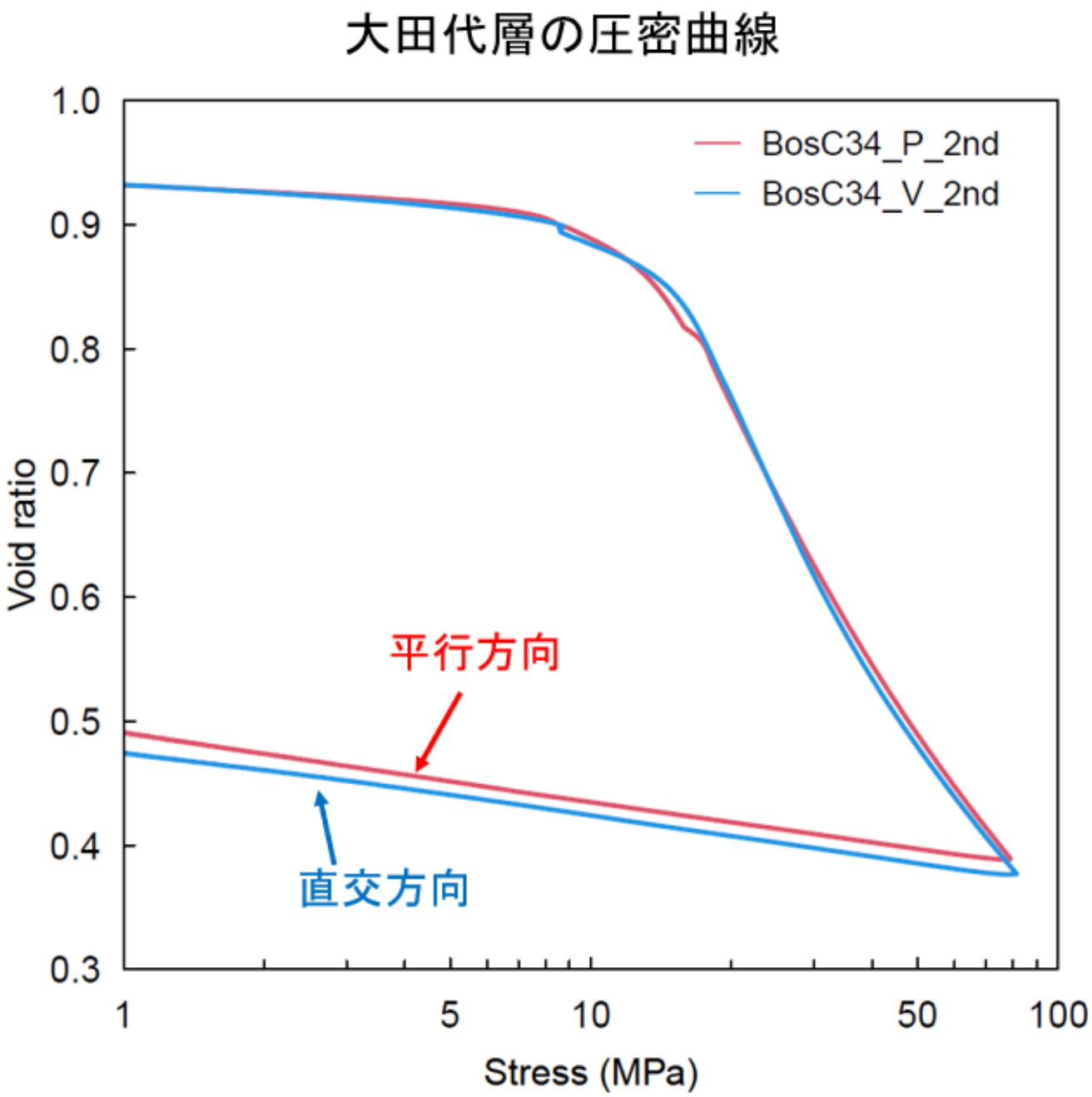
引用文献

Moore, G.F., Boston, B.B., Sacks, A.F. & Saffer, D.M. (2013). Analysis of normal faultpopulations in the Kumano Forearc Basin, Nankai Trough, Japan: 1. Multiple orientations and generations of faults from 3-D coherency mapping. Geochemistry Geophysics Geosystems, 14, 6,

Kamiya, N., Yamamoto, Y., Wang, Q., Kurimoto, Y., Zhang, F. & Takemura, T. (2017). Major variations in vitrinite reflectance and consolidation characteristics within a post-middle Miocene forearc basin, central Japan. Tectonophysics, 710–711, 69–80

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Consolidation, Anisotropy, Forearc basin, Tensile strength, Elastic wave velocity



© 2021 Geological Society of Japan

Effects of surface frictional condition on a subducting seamount

*Yuichi Okuma[1,2,3], Atsushi Noda[3], Hiroaki Koge[3], Yasuhiro Yamada[4], Asuka Yamaguchi[1], Juichiro Ashi[1,2]

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo , 2. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. FACULTY OF ENGINEERING, KYUSHU UNIVERSITY

海山沈み込みは，前弧域の構造を変形・複雑にするだけでなく，プレート境界型地震への影響も指摘されており，研究が必要な現象の１つである．ただしこの過程は数万ー数十万年かけて生じるため，観測により全体像を把握することはできない．この問題に対して，モデル実験を用いて海山沈み込みを再現するという手法で付加体表面・内部の変形様式の研究が行われてきた[1,2]．その中でも，乾燥砂を用いたアナログ実験(砂箱実験)で海山沈み込みを再現した研究[3]では，海山表面の摩擦係数が付加体の内部摩擦係数に近い条件で実験を行い，付加体表面に発達するfracture networkや海山と陸側のBackstopに挟まれた領域の圧縮にともなう激しい変形を海山沈み込みに特徴的な構造として報告した．しかし，近年の海域の反射法地震探査からは強い変形を伴わない海山沈み込みが確認されており[4]，実際には海山表面の摩擦係数は付加体の内部摩擦係数よりも低い可能性がある．しかし，海山表面の摩擦条件が付加体変形過程に与える影響を検討した例はない。そこで本研究では，摩擦係数の異なる２種類の物質を用いて，海山表面が低摩擦と高摩擦である場合についてそれぞれアナログモデル実験を行い，付加体変形過程における海山表面の摩擦条件の影響を評価した．
実験は，講演者の一人である山田によって開発された砂箱実験装置を使用し，プラスチック製の円錐(高さ3 cm，半径14 cm)を縦に半割した海山模型を，堆積物に見立てた砂層(2 cm厚)に沈み込ませることで海山の沈み込みを再現した．同じ装置を用いた先行研究[5]と同様に砂層には豊浦標準砂を使用し，実験での1 cmが天然での1 km に相当する．海山表面の物質として，低摩擦条件ではテフロンシート(摩擦係数$\mu = 0.22$)を，高摩擦条件では豊浦標準砂($\mu = 0.59$)を使用した．海山以外の範囲の底面には低摩擦海山と同じテフロンシートを敷いた． また，本実験はYamada et al. (2010)などに倣い，画像解析技術の一つであるデジタル画像相関法を併用し，砂箱内での断層運動を高空間分解能で可視化し[6,7]，表層の微細な変形の時空間的な変形過程を記載した．画像はインターバルタイマーを用いて砂箱実験装置の上側と側面から撮影を行い，LaVision社製の画像解析ソフト「Davis 8.0」にて解析を行った．
断面観察では，低摩擦海山沈み込み時にはプレート境界断層は海山表面に沿って1本のみ形成されるのに対し，高摩擦条件では断層が海山表面から1.5–2 cm上方を不規則に移動し，相対的に厚い剪断領域を形成する過程が観察された．特に高摩擦海山沈み込み時には，断層が上下へ周期的に繰り返して移動する”fault dancing”[8]が確認された．この現象は，地形と摩擦の２つの効果によって生じると考えられていたが[8]，本研究の結果から地形よりも摩擦条件の影響を強く受けることが初めて確認された． 表面観察の結果，低摩擦海山が付加体前縁に沈み込んだ直後に海山直上の領域にのみfrontal thrustが形成されること，その後は周囲（海山の影響がない領域）で付加体が成長することで，海山部に湾入地形が形成されることが確認された．この付加体の局所的成長は，本研究が初めて報告する現象で，海山の存在によって砂層が薄くなっている領域のみで観察された．土質力学的な検討によると，同じ材料を使用する場合には底面摩擦と砂の厚さによってfore-thrustの形成間隔が変化することが知られている[9,10]．今回の結果は，海山の存在によって相対的に砂層の厚さが薄くなったことで，その領域にだけ間隔の狭いfore-thrustが形成されたと考えられる．一方，高摩擦海山沈み込みでは，実験終了まで一貫して湾入地形が形成された． 海山表面の摩擦の違いを，海山を埋積した堆積物の鉛直方向の摩擦強度の不均質性と解釈すると，低摩擦条件は弱面となる層準が存在する場合，高摩擦条件は弱面が存在しない場合と考えることができる．

1. Baba et al., 2001, *GRL*. 2. Morgan and Bangs, 2017, *Geology*. 3. Dominguez et al., 2000, *Tectonophysics*. 4. Davidson et al., 2020, *Geology*. 5. Yamada et al., 2010, *Tectonophysics*. 6. Adam et al., 2005, *JSG*, *GRL*. 7. Dotare et al., 2016, *Tectonophysics*. 8. Koge et al., 2018, *PEPS*. 9. Davis and Engelder, 1985, *Tectonophysics*. 10. Gutscher et al., 1996, *Geology*.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: seamount, sandbox experiment, accretionary prism, image analysis

© 2021 Geological Society of Japan

A watershed of the Nankai forearc basin -Origin of the tectonic swell off the Kii Peninsula and its effect on segmentation of the Nankai seismogenic zones-

*Gaku KIMURA[1], Yasuyuki NAKAMURA[1], Kazuya SHIRAISHI[1], Gou FUJIE[1], Takeshi TSUJI[2], Rina FUKUCHI[3], Asuka YAMAGUCHI[4]

1. Japan Agency of Marine Science and Technology, 2. Kyushu University, 3. Naruto University of Education, 4. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

はじめに

南海トラフは、地球上で最もデータが蓄積され、研究の進んだプレート沈み込み帯である。研究が進むほどに事象の十桁以上にわたる時空間を繋げた精度で、基本問題への回答の試みが続けられている。
数百～数十万年の時間スケールと列島規模の空間スケールの事象の理解を通して、はじめて答え得る一般問題は多々あるが、その中で今回は、新たな地震反射法探査と深海掘削の具体的データ解析を総合し、以下の問題に迫りたい。
１）巨大地震発生帯を含めたプレート境界の形状の時間変化と上盤プレートの内部構造形成との関係、２）表層地形、堆積盆地形成に記録されている事象と沈み込み帯ダイナミクスとの関係、３）プレート境界巨大地震発生帯の上下限、水平方向の境界を決める地質学的要因（構造・岩石物質・物性・状態）

紀伊半島沖隆起帯の位置

具体的研究対象は、紀伊半島潮岬南東沖40~50kmに伸びる北東南西方向の隆起帯である。この隆起帯の東西で種々のコントラストがある。①東側が熊野海盆であり、西側が紀伊水道沖に広がる室戸海盆である。②この隆起帯の東側のプレート境界が昭和および安政地震の東南海地震破壊領域であり、西側が南海地震のそれである(Ando, 1975)。③現在のプレート境界の形状は、この隆起帯の西側が北へ低角に傾斜し、東側がより急角度になっている(Nakanishi et al., 2002)。④隆起帯近傍の上盤プレートは潮岬や半島東部を構成する火成岩地殻からなると推定されている(Kodaira et al., 2006; Kimura et al., 2014；Tsuji et al., 2015)。

紀伊半島沖隆起帯、熊野海盆、室戸海盆の地質と構造

北東南西方向に伸びる隆起帯に関しての新たなデータは以下である。① 隆起帯は、上盤プレート地殻の異なる地質基盤（火成岩類と付加体）の境界部に形成されている。② 熊野海盆側の基盤岩は後期中新・鮮新統付加体、室戸海盆の基盤岩はより古い四万十帯南帯（始新～前中期中新統）を含む付加体の可能性が大きい。③ 熊野海盆内には、約六百万年以降の数回の不整合が認められている（Moore et al., 2015)。今回、室戸海盆でも新たに確認された。④ 隆起帯北部でのIODP#358C0025地点での掘削の結果、550m以上に及ぶ堆積物下部の年代は2.58~4.13Maと判明。CCDより浅い海溝斜面での堆積と推定。C0009の掘削の結果による約5.6Maの熊野海盆形成開始推定（Moore et al., 2015)と矛盾しない。

結論

以上の結果、紀伊半島沖隆起帯には、南海トラフにおけるフィリピン海プレートの、現在につながる沈み込み開始（約6Ma)以降の全テクトニクスの歴史が記録されていることが判明した。そのような時間スケールで見た時、南海トラフでの地震発生帯地域分割の原因やプレート相対運動変化をめぐる議論の当否などが見えてくる。講演ではその点も議論したい。

文献

Ando, 1975, *Tectonophysics*, *27*(2), 119-140.
Nakanishi et al., 2002, *Journ.Geophys. Res. 107*(B1), EPM-2.

© 2021 Geological Society of Japan

Kodaira et al., 2006, J*ourn.Geophys. Res.* , *111*(B9).
Kimura et al., 2014: *Tectonics*, *33*(7), 1219-1238.
Tsuji et al., 2015; *Earth,Planet. Science Letters*, *431*, 15-25.
Moore et al., 2015: *Marine Petroleum Geology*, *67*, 604-616.

Keywords: accretionary wedge, Nankai trough, forearc basin, seismogenic zone, subduction zone

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Proposal to IODP: Drilling and monitoring in Hyuga-Nada to unvail effects of ridge subduction on slow earthquakes

*Rie Nakata[1], Masataka Kinoshita[1], Yoshitaka Hashimoto[2], Yohei Hamada[3]

1. University of Tokyo, 2. Kochi University, 3. JAMSTEC

Shallow slow earthquakes, which last minutes to years, are important indicators of subduction megathrust slip behavior and future seismic and tsunami potential. Subducting plate roughness and seamounts have been proposed to promote slow earthquakes by inducing local geomechanical and hydrogeological anomalies. In the Hyuga-Nada region offshore Kyushu, Japan, slow earthquakes are repeatedly observed on and near the subducting Kyushu-Palau-Ridge, chain of seamounts thus providing excellent opportunities to explore the effects of seamounts on geomechanical/hydrological/thermal properties, and ultimately seismic coupling. Long-term monitoring enabled by a planned permanent network (N-net) will allow subsurface processes during frequent (~1 year) periodical slow earthquakes and ~M7 earthquakes (~20-30 year interval) to be captured with high fidelity. Our plan consists from drilling and installing observatories at three primary locations in Hyuga-Nada to address two hypotheses: 1) Seamount subduction modulates stress and pore pressure, creates fracture networks and influences the thermal and hydrological state of the margin. 2) The spatiotemporal distribution of slow earthquakes is strongly influenced by seamount subduction. We will drill three primary distinct sites relative to the seamount, to measure physical properties and describe deformation by LWD, APCT-3, and core analysis to characterize in-situ stress state, fracture density, heat flow, and pore fluid flow. Spatial variations in the upper plate disruption caused by seamount subduction will be revealed by comparing results from the three sites; and these will constrain geomechanical, hydrological, and thermal models. We will install a “Fiber-CORK” observatory equipped with conventional pressure and temperature sensors and cutting-edge fiber-optic sensors. The combination will fill a gap in slip durations currently observable in this region with seismic and geodetic instrumentation.

Keywords: IODP, Seamount subduction, Borehole Observatory, Slow earthquakes

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Overview of IODP drilling active backarc basin, Okinawa Trough: ongoing rifting of Eurasian continental margin

*Makoto Otsubo[1], Co-proponents of scientific drilling Okinawa Trough

1. Geological Survey of Japan

本発表では，IODP沖縄トラフ南部掘削計画の概要について紹介する．活動的な背弧海盆は，大陸の縁を分割して複雑な沈み込み形状を生成しながら，独特の鉱物生成と多様な生物群集を宿す多数の熱水系を持つ特徴をもつ．背弧海盆の開始と進化を支配するメカニズムは地球規模のテクトニクスにおいて長年の問題であった．例えば，リフト活動に注目すると，アフリカ大地溝帯のような大陸リフトでは10^7年程度のオーダーで発達する（例えば，Naliboff, J.B. et al., 2017）のに対して，背弧海盆では10^{5-6}年オーダーで発達している（例えば，Sibuet et al., 1995）．なぜ背弧海盆の拡大は大陸リフトより速いのだろうか？その速い原因は何であろうか？そこで，我々は琉球弧の背弧海盆である沖縄トラフを対象にIODP掘削計画「Drilling the Okinawa Trough, a backarc basin with ongoing rifting of a continental margin: Riserless drilling to sample fresh faults, volcanics and fluids」のpre-proposalを2020年4月に提出した．
琉球弧では琉球海溝にてフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込んでおり，その背弧には琉球弧と平行に長さ約1500 kmの背弧海盆（沖縄トラフ）が存在する．沖縄トラフは6～4 Ma頃に現在の大枠が形成され，1.5 Ma頃に拡大を再開して現在も引き続き拡大している（Sibuet et al., 1998）．沖縄トラフの中では南部において拡大プロセスがより進行し，0.1 Ma頃から現在の拡大運動となっている（Sibuet et al., 1995）．沖縄トラフは，気象条件が厳しい南極半島近傍のBransfield Straitとともに現時点においてまだ海洋性玄武岩が海洋底に露出していない地球上で数少ない活動的な大陸縁辺の背弧海盆として，背弧海盆の拡大プロセスの理解のために科学掘削を行う有望なターゲットである．沖縄トラフはリフト活動によって上中部地殻の厚さが10 kmほどに薄くなりつつある（Arai et al., 2017; Nishizawa et al., 2019）．
我々は，沖縄トラフでの科学掘削に向けて背弧拡大部の原動力に関する新しい仮説を提案する．「背弧拡大は断層沿いの流体移動と熱によって引き起こされる地殻の弱体化とリフトゾーンでの歪み集中によって加速する．」と考え，沖縄トラフ南部に3地点の浅い掘削（海底下200～700 m）によってそれらの仮説を検証する．これらの掘削は，堆積物，火山岩，および間隙流体・ガスを採取し，さらに掘削方向への各種物理検層を行う．我々の沖縄トラフ南部での掘削計画の目的は次の2つである：[目的1]トラフ軸周辺の断層の物理的，水文地質学的および化学的特性，岩相，形状，微細構造，および熱状態を把握および分析することによって，地殻浅部内の流体循環プロセスを調べる．[目的2]トラフ軸（八重山地溝）の下の，先行研究の地震波調査でよって把握された潜在的な玄武岩質マグマの上部を含む，海洋底に露出する前の火山岩とその岩相を直接把握する．これらの我々の掘削提案は，沖縄トラフのリフトゾーン内での正断層型地震の地震発生域および琉球弧陸域の両方でコアリングとモニタリングを行うことを目指すための最初の第一歩となる．

[引用文献]Arai, R. et al. (2017) J. Geophys. Res., 122, 622–641; Naliboff, J.B. et al. (2017) Nat. Commun. 8, 1179; Nishizawa, A. et al. (2019) Earth, Planets and Space, 71:21; Sibuet, J..C. et al. (1995) In: Backarc basins: tectonics and magmatism, Taylor B (ed), Plenum Press, New York, pp 343–378; Sibuet, J.C. et al. (1998) J Geophys Res., 103, 30245–30267.

Keywords: Ryukyu arc, Backarc basin, Normal fault, Fluid, Scientific drilling

© 2021 Geological Society of Japan

Detailed seafloor morphology and geological structure in the southern part of the Okinawa Trough north off Ishigaki Island

*Ayanori Misawa[1], Ryuta Arai[2], Masahiko Sato[3], Saki Ishino[1], Hiroaki Koge[1], Makoto Otsubo[1], KH-21-3 Shipboard Scientists

1. GSJ, AIST, 2. JAMSTEC, 3. Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo

大陸縁辺に位置する背弧海盆の発達形式の解明は、リソスフェアの発達を理解するための重要な事項と考えられる。大陸縁辺のリフト状態の背弧海盆は沖縄トラフとブランズフィールド海峡に限定されているため、現在のそのような変形の希少性のためによく理解されていない。沖縄トラフ南部では、1.5 Maから断続的なリフティングが発生していると考えられている（Sibuet et al., 1998）。沖縄トラフ南部・八重山海底地溝周辺ではArai et al. (2017)及びNishizawa et al. (2019)により、沖縄トラフを充填するトラフ充填堆積層の構造や八重山海底地溝周辺の地質構造などが最新の反射法地震探査結果に基づいてまとめられている。なかでも、Arai et al. (2017)では八重山海底地溝直下でのマグマ貫入構造の存在、およびトラフ充填堆積層部分に低速であり、かつ低反射率を示す領域を発見し、マグマ溜まりの存在を指摘している。沖縄トラフ南部の現在の状態を明らかにするべく、2021年1月に海洋研究開発機構の学術研究船「白鳳丸」によるKH-21-3航海にて統合的な海洋地質・地球物理学的調査を実施した。KH-21-3航海ではピストンコアリングやヒートフロー観測などの停船観測と反射法地震探査などの航走観測を実施した。なかでも、航走観測では海底地形調査、マルチチャネル反射法地震（MCS）探査、サブボトムプロファイラー探査、地磁気観測（プロトン磁力計及び船上3成分磁力計）、船上重力観測、およびXCTD観測を実施した。MCS探査では、2基の355立方インチGIガン（総容積710立方インチ）と1,200 m, 48chストリーマーケーブルを使用した。また、プロトン磁力計による地磁気観測では船体磁化の影響を避けるために、船体から約290 m後方で磁力計本体を曳航した。

海底地形調査によって、20 mグリッドの非常に高精度な海底地形データを作成することができ、詳細な海底地形が明らかになった。八重山海底地溝周辺では、おおよそ東西走向のリニアメントが無数に発達している。八重山海底地溝の南方の沖縄トラフ部分にはこれまで未記載の比高約100 mの地形的高まりが2体存在していることが初めて明らかになった。MCS探査では沖縄トラフ南部の地質構造を海底下約2秒の範囲を明らかにできた。沖縄トラフは島弧から連続する基盤層とトラフ充填堆積層の2つに大きく区分できた。上位のトラフ充填堆積層は概ね水平成層で非常に連続的な内部反射面を示す。石垣海丘群の東縁部を通る箇所では、周囲の堆積層と内部反射面が異なる散乱した反射パターンが認められ、これらは火山性物質から構成されると解釈できる。Arai et al. (2017) で指摘されたマグマ貫入構造に相当する箇所では、マグマ貫入に関連する反射面や堆積層の変形が認められた。なお、前述した2体の地形的高まりはこのマグマ貫入構造と隣接する。地形的高まりの内部構造は非常に不鮮明であることから下部からの貫入の存在が示唆されるが、磁気異常観測値では周辺のトラフ充填堆積層部分と同様の値を示している。加えて、八重山海底地溝周辺やトラフ底部分では正断層の発達が多数認められ、その多くが海底面に到達していることから活動的な正断層であることが示唆される。

本発表では沖縄トラフ南部の詳細な海底地形、地質構造および今回発見した地形的高まり周辺の地下構造について現段階の解釈を紹介する。また、2021年8月に実施した新青丸KS-21-17航海の結果についても一部紹介する予定である。

引用文献

Arai, R. et al. (2017) J. Geophys. Res., 122, 622–641; Nishizawa, A. et al. (2019) Earth, Planets and Space, 71:21; Sibuet, J.C. et al. (1998) J Geophys Res., 103, 30245–30267.

Keywords: Okinawa Trough, Yaeyama Graben, Normal fault, Seafloor morphology, Multi-channel Seismic Reflection Survey

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

Heat flow distribution in the southern part of Yaeyama Rift, southern Okinawa Trough

*Masa Kinoshita[1], Ayanori Misawa[2], Ryuta Arai[3], Makoto Otsubo[2], KH-21-3 Scientists

1. ERI/UTokyo, 2. AIST, 3. JAMSTEC

沖縄トラフの拡大は２Ma以降とされ，南部沖縄トラフではその中軸部付近に八重山中央地溝帯が存在し，その活動が0.1Ma以降とされる．これまでの構造探査では沖縄トラフ海底に海洋地殻は存在しないと報告されており，したがって沖縄トラフは，（古い）大陸地殻のリフティングの段階にあると考えられる．その仮説を検証するデータの一つが熱流量である．八重山中央地溝帯（YR）内部ではほぼすべての熱流量が40 mWm^{-2}と非常に低い．一方その外側の沖縄トラフではデータがほとんどなく，系統的な議論が不可能な状況である．KH21-03 Leg1航海では，本海域において反射法地震探査・ピストンコア採取・熱流量測定・ドレッジ試料採取等が実施された（大坪ほか，本大会）．ここでは熱流量測定結果を報告する．YR南側斜面から沖縄トラフ南部にかけて，ヒートフロー付ピストン4点，ヒートフロー4サイト（13点）にて熱流量の暫定値を得た．温度ー深度分布は，全サイトとも直線的であり，流体移動や水温変動などの擾乱の影響は見られず，表層では熱伝導による放熱が卓越していると考えられる．熱伝導率は全サイトで概ね１$W\ m^{-1}K^{-1}$ であり，典型的な海底表層堆積物の値と一致している． YR南部での熱流量データが増加したが，その値は到底一様とはいいがたく，既存値と合わせて40 mWm^{-2}以下から120 mWm^{-2}まで，大きくばらついている．YR南斜面での低熱流量は，おそらく現在の高速堆積の影響によるものであろう．あるいはYR内部で現在進行している可能性のある熱水循環の流入域にあたるのかもしれない．一方八重山海丘と石垣海丘の中間では8点のデータが得られた．ここはArai et al. (2017JGR)により「magmatic uplift」と名付けられた地形的高まりと，海底下4㎞のメルトレンズがある．今回海底地形調査の結果，比高100m程度の海山が2個東西に並んでいることを発見した．熱流量は，西側の海山の何縁および北縁に沿って計測したが，北縁では東に向かって徐々に値が増加することが分かった．特に2つの海山の中間地点では120 mWm^{-2}とこの付近で最も高い値を記録した．同時に実施した構造探査では，海底下200-800msec(往復走時)のあたりに異常反射面が検出され，Araiによるメルトと関連した何等かの熱的活動の存在が示唆される． トラフ底のベース熱流量値は，現時点では明瞭に提示できない．南縁で70mWm^{-2}程度でありこれがベース値とも考えられるが，この地点は南側からのタービダイト供給の影響があり得るため，基盤からの熱流量が擾乱を受けている可能性の検討が必要である． 今回は，掘削の事前調査という目的があり，局所的な特徴というよりは，沖縄トラフ全域の傾向を得ることが主目的ではあった．しかしながら，新たにマッピングされた地形高まりの周辺で局所的な熱流量異常が検出されたことは大きな成果である．そのため，当初の予測（どこでも一様な熱流量）から大いにはずれた結果を得た．今後観測・解析を行い，沖縄トラフの成因に迫っていきたい．

Keywords: Okinawa Trough, IODP, Heat flow, Backarc rifting

© 2021 Geological Society of Japan

Examining the characteristics of turbidites in the southern part of Okinawa Trough using numerical experiments based on cores from Expedition KH-21-3

*Zhirong Cai Cai[1], Hajime Naruse[1], Ken Ikehara[2], KH-21-3 Shipboard Scientists

1. Department of Geology and Mineralogy, Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Okinawa Trough is an actively rifting back-arc basin and an important area for examining the tectonic history of the Ryukyu subduction zone (Arai et al., 2017). Past studies showed that the main sources of sediment deposition in the southern part of Okinawa Trough were Taiwan and the East China Sea continental shelf (Milliman & Kao, 2005; Katayama, 2007). The main process of sediment transportation to the Okinawa Trough was turbidity currents in addition to hemipelagic sediment transport. Estimating sediment flux from Taiwan as well as local sediment input from volcanic arcs into this region is important for understanding the development of the Okinawa Trough and the temporal changes in orogenic activity in Taiwan. However, the scale and source of turbidity current events related to the depositional process within the region is still unclear. The KH-21-3 expedition surveyed the southern part of Okinawa Trough and four piston cores were obtained. Each core contained more than one turbidite unit. In order to better understand the origin and scale of turbidity current events that resulted in turbidites in the southern part of Okinawa Trough, we conducted a 2D numerical experiment of turbidity current events using a shallow water equation model that reproduced turbidites in borehole cores. This presentation will contain a preliminary report of the characteristics of turbidites within the cores obtained from KH-21-3 and results from numerical experiments. Reference: Arai, R., Kodaira, S., Yuka, K., Takahashi, T., Miura, S., and Kaneda, Y. (2017), Crustal structure of the southern Okinawa Trough: Symmetrical rifting, submarine volcano, and potential mantle accretion in the continental back-arc basin, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 122, 622– 641, doi:10.1002/2016JB013448. Katayama, Hajime (2007): Budget and transport process of terrigenous sediments in the East China Sea. Chishitsu News, 634, 15-20.

Keywords: Turbidity Current, Turbidite, Numerical Experiment

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R14 [Regular Session]Tectonics

[3ch112-19] R14 [Regular Session]Tectonics

Chiar:Asuka Yamaguchi, Ayumu miyakawa, Rina Fukuchi

Mon. Sep 6, 2021 1:00 PM - 3:45 PM ch1 (ch1)

[R14-O-1] Seismogenic source faults in the Tsugaru Peninsula, northern Honshu, Japan

*Hiroshi Sato[1], Tatsuya Ishiyama[2], Hideo Saito[4], Mamoru Nakata[4], Naoko Kato[3], Susumu Abe[4] （1. The University of Tokyo, Shizuoka Univ., 2. The University of Tokyo, 3. The University of Tokyo, Nihon Univ., 4. JGI, Inc.）

1:00 PM - 1:15 PM

[R14-O-2] An apparent polar wander path for southwest Japan records Cenozoic two-phase rotations with respect to the Asian continent

*Koji UNO[1], Yuta IDEHARA[1], Daichi MORITA[1], Kuniyuki FURUKAWA[2] （1. Okayama University, 2. Aichi University）

1:15 PM - 1:30 PM

[R14-O-3] [Invited]Cretaceous-Paleogene tectonics of the Akaishi mountains in Southern Nagano

*Yoshihiro Nakamura[1], Kazuhiro Miyazaki[1], Yutaka Takahashi[1] （1. Geological Survey of Japan, AIST）

1:30 PM - 2:00 PM

[R14-O-4] [Invited]Geological study for the Cretaceous subduction mega-complexes on the central Kii Peninsula, SW Japan: For unraveling the tectonics at plate convergent margins

*Yusuke Shimura[1], Tetsuya Tokiwa[2], Makoto Takeuchi[3] （1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Shinshu University, 3. Nagoya University）

2:00 PM - 2:30 PM

[R14-O-5] The stress inversion of 3D directional data from calcite e-twins: Accuracy, resolution and paleo-depth

*Atsushi Yamaji[1], Kei Wakamori[1] （1. Kyoto University）

2:45 PM - 3:00 PM

[R14-O-6] Differential stresses and minimum burial depths evaluated from calcite *e*-twins

*Kei Wakamori[1], Atsushi Yamaji[1] （1. Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University）

3:00 PM - 3:15 PM

[R14-O-7] Trench survey on the Chomonkyo Fault in northeastern Yamaguchi Prefecture (Part 1): Results of Trench Observations

Kotaro Aiyama[1], Akira Fukuchi[2], *Takahiro Iida[3] （1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Hanshin Consultants Co., Ltd., 3. Ceres, Inc.）

3:15 PM - 3:30 PM

[R14-O-8] Trench survey on the Chomonkyo Fault in northeastern Yamaguchi Prefecture (Part 2): SEM and STEM observations on fault planes

*Kotaro Aiyama[1], Kohei Hirano[2] （1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Ceres, Inc.）

©The Geological Society of Japan

3:30 PM - 3:45 PM

©The Geological Society of Japan

Seismogenic source faults in the Tsugaru Peninsula, northern Honshu, Japan

*Hiroshi Sato[1], Tatsuya Ishiyama[2], Hideo Saito[4], Mamoru Nakata[4], Naoko Kato[3], Susumu Abe[4]

1. The University of Tokyo, Shizuoka Univ., 2. The University of Tokyo, 3. The University of Tokyo, Nihon Univ., 4. JGI, Inc.

はじめに　震源断層の形状や活動性を明らかにすることは、発生する地震・津波災害や地震発生の中期予測にとって重要である。東北日本のような逆断層が卓越する地域では、しばしば断層関連褶曲が形成され、地表近傍での活断層と新第三系基盤岩中の断層の関係が複雑である。また、津軽山地の両縁のように逆断層が幅の狭い隆起帯を形成する場合には、地下での活断層システム全体の検討が必要になる。ここでは、文部科学省の「日本海地震・津波調査プロジェクト」において実施した2020年津軽半島横断地殻構造探査［1］と既存の地学資料に基づいて、津軽半島とその周辺の震源断層について述べる。

データ取得　測線は青森湾西側から津軽山地を経て、深浦町千畳敷にいたる59 kmの区間である。反射法地震探査では標準区間においては50m間隔で受振器を展開し、バイブロサイス4台を用いて100m間隔で発震した。稠密区間（3区間、計35 km）では受振点間隔を25m、発震点間隔を50mとした。屈折法による速度構造解析のため、50ないし100回の多重発震を16点で行った。

構造探査断面の地質構造　測線周辺の地質構造は、西傾斜の断層によって特徴づけられる。これらの断層群は、日本海拡大期に形成されたもので、津軽山地区間や白神山地区間では、P波速度5.4km/s以上の岩体（先新第三系）が周辺に比べ深く、沈降域は西傾斜の正断層運動と整合的な、東側で変化率が大きい非対処な形状を示している。津軽山地は東翼急傾斜、西側緩傾斜の非対称複背斜であり、東翼には津軽断層が分布する。津軽断層の東側には、この断層から分岐した青森湾西断層などの活断層が分布する［2］。津軽山地の西翼には、活断層である津軽山地西縁断層帯［3］が位置するが、山地東翼の断層群に比べ総変位量は少なく、地質構造からは津軽断層などの東翼のバックスラストと解釈される。西傾斜の津軽断層の上盤側で、厚い新第三系に相当する速度構造を示すことは、この断層が日本海拡大期に正断層として形成されたと推定される。1766年明和津軽地震（M7.0）の震央は、津軽断層の深部延長上に位置することから、この断層が震源断層である可能性が高い。津軽平野の鮮新世以降の短縮変形にともなう沈降運動は微弱で、大局的には津軽断層の上盤側に位置することと調和的である。津軽山地の隆起運動は、全体としては正断層の反転運動としてとらえることが可能であり、反転の過程で東翼にfootwall shortcut thrustを生み出し、津軽断層の東側に活断層を形成させた。こうした構造運動のみでは、青森平野から青森湾の先第三系基盤の低下については、説明することができない。この領域の深い堆積盆地の形成をもたらした要因としては、秋田-山形堆積盆地のような中絶リフトを考慮する必要があろう。

津軽平野西縁断層　津軽山地には褶曲した厚い新第三系が分布し、平野との境界部では舞戸層や鳴沢層（鮮新-更新統）が急傾斜帯を形成している。速度構造から見て、山地の新第三系基盤は、平野側より低下し、堆積盆地の反転運動を示している。西側の白神山地で厚い堆積層を示す舞戸層は、上部では東方に向かって層厚が増加する。これは津軽平野西縁断層（新称）の正断層から逆断層への反転運動を示している。舞戸層の浮遊性有孔虫から［4］、この変形は3.5 ～1.2Maに開始された可能性が高い。 白神山地北縁の日本海沿岸には、海成段丘が分布することが知られている［5］。酸素同位体ステージ5e（12.5万年前）の海成段丘面高度は、津軽平野西縁断層の隆起側では西方に向かって次第に上昇し、ステージ5eの旧汀線高度は、100～80 m程度となる。津軽平野西縁断層は重力異常にもよく現れており、西側隆起の構造として岩木山南西麓まで追跡できる。断層深部の傾斜は40度と推定されるので、ネットスリップは1 mm/年に達する可能性のあるA級の活断層となる。まとめ　活断層-震源断層システムは、現在とは異なるテクトニクスの元で形成された断層が、再活動しているケースが一般的である。従って震源断層の形状推定には、地球物理学的なイメージングとともに構造地質学的な検討が重要である。

文献［1］佐藤比呂志ほか，2021年石油技術協会春季講演会　地質探鉱部門個人講演　17, 2021.［2］地震調査委員会:青森湾西岸断層帯の長期評価について，16p., 2004a.［3］地震調査委員会: 津軽山地西縁断層帯の

© 2021 Geological Society of Japan

長期評価について, 18p., 2004b.［4］根本直樹:化石，48, 17-33, 1990.［5］小池一之，町田 洋編: 日本の海成段丘アトラス, 122p., 2001.

Keywords: active fault, seismogenic source fault, inversion tectonics, seismic reflection profiling, Tsugaru peninsula

© 2021 Geological Society of Japan

An apparent polar wander path for southwest Japan records Cenozoic two-phase rotations with respect to the Asian continent

*Koji UNO[1], Yuta IDEHARA[1], Daichi MORITA[1], Kuniyuki FURUKAWA[2]

1. Okayama University, 2. Aichi University

西南日本（内帯）の中生代における見かけの古地磁気極移動曲線（APWP）を構築し、大陸地域のそれと比較するために、西南日本の前期白亜紀110 Maの古地磁気極を決定した。古地磁気分析のための試料として、西南日本の中央部、吉備高原に分布する下部白亜系稲倉層の赤色岩が15地点から採取された。このうち11サイトから、アンブロッキング温度が670～695℃の高温磁化成分が得られ、堆積岩形成時の初生的な特徴的残留磁化であると結論された。これらの初生磁化の方向を既報のものと合わせ、新たな平均磁化方向（D = 79.7˚, I = 47.4˚, α95 = 6.5˚）と、それに対応する西南日本を代表する古地磁気極（24.6˚ N, 203.1˚ E, A95 = 6.8˚）が得られた。この前期白亜紀の古地磁気極を、後期白亜紀および新生代の古地磁気極と合わせることで、西南日本の新しいAPWPが構築された。このAPWPは110-70 Maの間、極位置が静止していることを示しており、この地域に明瞭な変動が生じていなかったことを示唆している。この極移動の傾向は、同時代のユーラシア大陸のAPWPに見られる傾向と似ている。この静止状態の後、新生代に2つの大きな極移動トラックが存在する。これらのトラックは、新生代に2回発生した西南日本の時計回りの地殻変動と解釈される。１回目の地殻変動は古第三紀に生じており、中国東北部・遼東半島・朝鮮半島・西南日本から構成される東タンルーブロックの回転運動として生じた。２回目の変動は、新第三紀に日本海を形成する回転運動として生じており、このとき時計回りの回転を被ったのは西南日本のみであった。新生代のアジア大陸東縁部における多段階のリフティング活動が、本研究で観察された地殻変動の原因であると考えられる。この間欠的なリフティング活動は、中生代にアジア大陸とヨーロッパ-シベリア大陸が衝突して巨大なユーラシア大陸が成長したことにより誘発された可能性がある。

Keywords: Apparent polar wander path, Cretaceous, Southwest Japan, East Asia

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Cretaceous-Paleogene tectonics of the Akaishi mountains in Southern Nagano

*Yoshihiro Nakamura[1], Kazuhiro Miyazaki[1], Yutaka Takahashi[1]

1. Geological Survey of Japan, AIST

長野県南部に分布する赤石山地は，中央構造線を境界に領家花崗岩類と三波川帯ーみかぶー秩父帯ー四万十付帯が帯状に分布している．これらの基盤岩類は，中新世の伊豆ー小笠原弧多重衝突に関連した回転変位によって現在の帯状分布が形成されたと考えられてきた(例えば狩野2002). 特に松島(1997)は大鹿地域の胴切り断層を境界に基盤岩が逆くの字型にめくれあがる大構造を提唱している．一方でこの構造が，四万十帯以外にも大きな影響を及ぼしたという年代的・変成岩岩石学的な証拠はない．そこで大鹿地域の詳細な地質構造を検討し，中央構造線及び伊豆弧衝突によって改変されたとされる赤石山地の広域テクトニクスを議論する．

[中央構造線と鹿塩マイロナイト] 大鹿地域には幅1km程度の中温型・低温型マイロナイトが中央構造線に沿って露出している．このマイロナイトのジルコンU-Pb年代測定を実施すると，最も明瞭な年代クラスターは70.9 ±0.3 Maの火成岩起源の粒子からなり，他の放射年代と組み合わせた冷却カーブは~34℃/Maとなる．Opening angle thermometryと狭在する泥質マイロナイトの*P-T*条件の制約から中温型及び低温型マイロナイトの変形温度を，それぞれ350ー400℃, 450ー550℃と見積もった． またPseudosection modelingと地質温度計で見積もったマイロナイト形成時の温度圧力条件を考慮すると，領家変成作用を経験した岩石が，三波川変成帯緑泥石帯～ザクロ石帯相当相の温度圧力条件 (450-530℃/ 4-8 kbar)まで沈み込むことで形成したと明らかにした．以上の情報を集約すると，71 Ma頃の最末期火成活動が終了後，69ー67 Maと66ー64 Maに大規模な構造運動によって活動的島弧から沈み込み帯へ領家変成岩が沈み込む時に鹿塩マイロナイトが形成されたと示唆される．その後沈み込み境界面で深部から上昇してきた三波川帯と接合し，60ー50 Maには脆性ー延性転移領域 (BDT)を超えて現在の基盤岩構造の骨格が形成された．

[大鹿地域の三波川帯～秩父帯～四万十帯] 大鹿地域には，低角度構造の弱変成秩父帯から四万十帯が広く分布すると報告されている(天竜川上流域地質図調査・編集委員会, 1984). しかし詳細な砕屑性ジルコンU-Pb年代測定を実施すると，小渋川流域及び塩川流域の弱変成秩父帯はすべて白亜紀前期の三波川帯 であることが明らかになった． 秩父帯が分布するのは，三峰川流域以北と仏像構造線付近の一部地域となり，大鹿地域ではみかぶ緑色岩の東側にも三波川帯がフェンスターとして露出する．一方でめくれ上がり構造の根拠となった小渋断層や他の胴切り断層は存在しておらず，すべて低角度な地質構造と南北系の実在断層で岩相分布を説明できる．

これらの調査結果を総括すると，大鹿地域では三波川帯ーみかぶ緑色岩ー四万十帯が低角度な地質構造で露出することで，より構造的上位の地質体 (戸台層・秩父帯)が欠損している．この低角度な構造は，めくれ上がり構造に期待される逆転をともなう垂直な地質構造では説明できず，基盤岩分布は伊豆弧衝突前の構造を保存していると示唆される．つまり60-50 Maに起きた大部分な変成岩上昇イベントで周囲の付加体構造の分布も完成したことを示唆している．中央構造線では60-50 Maに，引張応力場で多数の正断層が形成されたことが報告されている (例えばKanai and Takagi, 2016)．この時期は，Izanagi-Pacific ridgeが沈み込むタイミングでもある．この時の海嶺が底付け付加することで楔を変形させ，楔の鋭角度が上限を超えると，楔上部で正断層が生じる (Platt 1986). このモデルは高圧変成岩の上昇モデルとして提唱されているが，中央構造線及び周囲の付加体の構造発達史を考える上でも重要な古第三紀テクトニクスといえる．今後同様の低角度構造が分布する紀伊半島や四国中央部との対比を行い，中央構造線の活動と関連した白亜紀ー古第三紀テクトニクスの比較が必要である．

[参考文献] 狩野 (2002), 地震研究所彙報, 77, 231-248. 松島信幸（1997), 飯田市美術博物館研究紀

© 2021 Geological Society of Japan

要，7，145-162. 天竜川上流域地質図調査・編集委員会 (1984), 中部建設協会, 414p. Kanai, T., & Takagi, H. (2016). Journal of Structural Geology, 85, 154–167. Platt, J. P. (1986). Geological Society of America Bulletin, 97, 1037–1053.

Keywords: Median Tectonic Line, Ryoke metamorphic belt, Sanbagawa metamorphic belt, Cretaceous-Paleogene tectonics

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Geological study for the Cretaceous subduction mega-complexes on the central Kii Peninsula, SW Japan: For unraveling the tectonics at plate convergent margins

*Yusuke Shimura[1], Tetsuya Tokiwa[2], Makoto Takeuchi[3]

1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Shinshu University, 3. Nagoya University

【はじめに】西南日本外帯には，一般的に北から南へ，三波川（高圧型）変成岩類，秩父付加体，および四万十付加体が帯状に分布している．近年，砕屑性ジルコンU–Pb年代を用いた研究により，三波川変成岩類の陸源砕屑岩がジュラ紀の秩父付加体を越えて，その南方に分布する白亜紀の四万十付加体の陸源砕屑岩と同じ堆積年代を示すことが明らかになった（例えば, Aoki et al., 地質雑, 2007; Hara et al., *Isl. Arc*, 2017; Nagata et al., *Isl. Arc*, 2019; Tokiwa et al., *J. Asian Earth Sci.*, 2021）．すなわち，白亜紀当時の日本列島が位置していたプレート収束域においては，深部で三波川変成岩類が，浅部で四万十付加体が形成されていたことが想定できる．プレート収束型テクトニクスを理解する上で，同時期の高圧型変成岩類（三波川）と付加体（四万十）がどのように形成し，上昇の後，陸上に露出したのかを明らかにすることは重要である．これまで演者らは，三波川変成岩類と四万十付加体の境界が陸上で観察できる紀伊半島中央部において，野外での岩相・地質構造・変形構造の把握，炭質物ラマン分光分析に基づく変成温度の見積もり，および砕屑性ジルコンU–Pb年代測定に基づく陸源砕屑岩の堆積年代の制約を行ってきた．本講演では上記の研究結果を紹介すると共に，三波川変成岩類と四万十付加体を含めた白亜紀沈み込みメガコンプレックスの形成・上昇テクトニクスについて議論する．

【地質区分の再検討】紀伊半島中央部に分布する白亜紀メガコンプレックスに関しては，1970年代より精力的に研究が行われてきた（例えば, 大和大峯研究グループ, 地球科学, 1976; 栗本, 地質雑, 1982; 佐々木・磯崎, 地質雑, 1992; 竹内, 地調月報, 1996）．しかし，先行研究の間で地質区分の踏襲や対比が行われず混乱を招いていた．演者らは，岩相と構造的位置に基づき，構造的上位から下位へ，香束・色生・麦谷・高原川・赤滝・槙尾コンプレックスの6つに区分することを提案する．

【変形構造・変成温度・堆積年代】上記のコンプレックスは，変形構造の特徴に基づき，三波川タイプ（香束・色生）・麦谷タイプ（麦谷）・四万十タイプ（高原川・赤滝・槙尾）の3タイプに大分できる．三波川タイプでは片理面・伸長線構造・褶曲といった三波川変成岩類の上昇に関連した変形構造（例えば, Wallis, 地質雑, 1990）が，麦谷タイプでは四万十付加体の付加過程に関連したblock-in-matrix構造（例えば, Needham, *Geol. Mag.*, 1987）とそれをオーバープリントする三波川変成岩類の上昇に関連した変形構造が，四万十タイプではチャート－砕屑岩シーケンスの繰り返しや四万十付加体の付加過程に関連した変形構造が認められる（Shimura et al., *Isl. Arc*, 2020; Shimura et al., *J. Asian Earth Sci.*, 2021; 本研究）．これら変形構造の違いに応じて，三波川タイプでは280～440 ˚Cおよび麦谷タイプでは280～290 ˚C（Shimura et al., *J. Asian Earth Sci.*, 2021），四万十タイプでは280 ˚C以下（Awan and Kimura., *Isl. Arc*, 1996のイライト結晶度より）の変成温度が得られる．また，三波川タイプの陸源砕屑岩は後期白亜紀末期～暁新世初期，麦谷タイプの陸源砕屑岩は前期白亜紀末期～後期白亜紀末期，四万十タイプの陸源砕屑岩は前期白亜紀末期～暁新世初期の最若ジルコン年代を示す（例えば, 大藤ほか, 地学雑誌, 2010; 志村ほか, 地質雑, 2017, 2020; 太田ほか, 地質雑, 2019; Shimura et al., *Isl. Arc*, 2019, 2020; 本研究）．麦谷タイプと四万十タイプでは下位ほど若くなる年代極性が認められる．

【議論】以上の研究結果より，日本列島が位置していたプレート収束域では，前期白亜紀末期～暁新世初期に沈み込んだ物質が深部ほどより構造的上位に上昇したと考えられる．また，本テクトニクスが生じた時期は少なくとも暁新世初期以降であるといえる．四国西部の三波川変成岩類（三波川タイプ）には，始新世前期のひわだ峠層（成田ほか, 地質雑, 1999）が被覆している．白亜紀メガコンプレックスの上昇イベントが西南日本外帯の広域にわたって同時期に起きたとすると，本テクトニクスは近年提案されている60～50 Maのイザナギ－太平洋海嶺の沈み込み（例えば, Seton et al., *Geophys. Res. Lett.*, 2015）と関連している可能性がある．

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: tectonics, plate convergent margins, Sanbagawa, Shimanto, SW Japan

© 2021 Geological Society of Japan

The stress inversion of 3D directional data from calcite e-twins: Accuracy, resolution and paleo-depth

*Atsushi Yamaji[1], Kei Wakamori[1]

1. Kyoto University

方解石では*e*面{01-12}にそって機械的双晶が形成される。これにともなって、方解石粒子は微小な剪断変形をこうむる。この双晶形成が可能なのは、剪断方向への分解剪断応力が、ある臨界値 τ_cをこえる場合である（ τ_cの値は5〜10 Maとされる；e.g., Lacombe, 2010. Oil & Gas Sci., *65*, 809-838）。この条件にもとづいて、双晶の三次元的姿勢情報から双晶形成時の偏差応力テンソルを推定するための逆問題を構成し、解くことができる。正確にいうと、決定されるのは主応力軸の方向、応力比、および、差応力を τ_cで規格化した無次元差応力である。双晶の方向データを5次元パラメータ空間に写像して得られるデータ点のクラスター解析を行うことにより、これが実現される。異なる時代の異なる応力状態でできた双晶が混在している場合には、複数の応力状態を分離検出することができる。検出すべき応力の妥当な数は、ベイズ情報量規準を使って推定される。

本研究では、人工データを使ってこの方法の精度と分解能を検討した。応力を仮定して人工データをつくり、それからその応力が検出できるかを検討したわけである。また、天然データに適用し、双晶形成時の深度の推定を試みたので,概要を報告する。

まず、単一の応力を仮定し、測定誤差や τ_c値の変動などの擾乱がある場合とない場合を検討した。その結果、測定誤差の影響が大きいことがわかった。といっても、解の誤差は角度の平均測定誤差の半分程度だった。次に無次元差応力の決定精度を検討した。その結果、これが12程度をこえない小応力でできた双晶では主応力軸も応力比も無次元差応力も精度よく決まった。しかしそれをこえた大応力でできた双晶のインバージョンでは、無次元差応力の精度は落ち、20程度を越えると精度を失った。しかしその場合でも、主応力軸と応力比は精度よく決定することができた。

さらに、応力を2つ仮定して人工データを生成し、データから仮定した応力を復元できるか検討した。その際、両方の応力とも、応力比0.5と無次元差応力5を仮定した。主軸方向が2つの応力で近いほど分離しにくいことになる。テストの結果、2つの応力の主軸方向の不一致を表す角度が10〜20°をこえると、応力を分離検出できることがわかった。これは地質学的研究で十分な分解能である。

最後に天然データへの適用である。データは石垣島の始新統石灰岩中の方解石脈からEBSDでとられた102データである。結果として横ずれ断層型応力と正断層型に近い応力が検出された。無次元差応力はそれぞれ9.25と32.3であった。後者は上記の限界を超えているので、32.3という値はたんに無次元差応力が10^1の桁というぐあいに大きかったことを示すにすぎない。そこで、精度がよいと思われる横ずれ断層型のほうについて、双晶形成時の深度を検討した。すなわち、主軸方向と応力比と無次元差応力がわかったので、Byerlee則を仮定し、 τ_cを5〜10 MPaと置いて摩擦すべりの臨界有効応力を計算し、最小埋没深度を見積もったところ2〜4 kmとなった。これはこの地域の新生代地史やtectonic settingと矛盾しない値である。

Keywords: stress inversion, burial depth, mechanical twin, Ryukyu arc

© 2021 Geological Society of Japan

Differential stresses and minimum burial depths evaluated from calcite *e*-twins

*Kei Wakamori[1], Atsushi Yamaji[1]

1. Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto University

方解石の機械的双晶から差応力と埋没深度を推定した．その結果，地質学的に矛盾の無い結果が得られたので報告する．方解石双晶の方向データについて，双晶を形成したときの主応力軸の方向・応力比・無次元差応力（双晶を形成するための分解剪断応力 τ_c で差応力を規格化した値）を決定する逆問題を構成し，解くことができる（山路・若森，本セッション）．他方，方解石双晶では，その密度（単位長さあたりの双晶ラメラの数）から差応力を推定する方法も広く行われている．密度から差応力への換算式には，Rowe and Rutter (1990), Sakaguchi et al. (2011), Rybacki et al. (2013) などがある．しかしRybackiらの実験結果を見ると，密度と差応力との相関はよくない．差応力へのこれら2つのアプローチを，実データにもとづいて比較してみた．

外房地域の中期中新統天津層中の2地点の方解石脈から採られた方解石多結晶体に，まず前者の方法を適用した．その結果，2試料からあわせて6種類の応力が検出された．それらの主軸方向は，小断層解析で推定されていた応力と調和的である．差応力の決定については，τ_c の値が不確定であることがこのアプローチの弱点なのだが，変形実験で推定されている τ_c の値5～10 MPa（e.g., Lacombe, 2010）を使うと，決定された差応力は > 100，22～44，43～86，15～30，19～38，23～46 MPaとなった．無次元差応力が20程度より大きな高差応力でできた双晶では，無次元差応力の決定精度が落ちる．そこで，100 Maをこえるという最初の解を，下の議論からはずす．

差応力と応力比と主軸方向が分かれば、Byerlee則を仮定し，双晶形成時の埋没深度の最小値を決定することができる（山路・若森，本セッション）．Kamiya et al. (2020) にならって上載層の代表的密度を2100 kg m^{-3} とすると，サンプリング地点の最小深度は1.1～2.3，1.5～3.1，1.5～3.0，2.2～4.4，2.1～4.2 kmとなった．これらは外房地域の層序と矛盾がない．すなわち，試料採取層準から上総層群上部までの積算層厚は約4 kmだから（中嶋ほか，1981；七山ほか，2016；宇都宮・大井，2019），サンプリング地点の埋没深度が1～4 kmのときに双晶が形成されたと考えられる．

双晶密度の平均値は2つの試料で55.9 /mmと59.6 /mmであった．Rowe and Rutter (1990)の換算式を使ったところ，上記の2サンプルから推定した差応力は247 ±43 MPaと251 ±43 MPaとなった．これらの値を深度に換算すると20 kmをこえ，天津層の最小埋没深度として非現実的な値になってしまった．原因ははっきりしないが，換算式を作るための変形実験が比較的高温かつ高応力で行われているため，地下数kmという浅所には適用できないのかもしれない．今回，双晶密度による差応力の推定値が過大になった原因は，この推定方法が単一の応力ステージしか考慮していないことも可能性として考えられる．複数の応力ステージを経験した今回の試料では，密度から換算した差応力が過大評価されたと考えられる．

【引用文献】Kamiya et al., 2020, *Island Arc*, **29**, e12344. / Lacombe, 2010, *Oil Gas Sci.*, **65**, 809–838. /中嶋ほか, 1981, 鴨川地域の地質，1/5万地質図幅．/ 七山ほか，2016，茂原地域の地質，1/5万地質図幅．/ Rowe and Rutter, 1990, *J. Struct. Geol.*, **12**, 1–17. / Rybacki et al., 2013, *Tectonophysics*, **601**, 20–36. / Sakaguchi et al., 2011, *Geophys. Res. Lett.*, **28**, L09316. / 宇都宮・大井，2019，上総大原地域の地質，1/5万地質図幅.

Keywords: stress inversion, differential stress , burial depth, mechanical twin, Boso Peninsula

© 2021 Geological Society of Japan

Trench survey on the Chomonkyo Fault in northeastern Yamaguchi Prefecture (Part 1): Results of Trench Observations

Kotaro Aiyama[1], Akira Fukuchi[2], *Takahiro Iida[3]

1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Hanshin Consultants Co., Ltd., 3. Ceres, Inc.

１．はじめに

山口県北東部には，迫田-生雲断層と徳佐-地福断層がNE-SW方向に並走する（佐川ほか，2008）．山内・白石（2013）は，両活断層に挟まれた区間で，複数の沢・尾根の右屈曲等の断層変位地形をENE-WSW方向に連続的に確認し，新たな活断層として長門峡断層を抽出した．しかし，長門峡断層では断層露頭が確認されておらず，その性状や活動時期はほとんど明らかにされていない．我々は，断層破砕部性状を用いた断層活動性評価手法の確立を目的とした調査の一環として，山口市阿東生雲東分渡川の段丘上で長門峡断層を対象としたトレンチやボーリングを掘削した．本発表では主に，トレンチ調査で確認された複数の断層破砕帯や断層面，長門峡断層の活動時期について報告する．

２．断層破砕帯と未固結堆積物層の概要

トレンチ壁面下部に分布する基盤岩は溶結凝灰岩から構成され，北東壁面の中央部と南東部，南西壁面の中央部では，溶結凝灰岩起源の断層破砕帯が認められた（添付図）．北東および南西壁面の中央部に認められる破砕帯は，長門峡断層のトレース上に位置し，その幅は0.7～1.3 m程度である．また，破砕帯を構成する断層ガウジは4枚のガウジ層からなる層状構造を有し，その4枚のガウジ層はそれぞれ，淡灰色や灰色，淡緑灰色，緑灰色を示す．北東壁面の南東部に認められる破砕帯は幅3～20 cm程度であり，断層ガウジやプロトカタクレーサイトから構成される．断層ガウジは主に白色を呈し，層状構造を伴わない．

基盤岩の上位に分布する未固結堆積物層で^{14}C年代分析やOSL年代分析を実施した結果，Ⅰ層（段丘礫層）上部で129 ±18 ka，Ⅴ層（崖錐堆積物層）で6,945–6,797 cal BP，Ⅵ層（ローム層）で4,778–4,437 cal BPなどの年代値が得られた．また，Ⅱ層（湿地堆積物層）中には約13万年前に噴出したAso-3テフラ層が分布する．

３．断層面の性状

断層面は上述の断層破砕帯沿いや，その断層破砕帯の上位で認められる（添付図）．北東および南西壁面の中央部に認められる複数の断層面は，未固結堆積物層を剪断・変形させていることから，第四紀以降に活動したもの（本論では，活断層面と呼ぶ）であり，横ずれ断層に特徴的な花弁構造を6ヶ所で形成している．これらの活断層面のうち，南西壁面で最も連続するものは，現世土壌のⅦb層直下まで剪断する唯一の活断層面であることから，長門峡断層の最新滑り面であると判断した．この最新滑り面の走向・傾斜はN70～80°E・82°NW～78° SEである．さらに，北東壁面の下部から上部にかけて最も連続する活断層面は，その分布位置や分布形態（花弁構造を伴う），走向・傾斜（N71～72°E・70～86° NW）が，南西壁面の最新滑り面のそれらと酷似していることから，南西壁面の最新滑り面の延長部，つまり最新滑り面であると判断した．両壁面の最新滑り面上に分布する条線のレイク角は10° NEであり，長門峡断層が横ずれ主体の運動センスであることを示す．この運動センスは最新滑り面を含む活断層面が花弁構造を形成していることと矛盾しない．

北東壁面の南東部に認められる断層面はⅠ層に覆われ，上位の未固結堆積物層に変位を与えていないことから，第四紀以降に活動していない断層面（非活断層面）である可能性がある．この断層面は断層ガウジとプロトカタクレーサイトの境界に分布し，走向・傾斜はN42～50°E・50～53° SEである．また，断層面上の条線のレイク角は82° SWであることから，縦ずれ主体の運動センスを示し，長門峡断層の横ずれ主体の運動センスと一致しない．

４．活動時期と活動間隔

花弁構造を構成する活断層面と未固結堆積物層との剪断・被覆関係等からイベント層準を認定した結果，長門峡断層は約13万年前以降から約6,800年前以前の間に少なくとも2度活動した後，約4,500年前以降に2度活動したことが確認された．このことから，長門峡断層の約6,800年前以前の活動間隔は約4,500年前以降のそれに比べ長かった可能性があげられるが，本断層は横ずれ主体であるため，トレンチ壁面から全てのイベント

© 2021 Geological Society of Japan

を抽出できていない可能性がむしろ高いと考えられる．

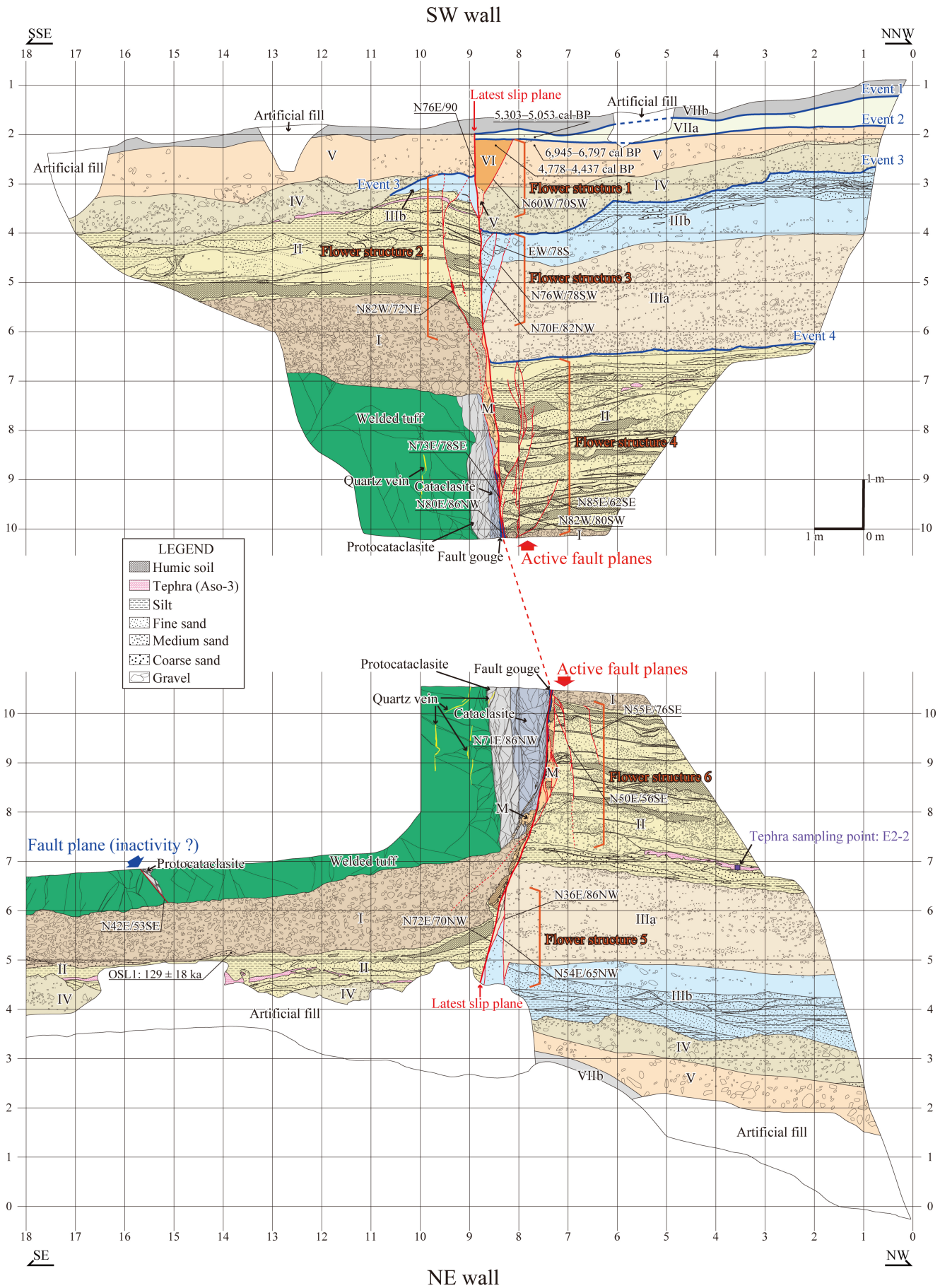
謝辞

本研究の内容は，^{14}C年代分析やOSL年代分析を除き，電力委託研究「破砕部性状等による断層の活動性評価手法の高度化に関する研究（フェーズ2）」によって行われた研究成果の一部である．ここに記して感謝の意を表する．

引用文献: 1) 佐川ほか，2008，応用地質，49，78-93．2) 山内・白石，2013，立命館地理学，25，15-35．

Keywords: Active fault, Trench survey, Chomonkyo Fault

© 2021 Geological Society of Japan



© 2021 Geological Society of Japan

Trench survey on the Chomonkyo Fault in northeastern Yamaguchi Prefecture (Part 2): SEM and STEM observations on fault planes

*Kotaro Aiyama[1], Kohei Hirano[2]

1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Ceres, Inc.

断層運動で変形した粘土鉱物粒子は定向配列を示すことが知られている（例えば，Janssen et al., 2012）．一方，熱水変質により新たに晶出され，断層運動で変形していない粘土鉱物粒子は面-端および端-端接触を伴うランダム配列を呈していた（Janssen et al., 2012, 2014）．したがって，ある断層面が活動を停止した後に熱水変質を被った場合，その断層面を構成する粒子の間（表面）にランダム配列を示す粘土鉱物粒子が新たに晶出する可能性がある．また，新たに晶出した粘土鉱物粒子は一部で断層面を横断しているかもしれない．

長門峡断層は山口県北東部に分布する活断層であり（山内・白石，2013），溶結凝灰岩主体の阿武層群（白亜紀後期）に発達する（今岡ほか，2019）．本断層の周辺では，現在の地温勾配は20 ℃/kmで29 ℃以上の温泉は存在しないが，白亜紀後期の火成活動で形成された蔵目喜銅山や，0.165 MaのK-Ar年代を示す第四紀火山が分布するため（高橋，1971; Furuyama, et al., 2002; 西村ほか，2012），白亜紀後期から中期更新世までの間には，熱水活動があった時期があると考えられる．

本研究では，長門峡断層で掘削されたトレンチ（相山ほか，2021）から，約4,500年前以降に活動した断層面（F1）と約13万年前の段丘礫層に覆われる断層面（F2）の試料をそれぞれ，断層ガウジとカタクレーサイトの境界から採取し，SEM・STEM観察等を実施した． SEM観察では，凍結乾燥処理した断層面上を観察した．またSTEM観察では，SEM観察した断層面から条線に平行・断層面に直交する方向で採取された薄片（F1，またはF2を伴う断層ガウジ試料）に含まれる粘土鉱物粒子の分布形態等を観察した．

F1：SEM観察の結果，F1上には条線が認められ，F1はナノサイズの板状粒子（粘土鉱物粒子）から構成されていた（図aおよびb）．STEM観察の結果，粘土鉱物粒子は顕著に定向配列し，P面を形成するものや，F1やR_1面に沿うものがある（図c～e）．以上のSEM・STEM観察では，F1を横断する鉱物粒子やランダム配列する粘土鉱物粒子は認められなかった．

F2：SEM観察の結果，F2上には条線が認められ，多くのランダム配列するイライト粒子と，いくつかの重晶石が見られた（図f～i）．重晶石周辺のF2はバルジ状に盛り上がり，クラックを伴う．また，F2は2 μm程度の粘土鉱物粒子から構成されていた．STEM観察の結果， F2は重晶石を中心に凸状を呈し，重晶石に横断されていたことから（図jおよびk），断層活動後（F2形成後）に重晶石が断層ガウジを押し広げながら晶出・成長することで，F2が凸状に変形し，クラックが形成されたと考えられる．

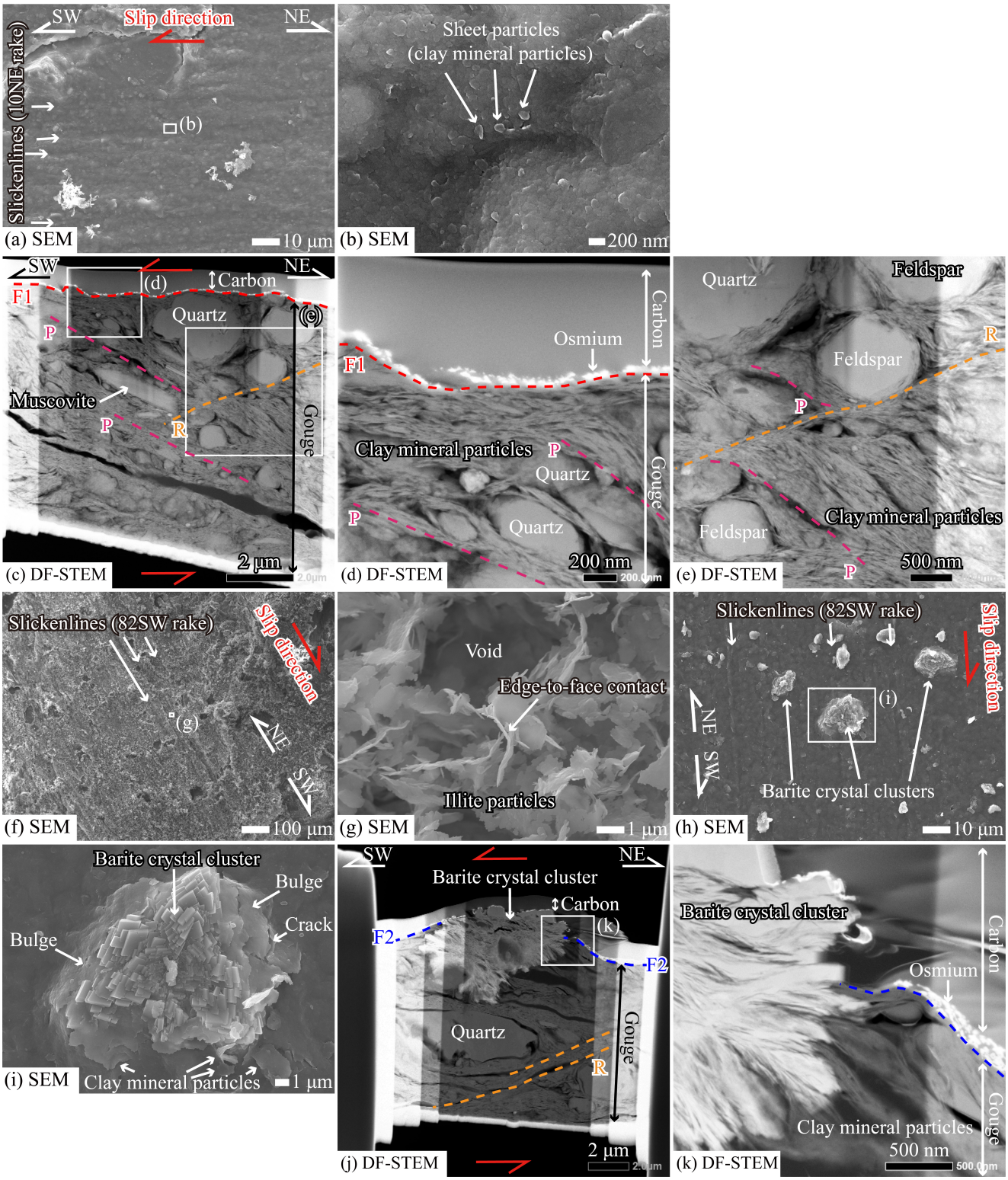
以上の結果から，F2は重晶石やランダム配列するイライト粒子が晶出して以降，活動していないと考えられる．また，トレンチ横で掘削されたボーリングコアに認められる熱水粘土脈中のイライトでK-Ar年代分析を実施した結果，73.2 ±1.6 Maの年代値が得られた．したがって，F2で認められたイライト粒子は約73 Maの熱水活動で晶出した可能性がある．さらに重晶石もまた，熱水鉱脈に産する場合があることから（例えば，黒田・諏訪，1983），その熱水活動に関連して晶出したのかもしれない．一方，近傍にあるF1も約73 Maの熱水変質を被っていた場合，その熱水変質以降（例えば，約4,500年前以降）の断層活動によりイライト粒子は定向配列し，重晶石は粉砕されて確認できなくなった可能性がある．

本研究のSEM分析結果は，電力委託研究「破砕部性状等による断層の活動性評価手法の高度化に関する研究（フェーズ2）」によって行われた研究成果の一部である．ここに記して感謝の意を表する．

引用文献　1) 相山ほか，2021，日本地質学会第128年学術大会講演要旨．2) Furuyama et al., 2002, Bull. Volcanol. Soc. Japan, 47, 481–487. 3) 今岡ほか，2019，地質学雑誌，125，529–553．4) Janssen et al., 2012, Jour. Struct. Geol., 43, 118–127. 5) Janssen et al., 2014, Jour. Struct. Geol., 65, 100–116. 6) 黒田・諏訪，1983，偏光顕微鏡と岩石鉱物　第2版，343p．7) 西村ほか，2012，山口県地質図　第3版（15万分の1）および同説明書，167p．8) 高橋，1971，温泉科学，22，39–46．9) 山内・白石，2013，立命館地理学，25，15-35.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Active fault, Inactive fault, SEM, STEM, fault plane



© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R22 [Regular Session]History of the Earth

[3ch201-10] R22 [Regular Session]History of the Earth

Chiar:Kento 1 Motomura, Yuki Tomimatsu, Anju Sakuma

Mon. Sep 6, 2021 8:00 AM - 11:30 AM ch2 (ch2)

[R22-O-1] Correlation of Cretaceous-Paleogene boundary interval in the circum-Australian basins and plateaus

*Junichiro Kuroda[1] （1. Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo）

8:00 AM - 8:15 AM

[R22-O-2] Continuous stratigraphy across the Triassic-Jurassic boundary in the Mino Belt, central Japan

*Katsuhito Soda[1], Yuki Tomomatsu[2], Daisuke Yamashita[3], Tetsuji Onoue[2], Minoru Ikehara[1] （1. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi Univ., 2. Dept. Earth. Planet. Sci., Kyushu Univ., 3. Koshiki Museum, Kagoshima Pref.）

8:15 AM - 8:30 AM

[R22-O-3] Marine osmium isotope record during the Carnian “pluvial episode” in the pelagic Panthalassa Ocean

*Yuki Tomimatsu[1], Tatsuo Nozaki[2], Honami sato[3], Yutaro Takaya[4], Jun-Ichi Kimura[2], Chang Qing[2], Hiroshi Naraoka[1], Tetsuji Onoue[1] （1. Kyushu University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. University of Padova, 4. Tokyo University）

8:30 AM - 8:45 AM

[R22-O-4] Enhanced continental weathering in the NW Tethys during the end-Triassic mass extinction

*Tetsuji Onoue[1], Jozef Michalík[2], Hideko Shirozu[3], Katsuyuki Yamashita[4], Misa Yamashita[4], Kohei Kawakami[4], Soichiro Kusaka[5], Katsuhito Soda[6] （1. Kyushu Univ., 2. Slovak Acad. Sci., 3. Fukuoka City Museum, 4. Okayama Univ., 5. Tokai Univ., 6. Kochi Univ.）

8:45 AM - 9:00 AM

[R22-O-5] Formation of modern iron formation: Formation mechanism of iron oxyhydroxide chimney mound and iron oxyhydroxide sediments --Satsuma Iwo-jima, Kagoshima Prefecture --

*Shoichi Kiyokawa[1,6,7], koki hori[1,2], naoya sakamoto[1,3], takashi kuratomi[1,4], Shusaku Goto[5], minoru Ikehara[6] （1. Kyushu Univ. Earth and Planetary Sciences, 2. OYO Corporation, 3. Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd., 4. Japan Petroleum Exploration Co., Ltd, 5. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 6. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 7. University of Johannesburg, Dept. Geology）

9:15 AM - 9:30 AM

[R22-O-6] Mapping of biomarkers in the 2.7 Ga sedimentary rocks by MALDI-TOFMS

*Hiroki Saito[1], Kosei Yamaguchi[2], Akira Iziri[3], Tomoyo Okumura[4] （1. Toho University Graduate School, 2. Toho University, 3. Kobe University, 4. Kochi University）

9:30 AM - 9:45 AM

[R22-O-7] [Invited]Life on the early Archean Earth – new insights from lenticular microfossils

*Kenichiro Sugitani[1] （1. Nagoya University）

9:45 AM - 10:15 AM

©The Geological Society of Japan

[R22-O-8] Reconstruction of East Antarctic Ice Sheet changes since the Last Interglacial period using GIA modeling and sediments analysis

*Takeshige Ishiwa[1], Yusuke Suganuma[1], Jun'ichi Okuno[1], Yuki Tokuda[2], Kota Katsuki[3], Toru Tamura[4], Takuya Itaki[4], Satoshi Sasaki[3] （1. National Institute of Polar Research, 2. Tottori University of Environmental Studies, 3. Shimane University, 4. Geological Survey of Japan, AIST）

10:30 AM - 10:45 AM

[R22-O-9] Variations of Terrestrial and Marine Organic Burial Rates during Phanerozoic and Their Relationships with Atmospheric Oxygen Level

*Kazuhiro Aoyama[1], Eiichi Tajika[1], Kazumi Ozaki[2] （1. Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 2. Department of Environmental Science, Toho University）

10:45 AM - 11:00 AM

[R22-O-10] [Invited]Decoding the History of Surface Environment on Earth and Mars

*Hitoshi Hasegawa[1] （1. Faculty of Science and Technology, Kochi University）

11:00 AM - 11:30 AM

©The Geological Society of Japan

Correlation of Cretaceous-Paleogene boundary interval in the circum-Australian basins and plateaus

*Junichiro Kuroda[1]

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, the University of Tokyo

白亜紀-古第三紀(K-Pg)境界は，チクシュルブ小惑星衝突とそれに由来する白金族元素の地球規模での堆積で特徴づけられる．白金族元素のうち，特にイリジウムやオスミウムの濃度とオスミウム放射性起源同位体組成は世界各地のK-Pg層の認定に重要な役割を果たし，そのパターンは堆積層の連続性を評価する指標にもなる．K-Pg境界に限って．これまで，南極海や南大西洋などではオスミウム同位体記録を基にK-Pg境界層の連続性が示されてきた．本研究では，オーストラリア東方沖Lord Howe Rise の Site 208 と南西沖 Mentelle Basin の Site U1614C の掘削コアで報告されている K-Pg 境界層のオスミウム同位体記録を基に，その連続性や岩相変化との関連について議論する．また，他のサイトとの対比を行い，南半球高緯度，特に東ゴンドワナ周辺におけるK-Pg層の特徴を検討する．
DSDP Site 208 は Lord Howe Rise 北部に位置し，最上部白亜系までが掘削回収された．厚いチョークに挟まれる厚さ約1mの珪質堆積物の基底部(海底下576.8m)がK-Pg境界であることがナノ化石層序から明らかになっている．この層準ではオスミウム同位体比の一時的な低下が認められるものの，その濃度は低く，K-Pg 境界層はハイエイタスで欠如していると思われる．それでもハイエイタスは短期的で，すぐに珪質堆積物の堆積が始まる．
Site U1514 は Mentelle Basin の深部に位置する．掘削されたコアは新生代と白亜紀の堆積物からなる．海底下393.5 m にK-Pg境界が位置することがナノ化石層序から明らかになった．この層準は，後期白亜紀マーストリヒチアンのチョークと暁新世ダニアンの粘土岩の境界に位置し，激しい生物擾乱で特徴づけられる．この層準では明瞭なイリジウムやオスミウム濃度の低下が認められ，オスミウム同位体比もまた明瞭な低下を示す．この白金族元素の地球化学的特徴はK-Pg境界の特徴をほぼ完全に有しており，K-Pg境界層が連続的に堆積したことが示された．

Keywords: Cretaceous/Paleogene boundary, Os isotope, Eastern Gondowana

© 2021 Geological Society of Japan

Continuous stratigraphy across the Triassic-Jurassic boundary in the Mino Belt, central Japan

*Katsuhito Soda[1], Yuki Tomomatsu[2], Daisuke Yamashita[3], Tetsuji Onoue[2], Minoru Ikehara[1]

1. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi Univ., 2. Dept. Earth. Planet. Sci., Kyushu Univ., 3. Koshiki Museum, Kagoshima Pref.

三畳紀/ジュラ紀（T/J）境界は顕生累代における五大大量絶滅の1つで，ジュラ紀型のアンモナイトや放散虫の出現などによって特徴付けられ，パンサラッサ海遠洋深海域で堆積した美濃帯の層状チャートでも認められる．美濃帯勝山セクションではT/J境界層の年代値を基にしたミランコビッチサイクル層序が構築されるなど（Ikeda and Tada, 2014），その層序学的枠組みはほとんど確立されていると認識されてきた．しかし，勝山セクションの微化石–古地磁気層序の結果はサイクル層序の年代値とは合致せず，例えばT/J境界層付近において構造変形による数十万年以上の層序の欠損が近年指摘されている（Yamashita et al., 2018）．サイクル層序は数万年オーダーの高い解像度を持つが，堆積層の連続性や計算上の仮定に依存するため低い年代決定精度を示す場合がある（Ogg et al., 2014）．そのためサイクル層序の年代決定精度を向上させるには，美濃帯のT/J境界層における連続層序の確立が不可欠である．そこで本研究では，これまでに検討されていないセクションを調査対象にすることで，パンサラッサ海遠洋深海域でのT/J境界層の層序を再検討し，より正確な時間軸と環境変動の復元を目的とした．

研究対象は愛知県から岐阜県にかけて分布する美濃帯上麻生ユニットである．本研究では未検討である栗栖鉱山セクションと令和2年7月の豪雨災害で出現した坂祝町取組のセクションについて野外調査を行った．調査では単層ごとに実測柱状図を作成し，チャートと頁岩試料を採取した．年代決定のためにフッ酸処理による放散虫・コノドント化石の抽出を行った．主要元素に関しては加圧ペレットを作成し，蛍光X線分析装置を用いて測定を行なった．微量元素に関しては誘導結合プラズマ質量分析装置を用いて分析を行った．

研究の結果，採取した試料からは三畳紀末期を示すコノドント化石のほか，ジュラ系基底を特徴付ける放散虫*Pantanellium tanuense*が産出し，その他に*Pantanellium browni*, *Praehexasaturnalis tetraradiatus*, *Amuria impensa*なども確認できた．規格化したMnの存在度に関しては先行研究（Fujisaki et al., 2020）とは異なり，最上部三畳系では1桁程度低いため，三畳紀末期のパンサラッサ海遠洋域において還元的な海洋環境が発達していたことが分かった．Mgに関しては先行研究（Ikeda et al., 2015）のように下部ジュラ系で高くなることから，CAMPのような苦鉄質な物質の供給が想定される．ただしFeに関しては明瞭な差異は認められず，先行研究で指摘されているような海洋酸性化（Abrajevitch et al., 2013; Ikeda et al., 2015）の影響については現時点では不明である．Crに関しては先行研究（Fujisaki et al., 2020）では見られない200–500 ppm含む層準が複数検出されたが，強還元環境に特徴的な元素（MoやUなど）の濃集を伴わないことから，濃集メカニズムとして例えば巨大火成岩岩石区や隕石衝突クレーターの形成と関連づけることができる可能性がある．今後は上記イベントに関して本格的な議論を行うため，より詳細で高解像度な微化石層序に加えて，白金族元素などの同位体地球化学分析などを行っていく予定である．

引用文献

Abrajevitch et al., 2013, *Geology*, **5**, 375–383.
Fujisaki et al., 2020, *ESR*, **204**, 103173.
Ikeda and Tada, 2014, *EPSL*, **399**, 30–43.
Ikeda et al., 2015, *Palaeo3*, **440**, 725–733.
Ogg et al., 2014, *Albertiana*, **41**, 3–30.
Yamashita et al., 2018, *Paleontl. Res.*, **22**, 167–197.

© 2021 Geological Society of Japan

Marine osmium isotope record during the Carnian “pluvial episode” in the pelagic Panthalassa Ocean

*Yuki Tomimatsu[1], Tatsuo Nozaki[2], Honami sato[3], Yutaro Takaya[4], Jun-Ichi Kimura[2], Chang Qing[2], Hiroshi Naraoka[1], Tetsuji Onoue[1]

1. Kyushu University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. University of Padova, 4. Tokyo University

三畳紀は全体を通じて高温で乾燥気候であったことが知られているが，約2億3200万年前の後期三畳紀カーニアン階では，降水量が突如激増し，200万年にわたって汎世界的な湿潤化が起こったことが知られている．このカーニアン多雨事象（CPE；Carnian Pluvial Episode）は前期カーニアン（ジュリアン）の最後期から後期カーニアン（チュバリアン）の初頭にかけて発生し，堆積層の明確な変化や海生・陸上生物の絶滅と進化的進化が起こっていたことが知られている(Simms and Ruffell, 1989)． CPE時には複数回の特徴的な有機炭素同位体比の負異常が報告されており，これらを引き起こした要因として，北米西部に分布するランゲリア洪水玄武岩の噴出が提案されてきた．しかしランゲリア洪水玄武岩の年代測定の不確実性の幅は100万年以上に上ることから，ランゲリアの火山活動と気候変動が同時期に起こったと示すことが難しいと指摘されてきた．そこで本研究では，CPEの原因として提案されている火山活動と気候変動の関連性について明らかにすることを目的として，岐阜県東部坂祝町に分布する美濃帯上部三畳系層状チャート（セクションN-O）を対象に，詳細な微化石層序と有機炭素同位体層序による高精度な年代決定を行い，XRFによる主要元素濃度分析，ICP-QMSによる微量元素濃度分析，MC-ICP-MSによるオスミウム同位体比の分析を行った．

研究の結果，高分解能の微化石層序およびオスミウム同位体比分析により，以下のような特徴的なオスミウム同位比（$^{187}Os/^{188}Os_i$）の変動が認められた．まず(1)前期ジュリアンにおいて緩やかに同位体比が減少し（1.02から0.356），(2)後期ジュリアンを通じて低い同位体比（0.231から0.474）を示す期間が継続し，（3）ジュリアンの最後期では急激な同位体比の増加（0.282から0.627）が認められた．さらに微量元素濃度分析の結果，ジュリアン末のオスミウム同位体火が最も低下する層準（NCL1）付近において，酸化還元環境に鋭敏な元素であるバナジウムとウランの異常濃集が認められた．

後期ジュリアンにわたって低い同位体比を示す期間が続いたことは，大規模な火山活動に由来する低い同位体比を持つオスミウムが海洋に供給されたことを反映していると考えられる．ジュリアンでは，パンサラサ海におけるランゲリア洪水玄武岩の大規模な噴出や，西南日本のジュラ紀付加体である三宝山帯，ロシアのタウハ帯を構成する海洋島玄武岩の噴出が知られている．これら同一年代にパンサラサ海で噴出した玄武岩は，ランゲリア火成岩岩石区（LIP）を形成していた可能性があり，ジュリアンのパンサラサ海におけるオスミウム同位体比の長期間の低下をもたらしたと考えられる．またコノドント生層序と有機炭素同位体層序を用いた年代決定により，後期ジュリアンの期間においてCPEに特徴的な有機炭素同位体比の負異常が複数認められたことから，ランゲリアLIPの火山活動が活発な時期とCPEの期間が一致することが明らかとなった．さらに微量元素濃度分析の結果，ジュリアン末において酸化還元環境に鋭敏な元素であるバナジウムとウランの異常濃集が認められており，ジュリアン最後期の火山活動が最も活発な時期に，パンサラサ海海洋底にて貧酸素～無酸素化が発達した可能性が示された．ジュリアン末ではコノドントやアンモナイトなどの海生生物の絶滅が知られており，パンサラサ海における還元的海洋環境への変化の原因や絶滅との関連性について，詳細な検討を進める必要がある．

引用文献

Simms, M.J., Ruffell, A.H., 1989, Synchroneity of climatic change and extinctions in the Late Triassic. *Geology* 17, 265–268.

Keywords: Osmium isotopes, Chert, Carnian Pluvial Episode, Wrangellia Flood Basalt, Mino Belt

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

Enhanced continental weathering in the NW Tethys during the end-Triassic mass extinction

*Tetsuji Onoue[1], Jozef Michalík[2], Hideko Shirozu[3], Katsuyuki Yamashita[4], Misa Yamashita[4], Kohei Kawakami[4], Soichiro Kusaka[5], Katsuhito Soda[6]

1. Kyushu Univ., 2. Slovak Acad. Sci., 3. Fukuoka City Museum, 4. Okayama Univ., 5. Tokai Univ., 6. Kochi Univ.

今からおよそ2億140万年前に起こった三畳紀末大量絶滅は，中央大西洋火成岩岩石区（CAMP）における大規模な火山活動が引き金になって発生したと考えられている（Marzoli et al., 1999; Davies et al., 2017）．三畳紀末大量絶滅は，低～中緯度の浅海・底生生物において特に高い絶滅率を持つことが知られており（Kiessling et al., 2007），その原因のひとつとして海洋無酸素事変や有害元素の海洋流出などが提案されている．テチス海北西部の浅海性堆積物に含まれる花粉化石や煤の研究からは，絶滅期間に大規模な森林火災と土壌流出が起こった可能性が指摘されており，土壌流出と海洋無酸素事変との関連性が議論されている（van de Schootbrugge et al., 2020）．しかし土壌流出を示す花粉化石の記録は，現時点ではデンマークとドイツの堆積盆堆積物に限られており，この時期の環境変動や大量絶滅との関係については不明な点が多い．そこで本研究では，後期三畳紀レーティアンから前期ジュラ紀ヘッタンギアンまでの連続した層序が観察されるスロバキアKardolínaセクション（Michalík et al., 2007）の炭酸塩岩-砕屑岩層について，ストロンチウム・ネオジム・炭素同位体比分析および主要・微量元素分析を行い，テチス海北西部における当時の環境変動を明らかにすることを目的として研究を行った．　Kardolínaセクションは，スロバキア北部，Tatra山地の西側斜面に位置し，主にレーティアンFatra層の炭酸塩岩-砕屑岩層と，ヘッタンギアンKopieniec層の砕屑岩層から構成される．セクションの全層厚は約100mである．Fatra層の有孔虫化石群集から，当時の堆積環境は浅海域と考えられている．本研究の薄片観察の結果からも，Fatra層は浅海性生物遺骸やウーイドを含むwackestoneからgrainstoneにより構成され，浅海性の堆積物であることが明らかになっている．　炭酸塩岩の炭素同位体比分析の結果，Fatra層最上部で2度の炭素同位体比の負の変動（NCIE）が確認された．先行研究による花粉化石の検討から，これらの負の変動は，レーティアン最末期の*Ricciisporites–Polydiisporites*花粉化石帯で起こったことが明らかになっている．そのため，これら2度のNCIEは，テチス海北西部で報告されている"precursor"および"initial" NCIEイベントに比較されると考えられる．淡水続成作用やドロマイト化作用の影響を受けていない炭酸塩岩についてストロンチウム（Sr）同位体比分析を行ったところ，precursorイベントより上位層準において，Sr同位体比の急激な上昇が認められた．Fatra層のネオジム同位体比分析の結果からは，テチス海北西部のボヘミア地塊がFatra層の陸源砕屑物の供給源である可能性が示唆された．そのため，precursorイベントより上位にみられるSr同位体比の上昇は，ボヘミア地塊の大陸風化が，レーティアン最末期に急激に増加したことを示していると考えられる．本研究では，炭酸塩岩の主要元素濃度に対する多変量解析からも，大陸の化学風化がprecursorイベント以降に促進された結果が得られており，上記のSr同位体比分析の結果を支持している．また本研究からは，このprecursorイベント以降の大陸風化の増加にともなって，特徴的に鉄質ウーイドが形成される堆積環境に移行したことが明らかになった．炭酸塩岩中に含まれる酸化還元に鋭敏なバナジウムやクロム濃度は，鉄質ウーイドが還元的海洋環境下において形成されたことを示唆している．以上の結果から，テチス北西部においては，レーティアン最末期の大陸風化の増加に伴い浅海域が貧酸素～無酸素環境に変化した可能性があり，このような海洋環境の変化が三畳紀末大量絶滅の要因のひとつとなったと考えられる．

引用文献　Davies et al., 2017, *Nat Commun*, 8, 15596; Kiessling et al,. 2007, *Palaeogr Palaeoclimat Palaeoecol*, 244, 71-88; Marzoli et al., 1999, Science, 284, 616-618; Michalík et al,. 2007, *Palaeogr Palaeoclimat Palaeoecol*, 244, 71-88; van de Schootbrugge et al., 2000, Earth-Sci Rev, 210, 103332.

Keywords: Triassic, Mass extinction, Slovakia, Tethys Ocean

© 2021 Geological Society of Japan

Formation of modern iron formation: Formation mechanism of iron oxyhydroxide chimney mound and iron oxyhydroxide sediments --Satsuma Iwo-jima, Kagoshima Prefecture --

*Shoichi Kiyokawa[1,6,7], koki hori[1,2], naoya sakamoto[1,3], takashi kuratomi[1,4], Shusaku Goto[5], minoru Ikehara[6]

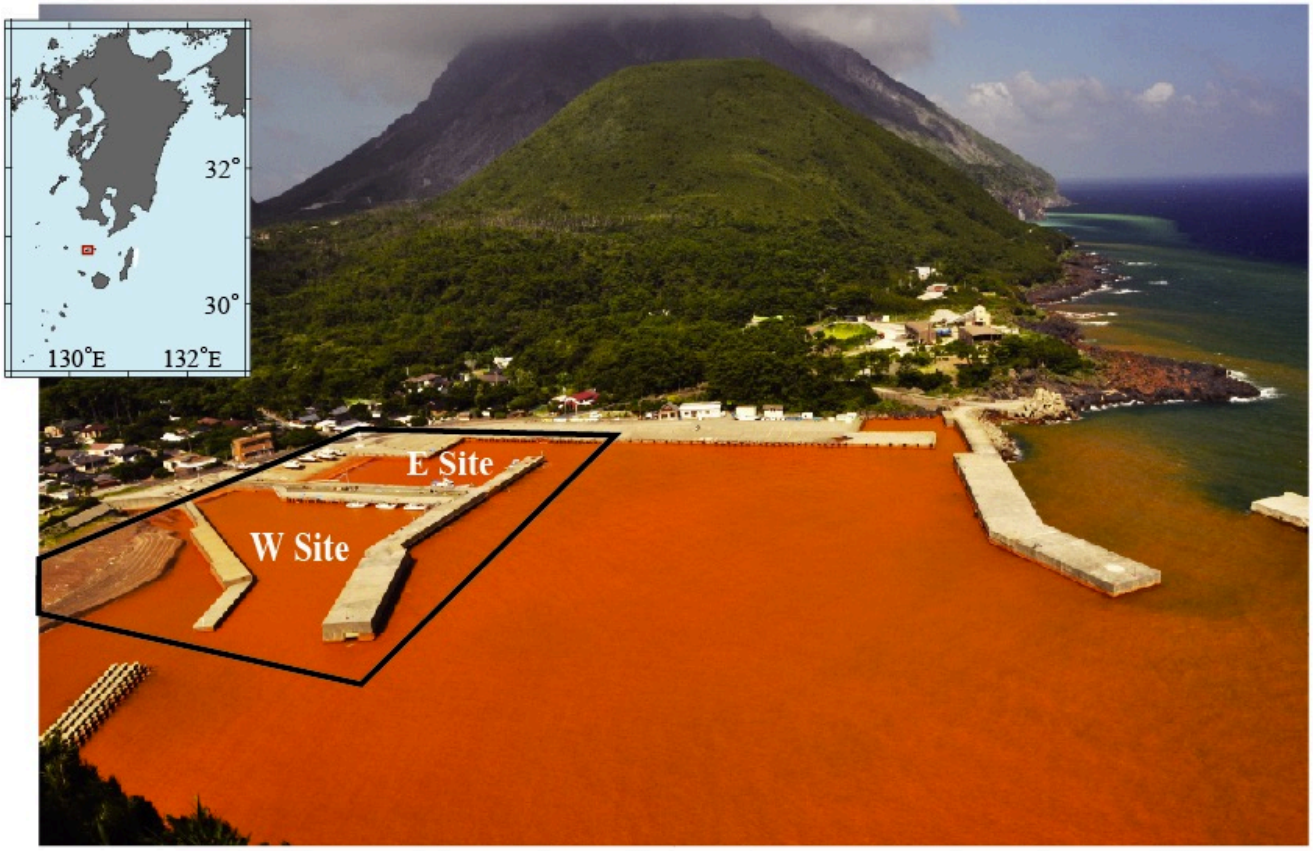
1. Kyushu Univ. Earth and Planetary Sciences, 2. OYO Corporation, 3. Kawasaki Geological Engineering Co., Ltd., 4. Japan Petroleum Exploration Co., Ltd, 5. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 6. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 7. University of Johannesburg, Dept. Geology

薩摩硫黄島は九州南沖約50 kmに位置する火山島であり，鬼界カルデラの北西縁に位置する．島の周辺海域には酸性熱水が流出しており，海水と混合することで褐色～乳白色の海水がみられる．特に島南部の長浜湾は溶存鉄や遊離CO2に富む，pH 4.4 ~ 5.5程度の弱酸性の熱水 (四ヶ浦・田崎, 2001；坂元, 2015) が供給され，析出した鉄酸化物が海底に堆積し，海底湧水部分では水酸化鉄チムニーの存在が明らかになってきた（e.g., Kiyokawa and Ueshiba, 2015, Kiyokawa et al., 2021）．
本発表では，長浜湾における熱水湧出場の特定やチムニーマウンドおよび堆積層における鉄の酸化・沈殿プロセスについて，水酸化鉄の形成・沈殿・沈殿後の続成最初期状況について検討を行った．コア試料は潜水により取得し，堆積物トラップは半年ごとに追加しながら，連続9xrd年間の試料を取得しており，実際の地層に残される堆積層との比較を行っている．取得した試料は，すぐに高知大学海洋総合コアセンターに運び，冷蔵して保存し，記載，CTスキャン，化学分析を行っている．海水の分析: ICP-OES, 結晶構造:XRD（ともに九州大学）を使用した．
海底湧出場所の特定のために，湾内の船付き場（East and West sites）および海岸線における赤外線サーモグラフィドローン探査を行った．結果，今まで明らかでなかった湾内の複数箇所で熱水噴出源が特定され，弱酸性熱水が海水面に広がる様子が見られた．また水質の測定では，海水面付近付近では相対的に低いpH，ORP，EC値と高い濁度を示し，特にpHと濁度値は強い相関を示し，表層付近でpHは最小で濁度は最大であった．海中カメラの水塊画像においても，表層では濁りが強く，海底付近（pH≈8）では析出物の凝集が進み，濁りが弱くなっている．
Eastサイトでは，チムニーマウンドが形成されており，比較的古いマウンドについてCTスキャン，薄片観察，電顕観察，微生物(DNA)解析などを行った．マウンドには，細いパイプ上の熱水の抜け後がみられ，パイプはバクテリア形体をした水酸化鉄で形成されていた．水酸化鉄部分は，鉄還元バクテリアに特有のツイストをした組織を持ち，*Zetaproteobacteria* (*Mariprofundus ferrooxydans* : Hoshino et al., 2016)である． 一方，Westサイトでは．1-2mの水酸化鉄沈殿層が確認されている．本層の水酸化鉄には，バクテリアの痕跡がほとんどなく，水酸化鉄コロイドや火山性細粒堆積物が互層をする．
海底表層コア試料(約40 cm：2020年10月取得)について間隙水元素測定を行った結果，海底表層から下に向かってpHの値は海水に近い7.5から熱水に近い5.8程度まで下がり，FeやMn，Siといった元素の濃度が増加した．さらに別の海底コア試料（2020年取得）から採取した試料のXRDを行った結果，堆積物上部(10~20 cmbsf)からはゲーサイト，それ以深からはシデライトのピークが得られた．このシデライトはSEM観察においてこのシデライトは菱形の自形を表していた． つまり，Westサイトでは水塊表層付近では鉄の無機酸化が生じ，まず，水酸化鉄の初生物やゲーサイトの前駆体であるフェリハイドライトとして個体析出する．海水との混合により生じるpHの上昇は，沈殿途中の水酸化鉄の凝集を強く支配していると考えられる．沈殿後，表層付近で一部はゲーサイトに変化し，20-40cmほどから非晶質の水酸化鉄堆積物の再還元・もしくは2価鉄を含む温泉水によりシデライトの形成が考えられる．シデライト結晶は堆積物内でより成長していると考えられる．これは，太古代で見られるシデライトBIFにおいても，堆積直後にはすでに形成可能であることを示唆している．
このように，薩摩硫黄島長浜湾では，2価鉄を含む温泉水の流出により，１）微生物が寄与した水酸化鉄チム

© 2021 Geological Society of Japan

ニーの形成，２）化学的な水酸化鉄形成がみられる．また，海岸線には，水酸化鉄をまとった砂（グラニュール）が広がっている．長浜湾の鉄沈殿物は，太古代/原生代のBIF, GIF, 顕生代の鉄層などの堆積場を考える上で重要な化学的・生物学的なヒントが観察される．

Keywords: Archean, Banded Iron Formation, Iron stone, Satsuma Iwo-jima



© 2021 Geological Society of Japan

Mapping of biomarkers in the 2.7 Ga sedimentary rocks by MALDI-TOFMS

*Hiroki Saito[1], Kosei Yamaguchi[2], Akira Iziri[3], Tomoyo Okumura[4]

1. Toho University Graduate School, 2. Toho University, 3. Kobe University, 4. Kochi University

酸素発生型光合成はいつ始まったのか？　初期地球の大気ー海洋ー生命システムの進化において極めて重要であるこの疑問の回答は、まだ得られていない。シアノバクテリアとされる微化石様構造を持つ炭質物は約35億年前のチャートから発見されているが（例：Schopf, 1993）、その起源には疑問が呈されている（例：Brasier et al., 2002）。約27億年前の黒色頁岩よりシアノバクテリア起源とされるバイオマーカー(2α-メチルホパン)が報告されているが(Brocks et al., 1999)、これは後の時代の混入（石油の流入や掘削や貯蔵中に混入）である可能性が示唆された（Rasmussen et al., 2008; Brocks, 2011）こともあり、酸素発生型光合成バクテリアの化石記録については議論が続いている（Sessions et al., 2009）。従来のバイオマーカー分析では、岩石粉末から有機溶媒で有機物を抽出するために岩石中の位置情報が失われるので、それが堆積時の微生物の死骸由来（現地性）か、堆積後に石油等の流体として導入された汚染由来か、あるいは試料採取時・保管時・分析時による汚染由来かが、判断ができない。そこで本研究では、医療用に開発された「イメージング質量分析」（iMscope; 原理はMALDI-TOFMS）という新手法を初めて地質試料に応用し、バイオマーカーの位置情報を伴う「その場測定」を行い、その起源を探ることを目指す。本研究では、標準試料2α+2β-,17α(H)-21β(H)-2-Methylhopane、オーストラリア北西部で掘削された約27億年前の黒色頁岩2種（WRL1、RHDH2A）、同地域Tumbiana 層で掘削された約27億年前のストロマトライト炭酸塩岩（ABDP＃10）、を用いた。作成した薄片試料から岩石の薄膜を剥離して測定用のステンレス板に張り付け、海洋研究開発機構高知コア研究所のiMscopeを用いて、バイオマーカーの二次元マッピングを行った。まずは、標準試料がきちんとマッピングできるかどうかを確認するための測定を行った。標準試料をメタノールで溶いた400pmol/μLの標準溶液を調製し、黒色頁岩の薄片を張り付けたステンレス板の薄片部分と金属部分の直径1mm程度の微小領域を凹ませ、それぞれのクレーター様の穴に標準試料溶液を滴下した。薄片部分では標準試料を滴下した周辺部を、金属部分では目視により確認した標準試料の塗布の有無が顕著な範囲を、それぞれ測定した。その結果、上記の薄片部分と金属部分の両方において、標準試料を塗布した部分にのみm/z=368.4のピークが検出され、２メチルホパンのフラグメントはm/z=368.4をメインとして検出されることがわかった。先行研究ではホパンのフラグメントはm/z=191.2とされてきたが、今回の標準試料測定ではこのm/z=191.2のピークを検出することはできなかった。これは、本研究のiMScopeと従来法のGC-MSのイオン化の方法の違いによるものと考えられる。本研究は、MALDI-TOFMSによりシアノバクテリアのバイオマーカーとされる２メチルホパンを初めて検出した例となる。　他の掘削試料では、約27億年前の浅海性黒色頁岩RHDH2A、深海性黒色頁岩WRL1、含ストロマトライト炭酸塩岩ABDP#10の複数の試料において、m/z=368.4が初生的な堆積構造に沿う局所的な分布を示していることを確認することができた。このことは、２メチルホパンが堆積構造に沿う微生物（の死骸）の局所的な分布をしていることを反映し、かつ、後の時代の混入ではなく堆積時に集積したものであることを強く示唆する。

ReferencesBrasier, M.D. et al. (2002) Nature 416, 76–81.Brocks, J.J. et al. (1999) Science 285, 1033-1036. Brocks, J.J. (2011) Geochim. Cosmochim. Acta 75, 3196-3213.Rasmussen, B. et al. (2008) Nature 455, 1101-1104.Schopf, J.W (1993) Science 260, 640-646. Sessions, A.L. et al. (2009) Current Biol. 19, R567-R574.

Keywords: biomarker, black shale, cyanobacteria, MALDI-TOFMS

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Life on the early Archean Earth –new insights from lenticular microfossils

*Kenichiro Sugitani[1]

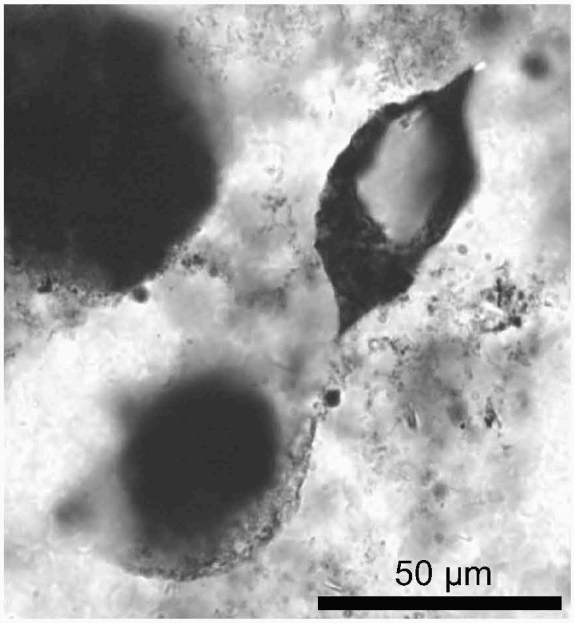
1. Nagoya University

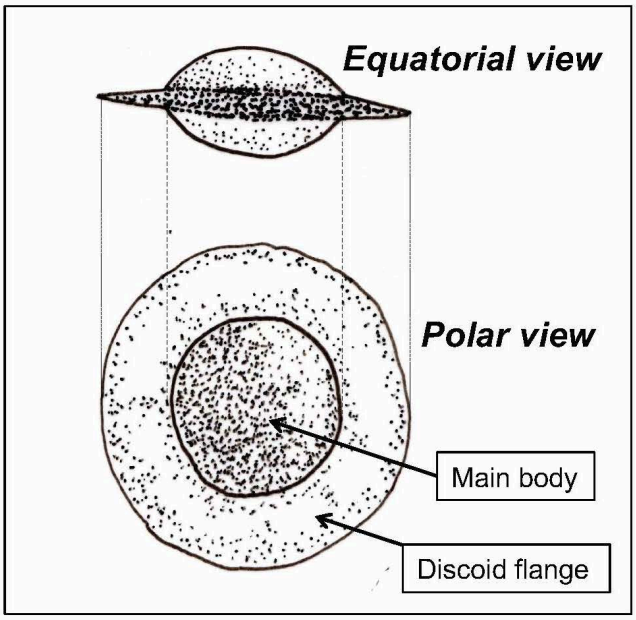
Following several controversies, there now exist sufficient lines of evidence regarding life on the early Archean Earth (>3.0 Ga), which include isotopic and molecular signatures, biologically mediated sedimentary structures (stromatolite), and cellularly preserved microfossils. The early Archean cellularly-preserved microfossils are morphologically diverse, including septate and non-septate filaments, small to large (<1 to 60 μm in diameter) colonial spheres, and lenses (20 to 100 μm across). Among them, the lenses (lenticular microfossils) discovered from the 3.0 Ga Farrel Quartzite and the 3.4 Ga Strelley Pool Formation in the Pilbara Craton, Western Australia, and the 3.4 Ga Kromberg Formation in the Kaapvaal Craton, South Africa, are particularly important. They are composed of a central spheroid body surrounded by thin discoid flange. Although the biogenicity of lenticular structures has long been subjected to skepticism, it has currently been established and widely accepted through multidisciplinary studies performed by over 20 researchers from 6 countries. The next research target is to elucidate the ecology and biological affinity of lenticular microfossils. Our recent studies have shown that lenticular microfossils represent autotrophic and planktonic organisms that had acid-resistant robust envelopes and, if not all, an inner alveolar structure; they can be statistically classified into several groups based on minor morphological variations; and they reproduced by multiple fissions in addition to simple binary fissions. It is likely that lenticular microfossils were photoautotrophs, although it is still equivocal whether they produced oxygen or not. Their robust cell wall might be a consequence of adaptation to the harsh Archean environment, including e.g., violent volcanic activity and repeated asteroid impacts, although the high density of the cell wall had potentially reduced their planktonic habit. Lenticular microorganisms might have had enlarged cell volume and evolved flanges in order to counterbalance this disadvantage. Although comprehensive information about lenticular microfossils remains unavailable, they provide invaluable insights into the ecology and evolution of life on the early Archean Earth and potentially other planets such as Mars.

Keywords: Archean, lenticular microfossils, photoautotrophs, Strelley Pool Formation, Farrel Quartzite , Pilbara Craton

© 2021 Geological Society of Japan

Lenticular microfossils





© 2021 Geological Society of Japan

Reconstruction of East Antarctic Ice Sheet changes since the Last Interglacial period using GIA modeling and sediments analysis

*Takeshige Ishiwa[1], Yusuke Suganuma[1], Jun'ichi Okuno[1], Yuki Tokuda[2], Kota Katsuki[3], Toru Tamura[4], Takuya Itaki[4], Satoshi Sasaki[3]

1. National Institute of Polar Research, 2. Tottori University of Environmental Studies, 3. Shimane University, 4. Geological Survey of Japan, AIST

将来の地球温暖化が危惧されている現在，全球的な気候変動に対する南極氷床の応答を理解することは学術的にも社会的にも喫緊の課題である．東南極氷床は数十メートルの海水準上昇に寄与する淡水を保持しており，地質データからは過去の温暖期において部分的に融解していた可能性が示唆されている（Wilson et al., 2018）．一方，衛星をはじめとする観測データは過去数十年に限られるため，数万～数百年の時間スケールの氷床変動を理解するには，モデルシミュレーションおよび地質データから過去の南極氷床変動史を復元することが不可欠である．
過去の南極氷床変動の復元には海水準データが重要な役割を果たす．南極域の海水準データは氷床変動に伴う全球的な海水量変化と氷床・海水をはじめとする表層荷重による固体地球変形の効果（GIA: Glacial Isostatic Adjustments）を含んでおり，GIAモデルと地質データの比較により氷床変動史に制約が可能である．しかし，最終間氷期から現在における東南極氷床変動史は，時空間的な氷床変動記録の欠如により十分に復元されていない．したがって，本研究はGIAモデルと堆積物試料分析により最終間氷期以降の東南極氷床変動を復元し，その変動メカニズムの解明につなげることを目的とした．
第61次日本南極地域観測隊では，東南極・リュッツォ・ホルム湾の露岩域であるラングホブデとオングル島での地形調査を実施し，陸上・湖沼・海洋堆積物をはじめとする地質試料を採取した．これらの試料は過去の海水準・氷床変動を記録していると期待され，GIAモデルを組み合わせることで過去の東南極氷床変動史の制約が可能である．本発表では，採取した堆積物試料分析の予察的結果を報告する．また，リュッツォ・ホルム湾で既に報告されている海水準変動記録（Miura et al., 1998）を再評価し，GIAモデルにより氷期の東南極氷床変動史を制約した研究成果についても発表する（Ishiwa et al., 2021）．

Keywords: Holocene, Last Glacial Period, Antarctica, GIA modeling, Sea-level change

© 2021 Geological Society of Japan

Variations of Terrestrial and Marine Organic Burial Rates during Phanerozoic and Their Relationships with Atmospheric Oxygen Level

*Kazuhiro Aoyama[1], Eiichi Tajika[1], Kazumi Ozaki[2]

1. Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 2. Department of Environmental Science, Toho University

大気中の酸素濃度は，顕生代を通じて大きく変動し，節足動物の巨大化や恐竜の繁栄など，生物の変遷にも影響を与えてきたと考えられている[1]．顕生代初期まで，生物による基礎生産や有機物の埋没の大部分は，海洋域のみで生じていたといえる．オルドビス紀からシルル紀にかけて植物が陸上に進出し，それによって陸域においても基礎生産や有機物の埋没が大規模に生じるようになったことで，現在のように，有機物の生産と埋没が，陸と海で生じるようになったと考えられる．有機物の埋没は大気酸素の正味の供給過程であるため，陸と海における埋没の変動は大気酸素濃度の変遷に大きく影響を与えたはずである．しかし，海水の炭素及び硫黄同位体比データを用いた従来の物質循環モデル研究において，陸域及び海洋域を区別した有機物埋没率の変動やそれらの酸素濃度への影響は推定されてこなかった．

そこで本研究では，炭素・硫黄循環結合モデルGEOCARBSULF[2, 3, 4, 5, 6]を改良し，有機物埋没率を陸域と海洋域に分離することでこの問題について検討を行った．富酸素海洋環境には硫酸イオンが豊富に含まれる一方，陸域淡水環境には硫酸イオンはほとんど含まれない．このため，堆積物中の有機炭素と黄鉄鉱硫黄の比 (C/S比) には大きな違いが生じる[7]．この堆積環境によるC/S比の違い及び，モデルから復元される全球的な有機炭素と黄鉄鉱硫黄の埋没率の比を用いることで，全球的な有機物埋没率を陸域と海洋域に分離することを試みた．

その結果，陸域における有機物埋没は，維管束植物が出現した後，最古の森林が形成されたシルル紀からデボン紀にかけて初めて有意に生じることが示された．そして，大量の石炭が生成された石炭紀後半からペルム紀前半にかけては，陸域における有機物埋没率が大きく増加するという，従来の推定[8, 9]を裏付ける結果が得られた．また，大量絶滅境界であるペルム紀/三畳紀境界 (P/T境界) やフラニアン期/ファメニアン期境界 (F/F境界) において陸域における有機物埋没率は大きく低下する一方，海洋域における有機物埋没率は，おそらく大規模で長期間にわたる海洋無酸素イベント (OAE) の発生と関連して増加するという結果が得られた．

顕生代における大気酸素濃度変動に関しては，カンブリア紀~オルドビス紀では海洋域の影響のみしかみられないが，シルル紀~デボン紀では陸域の影響がみえはじめ，石炭紀~白亜紀には主に陸域の影響が，新生代は陸域と海洋域の両方の影響が大きかったという結果が得られた．これは，陸上植物の進出と分布域の拡大，超大陸の内陸部における大森林の発達及び湿地帯の形成による陸上植物の埋没率の増加，ヒマラヤ造山運動に伴う侵食率の増加とそれによる海洋域での堆積速度及び有機物埋没効率の増加といった，陸域と海洋域における変動を反映していると考えられる．

引用文献

[1] Ward P., 2006, Out of Thin Air: Dinosaurs, Birds, and Earth's Ancient Atmosphere. National Academy Press.
[2] Berner, R. A., 2006. Geochimica Et Cosmochimica Acta. 70, 5653-5664.
[3] Berner, R. A., 2006. American Journal of Science. 306, 295-302.
[4] Berner, R. A., 2008. American Journal of Science. 308, 100-103.
[5] Berner, R. A., 2009. American Journal of Science. 309, 603-606.
[6] Royer, D. L., Donnadieu, Y., Park, J., Kowalczyk, J., Godderis, Y., 2014. American Journal of Science. 314, 1259-1283.

© 2021 Geological Society of Japan

[7] Berner, R. A. and Raiswell, R., 1983. Geochimica Et Cosmochimica Acta. 47, 855-862.
[8] Berner, R. A., 1998. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences. 353, 75-81.
[9] Berner, R. A., 2003. Nature. 426, 323-326.

Keywords: carbon cycle, C/S ratio, land plants, atmospheric oxygen level, Phanerozoic

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Decoding the History of Surface Environment on Earth and Mars

*Hitoshi Hasegawa[1]

1. Faculty of Science and Technology, Kochi University

地球の表層環境は，数億年スケールで変化する大陸の集合離散に伴う変動や，数万年～十万年スケールで変化する氷期-間氷期サイクル，千年スケールで起こったダンスガード・オシュガー・イベント（DOイベント）など，様々な時間スケールと要因で変化してきた．地層や堆積物に記録される過去の表層環境変動の実態や変動要因を探ることは，温暖化に伴って大きく変動しつつある地球環境の近未来予測の上でも重要である．講演者はこれまで，亜熱帯乾燥域の風成層記録 [1-3]や，温帯湿潤域の湖成層記録 [4,5]，そして亜寒帯の永久凍土記録を調べることにより，過去の陸域気候帯の分布変遷や大気循環系の実態解明を試みてきた．本発表では，世界各地の地層や堆積物コアを調べることで明らかになってきた，過去の地球表層環境変動について紹介する．また比較惑星学的な視点から進めてきた火星の表層環境史 [6,7]についても紹介する．

風成層から読み解く白亜紀“温室期”と超大陸パンゲア時代の大気循環

砂漠環境は，ハドレー循環の下降域に当たる亜熱帯高圧帯下（南北20-30°付近）で発達する．また風成砂丘は卓越地表風の風向を大型斜交層理構造として保存する．したがって，風成層の分布や大型斜交層理に記録される古風向を解析することで，過去の亜熱帯高圧帯の位置を復元できる．我々はこの着想に基づき，モンゴル・中国・タイの白亜系風成層を調査して砂漠分布と古風向の解析を行い，過去の亜熱帯高圧帯の位置を復元した [1-3]．そして白亜紀を通じた亜熱帯高圧帯の緯度方向シフトを明らかにし，温暖化に伴うハドレー循環の応答に関する新仮説を提唱した [3].

また米国中西部（アリゾナ・ユタ・ワイオミング州）に露出する下部ジュラ系風成層（ナバホ砂岩）の調査と古風向パターンの解析により，超大陸パンゲア時代の大気循環系の復元も試みた。その結果，超大陸パンゲアの卓越風系のオービタル変動を反映して，北緯18-27°の緯度帯に縦列砂丘を主体とする砂漠環境が広がったことを明らかにした（Shozaki & Hasegawa, submitted）．

湖成層から読み解く白亜紀および始新世“温室期”の気候変動

人為起源のCO_2排出により，ＡＤ2200年には大気CO_2濃度は900ppmを超え，全球平均気温は7.5℃上昇する可能性がIPCCにより指摘されている．近未来の“温室期（Hot house Earth）”における気候変化を予測するために，我々は白亜紀と始新世の年縞（ねんこう）を保存する湖成層を対象として，過去の“温室期”における数年～数十万年スケールの降水量変動の復元を試みた．モンゴルの白亜系湖成層（シネフダグ層）を対象に年代層序の構築と堆積学的解析を行い [4; Island Arc論文賞]，年縞解析とXRFコアスキャナーによる高解像度元素組成変動の解析により，最終氷期のDOイベントと類似した千年周期の急激な気候変化が白亜紀“温室期”に起こっていた事を明らかにした（Hasegawa et al., submitted）．また米国ユタ州の始新統湖成層（グリーンリバー層）を対象とし，同層上部の層状チャートは太陽活動の周期的変動が影響した藻類生産量変動を反映している事を明らかにした [5].

風成砂丘や球状コンクリーションから読み解く火星の表層環境史

風成砂丘は火星や土星の衛星（タイタン）の表層にも分布する．火星とタイタンの風成砂丘の配列方向を検討した結果，地球とは分布域が異なるものの，各々の大気循環パターンを反映することが明らかになった [6]．火星の地層にはまた，超大陸・超海洋が存在した約40~37億年前の古風向パターンも記録されており，当時の大気循環系の復元も試みている．

またジュラ紀風成層（ナバホ砂岩）中に含まれる球状鉄コンクリーションと，火星メリディアニ平原の地層に含まれる鉄小球（ブルーベリー）とを比較検討することで，火星の表層環境史の謎の解明に繋がった [7]（シンポジウム「球状コンクリーションの科学」でも紹介）．

© 2021 Geological Society of Japan

文献：[1] Hasegawa *et al.*, 2009, *Jour. Asian Earth Sci.*, 35, 13-26.; [2] Hasegawa *et al.*, 2010, *Island Arc*, 19, 605-621.; [3] Hasegawa *et al.*, 2012, *Climate of the Past*, 8, 1323-1337.; [4] Hasegawa *et al.*, 2018, *Island Arc*, e12243.; [5] Kuma, Hasegawa *et al.*, 2019, *Scientific Reports*, 9:16448.; [6] 長谷川，2012, *地質雑,* 118, 632-649.; [7] Yoshida, Hasegawa, *et al.*, 2018, *Science Advances*, 4:eaau0872.

Keywords: Surface Environment, Eoliand dune deposits, Lacustrine deposits, Hot house Earth, Mars

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R16 [Regular Session]The Jurassic +

[3ch211-11] R16 [Regular Session]The Jurassic +

Chiar:Shin-ichi Sano

Mon. Sep 6, 2021 11:30 AM - 11:45 AM ch2 (ch2)

[R16-O-1] A global correlation of the Jurassic– Cretaceous boundary among pelagic, neritic and terrestrial sequences in the Pacific and Circum-Pacific regions, and Ocean Drilling Program

*Atsushi Matsuoka[1], Junichiro Kuroda[2], Erika Tanaka[3], Kazutaka Yasukawa[4] （1. Faculty of Science, Niigata University, 2. AORI, the University of Tokyo, 3. JAMSTEC, 4. School of Engineering, the University of Tokyo）

11:30 AM - 11:45 AM

©The Geological Society of Japan

A global correlation of the Jurassic–Cretaceous boundary among pelagic, neritic and terrestrial sequences in the Pacific and Circum-Pacific regions, and Ocean Drilling Program

*Atsushi Matsuoka[1], Junichiro Kuroda[2], Erika Tanaka[3], Kazutaka Yasukawa[4]

1. Faculty of Science, Niigata University, 2. AORI, the University of Tokyo, 3. JAMSTEC, 4. School of Engineering, the University of Tokyo

【はじめに】 ジュラ・白亜系境界（JKB）の国際境界模式層断面とポイント (Global Boundary Stratotype Section and Point: GSSP)の策定は，顕生累代で唯一GSSPが未決定の系境界であるため，緊急の課題となっている．この策定に対して大きな力をもつ国際白亜系層序小委員会（ISCS）のベリアシアン作業部会（BWG）の活動について紹介する．このことに関連して，北西太平洋域における国際深海掘削計画についても触れる．
【ジュラ・白亜系境界GSSP策定の現状】 JKB のGSSP策定に際し，BWGは*Calpionella alpina* 亜帯の下限を主要マーカーと定め，その候補として南フランスのTre Marouaセクションを2019年に提案した．しかしながら，ISCSのvoting memberによる票決の結果，この提案は支持されなかった．こうした状況を受けて，2021年1月に新たにBWGが組織されることとなった．新しい委員長は，ポーランド地質研究所のJacek Grabowskiである．2021年6月時点で17名の委員のうちアジアからの委員は，松岡と南京地質古生物研究所のLi Gangの２人である．この作業部会の使命は，これまでのBWGと同様に，JKBを定義する主要マーカーを定めることと，ベリアシアンのGSSPを提案することにある．BWGは2月に初回のオンライン会議をもち，これからの活動方針を決めるとともに，定期的にオンライン会議をもつことを合意した．これまで，GSSPの関連で検討されてこなかった中南米のセクションを検討項目に加えるとともに，パンサラサの遠洋域における各種層序をレビューするということも方針に加えられた．これには，大洋底堆積物における微化石層序や古地磁気層序のレビューも含まれる．
【今後の方向性】 第1回目のBWGオンライン会議は2021年2月11日に開催された．そこでは，アルゼンチンのNeuquen Basinの研究成果が発表された．アンデス山脈の東側の高地に分布する背弧海盆堆積物には島弧からの火山灰も挟まれておりジルコンU−Pb年代が精度よく求められている．この結果によると，これまでのJKBの数値年代よりも5 m.y.程度若い年代が得られている．今後，アルゼンチンのセクションがGSSPの有力な候補となることが予想される．これまで，日本のジュラ・白亜系の層序は，テチス海沿いに対比を繋いでヨーロッパの層序と比較することが多かった．今後は，パンサラサを挟んで対岸の中南米のセクションとの対比が重要性を増す．北西太平洋の遠洋域深海の堆積層は，生層序，化学層序，古地磁気層序などの層序対比に関して高い潜在能力をもつ．西太平洋の遠洋域で得られた層序は，海成層と陸成層とが交互に累重する日本の層序を介して，アジア内陸部の非海成層との対比へと展開しうる．JOIDES Resolution号が太平洋域の戻ってくるタイミングを計って，北西太平洋域におけるIODPによる深海掘削を提案している．

Keywords: Jurassic-Cretaceous boundary, global correlation, radiolaria, deep-sea drilling, western North Pacific

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R24 [Regular Session]Mineral resources and global material cycles

[3ch212-19] R24 [Regular Session]Mineral resources and global material cycles

Chiar:Kentaro Nakamura, Kazuhide Mimura
Mon. Sep 6, 2021 1:00 PM - 3:30 PM ch2 (ch2)

[R24-O-1] [Invited]The Core Competence of the Laser Ablation-ICP-MS for Geochemical and Geochronological Studies

*Takafumi Hirata[1] （1. The Univ. Tokyo, Geochemical Research Center）
1:00 PM - 1:30 PM

[R24-O-2] Development of the simple and rapid Re-Os isotope analytical method for organic-rich sediments

*Moei YANO[1,2], Junichiro OHTA[2,1], Tatsuo NOZAKI[3,2,4,1], Yasuhiro KATO[2,1,3] （1. CIT, 2. Univ. Tokyo, 3. JAMSTEC, 4. Kobe Univ.）
1:30 PM - 1:45 PM

[R24-O-3] Automatic detection of microfossils by a deep learning technique: Toward constraining depositional ages of REY-rich mud

*Kazuhide Mimura[1], Shugo Minabe[2], Kentaro Nakamura[2,1], Junichiro Ohta[2,1], Kazutaka Yasukawa[2], Koichiro Fujinaga[1,2], Kazuhiro Takao[2], Yasuhiro Kato[2,1] （1. Chiba Institute of Technology, 2. University of Tokyo）
1:45 PM - 2:00 PM

[R24-O-4] High density characterizes REY enrichment in pelagic clay around Minamitorishima Island in the western North Pacific

*Yoichi Usui[1], Kazutaka Yasukawa[2,3], Koichi Iijima[1], Hideaki Machiyama[1], Yuji Ichiyama[4], Erika Tanaka[1], Koichiro Fujinaga[3] （1. JAMSTEC, 2. The University of Tokyo, 3. Chiba Institute of Technology, 4. Chiba University）
2:00 PM - 2:15 PM

[R24-O-5] Os isotopic record during the middle Cretaceous seawater reconstructed by Aki umber deposit as ancient REY-rich mud in the Japanese accretionary complexes

*Koichiro Fujinaga[1,2], Kentaro Nakamura[2,1], Junichiro Ohta[2,1], Moei Yano[1,2], Yusuke Kuwahara[2], Kazutaka Yasukawa[2], Yutaro Takaya[2,3,4], Ken Nakayama[5], Tastuo Nozaki[4,2,6,1], Yasuhiro Kato[2,1,4] （1. Chiba Institute of Technology, 2. The University of Tokyo, 3. Waseda University, 4. JAMSTEC, 5. Kochi University, 6. Kobe University）
2:30 PM - 2:45 PM

[R24-O-6] Geochemical features of Fe-Mn micronodules in deep-sea sediments around Minamitorishima Island: Potential for co-product metal extraction from REY-rich mud

*Kazutaka Yasukawa[1], Satoshi Kino[1], Keishiro Azami[1], Erika Tanaka[2,3,1], Kazuhide Mimura[3], Junichiro Ohta[1,3], Koichiro Fujinaga[3,1], Kentaro Nakamura[1,3], Yasuhiro Kato[1,3] （1. The University of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. Chiba Institute of Technology）
2:45 PM - 3:00 PM

[R24-O-7] Geochemical characteristics of ferromanganese nodules from the Minamitorishima EEZ

*Kentaro Nakamura[1,2], Daiki Terauchi[1], Ryo Shimomura[1], Shiki Machida[2,1], Kazutaka Yasukawa[1]

©The Geological Society of Japan

, koichiro Fujinaga[2], Yasuhiro Kato[1,2] （1. The University of Tokyo, 2. Chiba Institute of Technology）

3:00 PM - 3:15 PM

[R24-O-8] High-resolution dating of ferromanganese nodules around Minamitorishima Island based on osmium isotopic ratio

*Sota Aoyagi[1], Junichiro Ohta[1,2], Keishiro Azami[1], Kentaro Nakamura[1,2], Kazutaka Yasukawa[1], Tatsuo Nozaki[3,1,4,2], Shiki Machida[2,1], Jun-ichi Kimura[3], Yasuhiro Kato[1,2] （1. University of Tokyo, 2. Chiba institute of Technology, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 4. Kobe University）

3:15 PM - 3:30 PM

©The Geological Society of Japan

[Invited]The Core Competence of the Laser Ablation-ICP-MS for Geochemical and Geochronological Studies

*Takafumi Hirata[1]

1. The Univ. Tokyo, Geochemical Research Center

岩石・鉱物の化学組成・同位体組成分析は，分析対象成分のダウンサイジング化（微小サイズ化），高感度化，そして分析の高速化へと推移している．これまで私達，分析化学者は様々な分析技術開発を通じて，多様化・高度化する地質学研究を支援してきた．地質学研究から要求される分析性能は，常に最先端の分析技術の導入が必要であった．試料は様々な元素が共存する複雑なマトリックス組成をもち，さらに試料間でその化学組成が大きく異なる．さらに年代分析・同位体トレーサー研究では，他の応用研究とは一線を画す，桁違いに高い分析精度が要求される．こうした厳しい分析要請を通じて，地質学と分析化学は相乗的に発展してきた．私達の研究グループでも，岩石・鉱物の元素組成・同位体組成分析を目的にレーザーアブレーション–プラズマ質量分析法（LA-ICPMS法）の開発を続けて来た．最近5年のブレークスルーは以下の3つに集約できる．(1) 高感度・高精度年代分析：レーザー発振・集光技術の向上により，数万～数10万年程度の”若い”ジルコンの年代分析（Sakata et al., 2017; Matsu’ura et al., 2020）や，マルチクロノロジー年代学の基盤技術となるジルコン表皮部分の年代分析（Iwano et al., 2013; Iwano et al., 2020; Iwano et al., 2021）が可能となった．この技術は，岩石・鉱物試料だけではなく，最先端機能性材料や生体試料中の超微量元素分析の基盤要素技術となっている（Yokoyama et al., 2011; Makino et al., 2019）．(2) イメージング分析：鉱物学研究では，様々な手法を用いて元素のマッピング分析（イメージング分析）が行われる．LA-ICPMS法は，cmサイズの大型試料に対し，主成分からppbレベルまでの8桁におよぶ多元素同時イメージング分析が可能である．最近2年で，分析の高速化と高空間分解能化，解析の自動化が加速している．(3) 超微粒子（ナノ粒子）の個別元素分析：質量分析技術において大きな進歩を遂げたのが対象イオン計測の高時間分解能化である．時間分解能を従来の100～10,000倍に高めることで，5～400nmサイズのナノ粒子の個別検出（Yamashita et al., 2021）や同位体分析が可能となった（Yamashita et al., 2020; Hirata et al., 2021）．さらに信号の時間プロファイルの特徴から，分析元素の存在形態（溶存体か粒子体か）を区別しながらイメージング分析することにも成功している（Yamashita et al., 2019）．ナノ粒子は，イオン（溶存体）とも固相（微粒子）とも異なる物性を示す．イオンから固相が形成される際に，必ずナノ粒子体を経由するため，固相形成過程あるいは沈殿形成過程で，全く新しい元素分別が誘起される可能性がある．講演者らは，このナノ粒子計測技術を応用することで，鉱床形成機構の解明や，放射性核種の環境動態解析，さらには生体内でのナノ粒子の毒性評価を行う予定である．私達，分析化学者は，全く新しい知見を引き出す分析手法の開発が使命である．2022年初頭には，最新の超高速質量分析計の導入が予定されており，イメージング分析のさらなる高速化やナノ粒子の全元素分析を開始する．本講演では講演者らが取り組んできた5年間の分析技術開発を概説するとともに，地質学研究の最先端研究者から，次の挑戦（分析学的な無理難題）の提示を受けたいと考えている．

Keywords: Advanced Analytical Chemistry, Chronology, Imaging Analysis, Nannoparticle Analysis, Zircon

© 2021 Geological Society of Japan

Development of the simple and rapid Re-Os isotope analytical method for organic-rich sediments

*Moei YANO[1,2], Junichiro OHTA[2,1], Tatsuo NOZAKI[3,2,4,1], Yasuhiro KATO[2,1,3]

1. CIT, 2. Univ. Tokyo, 3. JAMSTEC, 4. Kobe Univ.

海水中のレニウム (Re)・オスミウム (Os) は有機物と共に沈殿することから，有機物に富む堆積物 (黒色頁岩) は一般的にRe，Osに富むことが知られている [1-4]．Re-Os放射壊変系 (^{187}Re-^{187}Os) を用いた堆積物の直接的な年代測定手法は，黒色頁岩そのものや含金属黒色頁岩，原油試料に用いられてきている [5-9]．さらに，海水のOs同位体比組成は河川水フラックス，熱水フラックスおよび宇宙塵フラックスの3つのフラックスの相対的なバランスによって決定するため，これらのフラックスの相対的変化とそれを生み出す古環境変動に関する情報を得ることができる．この特性は様々な時代の黒色頁岩に適用され，火成活動と黒色頁岩形成との関係や，生物大量絶滅と隕石衝突イベントの関係性などが議論されている [10-13].
黒色頁岩のRe-Os同位体分析には，一般的に負イオン表面電離型質量分析装置 (N-TIMS) が用いられてきた．N-TIMSによる同位体分析には前処理と測定に多くの手間と時間を要し，大量のデータを取得することへの障害となっていた．また，有機物に富む試料の酸化分解には，高い酸化分解力をもつ硫酸酸性クロム酸溶液が用いられてきたが，この方法は環境負荷の高い六価クロムの処理が煩雑であった．これらの分析の煩雑さ，人体への危険性，環境負荷を解決できる可能性のある手法が，MC-ICP-MSと気化法を組み合わせた分析手法である [14-17]．しかし，本手法はOsを十分に酸化させてArキャリアガスとともにOsO_4分子の形で分析機器に導入させるため，有機物の多い試料に対しては十分な酸化力をもつ試薬を選択する必要がある．
そこで本研究では，SGR-1b (USGS, oil shale)，JSl-1 (GSJ, slate) の2つの標準岩石試料を分析対象とし，酸化分解には逆王水，過塩素酸を加えた逆王水，硫酸酸性クロム酸溶液を用い，それぞれ酸の量を変えて分析を行った．測定はマルチコレクタ誘導結合プラズマ質量分析装置 (MC-ICP-MS) と気化法により行った．分析の結果，逆王水のみの場合は酸化力が不十分で測定可能なイオンビーム強度が得られないことがあったのに対し，過塩素酸を加えた逆王水と硫酸酸性クロム酸溶液では試料が十分に酸化され測定することができた．本発表ではこれらの結果の詳細を発表し，分析を行う上での最適な試料の前処理条件について議論する．

[1] Ravizza and Turekian, 1989, *Geochim. Cosmochim. Acta.* **53**, 3257-3262. [2] Colodner et al., 1993, *Earth Planet. Sci. Lett.* **117**, 205-221. [3] Cohen et al., 1999, *Earth Planet. Sci. Lett.* **167**, 159–173. [4] Selby and Creaser, 2003, *Chem. Geol.* **200**, 225–240. [5] Selby and Creaser, 2005, *Geology* **33**, 545–548. [6] Selby et al., 2007, *Geochim. Cosmochim. Acta.* **71**, 378–386. [7] Pašava et al., 2010, *Mineralium Deposita* **45**, 189–199. [8] Rooney et al., 2010, *Earth Planet. Sci. Lett.* **289**, 486–496. [9] Cumming et al., 2014, *Geochim. Cosmochim. Acta.* **138**, 32–56. [10] Turgeon et al., 2007, *Earth Planet. Sci. Lett.* **261**, 649–661. [11] Turgeon and Creaser, 2008, *Nature* **454**, 323-327. [12] Tejada et al., 2009, *Geology* **37**, 855–858. [13] Georgiev et al., 2017, *Earth Planet. Sci. Lett.* **461**, 151–162. [14] Hassler et al., 2000, *Chem. Geol.* **16**, 1-14. [15] Schoenberg et al., 2000, *International Journal of Mass Spectrometry* **197**, 85–94. [16] Nozaki et al., 2012, *Geostandards and Geoanalytical Research* **36**, 131–148. [17] Kimura et al., 2014, *J. Anal. At. Spectrom.* **29**, 1483-1490.

Keywords: Re-Os isotope analysis, black shale, MC-ICP-MS

© 2021 Geological Society of Japan

Automatic detection of microfossils by a deep learning technique: Toward constraining depositional ages of REY-rich mud

*Kazuhide Mimura[1], Shugo Minabe[2], Kentaro Nakamura[2,1], Junichiro Ohta[2,1], Kazutaka Yasukawa[2], Koichiro Fujinaga[1,2], Kazuhiro Takao[2], Yasuhiro Kato[2,1]

1. Chiba Institute of Technology, 2. University of Tokyo

2011年，レアアースを高濃度で含む深海堆積物「レアアース泥」が新しい海底鉱物資源となりうることが報告された [1]．続く調査により，日本の排他的経済水域内である南鳥島周辺海域において，総レアアース濃度が5,000 ppmを超える非常に高品位な堆積物層が確認され，レアアース泥の実開発に向けた機運が高まっている [2, 3]．レアアース泥の探査を効率的に行うためには，レアアース泥の生成機構を明らかにした上で，レアアースの濃集に必要な条件を満たす有望海域を理論的に絞り込むことが重要である [4]．これまでに，南北太平洋で採取されたOcean Drilling Program (ODP) 及びIntegrated Ocean Drilling Program (IODP) の堆積物試料について全岩化学組成分析が行われ，レアアース泥を含む遠洋性粘土は，大陸由来の風成塵や海水起源のマンガン酸化物，魚類の骨片等の起源成分が様々な割合で混合されたバリエーションに富む堆積物であることが明らかになっている [5, 6, 7] これは，外見上の特徴に乏しい遠洋性粘土にも，地質学的時間スケールの海洋環境変化の痕跡が記録されていることを強く示唆している．

しかし，遠洋性粘土については，堆積年代の決定が困難であることが研究の大きな障壁となっていた．遠洋性粘土には，珪質・石灰質の微化石がほとんど産出せず，また古地磁気記録の解読も困難である．このため，海底堆積物の年代決定に一般的に用いられる珪質・石灰質微化石層序，古地磁気層序といった手法を適用することができない．そこで着目されたのが，魚類の歯や鱗の微化石「イクチオリス」である．イクチオリスは難分解性のリン酸カルシウムで構成されるため，あらゆる海底堆積物に普遍的に産出することが知られている [8]．イクチオリスの生層序学は1970–80年代に確立され，遠洋性粘土で普遍的に適用できる唯一の微化石層序である [9]．

発表者らはこれまでに，南北太平洋のODP/IODP試料について，イクチオリス層序による堆積年代の制約を行ってきた．その結果として，イクチオリス層序は遠洋性粘土の堆積年代に一定の制約を与えられることは確認されたものの，一部の層準では堆積年代を十分に絞り込むことができなかった [10]．この要因として考えられるのが，観察する化石数の少なさである．従来の研究手法では，堆積物試料からイクチオリスを探し出し，手作業でスライドガラスへと移動させる工程に膨大な時間を要しており，十分な化石数を観察することができていなかった．

そこで本研究では，煩雑な化石観察の手順を改善するため，まずはイクチオリスの収集手法について改善を行った．具体的には，従来実施していた粒径分離に加えて重液分離を行い，火山ガラス等の観察が不要な粒子を極力除去できるようにした．そして，収集したイクチオリスを含む粒子群はピペットでまとめてスライドガラスへと移動させることにより，ハンドピックによらずにスライドが作成できる手法を開発した．次に，深層学習によってスライド画像からイクチオリス粒子を自動で検出する手法を検討した．現在までに，教師データを作成してモデルを訓練するとともに，作成したモデルを用いて精度評価を行うことができるようになっている．本発表では現在までの検討結果と今後の展望について報告する．

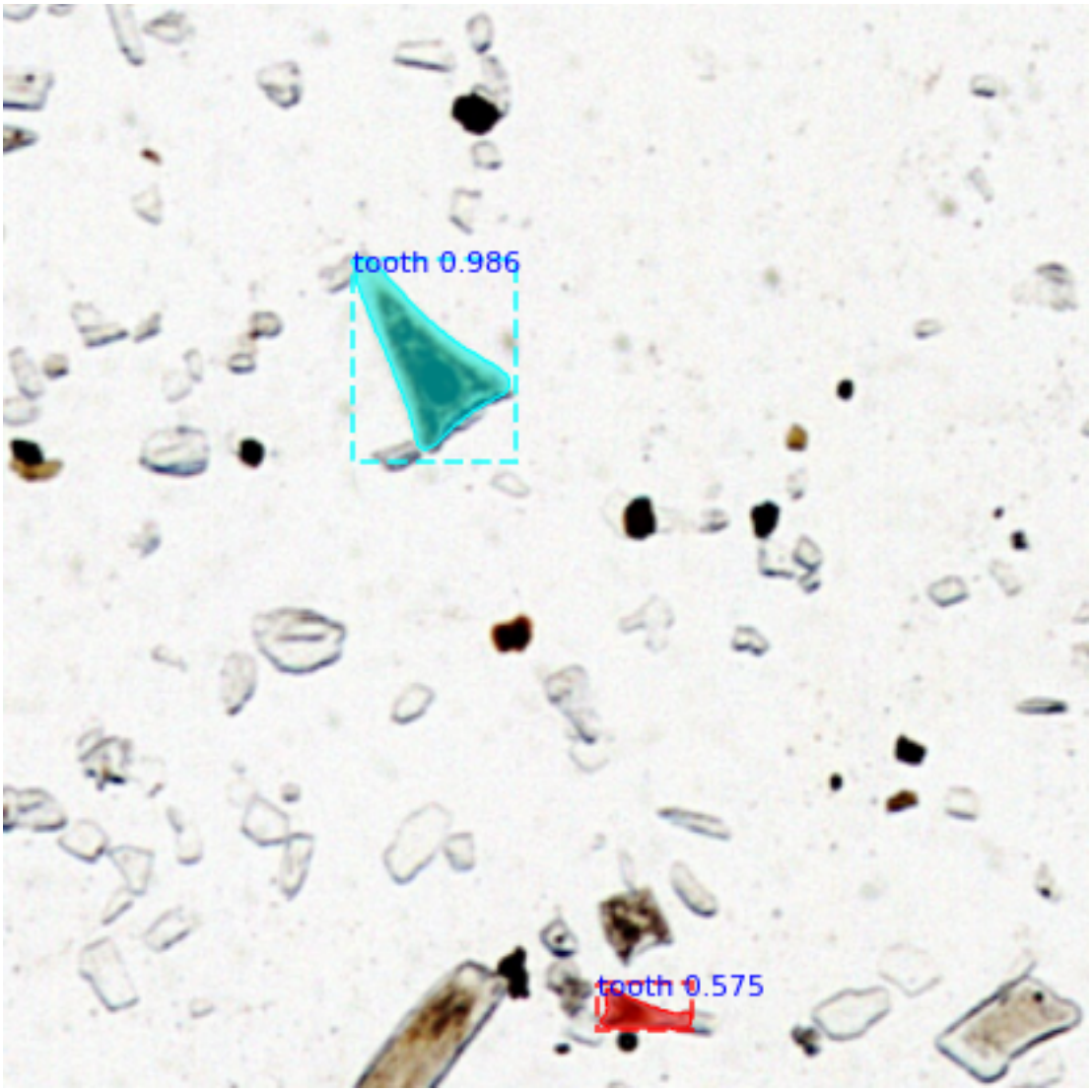
<引用文献>

[1] Kato et al. (2011) *Nature Geoscience* **4**, 535-539.
[2] Iijima et al. (2016) *Geochemical Journal* **50**, 557-573.
[3] Takaya et al. (2018) *Scientific Reports* **8**, 5763.
[4] 安川ほか (2018) *地球化学* **52**, 171-210.
[5] Mimura et al. (2019) *Journal of Asian Earth Sciences* **186**, 104059.
[6] Mimura, K. et al. (2019) 日本地球惑星科学連合2019年大会
[7] Nakamura, K. et al. (2017) 日本地球惑星科学連合2017年大会

© 2021 Geological Society of Japan

[8] Sibert and Norris (2015) *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **112**, 8537-8542.
[9] Doyle and Riedel (1985) *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **86**, 349-366.
[10] 見邨ほか (2019) 日本地質学会第126年学術大会

Keywords: REY-rich mud, pelagic clay, depositional age, ichthyolith, deep learning



© 2021 Geological Society of Japan

High density characterizes REY enrichment in pelagic clay around Minamitorishima Island in the western North Pacific

*Yoichi Usui[1], Kazutaka Yasukawa[2,3], Koichi Iijima[1], Hideaki Machiyama[1], Yuji Ichiyama[4], Erika Tanaka[1], Koichiro Fujinaga[3]

1. JAMSTEC, 2. The University of Tokyo, 3. Chiba Institute of Technology, 4. Chiba University

遠洋性堆積物中にはしばしば生物源アパタイトが濃集しており、さらにそれに伴ってレアアース元素が高濃度に含まれる（Kato et al., 2011）。ある程度の生物源アパタイトの濃集は遅い堆積速度により説明できるが、近年超高濃度のレアアース・生物源アパタイトを含む堆積物（超高濃度レアアース泥）の層が南鳥島周辺などで見つかり、生物生産性の一次的な上昇として説明された（Iijima et al., 2016; Ohta et al., 2020; Yasukawa et al., 2016）。また地球化学的分析により、超高濃度レアアース泥では鉄マンガン酸化水酸化物の含有量も高い傾向があることが分かっている（Yasukawa et al., 2016, 2019）。しかし、これまでの分析は堆積物の直接サンプリングに基づいていたため空間解像度が比較的低く、超高濃度レアアース泥の薄い層を検出したり、鉄マンガン酸化水酸化物との詳細な分布関係を検討したりすることは難しかった。本発表では、遠洋性堆積物のX線CT分析に基づき高いバルク密度が生物源アパタイト濃集と対応する例を報告し、そのメカニズムを議論する。南鳥島周辺で得られたピストンコアにおいてCT値と生物源アパタイト含有量には正の相関が見られた。一方、生物源アパタイトおよび鉄マンガン酸化水酸化物は高密度鉱物であるものの、超高濃度レアアース泥における高いバルク密度は粒子密度の違いだけでは定量的に説明できない。超高濃度レアアース泥では間隙率が下がっており、これもバルク密度を高めることに寄与していることが新たに分かった。化学組成から、本海域の鉄マンガン酸化水酸化物は主に続成起源であることが分かっている（Yasukawa et al., 2020, 2021）。このことから、二次的な鉄マンガン酸化水酸化物が空隙を埋めることで間隙率を減少させていると解釈した。さらに、超高濃度レアアース泥で鉄マンガン酸化水酸化物が多いことは、高い生物源アパタイトフラックスに伴う有機物の堆積により堆積物表層付近での続成作用が促されたためと考えられる。これらの結果は、超高濃度レアアース泥は表層の生物生産のみならず海底での生物地球化学環境の変動を反映していることを示唆する。

引用文献

Iijima, K. et al. (2016). Geochemical Journal, 50, 557–573. https://doi.org/10.2343/geochemj.2.0431
Kato, Y. et al. (2011). Nature Geoscience, 4, 535–539. https://doi.org/10.1038/ngeo1185
Ohta, J. et al. (2020). Scientific Reports, 10, 9896. https://doi.org/10.1038/s41598-020-66835-8
Yasukawa, K. et al. (2016) Scientific Reports, 6, 29603. https://doi.org/10.1038/srep29603
Yasukawa, K. et al.(2019). Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 20, 3402–3430. https://doi.org/10.1029/2019GC008214
Yasukawa, K. et al. (2020). Ore Geology Reviews, 127, 103805. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103805
Yasukawa, K. et al. (2021). Minerals, 11, 270. https://doi.org/10.3390/min11030270

© 2021 Geological Society of Japan

Os isotopic record during the middle Cretaceous seawater reconstructed by Aki umber deposit as ancient REY-rich mud in the Japanese accretionary complexes

*Koichiro Fujinaga[1,2], Kentaro Nakamura[2,1], Junichiro Ohta[2,1], Moei Yano[1,2], Yusuke Kuwahara[2], Kazutaka Yasukawa[2], Yutaro Takaya[2,3,4], Ken Nakayama[5], Tastuo Nozaki[4,2,6,1], Yasuhiro Kato[2,1,4]

1. Chiba Institute of Technology, 2. The University of Tokyo, 3. Waseda University, 4. JAMSTEC, 5. Kochi University, 6. Kobe University

2011年，講演者らの研究グループは，我が国の最先端産業に必要不可欠なレアアース (Rare-earth elements and yttrium, REY) を豊富に含有する海底堆積物「レアアース泥 (総レアアース濃度: ΣREY = 400 ppm以上)」を太平洋で発見した [1]．次いで2012年には日本の排他的経済水域 (EEZ) 内である南鳥島周辺海域においてもレアアース泥の分布を確認し [2]，2013年にはΣREYが7,000 ppmに達する「超高濃度レアアース泥」の存在を世界で初めて報告した [3,4]．レアアース泥は，資源として有利な特長をいくつも兼ね備えることから，第4の海底鉱物資源として期待されており，世界初の海底鉱物資源開発の実現に向けた取り組みが進展中である．
一方で，プレート運動を考慮すると，深海底で堆積した「過去のレアアース泥」が大陸地殻に付加し，陸上に露出している可能性が考えられる．講演者らのこれまでの研究により，層状Fe-Mn鉱床 (アンバー: umber) と呼ばれるタイプの鉱床は，平均で740 ppm (最大2,400 ppm) に達するΣREYを持つことから，過去の海洋で堆積し，その後陸上に付加したレアアース泥である可能性が示唆されている [5-9]．そこで本研究では，日本列島付加体に分布する代表的なアンバー鉱床の一つである「安芸アンバー鉱床」から採取したアンバー，赤色チャート，および関連する緑色岩試料について，詳細な地球化学的特徴およびRe-Os同位体組成について報告する．
本研究対象である安芸アンバー鉱床は，高知県安芸市に位置し，1960年代以前に低品位のFeやMnの鉱山として小規模に開発が行われてきた．安芸アンバー鉱床は緑色岩に伴われて産する暗赤褐色を呈する泥質岩で，上位には赤色チャート (Albian–Cenomanian: 113.0–93.9 Ma) が累重する [10]．安芸アンバー試料の全岩化学組成は，$Fe_2O_3^*$，MnO，CaO，P_2O_5，V，Co，Ni，Znに富むという特徴がある．また，ΣREYも最大で1,120 ppmと濃集しており，そのPAAS規格化REYパターンには著しいCe負異常を示すという特徴も示す．一方，現在の海洋底に分布するレアアース泥は，南鳥島EEZに分布するような生物源リン酸カルシウム (biogenic calcium phosphate: BCP) 成分や海水起源のマンガン酸化物の影響が強い「遠洋性粘土型レアアース泥」と，北米のファンデフカ海嶺近傍に分布するような熱水起源の鉄やマンガンの影響が強い「熱水性堆積物型レアアース泥」に大別できることが明らかになっている [11]．本研究試料の安芸アンバーの化学組成をこれらのレアアース泥と比較すると，「熱水性堆積物型レアアース泥」と類似した特徴を持つことから，安芸アンバーは，中期白亜紀に堆積した熱水性堆積物型レアアース泥が陸上に付加したものといえる．
安芸アンバーのRe-Os同位体組成を測定した結果，その$^{187}Os/^{188}Os$比は0.554から0.668の範囲を示すことがわかった．この結果は，中期白亜紀の海水$^{187}Os/^{188}Os$比が現代の値 (~1.06) よりも低かったことを示しており，当時の活発な熱水活動を反映していると考えられる．また，白亜紀の他の時代から報告されているOs同位体比データを加えた検討の結果，白亜紀中期から後期にかけての海洋のOs同位体組成は，海洋無酸素事変 (oceanic anoxic events: OAEs) の時期を除いて0.4から0.6の範囲で比較的一定であったことが示唆された．

引用文献： [1] Kato et al. (2011a) Nature Geoscience 4, 535-539. [2] 加藤ほか (2012) 資源地質学会講演要旨集, 37. [3] 東京大学・JAMSTECプレスリリース (2013年3月21日). [4] Iijima et al. (2016) Geochemical Journal 50, 557-573. [5] 藤永・加藤 (2001) 資源地質 51, 29-40. [6] Kato et al. (2005a) Geochemistry, Geophysics, Geosystems 7, Q07004. [7] Kato et al. (2005b) Resource Geology 55, 291-299. [8] Kato et al. (2011b) Gondwana Research 20, 594–607. [9] 藤永ほか (2011) 資源地質 61, 1-11. [10] Taira et al. (1988)

© 2021 Geological Society of Japan

Modern Geology 12, 5–46. [11] Yasukawa et al. (2016) Scientific Reports 6, 29603.

Keywords: REY-rich mud, umber, strata-bound ferromanganese deposit, Os isotopic composition, middle Cretaceous

© 2021 Geological Society of Japan

Geochemical features of Fe-Mn micronodules in deep-sea sediments around Minamitorishima Island: Potential for co-product metal extraction from REY-rich mud

*Kazutaka Yasukawa[1], Satoshi Kino[1], Keishiro Azami[1], Erika Tanaka[2,3,1], Kazuhide Mimura[3], Junichiro Ohta[1,3], Koichiro Fujinaga[3,1], Kentaro Nakamura[1,3], Yasuhiro Kato[1,3]

1. The University of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. Chiba Institute of Technology

南鳥島周辺の日本の排他的経済水域 (EEZ) には極めて高品位なレアアース泥が分布しており [1]，特に有望なEEZ南部の海域 (約2,500 km^2 ×海底面下10 mまで) には，世界の年間需要の数百倍に達するレアアースが胚胎されている [2]．他方，レアアース泥はレアアースのみならず，Co, Ni, Moなどのレアメタルも比較的高濃度で含むことが知られている [3]．深海堆積物中におけるこれら遷移金属の主要なホストは，Fe-Mn酸化水酸化物である．太平洋やインド洋の深海掘削コア試料および南鳥島周辺で集中的に採取されたピストンコア試料を用いた先行研究により，レアアース泥にはFe-Mn酸化水酸化物が一般的な構成成分として含まれることが示され，堆積物の全岩化学組成からもその影響が確認できる [4, 5].
本研究では，南鳥島レアアース泥に含まれるマイクロマンガンノジュールを分離回収し，誘導結合プラズマ質量分析を用いて化学組成分析を行った．その結果，南鳥島レアアース泥中のマイクロマンガンノジュールは最大でCoを約3,000 ppm，Niを約39,000 ppm含むことが分かった [6]．また，海底Fe-Mn酸化物の起源判別図から，これらのマイクロマンガンノジュールは続成起源であることが示された [6].
さらに本研究では，塩酸リーチングによりレアアースを抽出した後のレアアース泥残渣に対して，還元剤 (亜ジチオン酸ナトリウム) を用いたリーチング実験を行った．その結果，南鳥島周辺のレアアース泥中に含まれるMn, Co, Ni, Moの概ね80%以上が抽出された [6]．このことは，レアアース泥の開発にあたり，これらの金属をレアアースの副産物 (co-product) として回収できる可能性を示唆する．そこで，南鳥島周辺におけるレアアース泥の開発対象として最有望とされる海域について [2]，実験により得られた各元素の抽出率を考慮して単位面積あたりのCo, Ni, Moの資源ポテンシャルを推定した．その結果，1 km^2 ×海底面下10 mまでのレアアース泥に含まれるCoは (9.3 ±0.6) ×10^2 t，Niは (1.6 ±0.1) ×10^3 t，Moは (2.8 ±0.2) ×10^2 tと見積もられた [6]．これらはそれぞれ，世界全体における現在のCo, Ni, Mo生産量の0.66 ±0.04%，0.061 ±0.004%，0.097 ±0.007%に相当する．一方，同海域 (1 km^2 ×海底面下10 mまで) のレアアース資源ポテンシャルは酸化物換算で1.1 ×10^4 tと見積もられ [2]，特に産業上重要なY, Eu, Tb, Dyの資源量は現在の世界生産量の60%，45%，30%，50%にそれぞれ相当する．すなわち，年間世界生産量に対する比率で見ると，南鳥島レアアース泥のレアアース資源としての影響力は，Co, Ni, Moといった副産物レアメタルの資源としての影響力に比べて2桁程度大きいといえる．レアアース泥の開発時にこれらの副産物レアメタルを実際に回収すべきかどうかは，レアアース回収後の残渣から各元素を抽出・製錬するための追加的なシステムにかかるコストと，当該メタルの市場価格および世界的な需要の伸びに基づいて判断されるであろう．

[1] Iijima, K. et al. (2016) Geochemical Journal 50, 557-573.
[2] Takaya, Y. et al. (2018) Scientific Reports 8, 5763.
[3] Kato, Y. et al. (2011) Nature Geoscience 4, 535-539.
[4] Yasukawa et al. (2016) Scientific Reports 6, 29603.
[5] Yasukawa et al. (2019) Geochemistry, Geophysics, Geosystems 20, 3402-3430.
[6] Yasukawa et al. (2020) Ore Geology Reviews 172, 103805.

Keywords: Seafloor mineral resources, REY-rich mud, Ferromanganese micronodules, Minamitorishima Island

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

Geochemical characteristics of ferromanganese nodules from the Minamitorishima EEZ

*Kentaro Nakamura[1,2], Daiki Terauchi[1], Ryo Shimomura[1], Shiki Machida[2,1], Kazutaka Yasukawa[1], koichiro Fujinaga[2], Yasuhiro Kato[1,2]

1. The University of Tokyo, 2. Chiba Institute of Technology

世界の海洋底には，マンガンノジュール (ferromanganese nodules, Fe-Mn nodules) と呼ばれる，主にマンガン (Mn) と鉄 (Fe) の酸化物から成る化学堆積岩が分布していることが知られている．このマンガンノジュールには，コバルト (Co) やニッケル (Ni)，銅 (Cu) などの現代産業に欠かせない重要な金属元素が高濃度で含まれていることから，海底鉱物資源の一つとして期待されており[1]，特に北東太平洋のマンガンノジュール濃集帯 (Clarion-Clipperton Zone: CCZ) では，日本を含め各国が鉱物資源として開発することを目的とした調査・研究を精力的に行なっている [1]． このような中，2010年に日本近海の南鳥島周辺の排他的経済水域 (EEZ) 内において実施された調査航海において，マンガンノジュールの密集域が発見された [2]．さらに，この発見を受けて2016 年および 2017 年に実施された航海では，南鳥島 EEZ 内の広い範囲にマンガンノジュール密集域が分布することも明らかとなっている [3]．採取されたマンガンノジュールには，Co や Ni などの金属元素が豊富に含まれていることから，新規国産資源としての期待も高まっている [4]． 海底鉱物資源の開発に際して有望海域を選定するためには，資源の空間分布を支配する要因の解明が不可欠である．マンガンノジュールの分布を支配する要因の一つとしては，古くから堆積速度が指摘されている[5]．堆積速度の速い環境では，マンガンノジュールは速やかに堆積物中に埋没し，海水や間隙水からの Fe, Mn の供給が途絶えるために，成長を継続することができない．そのため，マンガンノジュールの形成には，堆積速度が遅く，堆積物に被覆されない環境が必須であると考えられている．また，この堆積速度が遅い環境については，古くから深層海流の流路と一致することが指摘されている [5,6]．ただし，堆積速度が遅い海域に必ずしもマンガンノジュールが存在するわけではない．すなわち，堆積速度以外にもマンガンノジュール形成を支配する条件があり，両方が揃わなければノジュールの濃集帯は形成されないと考えられる． このマンガンノジュール形成に必要なもう一つの条件を解明する鍵として，核の存在が注目される．ほぼ全てのマンガンノジュールはその内部に核を有しており，核がマンガンノジュール形成のトリガーになっていると考えられる．そのため，核が供給されることはマンガンノジュールの形成に必要な条件と考えらる．そこで本研究では，南鳥島EEZから採取されたマンガンノジュールの核からタングステンカーバイドドリルで粉末試料を削り出し，これをICP-MSで分析して主成分・微量元素濃度を定量した． 本発表では，化学組成に基く南鳥島マンガンノジュールの核の起源について議論を行う．

<引用文献>
[1] Hein et al. (2013) Ore Geology Reviews, 51, 1–14.
[2] 石井・平野 (2010) 深田地質研究所ニュース 109, 26-28.
[3] Machida et al. (2019) Marine Georesources & Geothechnology, 1-13.
[4] Machida et al. (2016) Geochemical Journal, 50, 539–555.
[5] Goodel et al. (1971) Antarctic Res. Ser., 15, 27–92.
[6] Kennett, J. P., & Watkins, N. D. (1975) Science, 188(4192), 1011–1013.

Keywords: ferromanganese nodules, nuclei,, geochemistry, ICP-MS, Minamitorishima EEZ

© 2021 Geological Society of Japan

High-resolution dating of ferromanganese nodules around Minamitorishima Island based on osmium isotopic ratio

*Sota Aoyagi[1], Junichiro Ohta[1,2], Keishiro Azami[1], Kentaro Nakamura[1,2], Kazutaka Yasukawa[1], Tatsuo Nozaki[3,1,4,2], Shiki Machida[2,1], Jun-ichi Kimura[3], Yasuhiro Kato[1,2]

1. University of Tokyo, 2. Chiba institute of Technology, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 4. Kobe University

マンガンノジュールは，マンガンと鉄の酸化物および酸化水酸化物を主成分とする，主に深海底で形成される化学堆積岩である．マンガンノジュール中には，マンガン・鉄の他に，コバルト，ニッケル，銅，希土類元素等の希少金属元素が高濃度で含まれており [1]，海底鉱物資源として開発が期待されている．
2010年，南鳥島から約300km東方に位置する，日本の排他的経済水域内の海底に存在する小海山付近にマンガンノジュールの密集地帯が発見された [2]．Machida et al. [3] は採取されたノジュールサンプルに対し化学組成分析を行い，南鳥島EEZ内のマンガンノジュールがCoやNiの新規国産資源として有望であることを指摘している．さらにこの発見を受けて，2016年にYK16-01航海，2017年にYK17-11C航海が実施され，マンガンノジュールが南鳥島EEZの東方から南方にかけての広大な範囲に分布していることが明らかにされるとともに，それぞれ8回ずつ合計16回の潜航調査により多くのノジュールサンプルが採取された [4,5].
これらのマンガンノジュールの資源としての採掘を行うためには，開発の採算性が保証される必要があり，資源価値の高いノジュールが高密度で分布する海域の特定が求められる．そこで重要となるのが，ノジュールの広域分布を支配する要因の解明である．これまで，南鳥島EEZのマンガンノジュールについては，その成因を解明するための鉱物学的・地球化学的な研究が行われてきている [3,6,7]．一方，ノジュールの形成開始および成長を支配する要因を考察する上では，マンガンノジュールの年代を決定することが極めて重大な意義を持つと考えられる．しかしながら，南鳥島マンガンノジュールの形成年代を決定する試みは，これまでごく限られた事例しか存在しない [8]．そこで本研究では，Os同位体比を用いて南鳥島マンガンノジュールの年代を高時間解像度で決定することを目的とした．
年代決定に用いる試料は，半割したノジュール試料の表層部分から核のある中心部に向かって約2 mm間隔で，タングステンカーバイドドリルを用いて削り出し，カリアスチューブ逆王水分解法によってOsを抽出した後，MC-ICP-MSを用いてOs同位体比分析を行った．そして，分析によって得られたOs同位体比を海水のOs同位体比変動曲線にフィッティングすることで，年代値を制約した．フィッティングに際しては，マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) によるベイズ推定を用いて，可能性の高い年代値を絞り込んだ [9]．またその際に，マンガンノジュールのXRF元素マッピングデータをもとに成長間隙が見られる部分を特定し，その部分に無堆積期間 (ハイエイタス) が存在する可能性も考慮した．
本発表では，年代測定の結果について報告し，南鳥島マンガンノジュールの成長履歴と成因について議論を行う．

<引用文献>
[1] Hein et al. (2013) *Ore Geology Reviews* **51**, 1-14.
[2] 石井・平野 (2010) *深田地質研究所ニュース* **109**, 26-28.
[3] Machida. et al. (2016) *Geochemical Journal* **50**, 539-555.
[4] 石井ほか (2016) *深田地質研究所年報* **17**, 1-28.
[5] Machida et al. (2021) *Marine Georesources & Geothechnology*, **39**, 267–279.
[6] Shimomura et al. (2018) Goldschmidt 2018
[7] Machida et al. (2021) *Island Arc* **30**, e12395. https://doi.org/10.1111/iar.12395.
[8] 野崎ほか (2014) 日本地質学会第121年学術大会
[9] Josso et al. (2019) *Chemical Geology* **513**, 108-119.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: ferromanganese nodule, Os isotopic dating, depositional age, MCMC Bayesian inference, Minamitorishima EEZ

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R1 [Regular Session]Plutonic rocks, volcanic rocks and magmatic processes

[3ch301-12] R1 [Regular Session]Plutonic rocks, volcanic rocks and magmatic processes

Chiar:Tatsuo Kanamaru, K Michibayashi, Yumiko Harigane
Mon. Sep 6, 2021 8:00 AM - 11:45 AM ch3 (ch3)

[R1-O-1] Microstructural analyses of coarse-grained peridotite in the vicinity of mantle diapir in Oman opholite: Implication for seismic anisotropy in lithospheric mantle

*K Michibayashi[1,2,3], Kakihata Yuki[1], Onoue Ayaka[2], Ohya Syoma[2], Odashima Norihiro[2] （1. Nagoya University, 2. Shizuoka University, 3. JAMSTEC）

8:00 AM - 8:15 AM

[R1-O-2] The structure of magma chamber below a fast-spreading ridge based on field observations and core analyses of the Oman ICDP drilling

*Susumu Umino[1], Yuki Kusano[2], Osamu Ishizuka[2], Takahiro Fudai[3], Akihiro Tamura[1], Tomoaki Morishita[1] （1. School of Geosciences and Civil Engineering, Kanazawa University, 2. Geological Survey of Japan, AIST, 3. Taiheiyo Cement Corrperation）

8:15 AM - 8:30 AM

[R1-O-3] Petrography of gabboric xenoliths sampled from northern offshore Oshima-Oshima volcano, Hokkaido

*Yumiko Harigane[1], Osamu Ishizuka[1], Christopher Conway[1], Gen Shimoda[1], Fukashi Maeno[2], Scientific Party of Scientific Party of KH-20-7 cruise （1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Earthquake Research Institute, University of Tokyo）

8:30 AM - 8:45 AM

[R1-O-4] Temporal changes of source mantle compositions for Late Cenozoic volcanic rocks in Oki islands, SW Japan

*Masataka Aizawa[1], Ryuichi Shinjo[2,3], Satoshi Okamura[4,5], Yasuhiro Hirai[6] （1. Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus, 2. Faculty of Science, University of the Ryukyus, 3. Research Institute for Humanity and Nature (RIHIN), 4. Hokkaido Education University, 5. Hokkaido Soil-Research Co-op., 6. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)）

8:45 AM - 9:00 AM

[R1-O-5] Zircon U-Pb dating of the Okueyama Volcano-plutonic Complex, Kyushu, Southwest Japan

*Kenichiro Tani[1], Yukiyasu Tsutsumi[1], Kazuki Omura[2], Masaki Takahashi[2], Tatsuo Kanamaru[2] （1. National Museum of Nature and Science, 2. Nihon University）

9:15 AM - 9:30 AM

[R1-O-6] Emplacement mechanism of the ring dike and batholithic pluton of the Okueyama volcano-plutonic complex inferred from anisotropy of magnetic susceptibility

*Tatsuo Kanamaru[1], Masaki Takahashi[1], Kenichiro Tani[2], Hirokazu Kunishima[1], Daiki Tomita[1], Nozomi Takahashi[1], Joichiro Maru[1], Kenya Iida[1], Kei Hayashi[1], Riku Uetsuki[1], Ryosuke Suzuki[1] （1. College of Humanities and Sciences, Nihon University, 2. National Museum of Nature and Science）

9:30 AM - 9:45 AM

©The Geological Society of Japan

[R1-O-7] Gology and evolution of the Okueyama volcano-plutonic complex, revisited

*Masaki Takahashi[1], Tatsuo Kanamaru[1], Kenichiro Tani[2] （1. College of Humanities and Sciences, Nihon University, 2. National Museum of Nature and Science）

9:45 AM - 10:00 AM

[R1-O-8] [Invited]Origin and tectonics of Permo-Triassic volcanic rocks in southern Mongolia and Paleoproterozoic granitoids in central Nepal

*Takeshi Imayama[1] （1. Okayama University of Science）

10:00 AM - 10:30 AM

[R1-O-9] Magma source of San-yo and Ryoke belt granites and fluid-rock interaction of silicoeus veins and Ryoke metamorphic belt schists

*HAFIZ U. REHMAN[1], YAMAMOTO Hiroshi[1] （1. Kagoshima University）

10:45 AM - 11:00 AM

[R1-O-10] Zircon U-Pb ages and petrographic properties of the Middle Miocene Granitic rocks in Koshikijima, Kagoshima Prefecture, Japan

*Marimo Nakabayashi[1,2], Hafiz U. Rehman[2] （1. Kyushu Univ., 2. Kagoshima Univ.）

11:00 AM - 11:15 AM

[R1-O-11] Crust formation beneath the Japanese Islands viewed from Sr isotopes of the granitic and mafic roks

*Takshi Nakajima[1,2] （1. National Museum of Nature and Science, 2. Kanagawa Prefectural Museum of Natural History）

11:15 AM - 11:30 AM

[R1-O-12] Petrological and Geochemical study of Early ~ Middle Miocene volcanic rocks in Hokuriku region, southwest Japan arc

*Syun WATANABE[1], Toshiro TAKAHASHI[1], Gen SHIMODA[2], Kosuke GOTO[2] （1. Niigata univ., 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology）

11:30 AM - 11:45 AM

©The Geological Society of Japan

Microstructural analyses of coarse-grained peridotite in the vicinity of mantle diapir in Oman opholite: Implication for seismic anisotropy in lithospheric mantle

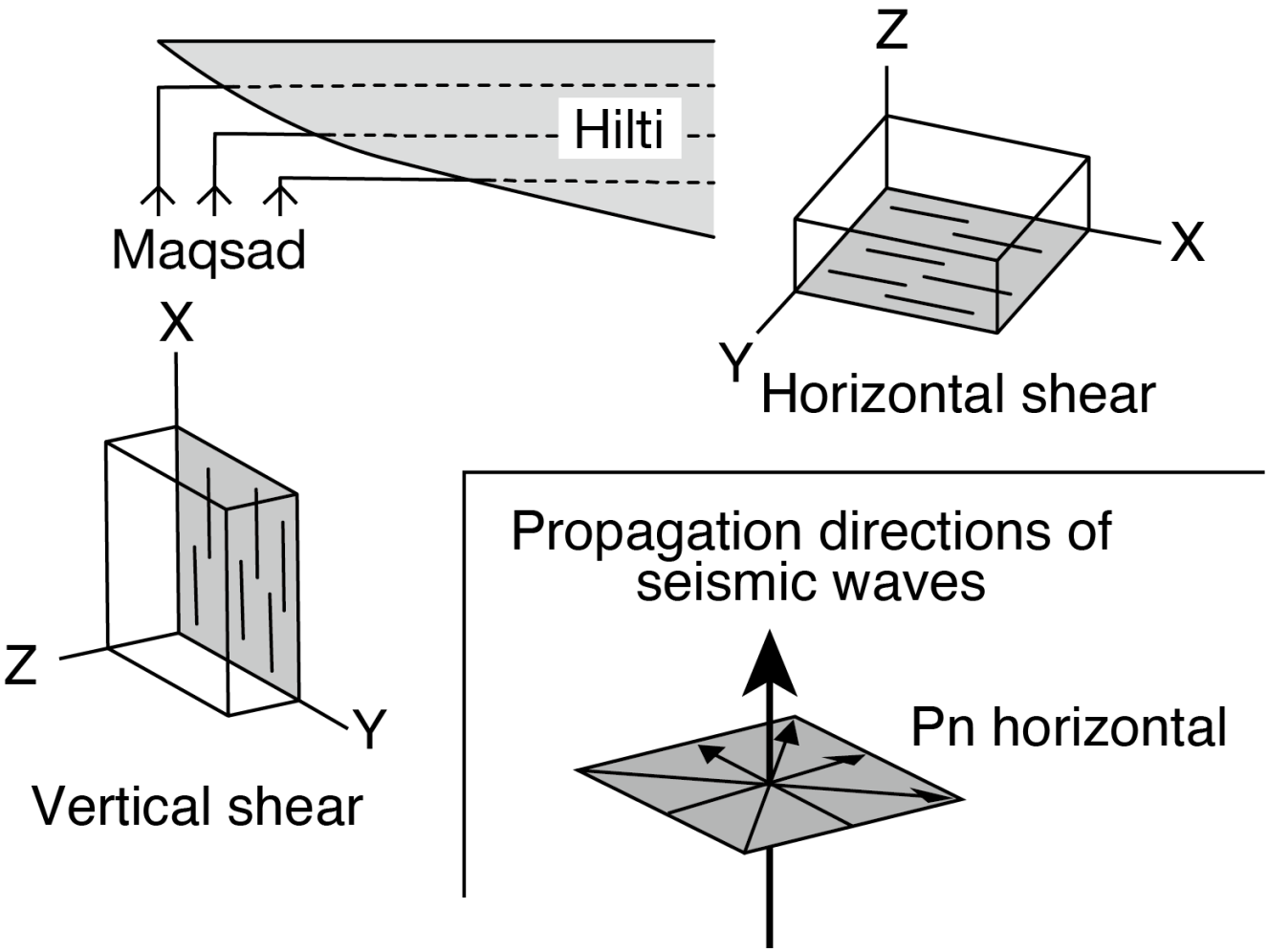
*K Michibayashi[1,2,3], Kakihata Yuki[1], Onoue Ayaka[2], Ohya Syoma[2], Odashima Norihiro[2]

1. Nagoya University, 2. Shizuoka University, 3. JAMSTEC

Petrophysical characteristics of coarse-granular peridotites in a mantle diapir beneath the mid-ocean ridge have been quantitatively compared with those in a common lithospheric mantle peridotites outcropped in the Oman ophiolite. Maqsad mantle section has subvertical structures known to be a mantle diapir, whereas Hilti mantle section is characterized by the subhorizontal structure subparallel to the crust-mantle boundary, presumably a fragment of typical oceanic lithosphere at some distance from the ridge. Despite of the fact that the attitude of foliation and lineation are very different each other, both peridotites have similar textures and grain sizes but slightly different features in olivine crystal-preferred orientations (CPOs). Maqsad peridotites vary from axial [010] patterns (AG type) to (010)[100] patterns (A type), whereas Hilti peridotites are dominated by axial [010] patterns (AG type). It may suggest that the olivine CPOs could have been formed during vertical plastic flow in the mantle diapir and were somehow modified during subsequent horizontal plastic flow under subsolidus conditions. Furthermore, the azimuthal anisotropy would vary in dependent on the structural orientations as well as olivine CPOs, even though actual Vp anisotropies are nearly constant in both peridotites.

Keywords: Mantle, diapir, Mid-ocean ridge, olivine, fabric

© 2021 Geological Society of Japan



© 2021 Geological Society of Japan

The structure of magma chamber below a fast-spreading ridge based on field observations and core analyses of the Oman ICDP drilling

*Susumu Umino[1], Yuki Kusano[2], Osamu Ishizuka[2], Takahiro Fudai[3], Akihiro Tamura[1], Tomoaki Morishita[1]

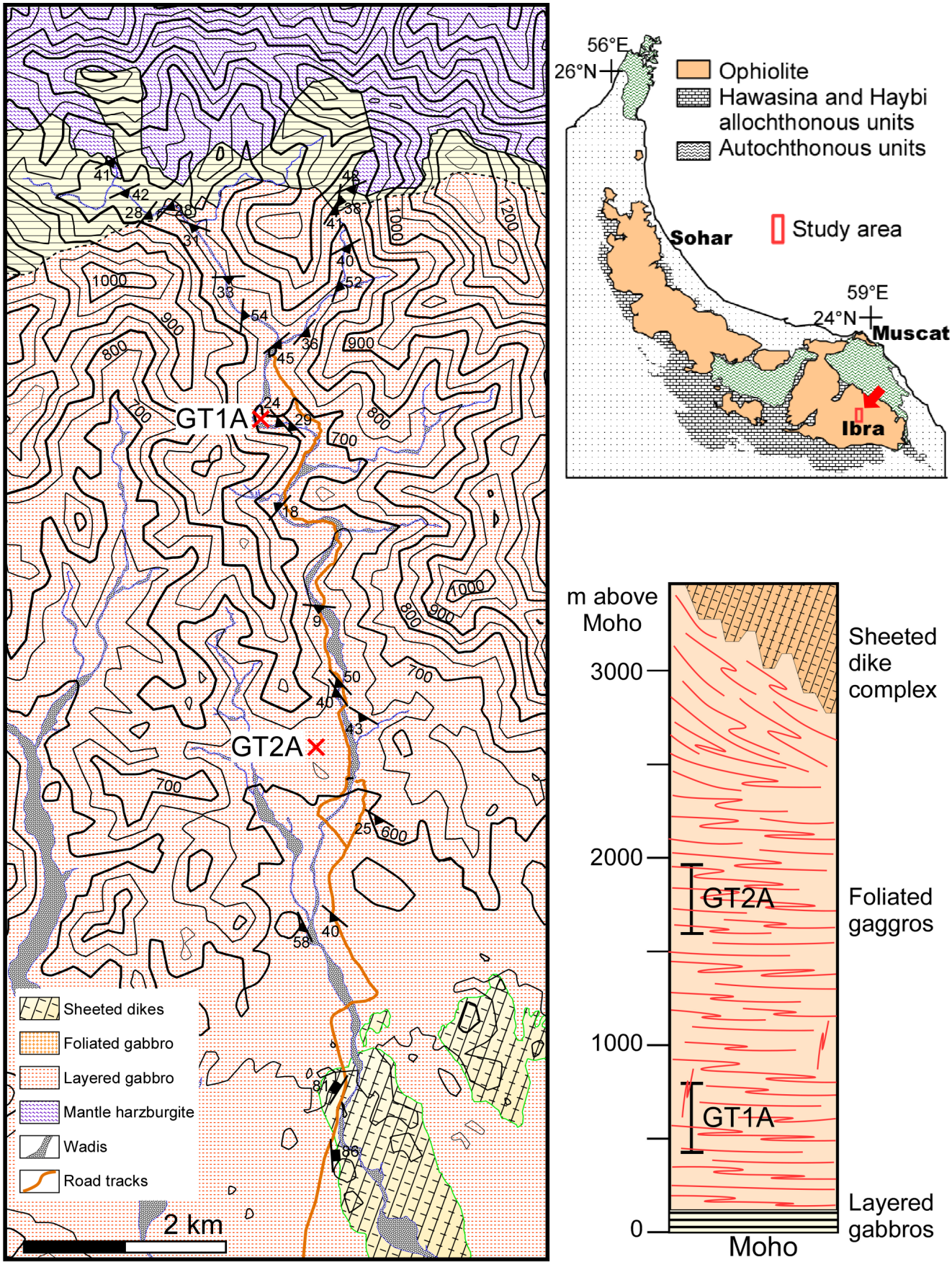
1. School of Geosciences and Civil Engineering, Kanazawa University, 2. Geological Survey of Japan, AIST, 3. Taiheiyo Cement Corrperation

The ICDP Oman Drilling Project drilled the lower crustal section of the Oman Ophiolite in Wadi Gideah, north of Ibra and recovered 400 m long cores each from Hole GT1A and GT2A. Field observations confirmed that the lower crust attains 3.5 km in thickness, among which GT1A and GT2A holes range in stratigraphic height above the Moho from 0.4 to 0.8 km and from 2.0 to 1.6 km, respectively. Foliation and hypersolidus deformation structures are ubiquitous. Modal layering is locally present but is much less common. Well developed modal layering is present in the lowermost 125 m thick gabbro above the Moho.

Cored samples are predominantly olivine gabbros with elongated olivine aggregates and clinopyroxene with quarter structures embedded in granoblastic plagioclase and large euhedral plagioclases with resorbed turbid cores. These textures suggest deformation under the presence of melt, which assisted complete recovery of strain through recrystallization of fine-grained plagioclase and overgrowth of euhedral rims around magmatic plagioclase cores. Poikilitic and ophitic clinopyroxene occur sporadically throughout the holes. Hypersolidus deformation structures are present irrespective to depth.
The whole-rock compositions are mainly controlled by accumulation of plagioclase, olivine, clinopyroxene and interstitial melts. The lower GT1A and higher GT2A sections range in whole-rock Mg#s of 72-83 and 68-79, respectively, with the lowest Mg#s overlapping those of the sheeted dikes. The amounts of trapped melt were estimated by assuming La, Pr and Ce abundance in trapped melts to be equivalent to that of the sheeted dikes. Mass balance calculations yield the amount of trapped melt in gabbros to be 5 to 10 mass% in general and 25 mass% at most.
The drilled cores have foliation formed by hypersolidus deformation but only limited modal layering, ubiquitous zoned cumulus minerals and common ophitic clinopyroxenes and trapped melt >5 mass%, which are all characteristics of foliated gabbros. Furthermore, modally layered gabbros occur only in the lowermost 125 m thick gabbro above the Moho.
We concluded that both GT1A and GT2A holes sampled the thick foliated gabbros in Wadi Gideah section, which crystallized on the axial melt lens floor and were transported downward in the lower crust as gabbro glaciers.

Keywords: Oman ICDP, magma chamber, fast-spreading ridge, upper gabbro, layered gabbro, gabbro glacier

© 2021 Geological Society of Japan



Lithological map and columner section along Wadi Gideah showing planer structures (foliation, layering, intrusive contact) of gabbros and sheeted dikes. Localities and stratigraphic levels of Hole GT1A and GT2A are shown.

© 2021 Geological Society of Japan

Petrography of gabboric xenoliths sampled from northern offshore Oshima-Oshima volcano, Hokkaido

*Yumiko Harigane[1], Osamu Ishizuka[1], Christopher Conway[1], Gen Shimoda[1], Fukashi Maeno[2], Scientific Party of Scientific Party of KH-20-7 cruise

1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Earthquake Research Institute, University of Tokyo

渡島大島は北海道西方に位置しており、東北日本弧の中で最も背弧側に位置する火山である。渡島大島火山からはこれまでduniteやwehrlite、hornblende gabbroといった超塩基性岩・塩基性岩からなる捕獲岩が採取されている（Yamamoto, 1984, 北海道大学理学部紀要; 二宮・荒井, 1992, 火山）。二宮・荒井（1992, 火山）で報告された複合捕獲岩であるharzburgiteは東北日本弧下の上部マントル由来と考えられているが、他の超塩基性岩・塩基性岩捕獲岩は渡島大島火山の玄武岩質マグマだまりからの結晶分化作用に由来すると考えられている(Yamamoto, 1984, 北海道大学理学部紀要)。

2020年8月に学術研究船「白鳳丸」によるKH-20-7航海にて、1741年に大規模山体崩壊を起こした渡島大島火山の周辺海底の海洋地質調査が行われた（石塚ほか、有元ほか、本大会発表参照）。渡島大島北側の海底に確認されている山体崩壊で形成した流れ山地形から採取された玄武岩と玄武岩質安山岩にはんれい岩捕獲岩を発見した。この捕獲岩はおそらく渡島大島の西山火山を形成する玄武岩質マグマだまりに関連すると考えられ、マグマだまり内部のプロセスを記録する可能性を持つ。そこで本研究は渡島大島火山下のマグマだまりの状況について検討するために、得られたはんれい岩捕獲岩の温度圧力条件や形成過程などを明らかにすることを目的とした。

岩石試料はドレッジによって2地点から採取した3試料を用いた。得られたはんれい岩捕獲岩の大きさは3x3 cm程度であり、玄武岩と玄武岩質安山岩にそれぞれ包有されていた。肉眼観察からは輝石の配列などによる面構造・線構造は確認できなかった。はんれい岩捕獲岩の構成鉱物は主に斜長石、かんらん石、単斜輝石、直方輝石、不透明鉱物（イルメナイトとマグネタイト）からなるかんらん石はんれい岩であった。3試料のうち2試料は角閃石を含んでいた。

微細構造観察において、3試料ともに半自形~他形の斜長石と他形のかんらん石・単斜輝石・直方輝石・角閃石からなるgranular textureが観察された。波動消光などの結晶内変形構造が一部の斜長石や輝石に確認できたがほとんどの鉱物にこうした結晶内変形構造は見られなかった。一部の斜長石に累帯構造が確認できた。かんらん石は内部に針状の酸化鉄物質の晶出が確認でき、全体的に赤みを呈していた。はんれい岩捕獲岩と母岩の周囲には反応縁が形成しており、細粒化していた。こうした反応縁による細粒化ははんれい岩捕獲岩の内部にも確認できた。かんらん石はんれい岩の主要鉱物の化学組成についてEPMA(産総研 地質調査総合センター 共同利用実験室所有)を用いて分析した。かんらん石はんれい岩3試料において、斜長石のコア部はAn83-An94、リム部ではAn45-An87の範囲を示した。単斜輝石はaugite組成を示し、Mg#(Mg/(Mg+Fe)))は同じような値を示した（Mg#77-Mg#81）。直方輝石はhypersthene組成を示した。また、かんらん石はんれい岩２試料において、Mg#は同じ値（Mg#76-Mg#78）を示すが、かんらん石はんれい岩1試料は他の2試料よりやや高い値（Mg#78-Mg#95）を示した。かんらん石はんれい岩2試料に確認した角閃石はすべてpargasite組成を示した。主要鉱物（斜長石・かんらん石・単斜輝石・直方輝石・角閃石）の結晶方位はSEM-EBSD-EDS(産総研 地質調査総合センター 共同利用実験室所有)を用いて分析した。角閃石を含まないかんらん石はんれい岩１試料については、斜長石・かんらん石で集中を示したが，他の角閃石を含むかんらん石はんれい岩では分析した鉱物すべてに特徴的な集中が認められなかった。

本講演ではこれらのはんれい岩捕獲岩の詳細な微細構造観察・鉱物化学組成・結晶方位分析の結果を報告するとともに、かんらん石はんれい岩形成時の温度圧力条件や形成過程について議論する。

Keywords: Oshima-Oshima volcano, gabbroic xenoliths

© 2021 Geological Society of Japan

Temporal changes of source mantle compositions for Late Cenozoic volcanic rocks in Oki islands, SW Japan

*Masataka Aizawa[1], Ryuichi Shinjo[2,3], Satoshi Okamura[4,5], Yasuhiro Hirai[6]

1. Graduate School of Engineering and Science, University of the Ryukyus, 2. Faculty of Science, University of the Ryukyus, 3. Research Institute for Humanity and Nature (RIHIN), 4. Hokkaido Education University, 5. Hokkaido Soil-Research Co-op., 6. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

はじめに

隠岐諸島には，漸新世～更新世の火山岩類と堆積岩類が分布する。隠岐諸島の後期新生代の火山活動は，中期中新世以前は非アルカリ岩の活動が中心で，後期中新世以降はアルカリ岩の活動が中心となる[1]。
本研究では，隠岐諸島に分布する後期漸新世以降の火山岩類について岩石学的検討を行い，日本海拡大の直前に活動していた火山岩の起源マントル，日本海拡大を引き起こしたアセノスフェアマントル，および日本海拡大後のアルカリ岩類の起源マントルの地球化学的組成の時間変化について考察した。

全岩化学組成

時張山［ときばりやま］層（26.0～18.1 Ma）は安山岩質の火砕岩と溶岩，郡［こおり］層（19.2～13.7 Ma）は玄武岩質の溶岩と火砕岩からなる。これらの火山岩はいずれも島後に分布し，非アルカリ岩とアルカリ岩の境界付近の組成を有する。不適合元素パターンは，E-MORBに類似したやや肥沃的な組成で，Nb-Taに負異常を持ち，高いLILE/HFSEを示す沈み込み帯火山岩の特徴を示す。Sr-Nd-Pb-Hf同位体組成は，第四紀の東北日本弧火山フロントの最も南部の火山グループ[2]の組成と一致する。
重栖［おもす］層と葛尾［つづらお］層（5.7～5.0 Ma）は島後に広く分布し，主に粗面岩～アルカリ流紋岩の溶岩からなり，島後の西部ではショショナイト（5.5～5.1 Ma）がシート状に郡層中に貫入している。また，島前火山の外輪山上部溶岩（5.8～5.6 Ma）は，島前に広く分布し，主に粗面安山岩～粗面岩の溶岩からなる。これらの酸性岩類はいずれも，OIBに類似した肥沃な不適合元素組成を示し，ショショナイトを除き，Ba，Sr，Euに顕著な負異常がみられる。ショショナイトは，Nb-Ta，Zr-HfおよびSrに弱い負異常が認められる。これらのアルカリ酸性岩類の同位体組成は，下部地殻起源と考えられる隠岐島後の苦鉄質捕獲岩[3]の組成に近い。
同時期の島前には，アルカリ玄武岩質の外輪山下部溶岩（6.3～5.8 Ma）が分布する。また，島前の宇受賀［うずか］玄武岩（2.9 Ma）は，スピネルレルゾライトを捕獲する島後のアルカリ玄武岩（4.7～0.42 Ma）と同時期のアルカリ玄武岩の活動である。これらのアルカリ玄武岩はいずれも，OIBに類似した極めて肥沃的な組成で滑らかな不適合元素パターンを示し，大和海盆の玄武岩とEM-Iの中間的な同位体組成を示す。なお，スピネルレルゾライトの捕獲岩は，日本海の海底玄武岩の同位体組成[4など]と類似する。
（年代値は浦郷図幅[5]，西郷図幅[1]より引用）

考察

アルカリ玄武岩は，一部に未分化玄武岩を含み，数%以下のかんらん石の逆分別により，初生メルト組成を求めることができる。初生メルトの温度とマグマ分離深度は1290-1380℃，1.8-2.6 GPaと見積もられ，スピネルレルゾライトの高圧側のリキダス温度に近い。
隠岐島後のレルゾライト捕獲岩の同位体組成は，時張山層・郡層火山岩の組成とは明らかに異なる。つまりこれらのかんらん岩は，阿部ら[6]の主張する日本海拡大期に噴出した玄武岩の残存固相である可能性がある。このレルゾライトはスピネル相の安定領域を示すことから，日本海拡大を引き起こしたアセノスフェアマントルは，アルカリ玄武岩の起源マントル（EM-I）の直上に分布していると推定される。
隠岐諸島の火山活動は，7-5 Ma頃にアルカリ岩系列の玄武岩と酸性岩のバイモーダルな火山活動が生じている。この時期のアルカリ酸性岩類は，玄武岩質マグマによる下部地殻の部分融解，あるいは混染作用により生成されたと考えられており[7など]，本研究による微量元素・同位体組成の特徴もこの見解を支持する。

© 2021 Geological Society of Japan

以上を総合的に解釈すると，隠岐諸島の周辺では少なくとも18 Ma頃までは古い大陸下リソスフェアマントルに由来する沈み込み帯マグマが生成され，15 Ma頃までに日本海拡大を引き起こしたアセノスフェアマントルが流入し，7 Ma頃には，さらにその下位から肥沃的なマントル（EM-I）が流入してきたと考えられる。

※本研究は，2019年度，2020年度隠岐ジオパーク研究助成を受けた。

引用文献

[1]鈴木ほか, 2009, 5万分の1西郷図幅，[2]Kimura and Yoshida, 2006, J.Petrol.，[3]Moriyama, 2006, 岡山大博論，[4]Hirahara et al., 2015, G^3，[5]千葉ほか, 2000, 5万分の1浦郷図幅，[6]Abe et al., 2003, Island Arc，[7]小林ほか, 2002, 岩鉱

Keywords: Oki islands, Alkaline series rocks, Japan Sea, Mantle, Lower crust

© 2021 Geological Society of Japan

Zircon U-Pb dating of the Okueyama Volcano-plutonic Complex, Kyushu, Southwest Japan

*Kenichiro Tani[1], Yukiyasu Tsutsumi[1], Kazuki Omura[2], Masaki Takahashi[2], Tatsuo Kanamaru[2]

1. National Museum of Nature and Science, 2. Nihon University

大崩山火山深成複合岩体は、大分県・宮崎県にまたがって分布するカルデラ火山群とそれに貫入する花崗岩体から構成されている。また本岩体は中期中新世に西南日本外帯で大規模かつ短期間に活動した酸性マグマ活動の一環として形成されたと考えられている。 大崩山火山深成複合岩体は、西南日本弧の付加体に対応するジュラ紀の三宝山帯・秩父帯と白亜紀の四万十帯、それらを覆う中新世の見立層群を基盤としている。また岩体北部の秩父帯には、蛇紋岩と花崗岩類・堆積岩類が混在している黒瀬川帯相当の岩相も含まれる。 大崩山火山深成複合岩体の形成活動史やマグマの地球化学的特徴については、Takahashi (1986)、高橋他（2014）などの詳細な地質調査と全岩化学組成分析によって、以下のように大きく４つの活動ステージに分類されている：

１．S-type的な地球化学的特徴を示す、前期コールドロン群の形成：祖母山流紋岩･デイサイト質火砕流堆積物（SDT）の噴出と祖母山コールドロンの形成→傾山無斑晶質流紋岩質溶岩（KRL）の噴出→傾山流紋岩・デイサイト質火砕流堆積物（KDT）の噴出と傾山コールドロンの形成 S-type的な貫入岩の活動：斜方輝石･黒雲母花崗閃緑岩（古期花崗岩類I, OKG3）
２．I-type的な地球化学的特徴を示す、祖母山安山岩･デイサイト質複成火山（SALT）の形成（コールドロンを埋積する形で噴出。厚い溶岩と火砕流堆積物からなる） I-type的な貫入岩の活動：石英モンゾニ閃緑岩・グラノフィア（古期花崗岩類II, OBG2）
３．I-type的な新規コールドロンの形成：国見岳流紋岩質火砕流堆積物(KRT)の噴出→大崩山コールドロンの形成 I-type的な貫入岩の活動：凝灰岩岩脈→珪長岩岩脈→花崗斑岩からなる環状岩脈
４．バソリス状I-type花崗岩（OKG1-2, FKG, HKG, OBG1など）の貫入・定置 本研究では大崩山火山深成複合岩体について、絶対年代に基づいて形成活動史を制約するために、火山岩類・深成岩類の系統的なジルコンU-Pb年代測定を行った。測定は国立科学博物館設置のレーザアブレーションICP質量分析計を用いて実施した。

その結果、大崩山火山深成複合岩体の火山活動
には二つの噴火ステージが存在することが明らかになった。

1. S-type的な火山活動（前期コールドロン群形成）に伴うSDT, KRL, KDTの活動：14.8 –14.3 Ma
2. I-type的な火山活動（新期コールドロン形成）に伴うKRTの活動:13.9 Ma

また貫入岩・花崗岩類の活動についても、S-type的な特徴を示す古期花崗岩類I（OKG3）が、最も古い14.3 Maの年代を示し、それ以降のI-type的な岩体（グラノフィア, 環状岩脈, OKG1-2, FKG, HKG, OBG1）については火山岩類と同時期か更に若い、14.3 –13.2 Maの年代が得られた。 バソリス状花崗岩（OKG1）について、Takahashi (1986)では地質学的観察に基づき、水平なルーフ境界をもつ岩体としている。また岩体上位は黒雲母花崗岩であるのに対し、より下位は角閃石黒雲母花崗閃緑岩から構成される、垂直方向累帯深成岩体であると解釈されいる。しかし本研究による年代測定によって、ルーフ近傍のバソリス上部花崗岩は14.3 –14.1 Maの年代を示すのに対し、それより下位の部分は系統的に若い、13.9 –13.2 Maの年代が得られた。これはバソリスが少なくとも２回のマグマ貫入によって形成された可能性が高いことを示している。

さらには岩体北部の基盤を構成する黒瀬川帯相当の変形花崗岩類からは、430 Ma前後の年代が得られ、これは紀伊半島・四国西部・九州中部の黒瀬川帯中の花崗岩類から報告されているジルコン年代（~440 Ma：Aoki

© 2021 Geological Society of Japan

et al., 2015）とよく一致しており、その延長が本地域にも分布していることが初めて確認された。

系統的なジルコンU-Pb年代測定によって、大崩山火山深成複合岩体の活動期間は約150 万年間に及ぶことが明らかになった。また外帯酸性マグマ活動においては、まずS-type的な活動が起こり、その後I-type的活動に漸移することが指摘されていたが（高橋他2014）、本研究によって、そのマグマ組成の変化は約40万年間という比較的短期間に起こった可能性が高いことが明らかになった。

Aoki, K. et al., 2015, JAES, 97, 125-135
Takahashi, M, 1986, JVGR, 29, 33-70
高橋正樹ほか, 2014, 日大文理学部紀要, 49, 173-195

© 2021 Geological Society of Japan

Emplacement mechanism of the ring dike and batholithic pluton of the Okueyama volcano-plutonic complex inferred from anisotropy of magnetic susceptibility

*Tatsuo Kanamaru[1], Masaki Takahashi[1], Kenichiro Tani[2], Hirokazu Kunishima[1], Daiki Tomita[1], Nozomi Takahashi[1], Joichiro Maru[1], Kenya Iida[1], Kei Hayashi[1], Riku Uetsuki[1], Ryosuke Suzuki[1]

1. College of Humanities and Sciences, Nihon University, 2. National Museum of Nature and Science

はじめに

中期中新統大崩山火山深成複合岩体を構成する環状岩脈および花崗岩体の貫入定置機構を明らかにするため，それらの帯磁率異方性測定を行った。帯磁率異方性は，火成岩体の貫入定置機構を明らかにするために重要な岩体内部構造を定量的に見積もる方法として広く用いられている。 大崩山火山深成複合岩体は，主に火砕岩類，成層火山堆積物，環状岩脈，花崗岩体などから構成される祖母山・傾山・大崩山の３つのコールドロンからなる。このうち最大の外周をもつ大崩山コールドロン形成時，岩体周縁部に花崗斑岩からなる大規模な環状岩脈が貫入し，活動最末期に花崗岩体が貫入定置している。花崗岩体は，四万十層群からなる大崩山をルーフとして載せ，鹿川・祝子川の流域に露出する主要な大崩山岩体の他に，日之影，藤河内，尾平などの地域に小岩体が露出するがそれらは地下では連続した岩体を形成している（Takahashi,1986）。Takahashi (1986)では，地質学的証拠から，花崗岩体は大崩山および尾平付近でやや高まりがある概ね平坦なルーフをもつ岩体の形体が復元されている。 帯磁率異方性測定に用いた試料は定方位ブロック試料として採取し，実験室内で測定用試料に整形した。測定にはAGICO社製Kappabridge KLY-3Sを用いた。

環状岩脈

環状岩脈の帯磁率面構造の走向は，全体として概ね岩脈の伸びの方向と調和的な走向を示し，比較的急傾斜を示すものが卓越する。岩脈幅が広く，岩脈横断方向で複数地点のサンプリングを行った岩体南西部や中北部のルートでは，岩脈の縁辺部で急傾斜，中心部で緩傾斜なる構造が得られた。これは岩脈内の速度勾配を反映した構造を示すと考えられる。帯磁率線構造は，緩傾斜な構造を示す地点が卓越するが，南部および東部の複数地点でマグマ上昇域の存在を示唆する急傾斜～やや急傾斜な構造を示す。帯磁率異方性から得られた構造は，環状岩脈を形成したマグマは全域で一様に上昇したわけではないことを示している。また，谷ほか（2021）による環状岩脈のジルコンU-Pb年代が環状岩脈全体がほぼ同時期の活動であること示していることを考慮すると，本環状岩脈は，複数のマグマ上昇域からマグマが上昇し，側方向へ流動するような様式により形成されたことを示している。このようなマグマ上昇・流動様式はAltenberg-Teplice caldera complexで推定されているような傾いたトラップドア型の母岩沈降（Tomek, 2019）の結果として形成された可能性がある。さらに，コールドロン内部にも環状岩脈は分布していることから，沈降する母岩はある程度の大きさを持つブロック状に分断されていた可能性も考えられる。

花崗岩体

帯磁率面構造は急傾斜を示すものが卓越するが，ルーフ付近では緩傾斜になる傾向がみられるなど，復元された岩体の形状に矛盾しない構造がみられる。帯磁率線構造は，岩体全体として中～緩傾斜な構造を示すものが卓越する。藤河内岩体北部，鹿川岩体境界付近，祝子川岩体境界付近で急傾斜な線構造がみられる。このうち，前二者は，Takahashi (1986)で示された岩体復元図において，急傾斜な壁境界付近に位置しており，復元図と矛盾のない構造を示している。岩体の中心付近に位置する後一者は，3次元構造を考慮すると，ルーフからの距離が大きい位置に相当する。谷ほか（2021）のジルコンU-Pb年代は，花崗岩体に少なくとも2つの活動期があることを示している。特に大崩山岩体においては，それらはルーフに近いものは比較的古く，遠いものはより新しいという傾向を示すことから，花崗岩体は少なくとも2回の貫入イベントにより形成された可能性が高い。ルーフからの距離を考慮すると，岩体中心部にある急傾斜な構造を示す地域は新しい活動期に形成された可能性が高い。ここで，地質学的視点からは，花崗岩体はストーピングによる貫入したと考えられる（Takahashi, 1986）。これらに帯磁率異方性の測定結果加えると，花崗岩帯の貫入定置機構は以下のような

© 2021 Geological Society of Japan

ものであったと考えられる。すなわち，母岩ブロックの沈降に伴い，帯磁率線構造が急傾斜をなす岩体の縁辺部の壁境界付近からマグマが上昇し，側方方向へ流動し，そこでは，緩傾斜な構造が形成される。これらの貫入イベントは少なくとも2回あり，より新しい貫入イベントでは，母岩がブロック状に分断されながら沈降したことにより，岩体中心部付近にあった割れ目からもマグマの上昇があった可能性がある

引用文献

Takahashi, M., 1986, JVGR, 29, 33-70
谷健一郎ほか，2021，本学術大会講演要旨
Tomek, F. et al., 2019, GSA Bull. 131, 997-1016

Keywords: anisotropy of magnetic susceptibility, Okueyama volcano-plutonic complex, granite, ring dike, emplacement mechanism, plutonic rock

© 2021 Geological Society of Japan

Gology and evolution of the Okueyama volcano-plutonic complex, revisited

*Masaki Takahashi[1], Tatsuo Kanamaru[1], Kenichiro Tani[2]

1. College of Humanities and Sciences, Nihon University, 2. National Museum of Nature and Science

大崩山火山深成複合岩体（Takahashi,1986）の地質を再検討し，新たにジルコンのU-Pb年代を求め（谷ほか, 2021），貫入岩体に関する帯磁率異方性による貫入定置メカニズムの検討を行って（金丸ほか, 2021），時間軸を導入し解像度を上げた形でその形成過程を明らかにした。大崩山火山深成複合岩体を構成する火成岩は，祖母山・傾山コールドロンを形成したS-typeと，複成火山体や大崩山コールドロン・バソリス状花崗岩体などを形成したI-typeとに大きく区分される（高橋ほか,2014）。以下にその形成過程を示す。 (1)祖母山コールドロンの形成: 祖母山コールドロン（20×13km）は，総噴出量300km^{3}以下の流紋岩～デイサイト質溶結火砕流堆積物および溶岩の噴出によって形成された。コールドロン外側では最大層厚150mの溶結火砕流堆積物がみられ，またコールドロン内は全層厚570m以上の溶結火砕流堆積物と溶岩からなり，下底部には花崗岩バソリスが直接貫入している。コールドロン外の溶結火砕流堆積物のジルコンU-Pb年代は14.77Maである。(2) 傾山コールドロンの形成: 傾山コールドロンに先行して，層厚250m，噴出量60km^{3}に及ぶ大規模な無斑晶質流紋岩質溶岩が噴出した。傾山コールドロン（12×6km）は，全層厚500m，総噴出量350km^{3}以下の流紋岩～デイサイト質溶結火砕流堆積物の噴出によって形成された。この溶結火砕流堆積物のジルコンU-Pb年代は14.51Maである。現在の傾山コールドロンの内部は，後から噴出した安山岩～デイサイト質溶岩・火砕流堆積物によって埋積されており，底部は花崗岩バソリスの直接の貫入を受けていて，その下部に存在したコールドロン形成に直接関係した火山岩類は失われている。(3)S-type花崗岩の貫入: 大崩山コールドロン内の南東部にS-typeの性質を示す直方輝石・黒雲母花崗閃緑岩の貫入があり，そのジルコンU-Pb年代は14.32Maである。(4)安山岩～デイサイト質複成火山の形成: S-type的なマグマ活動によって祖母山・傾山両コールドロンが形成された後，I-type安山岩～デイサイト質の厚い溶岩流および火砕流堆積物の噴出が繰り返され，最大層厚が1000mを超え、総噴出量が200km^{3}余りの複成火山が形成された。また，複成火山の火道として，石英モンゾニ閃緑岩（安山岩質）～グラノファイア（デイサイト質）が貫入した。ジルコンのU-Pb年代として，安山岩質溶岩の14.09Ma（Shinjoe et al., 2019），グラノファイアの14.08Maが得られている。(5)大崩山コールドロンの形成: 全層厚400m以上，総噴出量370km^{3}以下の結晶に富むI-type流紋岩質溶結火砕流堆積物の環状割れ目からの噴出により，沈降量が1000m余りの大崩山コールドロン（33×23km）が形成された。環状岩脈およびその分岐岩脈では，無斑晶質流紋岩（珪長岩）→凝灰岩・ラピリ凝灰岩（火砕流の噴出）→花崗斑岩の順に貫入が行われた。ジルコンのU-Pb年代は，流紋岩質溶結火砕流堆積物が13.91Ma，花崗斑岩が13.97-14.13Maであり，ほぼ同一の年代を示す。環状岩脈へのマグマの移動は複数の地点から始まり，それぞれの地点から水平方向にマグマが移動することによって行われた。(6)大崩山バソリス状花崗岩体の貫入: 野外での貫入関係では，最後にバソリス状花崗岩体（30×20km）が貫入した。I-typeバソリス状花崗岩は，ルーフ直下では$SiO_2$70wt.%以上の黒雲母花崗岩であり，ルーフから1000mの断面が観察される大崩山岩体では，ルーフから300～400m以深では，$SiO_2$70wt.%未満の角閃石黒雲母花崗岩～花崗閃緑岩からなる。ジルコンのU-Pb年代では、ルーフから300～400mの岩体上部が14.25～13.85Maと古い年代を示し，それ以深および一部岩体が13.51～13.21Maといった若い年代を示していて，両者の間には数10万年以上の時間間隙が認められる。また，若い年代の花崗岩類に含まれるI-type安山岩～デイサイト質の苦鉄質マグマ性包有岩もホスト花崗岩とほぼ同じ年代を示しており，この時地下深部には安山岩～デイサイト質マグマが存在していた。バソリス状花崗岩マグマの貫入は，地下コールドロン・ブロックストーピングおよび漸増定置によって行われたらしい。 文献 Takahashi, M.,1986, JVGR, 29,33-70 谷ほか, 2021, 本学術大会講演要旨 金丸ほか, 2021, 本学術大会講演要旨 Shinjoe, H. et al., 2019, Geol.Mag,, http://doi.org/10.1017/S0016756819000785

Keywords: Miocene, volcano-plutonic complex, granite, U-Pb age, intrusion-emplacement mechanism

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Origin and tectonics of Permo-Triassic volcanic rocks in southern Mongolia and Paleoproterozoic granitoids in central Nepal

*Takeshi Imayama[1]

1. Okayama University of Science

造山帯の火成岩類の起源を特定することは、その地域のテクトニクスを議論する上で重要である。中央アジア造山帯は、原生代から三畳紀までの世界で最も大きな付加型造山帯の一つであり、シベリア地塊の南縁に徐々に発達し、北中国地塊が衝突して、最終的にSolonker衝突境界帯に沿って古アジア海が閉じたと考えられている。しかし、古アジア海の最終閉鎖のタイミングが、古生代初期なのか後期なのかは議論があった。Imayama et al. (2019a) によると、モンゴル南部に分布する火山岩類はアルカリ元素に富む玄武岩、粗面安山岩、粗面岩などから構成される。全岩化学組成やカリウムーアルゴン法による長石の年代測定からは、これらの火山岩類はペルム紀後期ー三畳紀前期 (約270-240 Ma) の沈み込み帯の背弧側で生成されたことが推定される。また、火山岩体上部の陸源性砂岩からの砕屑性ジルコンの最小年代分布（約220-205 Ma）に基づくと、これらの火山堆積物は三畳紀後期以降に堆積したと推定される。これらのモンゴル南部火山岩類の岩石学的・年代学的研究結果は、最終衝突前のペルム紀後期ー三畳紀前期まで海洋プレート沈み込み帯が続いていたことを示唆しており、古アジア海の最終閉鎖のタイミングはペルム紀後期ー三畳紀前期頃であることを支持する。

ヒマラヤ造山帯は、新生代の大陸衝突帯である一方で、その基盤は主に古原生代火成岩類（約1.92-1.74 Ga in Nepal）から構成される。これらの古原生代火成岩類の成因は、コロンビア超大陸の離合集散に関連するが、当時のインド大陸北縁が受動的大陸縁なのか活動的大陸縁なのか活発に議論されている。Imayama et al. (2019b) は、中央ネパールカトマンズ地域の古原生代花崗岩類の起源を、全岩・鉱物化学組成、Rb-Sr同位体比、ジルコン年代測定を用いて推定した。ジルコンの微量元素は、重希土類元素やTh/U比に富み、火成起源の特徴を示す。ウラン一鉛年代とジルコンTi温度計は、これらの花崗岩類は約1.74 Gaに705-765 ℃で結晶したことを示す。全岩化学組成は、パーアルミナス、高Sr同位体比や高Th-U濃度で特徴づけられ、テクトニック判別図も踏まえると、研究地域の花崗岩類は地殻溶融で形成された可能性が高い。ネパール他地域を含む先行研究を合わせると、約1.92–1.90 Gaのリフト形成後に、thermal subsidenceに伴う約1.84–1.74 Gaの地殻溶融イベントが推定される。これらの結果は、古原生代におけるインド大陸北縁は、受動的大陸縁であったことを示唆する。

引用文献 Imayama, T., Koh, Y., Aoki, K., Saneyoshi, M., Yagi, K., Aoki, S., Terada, T., Sawada, Y., Ikawa, C., Ishigaki, S., Toyoda, S., Tsogtbaatar, Kh, Mainbayar, B., 2019a. Late Permian to Early Triassic back-arc type volcanism in the southern Mongolia volcano-plutonic belt of the Central Asian Orogenic Belt: Implication for timing of the final closure of the Palaeo-Asian Ocean, Journal of Geodynamics, 131, 101650. Imayama, T., Arita, K., Fukuyama, M., Yi, K., and R. Kawabata, 2019b. 1.74 Ga crustal melting after rifting at the northern Indian margin: investigation of mylonitic orthogneisses in the Kathmandu area, central Nepal. International Geology Review, v. 61, p. 1207-1221.

Keywords: Tectonics, Permo-Triassic volcanic rocks in southern Mongolia, Paleoproterozoic granitoids in central Nepal

© 2021 Geological Society of Japan

Magma source of San-yo and Ryoke belt granites and fluid-rock interaction of silicoeus veins and Ryoke metamorphic belt schists

*HAFIZ U. REHMAN[1], YAMAMOTO Hiroshi[1]

1. Kagoshima University

Oxygen isotope results ($\delta^{18}O$) of quartz are presented for the San-yo and Ryoke belt granites, associated metamorphic rocks (pelitic schists, siliceous schists), and two generations of siliceous veins (foliation-parallel and foliation-normal) that exist in pelitic and siliceous schists. Purified quartz grains from the above-mentioned lithologies were analyzed for $\delta^{18}O$ using the conventional fluorination method. Quartz grains showed $\delta^{18}O$ values (relative to VSMOW) of 9.7 to 12.9 ‰in granites, 15.1 to 17.3 ‰in biotite schist, and 16.4 to 17.8 ‰in siliceous schist. The $\delta^{18}O$ values of quartz from foliation-parallel veins in biotite schist were 16.6 ‰whereas quartz grains from the foliation-normal veins in biotite schist had $\delta^{18}O$ values of 17.3 ‰. The $\delta^{18}O$ values of quartz in the investigated granite samples are comparatively higher than usually found in the typical I-type granites (ca. 5–8 ‰) and show some overlap with the S-type granites (ca. 9–12 ‰). These features suggest that the source magma of Ryoke and San-yo these granites was likely derived from the partial melting of the chemically modified crust with sedimentary precursors. Hafnium isotope data of zircons from the same granites, reported in an earlier publication (Mateen et al., 2019, Geosciences Journal 23, 917-931), exhibited by $_{Hf}$ (t) values between +1.1 and -4.8 provide additional evidence for the formation of the granites from a continental crust with some incorporation of the reworked older crustal material that was hydrothermally altered before partial melting. The relatively higher $\delta^{18}O$ values (> 15 ‰) of quartz in foliation-parallel and foliation-normal veins indicate their precipitation from the silica- and ^{18}O-rich fluids that were extracted from the slab-dehydration process during late-stages of their evolution. Detailed results can be seen elsewhere (Rehman et al. 2021, Journal Episodes).

References
Mateen et al., 2019. Geosciences Journal 23, 917-931
Rehman et al. 2021. Episodes, https://doi.org/10.18814/epiiugs/2021/021012

Keywords: Ryoke belt, San-yo belt, granites, oxygen isotope data, partial melting

© 2021 Geological Society of Japan

Zircon U-Pb ages and petrographic properties of the Middle Miocene Granitic rocks in Koshikijima, Kagoshima Prefecture, Japan

*Marimo Nakabayashi[1,2], Hafiz U. Rehman[2]

1. Kyushu Univ., 2. Kagoshima Univ.

中央構造線・仏像構造線を挟んで太平洋側地域を西南日本外帯と呼び，この外帯においては様々な規模で花崗岩類が露出する.これらのほとんどは中期中新世のごく短い間に形成されたものであり，放射年代はc.a.10-15Maと報告されている.南九州地域に分布する花崗岩のほとんどが外帯花崗岩の一部であり，c.a.12~15MaのK-Ar年代及びフィッショントラック年代が報告されている（Miyachi，1985; 柴田，1978）．この中でも鹿児島県北西部の甑島列島は臼杵一八代構造線の延長上にあり，西南日本弧と琉球弧の会合部に位置するため日本海・沖縄トラフ拡大を考える上で重要な地域と言える．甑島列島は主に上甑島，中甑島および下甑島の3島からなる離島である．甑島列島には後期白亜紀の姫浦層群の堆積岩が広く分布しており、下甑島と一部上甑島に甑島には花崗岩が露出している(田代・野田，1973)．これらの花崗岩から分離した黒雲母K-Ar年代は13±4Ma（Miller et al., 1962）と報告されている．また，近年では琉球弧拡大との関連性についても議論が行われている（Ishihara et al., 1984; 新正・折橋，2019）．しかし甑島の花崗岩類の成因ついて詳細な研究はなされていない．したがって, 本稿では甑島花崗岩のレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析計(LA-ICP-MS)を用いたU-Pb放射年代測定およびその形成成因の推定を目的に研究を行ったことを報告する． 調査地域の露頭において下甑島では比較的優白色で粗粒のの花崗閃緑岩，上甑島では灰白色から青白色細粒の花崗閃緑岩から閃緑岩が観察された．また，上甑島では白色花崗岩脈や石英脈もよく観察された．花崗岩と基盤岩の境界付近では接触熱変成作用によりホルンフェルスが形成されている．偏光顕微鏡下では，ほとんどの岩石は斜長石に富んだ角閃石黒雲母花崗閃緑岩であった．岩石内の主要構成鉱物は石英・斜長石・カリ長石・黒雲母・角閃石類，副成分鉱物はジルコン・アパタイト・イルミナイトが見られた．採取した岩石のうち下甑花崗閃緑岩帯南部と中部で2試料，上甑島花崗閃緑岩で1試料，これに接触するホルンフェルスより1試料からジルコンを抽出し,電子顕微鏡及びカソード像などで内部構造を把握した後、LA-ICP-MSによってU-Pb放射年代測定を行った.これにより下甑島の花崗岩南部（Kos-2）から10.38±0.50 Ma（MSWD＝0.94, n=14), 同じく，下甑島花崗岩中部（Kos-11）から11.17±0.53Ma(MSWD＝1.4,n=8),上甑島花崗閃緑岩（Kos-19）から10.03±0.44Ma(MSWD＝1.3,n=12),と周りのホルンフェルス（Kos-17）からは14-87Ma (n=5)の値が得られた. 甑島花崗岩は10Maと近辺に見られる西南日本外帯の紫尾山花崗閃緑岩(c.a.13 Ma)，大隈花崗岩(c.a. 15 Ma)よりやや若い年代を示した．甑島花崗岩から分離したジルコンはオシラトリーゾーニングがよく見られ，中心部と周縁部で年代差はほとんどなかった．鹿児島地域の外帯花崗岩と全岩組成を比較したところ甑島花崗岩はややMeta-aluminousかつ苦鉄岩質なことから，玄武岩質マグマ成分を含む地殻の部分溶融から形成された花崗岩類だと考えられ，他の外帯花崗岩とは異なる火成活動に関連したものと推測される. したがって甑島花崗岩は他の外帯花崗岩と異なる火成活動によって形成されたことが示唆されたが，琉球弧背弧海盆との関連を議論するためにはより詳細な検討が必要である．

引用文献

Ishihara S., et al. (1984) Mining Geol., 34, 45-50.
Miller, J.A., et al (1962) Bull Geol. Surv. Japan, 13, 712-714.
Miyachi M.(1985) 岩石鉱物鉱床学会誌 80(9),406-409
柴田賢 (1978) 地質調査所月報 29 (8), 551-554
新正 裕尚 他(2019) 第126年地質学会学術大会(2019 山口)要旨集
田代正之，野田雅之（1972）地質学雑誌, 79巻7号, 465-480

Keywords: Middle Miocene, U-Pb age, zircon, Granite, Outer Zone of southwest Japan

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

Crust formation beneath the Japanese Islands viewed from Sr isotopes of the granitic and mafic roks

*Takshi Nakajima[1,2]

1. National Museum of Nature and Science, 2. Kanagawa Prefectural Museum of Natural History

日本列島の花崗岩類はそのほとんどが中生代と新生代、中でも白亜紀から古第三紀と新第三紀中新世に形成されている。これらの起源を探るためSrやNdの同位体比が多くの岩体について測定されてきた。その大部分は花崗岩質岩についてであるが、量的には圧倒的に少ない苦鉄質岩類についても注目されるようになってきた。苦鉄質岩類の利点は、上部地殻物質との混合が花崗岩質岩より少ないので玄武岩質初生マグマとの関連が見やすいこと、Sr同位体比初生値を求める際に年代による補正幅が非常に小さくなるので年代値が不正確な岩体でもある程度扱えることである。今回は苦鉄質岩類と花崗岩質岩のSr同位体比初生値（以下SrIと表示）を併せて検討し、日本列島の花崗岩マグマの起源を考察する。
北海道日高帯で、地表露出した地殻断面に貫入したトッタベツ岩体では最深部に相当する斑れい岩のSrIが 0.7027 で、そこから岩体上部に向かって 0.7040 まで連続的に変化し、岩体上部を構成する花崗岩はSrI = 0.70407+/-0.00005, 年代 19.8+/-0.9 Ma の見事なアイソクロンを形成する（Kamiyama et al., 2007）。この最深部斑れい岩のSrI 0.7027はMORB の87Sr/86Sr同位体比に近く、岩体の下位に露出する海洋地殻相当ユニットに移化する産状と調和的である。同帯の斑れい岩から同様の値を得た Maeda & Kagami (1996) は海嶺衝突の証拠と主張した。
同じく中新世の背弧海盆拡大があった西南日本では、13.5～15 Maの期間限定同時多発的な珪長質火成活動が起こった。それら外帯花崗岩は0.7054~0.7096と内帯の白亜紀花崗岩と同等のSrIをもち、付加体から成る上部地殻物質の関与が想定されるが、太平洋に張り出した潮岬、室戸岬、足摺岬などに露出する苦鉄質岩体ではそれが0.7031~ 0.7036と低く、上部地殻物質の関与が少ないことがわかる。
西南日本において、地表露出する花崗岩類の75%を占める白亜紀花崗岩類のSrIは0.705~ 0.7115、その大部分は0.706~ 0.710である。それに対して苦鉄質岩のSrIも0.706~ 0.710とほぼ同じ高い値を示すことから、その起源物質は海嶺や海洋地殻そのものではなく島弧下の同位体的にエンリッチしたソースに由来していることがわかる。当時のアジア大陸東縁の地下には長期の沈み込みに起因するサブアーク型リソスフェリックマントルが存在した可能性がある。
一方、古第三紀の花崗岩類のSrIは0.704~ 0.7052で、隣接し一部重複して分布する白亜紀花崗岩類との間には有意の差があり、この間で初期のリフト活動などによるマグマソースの変換があったと推定される（Imaoka et al., 2011）。しかし古第三紀花崗岩類はその分布が山陰地方に限られており、量的にも白亜紀の花崗岩類よりずっと少なく、その活動規模は限定的であったと思われる。
<文献> Imaoka, T. et al. (2011) J. Asian Earth Sci. 40, 509-533. Kamiyama, H. et al. (2007) J. Geol. 115, 295-314. Maeda, J. & Kagami, H. (1996) Geology, 24, 31-34.

Keywords: crust formation, Sr isotope ratio, granitic rock, mafic rock, Japanese Islands

© 2021 Geological Society of Japan

Petrological and Geochemical study of Early ~ Middle Miocene volcanic rocks in Hokuriku region, southwest Japan arc

*Syun WATANABE[1], Toshiro TAKAHASHI[1], Gen SHIMODA[2], Kosuke GOTO[2]

1. Niigata univ., 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

【はじめに】
西南日本弧東部北陸地域には後期漸新世～中期中新世にかけて形成された火山岩類が分布する．富山県東部～福井県東部には前期～中期中新世に活動した安山岩類が分布し，ソレアイト系列やカルクアルカリ系列の火山岩，高マグネシア安山岩（HMA），アダカイト質火山岩など多様な岩石学的特徴を示す火山岩類から構成される．これら火山岩類は主要元素および微量元素組成に基づく成因の考察が行われている（石渡・大浜，1997；高橋・周藤，1999など）．北陸地域は西南日本弧の東端にあたり，東西日本弧の会合部である北部フォッサマグナと糸魚川-静岡構造線を介して接している．従って，本地域における新第三紀火成活動の起源を解明することは，東西日本弧の火成活動を論じる上で重要である．
本発表では北陸地域の東端に位置する富山県東部上市地域に分布する前期中新世～中期中新世火山岩類について全岩化学組成およびSr-Nd-Pb同位体組成に基づく岩石学的・地球化学的検討を行った．
【地質概説】
本地域は中世界手取層群を基盤岩類として、中新統八尾層群が不整合で重なる。八尾層群は下位から、楡原層、岩稲層、黒瀬谷層、福平層が累重する。本発表では岩稲層およびと福平層を構成する溶岩，および火山砕屑岩中の火山各礫角礫を対象とする．
【記載岩石学的特徴】
・タイプ1（両輝石安山岩）
斑晶鉱物は斜長石，単斜輝石，直方輝石からなる．
・タイプ2（含かんらん石両輝石安山岩）
斑晶鉱物は主に斜長石，単斜輝石，直方輝石からなり，稀にかんらん石を含む．斜長石は汚濁帯や蜂の巣状組織が見られる．
・タイプ3（両輝石安山岩）
斑晶鉱物は主に斜長石，単斜輝石，直方輝石からなる．斜長石は汚濁帯や蜂の巣状組織が見られる．
・タイプ4（角閃石両輝石安山岩）
斑晶鉱物は主に斜長石，角閃石，単斜輝石，直方輝石からなる．斜長石は汚濁帯や蜂の巣状組織が見られる．
【岩石学的・地球化学的特徴】
タイプ1の多くは中間K安山岩領域にプロットされ，ソレアイト系列のトレンド示す．また，SiO濃度の増加に対してMgO，Cr，Ni，Ca濃度が減少し，LILEやHFSEといった不適合元素濃度が増加する．この化学的特徴は斑晶鉱物の分別結晶作用で説明することができる．不適合元素パターンは同時期の東北日本弧背弧域の玄武岩に類似することから，これらの未分化玄武岩質マグマは中新世東北日本弧背弧域玄武岩に近い組成であったと考えられる．一方，同位体組成は広い組成範囲を示し，SiOやZr濃度の増加に伴い肥沃化することから地殻物質（例えば花崗岩類）の同化作用が働いたと考えられる．しかし，地殻物質の影響が小さいと推定されるタイプ1の玄武岩質安山岩試料でも，同時期の東北日本弧火山フロント側玄武岩より肥沃的な同位体組成を示す．Okamura et al.(2016)では，近接する北部フォッサマグナ地域の中新世火山岩類の同位体組成が沈み込む堆積物起源の流体やメルトの影響で肥沃化する可能性を議論している．よって，本地域のソレアイト系列火山岩おいても，そのような過程を考慮する必要がある．
タイプ2～4の多くは低K安山岩と中間K安山岩の境界付近にプロットされ，カルクアルカリ系列のトレンドを示す．同程度のSiO量を示すタイプ1に比べ高いMgO，Cr，Ni，Sr濃度や低いY，HREE濃度を示す．このような特徴はタイプ4で最も顕著に見られ，SiO-各種元素図上ではタイプ2とタイプ3はタイプ1とタイプ4の中間にプロットされる．タイプ2～4の持つ微量元素の特長はアダカイト（Defant and Drummond、1990）に類似する事から本タイプはタイプ1マグマとアダカイト質マグマの混合により形成されたと考えられる．これはタ

© 2021 Geological Society of Japan

イプ2〜4に含まれる斜長石に汚濁帯などのマグマ混合を示唆する組織が見られる事と調和的である．タイプ2〜4はBulk Silicate Earthに近い同位体組成を示すが，タイプ1マグマとのマグマ混合の影響を考慮すると端成分マグマであるアダカイト質マグマの同位体組成はタイプ2〜4より枯渇的でDMMに近い特徴を示すと考えられる．アダカイト質マグマの形成場には幾つかのモデルが考えられているが，同位体組成は起源物質を反映するとされる（Castillo，2012）．よって，本地域のアダカイト質マグマは沈み込んだ海洋地殻の部分溶融により形成されたと結論できる．

【引用】 Castillo，2012，Lithos，134-135．Defant・Drummond，1990，Nature，347．石渡・大浜，1997，地質雑，103．Okamura et al．，2016，Journal of Geodynamics，97．高橋・周藤, 1999, 地質雑 105.

Keywords: southwest Japan arc, Miocene, arc volcanic rocks, Hokuriku region, Sr-Nd-Pb isotope

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R8 [Regular Session]Marine geology

[3ch313-21] R8 [Regular Session]Marine geology

Chiar:Yoshiaki Suzuki, Yasuhiko Ohara

Mon. Sep 6, 2021 1:00 PM - 3:30 PM ch3 (ch3)

[R8-O-1] Reconstruction of Early Pleistocene sea-surface temperature in the Northwestern Pacific region based on calcareous nannofossil assemblages

*Daisuke Kuwano[1], Koji Kameo[1], Yoshimi Kubota[2], Masayuki Utsunomiya[3], Kanako Mantoku[4,2], Makoto Okada[5] (1. Chiba University, 2. National Museum of Nature and Science, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. National Institute for Environmental Studies, 5. Ibaraki Univesity)

1:00 PM - 1:15 PM

[R8-O-2] Reorganization of the Asian monsoon and nutrient provenance during the late Miocene global cooling in the Japan Sea

*Kenji M. Matsuzaki[1], Mayasuki Ikeda[2], Ryuji Tada[2] (1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Graduate School of Science, The University of Tokyo)

1:15 PM - 1:30 PM

[R8-O-3] Total organic carbon concentration and isotope composition changes over the last 66 ka in the southern part of the Japan Sea

*Naoto Ishida[1], Koji Seto[2], Fumio Akiba[3], Ryo Matsumoto[4] (1. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 2. Estuary Research Center, Shimane University, 3. Diatom Mini Lab., 4. Gas Hydrate Research Laboratory, Meiji University)

1:30 PM - 1:45 PM

[R8-O-4] ^{14}C age of the dead deep-sea coral *Pleurocorallium elatius* off Zanpa Cape, Okinawajima island and its geological significance

*Fujio KUMON[1], Hidekazu TOKUYAMA, Tomoyo OKUMURA[1], Masayoshi Arai[2], Kosaku ARAI[3] (1. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 2. Fukada Salvage and Marine Works Co. LTD, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

1:45 PM - 2:00 PM

[R8-O-6] Reconstruction of ice sheet history since the LGH in Lutzow Holm Bay, East Antarctica revealed by sedimentological records

*Yusuke Suganuma[1,2], Yuki Haneda[3], Takuya Itaki[3], Takeshige Ishiwa[1], Masakazu Fujii[1,2], Yuji Kato[9], Takayuki Omori[7], Atsuko Amano[3], Masao Iwai[9], Naoshisa Nishida[10], Kazuya Kusahara[8], Daisuke Hirano[1,2], Mosamu Seki[4], Kota Katsuki[5], Moto Kawamata[1,11], Hiroki Matsui[6], Jyun'ichi Okuno[1,2], Minoru Ikehara[9], Hideki Miura[1,2] (1. National Institute of Polar Research, 2. The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), 3. Geological Survey of Japan, AIST, 4. Hokkaido University, 5. Shimane University, 6. Akita University, 7. University of Tokyo, 8. JAMSTEC, 9. Kochi Core center, 10. Tokyo Gakugei Daigaku, 11. CERI)

2:30 PM - 2:45 PM

[R8-O-7] Clarification of eruption mechanism of submarine mud volcanoes off Tanegashima Island by thermal history analysis of sediments

*Ryoma Setoguchi[1], Akira Ijiri[2], Takeyasu Yamagata[3], Hiroyuki Matsuzaki[3], Kyoko Hagino[1], Yohei Hamada[5], Osamu Tadai[6], Wataru Tanikawa[5], Juichiro Ashi[4], Masafumi Murayama[1] (1. Kochi University, 2. Kobe University, 3. The University Museum, The University of Tokyo, 4. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 5. Japan Agency for Marine-Earth Science

©The Geological Society of Japan

and Technology, 6. Marine Works Japan Ltd.）

2:45 PM - 3:00 PM

[R8-O-8] A report of YK20-14S/YK21-07S scientific cruises to Petit-spot volcanic fields, Tohoku-Oki, Japan

*Norikatsu Akizawa[1], Naoto Hirano[2], Shiki Machida[3], Akira Ishikawa[4], Gen Shimoda[5], Kazutaka Yasukawa[6], Kenji Matsuzaki[1], Chiori Tamura[1], Junji Kaneko[7], Onboard Science Party （1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The Univ. Tokyo, 2. Tohoku Univ., 3. Chiba Tech., 4. Tokyo Tech., 5. AIST, 6. School of Engeneering, The Univ. Tokyo, 7. JAMSTEC）

3:00 PM - 3:15 PM

[R8-O-9] **Rotation of the Philippine Sea plate inferred from paleomagnetism of oriented cores taken with a ROV-based coring apparatus**

*Toshitsugu Yamazaki[1], Shun Chiyonobu[2], Osamu Ishizuka[3,4], Fumisato Tajima[5], Naoki Uto[5], Shinichi Takagawa[5] （1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Graduate School of International Resource Sciences, Akita University, 3. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Techonology, 5. KOKEN BORING MACHINE CO. LTD）

3:15 PM - 3:30 PM

©The Geological Society of Japan

Reconstruction of Early Pleistocene sea-surface temperature in the Northwestern Pacific region based on calcareous nannofossil assemblages

*Daisuke Kuwano[1], Koji Kameo[1], Yoshimi Kubota[2], Masayuki Utsunomiya[3], Kanako Mantoku[4,2], Makoto Okada[5]

1. Chiba University, 2. National Museum of Nature and Science, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. National Institute for Environmental Studies, 5. Ibaraki Univesity

北西太平洋海域は，熱輸送を担う黒潮や親潮といった海洋循環と、偏西風やアジアモンスーンといった大気循環の影響を受ける海域に位置しており，過去の地球環境を復元するためには重要な地域である (Gallagher et al., 2015)．特に，房総半島から三陸沖に位置する黒潮と親潮の境界付近では，表層海水温が大きく変化するため (Locarnini et al., 2013)，地質記録からこれらを復元することで，過去の黒潮・親潮の変動を理解することが可能である．これまで，北西太平洋海域では，多くの古海洋学的な研究が進められてきたが（e.g., Yamamoto et al., 2005; Sagawa et al., 2006），そのほとんどは後期更新世以降であり，前期更新世における表層海水温の復元はほとんど行われてこなかった．そこで本研究では，房総半島中央部に分布する上総層群から産出する石灰質ナノ化石を検討し，これらの群集組成をもとに現生アナログ法を用いて表層海水温を復元することを目的とした．

本研究では，近年，Kuwano et al. (2021) により年代モデルが構築された黄和田層上部を対象とした．Kuwano et al. (2021) によって報告された夕木川ルートの試料73点に加え，新たに夷隅川の支流である大野川ルートの試料18点を追加し，石灰質ナノ化石の群集組成の検討を行った．現生アナログ法は，Squared Chord Distanceを類似度として使用し，これらの値が大きい上位5地点の現在の海水温の加重平均をとることで水温の推定を行った．表層堆積物における群集組成のデータセットはTanaka (1991) を利用し，現在の水温は，日本海洋データセンターの夏季の水温を緯度経度ごとにリサンプリングしたものを使用した．

復元された表層海水温は，概ね氷期・間氷期のスケールでの変化が卓越し，間氷期では27℃付近の安定した値をとる．一方，氷期ではこれよりも2–3℃程度低くなり，MIS 38の後半では21℃付近まで低下する．しかし，これらの水温は，MIS 1や2と比較しても非常に高い温度を示しており（Yamamoto et al., 2005; Sagawa et al., 2006），MIS 31でも近い水温を示すことから（Kajita et al., 2021），前期更新世における房総半島周辺は，現在よりも温暖な海洋環境が続いていたことが示唆される．

［引用文献］

Gallagher et al., 2015, *Progress in Earth and Planetary Science*, 2, 17.
Kajita et al., 2021, *Communications Earth & Environment*, 2, 82.
Kuwano et al., 2021, *Stratigraphy*, 18,103–121.
Locarnini et al., 2013, World Ocean Atlas 2013, Volume 1: Temperature.
Sagawa et al., 2006, *Journal of Quaternary Science*, 21, 63–73
Tanaka, 1991, *Sci. Rep., Tohoku Univ., 2nd ser. (Geol.)*, 61, 127–198.
Yamamoto et al., 2005, *Geophysical Research Letter*, 32, 1–4.

Keywords: calcareous nannofossil, Northwestern Pacific Ocean, Early Pleistocene, sea-surface temperature

© 2021 Geological Society of Japan

Reorganization of the Asian monsoon and nutrient provenance during the late Miocene global cooling in the Japan Sea

*Kenji M. Matsuzaki[1], Mayasuki Ikeda[2], Ryuji Tada[2]

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Graduate School of Science, The University of Tokyo

中新世後期の地球寒冷化（LMGC; 7.9～5.8 Ma）の間に、東アジアの気候は、東アジアの夏季モンスーン（EASM）の支配から冬季モンスーン（EAWM）の支配に移行した。同時期の日本海堆積物は葉理の発達した放散虫岩から生物擾乱の卓越した珪藻土に変化した。同時期には放散虫・珪藻群集のみならず、脊椎動物群集なども変化したことが知られているが、の気候変動日本列島形成に伴う地殻変動も活発であり、それらの生態系への影響についてはまだ多くの点が未解明である。　本研究では日本海のLMGCをカバーする高時間解像度の放散虫群集変動を復元してLMGCに伴う海洋環境の変化とその生態系の応答をモニタリングした。特に、放散虫の日本海固有種の放散虫*Cycladophora　nakasekoi*や熱帯亜表層水に生息する*C. papillosum*は、7.4 Ma位前の日本海に卓越し、亜寒帯の放散虫種（*Cycladophora　sphaeris*など）は7.4 Maの後に豊富になったことから当時の環境変動の影響で絶滅したとも考えられる。さらに、9.0-7.4 Maでは放散虫フラックスと堆積物のガンマ線強度(GRA)の卓越周期は、EASMに卓越する100kyrの離心率サイクルから7.0 Ma以降では海水準変動やEAWMに卓越する40kyrの赤道傾斜角サイクルに変化した。　熱帯亜表層水に生息する*C. papillosum*が7.4 Ma以降の減少は、9Maから3.5Maに閉鎖したフォッサマグナ海峡の浅化に起因したと考えられる（Takeuchi, 2004など）。従って、フォッサマグナ海峡を通る黒潮分岐流の弱化と共に、間宮海峡から流入する北極圏（北太平洋）の海水流入が増加したと考えられる。また、LMGCに関連したEAWMの強化も影響して、亜寒帯前線が南方へ移動した可能性があるが、フォッサマグナ海峡の浅化とどちらがより影響したかは不明である。さらに、同時期に抗低塩性放散虫*Tetrapyle circularis/fruticosa*グループや淡水性珪藻(Koizumi, 1992) が減少することから、EASMの弱化と黒潮表層流の減少により日本海表層水が高塩分化した可能性もある。これらの海洋学的変化は、日本海固有種の放散虫*C. nakasekoi*や束柱類Desmostyliaなどの浅海動物相の絶滅を引き起こした可能性がある

Keywords: Late Miocene , IODP, Monsoon

© 2021 Geological Society of Japan

Total organic carbon concentration and isotope composition changes over the last 66 ka in the southern part of the Japan Sea

*Naoto Ishida[1], Koji Seto[2], Fumio Akiba[3], Ryo Matsumoto[4]

1. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 2. Estuary Research Center, Shimane University, 3. Diatom Mini Lab., 4. Gas Hydrate Research Laboratory, Meiji University

日本海はユーラシア大陸と日本列島に挟まれ，４つの海峡によって外洋とつながる半閉鎖的な縁海である．現在，外洋水は対馬暖流として対馬海峡から日本海に流入し，津軽海峡および宗谷海峡から流出しているが，氷期の低海水準期には海水交換がほぼ停止し，鉛直混合も滞るなど，日本海は第四紀の気候変動に鋭敏に応答することが知られる．本研究では，日本海南部で採取されたコアに記録された全有機炭素（TOC）の濃度および同位体比を中心に，66 ka以降の変動を報告する．

本研究では，明治大学ガスハイドレート研究所が実施した航海によって対馬海盆（PC1601），隠岐トラフ南西部（PC1818），および隠岐トラフ中部（PC1606）で採取された３本のコアを使用した．各コア最下部の年代はPC1601が32 ka，PC1818が45 ka，そしてPC1606が66 kaである．試料はコアから1 cm間隔で分取し，塩酸処理によって炭酸塩成分を取り除いた後，島根大学エスチュアリー研究センターのCNS元素分析装置により全有機炭素（TOC），全窒素（TN），および全硫黄（TS）の３成分の濃度を測定した．また，PC1606については高知大学海洋コア総合研究センターの質量分析計を用い，有機炭素・窒素の同位体比を測定した．

いずれのコアもTNとTOCには良い相関が見られ，C/Nの値は6～10の範囲にほぼ収まっている．これはどのコアの有機炭素も主に海洋プランクトン起源であることを示す．最終氷期の海水準低下期にあたる25～66 kaには，1.0～3.2 %の範囲でTOC濃度が増減する20 kyr程度の周期的な変動が２回繰り返され，さらにTOC濃度にして1 %程度の短期的な増減が重なる．ATテフラ層準（30 ka）の直上では，どのコアにおいてもTOC濃度が0.5 %程度まで急激に落ち込み，その後1～3 kyr程度を要して1 %台まで徐々に回復する．TOC濃度の急減はU-Oki（10.2 ka）や61 ka付近のテフラにも見られ，南九州や日本海内部で発生した巨大噴火が基礎生産に大きな影響を与えたことが明瞭である．最終氷期最盛期（LGM）にあたる20 ka前後では，TOC濃度は1～1.5 %程度の低い値を取る．この時期は日本海の鉛直循環が停滞して深層水が貧酸素化しており，沈降した有機物が堆積物中に保存されやすい条件にあったが，TOC濃度が低下していることは，日本海南部の基礎生産そのものが低下していたと考えられる．16 kaを境にTOC濃度は上昇に転じ，11 ka前後に検討した範囲で最も高い3.5～4 %のピークに達する．全球的な温暖化に伴って日本海の循環が再開し，深層の栄養塩が表層にもたらされたことで，一時的に基礎生産が増大した可能性がある．その後TOC濃度は減少し，K-Ahテフラ（7.25 ka）から現在まで，各コア2.5 %前後の安定した値となっている．

PC1606のTOC同位体比は，コアの最下部，66 ka付近の層準で-22.7 ‰であり，MIS4の寒冷化ピークにあたる64 ka付近では-23.8 ‰まで負にシフトする．その上位の60～32 kaの層準は-22～23 ‰の範囲にある．32～11.6 kaの層準には2 ‰以上の大きな負のシフトが見られ，LGM付近の21～19 kaに-24.6 ‰の最低値を取る．19 ka以降は11.6 kaまでに-22 ‰程度まで急激に回復する．11.6 ka以降は現在に向けて-22 ‰から-21 ‰まで緩やかに上昇する．

窒素同位体比は，炭素同位体比とほぼ同調した増減傾向が見られる．コアの最下部，66 ka付近で6.0 ‰であり，64 ka付近で5.8 ‰まで低下する．その上位60～32 kaの層準は6.0～6.8 ‰の範囲にある．32 ka～11.6 kaの間には3 ‰以上の大きな負のシフトが見られ，LGM付近の19 kaに3.2 ‰の最も低い値となる．19 ka以降は11.6 kaまでに6.7 ‰まで急激に回復する．11.6 ka以降は6.7 ‰から5.7 ‰まで現在に向けて緩やかに減少しており，この点のみ炭素同位体比と異なる傾向を示す．

本研究の有機炭素・窒素同位体比測定の目的のひとつは，日本海内部におけるメタンハイドレート分解現象の検出である．メタンハイドレートに内包されるメタン分子は特徴的に軽い同位体比の炭素から構成され，過去のメタンハイドレート分解現象は炭素同位体比の負のシフトとして検出されてきた．本研究による結果は，全体として有機炭素・窒素同位体比が同調した変動を示しており，これらの主だった変動は生物活動に伴うもの

© 2021 Geological Society of Japan

と考えられる．MIS4のピーク付近やLGM前後などの寒冷期には，炭素同位体比のみに記録された短期間かつ小規模な負のシフトが認められ，これらは海水準低下に応答したメタンハイドレート分解に伴う変動の可能性があるため，今後の検討を要する．

Keywords: Japan Sea, Late Quaternary, Total organic carbon concentration, Carbon isotope composition

© 2021 Geological Society of Japan

^{14}C age of the dead deep-sea coral *Pleurocorallium elatius* off Zanpa Cape, Okinawajima island and its geological significance

*Fujio KUMON[1], Hidekazu TOKUYAMA, Tomoyo OKUMURA[1], Masayoshi Arai[2], Kosaku ARAI[3]

1. Center for Advanced Marine Core Research, Kochi University, 2. Fukada Salvage and Marine Works Co. LTD, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

沖縄島中部の北西側の海域では、本部半島から伊江島にかけての高まりから徐々に南西側に深くなる，水深200m～500ｍほどの緩斜面が広がる．この緩斜面下では，凹凸地形を呈する音響的基盤を，辺戸沖層群およびその上位の表層堆積物（名護沖層群）が薄く覆うことが報告されている（佐藤ほか，2011；荒井ほか，2015）．音響的基盤は海底の凸部に連続し、相対的に硬い地層が海底に露出していることを示唆している．その凸部の周囲にはしばしば凹地が発達することも報告されている．

このような凹地で発見されたモモイロサンゴ（*Pleurocorallium elatius*）遺骸（骨軸）に対して^{14}C年代測定（２標本，３試料）を行ったところ，最終氷期の寒冷期にあたる２万年前と3.3万年前を示す年代値が得られた（Table１）．遺骸の表面には小さな孔が無数に見られ，死後相当の時間を経ていることは確かである．一方，表層から数mm以深では緻密な組織が残されており，年代測定は緻密な部分に対して行われた．同一標本から分取した２試料が近い年代値を示すことからも，測定された年代値はサンゴの成長した年代を示す可能性が高く，次のような堆積のシナリオが推定される．

２～３万年ほど前の氷期に，海底の高まりに付着して成長していた宝石サンゴが，死後に落下して，斜面下に集積した．その後，後氷期の海水準の上昇によって，名護湾層の極細粒砂～シルトの堆積する水理環境に変わったものの，海底の高まりの周囲だけは局所的な流速の増大によって懸濁性の堆積物が沈積しにくい場になった結果，凹地が形成されたもの（obstacle scour：佐藤ほか，2011）と考えられる．今回の年代測定によって，凹地の中はほぼ無堆積の堆積環境が数万年間以上にわたって継続していることが確認された．

一方，年代を測定したモモイロサンゴは，八放サンゴ亜綱サンゴ科に属し，水深100～500ｍの深い海域に生息する．サンゴ科のサンゴ類には緻密な骨軸を形成するものが多くあり，骨軸を研磨・加工することによって宝飾品として利用され，珍重されてきた．そのため，この仲間は宝石サンゴとも呼ばれ，漁業の対象となっている．宝石サンゴ漁業では，生きた状態で採取されたもの（生木：せいき）と，遺骸の状態で採取されたもの（枯木：かれき）とが区別され、両者ともに市場に流通している。漁獲量においては，枯れ木が６～８割を占めている（2012年～2016年：日本珊瑚商工協同組合資料）．今回の年代測定結果は，足摺沖の場合と同様に（Okumura et al., 2021），枯木と呼ばれてきた宝石サンゴ資源の一部が，過去に蓄積された化石資源であることを示唆している．このような知見の蓄積が宝石サンゴの資源量評価の一助になると考えられる．

引用文献

荒井晃作・佐藤智之・井上卓彦，2015，海洋地質図，no. 85, 産総研地質調査総合センター . Okumura, T., Kumon, F.,and Tokuyama, H., 2021, Radiocorbon, 63, 195-212. 佐藤智之・荒井晃作・井上卓彦，2011，産総研地質調査総合センター速報，no.55, 35-41.

Keywords: deep-sea coral, glacial age, radiocarbon age, non deposition, obstacle scour

© 2021 Geological Society of Japan

Table 1 Results of ^{14}C AMS measurements for the dead dee-sea corals off Zanpa Cape, Okinawajima

sample ID	Location (latitude, longitude)	Water depth (m)	Species of precious coral	Measured Age (y BP)		Conventional Age (y BP)		Calibrated Age (95.4% probability) using MARINE13	Remarks
				median	error (2σ)	median	error (2σ)		
Zanpa A-1-1	26° 30' N, 127° 50' E	350	*Pleurocoralliu m elatius*	28,430	140	28,780	140	30,875 – 29,760 cal BC/ 32,824 – 31,709 cal BP	Beta-553929 acid etch
Zanpa A-1-3	26° 30' N, 127° 50' E	350	*Pleurocoralliu m elatius*	29,110	140	29,500	140	31,736 – 30,962 cal BC/ 33,685 – 32,911 cal BP	Beta-553930 acid etch
Zanpa B-5-1	26° 30' N, 127° 50' E	353	*Pleurocoralliu m elatius*	16,800	60	17,210	60	18,531 – 18,111 cal BC/ 20,480 – 20,060 cal BP	Beta-553931 acid etch

© 2021 Geological Society of Japan

Reconstruction of ice sheet history since the LGH in Lutzow Holm Bay, East Antarctica revealed by sedimentological records

*Yusuke Suganuma[1,2], Yuki Haneda[3], Takuya Itaki[3], Takeshige Ishiwa[1], Masakazu Fujii[1,2], Yuji Kato[9], Takayuki Omori[7], Atsuko Amano[3], Masao Iwai[9], Naoshisa Nishida[10], Kazuya Kusahara[8], Daisuke Hirano[1,2], Mosamu Seki[4], Kota Katsuki[5], Moto Kawamata[1,11], Hiroki Matsui[6], Jyun'ichi Okuno[1,2], Minoru Ikehara[9], Hideki Miura[1,2]

1. National Institute of Polar Research, 2. The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI), 3. Geological Survey of Japan, AIST, 4. Hokkaido University, 5. Shimane University, 6. Akita University, 7. University of Tokyo, 8. JAMSTEC, 9. Kochi Core center, 10. Tokyo Gakugei Daigaku, 11. CERI

近年，衛星観測などによって南極氷床の融解や流出の加速が相次いで報告され，近い将来の急激な海水準上昇が社会的に強く懸念されている．最近の気候・氷床モデルシミュレーションによると，近年融解が加速している西南極氷床のみならず，西南極氷床より1桁大きな体積をもつ東南極氷床の一部も温暖化に敏感であることが指摘されている．しかし，南極氷床の質量収支は，氷床表面での涵養と消耗のみでなく，氷床沿岸でおきる棚氷の底面融解や氷床からの分離も含むため，そのメカニズムの理解と定量的な観測は容易ではなく，気候変動予測精度向上における課題となっている．一方，南極大陸やその周辺の海底堆積物は採取が困難であり，また断片的ではあるとはいえ，過去の南極氷床変動を復元するために極めて貴重な情報を提供する．こういった情報を集積・解析することで過去の気候変動に対する南極氷床の応答の復元できれば，南極氷床融解メカニズムの理解だけでなく，その知見を将来の気候変動の予測に利用することもできる．そこで我々は，砕氷船しらせによって東南極リュツォホルム湾から新たに採取された海底堆積物試料と，既存レガシーコアを解析・分析し，最終氷期における最大氷床拡大域と完新世におきた急激な東南極氷床融解過程の復元と，そのメカニズムについての考察を進めている．現状では海底堆積物の年代制約に課題があるものの，当該地域における氷床融解過程とそのメカニズムについて得られた新たな知見について報告する．

Keywords: Antarctica Ice Sheet and Southern Ocean, Giant Reservoirs - Antarctic, marine sediment

© 2021 Geological Society of Japan

Clarification of eruption mechanism of submarine mud volcanoes off Tanegashima Island by thermal history analysis of sediments

*Ryoma Setoguchi[1], Akira Ijiri[2], Takeyasu Yamagata[3], Hiroyuki Matsuzaki[3], Kyoko Hagino[1], Yohei Hamada[5], Osamu Tadai[6], Wataru Tanikawa[5], Juichiro Ashi[4], Masafumi Murayama[1]

1. Kochi University, 2. Kobe University, 3. The University Museum, The University of Tokyo, 4. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 5. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 6. Marine Works Japan Ltd.

世界各地の大陸縁辺域に分布する泥火山は、地下深部にある高間隙水圧を持った堆積物が上昇し、海底表層または地表に噴出した地形である(Kopf, 2002)。高間隙水圧は、泥とそれに関する深部の水やメタンガスなどの流体によって形成される（Wallmann *et al.*, 2006ほか）。
日本近海では、南海トラフ沿いに位置する紀伊半島沖熊野海盆と種子島沖に広く分布が確認されている。種子島沖の泥火山は、これまでの海底調査から15個確認されており（Ujiie *et al.*, 2000）、MV#1～#15まで番号がつけられている。本研究では、MV#1 (3053´N, 13146´E; water depth: 1540 m)、MV#2 (3055´N, 13150´E; water depth: 1430 m)、MV#3 (3103´N, 13141´E; water depth: 1200 m)、MV#14 (3011´N, 13123´E; water depth: 1700 m) の堆積物コアを用いて、堆積物の特性と炭化水素ガスの起源などについて調べた。
堆積物コアは、X線CTによる内部構造観察、加速器質量分析器を用いた^{10}Be年代測定、石灰質ナノ化石による微化石年代、XRDによる鉱物組成分析、粘土鉱物組成比から堆積物の温度履歴を推定した。また、炭化水素ガスは、メタン/エタン比 (C_1/C_2)、メタンガスの炭素同位体比からその生成起源を推定した。 堆積物コアは、全体に多くの泥礫を含む粘土質の堆積物であった。MV#2、MV#3の微化石年代と^{10}Be年代結果は整合的であり、様々な年代を示したが、主に中期中新世以降を示した。一方、MV#14は表層に第四紀の堆積物が被覆していた。種子島周辺には、始新世の四万十帯が分布しているが(Ujiie *et al.*, 2000)、これらの泥火山堆積物の起源は、年代測定の結果から、四万十帯より上位の堆積層由来であると考えられる。堆積物の全岩鉱物組成は、全体的に石英、イライト、斜長石を多く含み、各泥火山による違いは見られなかった。粘土鉱物はイライトに富んでおり、スメクタイトからイライトへの脱水反応が起きる60~160℃の熱履歴を経験していると考えられる。粘土鉱物組成では、泥火山による違いが見られ、MV#1では、イライト/スメクタイト混合層が検出できたが、MV#2、3、14、では検出されなかった。MV#1では、回折パターンから見積もったイライト/スメクタイト混合層中のイライト含有量は42～45%であり、イライト化の初期段階を示す（60～100C）一方、MV#2、#3、#14ではMV#1より高温を経験しており、スメクタイトからイライトへと変質が進み、イライト/スメクタイト混合層のピークが検出できなかったと考えられる。また、陸上の四万十帯で報告されているイライトの半値幅（0.562 ～ 0.268）と、泥火山の堆積物の半値幅（0.7273 ～ 0.398）から、結晶度を比べた結果、全体的に四万十帯のイライトよりも、泥火山の堆積物のイライトの結晶度は低かった。このように、イライトの結晶度からも、泥火山の堆積物は、四万十帯より上位の堆積層由来であると推定される。また、温度履歴は異なるものの、XRD回折パターン、粘土鉱物組成、イライト含有量が各泥火山で類似していたことは、種子島沖における泥火山噴出堆積物の起源となる層が同じである可能性があり、Ijiri *et al.*, 2018の結果と整合的であった。泥火山から採取されたメタンガスは、MV#1、MV#2、MV#3のメタンの炭素同位体比は-42 ～ -57‰、メタン/エタン濃度比（C_1/C_2比）は30～50であり、熱分解起源メタンの特徴を示した。一方、MV#14は、炭素同位体比は-57 ～ -77 ‰、C_1/C_2比は700~4000であり、微生物起源メタンの特徴を示した。この海域で観測されている地温勾配（25~50 C/km）をもとに、熱分解ガスの生成条件 (> 80C)や堆積物の温度履歴を考慮すると、泥火山の噴出堆積物や炭化水素ガスは、海底下約1.5 km以深から上昇してきたと考えられる。
現在、堆積物の温度履歴の推定をより正確に行うために、粘土鉱物組成分析に加え、ビトリナイト反射率を測定しており、その結果から、炭化水素ガスや水の起源深度との違いについても議論する予定である。

引用文献

© 2021 Geological Society of Japan

Kopf (2002) *Rev. Geophys.*, 40, 1005, doi: 10.1029/2000RG000093
Ijiri et al., (2018) *Geosciences*, 8, 220
Ujiie et al., (2000) *Marine Geology*, 163, 149–167
Wallmann et al., (2006) Earth Planet. Sci. Lett., 248, 544–559.

Keywords: Mud Volcano, Submarine Mud Volcano, Clay Mineral, Vitrinite, Methane Gas

© 2021 Geological Society of Japan

A report of YK20-14S/YK21-07S scientific cruises to Petit-spot volcanic fields, Tohoku-Oki, Japan

*Norikatsu Akizawa[1], Naoto Hirano[2], Shiki Machida[3], Akira Ishikawa[4], Gen Shimoda[5], Kazutaka Yasukawa[6], Kenji Matsuzaki[1], Chiori Tamura[1], Junji Kaneko[7], Onboard Science Party

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The Univ. Tokyo, 2. Tohoku Univ., 3. Chiba Tech., 4. Tokyo Tech., 5. AIST, 6. School of Engeneering, The Univ. Tokyo, 7. JAMSTEC

プチスポット火山を作るマグマは、60 kmより深部で形成されたとされる（Machida et al., 2017 Nature Communications, 8, 14302）。そのマグマ生成の規模はホットスポットよりも小さく、マグマ生成に伴う熱的な擾乱が少ないことが期待される。そのため、プチスポットマグマが地表に運んでくるマントルのカケラであるマントル捕獲岩は、地球深部マントルの化学組成や流動様式に加えて熱状態に関する情報を引き出すのに適した研究対象であると言える。しかし、プチスポットで採取されるマントル捕獲岩はサイズが最も大きいもので数cm程度しかなく、採取される量も少ないため研究を遂行する上で非常に困難な状況であった。実際、これまでにプチスポットマントル捕獲岩を対象とした研究例は少なく、その現状打破が望まれていた。

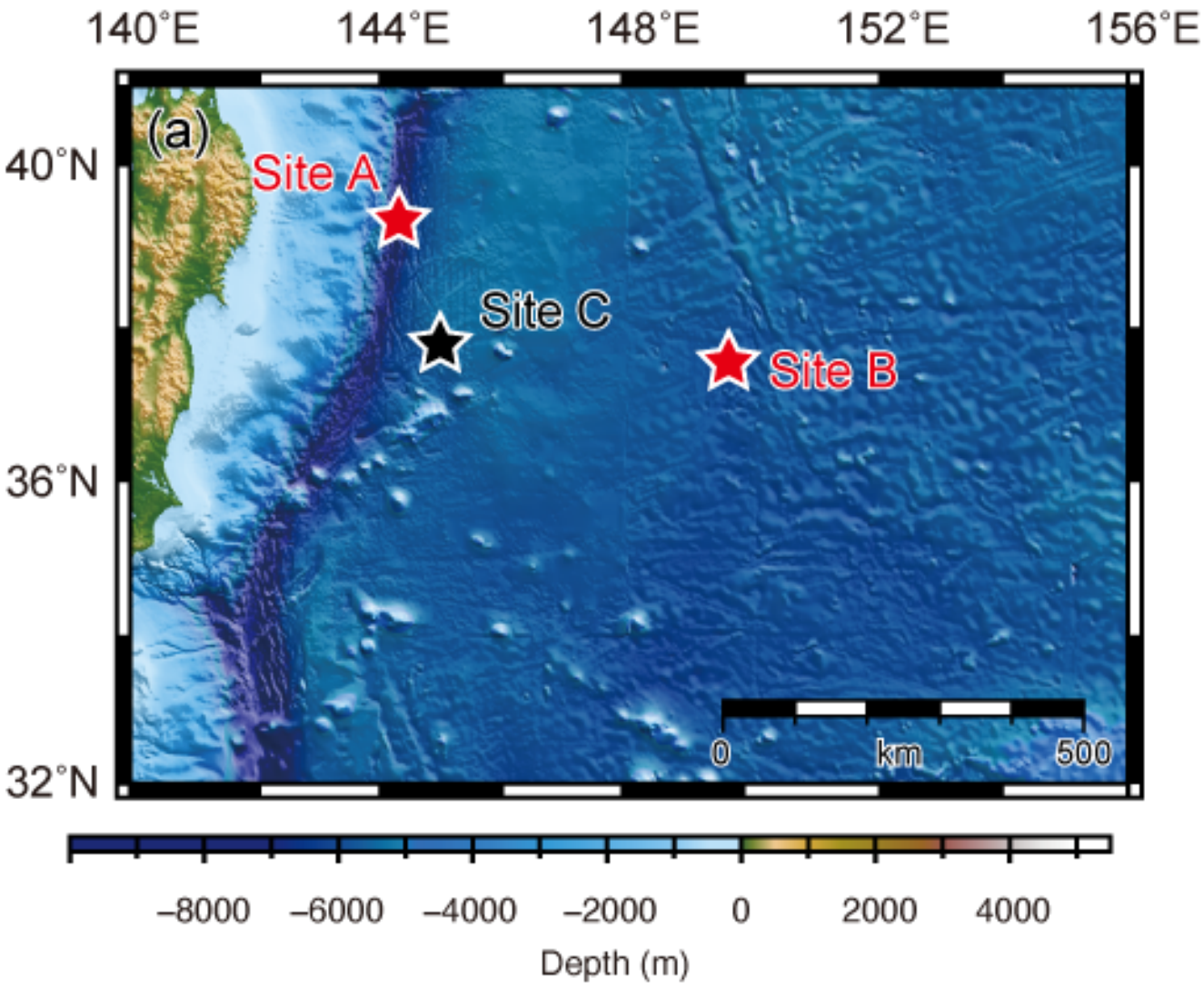
そこで、我々は2020年10月9-16日に実施されたYK20-14S次航海及び、2021年5月1-8日に実施されたYK21-07S次航海の2つの航海を通してプチスポットマントル捕獲岩採取を試みた。 YK20-14S次航海では、Hirano et al. (2006: Science, 313, 1426–1428)でSite Aとされる日本海溝近辺のサイトでしんかい6500を用いた潜航を2回実施した（ダイブ番号：6K1564、6K1565）（図）。その結果、長径3 cm程の大きさに達するものを含めて数10個のマントル捕獲岩を採取することに成功した。また、YK 21-07S次航海では、Site Aより東、アウターライズ手前のSite Bでしんかい6500を用いた潜航を1回実施した（ダイブ番号：6K1586）（図）。その結果、やはり長径3 cmに達するものを含めて多くのマントル捕獲岩を採取することに成功した。

現在、上記2つの研究航海で採取されたマントル捕獲岩を使用した研究を遂行している。今後、個々の研究成果が出てくると期待されるが、本発表ではその前段階として研究航海の概要とどのようなサンプルが採取されたのか紹介する。また、基本的な岩石記載・鉱物化学組成を合わせてプチスポットマントル捕獲岩の紹介を行う。

図 プチスポットのサイトを示した地形図。Site AとSite Bで採取されたマントル捕獲岩を対象として発表を行う。

Keywords: Petit spot, Mantle xenolith, Peridotite, SHINKAI6500

© 2021 Geological Society of Japan



© 2021 Geological Society of Japan

Rotation of the Philippine Sea plate inferred from paleomagnetism of oriented cores taken with a ROV-based coring apparatus

*Toshitsugu Yamazaki[1], Shun Chiyonobu[2], Osamu Ishizuka[3,4], Fumisato Tajima[5], Naoki Uto[5], Shinichi Takagawa[5]

1. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 2. Graduate School of International Resource Sciences, Akita University, 3. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Techonology, 5. KOKEN BORING MACHINE CO. LTD

Reconstructing the history of Philippine Sea (PHS) plate motion is important for better understanding of the tectonics of the surrounding plates. It is generally considered that the PHS plate migrated northward since Eocene, but its rotation has not been constrained well; some reconstructions incorporated a large clockwise rotation but others did not. This is mainly because the difficulty of collecting oriented rocks from the mostly submerged PHS plate hindered establishing an apparent polar wander path. In this study, we conducted a paleomagnetic study of oriented cores taken using a ROV-based coring apparatus from the Hyuga Seamount on the northern part of the Kyushu-Palau Ridge, a remnant arc in the stable interior of the PHS plate. Stepwise thermal and alternating-field demagnetizations were applied to specimens taken successively from two ~30 cm long limestone cores of middle to late Oligocene age, and characteristic remanent magnetization directions could be isolated. Declination and inclination of D =51.5° and I=39.8°, respectively, were obtained as the mean of the two cores. The easterly-deflected declination means ~50° clockwise rotation of the PHS plate since middle to late Oligocene. In addition, ~5° northward shift of the site is estimated from the mean inclination. The result implies that the Kyushu-Palau Ridge was located to the west of the present position in middle to late Oligocene, and that PHS plate rotation as well as the Shikoku and Parece Vela Basin spreading contributed to the eastward migration of the Izu-Ogasawara (Bonin) Arc to the current position.

Keywords: paleomagnetism, Philippine Sea plate

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | T5. [Topic Session] Culture geology

[3ch401-06] T5. [Topic Session] Culture geology

Chiar:Norithito Kawamura, Masaki Umeda, Hisashi Suzuki, Ohtomo Yukiko

Mon. Sep 6, 2021 8:30 AM - 10:45 AM ch4 (ch4)

[T5-O-1] [Invited]Earth Science of the Jyomon Stone Circles distributed in Northern Akita Prefecture Northeast Japan

*Yukio FUJIMOTO[1] (1. Akita Association of Educational Earth Science)

8:30 AM - 9:00 AM

[T5-O-2] [Invited]Green quartz collected from Zaimoku Site, Mogami Town, Yamagata Prefecture

*Hiroyuki MISAWA[1] (1. Shumei University)

9:00 AM - 9:30 AM

[T5-O-3] Microscopic observation of green quartz collected from Zaimoku site at the Mogami Town

*Ohtomo Yukiko[1], Hiroyuki Misawa[2] (1. Yamagata University, 2. Shumei University)

9:30 AM - 9:45 AM

[T5-O-4] Possibility of correlation between Teshima-ishi and the stone lantern in Suga Shrine, Santo, Asago City, Hyogo Prefecture, Japan

*Norithito Kawamura[1] (1. University of Hyogo)

10:00 AM - 10:15 AM

[T5-O-5] Brand stone carried by debris flow: Mikage-ishi (Rokko Granite)

*Tohru Sakiyama[1] (1. Institute of Geo-history, Japan Geochronology Network)

10:15 AM - 10:30 AM

[T5-O-6] Location and geology of water-power plants in Kumano Acidic Rocks, Southwest Japan

*Seisuke Ushiro[1] (1. Wakayama University)

10:30 AM - 10:45 AM

©The Geological Society of Japan

[Invited]Earth Science of the Jyomon Stone Circles distributed in Northern Akita Prefecture Northeast Japan

*Yukio FUJIMOTO[1]

1. Akita Association of Educational Earth Science

7月にユネスコの世界文化遺産に登録された北海道・北東北の縄文遺跡群は，秋田県では鹿角市の大湯環状列石（C^{14}:4160±30yrBP～3460±30yrBP；藤井ほか，2017）と北秋田市の伊勢堂岱遺跡（C^{14}:3760±30yrBP～3550±30yrBP；加速器分析研究所，2011）で，ともに十和田火山起源の更新世末火砕流台地に立地している．

大湯環状列石（OS）について藤岡・佐藤（1952）は遺跡が十和田火山中湖起源と推定した「大湯浮石層」の下位にあり，石材は大部分が輝石ひん岩で当時の川礫が使用されたことを述べた．その後加納（1985）は「輝石ひん岩」を石英閃緑ひん岩（Qdp）として記載し，起源を大湯川支流の安久谷川中流に分布する諸助山石英閃緑ひん岩岩体（諸助山岩体）と特定した．藤本（2017）は石材の悉皆調査から十和田火山起源の安山岩（An）が相当量含まれることを示し，諸助山岩体の節理系と安久谷川～大湯川の河床礫を調べて石材の採取地を推定した．一方，伊勢堂岱遺跡（IS）は起源の異なる多種類の石材が使用され，その採取地は遺跡に近い米代川・支流河床と推定された（藤本，2016）．今回は両遺跡の立地，石材の岩種組成と形状，帯磁率をまとめてみる．石材と周辺の河床礫（OS12地点，ISは段丘礫も）の岩種組成，形状（円磨度R・最大径L・中間径M・最短径S），帯磁率（ISの花崗岩類GrとAn，OSのQdpとAn）の概要は以下のとおりである．

大湯環状列石： 万座環状列石（MN；6488個）と野中堂環状列石（NO；2051個）からなる．後者は東西南北にAnを配した「日時計」状の整った配石を含む．岩種組成はそれぞれQdpが59.7%，59.1%，Anが28.8%，30.0%で河床より多い．Lの平均値はQdpが36.1cm，36.8cm，Anは24.9cm，24.4cmで頻度分布も似ている．共に河床礫より小さく，Qdpは柱状，Anは薄いものが多い．Qdpの帯磁率（$\times10^{-3}$SI）はMN（381個）の平均値が19.0，NO（159個）が18.9で諸助山岩体と一致する．Anは石材，河床礫とも20.6－21.7である．節理面解析から諸助山岩体は北東に伸張，北西に60度程度傾斜する岩脈状と推定される．石材と河床礫の組成・L・円磨度から，石材は遺跡に近い当時の大湯川河床から採集された．

伊勢堂岱遺跡：北からABCDの４環状列石で構成され，A（1057個）は凝灰岩類（Tf）29.3%，流紋岩（Ry）24.1%，An18.6%，ひん岩（Po）15.7%，B（309個）はTf19.1%，Ry27.5%，An14.6%，Po21.4%，C（1281個）はTf18.4%，Ry20.4%，An26.8%，Po23.7%，D（535個）はTf32.9%，Ry21.3%，An20.9%，Po17.2%で米代川河床礫（100個；Tf16.3%，Ry20.0%，An27.5%，Po28.7%）と類似し，Grや小猿部川源流の新第三紀花崗岩類も含む．Lの平均値はA24.4cm，B19.5cm，C22.3cm，D18.7cmと減少し，頻度分布もAの正規型から，10－15cmピークの非対称型を示す．形状は河床礫より細長く，円磨度はAnで高い．岩質と帯磁率から，Grは段丘から供給された阿仁川源流の太平山花崗岩体起源，Anは田代岳火山起源が多い．石材は遺跡周辺の米代川・小猿部川・湯車川の河床で採集された．

OSは花輪盆地北部に開けた大湯川左岸の台地上にある．太平洋側から来満峠を越えて安久谷川を下る古道沿いでは，緑色柱状のQdp河床礫は目立つ礫である．一方ISは鷹巣盆地西部で米代川左岸の段丘上にあり，周辺河川の河床礫は特に多量な岩種はない．ISの配石にはOSと小牧野遺跡に似た形式もある．各環状列石は地形地質・周辺河川の礫種・形状に規定され，選択的に採取された石材を活かして施工された．

文献：藤井安正・赤坂朋美・工藤　海（2017）:特別史跡大湯環状列石総括報告書,357. 藤岡一男・佐藤　久（1952）:埋没文化財発掘報告，no.2,23-40．藤本幸雄（2016）:秋田地学，73,1-16．藤本幸雄（2017）:秋田地学，74,1-14．加納　博（1985）:大湯環状列石周辺遺跡発掘報告書(1),62-79．加速器分析研究所（2011）:史跡伊勢堂岱遺跡発掘調査報告書，北秋田市教育委員会,181-189．

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: world heritage, jyomon stoncircle, stone survey, river gravel

© 2021 Geological Society of Japan

[Invited]Green quartz collected from Zaimoku Site, Mogami Town, Yamagata Prefecture

*Hiroyuki MISAWA[1]

1. Shumei University

はじめに

山形県最上町にある材木遺跡は、縄文時代晩期（約3,200年前～2,400年前）の遺跡である。1973年に最上町教育委員会が主体となり小規模な発掘調査が行われたが、正式な発掘調査報告書は作成されていない。

筆者は、高校時代から同遺跡を訪れて表面採集を行ってきたが、採集品の中に、未成品を含む緑色の石製品や、その素材となる石材がたくさんあり、その数は大小合わせて61点を数える。筆者は、これらを新潟県糸魚川産のヒスイであると思い長年保管してきた。

緑色の石材の分析結果とその特徴

2018年10月、東北大学東北アジア研究センターの辻森樹教授に材木遺跡の石材の薄片を提供して分析をしていただいたところ、クロム（Cr）入りの緑泥石を少量含んだ石英主体の岩石であることが判明した。その後、東北大学総合学術博物館の長瀬敏郎准教授にも別の資料を分析していただいたが、同じ結果であった。

お二人からは、この石材について、次のようなことをご教示いただいた。

（１）緑色であるのは、石英の中にクロム入りの緑泥石が微量に含まれてい るためである。

（２）クロム入りの緑泥石を含む石英主体の岩石は、これまで日本では確認されていない。

（３）クロムを含む緑色の鉱物に含クロム白雲母があるが、材木遺跡の石材には雲母は含まれていない。

（４）クロムが入っていることから推測すると、蛇紋岩が分布する地域で形成された可能性が高い。

また、この石材（以下、「緑色石英」とよぶ）を、縄文時代に利用された他の緑色系統の石材（ヒスイ、ネフライト、碧玉、緑色凝灰岩等）と比べると、次のような特徴をあげることができる。

（１）全体的に明るい緑色を呈し、光の透過性が高い。

（２）粗粒な石英の集合体からなる岩石であるため、研磨された面であっても、ヒスイやネフライト、碧玉などと比べると、滑らかさに欠ける。

（３）比重は2.6前後であり、ヒスイ（3.3前後）やネフライト（3前後）よりも小さい。

緑色石英製の玉類の生産と流通

2019年2月から各地にある遺物の保管先を訪問し、緑色石英の有無を調査し、その結果を報告した（三澤2020）。2021年6月現在、材木遺跡以外に山形県及び宮城県、秋田県、岩手県の17の遺跡から計24点（玉類22点、礫1点、剥片1点）の緑色石英を確認することができた（図1）。これらのうち玉類については、22点中8点がヒスイと誤認されており、発掘調査報告書等に「ヒスイ製」あるいは「硬玉製」と記載されている。

分布状況や確認できた遺跡の時期から、緑色石英は、勾玉や小玉などに加工され、縄文時代晩期に東北地方中南部地域を中心に流通していたことが明らかになってきた。出土数はヒスイと比べても少なく、緑色石英製の勾玉が墓坑から出土している例もあることから、緑色石英は当時、ヒスイと同じように価値の高い希少品として扱われていた可能性が高い。発掘品や地権者所有のものを含め、現在65点の緑色石英が確認されている材木遺跡は、緑色石英を用いた玉類の生産・流通の拠点集落であったと考えられる。

緑色石英の産地

緑色石英の産地についても、調査を進めているが、現在のところ特定できていない。岩石学・鉱物学の専門家は、着色元素であるクロムに着目し、蛇紋岩が分布する地域に産地があると推定している。山形県や秋田県では、蛇紋岩の分布は確認されていない。材木遺跡の近くでは、遺跡の東方約20㎞にある宮城県の川渡で、小規模ながら蛇紋岩が産出することが知られている。考古学関係者からも情報を収集しているが、産地の特定に結びつくような手掛かりは得られていない。しかし、これまで確認できた分布状況を踏まえると、材木遺跡からそれほど離れていないところに産地があると推定される。

引用文献

三澤裕之 (2020) 山形考古、第49号、1-11.

© 2021 Geological Society of Japan

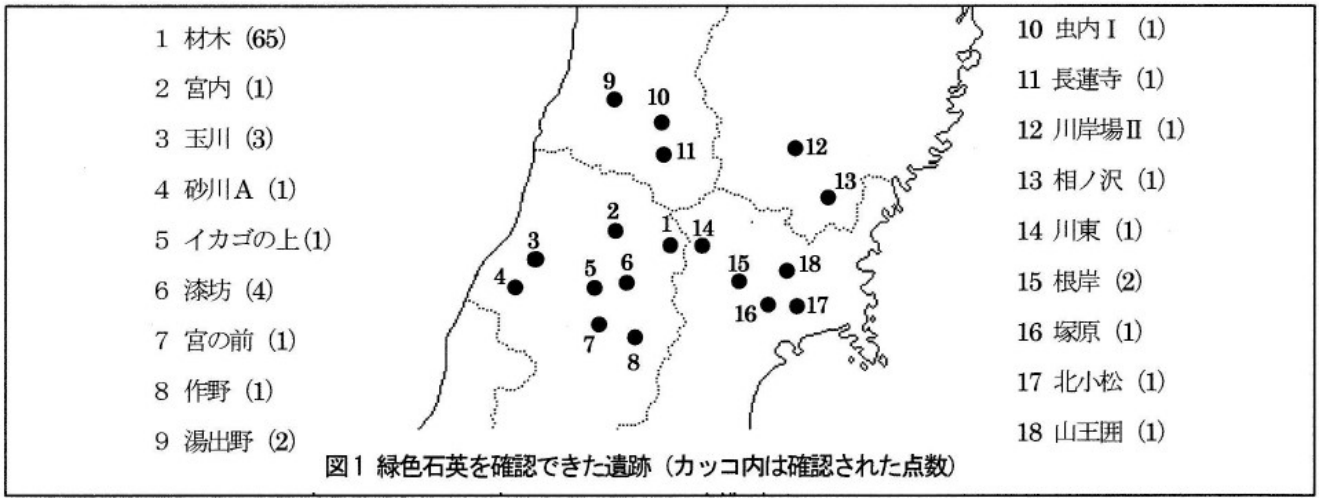


図1 緑色石英を確認できた遺跡（カッコ内は確認された点数）

© 2021 Geological Society of Japan

Microscopic observation of green quartz collected from Zaimoku site at the Mogami Town

*Ohtomo Yukiko[1], Hiroyuki Misawa[2]

1. Yamagata University, 2. Shumei University

1．はじめに
三澤（2020）は，山形県最上町の縄文時代晩期の材木遺跡で表面採集された緑色の玉類やその石材が緑色の石英からなる岩石であることを報告し，緑色石英を手がかりにして，縄文時代終末期の東北地方中南部地域の物流について考察している．この緑色の岩石は，東北大学の辻森樹氏，長瀬敏郎氏，台湾中央研究院地球科学研究所の飯塚義之氏によって，ほぼ石英からなり，Crを含む微少な鉱物（緑泥石）が含まれる岩石であることが鑑定されている．また，三澤は，このような緑色の石英岩の産地を調べるために，何人もの地質，岩石，鉱物学の専門家（フォッサマグナミュージアム宮島宏氏，益富地学会館の石橋隆氏，秋田大学鉱業博物館の西川治氏，宮島氏を経由して国立科学博物館の松原聰氏等）に岩石を見てもらっているが，今のところ類似するものの情報は得られていない． 今回は緑色石英の肉眼観察，岩石薄片の記載を行い，材木遺跡周辺の地質構成から産地の推定ができるかどうかを検討する．
２．岩石薄片試料の肉眼観察
薄片作成のために切断された断面を観察すると，1mm前後の丸みをおびた粒子の集合であり，丸みを帯びた粒子が目立つが，入り組んだ境界をなすところも見られる．粒子は緑色を帯びたものも，白色のものもある． また所々に空隙がある．三澤（2020）によると，他の試料も含めて空隙には錐状の結晶（石英）が見られるものがある．
３．偏光顕微鏡観察
大部分は径0.5-1mmの石英からなり，ごく微量の白雲母等を含む．石英は空隙部以外の大部分は他形で，モザイク組織を示す．粒界が入り組んだものもある．粒界を横切る微細な粒子の配列したヒールドマイクロクラックが卓越した1方向に発達している．空隙には，結晶面を持つ自形結晶（図2）がみられる．石英には波動消光をなすものが多く，また放射状の消光（ラメラ？）を持つ粒子（図1）も多い．放射状の消光の中心部にはダスト状の微粒子が集合しているのが見られる． 白雲母は0.1mm以下で，石英の包有物としても少量見られるが，石英の粒界に沿って並ぶもの，粒界に放射状に集合したものがある．
4．材木遺跡周辺の地質と石英岩について
材木遺跡は約80万年前の向町カルデラ内に位置する．カルデラ壁をなすのは先新第三紀の変成岩類（阿武隈変成岩），白亜紀花崗岩，中新統の及位層，金山層であり，カルデラ内には一刎層が堆積している（山形応用地質研究会，2016）．周辺の河床礫を観察すると，石英脈は緑色変質した安山岩や凝灰岩中に見られるものがほとんどである．しかしこれらの石英脈は白色のもので筆者がこれまで見てきたものと同様のものであり，緑色のものは見つかっていない．一刎層（礫層）の礫も，周囲の基盤岩類や新第三系に由来するものからなる．依然として緑色石英の産地や地質体の候補が絞られてない状況である．
文献
三澤裕之（2020）最上町材木遺跡で採集した緑色の石英について一縄文時代終末期の東北地方中南部地域の物流に関する一考察一．山形考古，49，1-11.
山形応用地質研究会（2016）山形県地質図（10万分の1）説明書 .山形大学出版会,61p

Keywords: green quartz, microscopic observation, Zaimoku site, Late Jomon period

© 2021 Geological Society of Japan

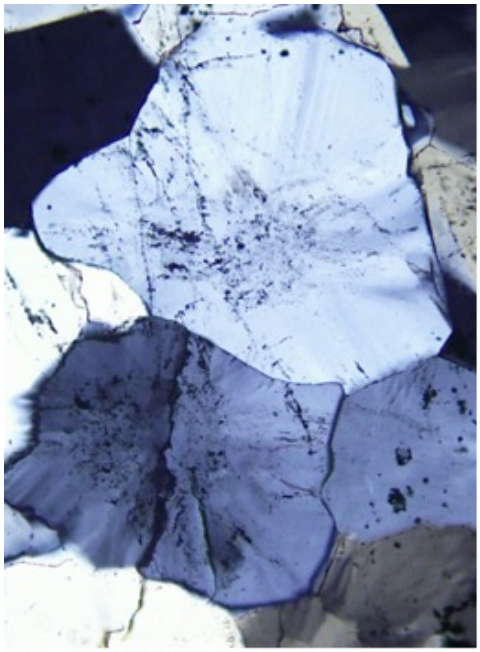


図1　放射状の波動消光(横幅0.9mm)

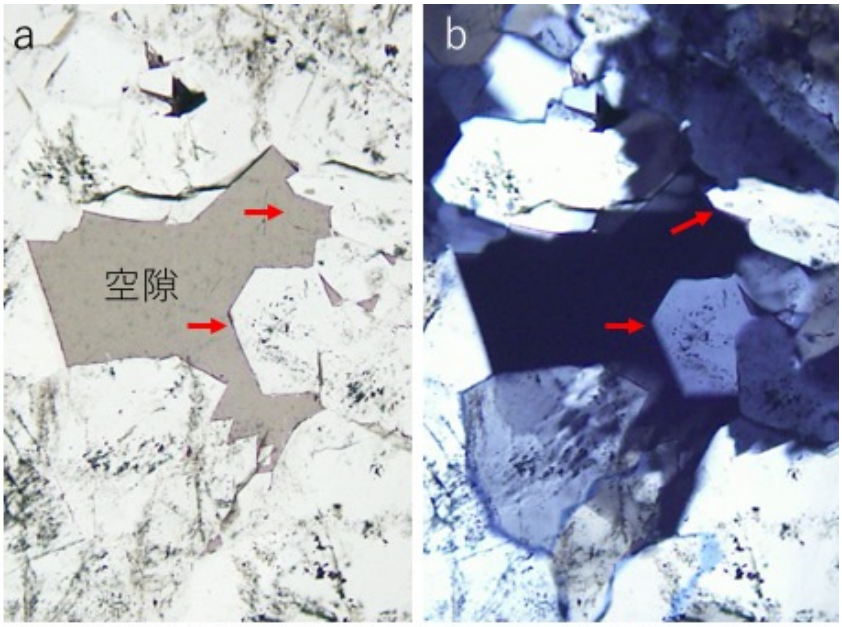


図2　空隙内に自形の石英が晶出している．a:オープンニコル，b：クロスニコル．（横幅0.3mm）

© 2021 Geological Society of Japan

Possibility of correlation between Teshima-ishi and the stone lantern in Suga Shrine, Santo, Asago City, Hyogo Prefecture, Japan

*Norithito Kawamura[1]

1. University of Hyogo

概要

兵庫県朝来市山東町柊木の寿賀神社には，但馬地方ではほかに見られない石材を用いた燈籠が１基ある．その特徴的な岩相と帯磁率の値から，この燈籠の石材は香川県小豆郡土庄町の豊島産の「豊島石」と対比可能である．風化が著しい様子から，燈籠は近世以前の製作と推察される．近世の「豊島石石造物」は香川，岡山両県をはじめ，四国全域や中国地方・九州北部，京阪神には知られている（松田，2009）．本報告では，燈籠の「豊島石」との対比の根拠を示すとともに，但馬地方南部の朝来市の神社に設置された経緯について推測する．

調査方法

燈籠および豊島石丁場露頭で岩石の帯磁率の測定とその観察を行った．調査対象の丁場は，日本応用地質学会中国四国支部豊島石研究チーム（2009），長谷川（2010）を参考に，豊島（香川県小豆郡土庄町豊島家浦，同唐櫃，同甲生（転石のみ）），小豆島（土庄町滝宮），男木島（高松市男木町），女木島（同女木町），屋島（同屋島西町）とした．

調査方法は川村・崎山（2021）と同様である．つまり，調査を非破壊で行うため，石材表面の色調，組織，構成鉱物を肉眼で観察した．また，野外調査と同じ機器を用いて帯磁率を測定した．

帯磁率は，露頭や転石では植物に覆われていない平坦面を選んで20点ずつ測定した．測定点の間隔は5 cm以上空けるが，全測定点が1 m四方の区画内に収まるようにした．測定機器には携帯型帯磁率計（Terraplus社製KT-10）を使用した．なお同機器の「コア直径」の設定はしていない．燈籠は，笠，火袋，中台，柱，台座などの部材から構成されるが，柱の部材を対象に帯磁率の測定を竿の側面で行った．

燈籠の岩相記載

件の燈籠はいずれも同様の岩相の石材から構成されている．竿の部材の岩相は，暗灰色の砂質ユニットと細礫サイズの淡褐灰色の軽石質ユニットの互層で構成されている．

燈籠の部材の帯磁率

竿の部材のうち，砂質ユニット8.2×10^{-4}SI，軽石質ユニットの帯磁率は，6.0×10^{-4}SI，7.5×10^{-4}SIである．

燈籠の石材と類似した豊島石露頭の岩相と帯磁率

豊島石は，暗灰色の火山礫凝灰岩で，径数 cm以下の黒色を呈する玄武岩の岩片を多く含む（西山ほか，2014）．しばしば最大径数cmの軽石を含む層が挟在する．

豊島甲生の転石は$7.5\sim11\times10^{-4}$SI，屋島の登山道わきにあるいわゆる「洞窟」の露頭では$8.8\sim13\times10^{-4}$SIである．そのほかの豊島石の露頭で寿賀神社の燈籠の岩相と類似するものは，燈籠よりも帯磁率は比較的高い値（1×10^{-3}SI以上）を示す．

対比

寿賀神社の燈籠の柱は，帯磁率特性から豊島甲生の豊島石と対比可能である．

課題

なぜ，但馬の内陸部に豊島石石造物が見られるのかについては，社殿建築にかかわった大工が淡路島からきていることが関係すると推察される．今後はこの点についての検証が必要である．

© 2021 Geological Society of Japan

謝辞　本研究の費用の一部は，日本学術振興会科研費(基盤研究(B)課題番号 17 H02008，研究代表者 鈴木寿志)によった．ここに記して感謝の意を表する．

文献

長谷川修一（2010）讃州豊島石の特性と豊島石石造物の時空分布に関する調査．財団法人福武学術文化振興財団平成 20 年度瀬戸内海文化・研究活動支援調査・研究助成報告書，142p.
川村教一・崎山正人（2021）兵庫県養父市関宮町及び大屋町とその周辺に分布する 近世・近代の蛇紋岩石造物の石材産地と用途の変遷．人と自然，**31**，41-54.
松田朝由（2009）豊島石石造物の研究 I．財団法人福武学術文化振興財団　平成19 年度瀬戸内海文化・研究活動支援調査・研究助成報告書，157p.
日本応用地質学会中国四国支部豊島石研究チーム（2009）讃州豊島石の応用地質学的研究事始．日本応用地質学会中国四国支部平成 21 年度研究発表会発表論文集，59-64.
西山賢一・宮本和季・長谷川修一（2014）香川県に分布する豊島石製石造文化財の風化程度の評価．徳島大学総合科学部　自然科学研究，**28**，4，45–53.

Keywords: stone material, Modern age, Teshima-ishi, stone lantern, stone works

© 2021 Geological Society of Japan

Brand stone carried by debris flow: Mikage-ishi (Rokko Granite)

*Tohru Sakiyama[1]

1. Institute of Geo-history, Japan Geochronology Network

六甲山地に分布する花崗岩（六甲花崗岩）はかつて御影の浜（現兵庫県神戸市御影）から各地に積み出されたため，御影石と呼ばれるようになった．このことは江戸時代の名所図会に記述されている．そして現在は，花崗岩類石材全般を御影石と呼ぶようになっている．このことは六甲花崗岩が全国的に広く流通していたことを物語っている．六甲花崗岩は淡紅色のカリ長石を特徴的に含むことや瀬戸内海沿岸地域の他の花崗岩と比べて高い帯磁率を有することなどから，比較的容易に産地の同定が可能であり，中世（鎌倉～室町時代）から西日本を中心に広域的に流通していたことが知られている（市村，2013；先山，2013）．一方瀬戸内海沿岸地域には花崗岩が広く分布し，大坂城築城の際には多くので石材が供給された．それらの石材産地と比べた時，六甲山地は活断層が多く大きな石材が得られにくいこと，急峻な山地のため搬出が難しいことなど，良好な産地であるとは言いづらい．それにもかかわらず，六甲花崗岩のみが広域に流通したのはなぜだろうか．本発表では，その要因として六甲山麓で頻繁に発生した土石流の可能性を名所図会の記述と六甲山麓の地形・地質との関係から検討する．

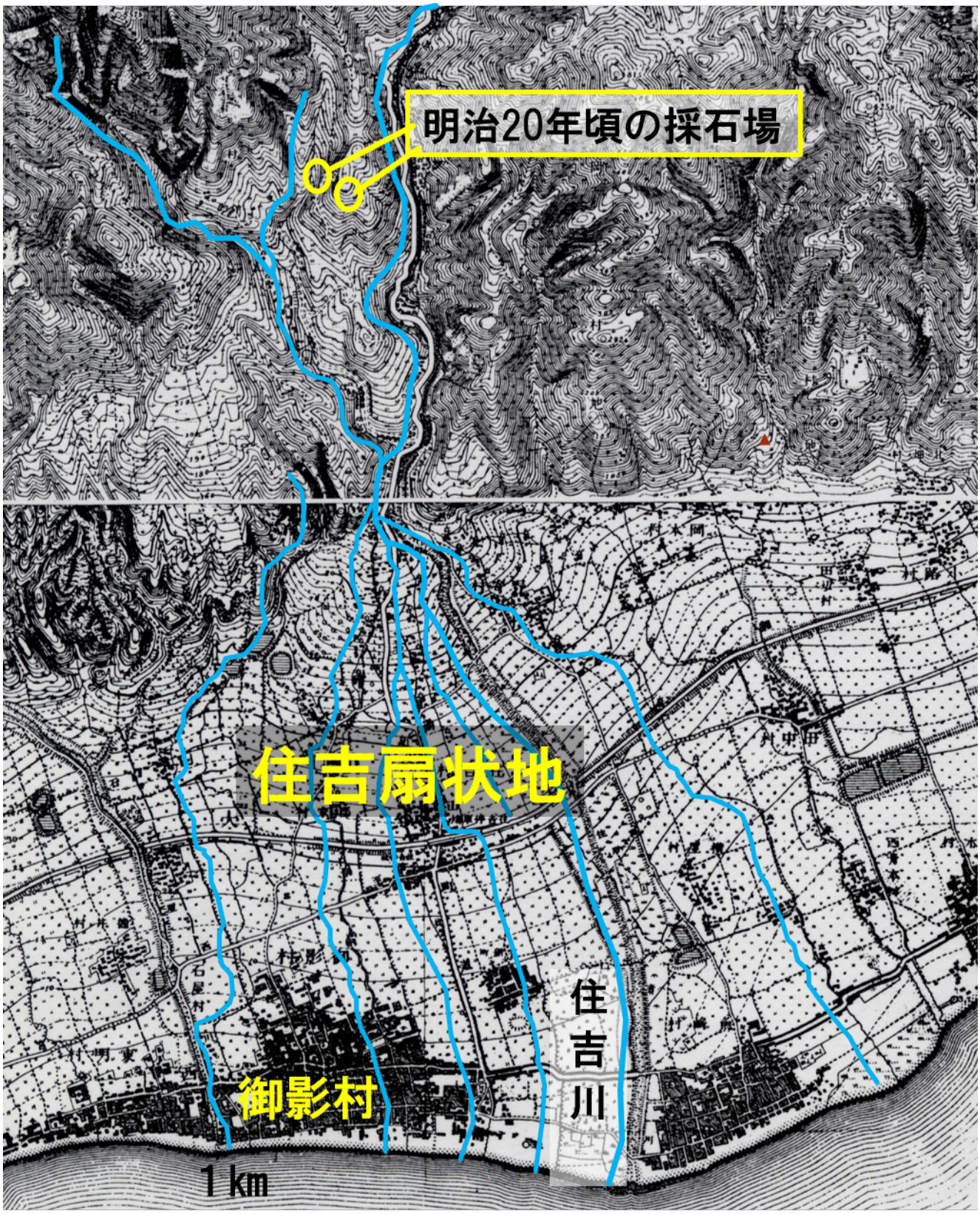
江戸時代の名所図会で御影石を記述したものとしては日本山海名産図会（1799年）と摂津名所図会（1796年）がある．日本山海名産図会の説明文では，（１）御影の浜から各地に搬出していたため御影石と呼ばれたが，（２）海岸線が海側に移動して遠くなり，（３）山地入り口付近のものは取りつくされてしまい，（４）現在は山地奥で採石して御影まで運んでいることが記されている．図会では山地の崖から石を切り出す様子が描かれているが，この記述によると以前は山麓の岩塊を採石していたことが想定される．
現在，六甲花崗岩を採石している場所はなく，１カ所で住吉川河床の岩塊を採取しているのみである．下図に示した２万分の１仮製地形図神戸及び六甲山（兵庫県立人と自然の博物館所蔵）では，住吉川上流の山中の2ヶ所で採石場が記されているのみで，大量に出回っている六甲花崗岩全体から見ると少ない．六甲山地の花崗岩は徳川大坂城築城に際して大量の石材が供給されたとされ，その残石は大名の刻印を記された「刻印石」や石割の過程を示す「矢穴石」として現地に多く存在するが，その大半は東方の芦屋川流域から西宮に至る地域で，その多くは尾根部に存在する花崗岩のコアストーンや過去の土石流による岩塊である．

地形的に見ると御影地域を含めた住吉川流域は六甲山麓最大の扇状地であり（下図参照），過去に頻繁な土石流に襲われていたことが知られている．この扇状地地形が海岸線まで達していることから推測すると，御影が村として栄える以前にはこのような土石流によって運ばれた堆積物は海岸線付近まで存在していたと考えられる．このような地形的背景と日本山海名産図会の記述に採石遺物の産出状況を考え合わせると，当初は山麓の扇状地上で，土石流によって運ばれた岩塊を採石していた可能性が高い．中世から六甲花崗岩が他地域の花崗岩類に先駆けて全国に出回り，「御影石」が花崗岩の代名詞となるまで普及した背景には，土石流による岩塊が海岸近くにあり，運搬が容易だったことがあると推測される．　摂津名所図会には，御影石の項目に滋賀県の「木戸石」と京都「白川石」の２ヶ所の石材も示されている．「木戸石」は琵琶湖西岸の比良山地を構成する花崗岩で，山麓には扇状地や沖積錐が発達する．また白川石は京都盆地東部の比叡山周辺の花崗岩で，山地部と盆地境界には扇状地が発達し，山麓に土石流によって運ばれた花崗岩塊が残されている．これらも併せて考えると，江戸時代以前の採石や運搬技術が未発達な頃，石材確保の場は土石流の頻発地域であり，特に海岸近くまで岩塊が運ばれていた御影地域は，絶好の石材産地となったのであろう．

市村高男（2013）御影石と中世の流通ー石材識別と石造物の形態・分布．高志書院，282p.
先山　徹（2013）花崗岩の識別と帯磁率による産地同定．御影石と中世の流通ー石材識別と石造物の形態・分布ー（市村高男編），高志書院，45-58.

Keywords: granite, stone material, debris flow, magnetic susceptibility, Rokko Mountains

© 2021 Geological Society of Japan



明治20年頃の地形図

© 2021 Geological Society of Japan

Location and geology of water-power plants in Kumano Acidic Rocks, Southwest Japan

*Seisuke Ushiro[1]

1. Wakayama University

はじめに　紀伊半島南東部の熊野地域には，明治後期から昭和初期に運用開始された7つの水力発電所があった．いずれも地元資本により建設・経営が始まったもので，これら初期の水力発電所は，熊野酸性岩類分布域の辺縁部に位置する点で共通する．年降水量の多い気候条件のみならず，地形・地質を活かして効率的な発電となるよう企図したと考えられる．このため土砂災害の履歴も少なくない．

　ここでは熊野酸性岩類分布域にある水力発電所の立地について報告し，初期の水力発電所の立地と地質の関連について考察する．

地形・地質の概要　中新統熊野層群に貫入した熊野酸性岩類の大規模岩体が分布する（Miura,1999；川上・星，2007）．主岩体はラコリスを形成した流紋岩（熊野花崗斑岩）で，柱状節理や方状節理が発達する硬岩である．先行して噴出した流紋岩質火砕岩が，火成岩体の辺縁部に分布することがあり，タフォニを形成しやすい軟岩である．また初期に噴出した流紋岩（神ノ木流紋岩）があり，柱状節理が発達する硬岩である．熊野層群は前弧海盆堆積体の軟岩である．硬岩である岩体は高い山地を形成しており，岩体の内部と辺縁部に滝が発達し，地質を反映した地形になっている．

水力発電所の立地　1899(明治32)年に運用開始された鮒田発電所跡では，取水堰は硬岩である流紋岩の渓床に設置され，そこから尾根に設けられた上部水槽まで緩やかな傾斜で導水され，水圧鉄管により発電所へと送水された．発電所跡は，地形が緩傾斜に変わる火成岩体辺縁部に位置する．取水堰と発電所の間は銚子滝をはじめとする渓谷からなり，上部水槽と発電設備の有効落差を流紋岩体に形成された滝や渓谷を活かして得た立地となっている．

このような取水堰・上部水槽・発電所の位置関係は，これ以降の水力発電所（大里発電所，1903年開始；那智発電所，1913年開始；平野発電所跡，1919年開始；高田発電所，1919年開始；滝本発電所，1921年開始；矢ノ川発電所跡，1927年開始）に受け継がれた．

　すなわち①取水堰は，硬岩である流紋岩の渓床に設置；②上部水槽は，谷を避けて尾根に設置；③有効落差を，滝や渓谷を活かして得る立地；④発電所は，地形が緩傾斜に変わる火成岩体辺縁部に設置されている．流紋岩体に形成された滝や渓谷は，地域の名所となっている．

発電所の立地と土砂災害　初期の水力発電所は渓谷に立地するため，崩壊・土石流により取水堰や導水路がくり返し破壊されてきた．

矢ノ川発電所は，取水堰が大破し4年間で廃止された．鮒田発電所跡では，取水堰の上流に砂防堰堤跡が見出された．大里発電所は，1954(昭和29)年に存廃の危機に陥った．那智発電所は，2011年に被災した第1導水路が未だ復旧されていない．

発電所の立地と地質　当該地域の明治後期から昭和初期に運用開始された水力発電所は，硬岩である流紋岩体に形成された滝や渓谷を活かして，発電のための有効落差を得た立地となっていた．これらの近代化遺産は更新され，現在4つの水力発電所が稼働している．土砂災害からの復旧コストなどの課題はあるが，存続が望まれる．

引用文献　Miura, D.，1999，*Jour. Volcanol. Getherm. Res.*，**92**，271-294.

川上裕・星博幸，2007，地質雑，**113**，296-309.

Keywords: Kumano Acidic Rocks, water-power plants, effective head, landslide disaster

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R21 [Regular Session]Quaternary geology

[3ch407-09] R21 [Regular Session]Quaternary geology

Chiar:Yoshihiro Takeshita

Mon. Sep 6, 2021 11:00 AM - 11:45 AM ch4 (ch4)

[R21-O-1] Geological outline on NB-1 drilling core at Sanjo-honmachi, Nara City by the survey on the Nara eastern margin fault zone of the Nara basin, central Japan

*Muneki Mitamura[1], Haruna Takahashi[1], Tomotaka Iwata[2] （1. Osaka City University, 2. Kyoto University）

11:00 AM - 11:15 AM

[R21-O-2] Correlation of the volcanic glass rich tephra in Pleistocene Kamiizumi Formation and Ata-Th tephra, Chiba, central Japan

*Takeshi Yoshida[1], Naoto Ito[1], Masao Ban[2], Osamu Kazaoka[1] （1. Chiba prefectural evironmental research center, 2. Faculty of Science, Yamagata University）

11:15 AM - 11:30 AM

[R21-O-3] Frequency of small-scale eruptions at Adatara volcano during the past 13,000 years revealed by the event deposits in lacustrine sediments, Lake Inawashiro-ko, Fukushima Prefecture

*Yoshitaka Nagahashi[1], Kyoko S Kataoka[2] （1. Fukushima University, 2. Niigata University）

11:30 AM - 11:45 AM

©The Geological Society of Japan

Geological outline on NB-1 drilling core at Sanjo-honmachi, Nara City by the survey on the Nara eastern margin fault zone of the Nara basin, central Japan

*Muneki Mitamura[1], Haruna Takahashi[1], Tomotaka Iwata[2]

1. Osaka City University, 2. Kyoto University

奈良盆地東縁断層帯の調査のため，奈良市高畑町-宝来町において測線長約7kmの反射法地震探査が行われた(文部科学省・京都大学防災研究所，2020)．さらに，この反射法地震探査と堆積層との関係を把握するために，掘進長303mのオールコアボーリング（孔番NB-1）が奈良市三条本町（北緯34度40分38.639秒，東経135度49分2.741秒，標高65.39m）で行われた．ここでは，採取されたボーリングコア（NB-1コア）の岩相と地層対比について，その概要を報告する．

NB-1コアは未固結-半固結の礫・砂・シルト・粘土からなり，少なくとも１層の海成粘土層と3層の火山灰層を挟む．NB-1コアの岩相は，下半部の深度303.3-129.6mは中粒-粗粒砂と砂質シルトの互層である．深度141.23mに厚さ0.5cmの白色中粒の火山灰層を挟む．この火山灰層は，多孔質型・中間型の火山ガラス（屈折率1.506-1.508）を多く含み，重鉱物は角閃石を主とし斜方輝石をともなう．上半部の深度129.6-11.3mは細礫-中礫を含む礫層と中粒-粗粒砂層を顕著に挟む礫・砂・シルト互層である．深度108.4-99.8mには暗青灰-青緑灰色を呈する比較的均質な海成粘土層が挟まれる．その上位の深度87.5-86.7mには淡桃白-白色を呈する中粒-粗粒のガラス質火山灰層を挟む．この火山灰層の火山ガラス（屈折率1.499-1.501）は扁平型・中間型で多孔質型を少量含む．重鉱物は角閃石が大半を占め，少量の斜方輝石を伴う．また，深度43.3-42.8mには淡桃灰～淡紫灰色のシルト混じりの中粒のガラス質火山灰層を挟む．含まれる火山ガラス（屈折率1.511-1.512）は扁平型・中間型で多孔質型を少量含み，最下部では中間型・多孔質型を多く含む．重鉱物は斜方輝石が大半を占め，単斜輝石と少量の角閃石を伴う．深度11.30m以浅は中礫-大礫を含む砂礫層を主とし，最上部は腐植質砂混じり粘土層である．

深度87.5-86.7mに挟まれる火山灰層は，岩相の特徴・岩石学的性質の類似性，厚い海成粘土層の上位約12mにあるという層位関係などからピンク火山灰層に対比され，深度108.4-99.8mの海成粘土層はMa1層に対比できる．さらに，深度43.3-42.8mの火山灰層は，岩相の特徴・岩石学的性質の類似性から，アズキ火山灰層に対比できる．これより上位の層準については，周辺に分布する段丘構成層などとの対比は現在のところ明らかではない．

下半部の深度303.3-129.6mは，Ma1層より下位の大阪層群相当層とみられる中粒-粗粒砂と砂質シルトの互層で，北方の奈良丘陵・京阪奈丘陵で認められるMa1層より下位の大阪層群は礫質の礫・砂・シルト互層であり（三田村，1992；河村，1993），岩相が異なっている．深度141.23mに挟まれる火山灰層についても，Ma1層下位でこれまで認められた火山灰層と類似するものは見いだせない．これらの対比については，今後さらなる検討を要する．

NB-1ボーリングは，反射法地震探査（奈良測線）の反射断面（文部科学省・京都大学防災研究所，2020）のCMP520地点にあたり，この地点の標高-50m付近に認められる連続性の良い反射面はMa1層の下面に相当するとみられる．

引用文献

三田村宗樹, 京阪奈丘陵の大阪層群の層序と地質構造, 第四紀研究, 31, 159-177, 1992.
河村善也, 奈良丘陵の大阪層群, 地質学雑誌, 99, 503-523, 1993.
文部科学省・京都大学防災研究所, 奈良盆地東縁断層帯における重点的な調査観測，令和元年度成果報告書, 198p, 2020.

Keywords: Quaternary, stratigraphy, Osaka Group, the Nara eastern margin fault zone of the Nara basin

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

Correlation of the volcanic glass rich tephra in Pleistocene Kamiizumi Formation and Ata-Th tephra, Chiba, central Japan

*Takeshi Yoshida[1], Naoto Ito[1], Masao Ban[2], Osamu Kazaoka[1]

1. Chiba prefectural evironmental research center, 2. Faculty of Science, Yamagata University

はじめに

本研究地域である千葉県北西部の台地は中期更新世～後期更新世の下総層群から成り，下位より地蔵堂層，藪層，上泉層，清川層，横田層，木下層の各累層から構成される．これらの累層は下部が主に泥層から，上部が主に厚い砂層から構成される．清川層以深の泥層及び砂層は側方によく連続している．そして，地下水利用などの水文地質学の分野において，泥層は難透水層，砂層は透水層として機能するため，これらの連続性の把握は重要であり，特に汚染の流動に影響を及ぼしている．

水理地質構造上重要な難透水層の一つに上泉層の下部を構成する泥層（層厚：1 - 5m）があり，本地域では北部の標高-27mから南部の標高-65mに傾斜して分布している．この泥層をYk-C2難透水層と呼称し（風岡ほか,2013；吉田ほか，2017），これに挟まれる軽石質テフラ（Km2テフラ）によって本層の側方への連続性を確認している．

千葉県習志野市のボーリングコア（NrsC-Fコア:吉田ほか2017, 風岡ほか,2018）において，Km2テフラの上位2～3mに火山ガラスに富んだ火山灰（NrsC-F-85.87テフラと呼称：層厚：約4 cm）が挟在されており，この火山灰中の火山ガラスの屈折率及び主成分化学組成を行った．そして，Km2テフラとの降灰年代が近い阿多鳥浜テフラ（Ata-Th：Ui, 1971）との対比の検討を行った．

房総半島においてAta-Thテフラは，千葉県市原市東国吉(中里ほか，2013)のみで確認されていたが，Ata-ThテフラとKm2テフラが同時に認められる地点はこれまでに報告はなかった．

研究方法

NrsC-F-85.87テフラについて火山ガラスの形状や重鉱物組成を記載し，（株）古澤地質製の温度変化型屈折率測定装置 MAIOTを使用し火山ガラスの屈折率を測定した．また，山形大学所有の日本電子製EPMA(JXA-8900)を使用し，火山ガラス（n=25）の主成分化学組成を測定した．

テフラの分析

NrsC-Fコアの深度88.90m（標高T.P. -65.53m）にKm2テフラが挟在され，その上位（深度85.87m［標高T.P. -62.23m］）に，シルト～極細粒砂サイズの火山ガラスに富む火山灰（NrsC-F-85.87テフラ　層厚: 4cm）が挟在される．町田・新井（2003)によると,Ata-Thテフラは，低屈折率(n = 1.498-1.500)で高SiO2の火山ガラスと石英を含有し，重鉱物組成では角閃石及びほぼ同量の直方輝石，また若干の黒雲母が含まれる．今回NrsC-F-85.87テフラ は，火山ガラスの屈折率がn = 1.497-1.499（1.498），化学組成が SiO2 = 78.05wt.%，K2O = 3.27wt.% であり(Table)，Ata-Thテフラとされる給源近傍堆積物中の軽石(町田・新井，1992)・中里ほか（2013）のKm1?テフラと良く一致することから，NrsC-Fコアの深度85.87mの火山ガラスに富む火山灰はAta-Thテフラに対比される可能性が高いことがわかった．

文 献

風岡 修ほか，2013，下総台地中央部の更新統の透水層構造と地下水質の概要ー印西市～八千代市についてー.第 23 回環境地質学シンポジウム論文集，69-74.

風岡 修ほか，2018, 第6章　応用地質及び環境地質．都市域の地質地盤図「千葉県北部地域」(説明書)，35-44.

町田 洋・新井房夫，1992，火山灰アトラス〔日本列島とその周辺〕. 東京大学出版会, 276p.

町田 洋・新井房夫, 2003 火山灰アトラス〔日本列島とその周辺〕. 東京大学出版会, 336p.

中里裕臣ほか，2013，房総半島北部3次元地質モデルにおける下総層群の層序．日本地質学会要旨

© 2021 Geological Society of Japan

Ui, T. , 1971 Genesis of magma and structure of magma chamber of several pyroclastic flows in Japan. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Ser II, 18, 53-127.

吉田 剛ほか, 2017, 千葉県北西部に広域に連続する難透水層(YK-C1,YK-C2)の分布.第 27 回環境地質学シンポジウム 論文集，125-130.

Keywords: Yk-C2 aquitard, Kamiizumi Formation, Km2 tephra, Ata-Th tephra, NrsC-F-85.87 tephra

© 2021 Geological Society of Japan

Table　NrsC-F-85.87テフラに含まれる火山ガラスの屈折率と主成分化学組成

コア名	テフラ名	深度(m)	ガラス屈折率(n)	火山ガラス主成分元素(wt.%)_揮発性成分除去　(n=25)									
				SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Total
NrsC-F	NrsC-F-85.87	85.83 - 85.87	1.497-1.499 (1.498)	78.05	0.14	12.66	0.89	0.06	0.18	1.23	3.51	3.27	100
				0.6	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.5	0.2	s.d.

© 2021 Geological Society of Japan

Frequency of small-scale eruptions at Adatara volcano during the past 13,000 years revealed by the event deposits in lacustrine sediments, Lake Inawashiro-ko, Fukushima Prefecture

*Yoshitaka Nagahashi[1], Kyoko S Kataoka[2]

1. Fukushima University, 2. Niigata University

福島県中央部に位置する猪苗代湖は，磐梯山における約5万年前の山体崩壊によって，当時の谷部が堰き止められたことにより形成された（長橋ほか，2016）．猪苗代湖の湖心部南の水深90m地点において掘削された湖底堆積物コア（INW2012コア）では，過去5万年間の粘土質シルト（コア深度0～24.61m）中に71層のイベント層が挟在する（Kataoka and Nagahashi, 2019）．そのうちの青灰色粘土（Gm）堆積物と下部に砂層を伴う青灰色粘土（Gs）堆積物は，安達太良山の小規模噴火によるラハールが猪苗代湖に流入し，密度流として湖底を流下・堆積したとされた（Kataoka and Nagahashi, 2019）．この発表では，2013年に採取した4地点のピストンコアの解析を加えて，猪苗代湖の湖底堆積物からみた過去1万3000年間の安達太良山の小規模噴火の頻度について報告する．

ピストンコアは，長瀬川河口沖のSt.1（水深44 m）とSt.2（水深68 m），翁島港沖のSt.3（水深59 m），舟津川河口沖のSt.4（水深68 m）において採取した．St.1は長瀬川デルタのデルタフロントに，St.2はプロデルタの緩斜面に位置する．St.1コアは採取長6.8 mで，基底部の年代は約0.6 kaである．Ev1-10の10層のイベント層が挟在し，5層のGm堆積物と2層のGs堆積物に加え，白色粘土（Wm）堆積物が3層認められる．イベント層の層厚は0.2 cm（Wm）～7.5 cm（Gm）であり，平均層厚は1.5 cmである．St.2コアは採取長7.6 mで，基底部の年代は約9 kaである．Ev1ー38の38層のイベント層が挟在し，30層のGm堆積物，1層のGs堆積物，7層のWm堆積物が認められる．イベント層の層厚は0.1 cm（Gm）に満たないものから最大4.2 cm（Gs）であり，平均層厚は0.7 cmである．St.3はプロデルタの緩斜面に位置する．St.3コアは採取長8.4 mで，基底部の年代は約13 kaである．Ev1ー33の33層のイベント層が挟在し，22層のGm堆積物，4層のGs堆積物，7層のWm堆積物が認められる．イベント層の層厚は0.1 cm（Gm）～6.8 cm（Gs）であり，平均層厚は0.7 cmである．St.4コアは採取長8.4 mで，基底部の年代は約18 kaである．St.4コアにはイベント層は認められない．

各コアの堆積年代をイベント層の総数で割ると，St.2コアが237年，St.3コアが394年となる．これは，INW2012コアのGm・Gs堆積物の過去5万年間の発生間隔である1670年の約4から7倍の頻度となる．また，St.2・3・4コアには，共通して4層のテフラ鍵層（上位より順に，Hr-FPテフラ，Hr-FAテフラ，Nm-NKテフラ，Toー Cuテフラ）が挟まる（長橋ほか，2014）ため，このテフラ鍵層と放射性炭素年代からイベント層の時空間分布が把握できる．猪苗代湖南部で採取したSt.4コアにはイベント層が挟まれないこと，INW2012コアの過去1万3000年間のイベント層の層数（14層）よりもSt.2・3コアのイベント層の層数の方が多いことは，これらのイベント層の供給源が猪苗代湖の北方にあることを示している．また，St.3コアのNm-NKテフラ（5.4 ka）下位に挟まるEv20ー22イベント層は，St.3コアの堆積速度から約7 kaの年代と推定できるが，St.2コアの同層準には認められない．一方，St.3コアのNm-NK上位のEv4-19イベント層は，St.2コアの同層準に認められる．しかし，2 kaより新しいイベント層は，St.2コアにおいてEv1-20の20層が認められるのに対して，St.3コアの同層準には認められない．このことは，少なくとも2 ka以降に長瀬川の河口が現在の位置から大きく変化していないことを示す．複数地点で採取した湖底堆積物コアに挟まるイベント層の時空間分布は，湖と接続する河川系の河口位置の変化や河川系を通じて流入するイベント層の発生頻度（安達太良山の小規模噴火の頻度）をより詳しく検討することができる．

［文献］Kataoka K.S. and Nagahashi Y. (2019) Sedimentology, 66, 2784-2827. 長橋良隆・片岡香子・中澤なおみ（2016.3）塘 忠顕編著「裏磐梯・猪苗代地域の環境学」：17-31，福島民報社．長橋良隆・片岡香子・廣瀬孝太郎・神野成美・中澤なおみ（2014）共生のシステム，no.14，18-25.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Lake Inawashiro-ko, lacustrine sediments, Adatara volcano, small-scale eruptions, Holocene

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | R17 [Regular Session]Geoinformatics and its application

[3ch410-13] R17 [Regular Session]Geoinformatics and its application

Chiar:Yosuke Noumi

Mon. Sep 6, 2021 1:00 PM - 2:00 PM ch4 (ch4)

[R17-O-1] Super-Resolution of DEM based on Slope and Aspect using Deep Learning

*Shinji Masumoto[1], Keita Mizuochi[1], Susumu Nonogaki[2], Tatsuya Nemoto[1] （1. Osaka City University, 2. Geological Survey of Japan, AIST）

1:00 PM - 1:15 PM

[R17-O-2] Investigation on a machine learning approach for stratal correlation based on geotechnical features

*Susumu NONOGAKI[1], Shinji MASUMOTO[2], Tatsuya NEMOTO[2] （1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Osaka City University）

1:15 PM - 1:30 PM

[R17-O-3] Prototype of simplified legend of Seamless Digical Geological Map of Japan (1:200,000) V2

*Makoto Saito[1] （1. Geological Survey of Japan, AIST）

1:30 PM - 1:45 PM

[R17-O-4] Development an AR application for Geological information "Geo View"

*Yoshinori MIYACHI[1], Susumu NONOGAKI[1], Osamu FUJIWARA[1], Mahito WATANABE[1] （1. Geological Survey of Japan）

1:45 PM - 2:00 PM

©The Geological Society of Japan

Super-Resolution of DEM based on Slope and Aspect using Deep Learning

*Shinji Masumoto[1], Keita Mizuochi[1], Susumu Nonogaki[2], Tatsuya Nemoto[1]

1. Osaka City University, 2. Geological Survey of Japan, AIST

１．はじめに

DEM（Digital Elevation Model: 数値標高モデル）は，地球科学分野の基本情報として広く利用されている．DEMは高分解能なものほど，精度の高い表現や解析が可能である．近年，深層学習（Deep learning）による超解像技術の応用として，DEMの高分解能化が試みられている（Chen *et al.*, 2016; 日高ほか, 2021など）．本研究では，SRCNN（Super-Resolution Convolutional Neural Network: Dong *et al.*, 2014）による超解像技術を用いたDEMの高分解能化手法の開発について述べる．

２．原理と手法

SRCNNは特徴抽出，非線形マッピング，再構築の3層のCNNを用いて，低解像度の画像と高解像度の画像の関係性を学習し，低解像度の画像から高解像度の画像を得る手法である．本研究で開発した手法では，DEMから求めた傾斜方位と傾斜量を合成したイメージの高分解能化にSRCNNを用いた．データには，1 mメッシュの航空レーザ測量データから作成された「兵庫県_全域DEM（2010年度～2018年度）」を使用した．兵庫県中部の20×20 kmの範囲を200×200 mに分割した分解能1 mの高分解能DEM（200×200セル）と，それを分解能5 mに間引いた低分解能DEM（40×40セル）とのセットを10000セット作成し，学習・検証用に9000セット（学習：検証＝8：2），残りを評価用に用いた．

学習と高分解能化の流れをFigure 1(a)に示す．分解能5 mのDEMをBicubic法で1 mの分解能にリサイズ（アップサンプリング）し，傾斜方位と傾斜量を求める．傾斜方位をH（色相），傾斜量をV（明度）に割当て，S（彩度）を固定してHSV色空間モデルを作成し，RGB（各0.0～1.0）の3chに変換する．実際には，情報の劣化を防ぐために画像化はしていない．高分解能DEMも同様に変換し，これらを用いてSRCNNで学習して，学習モデルを構築する．学習は損失関数（平均二乗誤差）とPSNR（ピーク信号対雑音比）で最適化した．

構築した学習モデルを用いて，評価用の5 m分解能のDEMを同様に変換したものから，高分解能のHSVモデルを得る．このHSVモデルを各座標での傾斜方位と傾斜量に変換して200×200=40000点の地点データとする．また，5 m分解能のDEMの標高値を40×40=1600点の地点データとする．面推定プログラムBS-Horizon（野々垣ほか，2008）のVisual Basic版であるTerramod-BS（坂本ほか，2012）を用いて，これらの2種類の地点データから分解能1 mのDEMを推定する．

３．結果

高分解能化の例として，Fig. 1(b)の分解能1 mのDEMを間引いて作成した(c)の分解能5 mのDEMを用いた結果を(d)と(e)に示す．Fig. 1(d)は補間（Bilinear，Bicubic，BS-Horizon）による結果であり，(e)はSRCNNによりDEMの標高情報のみを高分解能化した結果，HSVモデルを高分解能化して得られた傾斜方位・傾斜量と分解能5 mのDEMの標高値から，直接計算した結果とTerramod-BSを用いて面推定した結果である．評価のための指針としてRMSE（Root Mean Square Error）とPSNR（Peak Signal-to-Noise Ratio）も示した．これらの中では，ここで開発した手法が精度が一番よく，崖などの地形的特徴も最も良く再現できていることがわかった．なお，高分解能化の比較では，地形の標高が滑らかに連続して変化することを前提とする補間と標高の急な変化等を特徴として表すことを前提とする超解像との根本的な違いが表れていると考える．

４．おわりに

開発した手法により地形の特徴を表した高分解能化が概ね実現できた．今後，超解像の他の多様な方法での検討も行っていきたい．

© 2021 Geological Society of Japan

文献

Chen *et al.*, 2016, *ISPRS-Archives*, **XLI-B3**, 247-250.

Dong *et al.*, 2014, *Computer Vision –ECCV 2014*, 184-199.

兵庫県, 2020, 兵庫県_全域DEM（2010年度～2018年度）. G空間情報センター.
https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/2010-2018-hyogo-geo-dem（2021年6月25日）

日髙弥子ほか, 2021, 情報地質, **32**, 3-13.

野々垣進ほか, 2008, 情報地質, **19**, 61-77.

坂本正徳ほか, 2012, 情報地質, **23**, 169-178.

Keywords: DEM, Super-resolution, Deep learning, Slope, Aspect

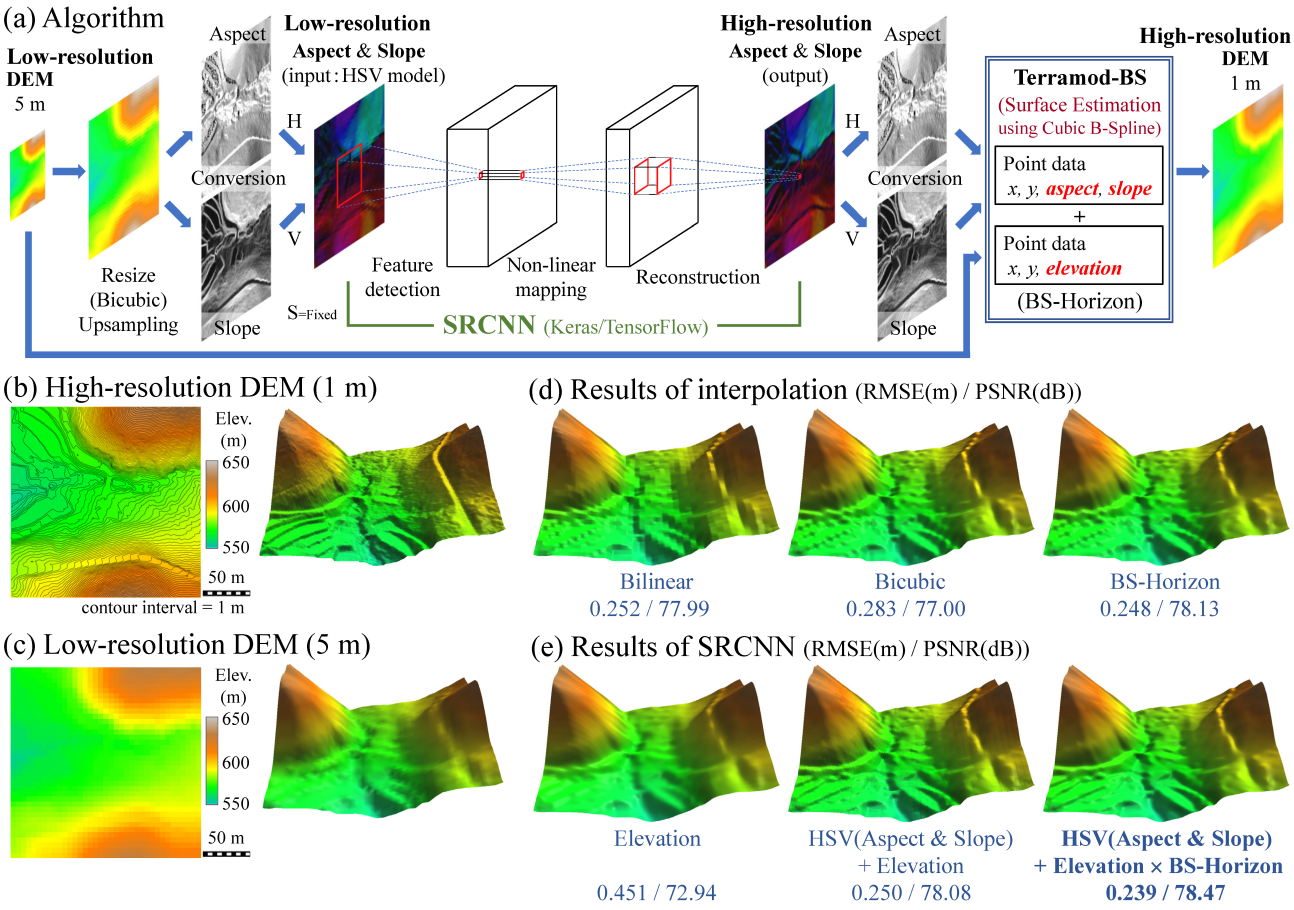


Figure 1. Algorithm and results. (a) Algorithm for spatial resolution improvement of DEM, (b) high-resolution DEM, (c) low-resolution DEM, (d) results of interpolation, (e) results of SRCNN.

© 2021 Geological Society of Japan

Investigation on a machine learning approach for stratal correlation based on geotechnical features

*Susumu NONOGAKI[1], Shinji MASUMOTO[2], Tatsuya NEMOTO[2]

1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Osaka City University

地下の地質構造を３次元で表すモデル（３次元地質モデル）は，インフラ整備やハザードマップ作成に必要不可欠な空間情報のひとつである．建築物や道路が地表のほとんどを覆う都市部では，地下数十メートルを対象とした３次元地質モデルを作成する場合，地下の状態を直接観察した結果であるボーリングデータについて地層の対比処理を行い，その結果を基に地質構造を推定することが多い（納谷ほか, 2018，2021など）．しかし，地層の対比には堆積学や層序学等に関する高度な知識と技術が必要であり，その作業には膨大な時間がかかるのが一般的である．他方，近年，公共工事で得られた多数のボーリングデータが，国や自治体によって標準的なデータ形式（国土交通省，2016）で収集・管理されるようになってきた．この動きは今後も継続すると考えられ，ボーリングデータにおける地層対比を迅速かつ正確に実施する技術を開発できれば，従来よりも詳細な３次元地質モデルの作成につながると期待できる．本研究では，この技術開発の第一段階として，機械学習を利用してボーリングデータに記載された情報から地層名を予測する方法について検討した．

ボーリングデータにおける地層の対比は，地盤の特徴を定量的に表した値（特徴量）を入力データ，地層名ラベルを出力データとする教師あり学習の分類問題と考えられる．ここでは，利用するボーリングデータは鉛直方向に掘削して得られたものという前提のもと，ボーリングデータから鉛直方向について等間隔に抽出した地盤の特徴量を機械学習に用いる．地盤の特徴量には，標高，主となる岩石・土質，混合物の種類とその割合，標準貫入試験結果（N値）を用いる．混合物の種類とその割合については，岩石・土質名に記載される頻度の高い，泥，シルト，砂，礫，有機質土，火山灰，貝殻を対象とし，岩石・土質名から導く．

上記の特徴量を利用した機械学習による地層対比の有効性を調べるために，代表的な教師あり分類アルゴリズムおよび5層から構成されるニューラルネットワークそれぞれを用いて，10種類の特徴量から4種類の地層名ラベルを予測するテスト計算を実施した．教師あり分類アルゴリズムには，サポートベクターマシン，決定木（ランダムフォレスト），*k*近傍法を用いた．また，テスト計算用の特徴量および地層名ラベルのデータセット作成には，納谷ほか（2018）で利用された1,654本のボーリングデータおよびそれらに関する地層の対比データを用いた．テスト計算では，全ボーリングデータのうち1,300本のボーリングデータから抽出した特徴量を学習データ，残りの354本から抽出した特徴量を評価データとした．それぞれの機械学習から得られる地層対比モデルの評価には，交差検証とHold-out法を利用した．地層対比モデルの評価指標には，評価データに対する正解率とCohen（1960）によるkappa係数を利用した．交差検証では，学習データを東側に分布するものから順に5グループに等分し，4グループを訓練データ，1グループを検証データとする5分割交差検証を実施した．その結果，いずれの分類手法においても，評価データに対する正解率は85%以上，kappa係数は0.77以上を示した．Hold-out法では，学習データのうち70%を訓練データ，30%を検証データとして地層対比モデルを作成した．ただし，検証データはランダムに選択した．その結果，評価データに対する正解率およびkappa係数は，交差検証の結果と同様の値となった．

現時点では，機械学習に入力する地盤の特徴量はそれぞれ，ボーリングデータのある一点に焦点をあてたものとなっており，その周辺における特徴量についての情報を含まない．しかし，地層は広がりをもつものであるため，周辺の特徴量を効果的に含ませることができれば，地層対比の精度を向上できると考える．今後は，ボーリングデータから抽出する特徴量の種類について検討を進めるとともに，周辺の特徴量を活用する方法についても検討していく予定である．本研究はJSPS科研費JP19K04004の助成を受けたものである．

文献

Cohen, J., 1960, A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, **20**, 37–46.

国土交通省，2016，地質・土質調査成果電子納品要領．国土交通省，50p.

© 2021 Geological Society of Japan

納谷ほか，2018，都市域の地質地盤図「千葉県北部地域」説明書．産総研地質調査総合センター，55p.
納谷ほか，2021，都市域の地質地盤図「東京都区部」説明書．産総研地質調査総合センター，82p.

Keywords: Machine learning, Borehole data, Stratal correlation, Three-dimensional geological model

© 2021 Geological Society of Japan

Prototype of simplified legend of Seamless Digical Geological Map of Japan (1:200,000) V2

*Makoto Saito[1]

1. Geological Survey of Japan, AIST

2017年に20万分の1日本シームレス地質図V2(=V2版)(*1)を公開した．凡例は地質図に示される情報量を支配し，その時の地質学的な進展状況を反映する．20万分の1日本シームレス地質図(=旧版)は1992年の100万分の1日本地質図第3版の凡例をもとに作られていたため，凡例数は基本版で約180，岩相区分を増やした詳細版では約380であった．V2版では，これ以降の25年の地質学的知見を加えた新たな凡例を作成して全面改定を行った．凡例はコード化され，火成岩，堆積岩，付加体，変成岩に区分され，それぞれ[形成年代]_[岩石種]_[変成分帯/付加年代]のコードで示されている．これにより計2400超の凡例となった(*2)．

この凡例ではコンピューターで扱うことを想定して，それぞれコードの一部削っていくことによって，より簡素化した凡例にできるよう構造化されている．しかし凡例構造を理解して簡略化し，必要な用途に使い分けるには地質学的知識が必要であり，簡略版の凡例を作って欲しいという意見があった．さらに，この地質図を防災用途として自治体で利用したり，これまで使われていない新しい分野で使ったりしてもらうためには，それら用途に応じたかなり簡略化した凡例が必要である．

このため，まずは旧版の凡例数に近い数の凡例数を持つ凡例に簡素化し，そこからさらに用途別に簡略化することを考え，簡略化の試案を作成した．

形成年代については白亜紀を2区分，ジュラ紀以前は紀で1区分ないし複数の紀で1区分とした．また，岩石種も大幅に簡略化し，堆積岩では非海成，汽水成，海成と石灰質，珪質ほかとし，火成岩も珪質，苦鉄質，超苦鉄質程度とした．また付加体もこの岩石種区分に従い，さらに変成岩も付加体の岩石種区分を援用して簡略化した．変成分帯についいても高/低に2区分程度とした．

これにより旧版の基本版程度で，現実に存在する凡例の数として200程度，旧版の詳細版程度で500程度に縮小できた．今後これらの凡例を適用した地質図を作成し，V2版の活用先を増やしていく予定である．

*1 https://gbank.gsj.jp/seamless/

*2 https://gbank.gsj.jp/seamless/v2/legend.html

Keywords: seamless, geological map, simplification, legend

© 2021 Geological Society of Japan

Development an AR application for Geological information "Geo View"

*Yoshinori MIYACHI[1], Susumu NONOGAKI[1], Osamu FUJIWARA[1], Mahito WATANABE[1]

1. Geological Survey of Japan

地質情報は人々の生活と深く関係する時空間情報であり，効果的に利用できる環境を整えることにより，より豊かな社会の実現につながると期待できる．産総研地質調査総合センターでは，日本の地質研究の黎明期から140年にわたり多様な地質情報を整備し，5万分の1地質図幅や地質図Navi[URL1]をはじめとして，紙の印刷物やインターネットなどを通して積極的に地質情報を社会へ発信してきた．しかし，そのような地質情報の利用者のほとんどは，減災・防災や資源開発等に携わる研究者や技術者であり，一般の人々による地質情報の利活用，すなわち地質情報の社会実装は十分には進んでいないのが実状である．

地質学に関する専門的な知識や技術をもたない人でも地質情報を手軽に利用できるようにすることを目的に，ハード・ソフト両面での利用環境を検討した．ここではその一例として試みた，拡張現実（Augmented Reality: AR）技術を利用して，スマートフォンのカメラ越しに見える風景（以下，カメラ風景）に地質情報を付加して表示するアプリの開発について報告する．

本アプリの機能は，大きく次の3つにまとめられる．

１．地質図オーバーレイ機能：カメラ風景に，あらかじめ登録した地質図画像を重ね合わせて表示する機能である．地質図画像の透過度を調節することで，地質と地形・植生などとの関係を一目で理解できるようになっている．

２．鳥瞰機能：あらかじめ登録した地形情報を利用して，アプリの利用位置周辺の鳥瞰図を表示する機能である．地質図画像のオーバーレイもできるため，カメラ風景よりも広域的に地質図を閲覧したいときに有効である．

３．ジオサイト案内機能：カメラ風景や鳥瞰図に，あらかじめ登録したジオサイトをマーカー表示する機能である．ジオサイトのマーカーをタップすることにより，そのサイトの概要を画像付きで閲覧できる．また，スマートフォン搭載GPSから得た位置情報をGoogle Mapsと連携する機能を実装し，現在地からジオサイトまでの経路検索も可能となっている．

上記の機能は，地質図に馴染みのない人が日常生活の中で，専門家を伴わずに地質情報に触れ合うことを可能とする．また，これにより現在のような集団行動が制限される状況下においては，少人数での地質見学を開催するうえで有用なツールになると期待される．

本アプリは2020年に基本設計と茨城県南部の筑波山周辺をモデル地域とした地質情報のデータセットの搭載が行われた．2021年2月には，茨城県つくば市の支援事業を通して，一般の方を対象としたユーザビリティに関するモニター調査を行った[URL2]．その結果，インターフェイスやユーザーニーズに合わせたコンテンツの搭載などの課題はあるが，地質の理解を深めるうえのツールとして有効であることが分かった．今後改良を加え社会実装につなげたい．

[URL1] 産総研地質調査総合センター，地質図Navi，https://gbank.gsj.jp/geonavi/.
[URL2] つくば市，令和2年度つくばSociety 5.0社会実装トライアル支援事業，https://www.city.tsukuba.lg.jp/shisei/torikumi/kagaku/1005023/1012294.html.

Keywords: Geo View, AR app, mobile phone, Visualization of geological information

© 2021 Geological Society of Japan

Oral | T6. [Topic Session] Future of Academic collections in universities and Museums, Japan

[3ch414-18] T6. [Topic Session] Future of Academic collections in universities and Museums, Japan

Chiar:Rie S. Hori, Tsuyoshi Komiya

Mon. Sep 6, 2021 2:15 PM - 3:45 PM ch4 (ch4)

[T6-O-1] [Invited]Three things I consider about natural history collections and natural history museums.

*Tatsuo Oji[1] (1. University Museum, Nagoya University)

2:15 PM - 2:45 PM

[T6-O-2] Curatorial methodologies for effective utilization of paleontological collections in scientific research

*Takenori Sasaki[1] (1. University Museum, University of Tokyo)

2:45 PM - 3:00 PM

[T6-O-3] Introduction of the Kagawa University Museum and the problems of university museum management

*Masaru TERABAYASHI[1] (1. The Kagawa University Museum)

3:00 PM - 3:15 PM

[T6-O-4] Sample deposite and sharing in Geoscience

*Rie S. Hori[1] (1. Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University)

3:15 PM - 3:30 PM

[T6-O-5] Our application entitled by “ Building of archive and curating system for astrogeoscience materials” for Master Plan 2020 of Large Research Project, and future plans

*Tsuyoshi Komiya[1] (1. Komaba, The University of Tokyo)

3:30 PM - 3:45 PM

©The Geological Society of Japan

[Invited]Three things I consider about natural history collections and natural history museums.

*Tatsuo Oji[1]

1. University Museum, Nagoya University

私は従来より自身の古生物学の研究のため、日本、海外の多数の博物館を訪れ、その標本を扱ってきた。また私は2010年に大学博物館に移って以来、化石標本の保管と登録にも従事してきた。このシンポジウムでは以下の3点に関し私が標本と博物館について考えるところを述べたいと思う。

１．博物館の標本は使える状態になっているべきである。退職する教員の責任は大きい。
大学を退職する教員が自分の研究したサンプルを博物館に寄贈する、というケースが良くある。その際博物館は原則として、サンプルそれぞれにラベルが付いていて、産地やその化石や岩石の名称が分かることが受け入れの最低条件である。また一連のサンプルを保管するのであれば、リストも必要である。ラベルとリストが付いていない資料を博物館が引き受けてしまうと、その資料を使えるようにするために、とてつもない労力が必要となってしまうケースもある。従って、見た目でどれだけ大事なサンプルのように見えても、ラベルとリストのない資料は使うことが困難で博物館に引き取ってもらえない。また退職する教員は自分の標本を残したいと思うならば自身がラベルとリストを準備し、将来その標本が活かされるような対処をすべきである。

２．「愛知県に自然史博物館を！協議会」
沖縄に国立自然史博物館を設立する運動が行われ、沖縄県も積極的にこの計画を支援しているが、私はこの5年ほど、愛知県で自然史博物館の設立を目指す活動を協力者とともにボランティア的に進めている。この協議会には愛知県の動植物学や鉱物学の研究者も参加されている。日本の都道府県中で県立博物館を持たないのは愛知県が唯一である。学術会議から以前「文化の核となる自然系博物館の確立を目指して」という提言が出されたが、愛知県に県立の自然史博物館を作ることによってこの地の研究活動を活発化させ、また次世代へ自然史科学の重要性を伝える拠点を置くことになる。我々はこの提言の大村知事への申し入れを行い、有力議員の協力等もあり、徐々にではあるが活動は前進している。その活動の紹介をしたい。

３．自然史標本の意味
自然史標本は色々な意味を持っている。例えば過去のある地域の動植物群のコレクションと現在・未来の動植物群を比べて、その地域の動植物相の歴史的変遷を把握したり、多様性の変動、絶滅を議論できる。また動植物や化石では「模式標本」という学名を付けるもととなった標本を特に重要視し、博物館等の施設で保管し、研究者の希望があれば公開することが義務付けられている。このように自然史標本の保管が重要なことは言を俟たない。
しかしだからと言って、自然史標本を何が何でも保管すべきであるという立場に私は立たない。これらを使って今後何を研究できるのかを考えるべきである。図書館の図書のようにいずれかはそれが利用されるかもしれないので、全て取っておくべきであるとすれば、博物館の収蔵庫はすぐに満杯になってしまうだろう。
過去に標本を用いた研究があったとする。それをもう一度検証して新たな考えを提唱する際に、その過去の標本に再度当たってもよいが、むしろ大事なことはその提唱された考えが果たして正しいのかどうかを検証することだろう。その際は新たに（別の種でもよい）標本を集め直し、その自分のデータに基づいて議論することも多い。必ずしも同じ標本（群）に基づいて議論する必要はないのである。サイエンスにおける標本の持つ意味とは、それ自体が重要というより、そこから得られる普遍的な価値、一般性をもつ結論が導き出されるかどうかが重要である。すなわち過去に研究された資料標本は、その当時の結論を引き出すのに使われた重要な材料であるが、標本自体に意味があるのではなく、そこからどのような研究を行ってどのような一般性のある結論を導き出すのかによって意味が異なってくる。

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

Curatorial methodologies for effective utilization of paleontological collections in scientific research

*Takenori Sasaki[1]

1. University Museum, University of Tokyo

学術標本の長期的な収蔵管理は古くからある問題であるが、最近特に重要性が増している。研究の進展とともに標本数は増加するが、収蔵施設や予算などの資源には限りがあり、状況は改善が求められている。我が国は既に人口減少時代に突入し、将来は研究機関の統廃合が行われる可能性も考えられる。貴重な資料が廃棄されたり行方不明にならないよう、国全体で考える必要がある。

本発表では、個別の収蔵機関ではなく、日本全体で収蔵管理体制を議論することの重要性を強調したい。そのためには各地の収蔵機関が全国のコレクションの状況を容易に把握できるシステムが重要であると考える。そのような理想的な体制はまだできていないが、ひとつの出発点は「日本古生物標本横断データベース(jpaleoDB)」である。このデータベースは九州大学の伊藤泰弘博士と佐々木が議論して始めたもので、現時点で日本を代表する37機関に収蔵された383161標本のデータと、12873文献のデータを収録している。このデータベースに登録されているのは日本国内に存在する古生物標本の一部にすぎないが、国家レベルで重要と思われる古生物標本のデータの大半はここに含まれているはずである。

一方、個別の収蔵機関では、限られた予算と人材の制約の中でより効率的な運営を行うための工夫が求められている。状況は収蔵機関によって異なるが、博物館において日常的にコレクションの管理を経験してきた立場から、留意すべき点として以下の３点を強調したい。

(1) 優先順位：標本収蔵管理は優先順位を明確にするべきである。標本収蔵管理のための資源が有限である以上、膨大な数の資料を全て等しく管理するという幻想は持たない方がよい。東京大学総合研究博物館の古生物コレクションは、出版された証拠標本を最優先する形で長い間運用してきた。これには合理的な理由がある。研究者が博物館標本を調査研究する場合、既に出版された論文等を手がかりに調べることが多く、現実に利用希望の大半は出版済標本である。従って、出版されていない標本は「２軍」扱いで、出版されることで「１軍」に昇格を果たすシステムを採用している。研究者にとって重要な標本とは、何らかの研究成果を発表したいというモチベーションを与えるような標本であり、そのような興感を与えない標本は未出版標本の中に残り続ける。

(2) 位置情報：データベースには標本の所在がすぐに特定できるようなデータを入力するべきである。電子化、データベース化が効率的な標本管理に必須であることは論を待たない。経験的に電子化されていない資料はほとんど利用実績がないことがないからものこのことは明白である。しかし、本当に重要なことはデータベースの検索結果から短時間で確実に実物の標本に到達できる収蔵システムを作ることである。これには正解はなく、先端的なテクノロジーを用いれば高度なシステムを構築可能であるが、コストとの兼ね合いが問題である。

(3) 画像作成：標本を電子化する場合必ず画像を作成するべきである。文字情報のみの標本データベースは、利用者にとって、利用しようとするモチベーションがあがらない。実際に自分自身の研究に活用できる状態かどうか判断できないからである。画像はプロの写真家が撮影したようなものを目指すとコストばかりかかり、実りが少ない。高級な画像を作成する必要はなく、標本の存在形態を確認できる程度の簡単な画像を大量生産する方がよい。一例として東京大学総合研究博物館の古生物部門では画像10万点計画を推進中である。

標本管理で最も難しい問題は場所の確保である。どの収蔵機関においても標本が増え続けているが、建物や土地は容易に増やせない。海外の大規模な博物館には郊外に大きな収蔵庫を構えているところがあるが、今後は日本でも同様の取り組みが参考になると予想される。効率だけを考えれば、国家レベルで一箇所に集中させ管理する方式もあり得る。しかし、災害の多い日本では、集中管理方式は一度に壊滅的な被害を受けるリスクがあるため、各地の機関に分散収蔵した方がよいと考えられる。

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: university museum, paleontology, collection

© 2021 Geological Society of Japan

Introduction of the Kagawa University Museum and the problems of university museum management

*Masaru TERABAYASHI[1]

1. The Kagawa University Museum

香川大学博物館は、四国初の大学博物館として2007年4月に設置、2008年4月に開館した。香川大学と地域との連携を文化面から深めるため、以下の理念と目標を持つ。1. 香川大学の教育・研究において蓄積された数万点に及ぶ標本・資料・発明品などの知的財産の収集・保管・研究活動に重点を置く。2. 香川大学における教育・研究の成果を活かし、地域の自然や文化を研究する市民研究者や郷土史家、小中高の教員、学芸員、サイエンスボランティアなどの研修や交流の場としての「教育・研究型」博物館。3. 香川大学の教職員がその専門的な知識や経験を生かして、香川県全域に展開するさまざまな博物館・資料館、及び歴史、地理、生物、科学、地学などに関する研究団体などの研究活動を支援する「地域密着型」博物館。

活動として以下を掲げている。収集・保存：香川大学の全ての学部、各学科、各研究室などに所蔵されている標本・資料のリストを作成しホームページで公開する。大学の教育・研究活動によって増加する標本・資料を収集・保管する。さらに学外から寄贈・寄託される標本・資料を積極的に受託する。展示・交流：博物館の基本的性質を示す常設展のほかに、大学内の教育研究成果や、大学博物館と学外のさまざまな個人、団体との教育によって多様な企画展を開催する。教育・普及：「モノ」を通して、真理を学ぶ生涯学習の場を提供する。本学教職員や学外協力員をミュージアム・アドバイザーとして、学生や学外の個人、団体が共に研究し、学ぶ「協育」を基本とする。多彩なテーマのミュージアム・レクチャーを開講する。企画展のテーマに合わせた公開講座を香川大学生涯学習教育研究センターと協力して開講する。

理念と目標、そして活動目標は崇高であるが、実情は厳しいものがある。施設は、展示室・収蔵庫・実習スペースを合わせて、延床面積約250m^{2}しかない。展示室は、教室ほどの面積しかなく、企画展・特別展の際は常設展示を撤収する必要があり、標本・資料等に少なからずダメージを与えることになる。収蔵庫は、学内外からの移管・寄贈標本でほぼ満杯で、実習スペースにも収蔵し、体験教室は学内の実験室等を活用している。専任教員は不在で、館長（併任）と研究担当と資料担当の2名の副館長（いずれも併任）、全学委員会である博物館会議委員と博物館の活動に協力的な教職員、そして学生らによって運営と活動がなりたっている。職員は、事務補佐員2名（再雇用職員と非常勤職員）で、1名は完全な事務職であるが、もう1名は民間の文学館における勤務経験があり学芸員的な業務に精通しているのが支えである。

開館から13年間（新型コロナウイルス感染症拡大防止のため、2020年3月中旬から2021年2月初旬まで臨時休館）に、企画展を毎年2回、夏休みには自然系、秋には人文系を基本とし、計24回開催した。特別展は、開館前に開催した学外特別展2回を加えると計15回に上る。合計39回の企画展・特別展では、関連行事としてミュージアム・レクチャー、特別講演会、講演会、セミナー、トークイベント等を開催した。これらの活動は高く評価されており、科学技術分野の文部科学大臣表彰科学技術賞（理解増進部門）を平成25年度に「自然史系標本資料活用の拠点形成による科学への理解増進」で、平成31年度に「持続可能社会への地域の知恵に学ぶ水環境と減災の理解増進」で演者を含む関係教員が受賞している。さらに、令和2年度高松市文化奨励賞（顕彰部門）を演者が受賞している。

所蔵するコレクションの一つに、「岩崎コレクション」がある。オフィオライト研究者として著名な岩崎正夫氏（1922-2016）によって、世界各地で採集・収集された岩石鉱物標本である。寄贈申し込みが2011年12月にあり、2021年7月からリストとともに受け入れを開始した。2015年8月までに受け入れた標本は、もろぶた（木製の大型のもの）71箱、950個である。その後、もろぶた200箱以上、二千数百個の標本を受け入れたが、ラベルの記載からリストを作成し、撮影した写真とともにクラウド型データベースシステムに収蔵品の登録を順次行なっている。

2021年4月から、大学博物館等協議会の会長校を香川大学博物館が務めている。大学博物館等協議会は、会員相互の緊密な連絡と協力によって博物館活動の進展に寄与し、当面する問題の解決を図っていくために、大学附置の博物館や設置準備委員会、国立博物館等で創設された団体で、加盟館は現在41館である。年に一度介

© 2021 Geological Society of Japan

し、大学博物館等が抱える課題と取り組みについて協議・検討し、同時に開催される博物科学会では、教育、情報、研究、地域との連携、展示、マネジメントに係る事例紹介や成果発表が行われ、活発な議論がなされている。大学博物館に共通した課題についても紹介する予定である。

Keywords: university museum, collection, cloud-based database system

© 2021 Geological Society of Japan

Sample deposite and sharing in Geoscience

*Rie S. Hori[1]

1. Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

私の所属する愛媛大学の大学ミュージアムは、約10年前に設立され愛媛大学に所属する研究者の研究活動を紹介するポリシーのもと多様な展示を展開している。しかしながら、自然系や文化系標本・資料を保管するスペースが、昆虫標本以外はほとんど設けられていない。小松正幸元地質学会会長の貴重な北海道・飛騨外縁・イギリス等の岩石標本の多くが、退職後に大学に保管するスペースがなくご自宅に引き取られていった。記載鉱物学を専門とされていた皆川鉄雄元教授の標本は、見栄えする鉱物標本の一部は大学ミュージアムに展示されているが、ほとんどが大学理学部標本庫に、退職後整理されず残されている状態である。新たに赴任した助教が鋭意整理を試みているが、膨大な量と評価されない業務活動且つ、全く業務外のボランティアワークであって、なかなか進まない状況となっている。愛媛大学は、愛媛県内にある西予市ジオパークと連携協定を結び、博物館実習や学術研究活動など、様々な連携活動を行なっているが、最近学術標本保管において面白い事例があった。西予市ジオパーク三瓶町須崎海岸においては、黒瀬川構造帯に属する凝灰岩レキ層中に礫として産するハチノスサンゴや日石サンゴの報告があり、その標本は某大学に保管されていると「地質学雑誌」に明記されていた（槇坂・加藤, 1983)。しかしながら2021年6月に地元からの問い合わせがあり某大学に問い合わせた所、標本が行方不明（現在も鋭意探索していただいている）であることが判明した。関係教員の退職後、更にそれに関係する教員も退職した後においては、大学にデポジットされている学術標本の多くは追跡が困難な状況である。このように地方にある国立大学は、学術標本保管・共有について様々な問題を抱えており、地方のみならず学術標本を扱う多くの大学における共通の問題であると言える。 地球惑星系教員の大量退職・災害多発時代を迎え、全国を網羅する標本保管・管理のためのネットワーク制度の設立が急務と言える。

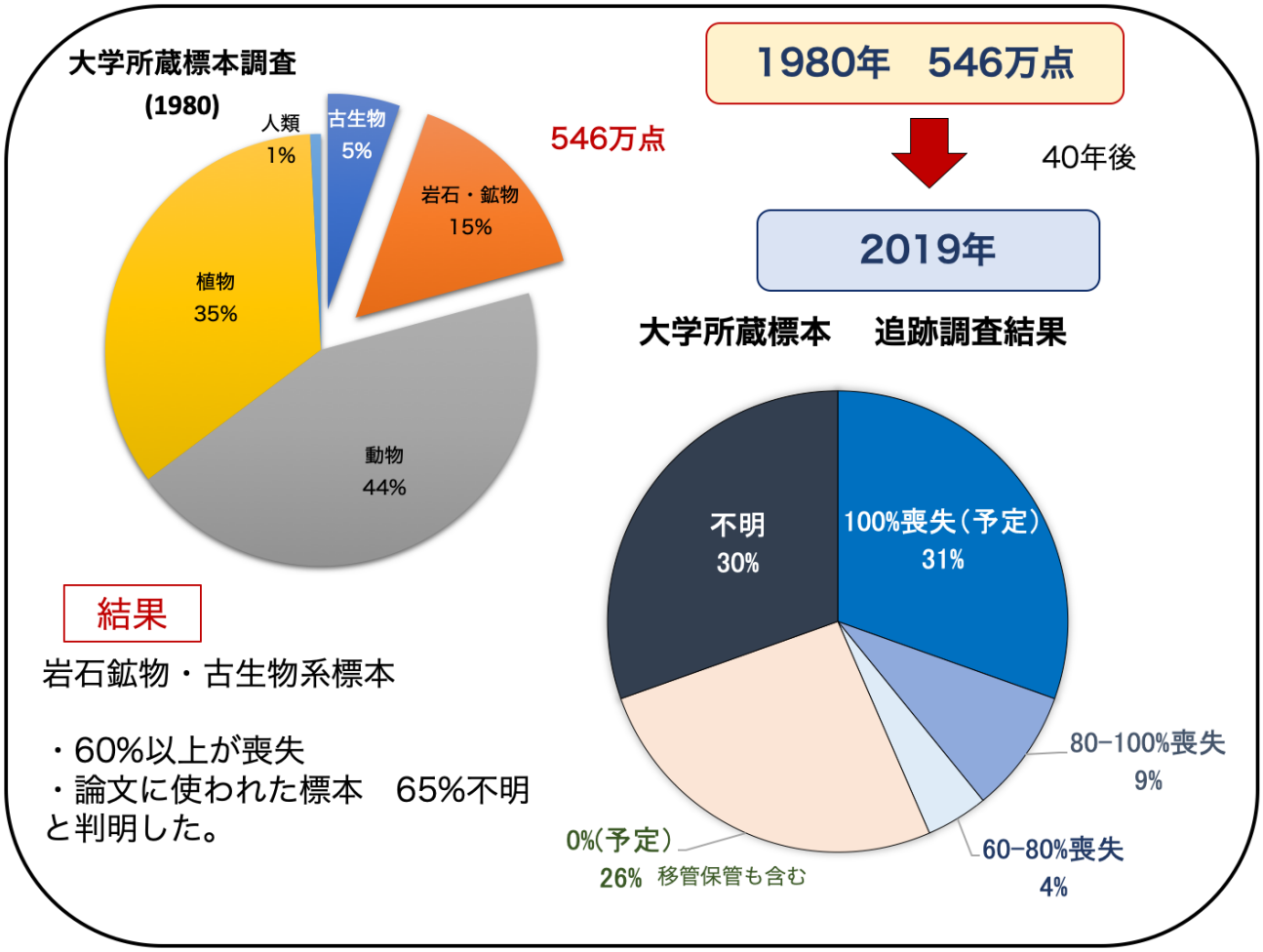
日本学術会議では、60年ほどから自然系の学術標本問題に着目し自然史科学の振興と自然史系博物館の充実をはかる議論を重ねてきており、多数の関連の声明・提言・報告が出されている。最近では2016年に提言「国立自然史博物館設立の必要性」が出され、沖縄県における自然史博物館設立の検討の契機となっている。日本学術会議第24期(2017-2020)では、自然史・古生物学分科会にて学術標本散逸問題検討Working Groupを立ち上げ、全国の国立大学に協力頂き固体地球科学系の大学資料・標本の現状調査を行った。その結果、1980年に大学所属自然史関係標本調査会によって調査・報告された約540万点の国立大学・公立大学の学術標本のうち、2019年時点で岩石鉱物・古生物系標本の60%以上が喪失し、論文に使われた標本の約65%が所在不明と判明した。その詳細は、2019年日本地質学会学術大会における本問題の関連トピックセッションで報告された。1980年の調査とその報告書「自然史関係大学所蔵標本総覧」(日本学術振興会1981)は、後の大学博物館設立の機運ともなったが、「ユニバーサルミュージアム構想」は、大学改革や国立大学法人化に伴なって、次第に下火となった。日本学術会議では、2020年5月28日に提言「オープンサイエンスの深化と推進に向けて」が出され、その中で研究データの共有促進と共有のためのプラットフォームの重要性が議論されている。それを受け第25期の2021年5月に地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会 では、新たに学術試料共有小委員会および学術データ共有小委員会が組織され、関係各所の委員とともに学術データおよび試料の散逸・保存問題とともに共有化についての実装のための議論をはじめている。一方、日本学術会議の自然史・古生物学分科会では、自然史博物館自然史系標本を保存する方法としてのソフトを充実する対策として「自然史財法」等のための議論をはじめようとしているところである。

このように、大学・高等教育機関における学術標本散逸・共有問題は、古くて新しい問題である。コロナ禍によって加速されたインターネット社会の中で、どのように実物の学術資料・標本を扱い保管し、それに紐付けられたデータを共有していくか、喫緊の課題となっている。本問題を関係学界の皆さんと議論し、海外の取り組み例も参照しながら、次世代のための学術資産として残せるよう、より良い解決策を見いだしたい。

© 2021 Geological Society of Japan

引用文献：槇坂・加藤(1983)地学雑誌 V.89, n.12, 723-726.

Keywords: academic samples, sample sharing



© 2021 Geological Society of Japan

Our application entitled by “Building of archive and curating system for astrogeoscience materials” for Master Plan 2020 of Large Research Project, and future plans

*Tsuyoshi Komiya[1]

1. Komaba, The University of Tokyo

日本地質学会では、2019年に日本鉱物科学会と共同で、大型研究マスタープラン2020に『地球惑星研究資料のアーカイブ化とキュレーションシステムの構築』というタイトルで、国内に地球惑星試料や資料を大規模かつ系統的に保管し、キュレーションをするシステムを構築することを申請しました。大型研究マスタープランとは、科学者コミュニティの代表としての日本学術会議が、各学術分野が必要とする学術的意義の高い大型研究計画を網羅・体系化することにより、学術の発展や学術の方向性に重要な役割を果たす我が国の大型研究計画のあり方について一定の指針を与えることを目的とするものです。 これまで、３年毎に見直しされてきており、2023年に見直しされる可能性があるので、学会では現在次期マスタープランに向けて準備を進めています。

ところで、2020年に日本学術会議において「オープンサイエンスの深化と推進に向けて」と題した提言がされました。そこでは、「研究成果をもたらした第１次物質的試料の永久保存体制の構築やそれらの背景となった第０次試料の選択的保存について、基本方針を確立する必要性」が説かれております。このように、研究試料のアーカイブ化は今や早急に取り組むべき課題となっています。そこで、25期においても、大型研究計画の施設整備に地球惑星研究資料のアーカイブ化とキュレーションシステムを早急に構築することを申請する予定です。本発表では大型研究マスタープラン2020で申請した内容を紹介するとともに、現在進行形ではありますが、次期申請に向けた準備状況を報告し、みなさんのご意見を伺いたいと考えております。大型研究マスタープラン2020で申請した『地球惑星研究資料のアーカイブ化とキュレーションシステムの構築』の概要は以下の通りです。http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-24-t286-1.htmlでも見られますので、そちらもご確認ください。

『日本で近代科学が産声をあげて150年、日本の研究者は公的な研究費を用いて国内外から多くの岩石・化石試料や隕石、地質・地形情報等（以下、地球惑星研究資料または資料）を集めてきた。しかし、博物学が重要な位置付けを占める欧米と異なり、日本では研究資料のキュレーション施設の整備が大きく立ち遅れている。そのため、学術的価値の高い資料や科学的遺産にあたる資料でさえ維持するのが難しい。加えて各国の土地開発や紛争及び試料の採取・持出制限によって、新たな外国産資料の確保がますます困難になりつつある。そこでキュレーションがますます重要となる。既存資料の保管による科学的貢献の例として、近年のアポロ試料の再分析による月の水の存在の新証拠の発見やカンブリア爆発の概念を創出したバージェス頁岩の研究等がある。どちらも30年以上、公的機関に保管された試料の研究から始まった。さらに、近年の急速な研究技術の進歩を考えると、現在不可能とされる化石の超微量分析、古代ゲノム、地震時に形成された断層岩の超微小領域解析も将来可能となろう。本計画は、現在分散保管されている資料のデジタル・オープンアクセス化とアーカイブ化、それらを網羅する統合データベースの構築、そうしたデジタルデータと実試料の保管・提供を統括する『地球惑星研究資料アーカイブセンター』の新設を提案する。その体系を早急に構築することで、短期には現在日本の地球科学において国際競争力のある岩石・化石試料を基盤とした研究分野を支え、長期では未来の研究者との共同研究として研究技術が高度に発達した30~100年後を見据えた科学の発展に寄与する。また、古地形や地盤データのオープンアクセス化、資源試料の提供及び研究資料の博物館、初等教育機関及びマスメディアへの貸出の一括管理は日本の産業、国土開発、領土管理、生涯学習及び初等教育にも貢献することが期待される。』

今後進めていく項目として、（１）本申請内容がより広範な科学者コミュニティから支持される内容であり、かつ多くの科学者が切望しているものであることを示すために、他の学会からの賛同を得ることを進めています。6月の時点では、日本鉱物科学会、地球環境史学会、日本堆積学会、日本地球化学会などから共同提

© 2021 Geological Society of Japan

案者や賛同者として、賛同を得ることができ、この取り組みは現在も続けられています。（２）地球惑星研究資料アーカイブセンター設立の準備委員会を立ち上げ、設立に向けた議論を関係する学会や機関の関係者と開始します。（３）日本学術会議地球惑星科学委員会地球・惑星圏分科会に学術資料共有化小委員会が設立されました。両委員会には共通の委員も多くいることから、それらの委員会を両輪として、本計画の準備を進めていきたいと考えています。

Keywords: Large Facility Large Scale Research Project, Master Plan, Science Council of Japan, Open access, Curating system

© 2021 Geological Society of Japan