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 Universituy）

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

poster

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

[1poster01-02] T1.［Topic Session］New perspectives of subduction zone

©The Geological Society of Japan

earthquake dynamics through experiments across-scales

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[T1-P-1] Physical properties of the Kumano forearc basin at Site C0025, IODP Expedition 358

*Manami Kitamura[1], Takashi Takehara[1], Xinglin Lei[1] （1. GSJ/AIST）

4:30 PM - 7:00 PM

[T1-P-2] (entry) Impact of Kuroshio meander on the slow slip event in March 2020 detected by borehole and DONET observatories

*Keisuke Ariyoshi[1], Toshinori Kimura[1], Yasumasa Miyazawa[1], Varlamov Sergey[1], Takeshi Iinuma[1], Akira Nagano[1], Joan Gomberg[2,3], Eiichiro Araki[1], Toru Miyama[1], Kentaro Sueki[1], Shuichiro Yada[1], Takane Hori[1], Narumi Takahashi[4,1], Shuichi Kodaira[1] （1. JAMSTEC, 2. USGS, 3. University of Washington, 4. NIED）

4:30 PM - 7:00 PM

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

[1poster03-04] T2.［Topic Session］Submarine Mass Movements and Their Consequences

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[T2-P-1] (entry) Volcanic glasses recovered from piston cores in Yatsushiro Sea taken by Hakuhomaru KH-18-3 Cruise

*Shoichiro MATSUO[1], Yujin KITAMURA[1], Kuniyo KAWABATA[2], Ryo TERASAWA[3], Daigo ITO[3] （1. Graduate school of Science and Engineering, Kagoshima University, 2. Institute for Comprehensive Education Center for General Education, Kagoshima University, 3. Graduate school of Science and Technology, Kumamoto University）

4:30 PM - 7:00 PM

[T2-P-2] Direction of the marine geological studies

*Kiichiro Kawamura[1], Hideo Nomura[2], Nagakawa Katsuhisa[2], Manabu Takemasa[2], Jun Tanaka[2] （1. Yamaguchi University, 2. Kiso Jiban Co. Ltd.）

4:30 PM - 7:00 PM

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

[1poster05-07] T3.［Topic Session］Collaboration and advance of geological, experimental, and seismological research on slow earthquakes

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[T3-P-1] (entry) Constraint on slip velocity using grain size of dynamic recrystallization of quartz in the Yokonami melange, the Cretaceous Shimanto Belt

*Mako Kawaji[1], Yoshitaka Hashimoto[1] （1. Kochi University）

4:30 PM - 7:00 PM

[T3-P-2] (entry) Generation mechanism of slow stick-slip verified from friction properties of mixed quartz/talc gouges

*Ryota Hibi[1], Ken-ichi Hirauchi[1] （1. Shizuoka Univ.）

4:30 PM - 7:00 PM

[T3-P-3] (entry) Deformation behavior of antigorite serpentinite in deep slow earthquake source regions inferred from field and experimental observations

*Yurina Nagata[1], Ken-ichi Hirauchi[1], Keishi Okazaki[2] （1. Shizuoka University, 2. JAMSTEC）

4:30 PM - 7:00 PM

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

[1poster08-09] T4.［Topic Session］Reconstructiong modified ancient arc-trench systems: examples of Japan etc.

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[T4-P-1] (entry) Reconstruction of the Miocene accretionary complex and oceanic plate stratigraphy in the Tomuraushi area, Hokkaido, Japan

*Michiru Inoue[1], Hayato Ueda[2] （1. Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., 2. Niigata Univ.）

4:30 PM - 7:00 PM

[T4-P-2] Cathodoluminescence measurements of zircons from the Takidani granodiorite in the Northern Alps.

*Yuta Tsuchiya[1], Kazumasa Aoki[1], Hirotsugu Nishido[1] （1. Okayama University of Science）

4:30 PM - 7:00 PM

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

©The Geological Society of Japan

[1poster10-11] T7. [Topic Session] Advance in geochronology applied for high resolution eruption and evolution history of volcanoes

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[T7-P-1] (entry) Reconstruction of high-resolution eruptive history of Mount Fuji volcano using lake sediments of Fuji Five Lakes

*Shinya Yamamoto[1], Fumikatsu Nishizawa[2], Mitsuhiro Yoshimoto[1], Kosuke Ota[3], Yosuke Miyairi[3], Yusuke Yokoyama[3,4], Hisami Suga[4], Naohiko Ohkouchi[4] (1. Mount Fuji Research Institute, 2. Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 3. Atmosphere and Ocean Research Institute, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

4:30 PM - 7:00 PM

[T7-P-2] K-Ar dates of rocks from Nekoma Volcano, Fukushima Prefecture, Japan using mass fractionation correction procedure

*Naoyoshi Iwata[1], Kouji Iwatare[1,2], Kazuo Saito[1,3] (1. Faculty of Science, Yamagata University, 2. BWR Operator Training Center, 3. Professor Emeritus, Yamagata University)

4:30 PM - 7:00 PM

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

[1poster12-17] R2 [Regular Session]Petrology, mineralogy and economic geology

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R2-P-1] (entry) Effects of temperature and silica on serpentinization and magnetite formation within mantle peridotite: implications for hydrogen generation within oceanic lithosphere

*Shuhei Tanaka[1], Atsushi OKAMOTO[1], Dandar OTGONBAYAR[1], Masaoki UNO[1], Masakazu FUJII[2] (1. Tohoku University, 2. National Institute of Polar Research)

4:30 PM - 7:00 PM

[R2-P-2] (entry) Bipyramidal quartz formed within chimneys of Kuroko deposits

*Jumpei Sugioka[1], Atsushi Okamoto[1], Ryoichi Yamada[1] (1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University)

4:30 PM - 7:00 PM

[R2-P-3] Evolution of serpentinite microtextures in the Hayachine-Miyamori Ultramafic Complex

*Tomoyuki Mizukami[1], Fumihiro Ogawa[1] (1. Kanazawa University)

4:30 PM - 7:00 PM

[R2-P-4] (entry) Zircon U-Pb age and trace element composition of metagabbro and psammitic schist of Hatto Formation and its equivalent of Jurassic high-*P/T* schist, Tottori-Okayama area, SW Japan

*Kosuke Kimura[1], Yuichiro Inaba[2], Tatsuya Harada[3], Yasutaka Hayasaka[4], Tomoyuki Shibata[4] (1. National Institute of Technology, Kure College, 2. Hokuden Engineering Consultants Co.,Ltd., 3. OYO Corporation, 4. Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University)

4:30 PM - 7:00 PM

[R2-P-5] Carbonatite metasomatism in Natash mantle xenoliths from the cretaceous rift-related volcanics in the southern part of the Eastern Desert of Egypt

*Natsue Abe[1,2], Shoji Arai[2], Adel A. Surour[3], Ahmed A. Madani[3] (1. JAMSTEC, 2. Kanazawa University, 3. Cairo University)

4:30 PM - 7:00 PM

[R2-P-6] (entry) The formation process of entablature deduced from the structure and rock textures of the Genbudo Lava in Shizukuishi Town, Iwate Prefecture

*Takashi Hoshide[1], Nao Ishibashi[2], Keisuke Iwahashi[1] (1. Graduate School of International Resource Sciences, Akita University, 2. Sojitz Pla-Net Corporation)

4:30 PM - 7:00 PM

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

[1poster18-20] R3 [Regular Session]Eruption, volcanic evolution and volcanic products

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R3-P-1] Along-axis variation of eruptive styles on the spreading ridge inferred from the V1 unit in the northern Oman Ophiolite

*Yuki Kusano[1], Sumio Miyashita[2], Yoshiko Adachi[3], Susumu Umino[4] (1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Hokkaido Research Center of General Geology, 3. Central Research Institute of Electric Power Industry, 4. Kanazawa University)

©The Geological Society of Japan

4:30 PM - 7:00 PM

[R3-P-2] The 7.6 ka eruption of Mashu volcano, eastern Hokkaido, Japan: Explosive caldera-forming processes and generation of low aspect ratio ignimbrite

*TAKESHI HASEGAWA[1], Shohei Shibata[1], Tetsuo Kobayashi[2], Nobutatsu Mochizuki[3], Mitsuhiro Nakagawa[4], Hiroshi Kishimoto[4] (1. Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, 2. Research and Education Center for Natural Hazards, Kagoshima University, 3. Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, 4. Faculty of Science, Hokkaido University)

4:30 PM - 7:00 PM

[R3-P-3] (entry) Development of an automatic analysis system for volcaniclastic materials using Convolutional Neural Network: Automatic particle detection using object recognition algorithms.

*Kosuke Ishige[1], Shingo Takeuchi[1], Shimpei Uesawa[1], Kiyoshi Toshida[1] (1. Central Research Institute of Electric Power Industry)

4:30 PM - 7:00 PM

Poster | R4 [Regular Session]Metamorphic rocks and tectonics

[1poster21-29] R4 [Regular Session]Metamorphic rocks and tectonics

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R4-P-1] (entry) Metamorphic condition of the Ryoke metamorphic rocks in Kitsuki area, Kunisaki Peninsula, Oita prefecture, Japan

*Kentaro Mutabaru[1], Toshiaki Shimura[1] (1. Yamaguchi Univ.)

4:30 PM - 7:00 PM

[R4-P-2] (entry) Metamorphic zoning and *P–T* condition of contact aureole around the Kibe cauldron, Yamaguchi prefecture, Japan.

*Kakeru SAKAMOTO[1], Toshiaki SHIMURA[1] (1. Yamaguchi Univ.)

4:30 PM - 7:00 PM

[R4-P-4] Serpentinization of the Takadomari body in the Kamuikotan zone of Hokkaido, Japan: Results of TG-DTA, density and magnetic susceptibility analysis of tunnel boring core

*Shusaku Yamazaki[1], Masakazu Fujii[2], Toshiyuki Kurahashi[1] (1. Civil Engineering Research Institute for Cold Region, 2. National Institute of Polar Research)

4:30 PM - 7:00 PM

[R4-P-5] (entry) Evaluation of the thermal effect of intrusion of the Kaikomagatake granitic body by metamorphic temperature estimates and thermal modeling for basement rocks of the Outer Zone of Southwest Japan in the northern part of the Akaishi Mountains area

*Yuki Nobe[1], Hiroshi Mori[1], Hiroki Mizumura[1,2], Ken Yamaoka[3], Yui Kouketsu[4], Tetsuya Tokiwa[1] (1. Shinshu University, 2. Kyowa Sekkei Co., Ltd., 3. The University of Tokyo, 4. Nagoya University)

4:30 PM - 7:00 PM

[R4-P-6] Roll-up structure due to the collision of Izu arc revealed from the shear sense of the Sanbagawa metamorphic rocks along the MTL in the Akaishi area

*YUKI AWAYAMA[1], HIDEO TAKAGI (1. Waseda University)

4:30 PM - 7:00 PM

[R4-P-7] Oxygen and hydrogen isotope variations of phengite along orogen-perpendicular traverse of the Sambagawa Belt in central Shikoku: A reconnaissance study

*Tatsuki Tsujimori[1], Hironobu Harada[1], Tetsumaru Itaya[2], Daniel Pastor-Galán [1], Antonio M. Álvarez-Valero[3] (1. Tohoku University, 2. Japan Geochronology Network, 3. University of Salamanca)

4:30 PM - 7:00 PM

[R4-P-8] (entry) Relation between existence of ca. 1.9–1.85 Ga metamorphic zircons and metamorphic facies in the Yeongnam Massif, South Korea

*Kenichiro IWAMIZU[1,2], Yasutaka HAYASAKA[1], Ji-Hoon KANG[3], Kosuke KIMURA[1,4], Tomoyuki SHIBATA[1] (1. Hiroshima Univ., 2. The Univ. of Tokyo, 3. Andong Nat. Univ., 4. Nat. Inst. of Tech., Kure College)

4:30 PM - 7:00 PM

[R4-P-9] Calculation of diffusion profiles using the analytical solution for anisotropic diffusion in a finite cylinder

*Tadashi Usuki[1] (1. Department of Geosciences, National Taiwan University)

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

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

[1poster30-37] R5 [Regular Session]Regional geology and stratigraphy, chronostratigraphy

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R5-P-1] Early Triassic accretionary unit recognized in the Nedamo Belt and correlation with Southwest Japan

*Takayuki Uchino[1] (1. Geological Survey of Japan)

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-2] a trial of new geological maps

*Toshiyuki Yoshikawa[1] (1. Geological Survey of Japan, AIST)

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-3] Outline of geology of the Wake District (Okayama Prefecture): Quadrangle Series, 1:50,000

*Daisuke Sato[1], Koji Wakita[2,1], Yoshinori Miyachi[1] (1. GSJ, AIST, 2. Yamaguchi Univ.)

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-4] (entry) Radiolarians and detrital zircon U-Pb age from the Hebiki Unit in the Northern Chichibu Belt, the Kanto Mountains, central Japan.

*Kazushi OKABE[1], Yukiyasu TSUTSUMI[2], Yoshihito KAMATA[1] (1. University of Tsukuba, 2. National Museum of Nature and Science)

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-5] Middle Jurassic radiolarians from clastic facies interbedded between seamount facies in Kuzu area of the Ashio Belt, central Japan

*Yoshihito Kamata[1], Akitake Uesako[2] (1. The University of Tsukuba, Faculty of Life and Environmental Sciences, 2. The University of Tsukuba, College of GEOSCIENCE)

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-6] (entry) Intrusion of serpentinite along the Cretaceous and the unconformity of serpentinite in the Chichibu belt, Yusuhara, Kochi Prefecture

*Kengo Nishikawa[1], Tomohiro Tsuji[1] (1. Yamaguchi Univ.)

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-7] (entry) The origin of large chert blocks in the western part of the Matsumoto Basin, Nagano Prefecture: altered mineral and ^{10}Be age

*Erika UEYAMA[1], Kohki YOSHIDA[1], Maarten LUPKER[2] (1. Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, 2. ETH Zürich - Geological Institute)

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-8] Lower Cretaceous formations of the Kema Terrane, Primorsky Krai, Russian Far East

*Shigeru Otoh[1], Mitsuhiro Nagata[2], Masashi Aoyama[3], Takuya Harada[2], Koh Kubomi[2], Kohki Bando[4], Jun Sugiyama[4], Alexander Kudymov[5], Mikhail Arkhipov[5], Alexei Didenko[5] (1. Faculty of Sustainable Design, University of Toyama, 2. Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama, 3. Japan Geocommunications Co., Ltd., 4. Faculty of Sustainable Design, Univ. of Toyama, 5. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far East Branch, Russian Academy of Science)

4:30 PM - 7:00 PM

Poster | R6 [Regular Session]Geopark

[1poster38-39] R6 [Regular Session]Geopark

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R6-P-1] Survey and research activities of Itoigawa UNESCO Global Geopark in cooperation with research institutes. Efforts to connect research to value discovery, protection and conservation, and outreach activities

*Takahiko Ogawara[1], Takuma Katori[2], Yousuke Ibaraki[1], Ko Takenouchi[1], Takeo Kobayashi[2] (1. Fossa Magna Museum, 2. Itoigawa City Hall Geopark Promotion Office)

4:30 PM - 7:00 PM

[R6-P-2] A practical study of an intensive and experiential undergraduate course in San'in Kaigan UNESCO Global Geopark at the University of Hyogo: Geopark and Community

*Kyohei SANO[1], Noritaka Matsubara[1], Yoshihiro Kikuchi[1,2], Norihito Kawamura[1] (1. Graduate School of Regional Resource Management, University of Hyogo, 2. National Institute of Technology,Sendai College)

4:30 PM - 7:00 PM

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

[1poster40-42] R7 [Regular Session]Cenozoic geological records of Japan

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R7-P-1] Post-rift extensional stresses detected from meso-scale faults in the Miocene Hokutan Group,

©The Geological Society of Japan

northern Kami Town, San'in region

*Toshiki Haji[1], Yoshiaki Sugamori[2], Noritaka Matsubara[3], Sota Niki[4], Takafumi Hirata[4] (1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Faculty of Agriculture, Tottori University, 3. Graduate School of Regional Resource Management, University of Hyogo, 4. Geochemical Research Center, The University of Tokyo)

4:30 PM - 7:00 PM

[R7-P-2] (entry) Reconstruction of paleoenvironment of Miocene volcaniclastic rocks and clastic rocks in the northern part of hyogo, San' in Kaigan Geopark, based on facies analysis and Zircon fission-track and U-Pb ages

*Noritaka Matsubara[1], Suzuka Kooriyama[2], Kyohei Sano[1], Toshiki Haji[3], Tohru Danhara[4], Takafumi Hirata[5], Hideki Iwano[4] (1. University of Hyogo, 2. Fossa Magna Museum , 3. AIST, 4. KYOTO FISSION-TRACK Co.Ltd, 5. The University of Tokyo)

4:30 PM - 7:00 PM

[R7-P-3] Standardless fission track dating of zircon using laser ablation ICP mass spectrometry and its implications

*Hideki IWANO[1], Tohru DANHARA[1], Takafumi HIRATA[2] (1. Kyoto Fission-Track Co., 2. Geochemical Research Center, The University of Tokyo)

4:30 PM - 7:00 PM

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

[1poster43-50] R9 [Regular Session]Origin, texture and composition of sediments

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R9-P-1] Zircon U-Pb Ages from sandstones of the Muro Accretionary sequence (Muro Group) in the Shimanto Superbelt, Kii Peninsula, southwestern Japan

*Takanori Bessho[1], Hiroyuki Suzuki, Toshiya Yamamoto[2], Tohru Danahara[3], Hideki Iwano[3], Takafumi Hirata[4] (1. Osaka Museum of Natural History, 2. Tanabe High School, 3. Kyoto Fission-Track Co., Ltd, 4. Tokyo University)

4:30 PM - 7:00 PM

[R9-P-2] Storm Surge Deposits from the East Japan Typhoon(2019) at Samejima Beach, Iwata City, Shizuoka Prefecture, Japan

*Akira Aoshima[1], Hiroyuki Kurematsu[1], Takeshi Tostuka[1], Yuya Takahashi[1], Kosuke Arimura[1], Koki Suzuki[1], Syun Ichikawa[1], Rabu Kato[1] (1. Shizuoka Prefectural Iwata Minami High School)

4:30 PM - 7:00 PM

[R9-P-3] Change of sedimentary system in an inland basin in the central part of the Japanese Island during the late Pleistocene-Holocene periods

*Nozomi Hatano[1], Ritsuho Kawano[2], Kohki Yoshida[2] (1. Nagano Conservation Research Institute, 2. Faculty of Science, Shinshu University)

4:30 PM - 7:00 PM

[R9-P-4] (entry) The reservoir characterization and sedimentary environment of the Pennsylvanian Morrow Formation based on wireline logging data in Vici, Oklahoma, U.S.A.

*Kaito Seki[1], Shun Chiyonobu[1], Hiroyuki Arato[1], Naruhide Takahashi[2], Isao Mita[3] (1. Akita graduated university , 2. Iochem Corporation, 3. Resource. Geo. Env. Lab.)

4:30 PM - 7:00 PM

[R9-P-5] (entry) Where is the sedimentary environment of the Nakaminato Group, if modern time? Reexamination on the basis of ocean drilling sciences and sequence stratigraphy

*Jumpei SAIGAN[1] (1. Yamaguchi university)

4:30 PM - 7:00 PM

[R9-P-7] (entry) Microplastic sedimentology of grain size and grain shape

*Kengo Nakano[1], Kiichiro Kawamura[1] (1. Yamaguchi Univ.)

4:30 PM - 7:00 PM

[R9-P-8] Bayesian estimation of uplift rate of Japan Islands based on bedrock river longitudinal profiles

*Hajime Naruse[1] (1. Kyoto University)

4:30 PM - 7:00 PM

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

[1poster51-55] R10 [Regular Session]Origin of carbonate rocks and related global environments

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R10-P-1] Characteristics of tufa deposits developed near Bonito, Brazil

*Fumito SHIRAISHI[1], Ysaku HANZAWA[1], Jiro ASADA[2], Leonardo Fadel CURY[3], Anelize Manuela BAHNIUK[3]

©The Geological Society of Japan

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

4:30 PM - 7:00 PM

[R10-P-2] (entry) Depositional settings and paleoclimates estimated from paleosols in Tetori Group (Lower Cretaceous), Toyama Prefecture

*Kensuke Kuroshima[1,2], Masato Fujita[3], Yoshihiro Kakizaki[4], Akihiro Kano[4], Fumito Shiraishi[2]（1. Hiroshima University Museum, 2. Hiroshima University, 3. Toyama Science Museum, 4. The University of Tokyo）

4:30 PM - 7:00 PM

[R10-P-3] (entry) Stromatoporoids and *Chaetetes* of the Carboniferous (Bashkirian) organic reefs from the Akiyoshi Limestone: Morphological variations in each reef environment

*Shota SUGAMA[1], Yoichi EZAKI[1], Mitsuru MASUI[1], Tetsuo SUGIYAMA[2], Koichi NAGAI[3], Natsuko ADACHI[1]（1. Osaka City University, 2. Fukuoka University, 3. formerly University of the Ryukyus）

4:30 PM - 7:00 PM

[R10-P-4] (entry) Models of construction of Bashkirian organic reefs in the reef front setting from the Akiyoshi Limestone Group, Southwest Japan

*Koki SHIMIZU[1], Yoichi EZAKI[1], Tetsuo SUGIYAMA[2], Koichi NAGAI[3], Natsuko ADACHI[1]（1. Osaka City Univ., 2. Fukuoka Univ., 3. Formerly Univ. Ryukyus）

4:30 PM - 7:00 PM

[R10-P-5] Construction of calcimicrobial reefs and calcimicrobial diversity in the Zhushadong Formation (Cambrian Series 2), Shandong Province, North China

*Natsuko ADACHI[1], Hiroo NATSUKAWA[1], Yoichi EZAKI[1], Jianbo LIU [2], Zhen YAN[3], Yuxuan CHEN[2]（1. Osaka City University, 2. Peking University, 3. Chinese Academy of Geological Sciences）

4:30 PM - 7:00 PM

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

[1poster56-60] R12 [Regular Session]Deformation and reactions of rocks and minerals

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R12-P-1] (entry) Effects of strain on the activity of slip systems in deforming quartz inferred from crystallographic- and shape-preferred orientation of sheared quartz phenocrysts in a granitic porphyry

*QI WANG[1]・Takamoto OKUDAIRA[1]（1. Faculty of Science, Osaka City University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R12-P-2] Stick– slip behavior of a clayey crustal fault

*Jun Kameda[1], Yohei Hamada[2]（1. Hokkaido University, 2. Kochi Institute for Core Sample Research）

4:30 PM - 7:00 PM

[R12-P-3] Development of new Griggs-type rock deformation apparatus targeting the Pc-Pp-T condition of the base of the seismogenic zone

*Keishi Okazaki[1], Jun Muto[2]（1. KCC/JAMSTEC, 2. Tohoku University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R12-P-4] (entry) Effects of host rock on strength and thickness of fault zones

*Momoyo FUKUDA[1], Kiyokazu OOHASHI[1]（1. Yamaguchi University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R12-P-5] Extremely slow grain growth of albite feldspar

*Norio Shigematsu[1], Masanori Kido[1], You Zhou[2], Hideki Hyuga[2], Yu-ichi Yoshizawa[2]（1. Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, AIST, 2. Multi-Material Research Institute, AIST）

4:30 PM - 7:00 PM

Poster | R18 [Regular Session]Environmental geology

[1poster61-62] R18 [Regular Session]Environmental geology

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R18-P-1] (entry) Underground structures seen from the characteristics of groundwater in northwestern Kagoshima Prefecture

*Yoshimasa Ishitani[1], Yujin Kitamura[1], Kuniyo Kawabata[2], Hitoshi Kodamatani[1]（1. Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 2. Institution for Comprehensive Education Center for General Education, Kagoshima University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R18-P-2] (entry) Monthly variation in Radon concentration from the samples of hot spring water around Aira caldera

*Yujin Kitamura[1], Yamato Tateoka, Yuki Tamachi[4],

©The Geological Society of Japan

Kuniyo Kawabata[3], Yoshimasa Ishitani[1], Shoichiro Matsuo[1], Daigo Ito[2], Ryo Terasawa[2] （1. Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 2. Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, 3. Center for General Education, Institute for Comprehensive Education, Kagoshima University, 4. Japan Meteological Agency）

4:30 PM - 7:00 PM

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

[1poster63-67] R19 [Regular Session]Engineering geology and non-tectonic structures

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R19-P-2] The subsurface geology and site amplification map in Azumino City, Nagano Pref.

*Tatsuro Tsugane[1], Tomoyoshi Kosaka, Yoshinori Furumoto[2], Shinshu-Univ. Ground Motion Research Group （1. Shinshu Univ., 2. Nagano National College of Technology）

4:30 PM - 7:00 PM

[R19-P-3] Silica Mineral Phases of the Paleo-Submarine Landslide Outcrops at Yokote City, Akita, NE Japan

*Hiroki Hayashi[1] （1. Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R)）

4:30 PM - 7:00 PM

[R19-P-4] Formation process of crack filling Mn-hydro-oxide by strong weathering

*Eiji Nakata Nakata[1], Takehiro Ohta[2], Motoyuki Suzuki[2] （1. Central Research Institute of Electric Power Industry , 2. Yamaguchi University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R19-P-5] (entry) Luminescence dating of feldspar in the fault zone of the active Futagawa fault

*Youji MATSUOKA[1], Kiyokazu OOHASHI[1], Toru TAMURA[2], Sumiko TSUKAMOTO[3] （1. Yamaguchi Univ., 2. Geological Survey of Japan, AIST, 3. Leibniz Institute for Applied Geophysics）

4:30 PM - 7:00 PM

Poster | R20 [Regular Session]Geoscience Education/History of Geoscience

[1poster68-70] R20 [Regular Session]Geoscience Education/History of Geoscience

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R20-P-1] Geology in Japan just after the WWII

*Michiko dvan Yajima[1] （1. Tokyo Metropolitan University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R20-P-2] Practice of Earth Science-based Inquiry Activities in High School

*Kazuya Kawakatsu[1] （1. Hyogo Prefectural Himejihigashi Senior High School）

4:30 PM - 7:00 PM

[R20-P-3] Studying field geology in the Himalaya-Highlights of the 9th Student Himalayan Field Exercise Tour in March 2020 and invitation to the 10th exercise tour in 2022

*Masaru Yoshida[1,2], Student Himalayan Field Exercise Project （1. Gondwana Institute for Geology and Environment, 2. Tribhuvan University(Emeritus Professor)）

4:30 PM - 7:00 PM

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

[1poster71-73] R23 [Regular Session]Nuclear energy and geological sciences

4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R23-P-1] Data Collection and Predictive Analysis of Volcanic Dykes Distribution

*Makoto KAWAMURA[1], Hua JIA[2], Yukiko KOIZUMI[2], Masakazu NIWA[1], Koji UMEDA[3] （1. Japan Atomic Energy Agency, 2. Mitsubishi Materials Techno Corp., 3. Hirosaki Univ.）

4:30 PM - 7:00 PM

[R23-P-2] (entry) Assessment of the level of activity of advective transport through fractures in Neogene mudstone by comparison between stable isotope compositions of fracture and pore waters

Akihito Mochizuki[1], *Eiichi Ishii[1] （1. Japan Atomic Energy Agency）

4:30 PM - 7:00 PM

[R23-P-3] Age Constraint on the Quaternary Sediments by Terrestrial Cosmogenic ^{10}Be Analyses in the Omaezaki Area

*Hisanori Ominami[1], Koumei Nishimura[1], Eiji Nakata[2], Yuki Matsushi[3] （1. Chubu Electric Power Co.,Inc., 2. Central Research Institute of Electric Power Industry, 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto

©The Geological Society of Japan

University)

4:30 PM - 7:00 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

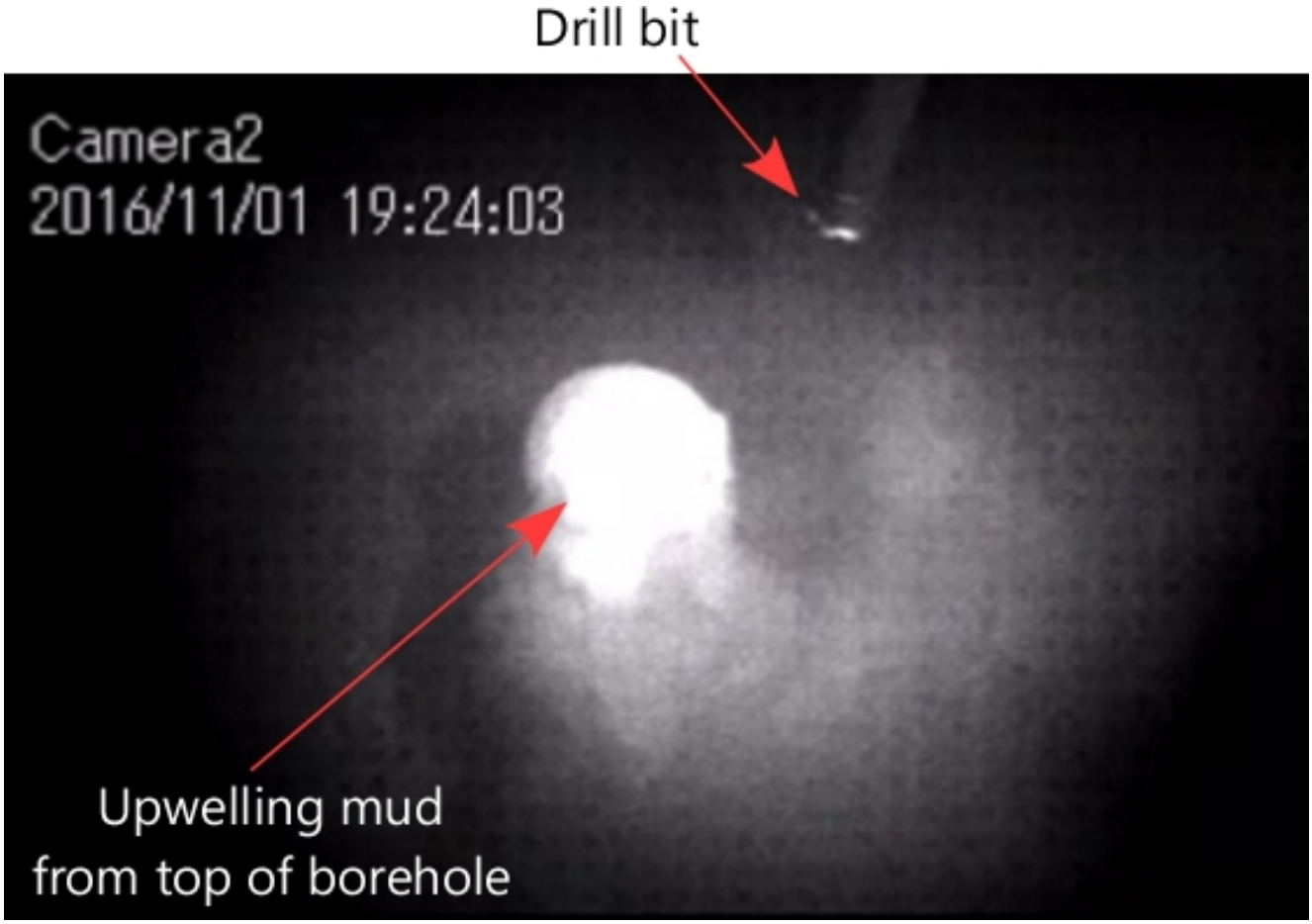
*Takehiro Hirose[1], Yohei Hamada[1], Wataru Tanikawa[1], Nana Kamiya[2], Yuzuru Yamamoto[3], Takeshi Tsuji[4], Masataka Kinoshita[5]

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。

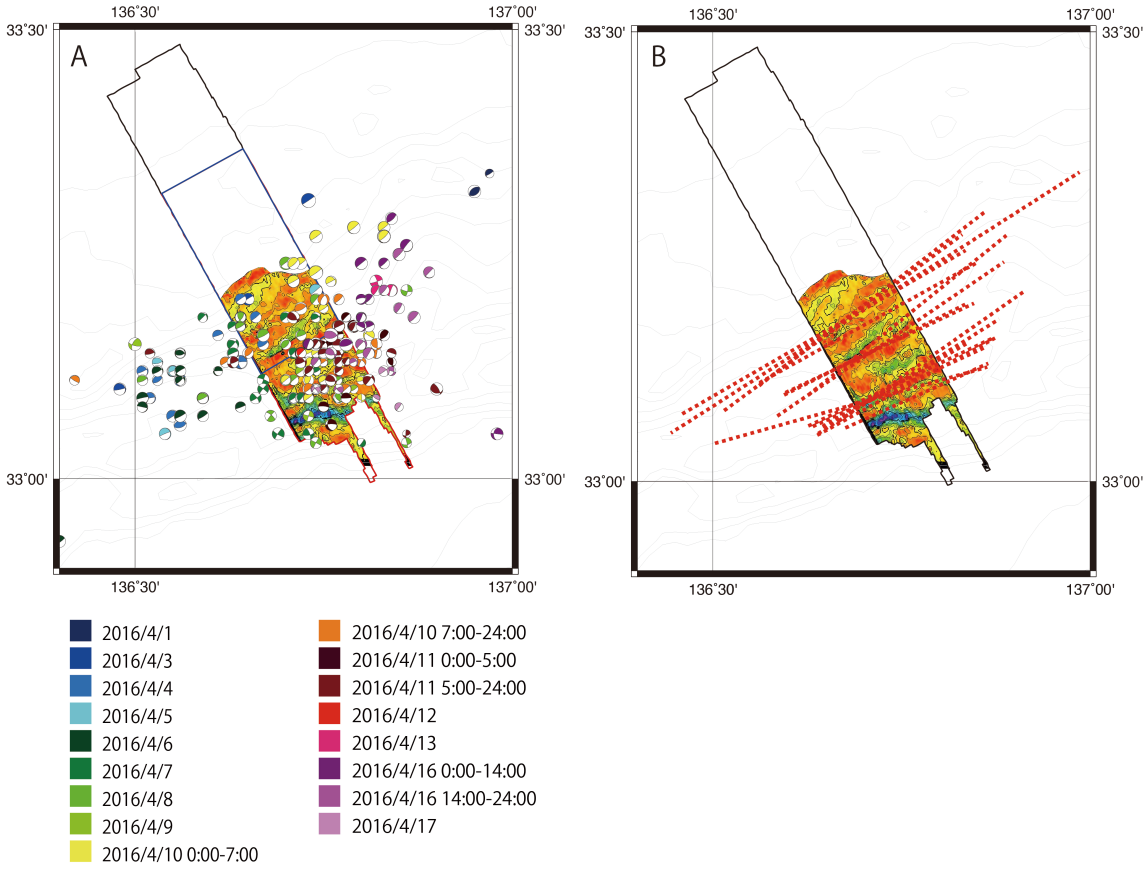
Tsは断層再活動の確率の高さを示しており、超低周波地震がTsの高いところに分布することは理解しやすい。広域応力とデコルマ地形の関係のみがこのTsの分布を決定していることから、プレート運動とデコルマ地形が第一義的な超低周波地震の原因と考えてよいかもしれない。Tdは断層の開きやすさの指標であり、流体移動をコントロールすることが期待できる。すなわち、デコルマ地形は物性にも影響を与えることが考えられる。有効圧の分布もやはりTsおよびTdの分布とほぼ並行であり、デコルマ地形による物性の改変を示唆するものと考えられる。これらの流体移動・物性改変は地形に依存した二次的な原因であるが、超低周波地震の発生を促進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

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

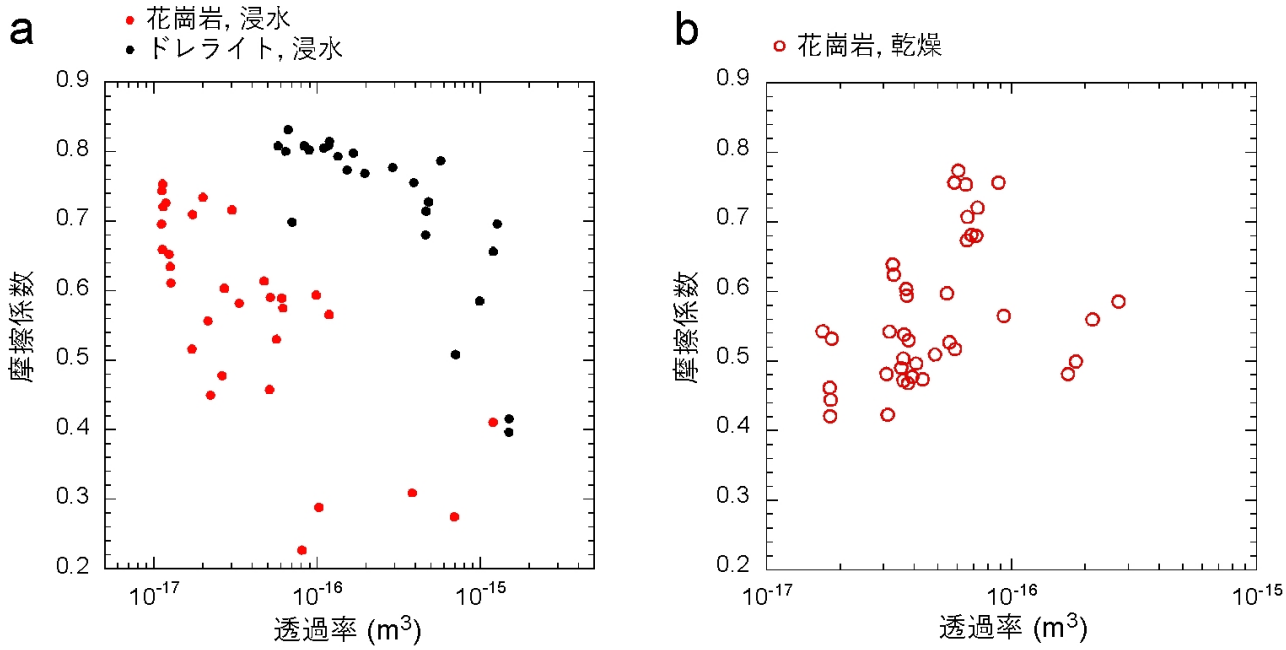


図1. すべっている間の水透過率と摩擦係数. (a)浸水条件(b)乾燥条件

© 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]

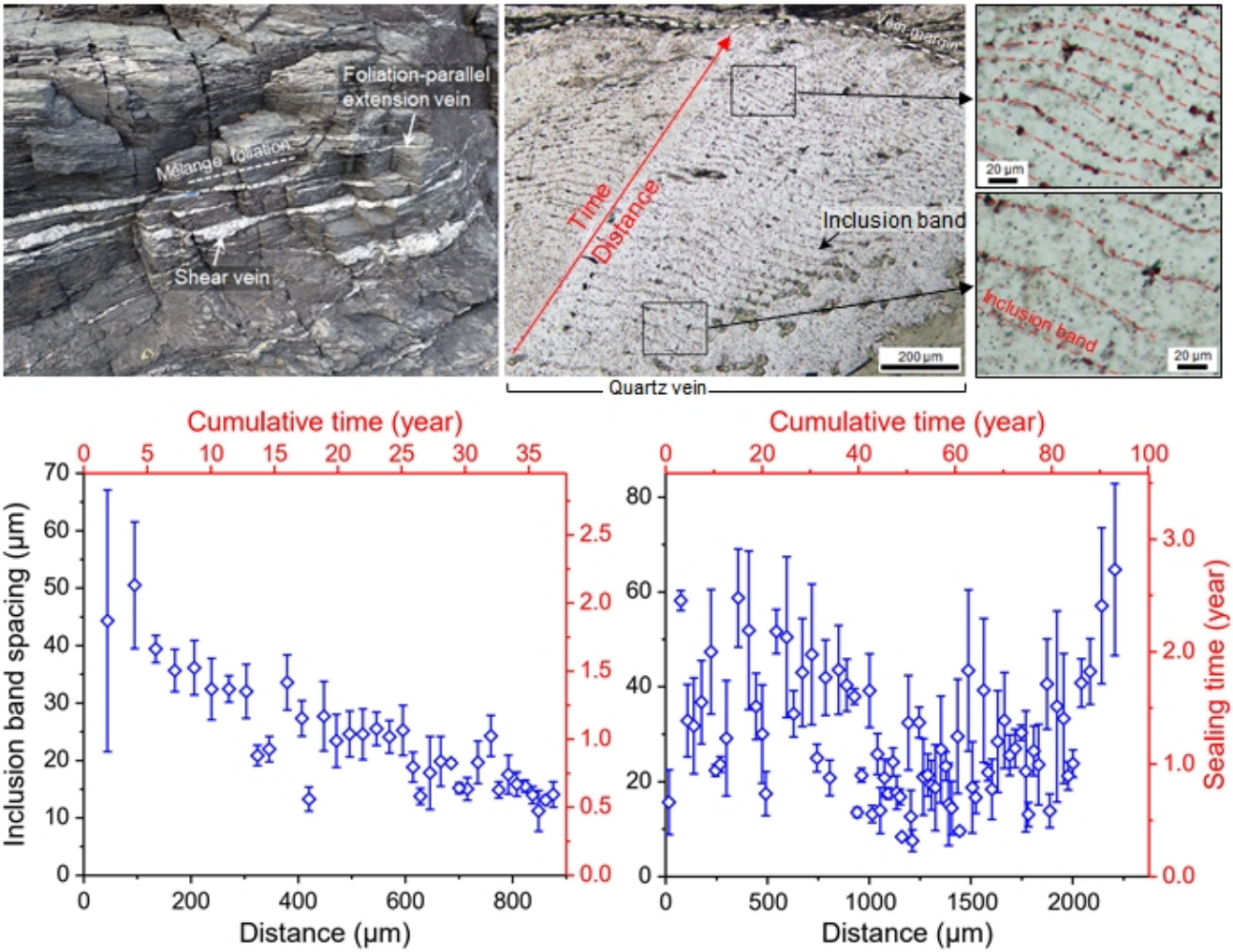
1. University of Tsukuba, 2. Tohoku University

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

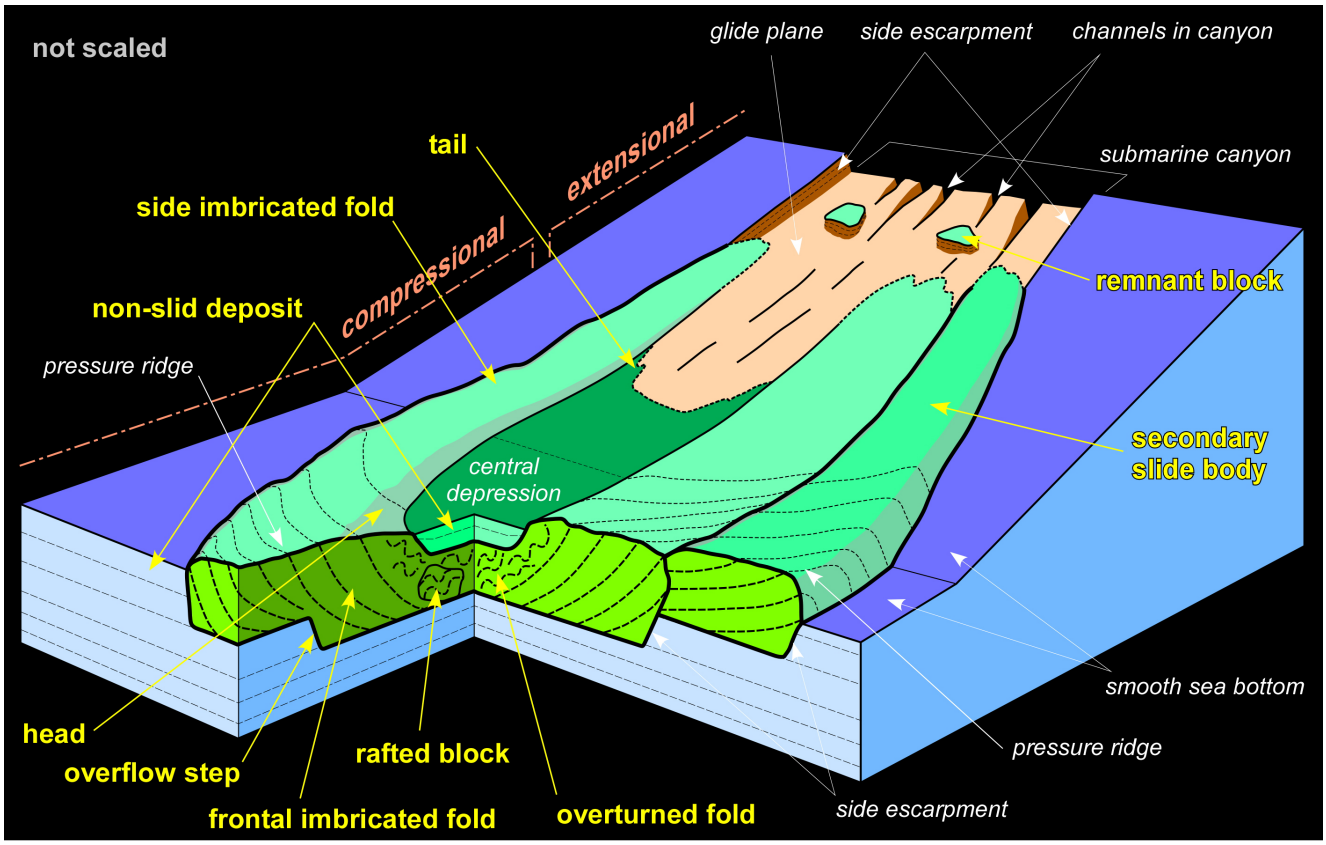


図　静内海底地すべり堆積体の概念モデル

© 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

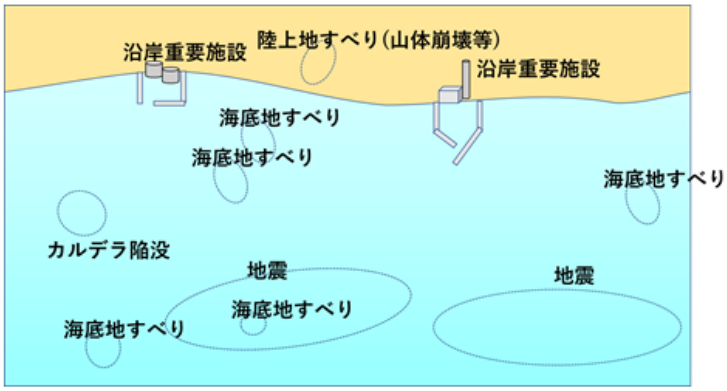


図1　沿岸重要施設における津波の代表的な発生要因

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

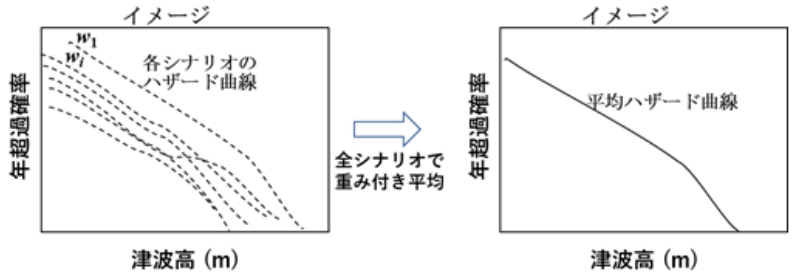


図2　確率論的津波ハザード曲線の作成イメージ

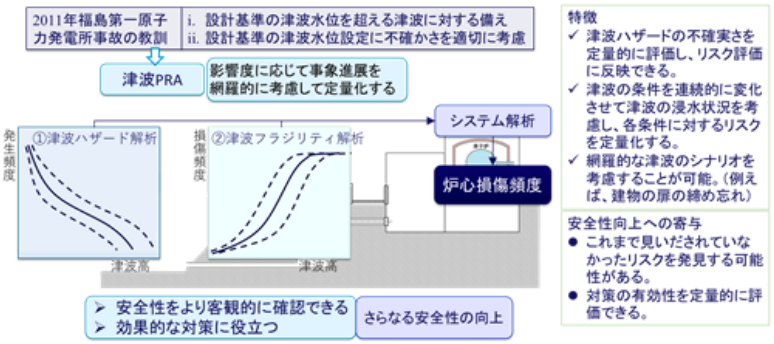


図3　確率論的津波ハザード曲線と津波PRA

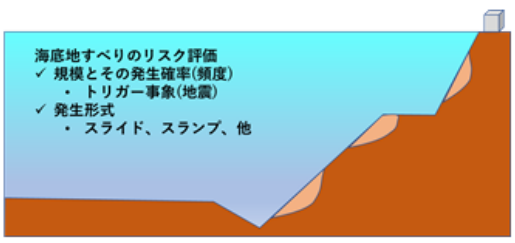


図4　海底地すべりのリスク評価における課題例

© 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 Universityuy)

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

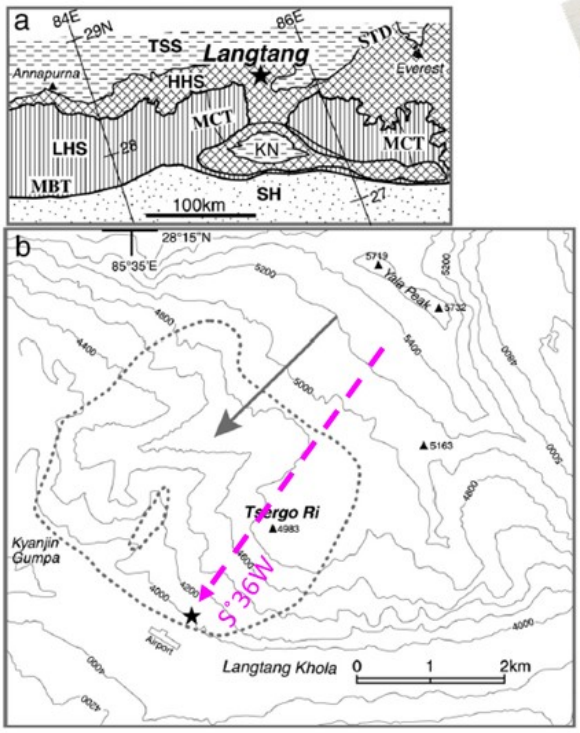


図1 (a) ランタン地域の地質概要,
(b) ランタン地すべり露頭位置図

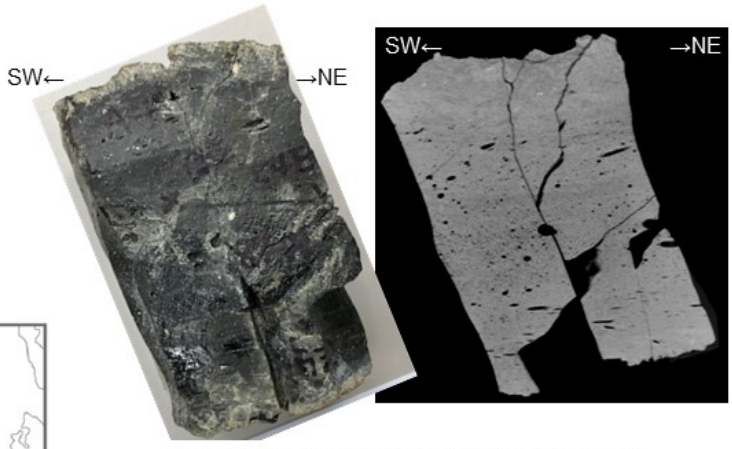


図2 A-1断層脈試料.(a) 試料写真, (b) CT画像

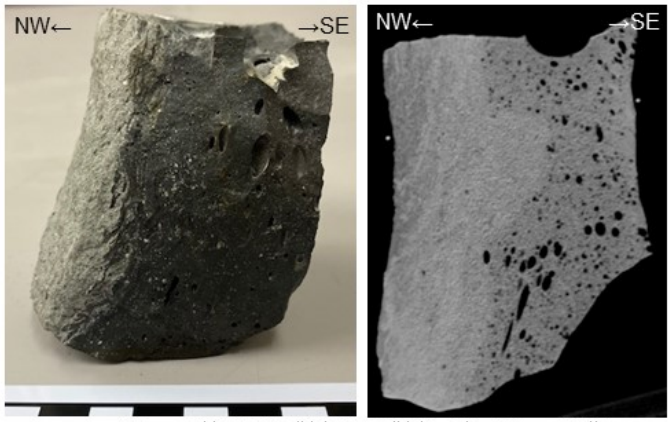


図3 A-3注入脈試料. (a) 試料写真, (b) CT画像

© 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

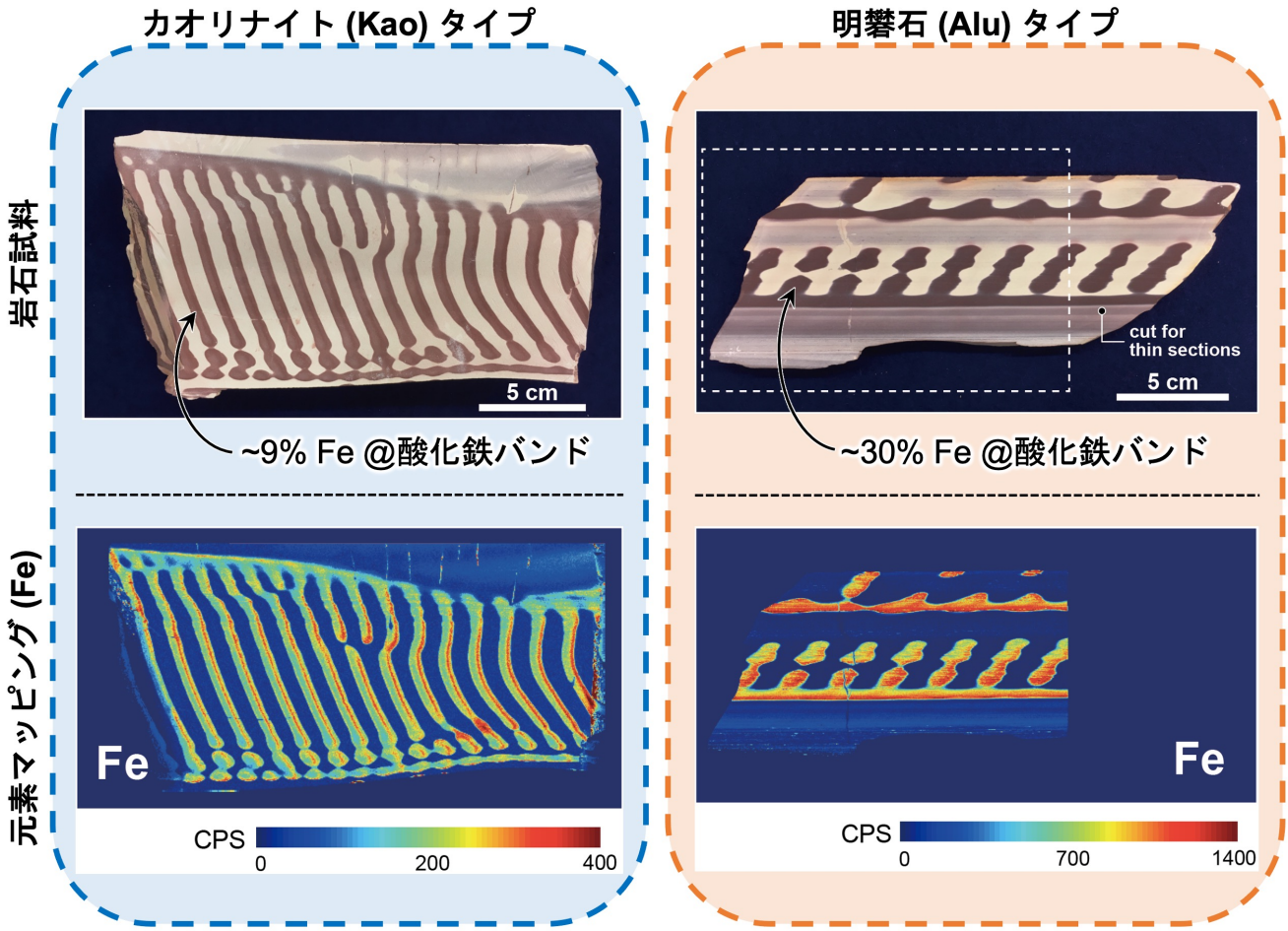
© 2021 Geological Society of Japan

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。

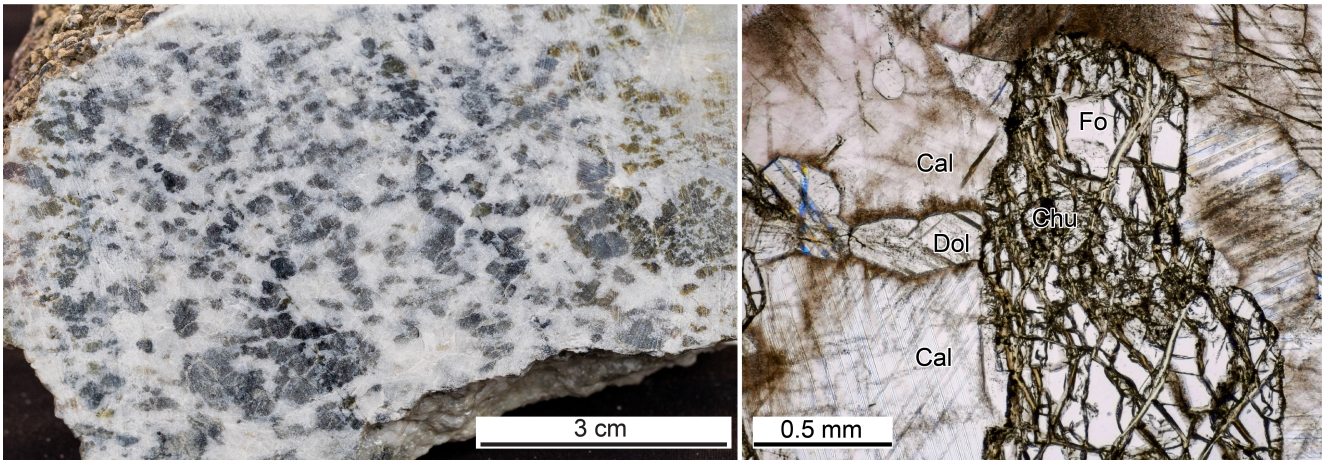
ペルム紀～三畳紀の大陸縁の地殻断片を主体とする飛騨帯は、過去20年間に年代学の進展があったが（Harada *et al.* 2021b; Sano *et al.* 2000; Takehara and Horie 2019など）、岩石学・地球化学的研究は停滞していた。最近、Harada *et al.* (2021a) は飛騨帯に産するドロマイトを含まない大理石及び石灰珪質岩についてマイクロサンプリングによる炭酸塩鉱物の炭素 (C)–酸素 (O)の微少量同位体組成分析を行い、幅広いC–O同位体組成を報告した（$\delta^{13}C$ = –4.4 to +4.2‰ [VPDB]、$\delta^{18}O$ = +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.

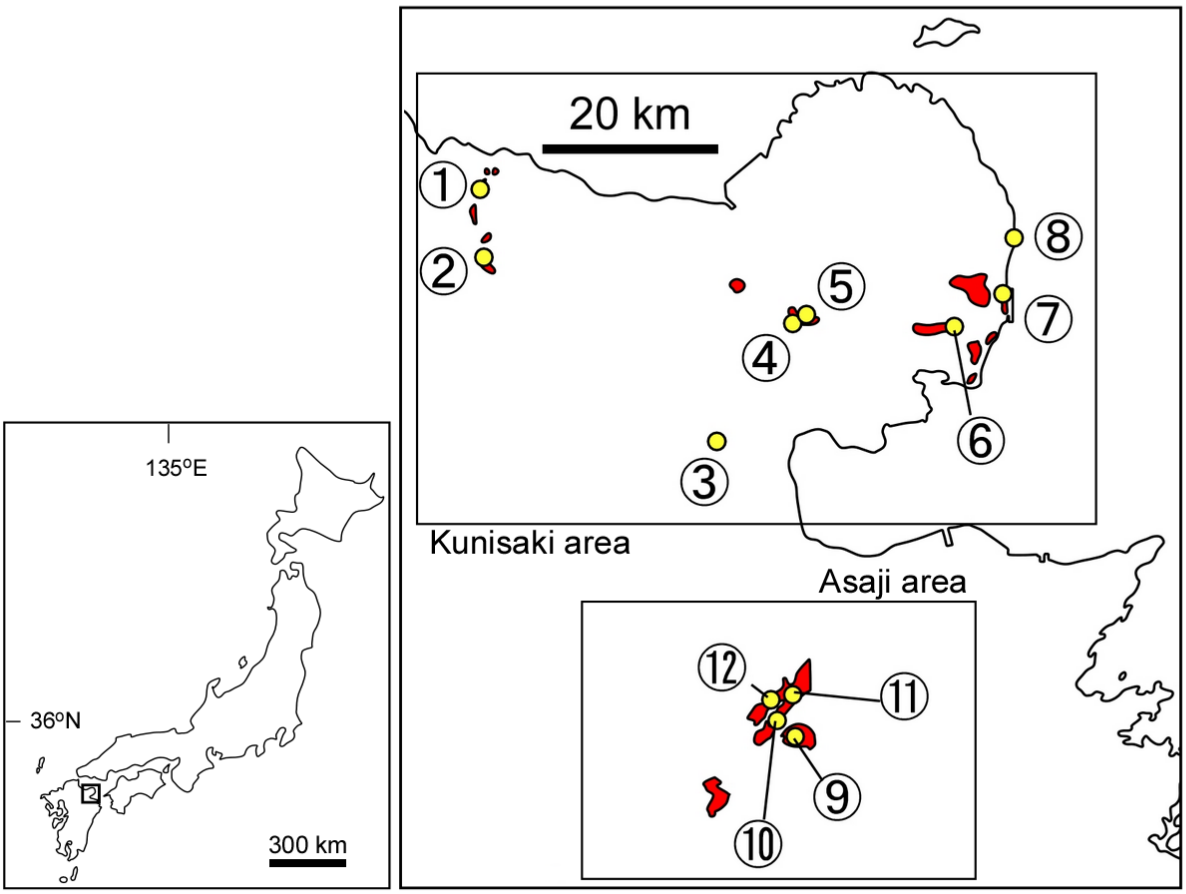


Figure. Distribution map of granitoids in the study area with sample locality.

© 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.

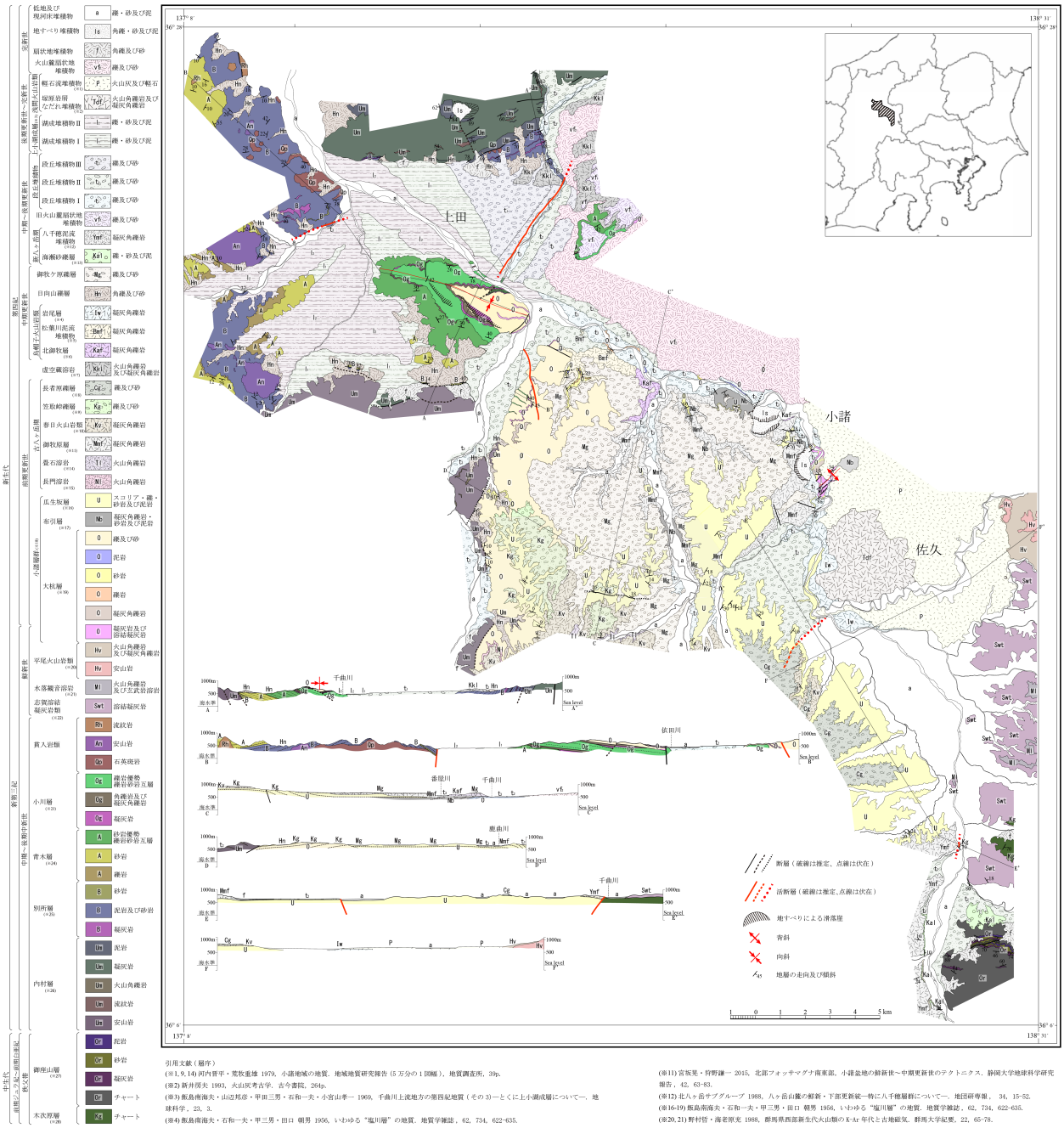
【引用(図表内も含む)】
(1)新井房夫 1993, 火山灰考古学．古今書院，264p.
(2)本間不二男 1931, 信濃中部地質誌. 古今書院，331p.
(3)飯島南海夫・石和一夫・甲三男・田口 朝男 1956, いわゆる“塩川層”の地質．地質学雑誌, 62, 734, 622-635.
(4)飯島南海夫・山辺邦彦・甲田三男・石和一夫・小宮山孝一 1969, 千曲川上流地方の第四紀地質(その3)ーとくに上小湖成層についてー. 地球科学, 23, 3.
(5)岩崎敏典・指田勝男・猪郷久義 1989, 関東山地北西部,長野県南佐久郡北相木-川上地域の中生界.地質学雑誌，95，10，733-753.
(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, 264p.
(※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. 地団研専報, 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

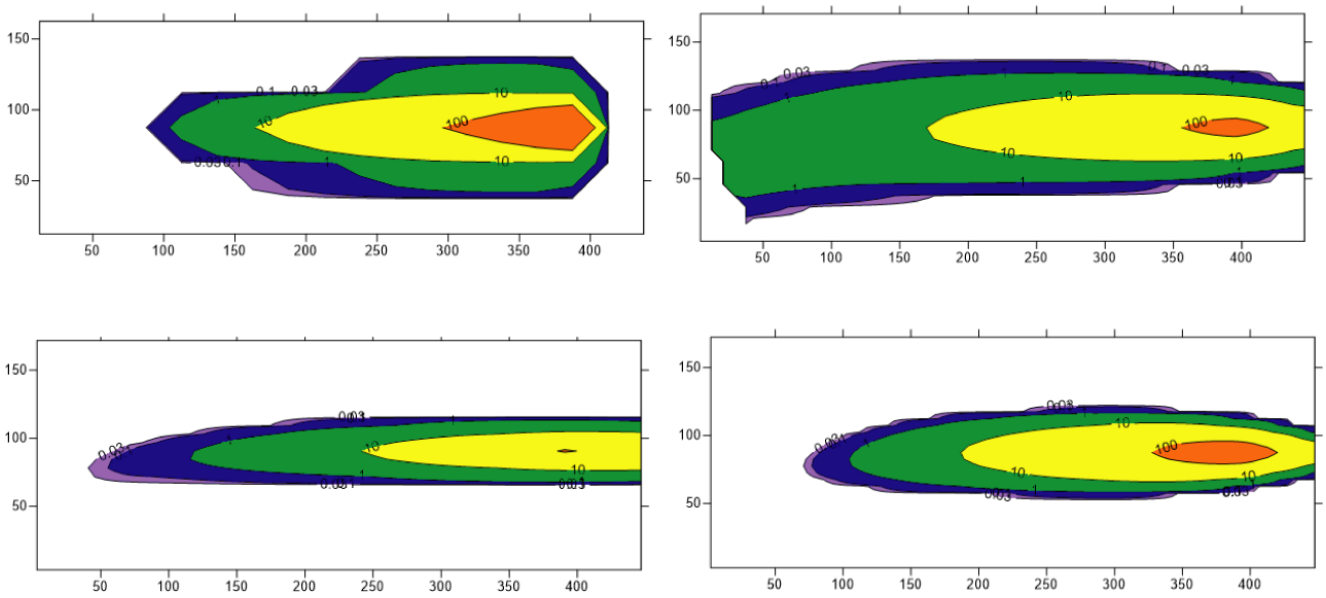
地下水モデルのパラメータ（透水係数など）を観測値（地下水位など）から求める逆解析は，数学的に難しいことと適当な解析ソフトがないことから，わが国での普及は進んでいない．筆者は，汎用ソフトPEST（Doherty, 2018）を用いて，静岡市の汚染事例（藤崎他，2005）について解析をおこなった（藤崎，2019a；2019b；2020）．濃度観測値をそのまま使用した場合，格子幅を小さくするにつれて小さい透水係数と大きな涵養量，大きな透水係数と小さい涵養量が交互に求められる不自然な結果となった．また，計算濃度分布も観測値の分布と異なっている．高濃度観測値の方が目的関数への寄与が大きいため，それらに偏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．

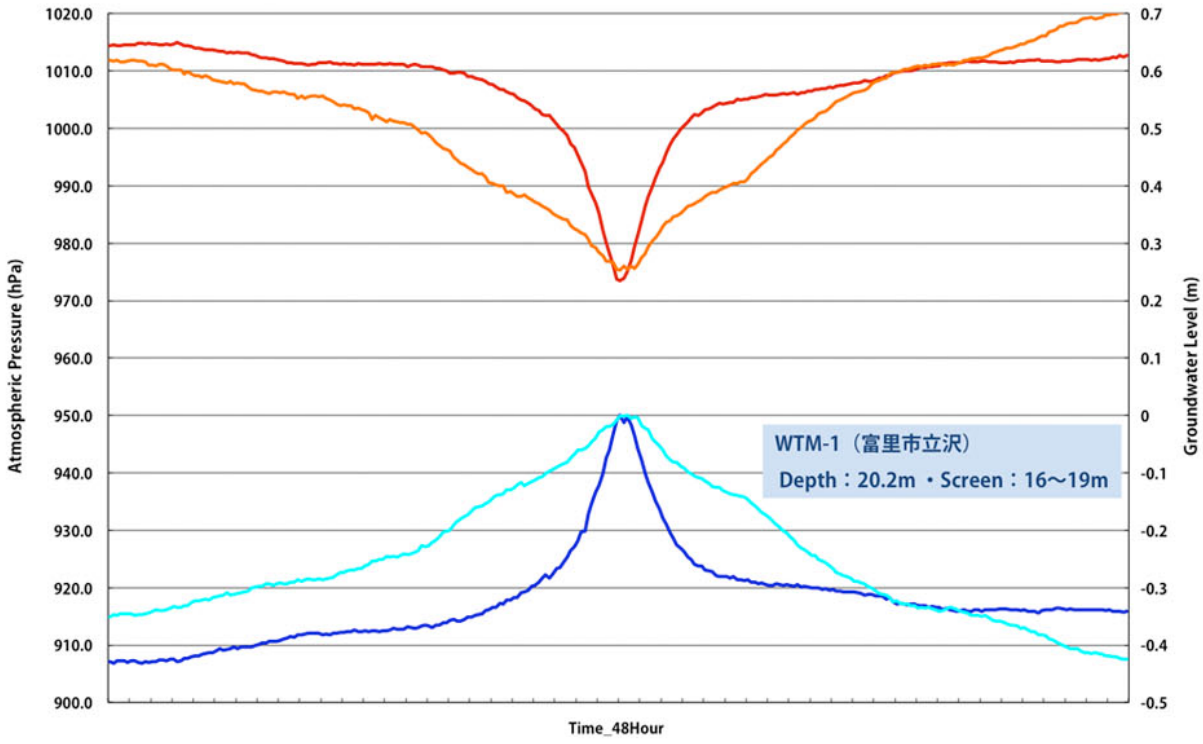
引用文献

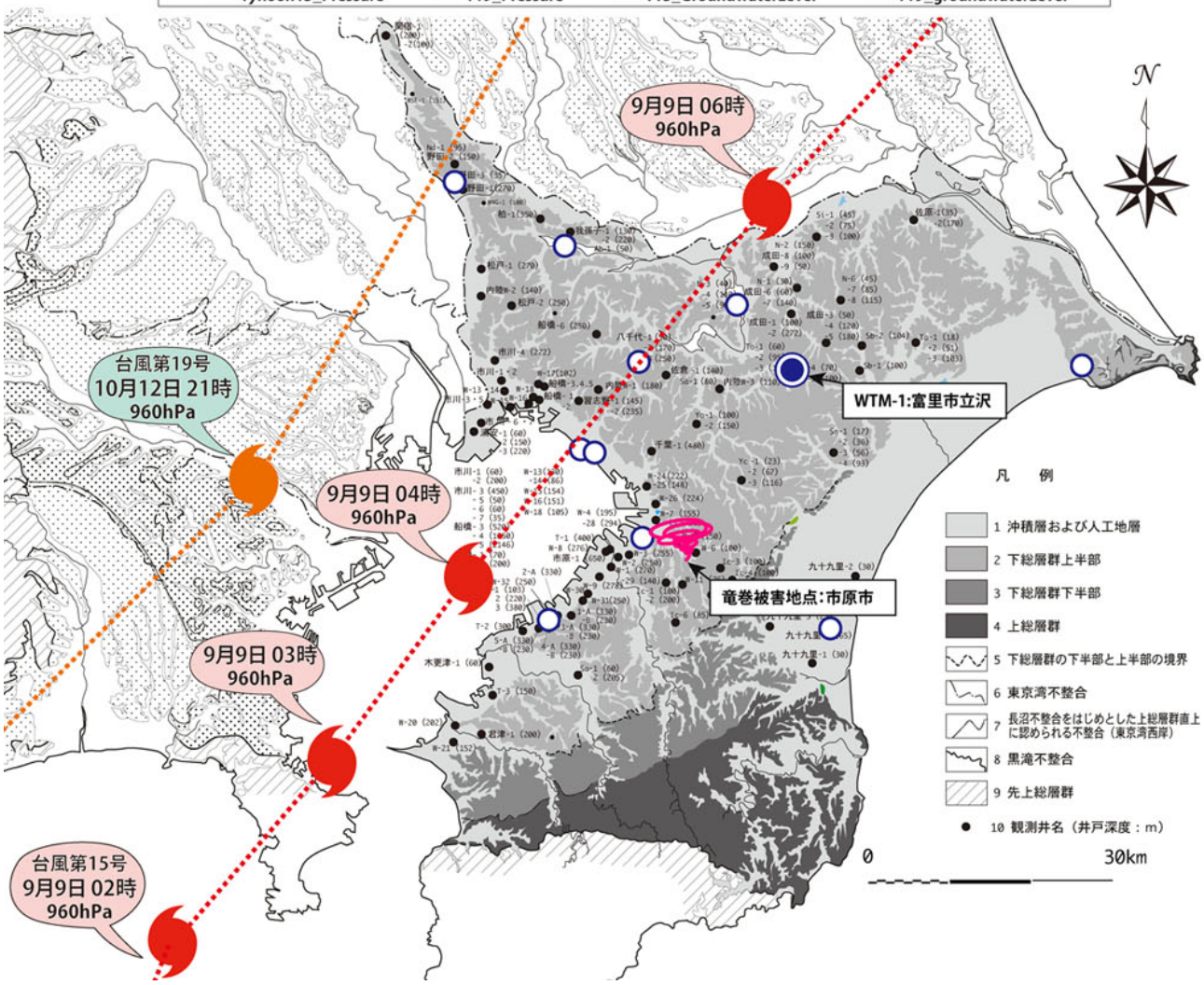
[1)] 気象庁，2020，災害時自然現象報告書（令和元年房総半島台風等），2.
[2)] 気象庁，2019，災害をもたらした気象事例，台風第19号による大雨，暴風等（速報）.
[3)] 銚子地方気象台，2020，現地災害調査報告 令和元年10月12日に千葉県市原市で発生した突風について.
[4)] 千葉県環境研究センター地質環境研究室，2020，千葉県の地盤沈下（観測井資料編），51.

© 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

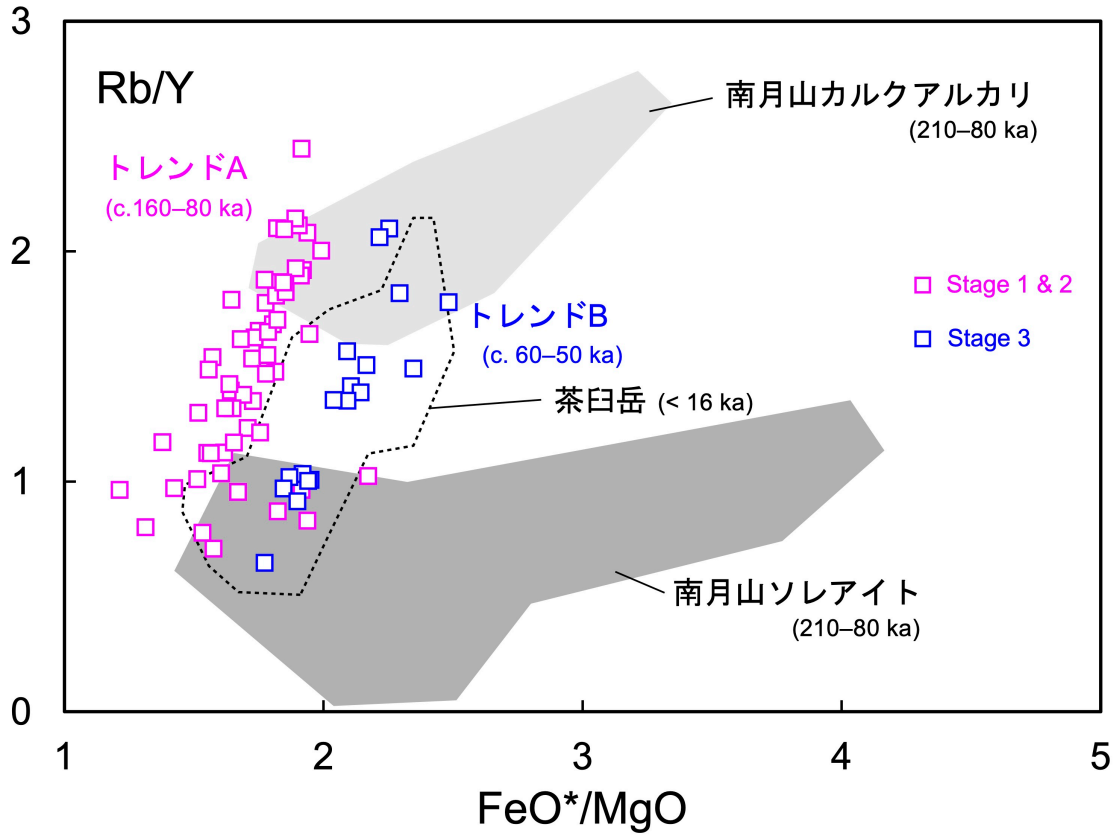


図1．Rb/Y-FeO*/MgO図．南月山，茶臼岳の組成範囲は山元・伴（1997）による．

© 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

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

[1poster01-02] T1. [Topic Session] New perspectives of subduction zone earthquake dynamics through experiments across-scales

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[T1-P-1] Physical properties of the Kumano forearc basin at Site C0025, IODP Expedition 358

*Manami Kitamura[1], Takashi Takehara[1], Xinglin Lei[1] (1. GSJ/AIST)

4:30 PM - 7:00 PM

[T1-P-2] (entry) Impact of Kuroshio meander on the slow slip event in March 2020 detected by borehole and DONET observatories

*Keisuke Ariyoshi[1], Toshinori Kimura[1], Yasumasa Miyazawa[1], Varlamov Sergey[1], Takeshi Iinuma[1], Akira Nagano[1], Joan Gomberg[2,3], Eiichiro Araki[1], Toru Miyama[1], Kentaro Sueki[1], Shuichiro Yada[1], Takane Hori[1], Narumi Takahashi[4,1], Shuichi Kodaira[1] (1. JAMSTEC, 2. USGS, 3. University of Washington, 4. NIED)

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

Physical properties of the Kumano forearc basin at Site C0025, IODP Expedition 358

*Manami Kitamura[1], Takashi Takehara[1], Xinglin Lei[1]

1. GSJ/AIST

The International Ocean Discovery Program (IODP) Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment (NanTroSEIZE) Expedition 358 penetrated the Kumano forearc basin at Site C0025 to understand the evolution of the accretionary prism and Kumano forearc basin in the Nankai Trough (Tobin et al., 2020, IODP Proceedings). Site C0025, located at ~ 50 –55 km landward from the trench, has been drilled and obtained core samples from 400 –573 mbsf. In this study, we conduct elastic wave velocity (Vp) and porosity measurements and indentation tests on cubic samples and estimate the anisotropy of the samples. Vp at 453 –572 mbsf falls in the range of 1.7 to 2.0 km/s. Vp along horizontal directions show similar values with shipboard data, while Vp along vertical direction tends to be slightly higher than shipboard data (Tobin et al., 2020, IODP Proceedings). The vertical anisotropy of Vp is between -0.3 and 2.3%, which is similar with shipboard data. Porosity of our samples ranges between 42 –49%, which is also consistent with the results of shipboard measurements (Tobin et al., 2020, IODP Proceedings). The unconfined compressive strength (C0) along horizontal direction, which can be obtained by indentation tests (e.g., Kitamura and Hirose, 2017, JSG), generally increases with depth from 0.6 MPa at 433 mbsf to 2.4 MPa at 454 mbsf. After C0 value decreases to 1.4 MPa at 467 mbsf, it gradually increases with depth to 3.0 MPa at 573 mbsf. C0 for vertical direction indicates the similar trend. The vertical anisotropy of C0 decreases with depth from 9.2% at 467 mbsf to -8.4% at 573 mbsf. In addition, we perform permeability measurements on core sample under in-situ pressure condition. The permeability of the sediment collected at 573 mbsf is on the order of 10^{-18} m^2. In the poster, we will discuss the Vp-porosity, Vp-C0 and permeability-porosity relationships in the Kumano forearc basin.

Keywords: IODP, Nankai Trough, Kumano forearc basin

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Impact of Kuroshio meander on the slow slip event in March 2020 detected by borehole and DONET observatories

*Keisuke Ariyoshi[1], Toshinori Kimura[1], Yasumasa Miyazawa[1], Varlamov Sergey[1], Takeshi Iinuma[1], Akira Nagano[1], Joan Gomberg[2,3], Eiichiro Araki[1], Toru Miyama[1], Kentaro Sueki[1], Shuichiro Yada[1], Takane Hori[1], Narumi Takahashi[4,1], Shuichi Kodaira[1]

1. JAMSTEC, 2. USGS, 3. University of Washington, 4. NIED

In our recent study, we detected the pore pressure change due to the slow slip event (SSE) in March 2020 at the two borehole stations (C0002 and C0010), where the other borehole (C0006) close to the Nankai Trough seems not because of instrumental drift for the reference pressure on the seafloor to remove non-crustal deformation such as tidal and oceanic fluctuations. To overcome this problem, we use the seafloor pressure gauges of cabled network (DONET) stations nearby boreholes instead of the reference by introducing time lag between them. We confirm that the time lag is explained from superposition of theoretical tide modes. By applying this method to the pore pressure during the SSE, we find pore pressure change at C0006 about 0.6 hPa. We also investigate the impact of seafloor pressure due to ocean fluctuation on the basis of ocean modeling, which suggests that the decrease of effective normal stress from the onset to the termination of the SSE is explained by Kuroshio meander and may promote updip slip migration, and that the increase of effective normal stress for the short-term ocean fluctuation may terminate the SSE as observed in the Hikurangi subduction zone.

Keywords: slow earthquake, Kuroshio meander, megathrust earthquakes, Nankai trough

© 2021 Geological Society of Japan

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

[1poster03-04] T2.［Topic Session］Submarine Mass Movements and Their Consequences

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[T2-P-1] (entry) Volcanic glasses recovered from piston cores in Yatsushiro Sea taken by Hakuhomaru KH-18-3 Cruise

*Shoichiro MATSUO[1], Yujin KITAMURA[1], Kuniyo KAWABATA[2], Ryo TERASAWA[3], Daigo ITO[3]（1. Graduate school of Science and Engineering, Kagoshima University, 2. Institute for Comprehensive Education Center for General Education, Kagoshima University, 3. Graduate school of Science and Technology, Kumamoto University）

4:30 PM - 7:00 PM

[T2-P-2] Direction of the marine geological studies

*Kiichiro Kawamura[1], Hideo Nomura[2], Nagakawa Katsuhisa[2], Manabu Takemasa[2], Jun Tanaka[2]（1. Yamaguchi University, 2. Kiso Jiban Co. Ltd.）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

(entry) Volcanic glasses recovered from piston cores in Yatsushiro Sea taken by Hakuhomaru KH-18-3 Cruise

*Shoichiro MATSUO[1], Yujin KITAMURA[1], Kuniyo KAWABATA[2], Ryo TERASAWA[3], Daigo ITO[3]

1. Graduate school of Science and Engineering, Kagoshima University, 2. Institute for Comprehensive Education Center for General Education, Kagoshima University, 3. Graduate school of Science and Technology, Kumamoto University

1.はじめに
九州西部に位置する八代海には多数の海底断層群が認められており，日奈久断層帯八代海区間を構成している．またこの海域は閉鎖度が高く，河川からの砕屑物の堆積盆となっている．新しい堆積層と活断層の組み合わせから，潜在的に海底地すべりの発生条件を備えている．井上ほか（2011）により八代海の堆積物ピストンコア中の年代の逆転が報告されており，さらに詳細な海底地すべり履歴の検討のために白鳳丸KH-18-3次研究航海によりピストンコア試料が採取された．
伊藤（2020卒論）で八代海の堆積物試料から姶良Tnテフラを構成する入戸火砕流堆積物の火山ガラスが確認されたが，推定された堆積年代と合致せず，さらなる検証が必要とされた．本研究は，八代海南部で行われたKH-18-3次研究航海で採取されたピストンコア試料に含まれる火山ガラスの屈折率をもとに同定し，層序を考察することを目的とする．
2.手法
KH-18-3次研究航海で採取されたピストンコア試料PC01～PC11の計11本のコアから，伊藤（2020卒論）によりDI001～DI110の合計110試料に分けられた．本研究ではPC03（DI023～DI032）と
PC09（DI081～DI091）の21試料を使用した．21試料を水洗，乾燥，分割し，１つの試料から30粒の火山ガラスの屈折率をRIMS2000を使用して測定した．DI082においては斜方輝石の屈折率も測定した．また，試料分割後のスミアスライドを作成し，偏光顕微鏡を用いて200粒の鉱物組成を割り出した．
3.結果と考察
PC03（DI023～DI032）ではバブル型，軽石型の火山ガラスが見られた．30粒全て姶良Tnの屈折率（1.498～1.501）の火山ガラスであった．PC09（DI081～DI091）も同様にバブル型，軽石型の火山ガラスが見られ，ほとんどが姶良Tnの屈折率と一致した．DI081, DI082，DI084～DI086では1～4粒の火山ガラスが姶良Tnの屈折率とは一致せず，阿蘇4（Aso-4）の屈折率（1.506～1.510）または鬼界アカホヤ（K-Ah）の屈折率（1.508～1.516）に一致した．DI082の斜方輝石はK-Ahの屈折率（1.708～1.713）に一致した．堀（2019卒論）で推定された650±40年前や10910±50年前の層にも連続的に姶良Tnの火山ガラスが見られたため，これらは二次堆積したものだと考えられる．
PC03のスミアスライドではDI023～DI026，DI028～DI030で岩片が顕著に見られ，DI027，DI031，DI032で火山ガラスが顕著に見られた．DI027～DI029では植物片が目立った．PC09のスミアスライドではDI081～DI086で有孔虫や生物片などが25%程度見られ，DI087以降は火山ガラスが顕著に見られた．
4.まとめ
入戸火砕流堆積物は人吉盆地周辺の地質図上ではほとんど残っていない．これについて横山（2000）は，山岳地域の谷底の堆積物が顕著な削剥を受けたとみている．堀（2019卒論）で推定された異なる年代の層にも入戸火砕流堆積物が見られることから，八代海の堆積物中の火山ガラスは河川からの流入による二次堆積物であると考えられる．K-Ahは含まれている可能性はあるが，見つかった粒数が少ないため，今後ほかのコアの火山ガラスや重鉱物を調べることが望まれる．
5.引用文献
伊藤大悟（2020卒論）八代海南部における底生有孔虫群集から推定される堆積環境，鹿児島大学卒業論文，55p.
井上直人・北田奈緒子・越後智雄・久保尚大・一井直宏・林田明・坂本泉・滝野義幸・楮原京子，2011，布

© 2021 Geological Society of Japan

田川・日奈久断層帯海域延長部におけるピストンコア調査，活断層・古地震研究報告，11，295ー308.
堀航喜（2019卒論）日奈久断層八代区間の海底断層群分布海域における浅海表層堆積物の物性から推定される堆積環境，鹿児島大学卒業論文，90p.
横山勝三（2000）入戸火砕流堆積物の分布北限，火山第45巻，第4号，209-216.

Keywords: Volcanic ash, AT tephra, 2016 Kumamoto earthquake

© 2021 Geological Society of Japan

Direction of the marine geological studies

*Kiichiro Kawamura[1], Hideo Nomura[2], Nagakawa Katsuhisa[2], Manabu Takemasa[2], Jun Tanaka[2]

1. Yamaguchi University, 2. Kiso Jiban Co. Ltd.

地質学は不均質性との戦いである。ここに地質リスクが存在しており、複雑な地質を如何に最適モデル化できるかが課題である。最適モデルにするためには、測定・観測要素を適切に抽出する必要があり、その選定は目的にあったかたちで実施されている。最適モデルにするためには、それらの事象の進行プロセスや発生メカニズムを知る必要があり、モデルを裏打ちするような原理原則が必要不可欠である。このように陸上における課題として、地質リスクが存在しているが、海底となるとさらに難しい問題となる。しかし、この難敵は、資源採掘や構造物建設、さらには既存の構造物の沿岸防災において、避けて通れない課題である。近年話題になっている洋上風力発電においては、喫緊の課題であり、津波や構造物を破壊する要因となる海底地すべり、敷設する送電ケーブルを切断する恐れのある混濁流、構造物に直接ダメジを与える恐れのあるシャローガスや泥火山、液状化などの海底地盤でのリスク要素、など事象は知られているが、発生規模や発生頻度、場所を特定困難なものばかりである。これらの海底地質リスク評価は、ある意味日本型であるとも言え、用地選定だけでなく、その後の施工や維持管理において、ボディーブローのように効いてくる問題であることは容易に想像がつく。ここでは、Nitta et al. (2019)で報告された仙台沖の水深1000m程度の海底クリープ現象を報告し、その地質学的な意義について論じる。また、短い発表時間ではあるが、上記のリスク要素の捉え方、浅海域における地質リスク評価のアプローチ法、さらには、それらを検討する国内外組織についてみなさんと議論したい。

引用文献

Sayaka Nitta, Takafumi Kasaya, Kiichiro Kawamura, 2021, Geological Magazine , Volume 158 , Special Issue 1: Subduction zone processes and crustal growth mechanisms at Pacific-Rim continental margins: modern and ancient analogues, pp. 39 - 46. DOI: https://doi.org/10.1017/S0016756818000894

Keywords: Submarine landslide, Offshore wind farm, Marine geological risks, Creep, off Sendai

© 2021 Geological Society of Japan

[1poster05-07] T3. [Topic Session] Collaboration and advance of geological, experimental, and seismological research on slow earthquakes

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[T3-P-1] (entry) Constraint on slip velocity using grain size of dynamic recrystallization of quartz in the Yokonami melange, the Cretaceous Shimanto Belt

*Mako Kawaji[1], Yoshitaka Hashimoto[1] (1. Kochi University)

4:30 PM - 7:00 PM

[T3-P-2] (entry) Generation mechanism of slow stick-slip verified from friction properties of mixed quartz/talc gouges

*Ryota Hibi[1], Ken-ichi Hirauchi[1] (1. Shizuoka Univ.)

4:30 PM - 7:00 PM

[T3-P-3] (entry) Deformation behavior of antigorite serpentinite in deep slow earthquake source regions inferred from field and experimental observations

*Yurina Nagata[1], Ken-ichi Hirauchi[1], Keishi Okazaki[2] (1. Shizuoka University, 2. JAMSTEC)

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

(entry) Constraint on slip velocity using grain size of dynamic recrystallization of quartz in the Yokonami melange, the Cretaceous Shimanto Belt

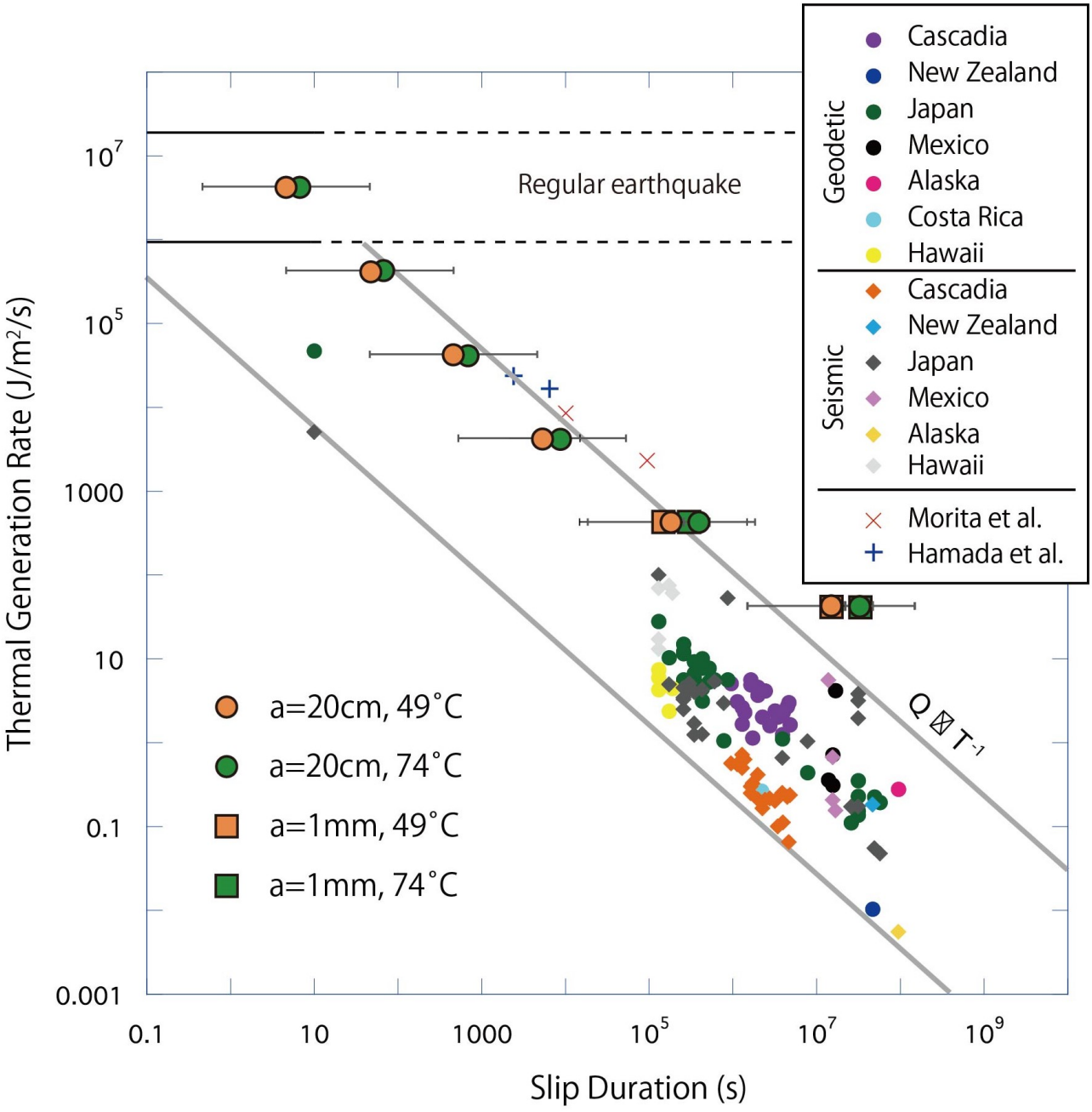
*Mako Kawaji[1], Yoshitaka Hashimoto[1]

1. Kochi University

近年,地球物理学的手法により発見されたスロー地震は,汎世界的な現象であることが明らかとなり,スロー地震と巨大地震との関連が注目されている. 物理観測では空間的な相互作用を理解することが難しいため,空間分解能が高い地質学的手法でのスロー地震の化石認定が鍵となるが,決定的な証拠は未発見である. そこで,本研究では巨大地震とスロー地震の断層岩が共存していることの認定を目指し, 陸上付加体において遅い変形を示す石英の結晶塑性変形組織が見られる巨大地震の化石を含む断層を対象に,遅い変形を起こした際の被熱温度とすべり速度の定量化を目的とした. 対象の断層は,四国白亜系四万十帯に属する横浪メランジュの北縁断層である五色ノ浜断層で,摩擦発熱による溶融を示すシュードタキライトが見られ,地震断層の化石と認定されている. 地震断層は厚さ約1 ㎜,破砕帯は厚さ約20 ㎝である. 母岩の過去の最高被熱温度はビトリナイト反射率によって約250 ℃と報告されている. 断層岩の微細組織観察から,直線的な断層の周囲で石英質なブロックが泥質な基質に囲まれている変形帯になっており,ブロックは断層とほぼ平行に配列している. また,泥質の基質はブロックを囲むような流動的な変形をしており,石英ブロックの中には波状消光や動的再結晶組織が見られた. 被熱温度の推定には,塑性変形を起こしている石英の粒径を用いるStipp et al.(2002)の手法を採用した. また,同様にStipp et al.(2002)の手法で温度からひずみ速度を推定し,すべり速度を求める計算を行った. ただし,Stipp et al.(2002)の研究対象はほとんどが石英で構成されている岩体であるため,流体圧を無視することでひずみ速度,すべり速度の推定までを行うことができている. 一方,本研究の対象は塑性変形した石英が不均質に分布していることから,流体圧の不均質な分布を示唆しており,流体圧を無視することができない. さらに差応力自体が不均質である可能性もある. よって,得られるすべり速度は流体圧を無視した最低速度の制約となる. 分析の結果,過去の最高被熱温度は299-324 ℃と推定され,母岩の過去の最高被熱温度よりも高く,過去,断層帯に発熱イベントがあったことを示唆する. また,この温度は観察範囲である断層の中心から約15 ㎜の地点までほぼ一定であった. これらの推定被熱温度を用いて計算した推定すべり速度は約10 m/yearで,プレート運動よりも遅かった. なお,このすべり速度は最低速度の制約に過ぎないものの,破砕帯20 cmの泥質基質を含めた全体のすべりが不足分のすべり速度を補っていることを示唆する. ここで,断層から約15 mmに渡って発熱温度が一定である点に着目し,発熱帯の厚さが1 mmと20 cmの場合について,異なるすべり速度での摩擦発熱による熱拡散パターンの時間発展を計算し,この熱拡散パターンが天然の温度分布と一致するときのすべり速度とすべり時間を制約した. 結果,発熱帯が厚さ1 mmの場合すべり速度は10 -10 m/s,すべり時間は10 -10 sと推定され,20 cmの場合すべり速度は10^{1} -10 m/sまで広い範囲が許容され,すべり時間は10 -10 sと推定された. 最後に,本研究の結果を過去に観測された地震データと比較する. まず,これまでに物理学的に観測されている地震のデータは,地震の規模Moとすべり時間Tdで表現することができ,通常地震とスロー地震ではMoとTdの関係が異なっていることが既に明らかとなっている(Ide et al., 2007). このMoは,単位面積・単位時間あたりの熱量Qに変換することができる. また,Qはすべり速度,上載圧,摩擦係数の積であり,制約されたすべり速度に上載圧10 MPa, 摩擦係数10^{1}を与えて地質学的なQを得た. 過去に観測された地震データのTdと,Moを変換することで得られたQの関係を表したグラフに,本研究で得られたTdとQをプロットすると,シミュレーションによって許容されたすべり速度とすべり時間が,過去に観測されたスロー地震と一致する場合が多いことがわかった. 以上のことから,五色ノ浜断層で見られる結晶塑性変形した石英は,スロー地震を記録している可能性が十分あると考えられ,スロー地震と通常の巨大地震が同じ断層で起こっていという可能性も示唆される. ただし,温度の独立決定を行って確度を高めること,断層からさらに離れた地点の温度分布からすべり挙動を制約することが課題である. また,熱源が高温流体である可能性を否定できないため,岩石-流体間反応の検討も必要である.Stipp, M et al., 2002, Journal of Structural Geology: Ide, S et al., 2007, Nature

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: slow earthquake, accretionary complex, dynamic recrystallization, seismogenic fault



© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Generation mechanism of slow stick-slip verified from friction properties of mixed quartz/talc gouges

*Ryota Hibi[1], Ken-ichi Hirauchi[1]

1. Shizuoka Univ.

スロー地震は、継続時間と地震モーメントの違いから、スロースリップイベント（以下、SSEとする）、超低周波地震、低周波微動などに区分される(Obara and Kato, 2016)。室内の摩擦実験は、安定すべりやスティック・スリップなどの様々なすべり挙動が発生することから、地震発生メカニズムを理解する上で重要な研究手法である。スティック・スリップには、継続時間が短く、応力降下量が大きいファストスティック・スリップと、継続時間が長く、応力降下量が小さいスロースティック・スリップが存在する。スティック・スリップは、剛性比$K = k/k_c$（kは装置のスティッフネス、k_cは臨界スティッフネス）とすると、$K < 1$で発生することが知られている（例えば、Gu et al., 1984; Rice, 1983）。先行研究では、石英やソーダ石灰など1種類のガウジ試料で摩擦実験を行い、$K \approx 1$の条件でスロースティック・スリップが起こることを明らかにしている(例えば、Scuderi et al., 2016; Leeman et al., 2018)。彼らの実験では、法線応力や載荷速度を変更することでKの値を変化させている。しかし、天然の断層では、石英や長石類からなる破砕岩片の周囲を、スメクタイトや滑石などの層状珪酸塩鉱物が取り囲んで存在する(例えば、Wintsch et al., 1995)。そこで、本研究では、石英と滑石からなる模擬ガウジ物質を使用し、ガウジ組成を変化させて摩擦実験を行った。
摩擦実験は静岡大学設置の一面剪断試験機を使用して行った。実験は、法線応力10 MPa、載荷速度0.66～2.00 μm/s、室温で行った。結果は、滑石含有率が0～2 wt.%のときにファストスティック・スリップが、4～10 wt.%のときにスロースティック・スリップが発生した。また、4～5 wt.%では定常的なスロースティック・スリップが発生した。速度・状態依存摩擦則の($a-b$)値は滑石含有率0～2 wt.%では−0.0021～−0.0002で速度弱化挙動を示し、滑石含有率4～10 wt.%では0.0001～0.0012でわずかに速度強化挙動を示した。剛性比$K = k/k_c$は、滑石含有率0～2 wt.%では3.4～38.4で $K > 1$となり、理論的な安定条件でファストスティック・スリップが発生した結果となった。
スティック・スリップ発生時の応力降下量は、応力降下継続時間の増加とともに0.592～0.004 MPaへ減少し、ファストスティック・スリップからスロースティック・スリップへ変化した。すべり量も同様に、応力降下継続時間の増加とともに0.0622～0.0001 mmへ減少し、ファストスティック・スリップからスロースティック・スリップへ変化した。以上より、ファストスティック・スリップからスロースティック・スリップへの変化は、急激に起きるものではなく、遷移的に発生していると考えることができる。
実験後の試料の微細構造観察は、滑石含有率0～10 wt.%の試料では、滑石含有率の増加に伴ってR_1面、Y面がともに減少した。よって、ファストスティック・スリップからスロースティック・スリップへ変化すると、R_1面、Y面がともに減少することがわかった。
本研究の結果から、層状珪酸塩鉱物の含有率の数%の違いが、ファストスティック・スリップやスロースティック・スリップ、安定すべり等のさまざまな摩擦挙動を発生させることがわかった。そのため、天然の断層においても、層状珪酸塩鉱物の溶解・析出等により含有量が変化すると、通常の地震から、SSE、安定すべりまで、同一の断層で発生する可能性があると考えることができる。

引用文献：Obara and Kato (2016), *Science*, 353, 253-257. Gu et al. (1984), *J. Mech. Phys. Solids*, 32, 167-196. Rice (1983), *Pure Appl. Geophys*, 121, 443-475. Scuderi et al. (2016), *Nat. Geosci.*, 9, 695-700. Leeman et al. (2018), *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 123, 7931-7949. Wintsch et al. (1995), *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 100, 13021-13032. Summers and Byerlee (1977), *Tectonophysics*, 75, 243-255.

Keywords: slow earthquake, friction sliding experiments, stick-slip, phyllosilicate, rate- and state-friction law

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Deformation behavior of antigorite serpentinite in deep slow earthquake source regions inferred from field and experimental observations

*Yurina Nagata[1], Ken-ichi Hirauchi[1], Keishi Okazaki[2]

1. Shizuoka University, 2. JAMSTEC

南海沈み込み帯のマントルウェッジ先端付近では、プレート境界に沿って深部スロー地震が発生している（例えば、Obara , 2002）。マントルウェッジ先端付近は、海洋プレート中に含まれる含水鉱物の脱水反応に起因して多量の水が高間隙水圧状態で存在すると考えられている（例えば、Shelly et al., 2006）。このような領域では、有効応力の低下に伴って岩石の摩擦・破壊強度が低下するため、高温高圧下においても脆性変形が卓越する可能性がある。そして、マントルウェッジを構成するかんらん岩は、水流体の存在下において蛇紋岩化していると考えられる（例えば、Kato et al., 2010）。以上のことから、高含水率条件下での蛇紋岩の脆性変形が深部スロー地震の発生メカニズムの一つとなる可能性があるが、そのような条件下で蛇紋岩がどのような変形挙動を示すかについては、未だによくわかっていない。また、これまでに高温高圧下でのアンチゴライト蛇紋岩を用いた変形実験が数多く行われているが（例えば、Hilairet et al., 2007; Chernak and Hirth, 2010）、蛇紋岩中の含水量の変化に着目した実験はあまり行われていない。そこで、本研究では、深部スロー地震発生域に相当する温度圧力条件下で形成された天然の蛇紋岩体について構造岩石学的解析を行った。さらに、グリッグス型固体圧式三軸変形装置を用いて、様々な含水量下における蛇紋岩試料の高圧変形実験を行った。

フィールド観察は、四国中央部三波川帯の泥質片岩（ざくろ石帯と曹長石・黒雲母帯の境界）に含まれる蛇紋岩体を対象とした。本地域の三波川帯は温度約500˚C、圧力約1 GPaの変成作用を経験している（Aoya et al., 2013）。蛇紋岩はレンズ状のブロックが定向配列するblock-in-matrix構造を呈し、ブロック、マトリックス共にアンチゴライトで構成される。block-in-matrix 構造では、ブロックの伸長方向に平行な開口破壊とこれに斜交する剪断破壊が混合したネットワークを形成していた。このような開口破壊の発生には、間隙水圧の大きさが少なくとも最小主応力（σ_3）と岩石の引張強度の和を超える必要があることから、蛇紋岩のブロック化は静岩圧を超える間隙水圧下で発生したと考えられる。

変形実験は、コア状（直径約6 mm、長さ約13 mm）のアンチゴライト蛇紋岩試料を用い、温度500˚C、封圧1.0 GPa、歪速度4.22 $\times 10^{-6}$ s^{-1}、含水量0、1.1、3.0 vol.%条件で行った。試料の最大差応力は、含水量の増加に伴って小さくなっていった。含水量0、1.1 vol.%条件では、試料全体を最大圧縮方向（σ_1）に対して約30˚斜交する断層が形成され、断層面に沿って粉砕された細粒のアンチゴライトと脱水生成物が形成していた。含水量3.0 vol.%条件では、破壊がネットワークを形成することで最大長さ約6 mmのレンズ状にブロック化し、block-in-matrix構造を呈していた。マトリックスは粉砕されたアンチゴライト粒子と間隙で構成されていた。

実験結果から、深部スロー地震発生域に相当する温度圧力条件下で蛇紋岩中の含水量が増加すると、破壊が断層面に局在化する変形から破壊がネットワークを形成する変形に変化することがわかる。また、フィールドおよび実験的観察は共に、深部スロー地震発生域において蛇紋岩が剪断・開口破壊によってblock-in-matrix構造を形成することを示唆しており、これらの破壊は深部スロー地震の一種である微動として観測されている可能性がある。

引用文献：Aoya et al., 2013, *Geology*, 41, 451-454. Chernak and Hirth, 2010, *Earth Planet Sci. Lett.*, 296, 23-33. Hilairet et al., 2007, *Science*, 318, 1910-1913. Kato et al., 2010, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L14310. Obara, 2002, *Science*, 296, 1679-1681. Shelly et al., 2006, *Nature*, 442, 188-191.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: slow earthquake, mantle wedge, serpentinite, deformation

© 2021 Geological Society of Japan

[1poster08-09] T4.［Topic Session］Reconstructiong modified ancient arc-trench systems: examples of Japan etc.

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[T4-P-1] (entry) Reconstruction of the Miocene accretionary complex and oceanic plate stratigraphy in the Tomuraushi area, Hokkaido, Japan

*Michiru Inoue[1], Hayato Ueda[2]（1. Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., 2. Niigata Univ.）

4:30 PM - 7:00 PM

[T4-P-2] Cathodoluminescence measurements of zircons from the Takidani granodiorite in the Northern Alps.

*Yuta Tsuchiya[1], Kazumasa Aoki[1], Hirotsugu Nishido[1]（1. Okayama University of Science）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

(entry) Reconstruction of the Miocene accretionary complex and oceanic plate stratigraphy in the Tomuraushi area, Hokkaido, Japan

*Michiru Inoue[1], Hayato Ueda[2]

1. Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ., 2. Niigata Univ.

はじめに　北海道中央部の日高帯を構成する日高累層群は，暁新世～始新世に形成された付加体とされてきた．最近，同帯のトムラウシ地域から前期中新世を示すジルコンU-Pb年代が報告されたが，それらの地層は日高累層群から区別され，プルアパート堆積盆で形成された被覆層と解釈されている（七山ほか2020）．しかし，後述のとおり，周囲の砕屑岩類からも例外なく漸新世後期～前期中新世の年代が得られており，本研究地域を構成する付加体自体が若いという可能性の検討が必要である．そこで，当発表ではトムラウシ地域の野外調査，ジルコンU-Pb年代測定，緑色岩類の化学分析で得られたデータから，付加体の形成時期と関与した海洋プレートについて議論する．

岩相区分　著者は，トムラウシ地域で新たにマッピングを行い，ユニットA～Eに岩相区分した．（ユニットA：黒色泥岩層， B：砂岩泥岩互層， C：緑色岩類， D：赤色・緑色・黒色泥岩層，E：玄武岩，赤色・黒色泥岩，砂岩泥岩互層の覆瓦ユニット） また、ユニットA，B，Dの砂岩や凝灰岩から漸新世後期，ユニットC，Eの砂岩と凝灰岩から前期中新世のジルコンU-Pb年代を得た．七山ほか（2020）が中新世のジルコンと珪藻化石を報告した地層は，ユニットDに相当する．ユニットAの黒色泥岩からは古第三紀暁新世と始新世，また，ユニットEの赤色チャートから白亜紀中期アルビアン～セノマニアンの放散虫年代が報告されている（Watanabe & Iwata, 1987, 君波ほか, 1990).

原層序の復元　野外での岩石の随伴関係や層序・年代，および鏡下での特徴から，当地域の日高累層群の原層序は以下のように復元される．古い方から，枕間石灰岩を伴うE-MORB枕状溶岩と白亜紀中期アルビアン～セノマニアン赤色チャート・石灰岩（ユニットE），凝灰岩を挟在する暁新世～始新世の半遠洋性黒色珪質泥岩（ユニットA），漸新世～前期中新世の砂岩泥岩互層（ユニットB），前期中新世赤色・緑色・黒色泥岩（ユニットD）とそこに噴出，貫入したN-MORB～T-MORB緑色岩類（ユニットC）となる．

考察　当地域で復元される原層序は，枕状溶岩を覆う白亜紀の赤色チャート・石灰岩に始まり，暁新世～始新世の半遠洋性黒色泥岩を経て，後期漸新世～前期中新世の陸源タービダイトに至る，海洋プレート層序であったと考えられる．そのため，付加体の形成年代は後期漸新世～前期中新世の可能性が高い．Muller et al., (2016)によれば，20Ma頃に日本周辺へ沈み込んだ太平洋プレートの年齢は，およそ100myr と復元されており，これはユニットEチャート岩塊の放散虫年代（アルビアン～セノマニアン）と調和的である．また，DSDPやODPの太平洋プレート上のコア層序では，上部白亜系～下部古第三紀系が欠如しているものがある（DSDP Site 578, ODP Site 1179など）．そのため，トムラウシ地域における白亜系や下部古第三系のきわめて断片的な産出は，太平洋の海底層序の欠如を反映している可能性がある． 以上から，トムラウシ地域では，砂泥互層が堆積した漸新世末～前期中新世頃まで，日高帯は東に開いた海であり，太平洋プレートが沈み込んでいたと考えられる．

引用文献

君波 和雄，川端 清司，宮下 純夫，1990, 日高累層群中からの古第三紀放散虫化石の発見とその意義，特に海嶺沈み込みについて，地質雑，96, 332-326.

Müller, R.D., Seton, M., Zahirovic, S., Williams, S.E., et al. (2016) Ocean basin evolution and global–scale plate reorganization events since Pangea breakup. Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences, 44, 107–38.

七山 太, 渡辺 真人, 山崎 徹, 岩野 英樹, 檀原 徹, 平田 岳史，2020b, 北海道中央部，トムラウシ地域の日高帯分布域に新たに発見された下部中新統とそのテクトニックな意義，地質誌，126, 605-620.

Watanabe, Y. and Iwata, K. 1987, The Hidaka Supergroup in the Tomuraushi Region, Hidaka Belt, Hokkaido, Japan. Earth Sci. (Chikyu Kagaku), 41, 35-47.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Early Miocene, Accretionary Complex, Hidaka Belt, Hidaka Supergroup, U-Pb age

© 2021 Geological Society of Japan

Cathodoluminescence measurements of zircons from the Takidani granodiorite in the Northern Alps.

*Yuta Tsuchiya[1], Kazumasa Aoki[1], Hirotsugu Nishido[1]

1. Okayama University of Science

はじめに
カソードルミネッセンス（CL）は、対象鉱物の微量不純物、格子欠陥、結晶歪を高空間分解能で解析できるため、地球科学の分野では、続成作用や後背地解析、さらには変成作用の解析などさまざまな面で利用されている。その中、ジルコンのCLは、成長ドメインごとに異なる特性を示すことが知られており、U–Pb年代測定技術の発展と普及に相まって年代学分野では切り離すことのできない手法の１つとなっている（e.g., Corfu etal.,2003; Grant et al., 2009）。しかし、CL特性が生じる具体的な要因やメカニズムについては不明な点が多い。火成起源ジルコンが示すカラーCL像は、一般に結晶化した年代が古いものほど黄色発光を示す。一方、何もドープしていない合成ジルコンのカラーCL像は、顕著な青色発光を示す。これらのことは、放射性核種からのα線放射による損傷の増加がCLの黄色発光を強める要因であることを示唆する（e.g., Finch et al., 2004; Tsuchiya et al., 2017）。しかし、放射線損傷の少ない天然ジルコンのCL特性を報告した例は少なく、ジルコン年代に応じた放射線損傷の増加もしくは減少がCL発光にどれだけ影響を与えているかはよく分かっていない。そこで本研究では、報告例が少ない若いジルコンのCL特性を明らかにするため、岐阜県および長野県県境の北アルプス南部上高地・西穂高岳周辺に産する滝谷花崗閃緑岩（2–1Ma: Sano et al., 2002; Ito et al., 2017）からジルコンを分離し各種測定を行った。
結果と解釈
・LA-ICP-MS U–Pb年代測定
滝谷花崗閃緑岩から抽出したジルコン（滝谷ジルコン）のU–Pb年代測定から、滝谷ジルコンは~65Maの年代を示すものと、2–1Maの年代を示すものがあることがわかった。前者の古い年代を示すジルコンについてはIto et al. (2017)も報告している。滝谷花崗閃緑岩の周囲には白亜紀花崗岩類が認められることから、滝谷花崗閃緑岩の元となったマグマの定置プロセスの際に周囲の白亜紀花崗岩類の同化作用で取り込んだ際に、混入したと考えられる。
・カラーCL像
ジルコンのカラーCL像は、年代値の違いに関わらず同じ青色発光を示した。先行研究によるジルコンのCL特性結果(Tsuchiya et al., 2017）を考慮すると、2–1Maの若い年代を示すジルコングループは放射線損傷が少ないため、黄色発光の影響を受けず青色発光が強く反映され、一方、~65Maの古い年代を示すジルコングループは、700度以上でアニールされ放射線損傷が解消し青色発光を示したと考えられる（Tsuchiya et al., 2015）。
・スペクトル解析
CLスペクトル分析の結果、グループごとに青色領域の強度差が生じていることが認められたが、スペクトルパターンに大きな違いは認められず、すべてのジルコンから紫外ー青色領域に結晶成長時の際に生じる発光中心（Intrinsic emission）と、希土類元素（Dy^{3+}、Er^{3+}）を発光中心とする~480nmおよび~580nmと~405nmに鋭いピークが検出された。また、黄色領域に放射線損傷に帰属される発光バンドはほとんど認められなかった。これらのことより、カラーCL像観察で認められた顕著な青色発光は、Intrinsic emissionに起因することを示す。一方、グループごとに青色領域の強度差が生じる原因については、現時点ではよくわからないが、おそらくCL強度が温度によって大きく変化することに起因するのかもしれない。今後ジルコンの微量元素組成や角閃石組成などから滝谷花崗閃緑岩の温度圧力条件を推定し、若いジルコンのCL発光の特徴化を進め、ジルコン年代に応じた放射線損傷がCL発光に与える影響について議論する。
引用文献
Corfu et al., 2003, Reviews in Mineralogy and geochemistry, 53, 469-500. Finch et al., 2004, Journal of Physics D: Applied Physics, 37, 2795-2803. Grant et al., 2009, Chemical Geology, 261, 155-171. Ito et

© 2021 Geological Society of Japan

al., 2017, Scientific Reports, 7, (1). Sano et al., 2002, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 117, 285-296. Tsuchiya et al., 2015, Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 110, 283-292. Tsuchiya et al., 2017, Geochronometria, 44, 129-135.

Keywords: Zircon, Cathodoluminescence, Radiation damage

© 2021 Geological Society of Japan

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

[1poster10-11] T7. [Topic Session] Advance in geochronology applied for high resolution eruption and evolution history of volcanoes

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[T7-P-1] (entry) Reconstruction of high-resolution eruptive history of Mount Fuji volcano using lake sediments of Fuji Five Lakes

*Shinya Yamamoto[1], Fumikatsu Nishizawa[2], Mitsuhiro Yoshimoto[1], Kosuke Ota[3], Yosuke Miyairi[3], Yusuke Yokoyama[3,4], Hisami Suga[4], Naohiko Ohkouchi[4] (1. Mount Fuji Research Institute, 2. Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 3. Atmosphere and Ocean Research Institute, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

4:30 PM - 7:00 PM

[T7-P-2] K-Ar dates of rocks from Nekoma Volcano, Fukushima Prefecture, Japan using mass fractionation correction procedure

*Naoyoshi Iwata[1], Kouji Iwatare[1,2], Kazuo Saito[1,3] (1. Faculty of Science, Yamagata University, 2. BWR Operator Training Center, 3. Professor Emeritus, Yamagata University)

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

(entry) Reconstruction of high-resolution eruptive history of Mount Fuji volcano using lake sediments of Fuji Five Lakes

*Shinya Yamamoto[1], Fumikatsu Nishizawa[2], Mitsuhiro Yoshimoto[1], Kosuke Ota[3], Yosuke Miyairi[3], Yusuke Yokoyama[3,4], Hisami Suga[4], Naohiko Ohkouchi[4]

1. Mount Fuji Research Institute, 2. Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, 3. Atmosphere and Ocean Research Institute, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

日本最大の活火山・富士山では、過去3200年間で100余りの火山噴出物が確認されているが、その噴出年代が確定しているものは約３割にも満たない。その要因として、富士山では0.1 km^3 DRE以下の小規模噴火が約8割を占め、高頻度（約30年に1回）で噴火を繰り返すことから、噴出物直下に土壌が発達せず放射性炭素（^{14}C）を用いた年代測定が困難であることが挙げられる。一方、富士山北麓に位置する富士五湖の湖底堆積物中には、富士山由来の降下スコリア層が連続的に保存されており、陸上に比べ時間分解能の高い噴火履歴情報が得られることが期待される。一般に、過去数万年程度の湖沼堆積物の年代推定には、植物遺骸の^{14}C年代測定が用いられるが、これら湖では植物化石が降下スコリア層直下から産出しないこともあり、精度の高い年代モデルの構築が困難であった。そこで本研究では、富士五湖（河口湖・山中湖）の湖底堆積物を対象に放射性炭素年代測定法の再検討を行い、堆積物中に含まれる降下スコリア層の堆積年代の推定を行った。

＜事例研究１：河口湖＞
本研究ではまず、富士山北麓、河口湖の堆積物コア（KA-1）中の大室スコリア（Om）について、その上下層より産出した植物化石（木の葉）の^{14}C年代測定を行い、噴出年代の推定を行った。これまでOmは、陸上露頭で得られた噴出物直下の炭化木の^{14}C年代から約3200年前の噴出物であると考えられてきた（高田ほか, 2016）。一方、KA-1コア中の植物化石の^{14}C年代に基づく年代モデルからは、2938 ±29 cal BPの年代値が得られ、Omが従来に比べ約270年新しい噴火であったことが明らかとなった。更に、本研究では、KA-1コア中の植物プランクトンに由来するC_{16}脂肪酸の化合物レベル^{14}C年代測定を行い、Omの年代推定を試みた。その結果、リザーバー年代補正後のC_{16}脂肪酸の^{14}C年代から推定された噴出年代（2837 ±78 cal BP）が、前述の植物化石から推定される年代（2988–2870 cal BP）とよい一致を示し、植物化石が産出しない場合でも、化合物レベル^{14}C年代法を用いることで精度の高い噴火年代推定が可能であることが明らかとなった。

＜事例研究２：山中湖＞
山中湖は、従来、鷹丸尾溶岩流の堰き止めにより成立したと考えられてきたが（田中, 1921）、ボーリングコア中の珪藻化石群集が湖沼化を示す降下スコリア層が約1890-1830年前の^{14}C年代を示す（遠藤ほか, 1992）など、年代の不一致が指摘されてきた。そこで本研究では、山中湖湖心で採取した表層堆積物中の各種有機物の^{14}C年代測定を行い、湖水中の溶存無機炭素（DIC）の年代と比較した。その結果、TOCの放射性炭素同位体比（$\Delta^{14}C = -73 \pm 2‰$）が、秋の湖水中のDICと整合的な値（−66 ±8‰; Ota et al., 投稿中）を示すことが明らかとなり、リザーバー年代を補正することで、TOCの^{14}C年代から、より正確な堆積物の年代推定が可能であることが示された。そこで本研究では、Yamamoto et al. (2018)で植物化石の^{14}C年代が報告された層準でTOCの^{14}C年代測定を行い、過去のリザーバー年代の変遷を明らかにした。更に、TOCの^{14}C年代を高解像度で測定し、リザーバー年代を補正した上で年代モデルの構築を行った。その結果、前述の降下スコリア層の年代が、646 ±65 cal ADであることが明らかとなった。この年代は、鷹丸尾溶岩中の炭化木の^{14}C年代から推定される年代（687 ±60 cal AD; 田場ほか, 1999）や古地磁気の方位解析から推定されている鷹丸尾溶岩の年代（AD600-700年; 馬場ほか, 2017）とも整合的であり、現在の山中湖の成立が鷹丸尾溶岩流と同時期であったことが示唆された。

＜引用文献（引用順）＞
高田ほか（2016）富士火山地質図（第２版）.

© 2021 Geological Society of Japan

田中（1921）歴史地理37, 445–455.
遠藤ほか（1992）日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」27, 33–36.
Ota et al. (投稿中) Elementa: Science of the Anthropocene.
Yamamoto et al. (2018) Organic Geochemistry 119, 50–58.
田場ほか (1999)日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」34, 121–128.
馬場ほか (2017)地球電磁気・地球惑星圏学会講演会講演要旨.

Keywords: radiocarbon dating, lake sediment, Mount Fuji, Fuji Five Lakes, eruption history

© 2021 Geological Society of Japan

K-Ar dates of rocks from Nekoma Volcano, Fukushima Prefecture, Japan using mass fractionation correction procedure

*Naoyoshi Iwata[1], Kouji Iwatare[1,2], Kazuo Saito[1,3]

1. Faculty of Science, Yamagata University, 2. BWR Operator Training Center, 3. Professor Emeritus, Yamagata University

100万年より若い火山岩のK-Ar年代測定において放射起源^{40}Arを正確に定量しようとする場合，試料がもつ初生Arの同位体比（^{40}Ar/^{36}Ar）が大気のAr同位体比と同一であると仮定できるかどうかが問題になる（高岡，1989など）．^{38}Arスパイクを使用しない感度法（ピーク値比較法ともいう）でAr同位体分析を行い，試料の^{38}Ar/^{36}Ar比と大気の^{38}Ar/^{36}Ar比を比較することで，初生Arの同位体分別の有無を確認することができる．そして同位体分別の大きさが質量差に依存すると仮定することで，初生Arが同位体分別を受けた大気成分であっても，質量分別補正を行うことで正確に放射起源^{40}Arを定量することが可能である（高岡，1989・松本ほか，1989など）．このことから，若い火山で高精度火山噴火史・発達史を作成するためには，質量分別補正を施したK-Ar年代値を利用することが望ましいと考えられる．質量分別補正を行った感度法K-Ar年代測定の例として，東北日本・猫魔火山での結果を紹介する．

猫魔火山の形成史は三村（2002）によってまとめられている．三村（2002）は地質調査と放射年代測定の結果から，猫魔火山の活動を古猫魔火山（>1 Ma-0.7 Ma）と新猫魔火山（0.5 Ma-0.4 Ma）に区分し，両者の間に山体崩壊によるカルデラ形成があったとした．猫魔火山の放射年代はNEDO（1991）と三村（2002）によって報告されている．NEDO（1991）は9試料に対してK-Ar年代測定を行い，1.11 Ma-0.47 Maの年代値を得た．三村（2002）は5試料に対してK-Ar年代測定を行い，そのうち２試料で1.43 Maと0.68 Maという年代値を得た．ただし，NEDO（1991）と三村（2002）にはAr定量方法に関する詳細な記述がないため，示されているK-Ar年代値に質量分別補正が行われていたかどうかは不明である．

猫魔火山の岩石試料に対して，岩垂（1992MS）が感度法によるK-Ar年代測定を行った．その結果を整理してIwata et al. (2021)が報告した．質量分別補正を行って得られたK-Ar年代値は古猫魔火山相当の試料で0.68 Ma-0.40 Ma，新猫魔火山相当の試料で～0.2 Maであり，1 Maを超える年代値は得られなかった．

NEDO（1991）は猫魔火山の古地磁気測定を行っている．猫魔火山の噴出物は，帯磁方向のばらつきが大きい1試料を除いて9試料が正帯磁を示すとし，Brunhes Normal Epoch (0.773 Ma～現在)もしくはJaramillo Event(1.071 Ma-0.990 Ma)に対比できるとした（NEDO，1991；境界の年代値はCohen and Gibbard, 2019）．質量分別補正を行った感度法K-Ar年代値に1 Maより古いものがなかったことは，猫魔火山の噴出物がBrunhes Normal Epochに形成されたということを支持すると考えられる．

引用文献

Cohen, K. M. and Gibbard, P. L. (2019) Quaternary International, 500, 20-31.
岩垂巧二（1992MS） 山形大学理学部地球科学科卒業論文，35 p.
Iwata, N., Iwatare, K. and Saito, K. (2021) Bull. Yamagata Univ. (Natl. Sci.), 19(4),15-25.
松本哲一・宇都浩三・柴田賢（1989） 質量分析，37(6)，353-363.
三村弘二（2002） 火山，47(4)，217-225.
NEDO（1991）広域熱水流動系調査　磐梯地域　火山岩分布・年代調査報告書要旨，201 p.
高岡宣雄（1989） 質量分析，37(6)，343-351.

Keywords: K-Ar dating, Nekoma Volcano, mass fractionation correction procedure

© 2021 Geological Society of Japan

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

[1poster12-17] R2 [Regular Session]Petrology, mineralogy and economic geology

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R2-P-1] (entry) Effects of temperature and silica on serpentinization and magnetite formation within mantle peridotite: implications for hydrogen generation within oceanic lithosphere

*Shuhei Tanaka[1], Atsushi OKAMOTO[1], Dandar OTGONBAYAR[1], Masaoki UNO[1], Masakazu FUJII[2] （1. Tohoku University, 2. National Institute of Polar Research）

4:30 PM - 7:00 PM

[R2-P-2] (entry) Bipyramidal quartz formed within chimneys of Kuroko deposits

*Jumpei Sugioka[1], Atsushi Okamoto[1], Ryoichi Yamada[1] （1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R2-P-3] Evolution of serpentinite microtextures in the Hayachine-Miyamori Ultramafic Complex

*Tomoyuki Mizukami[1], Fumihiro Ogawa[1] （1. Kanazawa University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R2-P-4] (entry) Zircon U-Pb age and trace element composition of metagabbro and psammitic schist of Hatto Formation and its equivalent of Jurassic high-*P/T* schist, Tottori-Okayama area, SW Japan

*Kosuke Kimura[1], Yuichiro Inaba[2], Tatsuya Harada[3], Yasutaka Hayasaka[4], Tomoyuki Shibata[4] （1. National Institute of Technology, Kure College, 2. Hokuden Engineering Consultants Co.,Ltd., 3. OYO Corporation, 4. Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R2-P-5] Carbonatite metasomatism in Natash mantle xenoliths from the cretaceous rift-related volcanics in the southern part of the Eastern Desert of Egypt

*Natsue Abe[1,2], Shoji Arai[2], Adel A. Surour[3], Ahmed A. Madani[3] （1. JAMSTEC, 2. Kanazawa University, 3. Cairo University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R2-P-6] (entry) The formation process of entablature deduced from the structure and rock textures of the Genbudo Lava in Shizukuishi Town, Iwate Prefecture

*Takashi Hoshide[1], Nao Ishibashi[2], Keisuke Iwahashi[1] （1. Graduate School of International Resource Sciences, Akita University, 2. Sojitz Pla-Net Corporation）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

(entry) Effects of temperature and silica on serpentinization and magnetite formation within mantle peridotite: implications for hydrogen generation within oceanic lithosphere

*Shuhei Tanaka[1], Atsushi OKAMOTO[1], Dandar OTGONBAYAR[1], Masaoki UNO[1], Masakazu FUJII[2]

1. Tohoku University, 2. National Institute of Polar Research

Hydrogen and magnetite are produced within the oceanic lithosphere during interaction between mantle peridotite and seawater (serpentinization). Some ecosystems at deep sea are thought to be sustained by such hydrogen and related hydrocarbons as an energy source [1]. Recently, it has been suggested that the serpentinization proceeds by seawater penetrating to the deep fracture zones at temperatures exceeding 350℃ [2]. However, due to limited experimental studies at high temperatures, it has not been clarified whether hydrogen is produced at the deep parts of the oceanic lithosphere and transported to the microbial life in shallower zone. Hydrogen production is commonly accompanied with magnetite formation [3]. In this study, we conducted the batch type and flow-through type experiments in the systems of olivine (Ol)-H_2O and Ol-orthopyroxene (Opx)-H_2O at temperatures from 200 to 400℃. Based on the thermogravimetric analyses, the chemical composition and magnetic susceptibility, we discussed the effects of temperature and silica on magnetite formation during serpentinization.
In the batch type experiments, the extent of reaction changes systematically with temperature and is greater in the Ol-Opx-H_2O system. The reaction rate in the flow-through type was about 10 times larger. These results indicate that the reaction rate is enhanced by silica derived from orthopyroxene and/or advective mass transfer. The electron microprobe analyses suggest that serpentine minerals contain Fe(III). The magnetic susceptibility of the products related to magnetite amount increases with the extent of reaction in Ol-H_2O system increasing whereas does not increase in Ol-Opx-H_2O system. These results and thermodynamic calculations suggest that in Ol-Opx-H_2O system, magnetite is not produced due to high silica concentration but Fe(III)-serpentine is the dominant host of Fe(III) and the hydrogen production can be higher than that of Ol-H_2O system.
The present study suggests that hydrogen production accompanying serpentinization proceed to orthopyroxene-bearing peridotites (i.e., harzburgite) when seawater circulates in the deep part of the oceanic plate.

Reference
[1] Boetius, 2005, SCIENCE, 307, 1420-1422
[2] Prigent et al, 2020, Earth and Planetary Science Letter, 532, 115988
[3] Klein et al, 2013, Lithos 178, 55-69

Keywords: Serpentinization, Magnetite, Silica, Hydrogen

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Bipyramidal quartz formed within chimneys of Kuroko deposits

*Jumpei Sugioka[1], Atsushi Okamoto[1], Ryoichi Yamada[1]

1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

Mineral precipitation from the hydrothermal vent fluids has been thought to occur in response to quenching of hydrothermal fluids by mixing with cold seawater, but the mechanism of mineral precipitation still poorly understood. Kuroko deposit is one of the typical massive sulfide deposits. The Kuroko sample with the concentric structures represents the chimneys in submarine hydrothermal deposits (Shimazaki and Horikoshi, 1990). In addition to sulfides, bipyramidal quartz grains have been reported in such chimney-like structure, and is thought to be the key to understanding the physico-chemical conditions within chimneys.
We analyzed two Kuroko-type ore samples containing quartz grains collected from the Hanaoka mine (Doyashiki and Matsumine deposits) in the Hokuroku district, NE Japan. The samples mainly composed of barite, galena, sphalerite, chalcopyrite, pyrite and quartz. The quartz grains show euhedral bipyramidal shape with a long axial length of 0.01-0.52 mm and aspect ratio of ~3, and contained fluid inclusions. We investigate the homogenization temperature, and they suggest that quartz crystals were formed from the high temperature fluids exceeding 300℃.
The silica precipitation experiments were conducted using the flow-through apparatus with vertical flow-path at constant pressure of 25 MPa with using high-silica aqueous solution (~300 ppm). Within the cylindrical vessel, temperature increased from 350℃ to 430℃ along the flow path. We conducted two runs with flow rate of 0.1 ml/min and the different durations 1 h and 11 h, respectively. In the 1 h run, amorphous silica and cristobalite were observed. In the 11 h run, amorphous silica and quartz were observed. The quartz grains showed euhedral bipyramidal shape with size of 5.9-103 micrometers. The Stokes' equation predict that the silica particles smaller than ~14 micrometers can move upward in ascending flow velocity of 0.01 m/s in the experiments, which is consistent with the particle size observed in experiments, suggesting that the bipyramidal quartz formation occurred in suspension. The bipyramidal quartz grains in the Kuroko samples were similar to that produced in the hydrothermal experiments.
References: Shimazaki, H., Horikoshi, E., 1990. Mining Geology, 40, 313-321.

Keywords: submarine hydrothermal vents, bipyramidal quartz, chimney, silica, kuroko

© 2021 Geological Society of Japan

Evolution of serpentinite microtextures in the Hayachine-Miyamori Ultramafic Complex

*Tomoyuki Mizukami[1], Fumihiro Ogawa[1]

1. Kanazawa University

沈み込むプレートによって深部にもたらされるH_2O流体は、プレート境界のゆっくり滑りや塑性カップリングといった力学的挙動の支配要素である。例えば西南日本のゆっくり滑りの挙動や分布の不均質の要因として、上盤の排水性や吸水性、そして水ー岩石反応が引き起こす物性変化が議論されている（Mizukami *et al.*, 2014; Nakajima and Hasegawa, 2016）。マントル中を移動する流体の痕跡は天然のかんらん岩の蛇紋岩化作用として残されており、流体の移動経路、分布、そして反応について直接的な情報が期待される。
南部北上帯の早池峰-宮守超マフィック複合岩体は、岩石学及び地球化学の研究から島弧下のマントルウェッジの断片であることが示されている（Ozawa, 1988; Yoshikawa and Ozawa, 2007)。しかし、オルドビス紀の火成活動ののち花崗岩体の貫入や浅部テクトニクスによる剪断変形などによって二次的な改変を受けている（小澤ほか, 1988; 小澤ほか, 2013）。本研究では、このマントル断片に沈み込み帯における水-岩石反応の痕跡が残されているか否かを検討するため、蛇紋岩化および変成反応の履歴に着目して岩石組織の観察を行なった。この際、蛇紋石を始めとした含水鉱物の同定のために顕微ラマン分光法を用いた。試料は主に宮守岩体のテクトナイトメンバーから採取した。
宮守岩体は西側に接する白亜紀の人首花こう岩体や花こう斑岩の貫入による熱変成作用を考慮し、上書き関係に留意して岩石組織の観察を行なった。その結果、下のように形成ステージを区分した。
ステージ１：アンチゴライト蛇紋岩化作用 アンチゴライト(Atg)メッシュ組織と”劈開”かんらん石（Ol）（"cleavable" olivine）の形成によって特徴づけられる。Atgメッシュ組織では、かんらん石粒界もしくは粒子を横切るクラックから両側へ刃状のAtgが成長し、繊維状のリムを形成する。リム中央には磁鉄鉱が濃集する。
ステージ２：低温蛇紋岩化作用 リザダイト(Liz)のメッシュリムとクリソタイル(Ctl)のコアで構成される低温蛇紋石メッシュ組織によって特徴づけられる。
ステージ３：熱変成作用 熱源からの距離に応じて、変成Ol、滑石（Tlc）、再結晶Atgが生じている（小澤ほか(1988)では直方輝石と直閃石も報告されている）。変成Olの生成量は人首花こう岩体に近いほど多く、再結晶Atgの粒度は増加する。被熱温度が上がるにつれて再結晶Atg組織が放射状結晶が噛み合うinterlockingから、刃状結晶が互いに貫くinterpenetrating、結晶が大きく成長するovergrowingへと変化している。ステージ２の低温蛇紋石の構造変化がラマン分析によって確認できる。花こう岩体近傍では低温蛇紋石の形成が顕著である。
ステージ４：脆性剪断（日詰-気仙沼断層の活動に関連する） すべての組織を切る低温蛇紋石の剪断脈が発達する。
　最も古いステージとして認識されるAtg蛇紋岩化作用がどのような環境で起こったかは興味深い問題である。1試料ではあるが、Atgメッシュ組織の幅と磁鉄鉱の量には異方性が観察され、かんらん岩の構造形成と同様の応力場で形成された可能性を示す。Atgメッシュ組織は、少なくとも、比較的流動性の低いマントルでOl粒界が流体経路となりやすいことを示している。OlのAtg蛇紋石化率とかんらん岩のOpx量の関係を見ると、Opxの少ない岩石でより蛇紋岩化した傾向にある。すなわち、宮守岩体のAtg蛇紋岩化におけるSiO2源はOpxではなく、流入したH2O流体であったと考えられる。また、Ol粒界が流体経路となることとも整合的である。劈開Olは岩体に広く見られる（小澤ほか, 2013）のに対してAtgメッシュ組織の分布は局在するように見える。劈開OlとAtgメッシュ組織の両者が同一試料で観察されることは稀で、組織の違いは流体の供給量の違いを反映しているのかもしれない。今後、鉱物化学組成も合わせて蛇紋石組織の形成履歴を検討すると共に、ステージ１の流体移動の実態をより詳細に記載していきたい。
【引用文献】Nakajima and Hasegawa (2016) *Nature Comm.*, **7**, 1–7: Mizukami *et al.* (2014) *EPSL*, **401**, 148–158; Ozawa (1988) *CMP*, **99**, 159-175; 小澤ほか (1988) *岩鉱*, **83**, 150-159; 小澤ほか (2013) *地質雑*,

© 2021 Geological Society of Japan

119補遺, 134-153; Yoshikawa and Ozawa (2007) *Gondwana Res.*, **11**, 234-246.

Keywords: serpentinization, subduction zone, microtexture

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Zircon U-Pb age and trace element composition of metagabbro and psammitic schist of Hatto Formation and its equivalent of Jurassic high-*P/T* schist, Tottori-Okayama area, SW Japan

*Kosuke Kimura[1], Yuichiro Inaba[2], Tatsuya Harada[3], Yasutaka Hayasaka[4], Tomoyuki Shibata[4]

1. National Institute of Technology, Kure College, 2. Hokuden Engineering Consultants Co.,Ltd., 3. OYO Corporation, 4. Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University

SIMSやLA-ICP-MSを用いたジルコンのU-Pb局所年代測定は，数十年に渡る開拓と改良の結果，高い信頼性を勝ち得て，歴史科学としての地質学にとって欠かせないものとなっている．近年では珪長質岩だけでなく苦鉄質岩についても少しずつジルコンU-Pb法の適用例も増えており，再現性の良い正確な原岩形成年代が得られてきている．また，砕屑岩に含まれる砕屑性ジルコンのU-Pb局所年代法は，堆積年代および後背地を推定する上でも重要なツールとなっており，膨大なデータが蓄えられつつある．本研究では，鳥取県東部に分布するジュラ紀高圧型変成岩である八東層の変斑れい岩についてジルコンのU-Pb年代および微量元素組成の分析を行ない，同時に八東層および八東層以西に分布するジュラ紀高圧型結晶片岩の砕屑性ジルコン年代測定を行なった．

鳥取県八頭郡若桜町茗荷谷から採取した八東層の変斑れい岩は，主にソーシュライト化した斜長石，アクチノ閃石，ホルンブレンドからなり，縞状組織を示す．単斜輝石は残されていない．約3 kgの試料から分離された40粒程のジルコン粒子は破片状の外形を示し，CL像では波動累帯構造を示す．ウラン濃度は大部分が100 ppm未満と低いため誤差は大きいが，ディスコーダンスが10%未満の6点から約273 ±4 Maの重み付き平均年齢が得られた．またジルコンの微量元素組成は，Hf vs. U/Yb図およびY vs. U/Yb図 (Grimes et al., 2007)ではいずれもocean crust領域に，またSc, Nb, U, Ybを用いた判別図(Grimes et al., 2015)ではいずれもmid-ocean ridge領域からocean island領域にプロットされる．

八東層の砂質片岩2試料の砕屑性ジルコンU-Pb年代組成は，いずれも185–200 Maと250–260 Maの2ヶ所に大きなピークを持ち，400–500 Maにも小さなピークがそれぞれ見られる．また1試料には960–2050 Maの年代が数点認められる．八東層以西に分布するジュラ紀高圧型変成岩も，主要な2つのピークと400–500 Maのピークで構成されることは共通しているが，先カンブリア代のジルコン年代にはバリエーションがあり，1800–2500 Maのピークが目立つものや800 Ma前後のピークが目立つものなどもある．

今回八東層の変斑れい岩から得られた約273 Maは，そのTh/U比やジルコンの内部構造から火成年代と考えられる．茗荷谷の八東層の変斑れい岩からは西村・柴田(1989)によってジルコンU-Pb年齢よりも若い220 MaのK-Ar年代が報告されているが，これは冷却年代ないしジュラ紀の高圧型変成作用による若返りを反映していると考えられる．更に，丹波帯の緑色岩類からは約280–340 MaのSm-Nd年代が報告されており(佐野・田崎，1989)，この中では若いものと近い年代を示す．また，丹波帯の緑色岩には海山起原のものや海台起原のものが報告されているが，ジルコンの微量元素組成が大江山オフィオライトの粗粒斑れい岩(Kimura and Hayasaka, 2019)や御荷鉾緑色岩の苦鉄質岩(Sawada et al., 2019)中のジルコンと類似することを考慮すると，八東層の変斑れい岩はMORB，海山，あるいは海台起原であることが示唆される．

一方，今回得られた八東層およびジュラ紀高圧型変成岩の砕屑性ジルコン年代組成は，従来広く知られていた丹波-美濃-足尾帯の堆積年代付近と1800 Ma付近に大きなピークがあるという砕屑性ジルコン年代パターンとは異なるものが多い．しかしながら最近，岡山県南東部に分布するジュラ紀付加体から今回の八東層と類似した砕屑性ジルコン年代組成が報告されており(佐藤・脇田，2021)，ジュラ紀付加体およびジュラ紀高圧型変成岩の後背地を解明するためにも，今後より広くこれらの砕屑性ジルコン年代組成を把握する必要がある．

参考文献: 西村・柴田(1989) *地質学論集*, **33**, 343–357. Grimes et al. (2007) *Geology*, **35**, 643–646. Grimes et al. (2015) *Contrib. Mineral. Petrol.*, **170**, 46. Kimura and Hayasaka (2019) *Lithos*, **342–343**, 345–360. Sawada et al. (2019) *J. Asian Earth Sci.*, **169**, 228–236. 佐野・田崎(1989) *地質学論集*, **33**, 53–67. 佐藤・脇田(2021) *地質雑*, **127**, 245–250.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Hatto Formation, Zircon U-Pb age, Zircon chemistry, detrital zircon, Inner Zone of Southwest Japan

© 2021 Geological Society of Japan

Carbonatite metasomatism in Natash mantle xenoliths from the cretaceous rift-related volcanics in the southern part of the Eastern Desert of Egypt

*Natsue Abe[1,2], Shoji Arai[2], Adel A. Surour[3], Ahmed A. Madani[3]

1. JAMSTEC, 2. Kanazawa University, 3. Cairo University

エジプト東部沙漠地方南部のワディ・ナタッシュ地域にある地溝帯アルカリ玄武岩中に、激しく炭酸塩岩化したマントル捕獲岩が発見された。かんらん石と直方輝石の大部分が炭酸塩や石英に置換されているが、その微細組織と初生鉱物の化学的特徴から、これらが斜長石を含まないスピネルかんらん岩（レルゾライト～ハルツバージャイト）であることがわかった。Cr-spinelのCr#とMg#はそれぞれ0.06～0.45、0.73～0.81である。Cr-spinelのCr#とMg#の間には弱い負の相関がある。 直方輝石および単斜輝石の化学組成は，それぞれエンスタタイトおよびクロムディオプサイドの組成を示し，単斜輝石のTiO2含有量は、メルトの貫入を受けていない海洋底かんらん岩よりもわずかに高い。単斜輝石のNa2O含有量（>1.0 wt%）とAl(VI)/Al(IV)比（1.2-2.6）は大陸下のリソスフェリック・マントル起源であることを強く示唆している。 両輝石鉱物温度計を用いた平衡温度は約900℃で，これは他の地溝帯からの通常のスピネルかんらん岩捕獲岩の温度よりもわずかに低いことから、これらの試料が、海洋底かんらん岩よりも高い圧力下でマントルプロセス（減圧融解、マグマ上昇、交代作用など）を経験したことを示している。単斜輝石の微量元素化学的性質は、高いLREE/HREE比{(Ce/Yb)n=7}、高いLREE含有量(3.6ppm~30.0ppmのCe)、85.6ppm以上466ppm以下の高いSrなどは、典型的なマントル交代作用の特徴を示している。 また、非常に低いTi/Euと高いLREE/HREE比{>(Ce/Yb)nが3-4}，Ti/Eu比が1500より低い単斜輝石は，母岩である玄武岩に取り込まれる前に，炭酸塩または炭酸塩に富むメルトによる交代作用を受けた可能性がある。 玄武岩は殆ど炭酸塩岩化していないことから、研究対象となったマントルカンラン岩は玄武岩マグマの生成前に炭酸塩岩化したと考えられる。しかし、フロゴパイトの存在が示すとおり、K-交代作用より以前に炭酸塩岩化が起こったと考えられる。ワディ・ナタッシュ地域のかんらん岩は、地溝帯拡大の段階で炭酸塩に富むメルトによって変質したものである。本論文の結果は、ナタッシュ玄武岩がマントルかんらん岩の捕獲岩を伴って、エジプト東部沙漠地方南部の西端に位置するヌクラ-コム-オンボ-カリット大陸リフティングに伴う割れ目に沿って押し出されたことを示唆している。

Keywords: mantle metasomatism, Natash mantle xenoliths, Continental rift, Carbonatite

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) The formation process of entablature deduced from the structure and rock textures of the Genbudo Lava in Shizukuishi Town, Iwate Prefecture

*Takashi Hoshide[1], Nao Ishibashi[2], Keisuke Iwahashi[1]

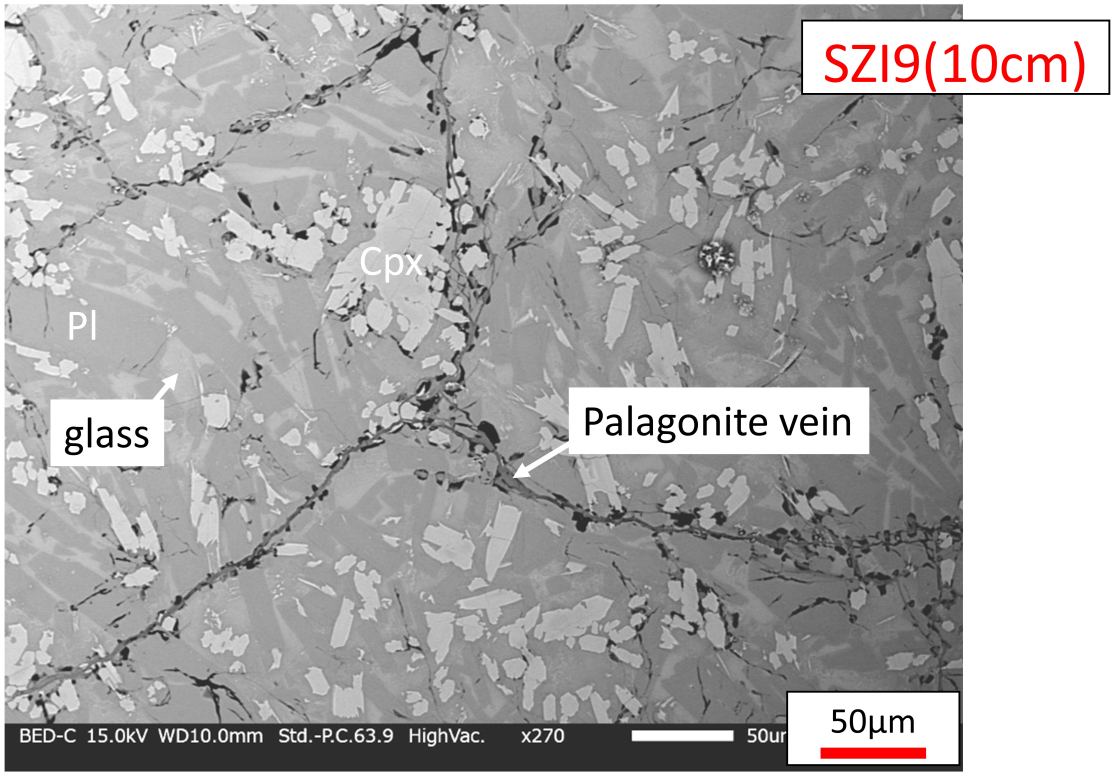
1. Graduate School of International Resource Sciences, Akita University, 2. Sojitz Pla-Net Corporation

厚い溶岩や溶結凝灰岩に発達する柱状節理には，colonnadeとentablatureと呼ばれる２つの構造が認められることがある。colonnadeでは，節理がつくる柱の幅が大きく直線的であるのに対し，entablatureでは柱の幅が小さく曲がっている。柱状節理の発達する岩体にこうした2つの構造が生じる原因については長年議論されているが，colonnade-entablature間の急激な構造転位の要因など，未だ明らかでないことが多い。そこで我々は，colonnadeとentablatureの両構造を有する岩体である岩手火山の玄武洞溶岩流（葛根田の大岩屋）を対象に，溶岩の内部構造観察，節理の形態観察，岩石組織観察を行い，entablatureの成因を考察した。
岩手火山の南西部に分布する玄武洞溶岩流は，新期網張火山群（中川，1987）の噴出物に属する玄武岩質安山岩溶岩である。岩手県雫石町の葛根田川沿いの「葛根田の大岩屋」には同溶岩流の末端が露出し，下位の火山礫凝灰岩との境界から溶岩流の上面までの厚さは約40-50 mである。溶岩流の下部10 mはcolonnade，中部25 mはentablature，凹凸のある最上部（5-10 m）からなる。colonnadeの柱の幅は50-70 cm程度である。柱の側面をつくるフラクチャーには，フラクチャーの段階的な伸展を示すchisel-mark（stria）が柱にほぼ垂直な方向に生じている。 entablatureに発達するフラクチャーがつくる構造は，見る方向によっては柱のように見えるが，複数の方向から観察すると厚さが5-10 cm程度の板状であることがわかる。この板状構造は2方向のフラクチャーによって形成されている。1つは広範囲にわたってほぼ平行に発達し表面が滑らかなメインフラクチャー，もう1つはメインフラクチャーにほぼ垂直に発達し凹凸の著しい表面をもつサブフラクチャーである。このサブフラクチャーの近傍は他の部分に比べて黒色緻密であり，サブフラクチャーの面にほぼ垂直に間隔2-3 cm，長さ5 cm程度の細かいミニフラクチャーが生じている。 溶岩流最上部には，溶岩本体から上方へ伸びる径1-5 m程度の突起状構造が発達し，突起と突起の間には同質の火砕岩が堆積している。突起状構造の表面に垂直な方向に多数のフラクチャーが発達する。突起状構造に隣接して同質の岩片からなるpyroclastic breccia が周囲を取り囲み，さらにその外側にtuff breccia が分布する。これらpyroclastic rockに含まれる岩片にはジグソーフィット構造が認められることがある。また，突起と突起の間にpsuedo-pillow structureをもつ球状の溶岩が認められた。
玄武洞溶岩の岩石組織を偏光顕微鏡とSEM-EDSを用いて観察した。Colonnadeや，Entablatureのサブフラクチャーから離れた部分の試料では，石基の結晶度が高く，斜長石や普通輝石のほかに磁鉄鉱や石英が生じ，ほぼ完晶質であった。それに対し，Entablatureのサブフラクチャー近傍の試料では，石基の結晶度が低く，火山ガラスが残存し，磁鉄鉱や石英はほとんど生じていなかった。また石基の普通輝石マイクロライトには，粒径数10 μmの半自形結晶と，粒径10 μm程度の樹枝状結晶の2種類が認められた。また，このEntablatureのサブフラクチャー近傍には，幅10 μm以下のpalagonite脈が網目状に分布し，palagonite脈に面した火山ガラスとの間には球状の気泡が生じていた。これらの観察から，玄武洞溶岩流のEntablatureに発達するサブフラクチャー近傍では，マグマが未固結の時期に，サブフラクチャーやそこから派生した薄いフラクチャーに沿って水が浸入し，そのことにより急冷が起きたと考えられる。溶岩流最上部の突起状構造や同質火砕岩は，溶岩流の上面に生じた鉛直方向のフラクチャーに沿って水が浸入し，水冷破砕が発生したことでできたと考えられる。

【引用文献】中川 光弘, 東北日本,岩手火山群の形成史, 岩石鉱物鉱床学会誌, 1987, 82 巻, 4 号, p. 132-150

© 2021 Geological Society of Japan

サブフラクチャー近傍試料に見られるパラゴナイト脈



© 2021 Geological Society of Japan

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

[1poster18-20] R3 [Regular Session]Eruption, volcanic evolution and volcanic products

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R3-P-1] Along-axis variation of eruptive styles on the spreading ridge inferred from the V1 unit in the northern Oman Ophiolite

*Yuki Kusano[1], Sumio Miyashita[2], Yoshiko Adachi[3], Susumu Umino[4] (1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Hokkaido Research Center of General Geology, 3. Central Research Institute of Electric Power Industry, 4. Kanazawa University)

4:30 PM - 7:00 PM

[R3-P-2] The 7.6 ka eruption of Mashu volcano, eastern Hokkaido, Japan: Explosive caldera-forming processes and generation of low aspect ratio ignimbrite

*TAKESHI HASEGAWA[1], Shohei Shibata[1], Tetsuo Kobayashi[2], Nobutatsu Mochizuki[3], Mitsuhiro Nakagawa[4], Hiroshi Kishimoto[4] (1. Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, 2. Research and Education Center for Natural Hazards, Kagoshima University, 3. Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, 4. Faculty of Science, Hokkaido University)

4:30 PM - 7:00 PM

[R3-P-3] (entry) Development of an automatic analysis system for volcaniclastic materials using Convolutional Neural Network: Automatic particle detection using object recognition algorithms.

*Kosuke Ishige[1], Shingo Takeuchi[1], Shimpei Uesawa[1], Kiyoshi Toshida[1] (1. Central Research Institute of Electric Power Industry)

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

Along-axis variation of eruptive styles on the spreading ridge inferred from the V1 unit in the northern Oman Ophiolite

*Yuki Kusano[1], Sumio Miyashita[2], Yoshiko Adachi[3], Susumu Umino[4]

1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Hokkaido Research Center of General Geology, 3. Central Research Institute of Electric Power Industry, 4. Kanazawa University

はじめに

1990年代以降，水深500 m以上の深海底で発生した爆発的な噴火が直接観察され，大洋中央海嶺でも噴火発生から間もなく観察することができるようになった（e.g. Rubin et al., 2012）．これらの深海底における噴火活動の観測は，1回の噴火における噴出物の産状とその分布を描き出すことを可能にし，噴火の継続時間，噴出量や噴出率をより詳細に明らかにしてきた．しかし，これらの溶岩の層厚や噴火履歴，すなわち海洋地殻の成長発達過程を現代の深海底で明らかにすることは非常に難しい．そこで我々は，中生代の海洋リソスフェアが陸上に衝上することによって形成された中東のオマーンオフィオライトにおいて，溶岩層序を地質学的・岩石学的に解析し，海嶺軸上及びその周辺の噴火活動を復元した．

火山岩の産状

Wadi Fizh地域におけるV1層の火山岩層序はKusano et al. (2012)で報告され，溶岩の産状に基づく岩相組み合わせによって，これらが海嶺軸上で形成され，その後海嶺拡大に伴って海嶺翼部に移動し，オフアクシス火山活動によってさらに上部地殻の層厚を増していたことが明らかになった．

Bani Ghayth地域では，層厚約900 mのV1層が確認できる．溶岩は，パホイホイ溶岩，ロベートシート溶岩，シート溶岩，マシブ溶岩に区分される．溶岩層の下部では，パホイホイ溶岩が上下方向に圧縮・癒着したレンズ上の形態で産し，遠目にはマシブ溶岩のように見える．ここではマシブ溶岩に伴われるごく薄い枕状溶岩を除くと，枕状溶岩は確認されない．海底で噴出した溶岩の産状は主に原地形（斜度），噴出率と冷却率によって変化する（White et al., 2015）ので，この地域の溶岩はかなり平坦な地形に噴出したことが推定される．そこで，パホイホイ溶岩が袋状に産する層厚を，枕状溶岩が形成される噴出率に疑似近似して，Wadi Fizh地域で確認された岩相組み合わせを適用する．その結果，下部は海嶺軸部で，上部は海嶺翼部～オフアクシスで形成されたと考えられる．最上部の層厚400 mは，溶岩層下部との化学組成の違いからオフアクシス火成活動によって形成された可能性が高い．

海嶺セグメントによる溶岩の産状変化

Wadi Fizh地域とBani Ghayth地域は， 2～3次の海嶺セグメント（Adachi and Miyashita, 2003; Miyashita et al. 2003; Umino et al. 2003）の境界部と中心部に相当する．プレート拡大速度を一定とみなすと，マグマ供給率の高いセグメント中心部ではマグマの貫入・噴出が拡大を担い，供給率が低い境界部ではマグマの貫入よりも構造的な拡大が先行すると考えられ，この違いは火山岩の産状の変化などに現れると期待される．

両地域の溶岩の産状を比較すると，1）溶岩層序における枕状溶岩の比率の違い，2）1枚の溶岩の厚さの違い，3）どちらにもオフアクシス火成活動が起こっていることが認められる．これらの違いから海嶺セグメント位置による火成活動の系統的な変化を推定してみる．セグメント境界部では枕状溶岩が全体の30%を占めるが，中心部ではほとんど形成されていないことから，セグメント境界部のほうがより地形の起伏に富み，相対的に噴出率が低かったと考えられる．また，セグメント境界部では溶岩ユニット1層が厚くユニット数は少ないが，中心部では溶岩ユニット1層が薄く，ユニット数は多い．これは，噴出イベントの規模と頻度の違いによると考えられ，セグメント境界部では噴出イベントは少ないものの1回のイベントは大規模になる一方，中心部では小規模な噴出イベントが頻繁に発生することを示唆している．

双方でオフアクシス火成活動が認められるものの，セグメント境界部では軸上火成活動とは異なる化学組成の溶岩を噴出しているのに対して，中心部はほとんど化学組成に変化がない．マグマ供給率が低いセグメント境界部では，海嶺軸下マグマ溜まりを経由しなかったマグマがオフアクシスで噴出するのに対して，供給率が

© 2021 Geological Society of Japan

高いセグメント中心部では海嶺軸部で噴出できなかった余剰のマグマをオフアクシスで噴出させているのかもしれない.

引用文献

Adachi and Miyashita, 2003, G^3.,4, 8619.
Kusano et al., 2012, G^3., 13, Q05012.
Miyashita et al. 2003, G^3.,4, 8617.
Rubin et al., 2012, Oceanography, 25, 142-157.
Umino et al. 2003, G^3.,4, 8618.
White et al., 2015, In The Encyclopedia of Volcanoes, 2nd Ed, 363-375.

Keywords: Pillow lava, Ridge segment, Oman Ophiolite, Volcanic stratigraphy

© 2021 Geological Society of Japan

The 7.6 ka eruption of Mashu volcano, eastern Hokkaido, Japan: Explosive caldera-forming processes and generation of low aspect ratio ignimbrite

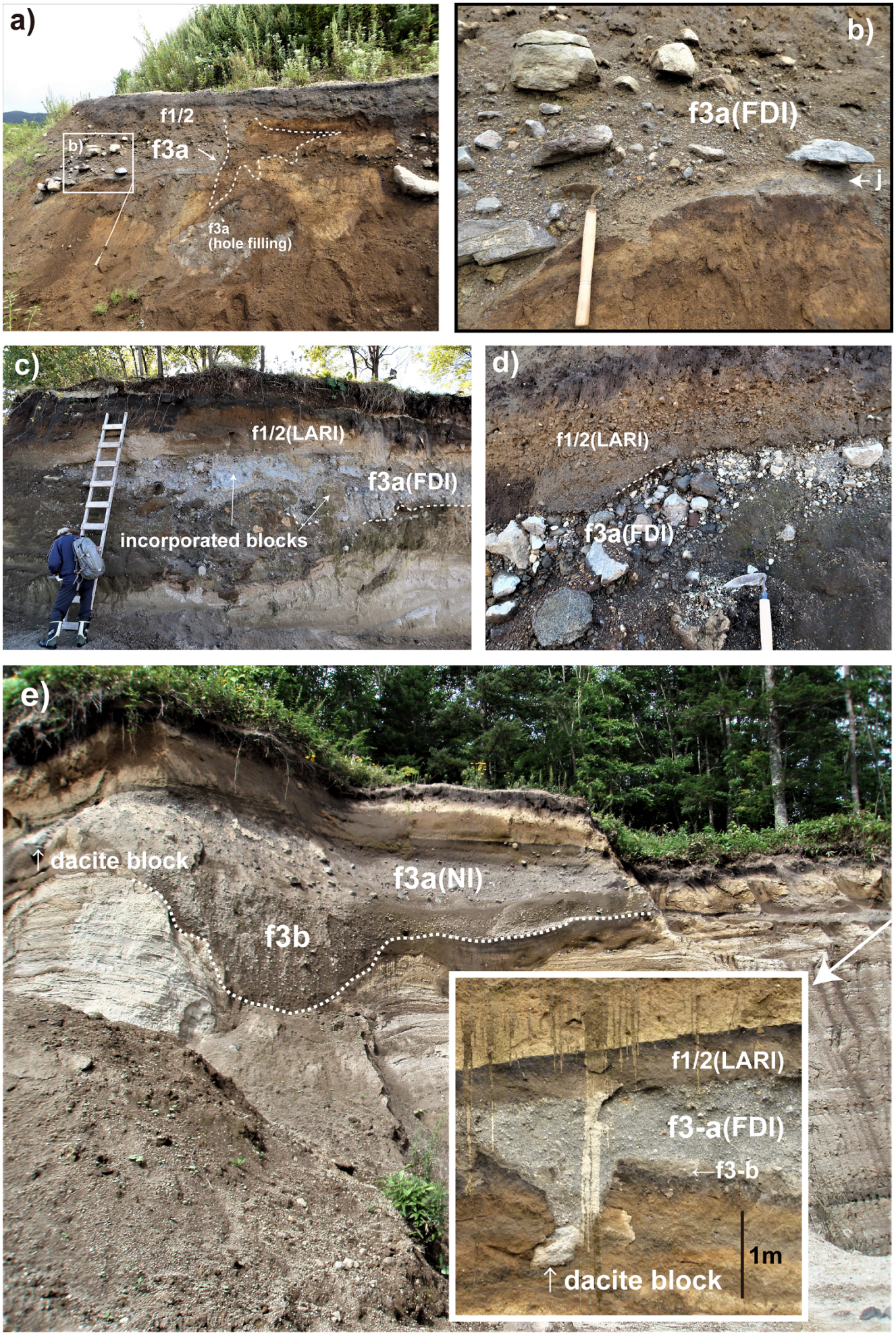
*TAKESHI HASEGAWA[1], Shohei Shibata[1], Tetsuo Kobayashi[2], Nobutatsu Mochizuki[3], Mitsuhiro Nakagawa[4], Hiroshi Kishimoto[4]

1. Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, 2. Research and Education Center for Natural Hazards, Kagoshima University, 3. Department of Earth and Environmental Sciences, Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, 4. Faculty of Science, Hokkaido University

We present a stratigraphy of the 7.6-ka eruption at Mashu volcano and the formation process of its summit caldera based on geological, petrological and paleomagnetic investigations. The eruption products consist of an initial phreatomagmatic unit (Ma-j) and the overlying three pumice-fall layers (Ma-i, -h, and -g), which are in turn overlain by pyroclastic-flow deposits (Ma-f) as previously described (Katsui et al., 1975). We divide Ma-f into 4 subunits: Ma-f1/2, Ma-fAc, Ma-f3a and Ma-f3b in descending order. Ma-f3b is a valley-ponding, pumice-flow deposit with limited distribution. Ma-f3a comprises fines-depleted facies (FDI) and normal matrix-supported facies (NI), the two changing across topography. The FDI is characterized by a gray, clast-supported and lithic-breccia-rich layer with materials incorporated from the substrate. Impact sag structures from large (> 50 cm) dacite ballistic blocks were recognized at the base of the Ma-f3a within 10 km from source. Ma-fAc is a minor eruption unit consisting of accretionary lapilli. Ma-f1/2 is a most voluminous (8.8 km^3), widely distributed and weakly stratified ignimbrite. Both Ma-f3a and Ma-f1/2 can be classified as low aspect ratio ignimbrite. Dacite lithic fragments are ubiquitously observed throughout the sequence and are not considered to be juvenile; they have distinctly different chemical compositions from the pumice fragments in the early pumice-fall (Ma-g~Ma-i) and pyroclastic-flow (Ma-f3b) deposits. The caldera-forming eruption of the Mashu volcano was initiated by Plinian fall (Ma-j ~ -g), and then, a small-volume ignimbrite (Ma-f3b) was deposited by a valley-confined pyroclastic flow from partial column collapse. After that, a violent pyroclastic flow was generated during a strong explosion of a dacite lava edifice on the summit of Mashu volcano. Ma-f3a flow was extremely fast. Ma-f1/2 flow was related to sustained flow due to low settling velocity and high discharge volume. These are supported by field observations and numerical simulation that shows the ability of the flow to surmount high topographic obstacles and spread widely. The caldera-forming process of Mashu volcano was driven not only by subsidence of roof block but also by violent explosions.
Katsui, Y., Ando, S. and Inaba, K. (1975) *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, **16**, 533-552.

Keywords: Mashu volcano, caldera, low aspect ratio ignimbrite, paleomagnetical investigations, chemical compositions

© 2021 Geological Society of Japan



© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Development of an automatic analysis system for volcaniclastic materials using Convolutional Neural Network: Automatic particle detection using object recognition algorithms.

*Kosuke Ishige[1], Shingo Takeuchi[1], Shimpei Uesawa[1], Kiyoshi Toshida[1]

1. Central Research Institute of Electric Power Industry

【はじめに】
火砕物を構成する粒子は，噴火様式やマグマの性状などの情報を保持すると考えられており，その構成分率解析や形状解析は地質調査において基本的かつ重要な作業である．しかし，解析における粒子種別の肉眼鑑定作業は判断の標準化が難しく労力がかかる為，効率化が求められている．
近年，機械学習による画像処理をベースとした火山灰解析の自動化を目指す研究が行われている（例えば, Shoji *et al.*, 2018）．このような研究の多くは粒子解析装置を用いて，大量の粒子を含む画像から個々の粒子画像を効率的に収集し利用している．しかし，先行研究では粒子画像の色情報が失われている為，後工程の画像処理において肉眼鑑定と同様の判断を紐付ける事が困難であった．また装置の特性上，粒子の上限サイズに制約があり，火山礫サイズ以上の解析は依然，手作業の置換が難しい．
そこで本研究では，光学設計の自由度が高く，粒子の密集や接触，小さな粒子に対しても堅牢で効率的に粒子解析を行える手法を検討した．その結果，畳み込みニューラルネット（CNN)をベースとする，粒子検出モデルと粒子分類モデルを組み合わせた画像解析システムを開発した．本発表では，当該システムの中核となる粒子検出モデルの構築と評価結果について報告する．

【システム概要】
開発した画像解析システムは，スキャナやカメラで取り込んだ大量の粒子を含む画像から，物体検出CNNを用いて個々の粒子の位置を自動で検出し，RGB情報を保持した個別の粒子画像を生成する機能を有する．
ここで，画像認識問題における物体検出は，画像内に含まれる関心対象の物体を自動的に背景から区別して位置を特定する手法であり，現在まで様々なアルゴリズムが提案されている．近年では大量の画像データからパターンやルールを学習し，予測に用いるCNNアルゴリズムの精度向上が著しい．
本研究では， You Only look once (YOLO)と呼ばれる，精度を保ちつつ高速処理が可能なCNNベースの物体検出アルゴリズムに注目し，YOLOシリーズの中でも比較的新しいYOLOv3，YOLOv3-spp，YOLOv4及びYOLOv4-cspのモデルについて検討を行った．

【データセットと学習】
本研究では，粒子検出に特化した画像データセットを作成した．粒子として，霧島山(新燃岳)2011年1月噴火，浅間山1783年噴火の降下火山灰，富士山1707年噴火の降下火砕物及び姶良カルデラ噴火大隅降下軽石の人工粉砕物を用いた．粒径は500 μm～4,000 μm である．画像撮影には家庭用のスキャナを用い，画像一枚当たり数粒～約550粒の粒子を分散するよう配置し撮影した．得られた画像に対しては策定したルールに基づいた手作業による粒子の注釈付けを実施した．
このようにして780枚の注釈済み画像を準備した．このうち524枚を学習用とし，128枚の2セットを検証用及びテスト用とした．また，学習用データについては画像水増し処理を実施し，データセット
L，M，S（4,200枚，480枚，48枚）を作成した．
これらのデータセットを基に，C言語ベースの深層学習フレームワークであるDarknetを利用して粒子検出モデルを構築した．

【結果と考察】
まずデータセットLを用いてモデル別に学習を実行した結果，最新モデルであるYOLOv4-cspが最もスコアが良

© 2021 Geological Society of Japan

く，信頼度閾値0.5における再現率が99.58%，平均IoUが92.63%となった．YOLOv4は僅差で次点となり，YOLOv3及びYOLOv3-sppはYOLOv4-cspに対して再現率が約0.４％，平均IoUが約１%低い結果となった．これは，YOLOv4におけるネットワークの改良が精度向上に寄与したと考えられる．
次に，YOLOv4-cspを用いて学習データサイズの違いによる精度を比較した結果，データセットLを用いた場合が最も精度が良く，データセットMは若干の精度悪化が認められた．データセットSは学習途中で過学習による精度悪化が観察された．
以上のことから，YOLOv4-cspを数千枚規模のデータで学習することによりベストモデルが得られることが分かった．このベストモデルの検出精度は，後工程の粒子分類モデルによる処理や形状測定に十分と判断している．今後は得られた個別の粒子画像を用いて，専門家の判断を紐付けた粒子分類モデルを開発し，鑑定作業全体の標準化及び効率化を目指す．

引用文献

Shoji, D., Noguchi, R., Otsuki, S. and Hino, H. （2018） Classification of volcanic ash particles using a convolutional neural network and probability. Scientific Reports.

Keywords: Machine Learning, Volcano, Convolutional Neural Network, particle, image analysis

© 2021 Geological Society of Japan

Poster | R4 [Regular Session]Metamorphic rocks and tectonics

[1poster21-29] R4 [Regular Session]Metamorphic rocks and tectonics

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R4-P-1] (entry) Metamorphic condition of the Ryoke metamorphic rocks in Kitsuki area, Kunisaki Peninsula, Oita prefecture, Japan

*Kentaro Mutabaru[1], Toshiaki Shimura[1] （1. Yamaguchi Univ.）

4:30 PM - 7:00 PM

[R4-P-2] (entry) Metamorphic zoning and *P–T* condition of contact aureole around the Kibe cauldron, Yamaguchi prefecture, Japan.

*Kakeru SAKAMOTO[1], Toshiaki SHIMURA[1] （1. Yamaguchi Univ.）

4:30 PM - 7:00 PM

[R4-P-4] Serpentinization of the Takadomari body in the Kamuikotan zone of Hokkaido, Japan: Results of TG-DTA, density and magnetic susceptibility analysis of tunnel boring core

*Shusaku Yamazaki[1], Masakazu Fujii[2], Toshiyuki Kurahashi[1] （1. Civil Engineering Research Institute for Cold Region, 2. National Institute of Polar Research）

4:30 PM - 7:00 PM

[R4-P-5] (entry) Evaluation of the thermal effect of intrusion of the Kaikomagatake granitic body by metamorphic temperature estimates and thermal modeling for basement rocks of the Outer Zone of Southwest Japan in the northern part of the Akaishi Mountains area

*Yuki Nobe[1], Hiroshi Mori[1], Hiroki Mizumura[1,2], Ken Yamaoka[3], Yui Kouketsu[4], Tetsuya Tokiwa[1] （1. Shinshu University, 2. Kyowa Sekkei Co., Ltd., 3. The University of Tokyo, 4. Nagoya University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R4-P-6] Roll-up structure due to the collision of Izu arc revealed from the shear sense of the Sanbagawa metamorphic rocks along the MTL in the Akaishi area

*YUKI AWAYAMA[1], HIDEO TAKAGI （1. Waseda University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R4-P-7] Oxygen and hydrogen isotope variations of phengite along orogen-perpendicular traverse of the Sambagawa Belt in central Shikoku: A reconnaissance study

*Tatsuki Tsujimori[1], Hironobu Harada[1], Tetsumaru Itaya[2], Daniel Pastor-Galán [1], Antonio M. Á lvarez-Valero[3] （1. Tohoku University, 2. Japan Geochronology Network, 3. University of Salamanca）

4:30 PM - 7:00 PM

[R4-P-8] (entry) Relation between existence of ca. 1.9–1.85 Ga metamorphic zircons and metamorphic facies in the Yeongnam Massif, South Korea

*Kenichiro IWAMIZU[1,2], Yasutaka HAYASAKA[1], Ji-Hoon KANG[3], Kosuke KIMURA[1,4], Tomoyuki SHIBATA[1] （1. Hiroshima Univ., 2. The Univ. of Tokyo, 3. Andong Nat. Univ., 4. Nat. Inst. of Tech., Kure College）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

[R4-P-9] Calculation of diffusion profiles using the analytical solution for anisotropic diffusion in a finite cylinder

*Tadashi Usuki[1] （1. Department of Geosciences, National Taiwan University）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

(entry) Metamorphic condition of the Ryoke metamorphic rocks in Kitsuki area, Kunisaki Peninsula, Oita prefecture, Japan

*Kentaro Mutabaru[1], Toshiaki Shimura[1]

1. Yamaguchi Univ.

杵築地域は大分県国東半島の南部に位置する地域である。この地域には領家変成岩類が分布している(唐木田ほか, 1968；森山ほか, 1983；石塚ほか, 2005)。杵築地域は中新世以降の火山岩類及び火砕流堆積物に広く覆われており、より下位の白亜紀領家変成岩類の露出は小規模である。石塚ほか(2005)では本地域の領家変成岩類の変成度について、山口県柳井地域における珪線石–カリ長石帯に相当するのではないかという指摘をした。本研究では、この地域における領家変成岩類の変成履歴について検討した。
杵築地域の領家変成岩類は本地域北西部の太田俣水、波多方、小武に点在している。主として泥質片麻岩及び珪質片麻岩、一部で角閃岩が分布しており、片理面の走向傾斜は主に東西方向、北傾斜である。深成岩類は牛屋敷周辺に白雲母黒雲母花崗岩、倉成周辺に角閃石黒雲母花崗閃緑岩が分布している。角閃石黒雲母花崗閃緑岩は面構造が発達しており、一部で泥質片麻岩を捕獲している。
杵築地域に分布する泥質片麻岩の主な鉱物組合せは以下のとおりである。
鉱物組合せI： Sil + Ms + Kfs + Grt + Bt + Pl + Qz (± And)
鉱物組合せII： Sil + Kfs + Grt + Bt + Pl + Qz
なお、鉱物組合せIは本地域内に広く見られ、副成分鉱物として電気石を含む。鉱物組合せIIは北東部、及び南東部の一部で見られる傾向がある。黒雲母のチタン含有量は鉱物組合せIIがより高く、X_{Mg}は鉱物組合せIがより高い値を示す。またざくろ石は、*Alm*成分に富み、鉱物組合せIIは*Sps*成分と*Grs*成分にわずかに富む組成を示す。また、コアからリムにかけて*Alm*成分の減少、*Sps*成分の増加が見られる。
鉱物組合せからみて、本研究地域では、次の２つの変成反応が重要であろう。
（１） And = Sil
（２） Ms + Qz = Als + Kfs + H_2O
ここで、*P–T*図上で反応（１）は負の傾斜を、反応（２）は正の傾斜をもち、両者は互いに交差する。したがって2つのバソゾーン（例えばCarmicheal, 1978）を定義することができる。本研究地域では、２つのバソゾーン（以下のAとB）を認識できる。そしてそれらのバソゾーンはさらに、温度条件から３つの*P–T*領域（以下の１・２・３）に区分できる。
バソゾーン A（低圧条件、*P* < 約2.2 kbar）
*P–T*領域 A-1 (より低温条件)、And + Msが共存
*P–T*領域 A-2 (中間的条件)、And + Kfsが共存
*P–T*領域 A-3 (より高温条件)、Sil + Kfsが共存
バソゾーン B (高圧条件、*P* > 約2.2 kbar)
*P–T*領域B-1 (より低温条件)、And + Msが共存
*P–T*領域 B-2 (中間的条件)、Sil + Msが共存
*P–T*領域 B-3 (より高温条件)、Sil + Kfsが共存

鉱物組合せIについて、鏡下の組織において以下の2つの昇温期の変成反応が、以下の順に起きたことが認識できる。
And →Sil
Ms + Qz →Sil + Kfs + H_2O
また、後退期においては、変成反応組織として以下の2つが認識できる。
Sil →And
Sil + Kfs + H_2O →Ms + Qz
以上のことを踏まえると、鉱物組合せ I において、昇温期にはより高い圧力条件(バソゾーンB：*P* > 2.2

© 2021 Geological Society of Japan

kbar)で温度上昇したが、後退期にはより低い圧力条件(バソゾーンA：$P < 2.2$ kbar)で温度低下したといえる。したがって、本研究地域の領家変成岩類は、時計回りの変成*P–T–t*経路を経験している。鉱物組合せIIは、バソゾーン区分Bにおける領域B-3に相当する温度圧力条件を経験したといえる。また鉱物組合せIIが見られる岩石の分布から、鉱物組合せIIは一部接触変成作用を被ったことによるものである可能性がある。

引用文献

Carmichael, D. M. (1978) *Amer. Jour. Sci.*, **278**, 769–797.
石塚吉浩ほか(2005)　5万分の1地質図幅　「豊後杵築地域」　産総研，11–18.
唐木田芳文ほか(1968) 地質学論集, **4**, 3–21.
森山善蔵ほか(1983)　大分大学教育学部，29–62.

Keywords: Kitsuki area, Ryoke metamorphic belt, metamorphic condition, bathozone

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Metamorphic zoning and *P–T* condition of contact aureole around the Kibe cauldron, Yamaguchi prefecture, Japan.

*Kakeru SAKAMOTO[1], Toshiaki SHIMURA[1]

1. Yamaguchi Univ.

はじめに　山口県宇部市と美祢市の境界付近の先白亜系は、周防変成帯に属している。岸ほか(2007)は、この地域に天郷深成貫入岩類、黒五郎深成岩類、岩郷山花崗岩類からなる白亜紀深成複合岩体が貫入していることを報告した。それぞれのK–Ar年代は97.9 ±2.2 Ma、94.0 ±4.8 Ma、92.8 ±2.0 Maであり、全体として「吉部コールドロン」を形成していたとしている。この深成複合岩体の貫入により、周囲の周防変成岩類は接触変成岩になっている(瀬尾, 1976)。本研究では、この接触変成岩類について、鉱物組合せ・変成分帯・変成*P–T*条件について検討した。

地質概要　本研究地域には主に変成岩類と花崗閃緑岩類が分布している。変成岩類は接触変成岩類(主として泥質片岩で、少量の石灰珪質片岩を伴う)と、源岩の周防変成岩類で構成され、花崗閃緑岩類は黒雲母-単斜輝石-角閃石花崗閃緑岩、単斜輝石-黒雲母-角閃石花崗閃緑岩の2種類に区分できる。地域中央部には花崗閃緑岩が分布する。花崗閃緑岩類の周縁部には幅約500 mの接触変成岩類が分布し、ほとんどが泥質片岩であるが、石灰珪質片岩が厚さ10 cm～30 cm程度のレンズ状をなして産する。さらにその周縁部には接触変成作用を被っていない周防変成岩類が分布する。

変成分帯　泥質片岩について鉱物出現・消滅アイソグラッドを検討し、以下のように変成分帯を行った。泥質片岩の主要な鉱物組合せは以下の通りである。

Zone Ⅰ(菫青石帯) : Qz + Pl + Ms + Bt + Crd + (Chl)
Zone Ⅱ(紅柱石帯) : Qz + Pl + Ms + Bt + And + Crd
Zone Ⅲ(カリ長石帯) : Qz + Pl + Bt + Ms + Kfs + Crn +And + Crd + Ilm
Zone Ⅳ(ざくろ石帯) : Qz + Pl + Bt + Kfs + Opx + Crd + And + Spl + Alm
Zone Ⅴ(スピネル帯) : Qz + Pl + Bt +Kfs + Opx + Crd + And + Spl
Zone Ⅵ(珪線石帯) : Bt + Opx + Pl + Kfs + Crd + Qz + Spl + Sil + Ilm

また、Zone Ⅰ、Zone Ⅵにみられる石灰珪質片岩の主要な鉱物組合せは以下の通りである。

Zone Ⅰ(菫青石帯) : Ep + Amp + Pl + Qz
Zone Ⅵ(珪線石帯) : Pl + Cpx + Cal + Qz + Grs

鉱物化学組成　泥質片岩の構成鉱物の化学的特徴は以下の通りである。なお、本要旨ではX_{Mg} = Mg / (Fe^{2+} + Mg)、X_{Mg}* = Mg / (total Fe + Mg)、*An* = 100 ×Ca / (Ca + Na + K) とする。なおスピネル類のFe^{2+}とFe^{3+}は化学量論を用いて計算した。斜長石は*An* = 2.0～43.9 %を示し、Zone ⅠからZone Ⅵにかけて*An*成分が増加する。黒雲母はX_{Mg} = 0.34～0.62であり、Ti含有量にはばらつきがみられる。白雲母はX_{Mg} = 0.53～0.61であり、Al含有量にはばらつきがみられる。直方輝石はX_{Mg} = 0.42～0.43である。スピネルはX_{Mg}* = 0.29～0.33で、Zn = 0.002～0.007 apfu、Cr = 0.005～0.020 apfu である。Zone Ⅳのざくろ石の組成は$Alm_{55.4\sim58.7}Prp_{41.0\sim44.3}Sps_{0.2\sim0.5}Grs_{0.1}$を示し、almandine成分に富む。 なお、石灰珪質片岩の構成鉱物の化学的特徴は以下の通りである。斜長石は*An* = 85.2～99.0 %を示す。単斜輝石はX_{Mg} = 0.68～0.79で、diopsideの組成を示す。ざくろ石の組成は$Alm_{10.5\sim16.8}Prp_{1.3\sim2.2}Sps_{0.4\sim1.3}Grs_{80.1\sim87.5}$を示し、grossular成分に富む。

変成*P-T*条件　上記のデータをもとに接触変成作用のピーク時の変成*P–T*条件を計算すると、変成圧力条件は約80 MPaで、変成温度条件は、Zone Ⅰで約500 ℃、Zone Ⅱで500～550 ℃、Zone Ⅲで550～600 ℃、Zone Ⅳ・Zone Ⅴで約600～750 ℃、Zone Ⅵは750 ℃程度以上という結果が得られた。すなわち、最高変成度は輝石ホルンフェルス相の条件に達していると推測される。吉部コールドロンのマグマ溜まりの深度は、約2.4 kmであったと推定できる。

引用文献

岸 司ほか (2007) 地質雑, **113**, 479-491.
瀬尾孝文 (1976) 小島丈兒先生還暦記念論文集, 276-285.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Kibe cauldron, contact metamorphism, metamorphic zoning, mineral chemistry

© 2021 Geological Society of Japan

Serpentinization of the Takadomari body in the Kamuikotan zone of Hokkaido, Japan: Results of TG-DTA, density and magnetic susceptibility analysis of tunnel boring core

*Shusaku Yamazaki[1], Masakazu Fujii[2], Toshiyuki Kurahashi[1]

1. Civil Engineering Research Institute for Cold Region, 2. National Institute of Polar Research

北海道の神居古潭帯を代表とするかつてのプレート沈み込み運動で形成された地質帯には、沈み込む海洋地殻の脱水に伴い、その上部のマントルウェッジかんらん岩が蛇紋岩化し上昇したと考えられる大小様々な蛇紋岩岩体が露出している。しかしながら地表部では土壌・植生に覆われ、また、蛇紋岩類は風化の影響が強く、マントルウェッジかんらん岩、蛇紋岩化帯、高圧変成岩の組み合わせを空間的かつ連続的に観察・解析することは困難である。そこで本研究では、神居古潭帯の低温高圧型の変成岩類（幌加内ユニット）に近接する、幌加内オフィオライトのマントルセクション（鷹泊蛇紋岩岩体）の縁辺部に建設された幌加内トンネル(延長1241m）の2009年建設時に採取された水平（先進）ボーリングコア試料から地表の風化作用を受けていない蛇紋岩類を採取し、マントルウェッジかんらん岩～スラブ境界付近に相当する領域で形成されたと考えられる蛇紋岩化帯の形成プロセスの解明を試みた。解析手法としては、塊状蛇紋岩を対象とした岩石薄片の記載、XRDによる鉱物相の解析、磁化率計による測定、ガス置換法による真密度測定、TG-DTAによる示差熱重量分析を行い、蛇紋岩類の分類を行った。

幌加内トンネルに沿って採取された延長約1240ｍの連続水平ボーリングコア試料には、全体に葉片状の蛇紋岩をマトリックスに、大小さまざまな塊状蛇紋岩ブロックを伴う産状が認められた。採取した塊状蛇紋岩50試料の薄片観察から、かんらん石・斜方輝石がわずかに残る1試料を除き、すべての試料が100%の蛇紋岩化を被っており、初性鉱物としてクロムスピネルのみが残存している。塊状蛇紋岩類はハルツバージャイト・ダナイトを源岩としており、神居古潭帯の変成岩類（角閃岩・緑色片岩・青色片岩を主体とする幌加内ユニット）との境界との距離に対応して、蛇紋岩化の様式に違いが認められた。境界から離れた鷹泊岩体側の蛇紋岩は初性的なかんらん岩の組織を残し、リザーダイト・クリソタイルによるメッシュ状の蛇紋岩組織で特徴づけられる。次に、源岩・メッシュ状蛇紋岩組織の一部が繊維状・放射状のアンチゴライトに置換された蛇紋岩が出現し、岩体の最縁辺部で全体が繊維状・綾織状のアンチゴライトに交代され源岩組織が消失したアンチゴライト蛇紋岩へと遷移する。アンチゴライト蛇紋岩はメッシュ状蛇紋岩に比べて豊富に磁鉄鉱を含み、クロムスピネルの全体あるいは一部を磁鉄鉱が交代する、また、一部にパッチ状の炭酸塩鉱物（ドロマイト・マグネサイト）を伴う。また、アンチゴライト蛇紋岩の分布箇所に限り、神居古潭帯の変成岩類をブロックとして伴っている。この蛇紋岩化様式の変化からは、沈み込み帯におけるスラブ起源流体によるマントルかんらん岩の交代作用の前線を捉えている可能性が示唆される。

塊状蛇紋岩類の物性測定結果として、真密度は2.45-2.78 g/cm^3、磁化率は0.05−0.28 χ cm^3/gの幅を示し、真密度が増加すると磁化率が増加する直線的な相関関係を示した。また、上記の岩相変化に対応して、メッシュ状蛇紋岩は低密度・低磁化率側に、綾織状アンチゴライト蛇紋岩は高密度・高磁化率側にプロットされる。これは蛇紋岩化の程度に加えて、蛇紋岩化のタイプ・遷移関係を密度あるいは磁化率測定により判別可能であることを示している。また示差熱重量分析の結果、320-420℃にブルーサイトの脱水反応、450-550℃に炭酸塩鉱物（あるいは緑泥石）の分解（脱水）反応が、蛇紋石類の脱水反応として500-700℃にリザーダイト＋クリソタイルの低温側の脱水反応が、680-790℃にアンチゴライトの高温側での脱水反応が確認された。また、820℃付近にカンラン石・斜方輝石の結晶化の発熱反応が認められた。320-420℃の重量変化から推定されるブルーサイト含有量は0.3-19.4wt%となり、大まかな傾向としてメッシュ状蛇紋岩で高い含有量（>5wt%）を示し、アンチゴライト化試料で比較的低含有量である。また、蛇紋石の低温側・高温側の脱水反応による重量変化の比から、アンチゴライト化の大まかな交代比が推定可能であると考えられる。

このように、100%蛇紋岩化した蛇紋岩類を対象に熱重量分析・密度・磁化率測定を組み合わせた解析を行

© 2021 Geological Society of Japan

うことで、アンチゴライト・リザーダイトの量比、ブルーサイト含有量、炭酸塩鉱物、磁鉄鉱含有量の推定が可能となり、磁化率変化、密度、含水量の変化範囲と岩相変化の対応関係を精度良く説明でき、また蛇紋岩類の幅広い物性値幅の解釈が可能となると考えられる。

Keywords: Serpentinite, Thermal analysis, Magnetic susceptibility, Kamuikotan zone, Boring core sample

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Evaluation of the thermal effect of intrusion of the Kaikomagatake granitic body by metamorphic temperature estimates and thermal modeling for basement rocks of the Outer Zone of Southwest Japan in the northern part of the Akaishi Mountains area

*Yuki Nobe[1], Hiroshi Mori[1], Hiroki Mizumura[1,2], Ken Yamaoka[3], Yui Kouketsu[4], Tetsuya Tokiwa[1]

1. Shinshu University, 2. Kyowa Sekkei Co., Ltd., 3. The University of Tokyo, 4. Nagoya University

【はじめに】中期中新世以降の日本海拡大と伊豆–小笠原弧の本州弧への衝突（Hyodo & Niitsuma, 1986）に関連して，中部地方・赤石山地における西南日本外帯の基盤地質構造は大きく改変され，三波川帯，秩父帯および四万十帯の帯状配列が南北走向に屈曲するとともに，大規模な“ねじ曲がり構造”の存在も推定されている（e.g. 松島, 1997）．このことは，赤石山地の西南日本外帯基盤岩が一体となって深部から上昇してきたことを示しており，同地域の基盤岩研究は，中期中新世以降のテクトニクスに関する深部活動履歴の究明に重要であるといえる．ねじ曲がり構造の軸部にあたる小渋川地域では，炭質物ラマン温度計を用いた変成温度解析が行われ，秩父帯から四万十帯にかけてねじ曲がりに起因した温度上昇も検出されている（森ほか, 2021）．一方，小渋川地域より北の赤石山地北部では，ねじ曲がり構造の影響が顕著であると考えられるものの，甲斐駒ヶ岳花崗岩体が大規模に貫入しており，温度構造解析に基づく基盤岩評価には，この貫入熱影響を考慮する必要がある．そこで本研究では，赤石山地北部・黒川地域の西南日本外帯基盤岩を対象に，変成温度解析と熱モデリングを併用した貫入熱影響評価を行った．

【地質概要】黒川地域では，西から三波川帯，戸台層，秩父帯，および四万十帯が分布し，三波川帯，秩父帯，および四万十帯は主に付加体構成岩類もしくは付加体起源の変成岩類，戸台層は浅海性堆積岩類からなる．また，四万十帯東部では，中期中新世の定置年代をもつ甲斐駒ヶ岳花崗岩が貫入する（e.g. Watanabe et al., 2020）．

【アプローチの概要】変成温度解析では，炭質物ラマン温度計（Aoya et al., 2010; Kouketsu et al., 2014）を用いて，甲斐駒ヶ岳花崗岩周辺の最高到達温度を推定し，温度分布の詳細を把握する．また，熱モデリングでは，瞬間的なマグマ貫入を仮定した１次元の熱伝導方程式に基づく熱計算を用いて，炭質物ラマン温度計により見積もられた温度分布に対するフィッティングを行い，貫入時のマグマの初期温度（マグマ温度）を制約する．そして，制約されたパラメータの妥当性を評価することで，天然に記録された温度分布を貫入熱影響で説明可能か否かを検証する．

【結果・考察】変成温度解析のために，三波川帯の4地点，戸台層の2地点，秩父帯の5地点，および四万十帯の4地点において岩石試料を採取した．炭質物ラマン温度計により見積もられた最高到達温度は，三波川帯で332～417 ºC，戸台層で275～284 ºC，秩父帯で276～316 ºC，四万十帯で317～492 ºCを示す．また，大局的な温度構造としては，貫入境界に近づくにつれて，三波川帯では温度低下を示す一方，戸台層から四万十帯にかけては地質帯をまたいで連続的な温度上昇が認められ，後者の温度上昇は，貫入熱影響により形成された可能性を示唆する．そこで，戸台層～四万十帯の温度データを対象とし，マグマおよび母岩の初期温度を未決定パラメータに設定して貫入熱モデリングによるフィッティングを行ったところ，マグマ温度は約1000 ºC，母岩温度は約180 ºCと制約された．
また今回，フィッティングにより制約されたマグマ温度の妥当性を評価するため，甲斐駒ヶ岳花崗岩の全岩化学組成（佐藤・柴田, 2017）を入力値としたrhyolite-MELTS（Gualda & Ghiorso, 2015）による熱力学計算との比較を行った．熱力学計算結果は，リキダス温度が約1090 ºC，ソリダス温度が約720ºCを示し，フィッティング結果と整合的である．この整合性は，戸台層から四万十帯にかけての温度構造が甲斐駒ヶ岳花崗岩体の貫入熱影響により説明可能であるとともに，変成温度解析に基づく中部地方・西南日本外帯

© 2021 Geological Society of Japan

の広域的な議論においても貫入熱影響の考慮が必要であることを示唆する.

【引用文献】 Aoya et al., 2010, *J. Metamorph. Geol.*, **28**, 895-914; Gualda & Ghiorso, 2015, *Geochem., Geophys., Geosyst.*, **16**, 315–324; Hyodo & Niitsuma., 1986, *J. Geomag. Geoelectr.*, **38**, 335–348; Kouketsu et al., 2014, *Island Arc*, **23**, 33–50; 松島, 1997, 飯田市美術博物館研究紀要, **7**, 145–162; 森ほか, 2021, 地学雑誌, **130**, 85–98; 佐藤・柴田, 2017, **21**, 19–28, 群馬県立自然史博物館研究報告; Watanabe et al., 2020, *J. Mineral. Petrol. Sci.*, **115**, 276–285.

Keywords: Akaishi Mountains, Outer Zone of Southwest Japan, Kaikomagatake granitic body, Raman carbonaceous material geothermometry, thermal modeling

© 2021 Geological Society of Japan

Roll-up structure due to the collision of Izu arc revealed from the shear sense of the Sanbagawa metamorphic rocks along the MTL in the Akaishi area

*YUKI AWAYAMA[1], HIDEO TAKAGI

1. Waseda University

目的：中部日本に存在する三波川帯，秩父帯，および四万十帯は赤石山地を境として屈曲しており，さらに一般走向傾斜は赤石岳付近を境界として赤石山地南部では北東－南西走向・北西傾斜，北部では南－北走向・東傾斜に変化している．松島 (1973, 1997) によると，日本海の開裂に引き続く伊豆－小笠原孤の衝突により，これら3帯は“逆くの字型”にねじり曲がるだけでなく，北部がまくれ上がったとしている．まくれ上がりが起こっているとすると，中央構造線に近接する三波川帯に記録されている変成時の延性剪断作用のセンスも北部では逆転しているはずである．そこで本論では，長野県伊那地域と静岡県天竜地域の両地域に存在する三波川変成岩の延性剪断変形について調査を行ったので，その結果をここに報告する．
方法：各地域で採取した三波川結晶片岩類である泥質片岩・緑色片岩に見られる片理面に直交かつ伸長線構造に平行なXZ薄片を作成し，鏡下観察に基づいて剪断センスを決定した．剪断センスを決定するのに用いた主な剪断指標は，泥質片岩はシアバンド，石英形態ファブリック，そして白雲母フィッシュ，緑色片岩はシアバンドのみである．
結果と結論：伊那地域では24試料の中で剪断センスが観察できた22試料のうち，17試料が上盤北ずれ，5試料が上盤南ずれであり，全体として上盤北ずれが優勢であった．またピッチの範囲はおおよそ10～30°に収まった．同様に静岡県天竜地域では34試料の中で剪断センスが観察できた29試料のうち，22試料が上盤西ずれ，7試料が上盤東ずれであった．ピッチの範囲は沢ごとによってばらつきが見られたものの，全体としては上盤西ずれが優勢であり，これは四国や関東の三波川帯で報告されている剪断センスの結果と調和的である (例えば, Wallis et al., 1992; 阿部ほか, 2001)．また，伊那地域の外帯構成層の大部分は基本的に東傾斜であり，上下判定できる四万十帯の砂岩泥岩互層部は逆転していることが知られている（河内ほか，1983）．以上の結果と先行研究の報告から，赤石山地のまくれ上がりモデルは，三波川変成岩の剪断センスから見ても妥当なものであると考えられる．

参考文献

阿部龍巳・高木秀雄・島田耕史・木村慎治・池山恵介・宮下 敦, 2001, 関東山地三波川変成岩類の延性剪断変形．地質雑，**107**，337-353.
河内洋祐・湯浅真人・片田正人，1983，市野瀬地域の地質，地域地質研究報告（5万分の1地質図幅）．地質調査所，70p.
松島信幸（1973）: 赤石山地の中央構造線.「中央構造線」(杉山隆二編), 9-27, 東海大学出版会
松島信幸（1997）: 赤石山地形成論－ポスト和田変動と中央構造線のまくれ上がりについて－. 飯田市美術博物館研究紀要, **7**, 145-162.
Wallis, S.R., Banno, S. and Radvanec, M, 1992, Kinematic, structure and relationship to metamorphism of the east-west flow in the Sambagawa Belt, southwest Japan. *The Island Arc*, **1**, 176-185.

Keywords: Roll-up structure, shear sense, Sanbagawa schists, Akaishi area

© 2021 Geological Society of Japan

Oxygen and hydrogen isotope variations of phengite along orogen-perpendicular traverse of the Sambagawa Belt in central Shikoku: A reconnaissance study

*Tatsuki Tsujimori[1], Hironobu Harada[1], Tetsumaru Itaya[2], Daniel Pastor-Galán [1], Antonio M. Álvarez-Valero[3]

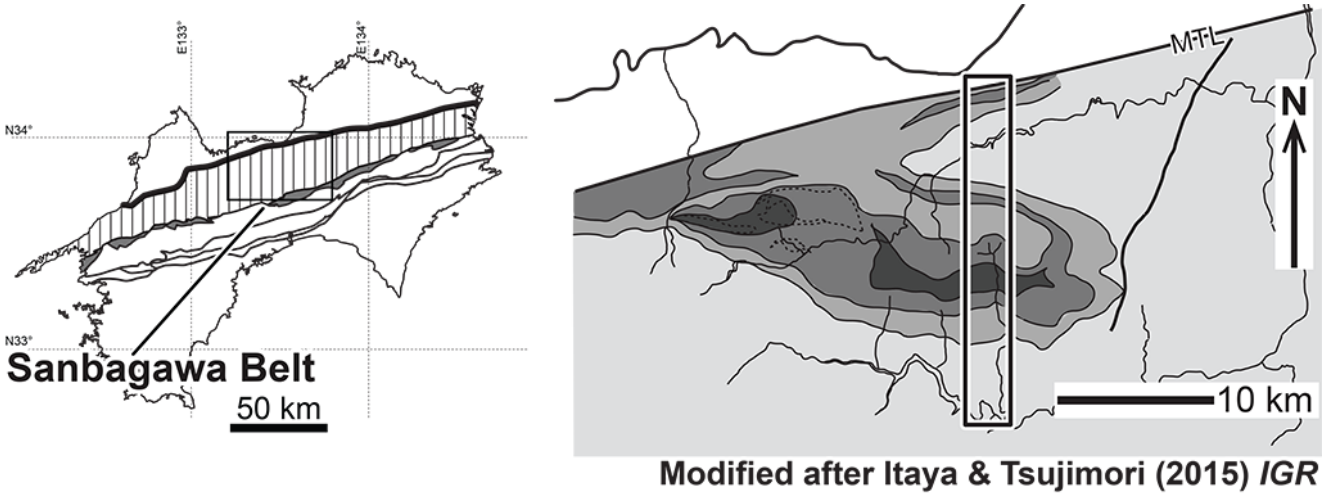
1. Tohoku University, 2. Japan Geochronology Network, 3. University of Salamanca

プレート沈み込み帯はマントル内部の化学的不均質性を生み出す地殻物質と水のインプットの場として機能する。沈み込むスラブは前弧域から火山フロント直下に達するまでに連続的に脱水し、放出される水流体（スラブ起源流体）は様々な空間スケールの元素移動をもたらす。近年、スラブ内部での元素移動やスラブ直上に供給される元素の挙動について、天然試料の岩石学・地球化学と実験岩石学双方のアプローチから素過程を理解する試みがなされている。しかしながら、スラブ由来元素のマントルへの影響を追跡する場合、連続的な同位体比分別が期待できるような同位体があったとしても、スラブ内部でのバリエーションが明らかでないために、スラブを代表する値は曖昧である。マントル深部へ沈んで行くスラブ全体の安定同位体比がどの程度の幅を持つのか？それは地表に露出した高圧変成岩を解析することで把握可能であろうか？我々はスラブを代表する酸素・水素同位体比のリファレンス値（スラブ値）を決めたいという動機のもと、コヒーレントな高圧変成帯の世界標準としての四国中央部三波川帯において、南北横断方向でのフェンジャイトの酸素・水素同位体比の変化を評価した。　沈み込んでいくスラブのリファレンス値を決定したいものの、コヒーレントな変成帯は上昇時に著しく加水・変形再結晶を被っている。従って、その二次改変の影響は変成帯のなかの代表的な標本を選んで評価するだけでは不十分であり、変成帯の温度構造に直交するような横断線において変成帯内部のバリエーションを十分に把握する必要がある。我々は、スラブを構成する変成地殻起源物質のなかで、岩相に関わらず普遍的に出現し、多角的な評価が可能な唯一の鉱物としてフェンジャイトに着目した。そして、Itaya and Takasugi (1988) https://doi.org/10.1007/BF00379739がK-Ar年代測定を行った汗見川–銅山川ルートのフェンジャイト（主に泥質片岩から分離したもの）を再利用し、84試料（緑泥石帯31試料、ざくろ石帯21試料、アルバイト黒雲母帯22試料、オリゴクレース黒雲母帯10試料）の水素・酸素の安定同位体比を測定し、変成帯内部の変化傾向を調べた。フェンジャイトのK含有量（既知）とH_2O量（実測）にもとづき不純試料のデータを間引いた残り63試料の$\delta^{18}O$[SMOW]とδD[SMOW]のバリエーションは、それぞれ+9.6 to +19.3‰ (平均値+14.0‰)、−82.8 to −45.2‰ (平均値−59.0‰)と大きい。両者は相関せず、K-Ar年代（64.3–83.8 Ma）とも明瞭な相関は示さない。$\delta^{18}O$が+10‰を下回るフェンジャイトは全て塩基性片岩であるが、塩基性片岩のフェンジャイト全てが低い値を示すことはない。$\delta^{18}O$の振れ幅は同位体比分別よりも原岩の幅を反映すると考えられる。オリゴクレース黒雲母帯のδDはやや高い値をもつ。従来から大歩危地域の緑泥石帯では変成帯の上昇時の著しい変形に伴うK-Ar年代の若返り（64.3–65.8 Ma）が知られていたが、同地域の４試料でのみ$\delta^{18}O$とδD値が負の相関を示し、その地域に関しては年代若返りに関与した流体の影響を反映したものと考えられる。　汗見川–銅山川ルートで同位体比の振れ幅を評価するために、四国中央部三波川帯の他地域（猿田川）と、別の変成帯との比較を行ったところ、猿田川のざくろ石帯8試料は低いδD値（−91.2 to −73.4‰）が多いものの、銅山川のざくろ石帯でも−82.8‰に達する試料が存在する。ところが、時代も場所も全く別の変成帯として、蓮華帯の大佐山産の試料14試料（δD = −113 to −88.3‰、$\delta^{18}O$ = +12.9 to +14.6‰）と比較すると、四国中央部のフェンジャイトは高いδD値で特徴付けられる。大佐山の試料は青色片岩相の情報を残しており、四国中央部三波川帯の結晶片岩とは上昇時期の後退変成作用の性質は大きく異なる。三波川のδD値は上昇時期の加水再結晶に関与した流体の性質を反映したものかもしれないが、その安定同位体比の平均値は地表に露出した高圧変成岩のフェンジャイトのリファレンス値として提案できる。

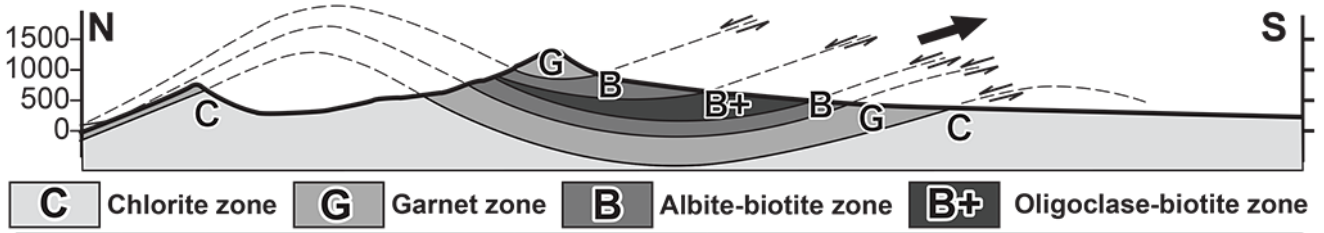
© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: phengite, oxygen isotope, hydrogen isotope, exhumed metamorphic rocks, Sambagawa Belt

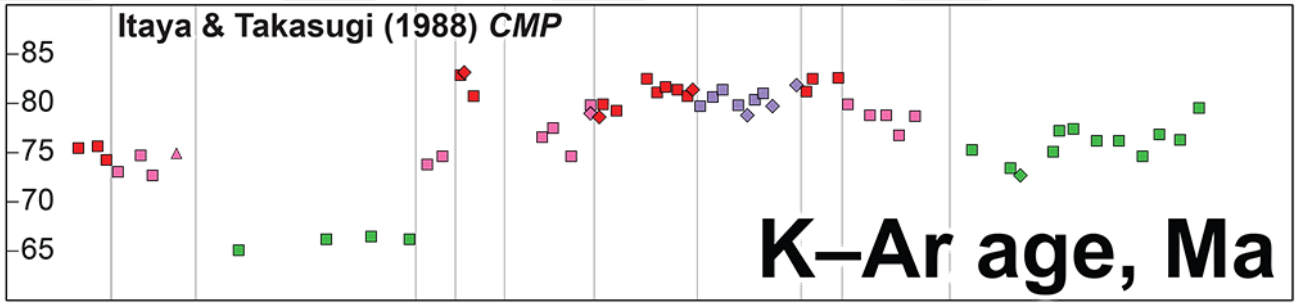
© 2021 Geological Society of Japan

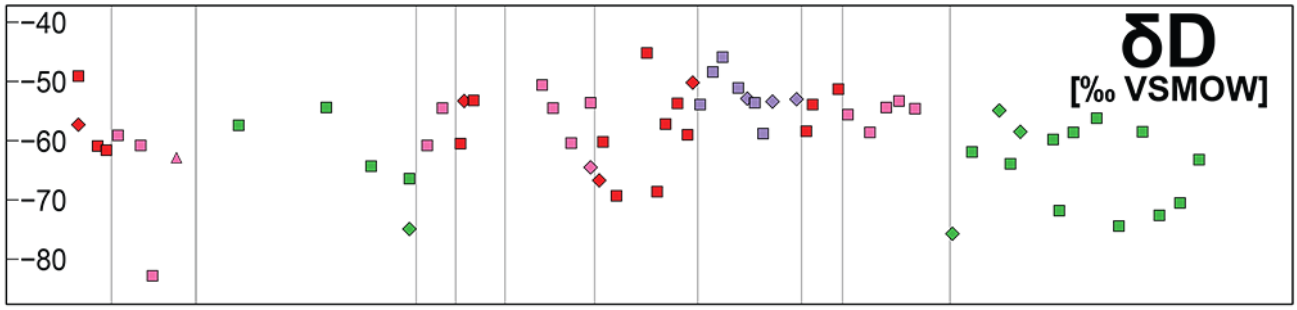


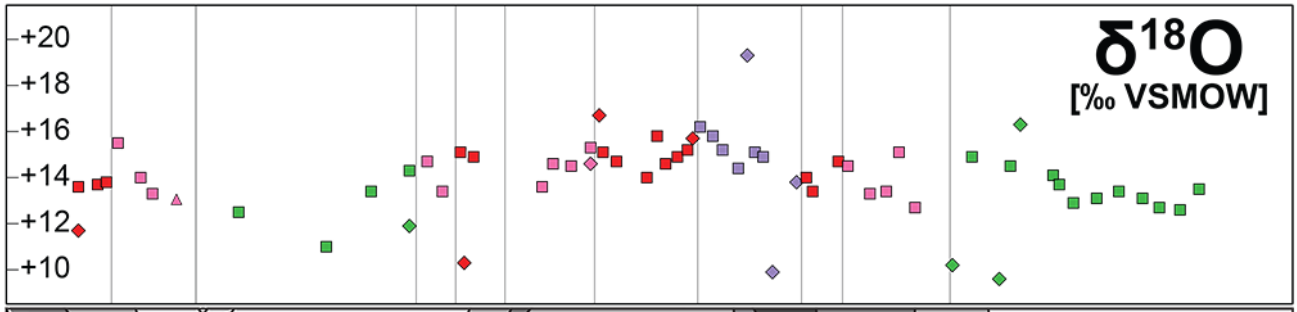
Modified after Itaya & Tsujimori (2015) *IGR*

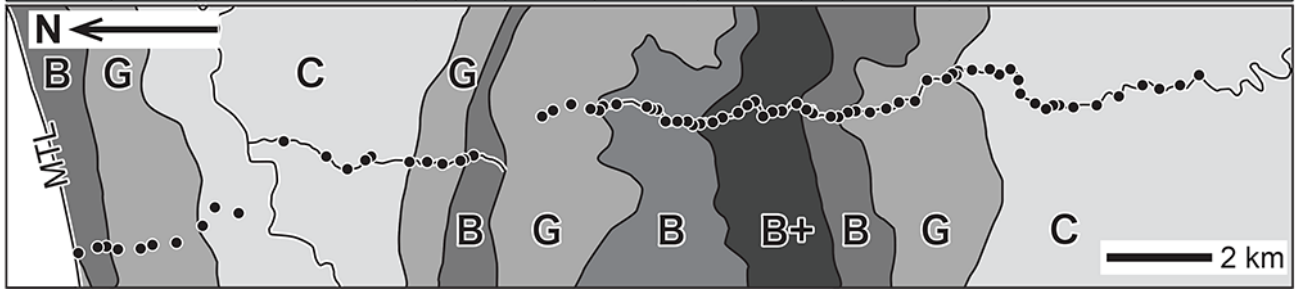


C Chlorite zone G Garnet zone B Albite-biotite zone B+ Oligoclase-biotite zone









© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Relation between existence of ca. 1.9–1.85 Ga metamorphic zircons and metamorphic facies in the Yeongnam Massif, South Korea

*Kenichiro IWAMIZU[1,2], Yasutaka HAYASAKA[1], Ji-Hoon KANG[3], Kosuke KIMURA[1,4], Tomoyuki SHIBATA[1]

1. Hiroshima Univ., 2. The Univ. of Tokyo, 3. Andong Nat. Univ., 4. Nat. Inst. of Tech., Kure College

背景
韓国の先カンブリア時代の基盤岩は、北西部の京畿地塊と南東部の嶺南地塊に分布する。嶺南地塊の基盤岩の変成相の大部分は低圧型の角閃岩相だが、南西部・北中部にはそれぞれ、低圧型のグラニュライト相・緑色片岩相の領域が広く分布する（Lee, S.-M., 1973）。嶺南地塊の基盤をなす約 2–1.96 Ga の花崗岩類はいずれも、約 1.9–1.85 Ga の変成年代を持つ（Kim, N. et al., 2014; Lee, B.-C. et al., 2019; Cho, D.-L. et al., 2020）。この約 1.9–1.85 Ga の変成年代は、嶺南地塊における、約 1.9–1.85 Ga の優白質花崗岩の貫入を伴う角閃岩相の広域変成作用の時期を示す（Cho, M. et al., 2017）。また、嶺南地塊・南西部において、約 1.88 Ga の貫入岩は、約 1.86 Ga のグラニュライト相の変成年代を持つ（Lee, B.-C. et al., 2017）。これら約 1.9–1.85 Ga の変成年代はいずれも、ジルコンの変成リムから得られている。
一般にジルコンの変成リムは、角閃岩相以上の高温の変成作用に伴って形成される（早坂, 2011; 猪川, 2016）。よって、嶺南地塊における角閃岩相～グラニュライト相の変成作用に伴うジルコンの変成リムの形成は、前文と整合的である。

目的
早坂 (2011); 猪川 (2016) に基づくと、緑色片岩相の変成作用では、ジルコンの変成リムは形成されないと考えられる。よって、緑色片岩相が広く分布する嶺南地塊・北中部の雪川地域においては、約 2–1.96 Ga の花崗岩類のジルコンは、約 1.9–1.85 Ga の変成リムを持たないと予想されるが、先行研究は無い。よって我々はこの問題に取り組むため、嶺南地塊の雪川地域で花崗岩を採取した。

手法
花崗岩からジルコンを分離し、SEM を用いてジルコンの CL 像を撮影し、分析点を選定した。その後、LA-ICP-MS を用いてジルコン U–Pb 年代を測定した。本システムは勝部ほか (2012) に基づく。また、薄片の観察と全岩化学組成の分析を行った。一連の分析は広島大学で行った。

結果
主要造岩鉱物は、石英・斜長石・アルカリ長石・角閃石である。花崗岩は全体的に優白質である。全岩化学組成について、花崗岩は metaluminous の領域に存在する。これは、嶺南地塊の約 2–1.96 Ga の花崗岩類を全て peraluminous とする先行研究（Kim, N. et al., 2014; Lee, B.-C. et al., 2019; Cho, D.-L. et al., 2020）と異なる。
ジルコンは、コア・マントルの 2 層構造を示すものと、マントルのみの 1 層構造を示すものに大別される。コアは、均質または縞状の内部構造を示し、約 2.5–2.4 Ga のコンコーダントな U–Pb 年代を示し、Th/U 比が全て 0.1 以上と高い。マントルは、波動累帯構造または縞状構造を示し、約 2 Ga 付近にコンコーダントな U–Pb 年代が集中し、Th/U 比が全て 0.1 以上と高い。約 2 Ga に集中するコンコーダントなマントルの年代の加重平均は 1997 ±10 Ma である。ジルコンのリムは確認できなかった。

考察
全岩化学組成が例外的に metaluminous である原因は不明である。
前述の加重平均（1997 ±10 Ma）が、マグマの固結年代だと考えられる。よって、約 2.5–2.4 Ga のコアは、inherited ジルコンだと考えられる。実際、嶺南地塊の inherited ジルコンの U–Pb 年代分布は、約 2.5

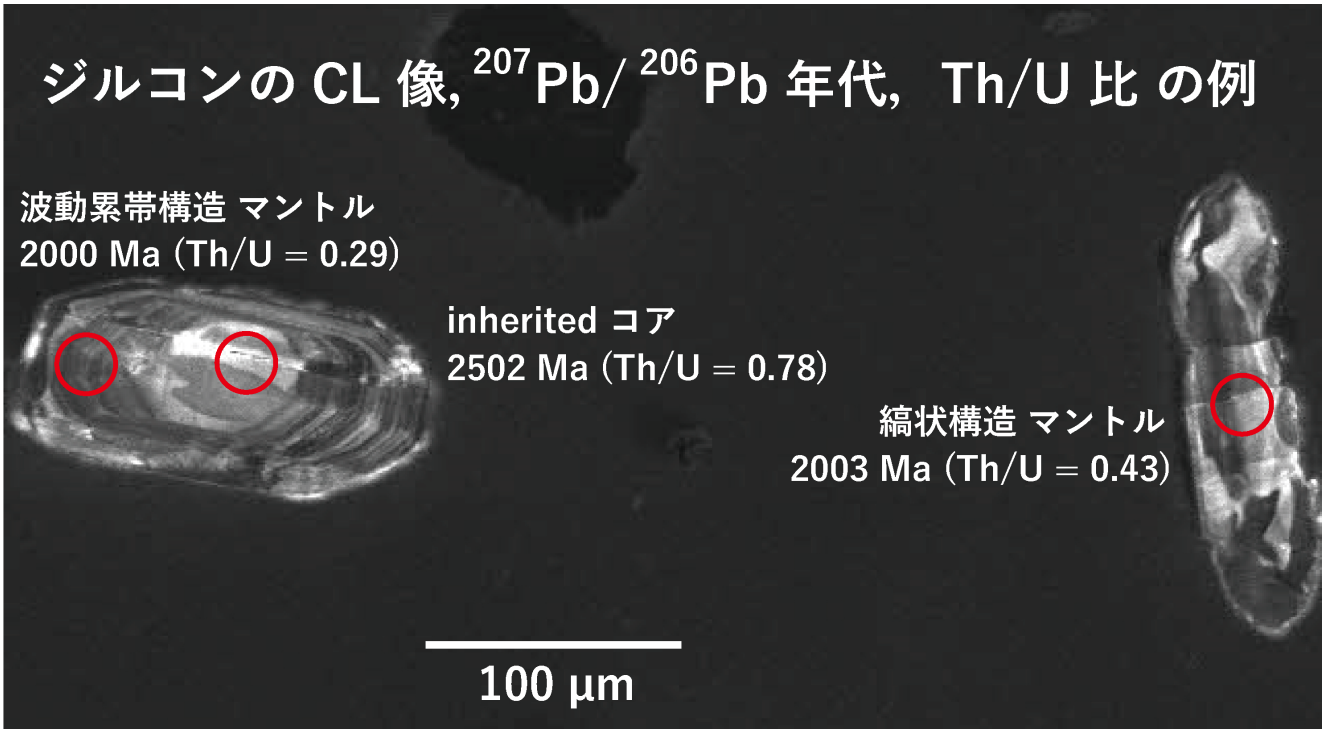
© 2021 Geological Society of Japan

Ga 付近に最大の極大値を持つ（Kim, N. et al., 2014）。嶺南地塊に広く分布する約 2–1.96 Ga の花崗岩としては例外的に、約 1.9–1.85 Ga の変成年代（ジルコンの変成リム）が得られなかった。その原因は、嶺南地塊・雪川地域の変成相が緑色片岩相であるため、ジルコンの変成リムの形成に必要な 530 ℃ 以上の温度（猪川, 2016）に達しなかったからだと考えられる。

文献

Cho, D.-L. et al., 2020, *Precambrian Res.*, **340**, 105631.
Cho, M. et al., 2017, *Geosci. J.*, **21**, 845–865.
早坂 康隆, 2011, 日本地質学会 第118年 学術大会 講演要旨, R7-O-3.
猪川 千晶, 2016, 総研大 修士論文
勝部 亜矢ほか, 2012, 地質雑, **118**, 762–767.
Kim, N. et al., 2014, *Precambrian Res.*, **242**, 1–21.
Lee, B.-C. et al., 2017, *Precambrian Res.*, **298**, 439–461.
Lee, B.-C. et al., 2019, *Gondwana Res.*, **72**, 34–53.
Lee, S.-M., 1973, *J. Geol. Soc. Korea*, **9**, 11–23.

Keywords: South Korea, Yeongnam Massif, greenschist facies, granite, zircon



© 2021 Geological Society of Japan

Calculation of diffusion profiles using the analytical solution for anisotropic diffusion in a finite cylinder

*Tadashi Usuki[1]

1. Department of Geosciences, National Taiwan University

岩石学や構造地質学、同位体年代学の進歩とともに、従来考えられてきたいくつかの造山イベントの時間スケールは一桁以上短くなった(例えば>20Myrから<2Myrへ、Caddick et al., 2010)。さらに最近では、Sm-NdやLu-Hf高精度年 代測定により、沈み込み帯でのザクロ石成長が1Myr以内に起こった例も示されている(Dragovic et al., 2012, 2015)。これらの事実は、数Myrから<1Myrの時間スケールを計測する技術の確立が重要になってきたことを示している。近年、同位体年代学を用いた時間スケールの推定とともに、diffusion chronometerを用いた時間スケールの計測が広く利用されるようになった (Chakraborty, 2006, 2008)。Diffusion chronometerが実用化されてきた背景として、ここ20年でさまざまな鉱物の主成分や微量成分拡散係数の実験データが充実してきたこと、EPMAやSEM-EDS, LA-ICPMS、SIMSを用いた主要元素や微量元素拡散プロファイル測定の解像度と精 度の向上がしてきたことなどが挙げられる。 Crank (1975)には板、球、無限円筒についての拡散方程式の解が示されている。拡散に異方性がなければ、これらの解析解を用いて、測定プロ ファイルからおおよその変成作用の継続時間を比較的簡単に推定することができる。しかし、一般の多くの鉱物では強い拡散異方性があることが知られている。例えば、カンラン石のFe-Mg相互拡散ではc軸方向の拡散はa軸、b軸の方向の拡散の約６倍(Tachibana et al., 2013)、ルチルのHf拡散ではc軸方向の拡散は垂直方向の拡散の5倍から10倍の違いがある(Cherniak et al., 2007)。このような鉱物に球モデルや板モデルを適用するのは一般には不適切である。このため、Watson et al. (2010)はaxialとradial方向について異なる拡散係数もつ場合の有限円筒内の拡散の解析解を導いた。Watson et al. (2010)の解析解では拡散係数を時間依存の関数としているが、本発表では単純化して定数とし、さらに、初期条件C0、境界条件C1の場合に変形した式を紹介する。この有限円筒内の解析解を用いると、axial方向(c軸に平行)とradial方向（c軸に垂直）の２つの異なる拡散係数を用いて円筒内の任意の方向の拡散プロファイルを計算できる。 本発表では、この有限円筒内拡散の解析解をもちいて、結晶の短軸・長軸比や拡散異方性の大きさの違い、測定プロファイル方向とc軸とのなす角が拡散プロファイルに与える影響についての計算結果を紹介する。また、この解析解の天然の岩石への適用例として、北ベトナムのソンマ縫合帯からのルチルのZrプログレード累帯構造を用いてエクロジャイト相の時間スケールを制約した研究を紹介する。

References

Caddick MJ, Konopásek J, Thompson AB (2010) J Petrol 51, 2327–2347. Chakraborty S (2006) Mineralogy and Petrology 88, 7-27. Chakraborty S (2008) Ann Rev. Earth Planet Sci 36, 153–190. Cherniak DJ, Manchester JE, and Watson E (2007) Earth Planet. Sci. Lett. 261, 267–279. Crank, J (1975) The Mathematics of Diffusion. Oxford University Press, Oxford. Dragovic B, Samanta LM, Baxter EF, Selverstone J (2012) Chem Geol 314–317, 9–22. Dragovic B, Baxter EF, Caddick MJ (2015) Earth Planet Sci Lett 413, 111–122. Tachibana S, Tamada S, Kawasaki H, Ozawa K, Nagahara H (2013) Phys Chem Minerals 40, 511–519. Watson, EB, Wanser, KH, Farley, KA (2010) Geochimica et Cosmochimica Acta 74, 614-633.

Keywords: diffusion in a finite cylinder, anisotropic diffusion, analytical solution, rutile, zirconium

© 2021 Geological Society of Japan

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

[1poster30-37] R5 [Regular Session]Regional geology and stratigraphy, chronostratigraphy

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R5-P-1] Early Triassic accretionary unit recognized in the Nedamo Belt and correlation with Southwest Japan

*Takayuki Uchino[1] （1. Geological Survey of Japan）

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-2] a trial of new geological maps

*Toshiyuki Yoshikawa[1] （1. Geological Survey of Japan, AIST）

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-3] Outline of geology of the Wake District (Okayama Prefecture): Quadrangle Series, 1:50,000

*Daisuke Sato[1], Koji Wakita[2,1], Yoshinori Miyachi[1] （1. GSJ, AIST, 2. Yamaguchi Univ.）

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-4] (entry) Radiolarians and detrital zircon U-Pb age from the Hebiki Unit in the Northern Chichibu Belt, the Kanto Mountains, central Japan.

*Kazushi OKABE[1], Yukiyasu TSUTSUMI[2], Yoshihito KAMATA[1] （1. University of Tsukuba, 2. National Museum of Nature and Science）

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-5] Middle Jurassic radiolarians from clastic facies interbedded between seamount facies in Kuzu area of the Ashio Belt, central Japan

*Yoshihito Kamata[1], Akitake Uesako[2] （1. The University of Tsukuba, Faculty of Life and Environmental Sciences, 2. The University of Tsukuba, College of GEOSCIENCE）

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-6] (entry) Intrusion of serpentinite along the Cretaceous and the unconformity of serpentinite in the Chichibu belt, Yusuhara, Kochi Prefecture

*Kengo Nishikawa[1], Tomohiro Tsuji[1] （1. Yamaguchi Univ.）

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-7] (entry) The origin of large chert blocks in the western part of the Matsumoto Basin, Nagano Prefecture: altered mineral and ^{10}Be age

*Erika UEYAMA[1], Kohki YOSHIDA[1], Maarten LUPKER[2] （1. Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, 2. ETH Zürich - Geological Institute）

4:30 PM - 7:00 PM

[R5-P-8] Lower Cretaceous formations of the Kema Terrane, Primorsky Krai, Russian Far East

*Shigeru Otoh[1], Mitsuhiro Nagata[2], Masashi Aoyama[3], Takuya Harada[2], Koh Kubomi[2], Kohki Bando[4], Jun Sugiyama[4], Alexander Kudymov[5], Mikhail Arkhipov[5], Alexei Didenko[5] （1. Faculty of Sustainable Design, University of Toyama, 2. Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama, 3. Japan Geocommunications Co., Ltd., 4. Faculty of Sustainable Design, Univ. of Toyama, 5. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far East Branch, Russian Academy of Science）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

Early Triassic accretionary unit recognized in the Nedamo Belt and correlation with Southwest Japan

*Takayuki Uchino[1]

1. Geological Survey of Japan

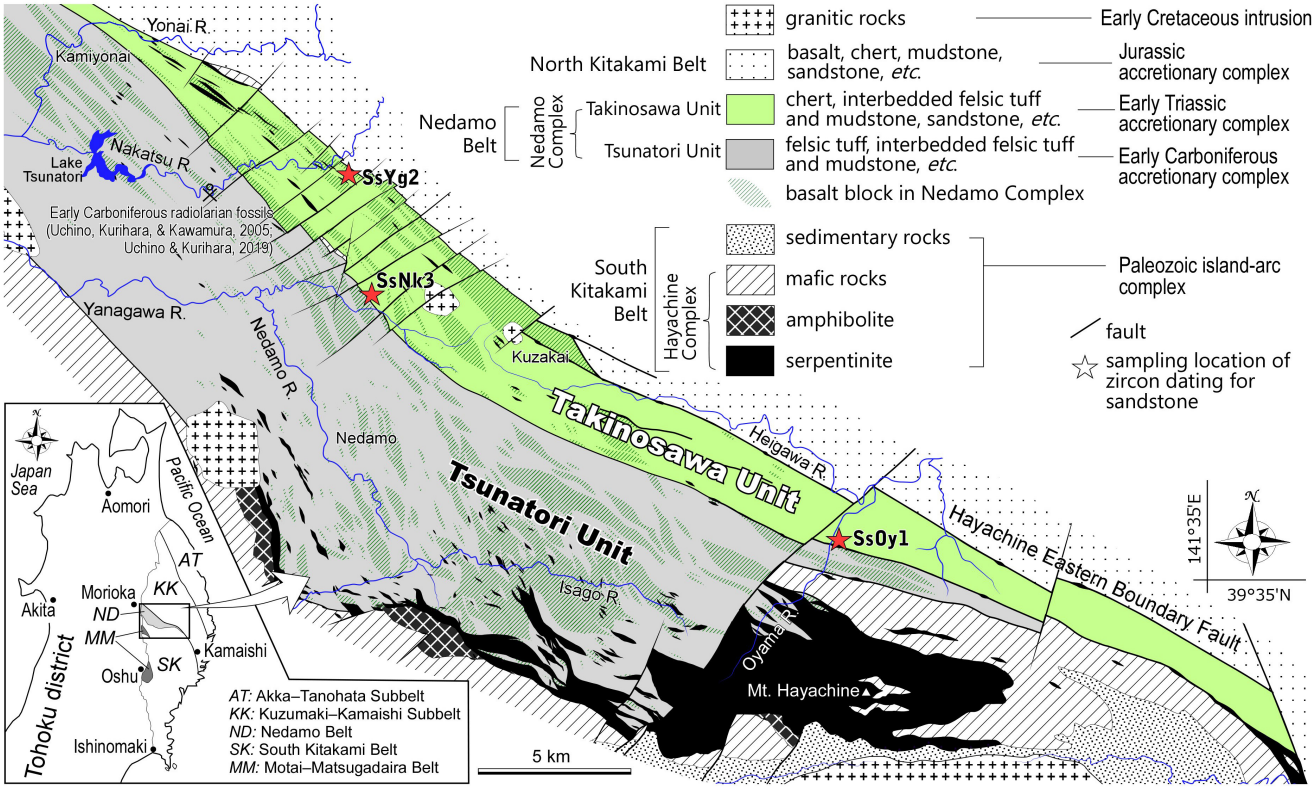
北上山地中西部に位置する根田茂帯は，かつては南部北上帯と北部北上帯を境する構造帯と考えられ，早池峰構造帯と呼ばれていた（例えば，吉田・片田，1964）．しかし，21世紀に入り，岩相の特徴や泥岩より見出された放散虫化石から，根田茂帯に分布する地質体は前期石炭紀の付加体と考えられるようになった（内野ほか，2005；永広ほか，2005）．この付加体は根田茂コンプレックスと定義され，更に岩相の違いから南西部の綱取ユニットと北東部の滝ノ沢ユニットに区分された（内野ほか，2008）．滝ノ沢ユニットからは化石を含め年代が得られておらず，同ユニットは前期石炭紀根田茂コンプレックスの下位階層に属するものの，前期石炭紀とジュラ紀の付加体間に位置することから，ペルム紀付加体の可能性も指摘されていた（内野ほか，2008）． 綱取ユニットは，泥岩珪長質凝灰岩互層，珪長質凝灰岩，玄武岩が卓越し，チャートや石灰岩，石英長石質砂岩をほとんど含まないことを特徴とする．滝ノ沢ユニットは綱取ユニットと似た岩相を示すが，層状チャートや石英長石質砂岩，砂岩泥岩互層を含んでくる．なお，両ユニットの分布域（根田茂帯）には，高圧変成岩の岩塊や南部北上帯基盤と考えられる蛇紋岩・角閃石斑れい岩・石英閃緑岩の岩塊が産する．本公演では，滝ノ沢ユニットの珪長質凝灰岩2試料と砂岩3試料から得られたジルコンのU–Pb年代を報告する（一部は，内野・大藤，2014で発表）．結果としては，前者からは前期ペルム紀の，後者からは後期ペルム紀～前期三畳紀の最若クラスター年代が得られた．珪長質凝灰岩の方が有意に古い値を示すが，本岩には砂岩が堆積した際の堆積同時性ジルコンが含まれなかったと解釈し，滝ノ沢ユニットの付加年代を前期三畳紀と判断した（Uchino, 2021）． 日本列島において，前期三畳紀の付加体はほとんど知られておらず，同時代の付加体がマッパブルに示せるのは根田茂帯のみである．近年，四国黒瀬川帯の後期ペルム紀付加体（新改ユニット及び檜曽根ユニット）の砂岩から後期ペルム紀のみならず前期三畳紀の砕屑性ジルコンが見出され（Hara et al., 2018; Ohkawa et al., 2021），黒瀬川帯にも滝ノ沢ユニットと同様の年代の付加体が分布する可能性がある． 北上山地には南から南部北上帯の中古生代島弧陸棚層およびオルドビス紀～シルル紀火成岩基盤岩類，母体–松ヶ平帯の高圧変成岩，根田茂帯の前期石炭紀および前期三畳紀付加体，北部北上帯の前期ジュラ紀～最前期白亜紀付加体が分布する．また，釜石地域の北部北上帯南西端部では後期ペルム紀付加体の存在が指摘されている（Nakae and Kurihara, 2011）．黒瀬川帯には，前期石炭紀付加体は認められていないが，それ以外は北上山地の地質体と同様の組み合わせを示している．今回の前期三畳紀付加体の認定は，磯崎・丸山（1991）などによってかねてから指摘されていた東北日本と西南日本の対比について，よりサポートできる材料となった．また，データが少ない前期三畳紀の島弧海溝系テクトニクスについても貴重な情報をもたらすと考えられる．

［引用文献］

永広ほか（2005）日本の地質増補版編集委員会編，日本の地質増補版，49–50，共立出版．
Hara et al. (2018) *J. Asian Earth Sci.*, **151**, 112–130. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2017.10.025
磯崎・丸山（1991）地学雑誌，**100**，697–761．https://doi.org/10.5026/jgeography.100.5_697
Nakae and Kurihara (2011) *Palaeoworld*, **20**, 146–157. https://doi.org/10.1016/j.palwor.2010.12.003
Ohkawa et al. (2021) *J. Asian Earth Sci.*, **212**, 104724. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2021.104724
Uchino (2021), *Island Arc*, **30**, e12397. doi:10.1111/iar.12397
内野・大藤（2014）日本地質学会第121年学術大会講演要旨．228.
内野ほか（2005）地質雑，**111**, 249–252．https://doi.org/10.5575/geosoc.111.249
内野ほか（2008）地質雑，**114**, S141–S157． https://doi.org/10.5575/geosoc.114.S141
吉田・片田（1964）1/5万地質図幅「大槌・霞露岳」．

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Nedamo Belt, Takinosawa Unit, U-Pb age, zircon, Early Triassic



© 2021 Geological Society of Japan

a trial of new geological maps

*Toshiyuki Yoshikawa[1]

1. Geological Survey of Japan, AIST

近年、地質図のデジタルトランスフォーメーションの進展や政府のSociety 5.0の提唱など、近い将来の地質図・地質情報利用をイメージする機会が格段に増えた。2021年3月に閣議決定された科学技術・イノベーション基本計画および2021年5月に経済産業省から公表された知的基盤整備計画では、サイバー空間に質の高い信頼できるデータを集積し、デジタルツインを構築することが謳われている。

これからの少子高齢化社会では、今まで以上に専門家不足・予算減少が予想され、従来型の研究進展や社会サービスの維持は困難が予想される。しかし、地質学の場合はスクラップアンドビルドではなくデータ蓄積型の学問であり、デジタルツインを実現することにより研究成果やサービスの質的・量的低下を防止し、むしろ新たな学問や産業の活性化を促進できると期待される。ただし、サイバー空間へのデータ集約への具体的な取り組み例はまだなく、絵に描いた餅に過ぎない。

筆者は、栃木県を例として、過去の地質図・地質情報 (位置情報をもつデータ) の集約を試みたので報告する。具体的には、GSJ発行の「栃木県シームレス地質図 (参考資料1、2)」を基に、過去のデータを集約した「栃木県シームレス地質図 第2版」を制作中である。地質図は細分が可能となり、岩石・化石等の試料採取地点や露頭観察地点、走向・傾斜等の各種点データ、リニアメントやルートマップ・柱状図作成位置等の各種線データも表示できるようになる。例として、図には高原火山から塩原カルデラ付近の新旧地質図の比較を示す。属性情報には必ず出典表記を含むようにしてあるので、検索等の手段を通じてオリジナルデータを参照すれば詳細な情報を確認できるよう配慮している。したがって、従来の地質図と比べると、地質情報の地理空間索引図（ポータル機能）の性格が強くなる。

このほか、現在仮実装中の特徴としては以下のようなものがある。

・地質図の凡例は20万分の1日本シームレス地質図V2の凡例 (参考資料3)を基本とし、細分化された地質区分にも対応できるよう、層群・層・部層の属性も用意している。
・古い成果であっても、現地で確認した証拠であるオリジナルの点データ (岩石・化石等の試料採取地点、走向・傾斜データ等) は可能な限り採録している。
・断層データおよび走向・傾斜データは、それぞれ他の線データ・点データとは分け、独自のレイヤーにしている。このため断層および走向・傾斜に固有のスタイル設定が容易。
・ファイルはOGC標準のGeoPackage形式で作成しているので特別なソフトを必要とせず、一般的なGISで編集可能。

現在、科学技術・イノベーション基本計画等ではオープンサイエンスとデータ駆動型研究の普及も推進されている。地質のデータといえば位置情報をもち、共有されることがスタンダードになる日も遠くないかも知れない。それら位置情報付きオープンデータを重ね合わせるのは一瞬である。そうすれば新しいデータを反映した地質図の更新も容易である。こうして多くの人が一部を分担することにより大きな成果物を完成させるしくみは、オープンソースソフトウェア等で既に実績がある。近い将来、様々な分野でデジタルツインが作られることが予想されるが、地質の分野でも最新・最良の地質図を構築・共有し、専門家や一般ユーザーでさえも広く改良・更新に貢献できるしくみが確立されることを期待したい。

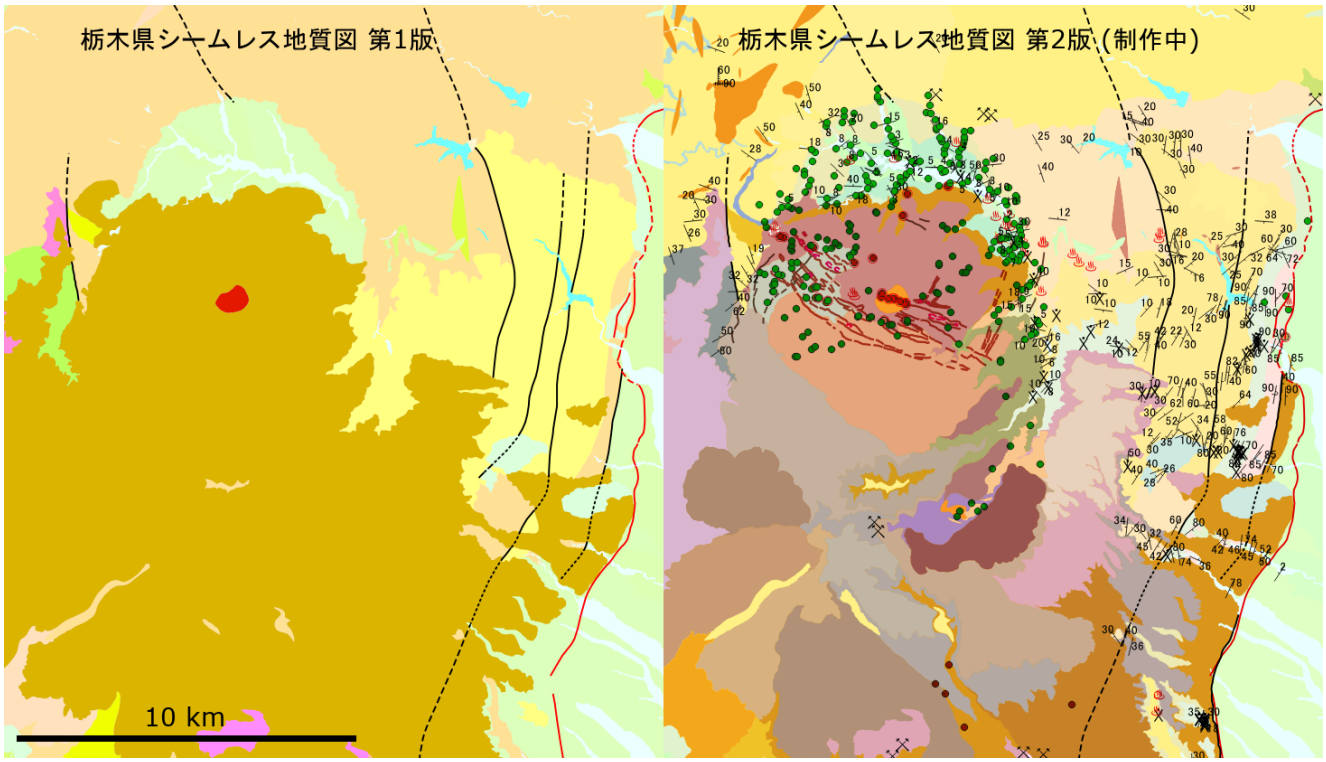
参考資料

1: 特殊地質図41 栃木県シームレス地質図. 地質調査総合センター.
https://www.gsj.jp/Map/JP/docs/misc_doc/misc_41.htm
2: 吉川敏之 (2020) 栃木県シームレス地質図 ～新たな地質図の試み～. GSJ地質ニュース, vol. 9, 83-89.
https://www.gsj.jp/data/gcn/gsj_cn_vol9.no4_p83-89.pdf

© 2021 Geological Society of Japan

3: 日本シームレス地質図V2凡例
https://gbank.gsj.jp/seamless/v2/legend.html

Keywords: geologic map, Tochigi Prefecture, DX, digital twin, open access, NSDI Act, cloud sourcing



© 2021 Geological Society of Japan

Outline of geology of the Wake District (Okayama Prefecture): Quadrangle Series, 1:50,000

*Daisuke Sato[1], Koji Wakita[2,1], Yoshinori Miyachi[1]

1. GSJ, AIST, 2. Yamaguchi Univ.

岡山県南東部の「和気」地域（行政区：岡山市，赤磐市，和気郡和気町，瀬戸内市，備前市）について，2015年から4年間実施した地質調査に基づき，5万分の1地質図幅を作成した．本地域の地質は，ペルム紀の舞鶴帯及び超丹波帯，ジュラ紀の丹波帯，後期白亜紀火山岩類及び貫入岩類，古第三紀の吉備層群及び第四紀堆積物から構成される．

本地域の舞鶴帯は，苦鉄質岩を主体とし，砂岩及び泥岩を僅かに伴っている．これらの岩石からなる地層を，ペルム系舞鶴層群下部に対比にし，大盛山層と命名した．

超丹波帯は，万富ユニット・江尻ユニット・虫明ユニットからなる．万富ユニットは，北側の舞鶴帯大盛山層と断層で接し，南側の江尻ユニットとも断層で接する．チャートを伴い，剥離性が強く発達している泥質混在岩からなる混在相が主体で，砂岩泥岩互層や塊状砂岩からなる整然相を伴う．江尻ユニットは，砂岩泥岩互層や塊状砂岩からなる整然相が主体で，泥質混在岩を僅かに伴うが，チャートは挟在しない．砂岩はしばしば緑がかった灰色を特徴的に呈する．虫明ユニットは，剥離性が発達していない泥質混在岩からなる混在相が主体で，砂岩泥岩互層や塊状砂岩からなる整然相を伴う．スランプ褶曲などの未固結時変形が顕著で，礫岩を伴う．チャートは挟在しない．放散虫化石及びジルコンU–Pb年代から，これらの堆積時期は中～後期ペルム紀と推定される．

丹波帯は，本地域北東端部と東端部に僅かに分布し，隣接図幅に連続する五石川ユニットからなる．剥離性の発達した泥質混在岩を主体とし，チャートの小岩体を挟有する．本地域北隣の「周匝」地域内で採取された砂岩中の砕屑性ジルコンのU–Pb年代は，前期ジュラ紀を示す[1].

本地域の後期白亜紀火山岩類は，岡山県南東部から兵庫県南西部にかけて連続的に分布するものの一部で，主に陸上堆積の火砕流堆積物からなり，溶岩や湖成堆積物を伴う．分布，岩相，層序関係及び年代測定に基づいて，活動時期の古い方からシャシャ木山層，高砂山層，日生層，道々山層，和気層，鴨前層及び邑久層の7つに区分される．層序・貫入関係及びジルコンU–Pb年代から推定されるこれらの形成年代は95～72 Maである．本地域の火山岩類について，各層の地層境界は下位層と高角で接するか地層境界に岩脈が貫入することが多く，火山地形を残してはいないが一部は当時のカルデラ（コールドロン）をなしていたと推定される．

後期白亜紀貫入岩類は，分布，岩相，貫入・被覆関係から，四辻山花崗岩，長島花崗岩，操山花崗岩，仁堀花崗岩，百枝月石英閃緑岩，長船花崗岩及び妙見山花崗閃緑岩の7つの花崗岩類岩体と岩脈類に区分される．これらは，先白亜紀の岩石や後期白亜紀火山岩類に貫入するが，一部は火山岩類に覆われる．そこで，本地域の貫入岩類を貫入時期及び岩相から貫入岩類I，II，IIIの3つに大別した．貫入岩類Iは，後期白亜紀火山岩類及び花崗岩類に被覆又は貫入される岩体及びこれらと同時期と推定される岩体からなり，四辻山花崗岩，長島花崗岩，操山花崗岩及び仁堀花崗岩がこれに含まれる．貫入岩類IIは，貫入岩類Iを被覆する後期白亜紀火山岩類に貫入する岩体，貫入岩類Iに貫入する岩体及びこれらと同時期と推定される岩体で，百枝月石英閃緑岩，長船花崗岩及び妙見山花崗閃緑岩からなる．貫入岩類IIIは，岩脈類で貫入岩類I，IIに貫入し，一部は貫入岩類IIに貫かれる．

吉備層群は，中国山地から瀬戸内海沿岸にかけて点在する礫岩主体の河川成堆積物のうち，吉備高原周辺に分布する礫岩層について命名された[2]．吉備層群は，当時の谷地形を埋積する堆積盆ごとに地層区分されており，本地域の礫岩層は岡山県東部の吉井川と並行して南北数10 kmにわたり分布する周匝層[2]に属する．本層の岩石は，大規模な宅地造成により，露頭の多くが失われている．周匝層の堆積年代は，礫岩層に挟在する凝灰岩層から34.3 Ma（FT年代）[2]及び32.61 Ma（U–Pb年代）[3]のジルコン年代が報告されており，始新世末期～漸新世初頭頃と考えられる．

本地域の第四系は，後期更新世～完新世の扇状地堆積物と完新世の緩斜面堆積物及び沖積層からなる．沖積層は，吉井川などの河川沿いに分布し，層厚は本地域南西部で5～10 m程度である．

© 2021 Geological Society of Japan

引用文献
[1] 佐藤・脇田（2021）地質学雑誌，127，245–250.
[2] Sonehara et al. (2020) Scientific Reports, 10, doi: 10.1038/s41598-020-60448-x.
[3] 鈴木ほか（2003）地学雑誌，112，35–49.

Keywords: Areal geology, geological map, Wake, Okayama

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Radiolarians and detrital zircon U-Pb age from the Hebiki Unit in the Northern Chichibu Belt, the Kanto Mountains, central Japan.

*Kazushi OKABE[1], Yukiyasu TSUTSUMI[2], Yoshihito KAMATA[1]

1. University of Tsukuba, 2. National Museum of Nature and Science

はじめに

関東山地に分布するジュラ紀の付加体である北部秩父帯は，傾斜角度などの構造的な特徴から主部と南縁部に区分されてきた（例えば，大久保・堀口，1969）．久田ほか（2016）は，蛇紋岩が欠如するといった黒瀬川帯との相違点を挙げながらも，南縁部が黒瀬川帯に属する可能性を指摘している．つまり北部秩父帯内における主部と南縁部の境界は，地質学的に大きな境界である可能性がある．

南縁部の住居附ユニットはKamikawa et al. (1997)により構成岩の堆積年代が求められている一方，同じく南縁部を構成する蛇木ユニットからは，ジュラ紀前期を示す放散虫化石が数か所報告されているのみである（久田・岸田，1987；Kamikawa et. al., 1997；松岡ほか，1998）．蛇木ユニットは，主部や南縁部の他のユニットと比較し，構成岩の年代報告が少なく，他のユニットとの比較やその境界の議論は不十分である．そこで本研究では，群馬県上野村から埼玉県小鹿野町にかけて分布する北部秩父帯蛇木ユニットを対象として，放散虫化石と砕屑性ジルコンのU-Pb年代を用いた構成岩の堆積年代の推定を行った．

手法

蛇木ユニット中の珪質頁岩 5 試料（久田・岸田，1987の珪質頁岩を含む）と，チャート 28 試料，頁岩 26 試料をフッ酸処理し，放散虫化石の抽出を試みた．

砕屑性ジルコンは，蛇木ユニット中の砂岩 2 試料から分離し，国立科学博物館のLA-ICP-MSにより年代測定を行った．採取した試料はいずれも岩片の少ないアレナイトで，鉱物比（組成）が類似する．

結果

蛇木ユニット中の珪質頁岩 5 試料からは，Sinemurian～Pliensbachianを示す放散虫化石を得た．チャートの 4 試料からは三畳紀後期のCarnian～Norianを示す放散虫化石が，1 試料からはペルム紀後期を示す放散虫化石が得られた．頁岩からは放散虫化石を得られなかった．

砕屑性ジルコンが示すU-Pb年代の結果は，2 試料とも約 230-280 Maのピークが顕著であった．また，最も若い単一粒子の年代はそれぞれ 223.4±3.5 Ma，230.4±2.9 Maであった．

考察

通常ジュラ紀付加体の構成岩から復元される海洋プレート層序では，砕屑岩の堆積年代は半遠洋性～遠洋性の堆積年代よりも若くなることが一般的である（例えば，脇田，1997）．したがって，蛇木ユニットの砕屑岩類（砂岩や頁岩）の堆積年代は，Sinemurian以降と期待される．しかし，砂岩中の砕屑性ジルコンによって求められた年代は，放散虫化石によって求められた珪質頁岩の堆積年代よりも古い．

中間ほか（2010）によると，日本列島では，400-520 Ma，210-280 Ma，160-190 Ma，90-110 Ma，60-80 Maの 5 回の断続的な花崗岩バソリス帯が形成された．蛇木ユニット中の砕屑性ジルコンに見られる 225-280 Maのピークは，このうち，210-280 Maの花崗岩バソリス帯の影響を受けたと考えられる．一方で蛇木ユニットの砂岩には 160-190 Maの粒子が全く含まれない．これは何らかの地形的バリアーの影響により蛇木ユニットに 160-190 Maを示す砕屑性ジルコンが堆積しなかったか，または，蛇木ユニットが 160-190 Maを示す砕屑性ジルコンが堆積する前に沈み込んだことが考えられる．

今後は得られた構成岩の堆積年代とそれに基づき復元された海洋プレート層序を用いて，蛇木ユニットと同じく南縁部の住居附ユニット，主部の上吉田ユニット・柏木ユニットとを比較検討していく予定である．

© 2021 Geological Society of Japan

引用文献

大久保・堀口（1969），5万分の1地質図幅「万場」.
久田ほか（2016），地質学雑誌，122，325–342.
Kamikawa et al. (1997), *Sci. Rep. Inst. Geosci., Univ. Tsukuba Sec. B*, 18, 19–38.
久田・岸田（1987），地質学雑誌，93，521–523.
松岡ほか（1998），地質学雑誌，104，634–653.
脇田（1997），地球科学，51，300–301.
中間ほか（2010），地学雑誌，119，1161–1172.

Keywords: Chichibu Belt, Jurassic accretionary complex, radiolarian fossils, zircon

© 2021 Geological Society of Japan

Middle Jurassic radiolarians from clastic facies interbedded between seamount facies in Kuzu area of the Ashio Belt, central Japan

*Yoshihito Kamata[1], Akitake Uesako[2]

1. The University of Tsukuba, Faculty of Life and Environmental Sciences, 2. The University of Tsukuba, College of GEOSCIENCE

栃木県佐野市周辺はジュラ紀付加体の構成岩類が分布し足尾帯南部に相当する．当地域は馬蹄形に分布するペルム系玄武岩類–石灰岩を特徴とし，周辺には三畳系ージュラ系のチャートー砕屑岩相が分布する．これらはユニット1～3に区分され，ユニット1および3はチャートー砕屑岩相から，ユニット2はペルム系玄武岩–石灰岩からなり（鎌田，1997），後者のペルム系玄武岩類–石灰岩は海山相に相当する（例えば, Muto et al., 2021）．ユニット2の最上部では石灰岩の裂罅を埋めるように，また石灰岩を覆うように重なる珪質頁岩が知られ，中期ジュラ紀放散虫が報告されている（指田ほか，1982など）．最近演者らの調査において，ユニット2の中部で石灰岩および玄武岩類に挟まれた珪質頁岩および砂岩頁岩互層が確認され，珪質頁岩から放散虫化石を得られた．本発表ではその年代と産出意義について検討する． 調査地域は佐野市会沢町の住友大阪セメント（株）栃木工場唐沢鉱山で，鉱内には層序的下位から①苦灰岩質石灰岩（層厚50m以上）–②珪質頁岩（層厚約1m）–③砂岩泥岩互層（層約厚20m）–④凝灰岩（層約厚20m）–⑤層状石灰岩（層厚60m以上）が露出する．⑤層状石灰岩は④凝灰岩に整合に重なる．②珪質頁岩はやや凹凸のある面を覆うように重なり，粒径数cm～10cm程度のレンズ状岩塊を含む．②–③，③–④は断層で接する． 最下位の苦灰岩質石灰岩は塊状，一部結晶質で化石片をほとんど含まない．珪質頁岩は暗緑色～黒色で弱いへき開が発達する．薄片観察では細粒の石英や黒雲母片が極細粒の粘土鉱物の基質に含まれ，後述する放散虫化石を含んでいる．砂岩頁岩互層は破断し，泥質部にへき開面が発達する．砂質部は細粒で淘汰の良い石英アレナイトで，その岩相はユニット1の砂岩頁岩互層に類似している．凝灰岩は赤色・赤紫色の固結度の低い基質中に，様々な粒径（直径数cm～数m）の玄武岩岩塊および少量の石灰岩岩塊も含む．最上位の層状石灰岩は単層の厚さ5～20cm程度で成層した薄褐色・灰褐色石灰岩で，化石片を多数含む． 挟在する珪質頁岩からは，保存良好の放散虫化石が多数産出した．主要なものは*Striatojaponocapsa plicarum* Yao, *Striatojaponocapsa synconexa* O'Dogherty, Goričan and Dumitrica, *Japonocapsa fusiformis* Yaoなどで，Matsuoka and Ito （2019）によれば，ジュラ紀中世の*Striatojaponocapsa plicarum* 帯(JR4)に相当し，その堆積年代はBajocian～early Bathonianと推定される． 前述の各岩相の特徴から，①苦灰岩質石灰岩は羽鶴苦灰岩部層(藤本，1961)に，⑤層状石灰岩は山菅石灰岩部層(藤本，1961)に比較される．③砂岩泥岩互層の特徴は，ユニット1の砂岩泥岩互層（会沢層）に類似する．従ってペルム系石灰岩の間にジュラ系珪質頁岩および砂岩泥岩互層が挟在する．これまで羽鳥（1965）を始め，柳本（1973），猪郷ほか(1976),およびAono (1985)などでペルム系石灰岩に挟在する砕屑岩相が地質図に図示されている．しかしその層序関係や年代論は十分ではない．本研究で明らかになったジュラ系中部の珪質頁岩は，これまで石灰岩層の最上位に報告されていた放散虫を含む珪質頁岩に対比されるものであり，玄武岩類（出流層）-石灰岩層（鍋山層）-中部ジュラ系珪質頁岩から構成される海山相が構造的に重複していることを示すと考えられ，挟在する砕屑岩相と海山相の層序関係を明らかにすることは，ジュラ紀付加体における海山付加の様子を検討する上で重要と考えられる． 文献：Aono, H., 1985, *Sci. Rep. Univ. Tsukuba*, Sec. B (Geological Sciences), 6, 21-57. 藤本治義, 1961, 5万分の1地質図幅「栃木」同説明書, 地質調査所, 62p. 羽鳥晴文, 1965, 地質雑, 71, 247-256. 猪郷久治・青木利枝子・細井さちゑ, 1976), 東京学芸大学紀要，第4部門, 数学・自然科学, 28, 226-236.　鎌田祥仁, 1997, 地質雑, 103, 343-356. Matsuoka, A. and Ito, T., 2019, *Sci. Rep., Niigata Univ.* (Geology), no.34, 49-57. Muto, S., Okumura, Y. and Mizuhara, T., 2021, Paleontological Research, 25, 105-119.　指田勝男・猪郷久治・猪郷久義ほか, 1982, 大阪微化石研究会誌, 特別号, 5, 51-66.　柳本 裕, 1973, 地質雑, 79, 441-451.

Keywords: Jurassic accretionary complex, radiolarians, Ashio Belt

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Intrusion of serpentinite along the Cretaceous and the unconformity of serpentinite in the Chichibu belt, Yusuhara, Kochi Prefecture

*Kengo Nishikawa[1], Tomohiro Tsuji[1]

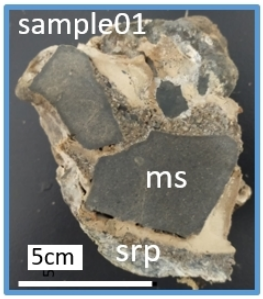
1. Yamaguchi Univ.

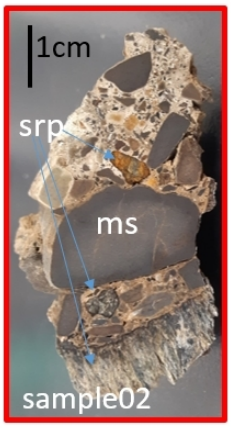
【はじめに】高知県北西部に位置する梼原町では西南日本外帯において最大級の蛇紋岩層が分布する．その中でも，本調査地域の田野々-横貝地域ではペルム紀からジュラ紀の付加体および白亜紀堆積岩類（香西ほか，1991)の幅広い年代の地層が複雑な構造運動を経て存在している．そのため，同地域に分布する蛇紋岩層の定置時期を制約するうえで適している．本調査地域はIshizaki(1962), 村田・前川(2013), 辻(2014)などにより地質調査が行われている．これらの論文より，構造的な解釈はされているものの，蛇紋岩に注目した研究はされていない． また，秩父帯内および黒瀬川帯に属する地域での蛇紋岩は，九州ではペルム紀堆積岩類（有田ほか，2001），四国，関東では物部川層相当層の白亜紀堆積岩類中に蛇紋岩礫（土谷, 1982；久田・荒井, 1986；石田ほか, 1996)および不整合露頭が複数発見されている(平内ほか, 2006）．これらの研究では蛇紋岩の定置時期は物部川相当層の堆積時期である前期白亜紀以前としてる．一方，同白亜紀堆積岩類を蛇紋岩が構造的に切っているという報告もある（甲藤ほか，1960；Hirauchi，2006）．その中でも，（土谷 1982，平内ほか 2006）は複数回の蛇紋岩の定置イベントがあったとしている．
【研究目的】本研究では蛇紋岩層と周辺地層の構造的関係を紐解くことより，調査地域での蛇紋岩の定置年代を制約することを目的とする．
【研究手法】白亜紀堆積岩類を含む田野々層および太田戸層の分布域を含む東西5km×南北4km程度の範囲で地表踏査を実施した．具体的には，岩相，分布の把握，構造データの取得を行い，ルートマップ，地質図，地質断面図を作成した．また，試料採取，薄片観察により岩石鑑定，構成鉱物の同定を行った．特に,蛇紋岩の変形構造や断層が見られた場合には，剪断センスの決定を試みた．
【地質概要】本調査地域を，北から南にかけて，混在岩主体であるUnitA，準片岩類主体のUnitB，白亜紀堆積岩類，混在岩主体であるUnitC, 鳥巣石灰岩が分布するUnitD,その南側のUnitEに区分した．また，白亜紀堆積岩類とUnitCとの境界に推定断層を設けた．
【結果】地質調査の結果，東西方向に連続して続き，白亜紀堆積岩類を構造的に切るように分布する蛇紋岩と，蛇紋岩と礫岩の不整合露頭を発見した．不整合露頭は境界上部が礫岩，下部が蛇紋岩である．この境界では，礫岩が下位的構造である蛇紋岩を削剥するチャネル構造が見られた．礫種としては，砂岩，泥岩，チャート，蛇紋岩を含むマトリックスサポートであり，淘汰は悪い．角礫～亜円礫，1-3cmの礫，および，大礫も存在する．基質は細粒で暗灰色から明灰色を呈すものである．対して，蛇紋岩は複数のブロックを含む構造である．
蛇紋岩の剪断センスとして，UnitAとの接合面では一概にTop to Southのスラストセンスを示し，不整合付近では，剪断センスは不揃いであるが，高角な南傾斜を示した．
【考察】白亜紀堆積岩類を切るように蛇紋岩が分布していることから，蛇紋岩の定置時代は前期白亜紀以降と考えられる．一方，蛇紋岩と礫岩の不整合露頭からは，礫岩の形成年代を詳細に決定することにより，蛇紋岩の定置時代の特定が検討できる可能性がある．他地域同様，不整合露頭の分布としては，白亜紀堆積岩類の基底部付近であるため，蛇紋岩の定置時代は前期白亜紀以前と予察できるが，露頭観察の結果としては，別環境下で形成された可能性がある礫岩という結果を得たため，蛇紋岩の定置時代は現段階では不詳であるとしている．この礫岩の年代次第では，複数回の蛇紋岩の定置を考察している土谷（1982）と平内ほか（2006）の見解と類似した検討が可能である．さらに，その詳細な定置時代は本研究でより詳細に明らかになると思われる．
引用文献
有田ほか (2001)　地質学雑誌,107,749-754. 石田ほか (1996)　徳島大総合科学自然科学研究, 9, 23-47.

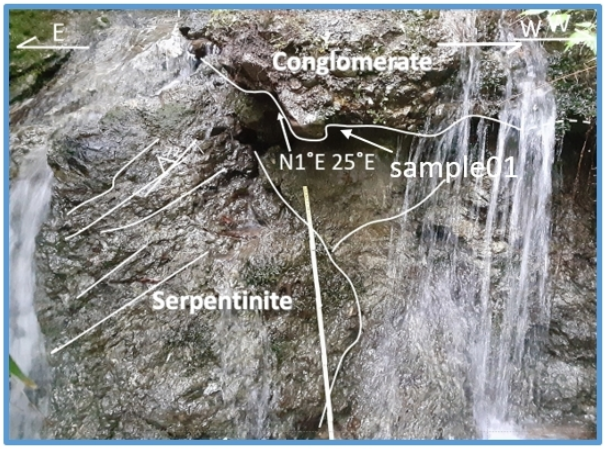
© 2021 Geological Society of Japan

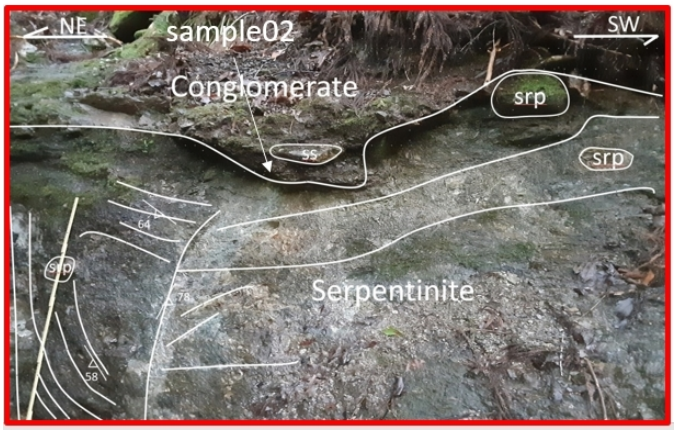
Ishizaki (1962)　Science reports of the Tohoku University, Second series. 134-136. 甲藤ほか (1960) 20万分の1高知県地質鉱産図及び同説明書.　香西ほか(1991)　高知大学学術研究報告, 40. 辻 (2014)　愛媛大学大学院理工学研究科数理物質科, 博士論文. 土谷 (1982)　地質調査所月報, 33, 381-387.　久田・荒井 (1986)　地質学雑誌.　92, 391-394. 平内ほか (2006)　地質学雑誌, 112, 452-45.　Hirauchi (2006)　Island Arc, 15, 156–164.　村田・前川 (2013)　徳島大学ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部,27 ,89-98 .

Keywords: serpentinite, Chichibu Belt, Intrusion, unconformity, Yusuhara









© 2021 Geological Society of Japan

(entry) The origin of large chert blocks in the western part of the Matsumoto Basin, Nagano Prefecture: altered mineral and ^{10}Be age

*Erika UEYAMA[1], Kohki YOSHIDA[1], Maarten LUPKER[2]

1. Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, 2. ETH Zürich - Geological Institute

長野県松本盆地西部の梓川沿いには, 長径数メートル以上の巨大岩塊が複数分布している. 特に, 松本盆地の中央, 松本市梓川倭には長径約7メートルのチャート岩塊が定置しており, これは火打岩として知られている(原山ほか, 2009). また, 松本市波田には三ツ岩と呼ばれる長径約8メートルのチャート岩塊が位置している. どちらも美濃帯付加コンプレックスのチャートとされる (原山ほか, 2009). これらの岩塊の起源について, 基盤岩の高まりであるのか, または運搬された転石であるのか議論が続いている. 梓川村誌編さん委員会（1993）では火打岩について, 推定される河川流量では運搬されないほどの岩体の規模であることから基盤岩の高まりであると結論付けた. しかし, 地震による斜面崩壊や, 現在推定される流量を上回る洪水などを考慮した場合, 運搬された転石である可能性についても否定はできない. また, 三ツ岩についても基盤岩の高まりであるとされている（松本市特別天然記念物指定内容より）が, 明確な根拠は挙げられていない. 以上より, 本研究ではこれら二つの岩塊について, 基盤岩の高まりと転石の可能性を踏まえ起源を推定するため, 二つの岩塊の薄片観察に加え, 岩塊との比較のため梓川上流で採取した転石試料の薄片観察, エネルギー分散型X線分析, さらに宇宙線生成核種である^{10}Beを用いた露出年代の測定を用いて検討を行った.

チャート岩塊について薄片を作成し観察した結果, どちらもの岩塊も熱変成作用を受けていることがわかった. 火打岩では放散虫仮像の長径が大きく, 小型の放散虫仮像が消失していたが, 三ツ岩では大小さまざまな放散虫仮像が認められた. またEDS分析の結果, 火打岩の脈鉱物としてカリ長石が含まれていることがわかった. これらのことから火打岩は三ツ岩より高温の変質を受けたと考えられる.

チャート岩塊との比較のため, 梓川において礫サイズのチャートの転石を3地点で採取し, 薄片を作成した. 鏡下観察の結果, これらの転石には変成鉱物として黒雲母や方解石, チタン酸化物が認められた. よって, これらのチャートの転石はより強い熱変成作用を受けているといえる.

さらに, チャート岩塊が現在の地点に露出した年代を推定するため, 宇宙線生成核種による分析を行った. この測定は, 宇宙から降り注ぐ放射線が岩石や堆積物の表面と反応し作り出す宇宙線生成核種を測定するものである. 測定の結果, 火打岩では6.95±0.74(Ka), 三ツ岩では4.13±0.5(Ka)という年代が得られた.

周辺の地質を考慮すると, チャート岩体に熱変成作用を与えたのは梓川上流に位置する奈川花崗岩体であると考えられる. しかし三ツ岩は火打岩より花崗岩に近いにもかかわらず, 高温の変質鉱物が出現することは説明できない. このことから, 二つの岩塊は, どちらも異地性の岩塊, 一方が異地性の岩塊である可能性がある.

一方, ^{10}Beが示す露出年代は4~7Kaと推定される. 青木(2000)は木曽山脈において最終氷期での地形形成を報告したが, これと比べても本研究での露出年代は有意に若いといえる. 基盤岩の高まりである場合, 最終氷期の下刻作用で露出しなかったこれらの岩塊が4~7Ka頃に, なんらかの浸食作用を受け露出したと考えられる. また異地性の岩塊である場合, 4~7Ka頃に長径数メートル以上の巨大岩塊を運搬するような大規模な斜面崩壊や重力流が生じたと考えられる.

引用文献

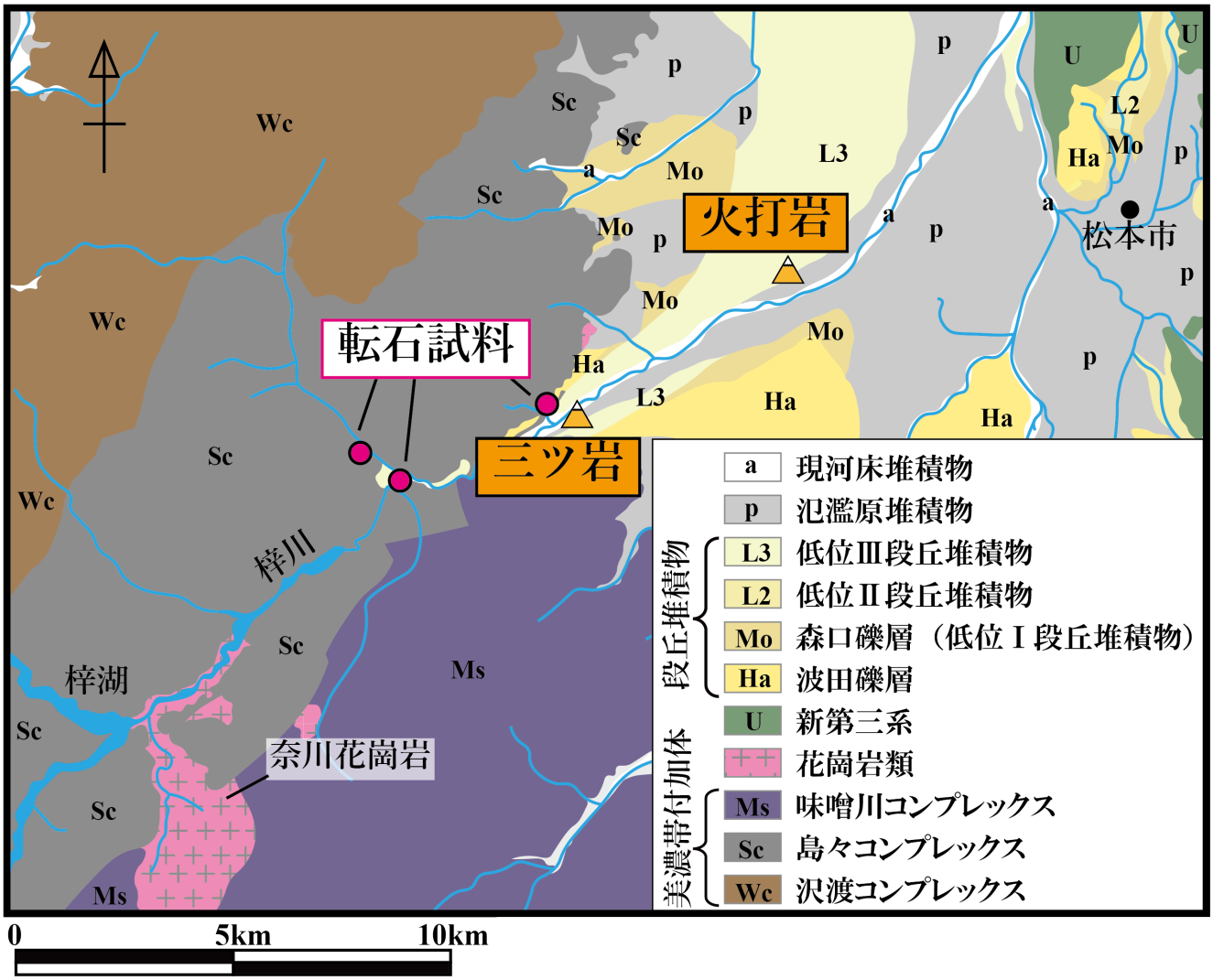
青木賢人, 2000, 10Be露出年代法を用いた氷成堆積物の形成年代の測定ー木曽山脈北部, 千畳敷カール・濃ヶ池カールの事例ー, 第四紀研究, 39(3) 189-198.

梓川村誌編さん委員会, 1993, 梓川村誌　自然・民族編, 第1章　地形・地質, 7-54.

原山　智・大塚　勉・酒井潤一・小坂共栄・駒澤正夫, 2009, 松本地域の地質　地域地質研究報告. 5万分の一地質図幅　金沢 (10) , 第46号NJ-53-6-3, 独立行政法人, 産業技術総合研究所, 地質調査総合センター.

Keywords: Mass movement, Debris flow, Mino accretionary complex, 10Be age

© 2021 Geological Society of Japan



火打岩・三ツ岩・転石試料の採取位置

© 2021 Geological Society of Japan

Lower Cretaceous formations of the Kema Terrane, Primorsky Krai, Russian Far East

*Shigeru Otoh[1], Mitsuhiro Nagata[2], Masashi Aoyama[3], Takuya Harada[2], Koh Kubomi[2], Kohki Bando[4], Jun Sugiyama[4], Alexander Kudymov[5], Mikhail Arkhipov[5], Alexei Didenko[5]

1. Faculty of Sustainable Design, University of Toyama, 2. Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama, 3. Japan Geocommunications Co., Ltd., 4. Faculty of Sustainable Design, Univ. of Toyama, 5. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far East Branch, Russian Academy of Science

1．はじめに　ケマ帯は，極東ロシア沿海地方～ハバロフスク地方の日本海側に位置し，前期白亜紀バレミアン期からアルビアン期の陸源堆積岩層より構成される．これらバレミアン～アプチアン階は，北海道の礼文ー樺戸帯を含む，モネロンーサマルガ島弧系の背弧海盆の堆積岩層と位置付けられている（Malinovsky et al., 2005, 2008）．筆者らは，2019年7月に，沿海地方ケマ川沿いの本帯の模式ルートを概査する機会を得て，採取した砂岩試料の砕屑性ジルコン年代分析を開始した．本発表では，その調査及び分析の概要を報告する．

2．地質概説および試料　ケマ川沿いのケマ帯の地層は，概ね東西～北東走向で，大局的に南傾斜・南上位の構造をとる．調査した地層は，見かけ下位よりメアンドロフスカヤ層（Meandrovskaya Formation）とケムスカヤ層（Kemskaya Formation）に区分される（Malinovsky et al., 2005, 2008）．岩相層序の詳細は，Malinovsky et al. (2005, 2008) に譲る．産出する二枚貝及びアンモナイト化石より，メアンドロフスカヤ層はバレミアン？～下部アプチアン階に，ケムスカヤ層は下部アプチアン～上部アルビアン階にそれぞれ対比される（Markevich et al., 2000 in Malinovsky et al., 2005, 2008）．ケマ川沿いのメアンドロフスカヤ層から砂岩２試料（試料M1：45° 51' 56.5" N, 136° 49' 12.0" E；試料M2：45° 50' 55.8" N, 136° 48' 58.1" E），ケムスカヤ層下部層から砂岩１試料（試料K1：45° 47' 02.6" N, 136° 47' 29.2" E），およびケムスカヤ層上部層から砂岩１試料（試料K2：45° 40' 18.8" N, 136° 45' 46.7" E）をそれぞれ採取した．

3．手法　採取した砂岩試料よりジルコンを抽出し，名古屋大学大学院環境学研究科設置のレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析装置（LA-ICPMS）でジルコンのU–Pb同位体分析を行った．測定したジルコン年代より算出した($^{206}Pb/^{238}U$ age)/($^{207}Pb/^{235}U$ age)値が0.9～1.1に収まるものをコンコーダント粒子と判断した．

4．結果

試料M1　ジルコン96粒子を分析し，内66粒子のデータをコンコーダントと判断した．320–176 Ma及び860–620 Maのジルコンが見られ，コンコーダント粒子の約75%が2600–1500 Maの年代となった．最若粒子の$^{206}Pb/^{238}U$年代（YSG）は176.1±5.1 Maであった．

試料M2　ジルコン94粒子を分析し，内75粒子のデータをコンコーダントと判断した．コンコーダント粒子の約25%が260–170 Ma，約60%が2350–1500 Maとなった．また，300–100 Maのジルコンも見られた．YSGは170.1±4.8 Maであった．

試料K1　ジルコン95粒子を分析し，内72粒子のデータをコンコーダントと判断した．コンコーダント粒子の約37%が280–116 Ma（150–100 Maはコンコーダント粒子の10%），約50%が2150–1500 Maとなった．また，1250–800 Ma，2300–2200 Ma，2500–2400 Maのジルコンも見られた．YSGは116.1±4.2 Maであった．

試料K2　ジルコン119粒子を分析し，内86粒子のデータをコンコーダントと判断した．コンコーダント粒子の約45%が320–105 Ma（150–100 Maはコンコーダント粒子の6%），約37%が2150–1500 Maとなった．また，1520–480 Ma，2350–2200 Ma，3350–2650 Maのジルコンも見られた．YSGは105.3±2.5 Maであった．

5．考察　今回の砕屑性ジルコン年代のYSGは，従来化石から推定されていた各層の時代に矛盾することはなく，ケマ川沿いの下部白亜系に付加体に見られるような逆転構造は今のところ検知されない．また，150–100 Maの砕屑性ジルコンの含有比率が10%以下だったことから，今のところ，礼文ー樺戸帯を含むモネロンーサ

© 2021 Geological Society of Japan

マルガ島弧系からの砕屑性ジルコンの供給は限定的だったと解釈している.

引用文献 Malinovsky et al., 2005: *Lithology Mineral Resour.*, **40**, 429–447／Malinovsky et al., 2008: *Isl. Arc*, **17**, 285–304／Markevich et al., 2000: *Early Cretaceous Deposits in the Sikhote-Alin Region.* Dalnauka (in Russian).

Keywords: Russian Far East, Lower Cretaceous, Kema Terrane, detrital zircon, U-Pb age

© 2021 Geological Society of Japan

Poster | R6 [Regular Session]Geopark

[1poster38-39] R6 [Regular Session]Geopark

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R6-P-1] Survey and research activities of Itoigawa UNESCO Global Geopark in cooperation with research institutes. Efforts to connect research to value discovery, protection and conservation, and outreach activities

*Takahiko Ogawara[1], Takuma Katori[2], Yousuke Ibaraki[1], Ko Takenouchi[1], Takeo Kobayashi[2] （1. Fossa Magna Museum, 2. Itoigawa City Hall Geopark Promotion Office）

4:30 PM - 7:00 PM

[R6-P-2] A practical study of an intensive and experiential undergraduate course in San'in Kaigan UNESCO Global Geopark at the University of Hyogo: Geopark and Community

*Kyohei SANO[1], Noritaka Matsubara[1], Yoshihiro Kikuchi[1,2], Norihito Kawamura[1] （1. Graduate School of Regional Resource Management, University of Hyogo, 2. National Institute of Technology,Sendai College）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

Survey and research activities of Itoigawa UNESCO Global Geopark in cooperation with research institutes. Efforts to connect research to value discovery, protection and conservation, and outreach activities

*Takahiko Ogawara[1], Takuma Katori[2], Yousuke Ibaraki[1], Ko Takenouchi[1], Takeo Kobayashi[2]

1. Fossa Magna Museum, 2. Itoigawa City Hall Geopark Promotion Office

新潟県糸魚川市は，国石に認定された宝石「ヒスイ」や，日本列島を東西に分断する大断層である糸魚川-静岡構造線など，地質資源に恵まれた町である．2009年には，日本初の世界ジオパークに認定され，地質資源を活かした研究・教育を基礎にした地域社会づくりを実践している．

糸魚川市には，地質系の学芸員が５名在席し，各々の専門分野を活かした研究活動を推進している．専門分野の内訳は，構造地質学２名，古生物学１名，堆積学１名，鉱物学１名であり，年齢層は，50代が１名，40代が1名，30代が１名，20代が２名と専門分野の多様性とともに，年齢層においても重複がないよう計画的に雇用し，持続的な研究活動が推進できる体制を構築している．
糸魚川ジオパーク協議会では，研究活動において，研究機関との連携を強化してきた． 2013年には，新潟県内の上越教育大学と包括連携協定を締結し，０才から18才までの子ども一貫教育方針のもとでのジオパーク学習の推進において連携している．環境省信越自然環境事務所とは2013年に連携協定を締結し，記念講演会や国立公園写真展の開催，体験イベントや体験学習などで連携している．新潟大学とは，2016年に包括連携協定を締結し，さらに2020年に糸魚川フォッサマグナミュージアムが新潟大学理学部のサテライトミュージアムとなった．恐竜化石の発見をめざした中生界の地質・化石調査やダブルホーム活動，シンポジウムの開催，こども学迎員による糸魚川ジオパークの解説パネルの理学部サイエンスミュージアムへの展示，理学部のインターン生の受入など幅広い分野で連携を深めている．
本稿では，研究機関と協力した調査研究活動によって生まれた新発見が，その後の保護保全活動やアウトリーチ活動に繋がった例を紹介する．

2020年に，糸魚川市内でコスモクロア輝石と呼ばれる貴重な鉱物の露頭が発見された．この露頭は，アマチュア鉱物研究家の大木氏と鈴木氏により発見され，糸魚川ジオパークにもその情報がもたらされた．フォッサマグナミュージアムでは，露頭の現場を確認し，島根大学の高須名誉教授，新潟大学の植田准教授とともに，露頭の科学的価値を検討した．
その結果を踏まえて，2020年７月３日に市の天然記念物に露頭を指定し，監視カメラや柵の設置を実施した．今回のコスモクロア輝石の露頭の発見では，大学の研究者とうまく連携することにより，露頭の科学的価値を解明し，迅速に保護保全活動に結びつけることができた．
この露頭では，現在でも大学による調査研究活動が続けられており，その成果の一部は糸魚川フォッサマグナミュージアムでの講演会や現地見学会にも活かされている．

2021年は，糸魚川市内の日本海に面する親不知から北アルプスの朝日岳や白馬岳へと続く，縦走路「栂海(つがみ)新道」が開通し50周年の節目の年となる．糸魚川ジオパーク協議会と糸魚川フォッサマグナミュージアムは，文化庁の「地域と協働した博物館活動助成事業」に採択され，栂海岳友会など地元山岳団体や糸魚川市観光協会，新潟大学，上越教育大学，糸魚川市理科教育センターと協力し，博物館での特別展の開催と，栂海新道の学術調査を実施している．
栂海新道の朝日岳(標高2,418m)付近は，急峻な地形のため，地質調査や動植物の調査がほとんど実施されていない．今回，文化庁の補助事業を活用し，新潟大学，上越教育大学，産業技術総合研究所，糸魚川市理科教育センター，糸魚川フォッサマグナミュージアムでの合同調査を実施することができた．これは，糸魚川ジオパーク協議会が締結してきた連携協定の成果であり，調査結果は，地域の保護保全活動やジオサイトの認定に

© 2021 Geological Society of Japan

活用される予定である．

ジオパーク活動は，学術的知見をジオサイトや発行する印刷物や展示物，講演会など幅広い内容で活用し，多くの方に普及できる仕組みがある．また，地域の博物館など研究施設には，地元住民やアマチュア研究者を含めたコミュニティが形成されており，分野を問わず地域課題を探求し蓄積していくことができ，天然記念物や国立公園の範囲など，研究をする上で必要な許可申請についても豊富な知識を持つ．

ジオパークが進めている活動は，研究機関の調査研究活動の助けになるだけではなく，アウトリーチ活動の場としても研究機関にとって重要であるといえる．

Keywords: Itoigawa UNESCO Global Geopark, Fossa Magna Museum, Kosmochlor, Mt. Asahi

© 2021 Geological Society of Japan

A practical study of an intensive and experiential undergraduate course in San'in Kaigan UNESCO Global Geopark at the University of Hyogo: Geopark and Community

*Kyohei SANO[1], Noritaka Matsubara[1], Yoshihiro Kikuchi[1,2], Norihito Kawamura[1]

1. Graduate School of Regional Resource Management, University of Hyogo, 2. National Institute of Technology,Sendai College

本発表では山陰海岸ジオパークエリア内にて兵庫県立大学の集中・全学共通科目として実施した「ジオパークと地域」の教育的効果を統計的手法に基づき検討するため，実践内容と，授業によって学生にどのような変化が生じたのかをまとめ，報告する．

本授業の実習地がある山陰海岸ジオパークは，山陰海岸国立公園を中心に，京都府京丹後市の東端から鳥取県鳥取市の西端にまたがるエリアで構成される．地域を理解する実習地としてジオパークを用いることで，大学生が環境システムを構成する要素間の関連性を学習することが期待できる．本授業は夏期休業中の集中・全学共通科目であり，第1日と第4日の2日間の大学における授業（講義と実習）と，第2日から第3日の山陰海岸ジオパーク（兵庫県豊岡市，香美町）における野外実習2日間で構成した．本授業の目的は，学生がジオパークの景観を観察し活動の現場に接することで，（Ⅰ）地質・地形と文化・産業等との関係性を理解すること，（Ⅱ）地域におけるジオパーク活動の意義を理解することである．

授業前後の学生の変化を調べるため，授業の第1日および第4日の授業の終わりにイメージマップを作成させた．イメージマップは，テーマとなるラベル（刺激語）を中心に関連付けられる特定の事柄やキーワード，イメージ，概念に関する思考の広がりを図示することで，学習者の知識獲得状況を捉える方法である（三宅，1987）．授業中に学生が作成したイメージマップを解析したところ，授業の前後で地質・地形および産業・文化に関するラベル数が有意に増加した.また，地質・地形と産業・文化のリンク数については有意傾向があり，ポストマップでの増加が見られた.野外実習でのレポートの分析からは，地質・地形と文化・産業等に関係した言葉が抽出された（佐野ほか，2021）．

一方で，本授業の実践から，ジオパークにおける高等教育実践の事例蓄積，「ジオパーク活動の意義の理解」についての評価方法の検討，本授業受講前の事前学習の重要性，ジオパークないのサイトで見られる資源間（ジオ-エコ-ソシオ）のどのような関連性を学習できるのかについての事前把握とジオパーク側の情報発信の重要性が今後の課題として得られた．本発表では兵庫県立大学で実践しているジオパークを活用した教育プログラムの実践を報告し，その成果と課題をもとに，高等教育で展開できるジオパークでの教育推進について議論したい．

＜文献＞

三宅正太郎（1987）学習者の知識獲得状況を把握する一方法としてのイメージ・マップ・テスト（Image Mapping Test）について．日本科学教育学会研究会研究報告 1，3, 75-82.
佐野恭平・松原典孝・菊池義浩・川村教一（2021）ジオパークにおける野外実習とグループワークを組み合わせた全学共通科目の成果と課題: 夏季集中講義「ジオパークと地域」を例として．地域資源マネジメント研究 1，2-21.

Keywords: Geopark, Educational program, Image Mapping, Higher Education

© 2021 Geological Society of Japan

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

[1poster40-42] R7 [Regular Session]Cenozoic geological records of Japan

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R7-P-1] Post-rift extensional stresses detected from meso-scale faults in the Miocene Hokutan Group, northern Kami Town, San'in region

*Toshiki Haji[1], Yoshiaki Sugamori[2], Noritaka Matsubara[3], Sota Niki[4], Takafumi Hirata[4] （1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Faculty of Agriculture, Tottori University, 3. Graduate School of Regional Resource Management, University of Hyogo, 4. Geochemical Research Center, The University of Tokyo）

4:30 PM - 7:00 PM

[R7-P-2] (entry) Reconstruction of paleoenvironment of Miocene volcaniclastic rocks and clastic rocks in the northern part of hyogo, San’ in Kaigan Geopark, based on facies analysis and Zircon fission-track and U-Pb ages

*Noritaka Matsubara[1], Suzuka Kooriyama[2], Kyohei Sano[1], Toshiki Haji[3], Tohru Danhara[4], Takafumi Hirata[5], Hideki Iwano[4] （1. University of Hyogo, 2. Fossa Magna Museum , 3. AIST, 4. KYOTO FISSION-TRACK Co.Ltd, 5. The University of Tokyo）

4:30 PM - 7:00 PM

[R7-P-3] Standardless fission track dating of zircon using laser ablation ICP mass spectrometry and its implications

*Hideki IWANO[1], Tohru DANHARA[1], Takafumi HIRATA[2] （1. Kyoto Fission-Track Co., 2. Geochemical Research Center, The University of Tokyo）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

Post-rift extensional stresses detected from meso-scale faults in the Miocene Hokutan Group, northern Kami Town, San'in region

*Toshiki Haji[1], Yoshiaki Sugamori[2], Noritaka Matsubara[3], Sota Niki[4], Takafumi Hirata[4]

1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. Faculty of Agriculture, Tottori University, 3. Graduate School of Regional Resource Management, University of Hyogo, 4. Geochemical Research Center, The University of Tokyo

中新世の西南日本のテクトニクスは，日本海の拡大の終了が起こった1500万年前を境に，転換を遂げたと考えられてきた（例えばYamaji and Yoshida, 1998）．すなわち，日本海拡大期（シンリフト期）の伸張場と拡大終了後（ポストリフト期）の圧縮場である．しかし最近，西南日本陸域のリフト期の終了は従来の想定よりも100万年ほど古く，1600万年前頃と示された（Haji and Yamaji, 2020）．また他方で，それより若い引張応力も発見され始めた（Haji and Yamaji, 2021; Sato, D. and Haji, 2021）．このように西南日本の変動史は上記の描像のように単純ではなく，修正が必要なことが明らかとなった．
発表者らはこの変動史の修正を目指し，小断層や岩脈といった小構造の方位解析から応力史の再検討を進めている．今回，山陰東部の中新統北但層群中の小断層を対象として古応力解析を行い，ポストリフト期の引張応力を得た．本講演ではその結果を示すとともに，その意義を議論する．
調査対象としたのは，兵庫県香美町北部の海岸沿いに露出する中新統北但層群である．調査地域の北但層群は凝灰質の陸成～海成の砕屑岩からなり，従来はシンリフト期の地層である八鹿層および豊岡層（1650～2150万年前頃の地層；羽地ほか，2019）と考えられてきた（例えば，池辺, 1963）．しかし，本研究で我々は火山礫凝灰岩のジルコンU-Pb年代測定を行い，15.4 Ma頃の年代を得た．したがって，同地域の砕屑岩はポストリフト期の地層であると示唆される．
香住北東地域で119条，香住北西地域で71条，鎧地域で35条，餘部地域で22条の小断層データを得た．小断層解析にはHough変換を用いた解析法であるHIM（Yamaji et al., 2006; Sato, K., 2006）を使用した．小断層を測定した母岩の地層は傾斜が最大15度程度と緩傾斜であったため，傾動補正は行っていない．応力解析の結果，いずれの地域のデータからもNNE～NE方向に最小圧縮主応力軸を持つ，応力比が低めの正断層型応力を得た．
山陰東部地域では過去にFournier et al. (1995)によって中新統の小断層から古応力が検討されており，彼らはNW-SE引張のtranstensionalな応力が記録されていると結論した．本研究の得た応力はこれと引張方向が異なる．彼らは今回の我々の調査地域は対象としておらず，周辺の火山岩主体の地域で小断層データを採取している．この火山岩主体の地層は，本研究の砕屑岩の下位と想定されるため，得られた応力の差は引張方向の転換を示している可能性がある．山陰東部は既存の中新統層序に問題があることが知られており，この応力差の検討のためにも層序の解明は今後の課題である．
最近，Haji and Yamaji (2021)は北但層群の分布域南縁に分布する岩脈と小断層を用いて応力史を検討し，ポストリフト期に引張応力場が存在したことを指摘した．彼らの得た応力は，NE-SW方向に最小主応力軸を持ち，応力比が低い応力であった．本研究の調査地域は北但層群の陸域の分布域北縁に位置するが，得た応力はこれと調和的である．したがって，北但層群の分布する広い範囲においてポストリフト期にNE-SW方向の引張応力状態にあったと考えられる．

＜引用文献＞
Fournier et al., 1995, Jour. Geophys. Res., 100, 24295–24314./ 羽地ほか，2019，地質雑，125, 867–875./ Haji and Yamaji, 2020, Isl. Arc, 29, e12366./ Haji and Yamaji, 2021, Isl. Arc, 30, e12412./ 池辺，1963，日本自然保護協会調査報告，7. / Sato, D. and Haji, 2021, Isl. Arc, 30. E12405./ Sato, K., 2006, Tectonophysics, 421, 319–330. / Yamaji and Yoshida, 1998, Jour. Min. Petr. Econ. Geol., 93, 389–408. / Yamaji et al., 2006, Jour. Struct. Geol., 28, 980–990.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Miocene, paleostress, meso-scale fault, zircon U-Pb age, Japan Sea Opening

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Reconstruction of paleoenvironment of Miocene volcaniclastic rocks and clastic rocks in the northern part of hyogo, San’in in Kaigan Geopark, based on facies analysis and Zircon fission-track and U-Pb ages

*Noritaka Matsubara[1], Suzuka Kooriyama[2], Kyohei Sano[1], Toshiki Haji[3], Tohru Danhara[4], Takafumi Hirata[5], Hideki Iwano[4]

1. University of Hyogo, 2. Fossa Magna Museum , 3. AIST, 4. KYOTO FISSION-TRACK Co.Ltd, 5. The University of Tokyo

京都府北西部から兵庫県北部，鳥取県北東部に位置する山陰海岸ジオパークのエリア内には広く中新統が分布している．特に，兵庫県北部を中心に分布する北但層群は日本海拡大開始～形成後までを記録した一連の地層からなり，日本海形成期のマグマティズムとテクトニクスを解明するうえで非常に重要な地層群である．従来，北但層群に関する地質学的研究は，一部を除いて層序学的なものに限られ（弘原海ほか，1966など），堆積環境や火山活動については十分に議論されず，その地質学的実態は未だ明らかにされていない．今回，兵庫県北部但馬御火浦（たじまみほのうら）～浜坂周辺に分布する北但層群八鹿層および豊岡層の砕屑岩類，溶岩類，火山砕屑岩類を対象に堆積相解析を行った結果，日本海拡大期に陸上環境から水中環境への変化があり，そこで陸上の火山と水中の火山が活動していたことが分かった．

＜但馬御火浦~浜坂エリアに分布する北但層群の堆積相＞

岩相解析の結果，砕屑岩類は主に，斜交層理やトラフ型斜交層理が発達し，しばしば上方細粒化を示す河川堆積物，河川堆積物と挟在する土石流堆積物，塊状で局所的に分布する崖錐堆積物，しばしば炭質物を含み一部でコンボリュート層理が顕著な湖沼堆積物および浅海～内湾成堆積物からなり，一部で貝化石や材化石，根痕化石，足跡化石が認められる．崖錐堆積物の中にはほぼ花崗岩の角礫のみからなり，楔状に分布するものも認められる．断層活動に伴って形成されたものと判断した． 火山岩類は溶岩および岩脈・岩床として産する．溶岩は陸上噴出のものと水中噴出のものに分けられ側方及び上方で火山砕屑岩類へ遷移する． 火山砕屑岩類は大きく自破砕溶岩や原地生ハイアロクラスタイト，ペペライト，軽石流堆積物等の初生的なものと，一度定置した溶岩類や火山砕屑岩類が浸食・崩壊等の二次的要因により再移動し堆積した多源的なタービダイト，陸上土石流堆積物，水中土石流堆積物，粒子流堆積物などのエピクラスティックな重力流堆積物，さらにそれらが河川流によって移動再堆積した河川堆積物に分けられる．ハイアロクラスタイトの多くは単源的だがジグソーフィット構造が発達せず一部弱成層するタイプでしばしば偽枕状溶岩を含む．Yamagishi(1987)に従い，水冷自破砕した原地性ハイアロクラスタイトが水中土石流や乱泥流，粒子流となって移動，堆積した再堆積ハイアロクラスタイトと解釈した．軽石流堆積物中には偽礫として弱成層した砂岩泥岩互層が含まれることがある．これは，安定した水底下に軽石流堆積物が高エネルギーで流下することにより取り込まれたものと考えられる．シート状溶岩の間に認められる赤色に酸化し弱成層し一部斜交層理の認められる火山砂岩や不淘汰な火山礫凝灰岩は火山活動の間隙に堆積した河川堆積物やラハール堆積物であると考えられる．

＜FT・U-Pb年代＞

兵庫県新温泉町浜坂周辺に分布する北但層群豊岡層の軽石流堆積物からジルコンを抽出し，FTとU-Pb年代測定を行った結果，それぞれ15.6±0.8Maと17.7±0.3Maを得た．羽地・山路（2019），羽地ほか（2019）は本調査地域の南方に分布する北但層群を対象に年代測定を行い，八鹿層上部で19.38±0.23MaのU-Pb年代を得た．また，豊岡層を覆う村岡層最下部をU-Pb年代とFT年代，豊岡層上部から算出する化石などに基づき16.5Ma頃とし，豊岡層を17～16.5Maに堆積したとした．今回の結果は概ねこれに近い値であり，豊岡層の堆積年代として矛盾しない．

＜文献＞

弘原海清ほか，1966，松下進教授記念論文集，105-116． Yamagishi, H., 1987， Rept. Geol. Surv. Hokkaido, 59:55-117.

© 2021 Geological Society of Japan

羽地 俊樹, 山路 敦，2019．地質学雑誌，125．9．685-698.
羽地 俊樹ほか，2019．地質学雑誌，125．12． 867-785.

Keywords: Hokutan Group, facies analysis, Zircon U-Pb ages, Fission-track ages, Miocene, Green tuff

© 2021 Geological Society of Japan

Standardless fission track dating of zircon using laser ablation ICP mass spectrometry and its implications

*Hideki IWANO[1], Tohru DANHARA[1], Takafumi HIRATA[2]

1. Kyoto Fission-Track Co., 2. Geochemical Research Center, The University of Tokyo

2000年代以降，ジルコンのフィッション・トラック(FT)年代測定法において，U定量に際しレーザーアブレーションICP質量分析法(LA-ICPMS)が使われるようになり(Košler and Sylvester, 2003)，現在では1粒のジルコン粒子からU－Pb年代とFT年代を同時に求めるLA-ICPMSダブル年代測定が定着した(Hasebe et al., 2013, Iwano et al., 2020)．本発表では，最近2年間に行った標準試料Fish Canyon Tuff ジルコン(FCT; 28.45 Ma; Schmitz and Bowring, 2001)の繰り返し測定（31回）から得たLA-ICPMS FT年代絶対較正結果を示す．ジルコンのFT/U-Pbダブル年代測定手順はIwano et al. (2020)に準拠した．FCTジルコンは自然外部面(12回)と研磨内部面(19回)を併用した．他に年代既知5試料(0.77~61Ma)も分析した．自発FT密度を計測後，東京大学地殻化学実験施設設置のLA-ICPMS (Thermo Fisher Scientific社製四重極型ICPMS iCAP-TQとConversion 社製フェムト秒レーザーCARBIDEの組み合せ)により，U-Pb年代とU濃度を同時分析した．同レーザーのビーム径は約10㎛だが，ガルバノ光学系を用いた高速走査により，30㎛角領域を深さ約6μmまで掘削した．スタンダードは，U濃度用としてNIST発行のガラス標準物質SRM610，Pb/U比の補正として91500ジルコン（Wiedenbeck et al., 1995）を用いた．測定した元素及びその同位体は^{29}Si，^{202}Hg，^{204}Pb，^{206}Pb，^{207}Pb，^{208}Pb，^{232}Th，^{238}Uである．FT年代絶対較正は壊変定数8.5×10^{-17} yr^{-1} (Yoshioka et al., 2005)を用い，その他の物理パラメータはIwano et al. (2018, 2020)と同じである．
FCTの絶対較正FT年代値は25~34 Maの範囲内でランダムにばらつき，31回の平均値として28.22±0.32 Ma (1SE)を得た．この繰り返し測定結果は，現行のFT年代測定条件（例えば，1回の測定に20～30粒子を分析）に伴う計数誤差に従ったばらつき（ゆらぎ）と考えられる．加重平均を求めたところ，最大と最小年代値の1個ずつが外れ値として棄却され，最終的に28.25±0.51 Maを得た．この値はジルコンU-Pb年代(28.45 Ma)と整合的である．また並行して分析した他の年代既知試料についてもFT年代とU-Pb年代が一致した．このことから，LA-ICPMSによるU定量とそれに基づいた絶対較正によるFT年代が正確に機能すると判断される．一方，91500ジルコン片について，ランダムに測定した538点のU濃度平均値は81ppmとなったが，最小と最大の範囲は62~101ppmと比較的大きいことが明らかになった．Iwano et al. (2020) が提案したゼータ較正では，同一マトリクスU濃度スタンダード候補として91500ジルコンを用い，1回のセッション内で分析する年代標準ジルコンからセッションごとのゼータ値を決め，未知試料に適用する．しかしその場合，ゼータ（FCT）分析でのランダムなゆらぎ（±10%）と91500のU濃度不均一（±20%）が未知試料の年代決定の不確定要因として潜む可能性が示唆される．

文献： Hasebe et al. (2013) Island Arc **22**, 280-291. Iwano et al. (2018). Chemical Geology, **488**, 87-104. Iwano et al. (2020) *Island Arc*. **29**:e12348. Košler and Sylvester (2003) Reviews in Mineralogy & Geochemistry 53, 243–75. Schmitz and Bowring (2001) Geochimica et Cosmochimica Acta **65**, 2571–2587.Wiedenbeck et al. (1995) Geostandards Newsletter **19**, 1–23. Yoshioka et al. (2005) NIM-A **555**, 386–395.

Keywords: zircon, fission track dating, absolute calibration, LA-ICPMS

© 2021 Geological Society of Japan

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

[1poster43-50] R9 [Regular Session]Origin, texture and composition of sediments

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R9-P-1] Zircon U-Pb Ages from sandstones of the Muro Accretionary sequence (Muro Group) in the Shimanto Superbelt, Kii Peninsula, southwestern Japan

*Takanori Bessho[1], Hiroyuki Suzuki, Toshiya Yamamoto[2], Tohru Danahara[3], Hideki Iwano[3], Takafumi Hirata[4] (1. Osaka Museum of Natural History, 2. Tanabe High School, 3. Kyoto Fission-Track Co., Ltd, 4. Tokyo University)

4:30 PM - 7:00 PM

[R9-P-2] Storm Surge Deposits from the East Japan Typhoon(2019) at Samejima Beach, Iwata City, Shizuoka Prefecture, Japan

*Akira Aoshima[1], Hiroyuki Kurematsu[1], Takeshi Tostuka[1], Yuya Takahashi[1], Kosuke Arimura[1], Koki Suzuki[1], Syun Ichikawa[1], Rabu Kato[1] (1. Shizuoka Prefectural Iwata Minami High School)

4:30 PM - 7:00 PM

[R9-P-3] Change of sedimentary system in an inland basin in the central part of the Japanese Island during the late Pleistocene-Holocene periods

*Nozomi Hatano[1], Ritsuho Kawano[2], Kohki Yoshida[2] (1. Nagano Conservation Research Institute, 2. Faculty of Science, Shinshu University)

4:30 PM - 7:00 PM

[R9-P-4] (entry) The reservoir characterization and sedimentary environment of the Pennsylvanian Morrow Formation based on wireline logging data in Vici, Oklahoma, U.S.A.

*Kaito Seki[1], Shun Chiyonobu[1], Hiroyuki Arato[1], Naruhide Takahashi[2], Isao Mita[3] (1. Akita graduated university , 2. Iochem Corporation, 3. Resource. Geo. Env. Lab.)

4:30 PM - 7:00 PM

[R9-P-5] (entry) Where is the sedimentary environment of the Nakaminato Group, if modern time? Reexamination on the basis of ocean drilling sciences and sequence stratigraphy

*Jumpei SAIGAN[1] (1. Yamaguchi university)

4:30 PM - 7:00 PM

[R9-P-7] (entry) Microplastic sedimentology of grain size and grain shape

*Kengo Nakano[1], Kiichiro Kawamura[1] (1. Yamaguchi Univ.)

4:30 PM - 7:00 PM

[R9-P-8] Bayesian estimation of uplift rate of Japan Islands based on bedrock river longitudinal profiles

*Hajime Naruse[1] (1. Kyoto University)

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

Zircon U-Pb Ages from sandstones of the Muro Accretionary sequence (Muro Group) in the Shimanto Superbelt, Kii Peninsula, southwestern Japan

*Takanori Bessho[1], Hiroyuki Suzuki, Toshiya Yamamoto[2], Tohru Danahara[3], Hideki Iwano[3], Takafumi Hirata[4]

1. Osaka Museum of Natural History, 2. Tanabe High School, 3. Kyoto Fission-Track Co., Ltd, 4. Tokyo University

紀伊半島四万十累帯の年代決定は今まで放散虫化石年代が主であったが，最近,砂岩中の砕屑性ジルコンのフィッショントラック年代（大平ほか，2016）やU-Pb年代（常盤ほか，2016；Tokiwa, T. et al, 2017)が報告されている．しかしながら，これらの報告は四万十累帯の白亜系および古第三系暁新統～下部始新統のもので，より新しい牟婁付加シークェンス（牟婁AS：中期始新世～前期漸新世）については報告がない．今回，牟婁AS砂岩の砕屑性ジルコンU-Pb年代を検討し，放散虫化石年代との比較を試みた。また，砂岩の重鉱物組成，ザクロ石組成についても検討した． 牟婁付加シークェンスはスラストで境された四つの構造ユニット（TU），すなわち北より，野竹・狼ヘ山（おおかみだわさん）・市鹿野・周参見TUに区分され，その年代は相対的に南ほど若くなる（鈴木ほか，2012）． 今回，砕屑性ジルコンU-Pb年代を検討したのは野竹TU上三栖層，市鹿野TU打越層，周参見TU佐本川層の3試料で，放散虫化石の産出地点近傍にある砂岩を採取した．放散虫化石から野竹TUは中期始新世，市鹿野TUは中期始新世後半～後期始新世前半であるのに対し，周参見TUは中期始新世後半～前期漸新世前半とやや新しい付加体とされている． 砕屑性ジルコンU-Pb年代値の最若ピーク年代の加重平均は野竹TU:72.0±0.2 Ma, 市鹿野TU:36.1±1.9 Ma，周参見構造TU:59.6±1.0 Maであった．野竹TUや周参見TUの値は放散虫化石年代より明らかに古く，両者は火成活動のHiatusの影響が考えられる．一方，市鹿野TUの値は放散虫化石年代とほぼ一致し，同時代の火成岩に由来すると推定される．3試料とも，ごくわずかな古原生代ジルコン（1600-2500 Ma)を含んでいるが，その頻度は若いユニットほど，増加する．これらのジルコンの多くは円磨されていることからリサイクル粒子と考えられ，古期堆積岩や東アジア先カンブリア時代堆積岩からの供給が増加したものと推定される．砂岩中の透明重鉱物は市鹿野TUでは，自形ジルコン，円磨ジルコン，ザクロ石を主とするが，周参見TUではザクロ石を殆ど含まず，円磨ジルコンに富む．その他，電気石，チタナイト，鋭錐石，ルチルなどを伴う．ザクロ石はパイロープ成分に富むアルマンディンが多く，スペッサルティン成分に富むものは少ない．寺岡（2003）のMn-Mg-Ca 三角図では中圧型(Ia,Ig1,Ig2)が多いが,特にMgに富むIg2が多く，次に低圧型であるL型が多い． 重鉱物組成やザクロ石の化学組成から牟婁ASの後背地には，珪長質火成岩（内帯後期白亜紀火成岩），古期堆積岩（四万十帯白亜系？，秩父，美濃ー丹波帯），低圧変成岩（領家帯），中圧変成岩（飛騨，黒瀬川変成帯），東アジア先カンブリア時代堆積岩，グラニュライト相変成岩，原生代片麻岩などが存在し，砕屑物を供給していたと推定される．ザクロ石で多くを占めるIｇ2型は市鹿野TU打越層→合川層→周参見TU小節川層と上位の層ほど多く含まれるので，この種のザクロ石の起源とされるアジア大陸先カンブリア時代グラニュライト相変成岩（寺岡，2003）からの供給が増加した可能性が示唆される．また，円磨された重鉱物（電気石，ルチル），無色や紫色円磨ジルコン（Purple zircon）の量比も牟婁ASに入って，急増する． 以上のような結果から牟婁ASの堆積時期である中期始新世以降（48 Ma～)に，古期堆積岩や東アジア先カンブリア時代岩石からの供給が増加したと推定される．牟婁付加シークェンスに多量含まれるオーソコォーツァイト礫（Tokuoka,1970;徳岡・別所，1980）もこうした増加に伴った砕屑物のひとつであろう．本研究は2019年度南紀熊野ジオパーク研究助成を受けたものである． ＜引用論文＞ 大平寛人・笠井美里・山本大輔・高須　晃（2016）島根大学地球資源学研究報告．34,67-75. 鈴木博之・中屋志津男・福田修武（2012）地団研専報，59，71－86． 寺岡易司（2003）地調月報，50，559－590． 常盤哲也・竹内　誠・志村侑亮・太田明里・山本鋼志（2016）地質雑，**122**，625－635． Tokiwa, T., Takeuchi, M., Shimura, Y., Shobu, K., Ota, A., Yamamoto, K. and Mori, H. (2017) *Intech, Rijeka (Croatia),* Ch.10,197-228. Tokuoka,T. (1970) Mem.Fac. Sci, Kyoto Univ.Ser B (Geol & Min),37,113-132. 徳岡隆夫・別所孝範（1980）地球科学, 34, 266-278.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: U-Pb age, Paleogene, Muro Accretionary sequence, Shimanto Superbelt, Kii Peninsula

© 2021 Geological Society of Japan

Storm Surge Deposits from the East Japan Typhoon(2019) at Samejima Beach, Iwata City, Shizuoka Prefecture, Japan

*Akira Aoshima[1], Hiroyuki Kurematsu[1], Takeshi Tostuka[1], Yuya Takahashi[1], Kosuke Arimura[1], Koki Suzuki[1], Syun Ichikawa[1], Rabu Kato[1]

1. Shizuoka Prefectural Iwata Minami High School

１.はじめに

2019年10月12日に令和元年東日本台風（以下，東日本台風）が静岡県東部を通過した.この台風により,各地で高潮が発生した（気象庁，2019）． 筆者らは，遠州灘に面する磐田市鮫島海岸にて，海岸浸食の変化を明らかにすることを目的に，定期的に水準測量を行ってきたが，台風後の10月17日の調査では，海岸入口より西側150m地点で，高潮により海岸に沿う遊歩道が破壊され，その陸側には高潮による堆積物が見られた（戸塚ほか，2021）．そこで,特に高潮による堆積物に着目して，その浸食，運搬，堆積作用について検討することにした.

2.方法

始めに2019年に静岡県に接近した台風の通過前後24時間の平均風速，平均気圧，総雨量の比較を行った.気象観測記録は磐田南高校の自記風速計，自記気圧計，雨量計の記録を用いた.次に台風前後の微地形の比較を行った．通過前はGoogle Earthの衛星写真（同年1月14日撮影）を用いた.通過後は,ドローン（DJI製Phantom3 Advance）を用いて2019年11月2日に上空150mから空撮を行った.また，台風通過前後の地形断面の比較を行った．通過前は，磐田市都市計画図（2，500分の1，2017年11月測量）の標高と等高線を読み取り作成した．通過後は，現地でハンドレベルとオートレベルを併用して水準測量を実施した．断面図の作成側線は，鮫島海岸入口西150mの汀線に垂直な方向である.さらに高潮堆積物の鉱物組成と粒度組成を調べた．鉱物組成は，採取した砂200粒を双眼実体顕微鏡で鉱物の種類を同定した. 粒度組成は，ふるいを用いて調べた．砂の採集地点は，汀線に垂直な方向１側線と汀線に平行な３側線に沿って，10ｍ間隔で採取した．最後に高潮堆積物の堆積構造を調べるために，トレンチ掘削を行った．掘削地点は鮫島海岸入口西側の防風林で,L字型に東西方向1.5m，南北方向1.5ｍ，幅0.5ｍ，深さ0.7mの溝を掘削した.

3.結果と考察

東日本台風は，同年に上陸した他の台風と比較しても平均風速，平均気圧，総雨量の全てが上回り，大きな勢力のまま鮫島海岸に接近したことがわかった． 微地形の比較では，台風通過後の防風林と遊歩道の破壊が顕著であった.また，遊歩道の陸側には，高潮によって防風林がなぎ倒され，運搬された海浜砂が半円状に堆積していた．また，防風林の高さ1.5ｍ付近の枝には，高潮によって運ばれたポチエチレンの紐が多数付着していたことから，高潮は防風林の内部まで，侵入したことがわかった． 地形断面の比較では，通過前には遊歩道を挟んだ陸側には防風林に覆われた緩やかに高まる斜面と，その陸側には土手状の高まりが存在していた．しかし，通過後には図のとおり緩やかな斜面上には，扇状に長さ50ｍ，幅70ｍ厚さ0.6mほどの高潮による堆積物が一面に渡って堆積していた（図１）．この高潮堆積物の末端には，葦などの単子葉植物が一定の方向になぎ倒された領域があり，さらにその陸側には帯状に幅5～6ｍの海岸漂着物が散乱する領域が高潮堆積物を取り囲むように堆積していた． 高潮堆積物の鉱物組成では，汀線付近の砂と汀線から陸側100m地点の砂の鉱物組成を比較すると,どちらとも石英28%,長石18～31%,岩片36～40%,有色鉱物5～14%で似た傾向となった.このことから,汀線付近の砂が高潮により内陸の140m地点まで運搬・堆積したもとのと考えられる. 粒度組成では，汀線に垂直な側線の平均粒径を比較すると,汀線から遠ざかるほど，0.8mmから0.4mmへと細粒になる傾向が見られた.一方,汀線に平行な３側線では，平均粒径に大きな差はみられなかった.このことから高潮は汀線に対してほぼ垂直に侵入し，海浜砂が運搬され堆積したものと考えられる. トレンチ掘削調査では，最下部は防風林の根が張った褐色の腐食土層で,台風前の地形面であった.その上位に厚さ40cnの新鮮な高潮堆積物の砂層が4層観察された（図２）．1層目は腐食土層の根を大きく巻き上げていた.また,上位の3層ではそれぞれに上方細粒化の傾向と，ラミナやクロスラミナがみられた.

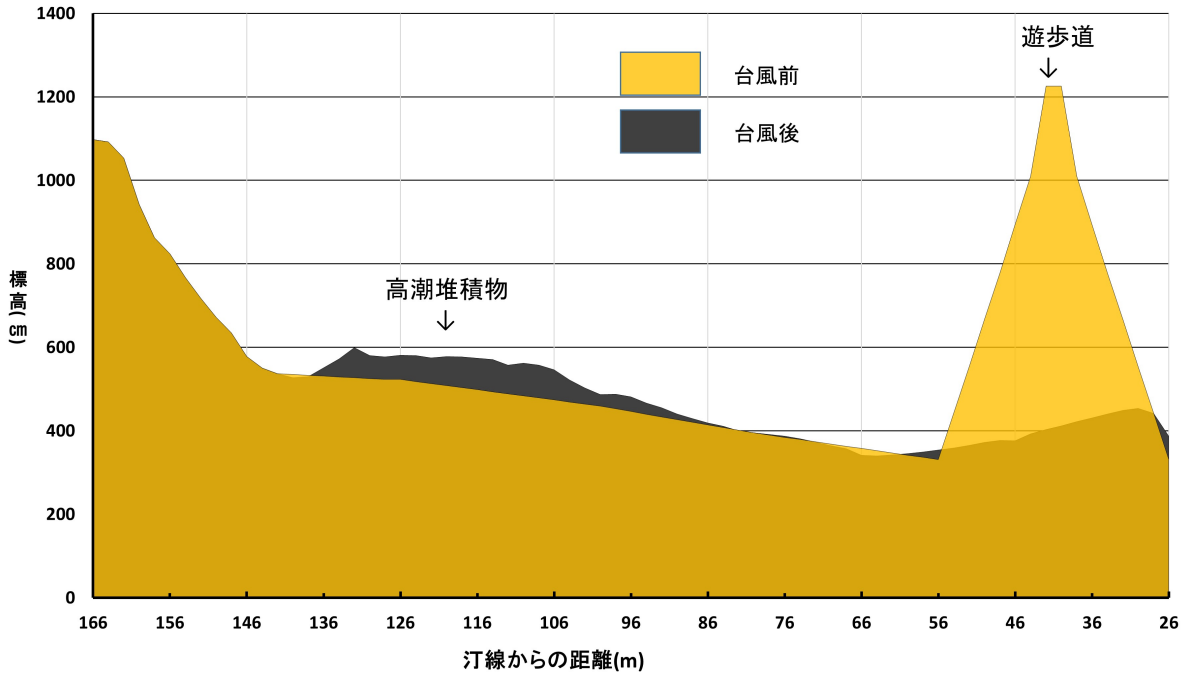
4.まとめ

© 2021 Geological Society of Japan

令和元年東日本台風は大きな勢力のまま鮫島海岸に接近し,その高潮によって海側から砂が浸食作用を受けた.浸食された砂は内陸側に運搬されて,粒径の大きいものから堆積した.その際，上方細粒化やクロスラミナなどの堆積構造を形成した.

文献 気象庁ホームページ，https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/20191012.html 戸塚ほか,2021，令和元年東日本台風の高潮による鮫島海岸の微地形の変化，日本地球惑星科学連合2021年大会，O07-P14.

Keywords: Storm Surge Deposit, Typhoon, Enshunada Sea



© 2021 Geological Society of Japan

Change of sedimentary system in an inland basin in the central part of the Japanese Island during the late Pleistocene-Holocene periods

*Nozomi Hatano[1], Ritsuho Kawano[2], Kohki Yoshida[2]

1. Nagano Conservation Research Institute, 2. Faculty of Science, Shinshu University

はじめに：最終氷期末から完新世にかけてには，短期間の急激な温暖化や寒冷化といったドラスティックな気候変動を伴いながら安定・温暖な気候に移行した（Lowe et al., 2001）．気候変動は，陸上域において，化学風化や土壌化，堆積システムを規定する一要素である（Shanley and McCabe, 1994; Miall, 1996; Retallack, 2001）．特に内陸盆地は，海流やユースタシーの影響を受けにくく，その堆積空間や砕屑物供給の変遷は，気候変動とテクトニクスに対して鋭敏に反応する (Shanley and McCabe, 1994)．日本列島中央部に位置する諏訪盆地は，海洋から離れ独立した内陸盆地であり，冬季に寒冷・乾燥化する内陸型気候に特徴づけられる．このことから，その堆積システムや砕屑物供給・生産プロセスは，気候変動，特に寒冷化に対して鋭敏に反応してきたことが期待できる．本研究では，諏訪湖南岸で掘削された堆積物コア (ST2020)を対象に，諏訪盆地における更新世末～完新世の堆積システムの変遷を追跡した．

コアの概要：ST2020コアは，総掘削長30.0 mのオールコアボーリングであり，諏訪湖から約20 m離れた陸上で掘削された．このコアは，礫，砂，泥，珪藻質泥，火山灰，亜炭，泥炭から構成される．8層準から植物片を採取し，放射性炭素年代測定とIntCal20による暦年較正，堆積速度曲線の作成を行った．このサイトでは，深度21.4 m (約16.7 cal ka BP)を境に，堆積速度が1.12 m/千年から0.74 m/千年へと低下する．

ユニット区分：粒度，堆積構造，層厚，構成物等の堆積学的特徴，細根化石，土色，土壌微細構造等の古土壌学的特徴，TOC, TN, C/N比より，下位より，ユニットI～VIの6ユニットに区分できる．ユニットI (深度30.0～29.1 m)は，根化石等の干上がった証拠に欠く泥質堆積物からなり，沼沢地の堆積物と解釈できる．ユニットII (深度29.1～21.4 m)は，主に砂泥互層，亜炭層，泥炭層から構成され，根化石や粘土集積構造等の古土壌構造を豊富に産する．また，数枚の逆級化砂層を挟在することから，蛇行河川システムの氾濫原や後背湿地，チャネル・バーの堆積物と解釈できる．ユニットIII (深度21.4～18.6 m)は，主に有機質泥層から構成され，水成古土壌の特徴であるフランボイダルパイライトや青灰色土色，グライ化層準を伴うことから，沼沢地の堆積物と解釈できる．この泥層は，著しく高いTOC, TNを示し，珪藻化石を豊富に含む．ユニットIV (深度18.6～13.4 m)は，厚い塊状有機質泥層と珪藻質泥層から構成され，湖の堆積物と解釈できる．このユニットの下部には，約40 cmの砕屑性葉理灰色粘土層が存在する．ユニットV (深度13.4～6.7 m)は，上方粗粒化・厚層化・黒色化サクセッションを示す礫層，砂層，有機質泥層から構成され，プロデルタ～デルタプレーンの堆積物と解釈できる．ユニットVI (深度6.7～4.8 m)は，有機質泥層から構成され，沼沢地の堆積物と解釈できる．

議論：ユニット区分と堆積速度曲線から，堆積システムの変遷とその年代を検討した．その結果，約26.7～16.7 cal ka BPに低湖水準期，約16.7 cal ka BP以降に湖進期となり，約12.2～5.7 cal ka BPに高湖水準期，約5.7 cal ka BPからデルタが前進したと考えられる．約16.7 cal ka BPは，蛇行河川システムから滞水域環境への転換期および堆積速度が低下する時期に相当する．諏訪湖の別サイトにおける花粉分析から，この時期は，諏訪盆地の周辺で亜高山帯針葉樹林が減少し，冷温帯林が拡大した時期に相当する (安間ほか, 1990)．このことから，堆積速度の低下と堆積環境の変遷は，更新世末～完新世への温暖化による集水域の森林限界の上昇と植生被覆率の増大が砕屑物生産量の減少を招いたことに起因する可能性がある．

文献： 安間ほか, 1990, 地質学論集, 36, 179–194. Lowe et al., 2001, Quatern. Sci. Rev., 20, 1175–1187. Miall, 1996, Springer-Verlag, Berlin, 582p. Retallack, 2001, Blackwell Sci. Publ., Oxford, 404p. Shanley and McCabe, 1994, Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 78, 544–568.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Pleistocene-Holocene, lake sediments, sedimentary facies analysis, Lake Suwa

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) The reservoir characterization and sedimentary environment of the Pennsylvanian Morrow Formation based on wireline logging data in Vici, Oklahoma, U.S.A.

*Kaito Seki[1], Shun Chiyonobu[1], Hiroyuki Arato[1], Naruhide Takahashi[2], Isao Mita[3]

1. Akita graduated university , 2. Iochem Corporation, 3. Resource. Geo. Env. Lab.

はじめに アメリカ合衆国オクラホマ州のアナダルコ堆積盆に存在するペンシルバニア系モロー層は，砂岩を主体として泥岩を挟在する（Mhalon et al.，1991; Andrews 2008）．この地域では，古くから石油・天然ガスが生産されるとともに，モロー層からのヨウ素の生産も盛んである．本講演では，掘削時に取得された物理検層記録を利用したモロー層における岩石物性分布モデルの構築過程と，そのモデルに基づいた堆積過程の復元研究について報告する． **資料と手法** 調査地域および坑井は，オクラホマ州デウェイカウンティ周辺のタウンシップ 18N～20N・18W～20Wの範囲に掘削された80本の坑井である．この坑井群から取得された自然放射線(GR)，中性子(NPHI)，密度(DPHI)の各検層から，Andrews(2008)およびKamel．Mabrouk(2003)に基づいて，モロー層準，岩相，孔隙率の検討を行った．また，一部砂岩で岩石コアが得られていることから，薄片観察による岩相観察も行った． **結果及び考察** モロー層は，NE-SWの延長方向に最大層厚105mで約30kmの幅をもつ帯状の分布を示し，SW方向に深度を増す．孔隙率は，調査地域中央北東部で14％を示す．南西部では，比較的低く7％を示す．薄片による岩相観察から，砂岩の粒子径は細粒～極細粒であり，石英を主体とする． 調査結果より地質モデルを作成した．地域内に分布するモロー層は以下の4つのFaciesに分類した．下位のFaciesよりFacies1(F1)からFacies4(F4)とし，その岩相を以下に記す． F1; 調査地域の南西部に分布し，主に頁岩を示す．F2; 調査地域の中央部から南西部に堆積する．砂岩を主体とするが，頁岩を挟在する．孔隙率は低値を取る．F3; F2の北東部に沿い分布する砂岩である．孔隙率は他の砂岩と比較し，高値を取る．F4; すべてのFaciesを覆い，砂岩主体で孔隙率が比較的低い値を取る．これらのFacies変化は，当時の海水準変化に応答した堆積中心の変遷を示している可能性が示唆され，調査地域におけるペンシルバニア系の堆積環境復元への一助となることが期待される． **参考文献** Mahlon，M.，Ball.，Mitchell，E.，Henry.，and Sherwood，E.，Frezon.，(1991): Petroleum Geology of the Anadarko Basin Region，Province (115)，Kansas，Oklahoma，and Texas，Department of the Interior U．S． Geological Survey，Open-File Report 88-450W． Andrews，R．D.，(2008): Secondary oil recovery from the upper Morrow Purdy sandstone in Rice NE Field，Texas County，Oklahoma，Oklahoma Geological Survey Circular 111，p．13-25． Mostafa，H.，Kamel.，and Walid，M.，Mabrouk.，(2003): Estimation of shale volume using a combination of the three porosity logs，Journal of Petroleum Science and Engineering 40 p，145-157

Keywords: Pennsylvanian, Iodine, reservoir, wireline logging, sedimentary environment

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Where is the sedimentary environment of the Nakaminato Group, if modern time? Reexamination on the basis of ocean drilling sciences and sequence stratigraphy

*Jumpei SAIGAN[1]

1. Yamaguchi university

はじめに

白亜系那珂湊層群は、1970年代からその堆積環境が研究されてきた。その後、シークエンス層序学によって堆積学に革命が起きる1990年代から現在まで、那珂湊層群の堆積環境についての新しい考察はなかった。そこで、本論では、いままでの那珂湊層群の堆積環境の研究結果を基に、近年発達してきたシークエンス層序学の知識を用いて、那珂湊層群の堆積環境について再検討することを目的とする。さらに、近年データが蓄積されてきた地球科学掘削による研究成果と比較し、那珂湊層群の堆積環境について、深く掘り下げることも同時に目的とする。

研究背景

那珂湊層群は、茨城県ひたちなか市の那珂川河口北方に位置する平磯海岸に分布し、下部より築港(ちっこう)層、平磯(ひらいそ)層、磯合(いそあい)層からなる海成層である。ただし港湾工事により築港層は現在確認できない。

田中(1970)によると、那珂湊層群は、全体的にタービダイトの砂岩泥岩互層からなり、スランプ構造が頻繁にみられる。堆積環境について、田中(1970)では、平磯層を大陸棚沖合、磯合層をトラフ縁辺部とし、Masuda and Katsura(1978)では平磯層を海底扇状地下部、磯合層を扇状地上部と推定している。

その年代については、産出化石に基づいて推定されており、Masukawa and Ando(2018)では産出したアンモナイト、イノセラムスに基づいて、平磯層を後期白亜紀のカンパニアン上部、磯合層をマーストリヒシアン下部と推定している。

那珂湊層群が堆積した白亜紀後期のカンパニアン～マーストリヒシアンは現在より約２００ｍあまり海水準が高かったといわれている。しかしながら、Okada(1997)では通常、高海水準であれば、堆積量は減少するはずであるのに、日本列島のもととなる地域周辺の海洋では堆積量が増加しているとした。これは当時の日本列島のもととなる地域では高海水準を上回るような隆起が起こっていたのではないかと推定している。

地質調査結果

那珂湊層群の主な構成岩は細礫～中礫の礫岩、砂岩、シルト岩、含礫シルト岩であり、多くが級化構造を呈する。平均の走向はNW－SE、傾斜は25˚～40˚NEで、全体的に同斜構造を示す。ただし、傾斜が45˚～70˚SW方向の地層が磯合層の中部にみられ、これは海底地すべりの可能性がある。 平磯層は、下部ではシルト岩が卓越しているが、上部に行くにしたがって、シルト岩を薄く挟む砂岩層もしくは礫岩層が卓越する。さらに上位の磯合層は、下部では級化構造を伴う砂岩層が卓越し、中礫の礫岩層を挟む数メートルの砂岩層が存在している。中部から上部に行くに従い、砂岩層が支配的であるが、シルト岩層もところどころにみられ、亜角礫～亜円礫の小礫から中礫を含むことが多い。このように、全体的に上方粗粒化の傾向があると言える。

また、これらの地層には化石が多く産出し、それらは過去の研究例にも報告されている。今回の調査では、二枚貝、生痕化石、植物片が発見され、二枚貝、生痕化石は磯合層上部にて卓越しており、植物片は平磯層、磯合層問わず広くみられた。

まとめると、平磯層から磯合層にかけてそれぞれの層によって多少変化はあるものの、概ね上方粗粒化の傾向にあるといえる。また、全体的に同斜構造を示すなか、一部地層で傾斜方向が大きく異なることから、海底地すべりの発生が示唆される。堆積域については植物片が各層より頻繁に見られることから那珂湊層群は一貫してあまり陸から離れていない地域で堆積したと推察される。

研究展望

先行研究により、那珂湊層群の堆積環境は大陸棚沖合部からトラフ縁辺部、海底扇状地であると推測されてい

© 2021 Geological Society of Japan

る。また、先行研究によると、那珂湊層群が堆積していた後期白亜紀は、高い海水準、高い隆起量、高い堆積量であったとされる。これらのすべての条件に比較的近いと考えられる海域は、インド亜大陸衝突によるヒマラヤ山脈の隆起・浸食により形成されたベンガルファンやアンデス山脈に沿った南米大陸西岸の大陸棚や陸棚斜面、海底扇状地などが類似する堆積環境の候補として挙げられる。本論では、これら類似環境の蓄積されてきた海洋掘削結果と地質調査結果をシークエンス層序学的に堆積相の比較を行いながら、那珂湊層群の堆積環境の考察・検討を行っていきたい。

《引用文献》

Katsura, Y. and Masuda, F., 1978，Ann. Rep. Inst. Geosci. Univ. Tsukuba, 4, 26-29.
Masukawa, G. and Ando, H., 2018. Cretaceous Res, 91, 362-381.
Okada, H., 1997, Mem. Geol. Soc. Japan, 48, 1-6.
田中啓策, 1970, 地質調査所月報, 21, 579-593.

Keywords: Late cretaceous, Sequence stratigraphy, Nakaminato Group, High sea-level, Ocean drilling, Submarine fan, continental shelf

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Microplastic sedimentology of grain size and grain shape

*Kengo Nakano[1], Kiichiro Kawamura[1]

1. Yamaguchi Univ.

近年，プラスチックによる海洋汚染が社会問題となっている．廃棄されるプラスチックのうち多くが海洋に流出していると推定されており（Jambeck et al., 2015）それらが細かく砕かれマイクロプラスチック（MP）として世界各地の海洋に拡散し続けている．またプラスチック汚染が海洋生態系に与える影響や人間の健康への影響について懸念が高まっている．このような海洋におけるプラスチック汚染の実態は，世界各地で調査が行われているが，その多くのゆくえがわかっておらず深海での影響や海洋での挙動も不明である．
一般的にMPは，河川などを通じて陸上から海洋に運搬され，海面や中層を浮遊して徐々に沈降し，深海底に到達すると予想される．しかし砂や粘土といった堆積物粒子の運搬を考えたとき，海流による移動，津波・地震・洪水による混濁流，海底地形などの影響を受けており，MPも同じような影響を受け海洋に拡散していることが考えられる．実際，世界中での様々な深海環境における観測されたMP繊維の存在量を見たとき海底谷・海溝・コンターライトドリフトでMPの量が多いことがわかっている(Ian et al., 2020)．このことからもMPの海底分布を説明するには，海面からの垂直方向の沈降によってのみ説明されるのではなく粒子の堆積学的な運搬過程を背景として検討する必要があると考えられる．
プラスチックの密度は0.9～2.2 g/cm3程度である．それらは海底で運搬されるとき，さまざまな粒子とともに移動，堆積する．一般的に，堆積学の特にベッドフォームなどの実験では石英砂での結果が示されており，MPの海底での挙動を堆積学的に考えるためには，MPと同一の挙動を示す石英砂の粒径が重要な概念となる．このように，さまざまな粒子を石英砂にしたときの堆積物粒子の運搬・堆積環境などを議論した研究例として，廣木（2015）がある．ここでは，重力流が卓越する有孔虫化石殻に着目し，有孔虫化石殻と砂粒子の粒度分布を分析・比較することで，堆積物の由来・来歴についての議論を行っている．
そこで本研究では， MPの堆積物粒子としての側面に着目し，実験を通して，MPの進行速度を求め，沈降粒径を算出し，石英粒子の粒径との比較を行った．今回の沈降実験は，廣木(2015)を参考にし，それを小規模にしたものである． 実験はプラスチックを用意し，顕微鏡を用いて実測粒径を計測する．沈降速度は，1000 ml メスシリンダーを用いて測定した．メスシリンダーには，2本の赤線を引き，30㎝の計測区間を設けた．室温メスシリンダーに常温の水を満たし，その中に 1 個ずつ投入し，線から線を通過する時間を測定した．その後，得られた沈降速度か沈降粒径を求めるために，Gibbs et al. (1971)の計算式を用いた. また，海底で見つかっているMPの多くが繊維状であることや板状・粒状などさまざまな形状があると考えられる．そのためさまざまな形状のプラスチックを用いて実験を行った． その結果，ほとんどのMPが実測粒径よりも沈降粒径の方が小さい傾向を示した．今回，使用したプラスチックの密度は，1.04～1.41 g/cm3程度であり．石英の密度 2.65 g/cm3 より小さいため沈降粒形が小さくなっている．また形状の違いも沈降粒形に影響を及ぼすと容易に推測される．本発表では，それらの実験結果を指し示すとともに，粒子形状についての考察についても報告したい．さらに，実際に採取された堆積物での実例についても報告する予定である．

文献
廣木(2015) 日本古生物学会, 98, 17-27. Ian et al. (2020) Science, 368, 1140-1145. Jambeck et al. (2015), Science, 347, 768-771. Gibbs et al. (1971) Journal of Sedimentary Petrology, 41, 7-18.

Keywords: Microplastics, Marine sediment, Stokes' law

© 2021 Geological Society of Japan

Bayesian estimation of uplift rate of Japan Islands based on bedrock river longitudinal profiles

*Hajime Naruse[1]

1. Kyoto University

地殻の隆起速度の時間的・空間的な変化は，プレートテクトニクスに関連した様々な現象について基礎的な情報を提供する．山地の隆起速度履歴を復元することは，テクトニクスだけではなく，古気候変動の要因を探る上でも重要な課題である．
日本列島のような活動的縁辺域では，地殻変動速度履歴がとりわけ複雑であり，その復元は困難な研究課題である．これまで，日本列島の地殻の変形速度（隆起速度）を復元するため，様々な手法が適用されてきた．しかし，既存の研究手法には，隆起速度の分布を長期間にわたって面的に求めることができないという欠点がある．測地学的手法が解析できるのは観測が開始されて以降の数十年に限られており，そこから得られる値は他の地形学・地質学的手法で得られ得られる隆起速度の傾向と大きく異なることがある．これは，短期間で蓄積される地殻の歪は数百～数千年に一度の頻度で起こる巨大地震によって解放されており，地質学的時間スケールで蓄積されていく地殻の歪とは傾向が異なるためと解釈されている．もしこの解釈が正しければ，地質学的スケールで進行するテクトニックプロセスを探るためには，測地学的観測結果をそのまま参考にすることはできないことになる．一方，海岸段丘・前浜堆積物の標高など，地形学・堆積学的手法で求められる隆起速度についても，復元できる年代期間は主として12.5万年前までで，遡れたとしてもせいぜい30万年程度である．また，復元ができる領域も段丘が存在する地域に限られている．反射法地震探査や熱年代学的手法はより長期にわたる地殻隆起履歴を復元できる可能性があるが，やはり復元できる場は条件の整った限られた地域であり，長期間にわたる隆起速度履歴を長期間にわたって復元することは難しい．

そこで，近年になり，地質学的時間スケールで面的に地殻隆起速度履歴を復元することのできる手法がPritchard et al. (2009)によって提唱された．この手法は，まず岩盤河川の侵食作用を表すフォワードモデルを設定する．このフォワードモデルへの入力パラメーターは，地殻の隆起速度の履歴である．そして，実際に観測される複数の河川縦断形を最もよく再現するようにモデルパラメーターセットを探索することで，地殻の隆起速度履歴を広い範囲で面的に復元する．この手法は，一般にStream power modelと呼ばれる以下の仮定に基づいたフォワードモデルを使用している．Stream power modelでは，河床の基盤岩の侵食速度は河床勾配と河川の流量によって決定されるものと仮定する．

新たに提案された逆解析手法は主に安定大陸の隆起速度履歴の復元に用いられてきたが，活動的縁辺域への適用例はまれである．特に，日本列島のような火山性島弧では適用例は存在しない．これはいくつか原因が考えられるが，例えば島弧の河川は大陸に比べて短く，あまり長期間にわたって過去の隆起速度履歴を保存できないことが問題となる．また，地体構造が複雑なために基盤岩強度にばらつきがありうることや，短周期（4--10万年周期）の海水準変動が与える河床勾配への擾乱も，逆解析を難しくする要因である．これらの要因を考慮するためには，少なくとも，逆解析結果を推定の不確かさも含めて検討できる解析手法が必要となるだろう．

そこで，本研究は，河川縦断形逆解析法における最適化計算手法としてマルコフ連鎖モンテカルロ法（Markov Chain Monte Carlo method: MCMC）を採用し，日本列島の河川系に本手法を初めて適用した．既存の河川縦断形逆解析手法は最適化計算手法として準ニュートン法（共役勾配法やL-BFGS法など）を採用しているため，解析結果は点推定となり，推定値の不確定性に関する評価が十分ではなかった．また，計算が局所的最適解に陥る可能性も高く，最適化計算を開始するパラメーター初期値に計算結果が依存するという問題点が指摘されている．

© 2021 Geological Society of Japan

本研究では，最適化計算手法としてMCMCを実装したモデルを西南日本外帯（紀伊半島および四国）の河川へ適用した．また，モデルが普遍性を持つことを確かめるため，テクトニックセッティングおよび基盤岩の岩質が異なる東北地方の河川にも手法を適用し，河川縦断形逆解析法の利点と今後の改善点を検討する．

Pritchard, D., Roberts, G. G., White, N. J., & Richardson, C. N. (2009). Uplift histories from river profiles. *Geophysical Research Letters*, *36*(24).

Keywords: Quaternary, river geomorphology, inverse analysis

© 2021 Geological Society of Japan

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

[1poster51-55] R10 [Regular Session]Origin of carbonate rocks and related global environments

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R10-P-1] Characteristics of tufa deposits developed near Bonito, Brazil

*Fumito SHIRAISHI[1], Ysaku HANZAWA[1], Jiro ASADA[2], Leonardo Fadel CURY[3], Anelize Manuela BAHNIUK[3] （1. Hiroshima University, 2. INPEX CORPORATION, 3. Federal University of Parana）

4:30 PM - 7:00 PM

[R10-P-2] (entry) Depositional settings and paleoclimates estimated from paleosols in Tetori Group (Lower Cretaceous), Toyama Prefecture

*Kensuke Kuroshima[1,2], Masato Fujita[3], Yoshihiro Kakizaki[4], Akihiro Kano[4], Fumito Shiraishi[2] （1. Hiroshima University Museum, 2. Hiroshima University, 3. Toyama Science Museum, 4. The University of Tokyo）

4:30 PM - 7:00 PM

[R10-P-3] (entry) Stromatoporoids and *Chaetetes* of the Carboniferous (Bashkirian) organic reefs from the Akiyoshi Limestone: Morphological variations in each reef environment

*Shota SUGAMA[1], Yoichi EZAKI[1], Mitsuru MASUI[1], Tetsuo SUGIYAMA[2], Koichi NAGAI[3], Natsuko ADACHI[1] （1. Osaka City University, 2. Fukuoka University, 3. formerly University of the Ryukyus）

4:30 PM - 7:00 PM

[R10-P-4] (entry) Models of construction of Bashkirian organic reefs in the reef front setting from the Akiyoshi Limestone Group, Southwest Japan

*Koki SHIMIZU[1], Yoichi EZAKI[1], Tetsuo SUGIYAMA[2], Koichi NAGAI[3], Natsuko ADACHI[1] （1. Osaka City Univ., 2. Fukuoka Univ., 3. Formerly Univ. Ryukyus）

4:30 PM - 7:00 PM

[R10-P-5] Construction of calcimicrobial reefs and calcimicrobial diversity in the Zhushadong Formation (Cambrian Series 2), Shandong Province, North China

*Natsuko ADACHI[1], Hiroo NATSUKAWA[1], Yoichi EZAKI[1], Jianbo LIU [2], Zhen YAN[3], Yuxuan CHEN [2] （1. Osaka City University, 2. Peking University, 3. Chinese Academy of Geological Sciences）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

Characteristics of tufa deposits developed near Bonito, Brazil

*Fumito SHIRAISHI[1], Ysaku HANZAWA[1], Jiro ASADA[2], Leonardo Fadel CURY[3], Anelize Manuela BAHNIUK[3]

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

トゥファは淡水性の炭酸塩堆積物であり，微生物岩のアナログや古気候記録媒体として注目されている．近年，ドイツおよび日本においてトゥファの地球微生物学的研究が行われ，その形成にシアノバクテリアなどの光合成が大きく寄与していること，またシアノバクテリアの分泌する細胞外高分子の化学的特性が堆積組織に大きな影響を与えていることなどが明らかにされた（Shiraishi et al., 2008a,b, 2010, 2017）．しかしながら，ドイツと日本のトゥファ堆積場はどちらも気候の季節変動が大きく，それらの形成過程が他の気候条件のものにも当てはまるかは不明であった．そこで本研究は，気候の季節変動が比較的小さいブラジルのボニート近郊に見られるトゥファを対象とし，微小電極測定やレクチン結合性分析などの微生物学的手法を適用することで，その形成過程を明らかにすることを目的とした． ボニートはブラジルのマットグロッソ・ド・スル州の南西部に位置する．調査対象となったトゥファは，ボニートから北に約13.5 kmのミモザ川沿いに発達している．トゥファは主に石灰化したフィラメント状シアノバクテリアから構成されており，断面における葉理組織はやや不鮮明であった．シアノバクテリアの多くは結晶核形成に適した酸性の細胞外高分子を分泌していたが，一部の非酸性細胞外高分子を持つものは石灰化されずに空隙を形成していた．微小電極測定の結果から，検討した８試料すべてで光合成誘導$CaCO_3$沈殿が起きていることが示された．しかしながら，そのうち５試料では暗条件においてもトゥファ表面におけるCa^{2+}の消費が起きていた．DNA解析，水化学分析，マスバランス計算などから，光非依存代謝や有機物の酸性官能基によるCa^{2+}吸着の影響は僅少と考えられる．それゆえ，暗条件におけるCa^{2+}消費は無機的な$CaCO_3$沈殿を表している可能性が高い．この解釈が正しいとすると，検討を行った８試料の平均では光合成誘導沈殿の寄与が60%，無機的沈殿の寄与が39%，酸性有機物への吸着の寄与が1%と推定される．

引用文献

Shiraishi F., Bissett A., de Beer D., Reimer A., Arp G. (2008a) Photosynthesis, respiration and exopolymer calcium-binding in biofilm calcification (Westerhofer and Deinschwanger Bach, Germany). Geomicrobiology Journal 25, 83-94.

Shiraishi F., Reimer A., Bissett A., de Beer D., Arp G. (2008b) Microbial effects on biofilm calcification, ambient water chemistry and stable isotope records (Westerhofer Bach, Germany). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 262, 91-106.

Shiraishi F., Okumura T., Takahashi Y., Kano A. (2010) Influence of microbial photosynthesis on tufa stromatolite formation and ambient water chemistry, SW Japan. Geochimica et Cosmochimica Acta 74, 5289-5304.

Shiraishi F., Hanzawa Y., Okumura T., Tomioka N., Kodama Y., Suga H., Takahashi Y., Kano A. (2017) Cyanobacterial exopolymer properties differentiate microbial carbonate fabrics. Scientific Reports 7, 11805.

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Depositional settings and paleoclimates estimated from paleosols in Tetori Group (Lower Cretaceous), Toyama Prefecture

*Kensuke Kuroshima[1,2], Masato Fujita[3], Yoshihiro Kakizaki[4], Akihiro Kano[4], Fumito Shiraishi[2]

1. Hiroshima University Museum, 2. Hiroshima University, 3. Toyama Science Museum, 4. The University of Tokyo

前期白亜紀の東アジアは，恐竜の多様性や進化を考える上で重要な地域である．恐竜の多様性を生む原因の一つに気候があり，それを理解するためには東アジアの古気候の正確な推定が必要である．
土壌の化石である古土壌からは，その構造や組成などを用いた定性的な古環境推定が可能であると共に，主要元素組成を用いて形成当時の気温や降水量といった定量的な古環境推定が可能である[1]．さらに古土壌中にみられる炭酸塩ノジュールからは，古土壌形成当時の水化学組成やCO_2濃度などの定量的情報も得られることが知られている[2]．古土壌と炭酸塩ノジュールは，日本の前期白亜紀の陸成層中から複数報告されており[3][4]，これらを用いることで，陸域の古環境を定性的かつ定量的に推定することが可能になると考えられる．そこで本研究では，富山県の上市・立山地域に分布する下部白亜系手取層群中にみられる古土壌と炭酸塩ノジュールを用いて，堆積環境と古気候を推定した．
本研究では綿密な地質調査を行い，上市地域（セクションK5：白岩川層）と立山地域（セクションT1：白岩川層）にみられる古土壌の記載とノジュールの密なサンプリングを行った．また持ち帰った試料を用いて以下の検討を行なった．
（1）肉眼・薄片観察，（2）粉末X線回折（XRD）分析による鉱物同定，（3）蛍光X線分析(XRF）による全岩の主要元素組成分析，（5）軽元素質量分析計（IR-MS）を用いた炭素・酸素安定同位体比分析，（6）誘導結合プラズマ発光分光分析（ICP-OES）による炭酸塩鉱物中の主要・微量元素組成分析．
本研究で検討を行った2つのセクションでは，年平均気温（MAT）と年間降水量（MAP）の推定値はそれぞれ約10~12℃と約1000~1500 mmとなり（低温～中温かつ湿潤），ほとんど差はみられなかった．一方で，古土壌の色合い（セクションK5で赤色層，セクションT1で灰色層が卓越）や内在する炭酸塩ノジュール中の炭酸塩鉱物種（セクションK5でドロマイトとシデライト主体，セクションT1でドロマイトとカルサイト主体）には違いが見られた．これは降雨の季節性や水はけの良し悪しなど，局所的な環境条件の違いを反映していると考えられる．一方で，炭酸塩鉱物の酸素同位体比はセクションK5で有意に低く，これはモンスーン気候での雨季における降水の量的効果を反映していると考えられる[5]．すなわち，両セクションではMAPとMATが同程度であるにも関わらず，降水の量的効果・雲の輸送距離や局所的堆積環境の違いによって形成される古土壌や炭酸塩ノジュールの特徴に差が生まれたと考えられる．これらの結果から，前期白亜紀の東アジアの手取層群堆積場は低温～温暖な湿潤気候であり，モンスーンの強弱があったと推定される．炭酸塩ノジュールと赤色層を含む古土壌であっても低温～温暖な湿潤気候が示されたことは，赤色層の存在などをもとに，白岩川層を含む手取層群最上位層形成時に気候が高温・乾燥へと移行したとするこれまでの解釈[4]とは対照的である．
本研究のように詳細な検討を他地域・他年代の古土壌に対して網羅的に行うことで東アジアの古気候，そして恐竜をはじめとする生物相の多様性を生む原因が明らかになるだろう．

【引用文献】[1] Tabor and Myers (2015) Annual Reviews of Earth Planetary Science, 43, 11.1-11.29. [2] Sheldon and Tabor (2009) Earth-Science Review, 95, 1-52. [3] Lee and Hisada (1999) Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 153, 127-138 [4] 茂野ほか (2004) 福井県立恐竜博物館紀要, 3, 1-22. [5] Cerling (1984) Earth and Planetary Science Letters 71, 229-240.

Keywords: Paleosol, Carbonate nodule, Paleoenvironment, East Asia

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Stromatoporoids and *Chaetetes* of the Carboniferous (Bashkirian) organic reefs from the Akiyoshi Limestone: Morphological variations in each reef environment

*Shota SUGAMA[1], Yoichi EZAKI[1], Mitsuru MASUI[1], Tetsuo SUGIYAMA[2], Koichi NAGAI[3], Natsuko ADACHI[1]

1. Osaka City University, 2. Fukuoka University, 3. formerly University of the Ryukyus

秋吉石灰岩は前期石炭紀から中期ペルム紀にパンサラッサ海の海洋島頂部で形成された生物礁複合体起源の石灰岩である（太田，1968）．従来，秋吉生物礁の研究では，礁環境ごとの造礁生物の組み合わせや礁の構築様式の検討が行われてきた．しかし，層孔虫やケーテテスなどの主要な造礁生物の内部形態や外部形態の変異に関する詳細な検討は行われていない．本発表では，礁環境を外洋側から順に下部礁縁，上部礁縁，礁嶺，外側礁原，内側礁原，背礁斜面に区分した上で（Sugiyama and Nagai，1994），石炭紀バシキーリアン期の層孔虫とケーテテスの礁環境ごとの外部形態と内部形態変異及び相互の関係，その変異をもたらした生物や環境要因を考察する．

縦方向に伸長するピラーと横方向に伸長するラミナを持つことで特徴づけられる層孔虫は，ピラーに円柱状のA型と円錐状のB型の形状が識別されている．ケーテテスは「はしご状」の骨格構造を持つことで特徴づけられる． 外部形態変異はスラブ面での成長形態を観察した．

外部形態変異は，ケーテテスと層孔虫で共に大きい．ケーテテスは一般的にドーム状を呈するが，礁嶺では層状，背礁斜面ではドーム状，不規則塊状や層状を呈する．層孔虫は成長中断面をしばしば示し，一般的にドーム状を呈するが，礁嶺と背礁斜面では層状，上部礁縁では掌状を呈する．また，礁嶺では層孔虫とケーテテスが相互に被覆している様子が顕著に見られる．

内部形態変異は測定を行い，測定部位は次の通りである．層孔虫では「ラミナ間隔」，「ピラー幅」，「ピラーのみかけの面積」，ケーテテスでは「床板間隔」，「床板幅」，「床板10枚あたりの面積」である．

内部形態変異に関して，礁環境による変異はケーテテスでは極めて小さいのに対し，層孔虫では大きい．層孔虫では，礁嶺でピラーが円錐状の形状（B型）を示し，他の礁環境で円柱状の形状（A型）を示す．背礁斜面では，A型とB型の両方が認められる．

下部礁縁などで層孔虫のピラーが円柱状のA型を示すのは，成長を上位方向に継続させる作用が働いたためと考えられる．特に下部礁縁では水深が深く，上方に成長可能な空間が拡がっていることが関係している．一方，礁嶺で円錐状のB型を示すのは，ケーテテスと相互に被覆することで上位方向に成長を継続させる働きが作用しなかったことに起因する．さらには水深が浅く上方に成長可能な空間が制約されていることが関係している． 背礁斜面で内部形態が特定の形状を示さないのは，基底部では層孔虫が排他的に基盤部に固着・成長し，より上位部では層孔虫とケーテテスが相互に被覆するように成長していることから，上位方向に成長しやすい環境としにくい環境が共存していることに起因する．一方，ケーテテスの内部形態変異が小さいのは，堅固な「はしご状」の骨格構造を形成することに関係し，干出などによる成長中断が生じても，内部形態が変化し難いことに起因している．

今後は，本検討層準よりも上位層準の層孔虫やケーテテスの造礁生物の形態変異にも注目しながら，前期石炭紀の礁の構築様式を詳しく検討していく必要がある．

引用文献

太田正道 (1968)：地向斜型生物礁複合体としての秋吉石灰岩層群．秋吉台科学博物館報告，no．5，1-44．

Sugiyama，T．and Nagai，K．(1994)：Reef facies and paleoecology of reef-building corals in the lower part of the Akiyoshi Limestone Group (Carboniferous)，Southwest Japan．Courier Forschungsinstitut Senckenberg，172：231-240．

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Stromatoporoids, Chaetetes, Carboniferous, Akiyoshi Limestone, Reef

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Models of construction of Bashkirian organic reefs in the reef front setting from the Akiyoshi Limestone Group, Southwest Japan

*Koki SHIMIZU[1], Yoichi EZAKI[1], Tetsuo SUGIYAMA[2], Koichi NAGAI[3], Natsuko ADACHI[1]

1. Osaka City Univ., 2. Fukuoka Univ., 3. Formerly Univ. Ryukyus

山口県美祢市に分布する秋吉石灰岩は前期石炭紀から中期ペルム紀にパンサラッサ海の海山頂部で形成された生物礁複合体起源の石灰岩である．秋吉生物礁複合体はその形成環境の違いにより，外洋側から下部礁縁，上部礁縁，礁嶺，外側礁原，内側礁原，背礁斜面に区分される（秋山・長井，1990）．上部石炭系下部（バシキーリアン）では，“石灰藻”とケーテテスが豊富な礁嶺や背礁斜面を中心に礁の構築様式の検討が行われてきた．しかし，生物の多様性が最も高い礁縁環境では，サンゴ類が礁の構築様式に果たした役割は十分に解明されていない． そこで本発表では，礁縁環境に注目し礁の構築様式や礁形成当時の堆積環境について検討する．

礁縁環境では，四射サンゴ（Pseudopavonidae科，Amygdalophyllidae科，Lithostrotionidae科など）や層孔虫，床板サンゴ，コケムシ，石灰藻，フズリナ，小型有孔虫などが見られた． 主な枠組み構築者は群体四射サンゴと層孔虫である．四射サンゴが豊富な礁では，塊状サンゴの*Ozakiphyllum*や枝状サンゴの*Hiroshimaphyllum*が主要な礁の構築者の役割を果たす．種類が異なる四射サンゴ同士が共産することはまれで，単独の種類が個別に群生し，パッチ状に礁を形成する傾向がある．四射サンゴは，凝集性の小型有孔虫によって結束されたウミユリ片などの生砕性堆積物を固着基盤として発達する場合が認められる．一方，層孔虫は，層状やドーム状，掌状などの様々な成長形態を示す．層孔虫は石灰藻*Donezella*を固着基盤として活用する場合が多い．層孔虫の縦方向の骨格要素であるピラーは，各々上方へ継続的に発達する．しかし，層孔虫には頻繁に成長中断が生じており，成長中断期には阻害要因や発達の程度に応じて，凝集性の小型有孔虫や床板サンゴ，コケムシといった付着生物が成長中断面上を固着基盤として一時的に活用している．特に，凝集性の小型有孔虫が占有する割合が高く，層孔虫内に暗黒色の薄層を多数形成する． 四射サンゴの表面では被覆性の小型有孔虫や凝集性の小型有孔虫も多数確認された．床板サンゴは単体で産出するのではなく，四射サンゴ体の表面や層孔虫の成長中断面で認められる場合がほとんどである．コケムシはサンゴ体の表面や成長中断面で散点的に産出する．石灰藻はサンゴ体の表面で層状やドーム状に成長する．層孔虫と四射サンゴの共産部では，層孔虫が四射サンゴの骨格表面を固着基盤として活用している．

造礁生物の違いによっていくつかの礁の構築様式のタイプが認められる．塊状群体サンゴの*Ozakiphyllum*が主要な場合，サンゴ体自体が枠組みとなる．その表面を床板サンゴや凝集性の小型有孔虫，層孔虫などが被覆する．そして，それらの造礁生物がつくる枠組みの間隙部に生砕物が充填される．枝状群体サンゴ*Hiroshimaphyllum*が卓越する場合，そのサンゴ体の表面を床板サンゴや凝集性の小型有孔虫，石灰藻などが次々と被覆しサンゴ個体同士を結束することで枠組みを形成する．この枠組みの間隙部を生砕物が充填する．一方，層孔虫は小規模ながら大型の造礁生物としては単独で礁を形成することが多い．その際，層孔虫は成長の中断と再開を繰り返し，その成長中断面には凝集性の小型有孔虫や床板サンゴ，コケムシなどが被覆する．これは層孔虫の成長にとって不利な環境では層孔虫は成長を中断させ，凝集性の小型有孔虫や床板サンゴ，コケムシなどが一時的に空いた安定な固着基盤を活用して繁栄している．一方，層孔虫にとって良好な環境では層孔虫は成長を回復させ，凝集性の小型有孔虫や床板サンゴ，コケムシを被覆して上方や側方へと礁の枠組みを拡大させた．群体四射サンゴや層孔虫が卓越する礁は，同じ礁縁環境の中でも，水深，栄養塩量，底質の違いなどの生息環境の違いに応じて，種類や成長形態を変え小規模ながらも礁を形成していた．また，被覆生物はサンゴ体周辺部や層孔虫の成長中断面を付着基盤として活用し，枠組み構築物を構造的に補強していた．

引用文献

秋山哲男・長井孝一，1990，秋吉石灰岩層群Auloporidid coralsの成長形態について：秋吉生物礁複合体における造礁生物群の古生態学的研究Ⅰ．秋吉台科学博物館報告，no．25，7-25.

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Late Carboniferous, Reef, Rugose coral, Stromatoporoid, Akiyoshi

© 2021 Geological Society of Japan

Construction of calcimicrobial reefs and calcimicrobial diversity in the Zhushadong Formation (Cambrian Series 2), Shandong Province, North China

*Natsuko ADACHI[1], Hiroo NATSUKAWA[1], Yoichi EZAKI[1], Jianbo LIU [2], Zhen YAN[3], Yuxuan CHEN[2]

1. Osaka City University, 2. Peking University, 3. Chinese Academy of Geological Sciences

顕生累代最初の造礁骨格生物である古杯類は，カンブリア紀テレヌーブ世後期にシベリアで出現した．古杯類は，その後，カンブリア紀第二世までに世界中の低緯度浅海域に古杯類礁を発達させ，第二世末に消滅した．北中国で顕生累代最古の礁は朱砂洞層 (カンブリア系第二統) に認められる．その礁は，石灰質微生物類を豊富に含むが古杯類を産出しない．朱砂洞層の微生物類礁は，古杯類の出現や消滅とは別に，石灰質微生物類自体の繁栄や衰退，地域的な環境変化の観点から，石灰質微生物類礁の変遷を知る手がかりを与える．本研究では北中国山東省の孫麻峪と金河セクションで認められる石灰質微生物類礁を対象に，その構築様式や石灰質微生物類の多様性を検討する．

孫麻峪セクション: 小規模なドーム状を示す礁 (直径数十センチメートル) がペロイドやウーイド石灰岩中に発達する．礁は斑状組織を示すスロンボライトが特徴的である．これらスロンボライトは，石灰質微生物類の*Epiphyton*や*Renalcis*などの密集によって形成される．層理面で，石灰質微生物類が密集する核部とその周囲を内層と外層(約5 cm) が縁取る特異な産状を示すスロンボライトも認められる．核部では，*Epiphyton*や*Kordephyton*などの石灰質微生物類が密集し，斑点状スロンボライトを形成する．内層では*Epiphyton*が，外層では*Amgaina*が卓越する．

金河セクション: 直径数十センチメートルから1～2メートル程度の小規模なドーム状を示す礁がノジュール状石灰岩中に発達する．礁は斑点状，網状，樹状組織を示すスロンボライトで特徴づけられる．スロンボライトの枠組み本体部は，大部分が再結晶しているため褐色を示す．しかし，部分的に*Kordephyton*や*Renalcis*などの痕跡が認められる．さらに，枠組み表面をチューブ状微生物類が被覆する．これら礁の枠組み間には，ペロイド状粒子や石灰泥が充填する．石灰泥充填部には，直径約0.5 mm のチューブ状を示す生痕がよく発達する．また，*Renalcis*を豊富に含む礁の枠組み間では，セメントで内部が充填された不規則な形状の窓状構造が多く観察される．

孫麻峪セクションと金河セクションでは，礁の特徴や卓越する石灰質微生物類の組み合わせに違いがある．孫麻峪セクションでは，縁取りのある特異な産状のスロンボライトが発達し，*Epiphyton*や*Kordephyton, Amgaina*が豊富である．金河セクションでは，*Kordephyton*や*Renalcis*が豊富である．孫麻峪セクションは金河セクションより浅海側に位置するため，この違いは両地域の堆積環境の違いを反映している可能性が高い．孫麻峪セクションのスロンボライトは，ウーイドやペロイド状粒子を含むグレインストーン中に発達し，層状ラミナの発達する微生物マットや鳥の目構造なども認められることから，潮下帯上部から潮上帯で，*Epiphyton*や*Kordephyton*が群生することで形成されたと推定される．一方，金河セクションのスロンボライトは，ノジュール状石灰岩中に発達しており，潮下帯下部で，主要な構築者である*Kordephyton*や*Renalcis*が上方や側方へ成長することによって形成された．

朱砂洞層からは，同時代の古杯類礁で認められる石灰質微生物類と同程度の種類の石灰質微生物類が観察される．石灰質微生物類は，古杯類が創り出す多様なニッチの有無に関わらず多様化し，礁の構築に関与していた．しかし，朱砂洞層より上位の張夏層 (カンブリア系ミャオリン統) では石灰質微生物類の多様性は激減している．古杯類の消滅前後 (カンブリア紀第二世～ミャオリン世) に石灰質微生物類の多様性はどのように変化したのだろうか．石灰質微生物類が，古杯類を消滅させた世界的な環境変化にどのような影響を受けたのかを検討していく必要がある．

Keywords: Cambrian, calcimicrobe, reef, North China

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

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

[1poster56-60] R12 [Regular Session]Deformation and reactions of rocks and minerals

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R12-P-1] (entry) Effects of strain on the activity of slip systems in deforming quartz inferred from crystallographic- and shape-preferred orientation of sheared quartz phenocrysts in a granitic porphyry

*QI WANG[1]・Takamoto OKUDAIRA[1] （1. Faculty of Science, Osaka City University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R12-P-2] Stick– slip behavior of a clayey crustal fault

*Jun Kameda[1], Yohei Hamada[2] （1. Hokkaido University, 2. Kochi Institute for Core Sample Research）

4:30 PM - 7:00 PM

[R12-P-3] Development of new Griggs-type rock deformation apparatus targeting the Pc-Pp-T condition of the base of the seismogenic zone

*Keishi Okazaki[1], Jun Muto[2] （1. KCC/JAMSTEC, 2. Tohoku University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R12-P-4] (entry) Effects of host rock on strength and thickness of fault zones

*Momoyo FUKUDA[1], Kiyokazu OOHASHI[1] （1. Yamaguchi University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R12-P-5] Extremely slow grain growth of albite feldspar

*Norio Shigematsu[1], Masanori Kido[1], You Zhou[2], Hideki Hyuga[2], Yu-ichi Yoshizawa[2] （1. Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, AIST, 2. Multi-Material Research Institute, AIST）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

(entry) Effects of strain on the activity of slip systems in deforming quartz inferred from crystallographic- and shape-preferred orientation of sheared quartz phenocrysts in a granitic porphyry

*QI WANG[1]

1. Faculty of Science, Osaka City University

To clarify the relationship between the strain and the activity of slip systems in quartz, we analyzed crystallographic and shape preferred orientation of sheared quartz phenocrysts in a granitic porphyry in the Ryoke belt, Awaji Island, SW Japan. In general, slip systems, i.e., basal <*a*>, rhomb <*a*> and prism <*a*> slip systems,are the active slip systems under the upper crustal condition, and the activity of slip systems has been considered to be temperature-dependent (Passchier and Trouw 2005; Law 2014). It has been proposed that basal and prism may operate readily at lower and higher temperature conditions. However, based on the detailed textural analysis of CPOs of experimentally deformed Black Hills Quartzite, Kilian and Heilbronner (2017) suggested that the texture transition is not as a result of the temperature-dependent activity of different slip systems but as a result of different texture forming processes depending on stress and/or strain. Textures with peripheral [c] axes are often observed in rocks deformed under low-grade conditions cannot attribute to the activity of basal slip system, and proposed oriented nucleation and growth a new process to form textures with peripheral [c] axes. Furthermore, with increasing strain, dislocation glide involving prism and rhomb slip leads to a high density of [c] axes in the center of the pole figure.
In this study, we analyzed the deformed granitic porphyry samples with different strain, which has been reported by Kano and Takagi (2013), and measured the shape preferred orientation of quartz grains by calculating aspect ratio from the long and short axis of grains are those of fitted ellipse to grain shape using ImageJ software to reveal the strain magnitude. Quartz CPOs was measured by U-stage equipped with an optical microscope to infer the operative slip systems. Based on the crystallographic- and shape-preferred orientation of sheared quartz phenocrysts in a granitic porphyry, we will discuss the effect of strain on the activity of slip system in deforming quartz.
References: Kano H, Takagi H (2013) J Geol Soc Japan 119:776–793. Kilian R, Heilbronner R (2017) Solid Earth 8:1095–1117. Law RD (2014) J Struct Geol 66:129–161. Passchier CW, Trouw RAJ (2005) Microtectonics.

Keywords: Crystallographic preferred orientation, Quartz slip system, Deformed quartz phenocryst

© 2021 Geological Society of Japan

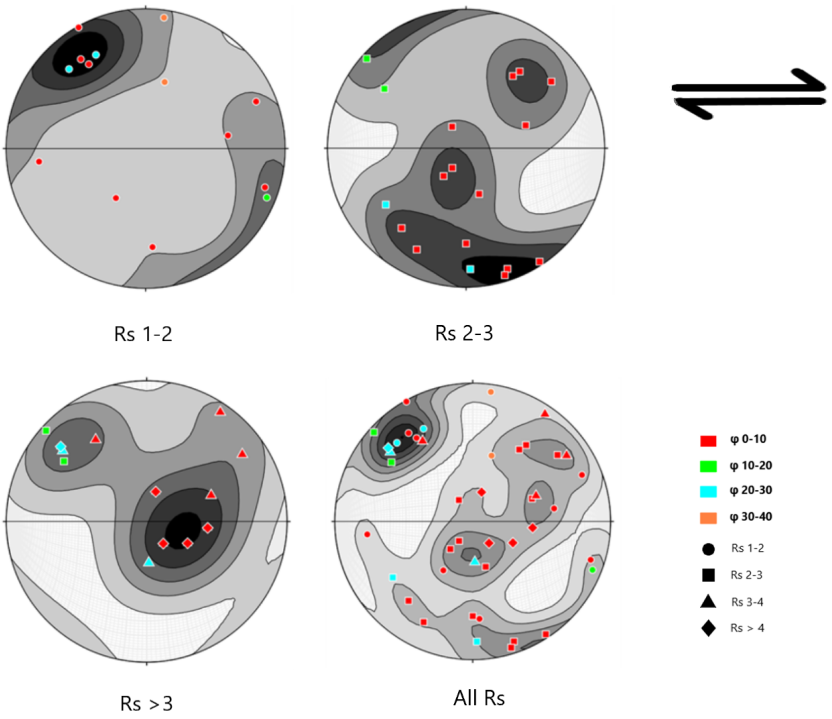


Figure 1. C-axis pole figures for different classes of aspect ratio Rf in weekly deformed sheared quartz phenocrysts in a granitic porphyry.
φ indicate the angle between the quartz long axis and the lineation

© 2021 Geological Society of Japan

Stick–slip behavior of a clayey crustal fault

*Jun Kameda[1], Yohei Hamada[2]

1. Hokkaido University, 2. Kochi Institute for Core Sample Research

一般に粘土鉱物の濃厚分散液は、粒子同士の相互作用によって凝集分散が起こるため複雑なレオロジー挙動を示す。粘土分散液の多くは撹拌・振動により凝集構造が破壊されて流動性を獲得す場合があり、この性質をチキソトロピーと呼ぶ。Coussot et al（2002）らのレオロジー実験によると、チキソトロピー流体の流動特性はある応力値を境として大きく異なり、それ以上の応力を与えると流れとともに粘性度は次第に低下していずれ定常流に至るのに対し、閾値以下の応力では粘性度が急激に上昇して最終的に流動は停止することになる。Coussot et al（2002）らは、凝集体・ネットワーク構造の破壊ー再生競合モデル（次式）を導入することで、定性的ではあるもののチキソトロピー流体の流動挙動を予測できることを示した: $d\lambda/dt=1/\tau-\alpha\lambda\gamma$。ここで$\lambda$は状態を表す変数、$\alpha$ は定数、τ は構造再生にかかる時定数、γ はひずみ速度である。 このように表現されるチキソトロピー性は、急激に流動を開始する地すべりなどの現象をよく説明できることもあわせて指摘している。

最近われわれは、日本海溝先端のスメクタイトを含むプレート境界断層が塑性流動変形する可能性について検討しており（Kameda and Hamada 2020)、本研究ではさらに断層のチキソトロピー性についても検討したので報告する。断層の模擬物質として、smectite（クニミネ工業） と quartz の粉末を7：3の割合で混合し、0.6 M のNaCl 溶液に分散させたスラリーを使用した（固相分率はおよそ0.1）。レオロジー実験にはレオメータ（HR-2, TA Instruments）を使用し、25度の条件で一定応力を作用させたときの粘性度変化を調べた。結果を図1に示す。

実験の結果、応力値34Paを境に粘性度の挙動が大きく変化することが分かった。 この応力値は、定常ずり流動測定で得られる降伏応力とよく一致する（32.4Pa; Kameda and Hamada, 2020）。また得られたデータは、Coussotモデルにより良く説明されることも分かった（図１の実線）。さらにこのモデルを組み込んだバネスライダー系の挙動について調べたところ、パラメータの条件によって定常流からスティックスリップに類似するものまで、多様な振る舞いを示すことが分かってきた。こうした挙動は、プレート境界断層の多様な断層すべりプロセスに対応している可能性がある。

引用文献

Coussot P, QD Nguyen, HT Huynh and D Bonn (2002) J. Rheol. 46, 573.
Kameda J and Hamada Y (2020) Geophys. Res. Lett. 47, e2020GL088395

Keywords: fault, smectite, thixotropy

© 2021 Geological Society of Japan

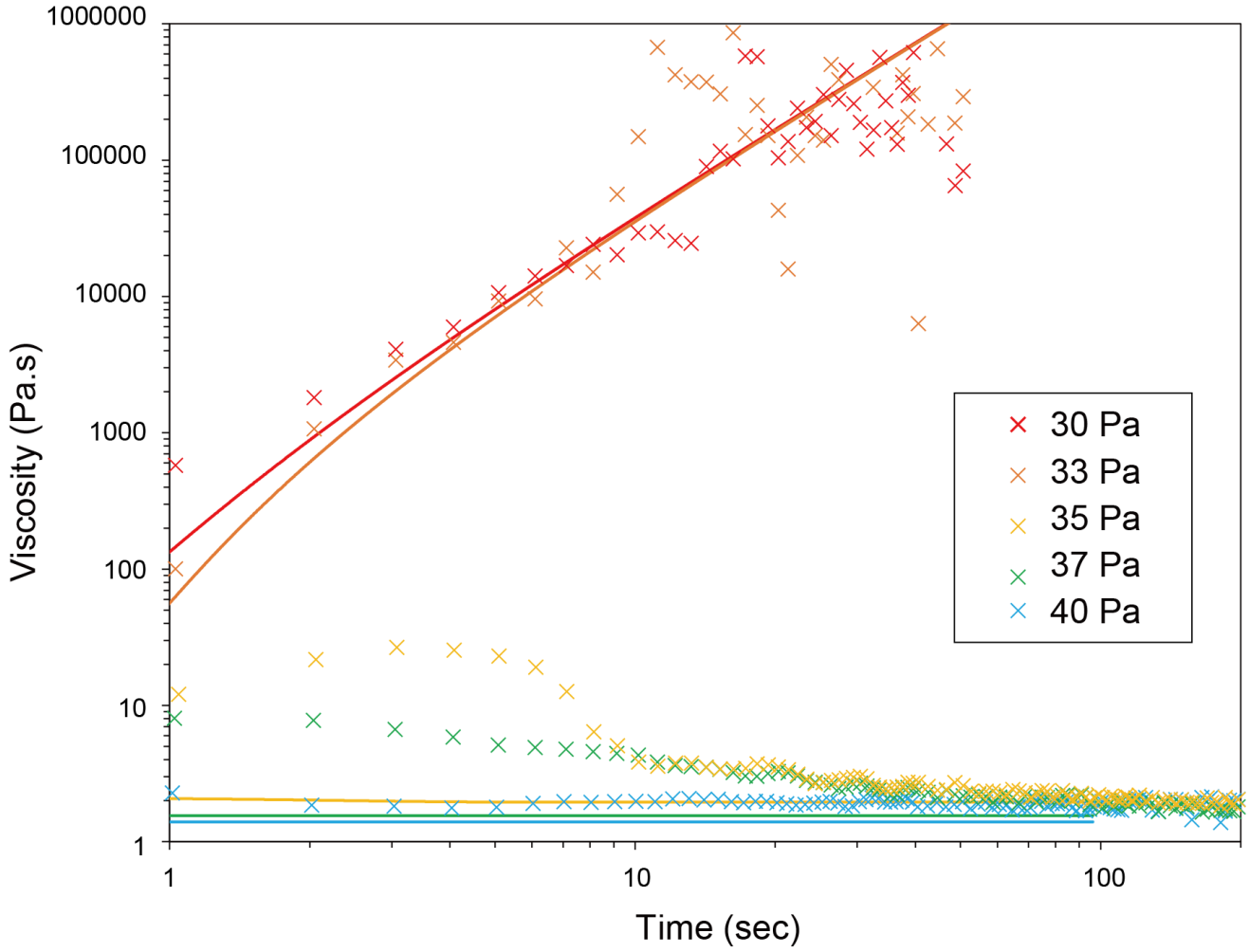


図 1 . 応力（30 ～ 40Pa）を作用させたときの粘性度変化。実線は Coussot モデルでフィットした結果 (α = 1.03, τ = 0.059 sec, $\eta 0$ = 1.06 Pa.s, and n = 2.06)。

© 2021 Geological Society of Japan

Development of new Griggs-type rock deformation apparatus targeting the Pc-Pp-T condition of the base of the seismogenic zone

*Keishi Okazaki[1], Jun Muto[2]

1. KCC/JAMSTEC, 2. Tohoku University

At subduction plate boundaries and inland active faults, most of large earthquakes (Mw >7) occur at the base of the seismogenic zone with a depth of about 10–25 km. The PT conditions of these areas corresponds to lithostatic pressures ranging 300–800 MPa and temperatures ranging 200–400 degC. In addition, seismological observations indicate that the pore fluid pressure is nearly lithostatic, meaning 300–800 MPa. The presence of high pore fluid pressure plays a key role in controlling the rock rheology, because the frictional strength of the fault is a function of the effective pressure and physico-chemical properties of fluids changes exponentially under high pressure. However, most of rock friction experiments have been conducted under pressures lower than 200 MPa. Therefore, understanding of fault rheology at the base of the seismogenic zone is limited by the extrapolations of low PT experiments and experiments using analog materials.

We recently built two new solid pressure medium apparatuses at KCC/JAMSTEC and Tohoku University. These are capable of increasing the confining pressure, the pore pressure and the temperature up to 2 GPa, 1 GPa and 1200 degC, respectively. These apparatuses can reproduce the in-situ or even deeper P-Pp-T conditions of the seismogenic zone. Our preliminary experiment on San Carlos olivine deformed under the confining pressure of 1 GPa at the temperature of 400 degC without the pore fluid showed a stick-sklip behavior. The nominal friction coefficient was 0.45 for the dry experiment. In contrast, deformation experiment on San Carlos olivine under the confining pressure of 1 GPa, the pore pressure of 480 MPa at the temperature of 462 degC indicates that the nominal friction coefficient was 0.42 with assuming fully undrained condition. The recovered sample showed the formation of chlorite-rich shear zone along the piston-sample boundary probably due to reaction among the sample, water and alumina piston. Serpentine and Fe-oxide were also observed in the sample matrix. This presentation will also report basic performances, calibration data of the apparatuses and further experimental results.

Keywords: friction experiment, subduction zone, rock deformation, earthquake

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Effects of host rock on strength and thickness of fault zones

*Momoyo FUKUDA[1], Kiyokazu OOHASHI[1]

1. Yamaguchi University

はじめに

天然の断層には様々なスケールにおいて幅があることが知られている（例えばChoi et al., 2016）。また、断層の累積変位量と断層帯の幅には6桁にもわたって正の相関があることが様々な断層のコンパイルから明らかにされている（Childs et al., 2009）。一方で、同じ変位量であっても断層帯の幅には3桁程度の差があることも知られており、断層帯の幅を決定づける要因として変位量以外のものが存在すると考えられる。幅の広がりにくい断層帯については、断層ガウジ中の弱い鉱物が連続した組織を形成し、スリップゾーンが局所化することによって形成されることが摩擦実験から明らかになっている（Oohashi et al., 2013)。しかし、幅の広がりやすい断層帯がどのような要因によって形成されるのかは明らかになっていない。そこで本研究では、幅の広い断層帯の形成要因を明らかにすることを目的とし、摩擦実験において模擬断層ガウジを挟むシリンダーの岩種が断層帯の幅に与える影響を調べた。

研究手法

本研究では、先行研究（Oohashi et al., 2013)に準じて石英とグラファイトの混合物を模擬断層ガウジとし、垂直応力2 MPa、等価変位速度（嶋本・堤, 1994）250 μm/sで回転式摩擦実験を行なった。その後、実験によって形成された模擬断層ガウジ中の組織を光学顕微鏡とSEMで観察し、変形の程度により非変形帯、弱変形帯、変形帯、変形集中帯の4つに区分した。

結果・議論

その結果、シリンダーに斑れい岩を使用した実験では摩擦強度がすべり始めの半分まで弱化する（定常摩擦係数0.25～0.42）が、砂岩を使用した実験では高い定常状態（摩擦係数0.62～0.8）のまますべり続けた。また、組織観察では砂岩シリンダーの実験は斑れい岩シリンダーの実験に比べ、変形帯の幅が約4倍に広がることがわかった。さらに、砂岩を用いた実験で幅が広がった原因を明らかにするため、検証実験を行なった。検証実験では、摩擦実験後にシリンダーの表面が削られていることから、砂岩と斑れいの性質の違いのうち、表面の削れやすさに着目し、砂岩シリンダーの表面の粗さを変えた。その結果、幅が広がった要因として、累積変位量の他にシリンダー表面の粗さが関係していることがわかり、同変位量（あるいは同摩擦仕事量）の実験において、表面の粗さが粗くなるほど変形帯や変形集中帯の幅が広がることが明らかになった。 このことから、天然の断層帯の中でも変形の集中した部分の厚さに関しては、母岩との境界面の粗さ（表面形状）が影響を与えていると考えられる。

引用文献

Childs, C., Manzocchi, T., Walsh, J., Bonson, C., Nicol, A. and Schopfer, M. (2009) Journal of Structural Geology 31, 117-127.

Choi, J., Edwards, P., Ko, K. and Kim, Y. (2016) Earth-Science Reviews., 152, 70-87.

Oohashi, K., Hirose, T. and Shimamoto, T. (2013) Journal of Geophysical Research Solid Earth 118(5), 2067-2084.

嶋本利彦・堤昭人 (1994) 構造地質研究会誌, 39, 65–78.

© 2021 Geological Society of Japan

Extremely slow grain growth of albite feldspar

*Norio Shigematsu[1], Masanori Kido[1], You Zhou[2], Hideki Hyuga[2], Yu-ichi Yoshizawa[2]

1. Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, AIST, 2. Multi-Material Research Institute, AIST

Feldspar is one of the main constituent minerals of the Earth’ s crust, and the evolution of grain size is one of the keys in the rheology of the crust. Therefore, grain growth of albite was experimentally examined at temperatures of 1030, 1050 and 1065 ºC, at the atmospheric pressure, and under anhydrous conditions. Previous results of anorthite grain growth (Dresen et al., 1996) were also examined to compare with the results in this study. Grain growth of albite follows the grain growth law. Grain growth exponent of 2.6 was assumed. The least squares regression of the results of albite yields the activation energy of Q=573.3±27.2 kJ/mol and the pre-exponent of the rate constant $k_0=10^{0.53\pm1.08}$ $m^{2.6}s^{-1}$. Previous experimental results of anorthite grain growth yield the activation energy of Q=191.8±22.6 kJ/mol and the pre-exponent of $k_0=10^{-10.3\pm0.79}$ $m^{2.6}s^{-1}$. The obtained grain growth of albite is four or five orders of magnitude slower than that of anorthite. Once fine-grained feldspar is formed, these grains do not grow even after 1 million year even at the temperature of 700 ºC according to our anhydrous grain growth law. The extremely slow grain growth of albite found in this study can be explained by loading of grain boundary migration by a dragging force exerted by solute impurity atoms. To apply our results to the natural conditions, the grain growth law under anhydrous conditions was estimated based on several previous studies. Even under hydrous conditions, grain growth is very slow in the middle to upper crust. It can be considered that this slow grain growth affects the mechanical behaviour of crustal rocks and results in the maintenance of shear zones for long period in the crust.

Dresen, G., Wang, G. and Bai, Q.: Tectonophysics, 258, 251–262.

Keywords: Albite, Grain Growth, Crustal Rheology, Plagioclase

© 2021 Geological Society of Japan

Poster | R18 [Regular Session]Environmental geology

[1poster61-62] R18 [Regular Session]Environmental geology

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R18-P-1] (entry) Underground structures seen from the characteristics of groundwater in northwestern Kagoshima Prefecture

*Yoshimasa Ishitani[1], Yujin Kitamura[1], Kuniyo Kawabata[2], Hitoshi Kodamatani[1] （1. Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 2. Institution for Comprehensive Education Center for General Education, Kagoshima University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R18-P-2] (entry) Monthly variation in Radon concentration from the samples of hot spring water around Aira caldera

*Yujin Kitamura[1], Yamato Tateoka, Yuki Tamachi[4], Kuniyo Kawabata[3], Yoshimasa Ishitani[1], Shoichiro Matsuo[1], Daigo Ito[2], Ryo Terasawa[2] （1. Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 2. Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, 3. Center for General Education, Institute for Comprehensive Education, Kagoshima University, 4. Japan Meteological Agency）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

(entry) Underground structures seen from the characteristics of groundwater in northwestern Kagoshima Prefecture

*Yoshimasa Ishitani[1], Yujin Kitamura[1], Kuniyo Kawabata[2], Hitoshi Kodamatani[1]

1. Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 2. Institution for Comprehensive Education Center for General Education, Kagoshima University

1. はじめに

温泉水を含めた地下水にはさまざまな成分が溶存しており, それらを用いて地下の状況について議論を行うことが可能である. ラドン濃度を用いたその掘削深度における母岩や断層に関する研究やLi^+やCl^-を用いたスラブ起源深部流体に関する研究(風早他,2014)などをはじめとしてこのような研究は世界中で数多く行われている. 本研究は鹿児島県北西部で温泉水採取を行い，それらの分析結果における特徴をまとめ, その周辺の断層などの地下構造との関係を議論した.

2. 方法

鹿児島県北西部に位置する出水断層帯, 市木断層帯の周辺から温泉地をランダムに選定し，それぞれ10箇所ずつ程度試料の採取を行った．採取に用いる必要な容器を用意し，全て気泡が入らないように採取した．採取した試料は研究室に持ち帰り, ラドンと溶存イオンの分析を行った(川端他,2019). 水素同位体と酸素同位体の分析は昭光サイエンス株式会社に依頼した.

3. 結果と考察

出水断層帯と市木断層帯の各周辺地域でラドン濃度が最も高かった地点は花崗岩帯の直上または近傍に見られることから, 花崗岩帯または花崗岩体を起源とする地下水ではラドン濃度が非常に高くなることが推定される(歳弘他,1996). またKGW_20_01, 02, 03は断層近傍に位置しているがラドンは低濃度であることに加え, KGW_20_12でもラドンは低濃度であることから, これらの地点は堆積岩からなる四万十層群に達していることがそのラドン濃度の要因の一つと考えられる. 加えてKGW_20_01, 02, 03の結果と市木断層帯の活動記録を照らし合わせると, この断層帯があまり活動的ではなく亀裂や歪みが少ないことが考えられる(脇田,1996). 水素酸素同位体の分析結果では天水線から大きく外れている地点は見られないことが, 市木断層帯周辺の試料は出水断層帯周辺よりもプラス側に位置していることから, 海水の混入が多いことが考えられる. また溶存イオンを用いた水質分析では市木断層周辺の試料の多くはNa-Cl型に位置しており, Br/Clについても海水に近いものが多い(今橋,1996).

4. まとめ

本研究ではラドン, 溶存イオン, 水素酸素同位体を用いて温泉水と地質構造の関係について考察を行ったが, このような研究でよく用いられる$^3He/^4He$など希ガスの分析を行い, 火山との関連も見る必要がある。またサンプル数が充分とは言えないため, さらに多くの試料の分析が望まれる.

引用文献

今橋 正征 (1996) : 天然水の臭化物イオン含量, 安全工学, **35(5)**, 328-336

風早 康平・高橋 正明・安原 正也・西尾 嘉朗・稲村 明彦・森川 徳敏・佐藤 努・高橋 浩・北岡 豪一・大沢 信二・尾山 洋一・大和田 道子・塚本 斉・堀口 桂香・戸崎 裕貴・切田 司 (2014) : 西南日本におけるスラブ起源深部流体の分布と特徴, 日本水文科学会誌, **44**, 3-16

川端 訓代・北村 有迅・冨安 卓滋 (2019) : ポリエチレン保存容器から大気への拡散を考慮した水中ラドン濃度推定法の開発, 分析化学, **68**, 333-338

木村 重彦 (1978) : 水中ラドン濃度の測定とその応用 (Ⅰ)水文学, RADIOISOTOPES, **27**, 740-746

歳弘 克史・藤原 美智子・畠中 啓治 (1996) : 山口県における地下水中のラドン濃度, 山口衛生研業報, 17, 22-25

脇田 宏 (1996) : ラドン観測と地震予知, 保健物理, **31(2)**, 215-222

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: Hot spring , Radon , Izumi fault

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Monthly variation in Radon concentration from the samples of hot spring water around Aira caldera

*Yujin Kitamura[1], Yamato Tateoka, Yuki Tamachi[4], Kuniyo Kawabata[3], Yoshimasa Ishitani[1], Shoichiro Matsuo[1], Daigo Ito[2], Ryo Terasawa[2]

1. Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 2. Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, 3. Center for General Education, Institute for Comprehensive Education, Kagoshima University, 4. Japan Meteological Agency

温泉水中には多くのイオン，ガスが溶存しておりそれらを基に流体の起源や流路，地下の地質構造，地殻変動について等様々な考察がなされてきた．本研究では，2019年7月から行われている姶良カルデラ周辺温泉定期観測のデータを用い，以前行われた田町（2020）の研究も踏まえ，流体の起源や観測値の変動に関して観測データの増分を含めて考察することが目的である．
本研究では温泉水の定期観測を2019年7月から月1回間隔で行った．桜島島内 (St.1, St.2), 垂水市(St.3), 鹿児島市街(St.4, St.5)2020年4月から霧島市福山(St.6)で試料水のサンプリングを行った．試料の^{222}Rn 濃度は研究室にて静電式ラドン測定器(RTM1688-2; SARAD)を用いて即日分析を行った．
水中^{222}Rn濃度は数十Bq/m^3～数十万Bq/m^{3}とかなり幅広い値を検出した．また水中^{222}Rn濃度はサンプリングポイントや採取した時期によりかなり大きな違いが認められる．特にSt.3では常にほかのサンプリングポイントよりも大きい水中^{222}Rn濃度を検出しており，St.4やSt.5では安定した水中^{222}Rn濃度が検出されており，その大小は2019年7月を除いてSt.5のほうがSt.4より高い水中^{222}Rn濃度が検出された．St.3の高濃度の^{222}Rn濃度は，多孔質を含む地層を流路としている，もしくはSiO_2を多量に含む岩を流路とする可能性が考えられる。 また，水中^{222}Rn濃度と溶存イオンや水素同位体比，酸素同位体比，炭素同位体比，ヘリウム，ネオン（未公表データ）とは相関関係が認められないことから，水中^{222}Rn濃度は強い独立性をもつ成分であることが言える．
温泉水中に含まれるイオンや溶存ガスの値から姶良カルデラにおける地球化学的シグナルを検出し，軽元素同位体比や^{222}Rn濃度から姶良カルデラ周辺の地質構造や桜島火山との関係を推定した．垂水市(St.3)において，高^{222}Rn濃度から，近傍に存在する高隈山の花崗岩由来の可能性が考えられ，また^{222}RnとNa^+，Cl^-の変動の同期から，古海水を帯水層とする新たな裂罅から流体が断続的に供給されているのではないかと考えられる．今後も，定期観測による新たなデータを追加していくことで，考察の信頼性を向上させていく事が望まれる．

引用文献
田町勇気(2020MS)姶良カルデラ周辺域における温泉水の地球科学的シグナル時空間分布, 鹿児島大学卒業論文, 85 pp.

Keywords: hot spring, Radon concentration, Sakurajima, Crustal fluid

© 2021 Geological Society of Japan

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

[1poster63-67] R19 [Regular Session]Engineering geology and non-tectonic structures

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R19-P-2] The subsurface geology and site amplification map in Azumino City, Nagano Pref.

*Tatsuro Tsugane[1], Tomoyoshi Kosaka, Yoshinori Furumoto[2], Shinshu-Univ. Ground Motion Research Group （1. Shinshu Univ., 2. Nagano National College of Technology）

4:30 PM - 7:00 PM

[R19-P-3] Silica Mineral Phases of the Paleo-Submarine Landslide Outcrops at Yokote City, Akita, NE Japan

*Hiroki Hayashi[1] （1. Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R)）

4:30 PM - 7:00 PM

[R19-P-4] Formation process of crack filling Mn-hydro-oxide by strong weathering

*Eiji Nakata Nakata[1], Takehiro Ohta[2], Motoyuki Suzuki[2] （1. Central Research Institute of Electric Power Industry , 2. Yamaguchi University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R19-P-5] (entry) Luminescence dating of feldspar in the fault zone of the active Futagawa fault

*Youji MATSUOKA[1], Kiyokazu OOHASHI[1], Toru TAMURA[2], Sumiko TSUKAMOTO[3] （1. Yamaguchi Univ., 2. Geological Survey of Japan, AIST, 3. Leibniz Institute for Applied Geophysics）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

The subsurface geology and site amplification map in Azumino City, Nagano Pref.

*Tatsuro Tsugane[1], Tomoyoshi Kosaka, Yoshinori Furumoto[2], Shinshu-Univ. Ground Motion Research Group

1. Shinshu Univ., 2. Nagano National College of Technology

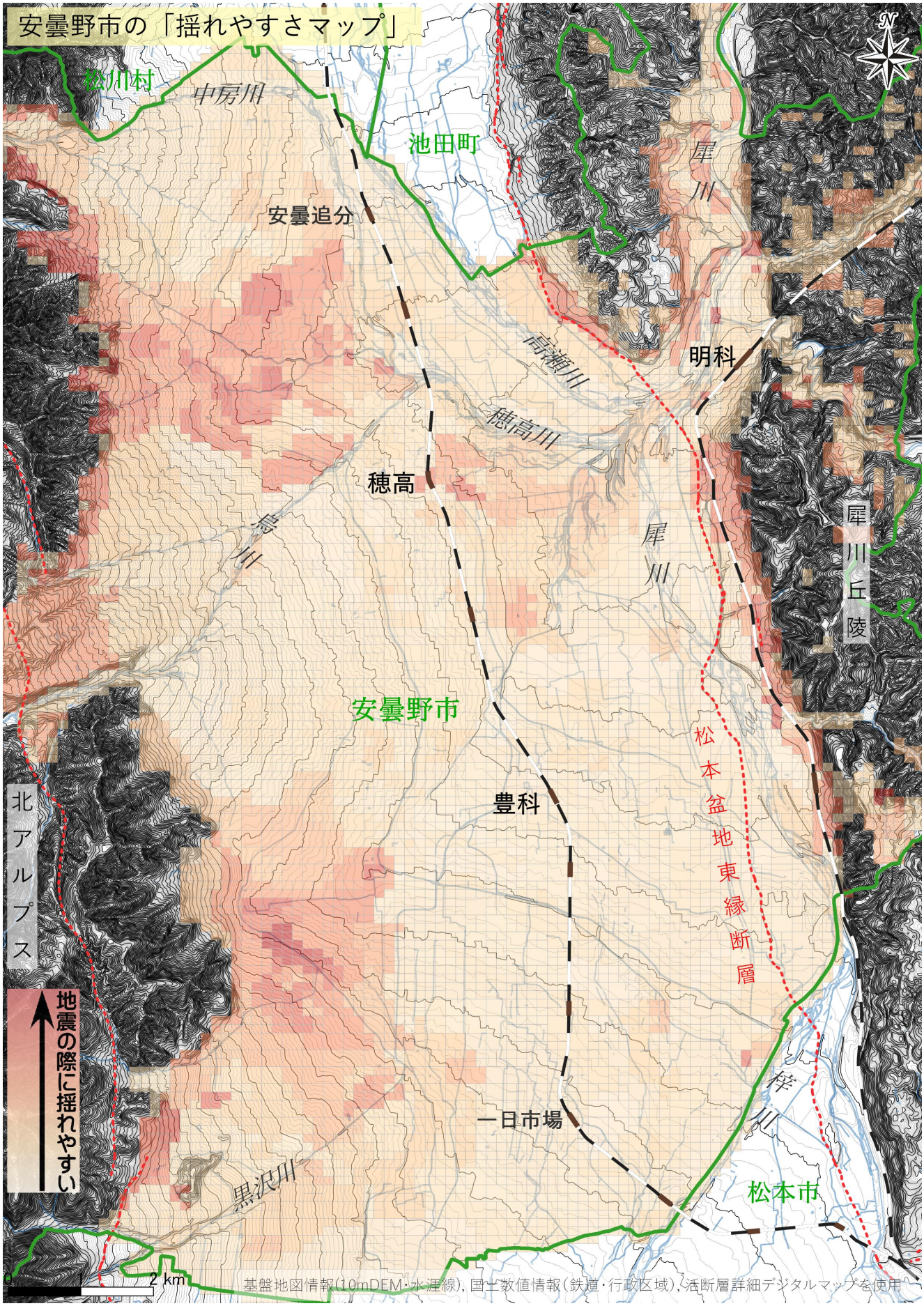
平成23年6月30日に長野県松本市の市街地で発生したM5.4の被害地震（630松本地震）から10年の間，我々は，松本盆地地域の地盤の調査を行ってきた．平成24･25年には松本市との共同事業[1)]，平成26･27年の大町市との事業[2)]として両市の揺れやすさマップや地盤図などを作成したのに続き，平成30･31（令和元）年度は安曇野市との事業として揺れやすさマップや伏在断層分布図等を作成した[3)]．
安曇野市は西から北アルプス，松本盆地，犀川丘陵にまたがり，盆地東縁部には松本盆地東縁断層（糸魚川-静岡構造線断層帯）が位置する．安曇野市が従来市民に配布していた揺れやすさマップは，長野県が平成27年に作成した「糸魚川-静岡構造線断層帯（全体）を震源とする地震」（想定M8.5）が発生した場合の震度分布図[4)]であった．この分布図は250mメッシュで，居住地域での揺れやすさは，ほぼ南北方向の帯状区分（震度6強～5弱）であり，その土地の成り立ちや地質構成を反映した揺れやすさの差異は表現されていない．630松本地震の際，松本市では狭い範囲でも震度3～6強までの揺れが確認されており[5)]，我々の作成した揺れやすさマップからも地盤の違いが揺れに反映されていることが明らかである．
　揺れやすさは表層地盤による地震波の増幅率の違いで決まる（軟弱な地盤程揺れやすい）．県の調査[4)]で使用された安曇野市のボーリングデータは333本であったが，我々は同地域でその4倍強の1364本のボーリングデータを収集した．データ数を増やしたことで，メッシュサイズは250mを基本としながら地形・地盤の複雑さに応じて125mメッシュにまで細分し，2サイズの混合の詳細な地盤モデルの作成が可能となった．揺れやすさマップは，特定の地震を想定せず，各メッシュに兵庫県南部地震(M7.3)相当の地震波を入力し算出された震度値を図化した．その際，震度階には変換せず，多段階の色調表現を採用しているのが特徴である．こう表現にすることによって，巨大地震では一様の揺れやすさに区分される地域の中にあっても，盆地直下のどこで起こるかわからない，中規模の地震の際に，より強く揺れる可能性のある地域（①～④）をあぶり出すことができた．地盤の違いによる揺れ方の違いを明示しておくことは防災・減災のうえで重要である．
　以下に各地域の揺れを増幅する堆積物について述べる．
①松本盆地東縁の段丘上；犀川丘陵を起源とする多くの小規模な扇状地中にはN値10以下の砂~泥が10m以上堆積している部分もある．
②松本盆地西部の扇状地間の低地；黒沢川,烏川,中房川の各扇状地間の低地から扇端の一部には軟弱な堆積物が5m以上堆積していることが多く，烏川，中房川扇状地間では，有明花崗岩起源のマサ土起源の砂~シルトが特徴的である．
③黒沢川扇状地上；砂礫層中にシルト質堆積物を互層状に挟在する地域が見られ，N値5以下のロームを複数挟むこともある．
④三川（穂高川・高瀬川・犀川）合流域付近の氾濫原；砂礫層中にN値5以下の砂層やシルト層を不規則に挟み，時に有機質土を挟在する．

引用文献：1) 信州大学震動調査グループ(2014)「揺れやすさマップ」を活かして地震に備える．2) 信州大学震動調査グループ(2016) 大町市の地震動と地盤に関する調査報告書．3) 信州大学震動調査グループ(2020) 安曇野市地盤と地震動に関する調査報告書．4) 長野県(2015) 第3次長野県地震被害想定調査報告書．5) 信州大学震動調査グループ(2013)「あっ，地震だ」その時、どう揺れた？
信州大学震動調査グループ； 遠藤正孝･古本吉倫･原田晋太郎･原山 智･井関芳郎･北沢淳史･小松宏昭･小坂共栄(代表)･松下英次･宮沢洋介･小野和行･太田勝一･塩野敏昭･土本俊和･津金達郎･富樫均･高橋康･竹下欣宏･田中俊廣･田邉政貴･山浦直人･矢野孝雄･吉田孝紀

© 2021 Geological Society of Japan

Keywords: seismic hazard map, borehole log, geological model, weak ground, Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line active fault zone, Matsumoto-bonchi-toen fault

© 2021 Geological Society of Japan



© 2021 Geological Society of Japan

Silica Mineral Phases of the Paleo-Submarine Landslide Outcrops at Yokote City, Akita, NE Japan

*Hiroki Hayashi[1]

1. Regulatory Standard and Research Department, Secretariat of Nuclear Regulation Authority (S/NRA/R)

はじめに

断層が構造性の断層であるか非構造性の断層であるかを特定することは，その断層が将来に活動するかどうかを判断する上で重要である．近年，国内において断層破砕物質の面構造や粘土鉱物含有量を用いた断層面と地すべり面の判別の試みがなされているが(脇坂ほか, 2012;中村, 2017)，信頼性の高い評価手法は確立していない．また，これらの研究対象は現世の陸上地すべりであり，新第三紀など地質時代に発生した海底地すべり（古海底地すべり）のすべり面と構造性の断層面との判別に関する研究事例はない．

今回，すべり面の鉱物学的性質から構造性の断層面と古海底地すべり面との判別手法を検討することを目的に，秋田県横手市で報告例のある新第三紀の古海底地すべり及び出羽丘陵北部の正断層(藤岡ほか, 1976)を対象に調査を行った．

横手市の古海底地すべり露頭（新露頭）と出羽丘陵北部の断層露頭

秋田県横手市南部には層状珪質泥岩と白色凝灰岩の互層からなる後期中新統～鮮新統の山内層及び相野々層が分布し，それぞれ秋田－山形堆積盆の女川層及び船川層に対比される．東方の真昼山地における緩い褶曲構造，横手市南部の盆地東縁に発達する層状泥岩の過褶曲等の多様な構造，さらに盆地内で泥岩角礫を取り込んだ凝灰岩が見られることから，阿部ほか(2005)はこれらの構造の成因を凝灰岩形成時の海底地すべりによるものと考えた．

今回，横手市南部において層状珪質泥岩と白色凝灰岩の互層からなる2ヶ所の新露頭を記載した．これらの露頭は向斜翼部の階段状すべり面，上盤側に多くの小断層が発達し粘土層を伴う層面すべり，地層の急激な褶曲・逆転といった特徴を示し，いずれも古海底地すべりによるものと推定される．

また，藤岡ほか(1976)で報告されている出羽丘陵北部の断層について断層トレース上で露頭探索を行い，ほぼ直立した層状黒色泥岩中に最大で幅数十cmのガウジを伴う断層を記載した．本断層は南北走向でほぼ鉛直であり，北に36˚プランジした条線を示すほか，地層の引きずりから西側低下の変位が推定される．

鉱物組成

横手市の露頭及び断層露頭について，各すべり面の破砕部又はガウジと整然層の試料をそれぞれ複数採取し，XRDによる鉱物組成の分析を行った（図）．分析は新潟大学理学部のRigaku製ultima IVで行い，CuKα線源，管電圧40kV，管電流40mAで岩石試料粉末の不定方位分析を行った．鉱物種の同定に当たってはSEM-EDSによる元素分析結果も参考とした．

横手市の露頭の珪質泥岩はほぼ石英のみからなり，凝灰質な部分は少量のオパールC，斜長石及び粘土鉱物を含む．凝灰岩は石英，オパールC，斜長石，斜プチロル沸石及び粘土鉱物からなる．両岩相ともすべり面の破砕部分では全体的に石英が支配的となるが，原岩が凝灰質な場合には粘土鉱物の増加，斜長石及び斜プチロル沸石の減少，オパールCのピークの消失といった鉱物組成の変化が見られる．

断層露頭の黒色泥岩はオパールCないしオパールCTと石英のピークが顕著であり，有意量の粘土鉱物と少量の斜長石及び斜プチロル沸石を伴う．ガウジ部分では粘土鉱物が支配的となるが，それ以外の鉱物組成に大きな違いは見られない．

考察とまとめ

横手市の古海底地すべり露頭では凝灰岩（整然層）中のオパールCがすべり面破砕部で消失したが，出羽丘陵の構造性断層（整然層・ガウジ）でそのような傾向は確認されなかった．この原因は検討中であるが，①高温流体の流入等による温度上昇でオパールC又はオパールCTの石英への相変化が促進された，②すべり面が水

© 2021 Geological Society of Japan

みちとなり続成作用中の珪質セメントの形成が阻害された，③天水によりオパールCが選択的に溶脱した等の可能性が考えられる．

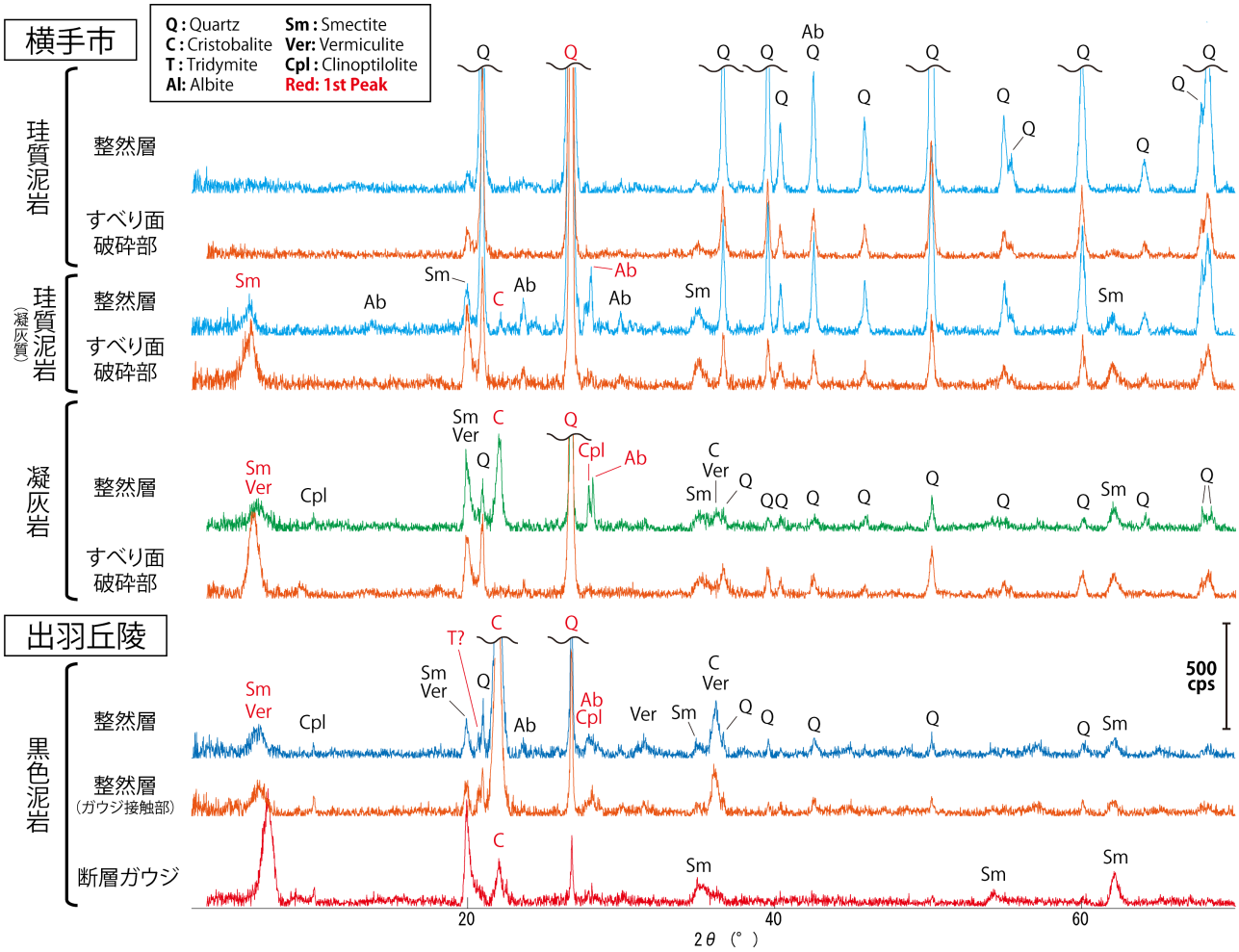
以上のように，すべり面（断層）破砕部分のシリカ鉱物相を古海底地すべり面と構造性断層の判別指標として利用できる可能性が示された．今後は詳細な鉱物相分布や微細組織の把握，成因の解明，異なる岩相への適用性等を検討する予定である．

文献

脇坂ほか,2012,応用地質,52,6,231-247. 中村,2017,地すべり学会誌,54,2,37-45. 藤岡ほか,1976,5万分の1図幅,羽後和田地域の地質. 阿部ほか,2005,地すべり学会誌,41,5,447-457.

図　各露頭試料のXRD分析結果

Keywords: Paleo-Submarine Landslide, Silica Mineral, Opal-C



© 2021 Geological Society of Japan

Formation process of crack filling Mn-hydro-oxide by strong weathering

*Eiji Nakata Nakata[1], Takehiro Ohta[2], Motoyuki Suzuki[2]

1. Central Research Institute of Electric Power Industry , 2. Yamaguchi University

1、はじめに

節理等の割れ目には黒色で幅1 mm から10 mmのマンガン水酸化物が生成していることが多い。山本ほか（2001）は割れ目を充填するマンガン水酸化物を黒色脈と呼び、法面崩落のすべり面になると報告している。中田・太田（2019）は、実際にマンガン水酸化物の表面に滑りの痕跡を示す条線が認められる例を紹介した。このようなマンガン水酸化物はシャーペンの芯でも削ることができるほど柔らかく、弱面となる。 今回、マンガン(Mn)の起源とマンガン水酸化物の成因について考察を行い、法面斜面崩壊や地すべりとの関係について紹介を行う。

2、地質概要

調査は山口県西部の下関市豊田町で行った。当該地点には前期白亜紀に堆積した関門層群が分布している。関門層群は韓国慶尚層群に対比され、国内最大の非海成堆積体の一つとされ（歌田・澤田、2005）、礫岩砂岩主体で下位（東部）の脇野亜層群から火山岩主体の下関亜層群（西部）に移り変わっている。赤色強風化岩（以下サプロライト）は下関亜層群の安山岩溶岩を主体とする火砕岩類で認められ、風化帯の厚さはおよそ40 mに及んでいる。 2020年に開削した法面において表層から深部に向かってO層、A層、B層、C層の良好な風化断面が観察できる。A層（厚さ1～2 m）は開口割れ目が発達し、粘土質でマンガン水酸化物は認められない。表層からC層のサプロライトまでの厚さは、およそ3 mで、C層は新　鮮な安山岩まで40 m前後連続している。他方、B層は厚さ0.5～1mでやや灰色を帯び、A層とC層の間に分布している。A層には僅かにギブサイトが認められ、強く赤色風化したC層ではカオリナイトとハロイサイトが認められる。この新しい法面ではマンガン水酸化物に条線は少ない。 一方、1990年に開削された法面ではマンガン水酸化物に充填された割れ目に、斜面方向に条線が多く発達し、一部に重力性のすべりを思わせる円弧状の形状も形成されている(図1)。

3、マンガン水酸化物の産状とMn含有量

マンガン水酸化物はB層から深部に増加し始め、反対にC層上部から深部に向かって出現頻度が減少し、深部では節理に沿って斑点状にも産出する。C層上部では節理中央部を幅1㎜程度のマンガン水酸化物が埋め、その周辺1㎜前後が白色化し、赤色化したサプロライトに移り変わっている。マンガン水酸化物中のMnOとFe_2O_3含有量はそれぞれ3.4%と10.4%であった。

4、マンガン水酸化物の成因

安山岩は磁鉄鉱を含む単斜輝石安山岩である。帯磁率は新鮮安山岩に比べて赤色化したサプロライトの方が小さく、風化作用によって強磁性体である磁鉄鉱が、常磁性体の酸化鉄に変化している。新鮮な安山岩に含まれる磁鉄鉱の組成は$Mn_{0.2}Ti_{0.6}Fe_{2.3}O_4$（チタノマグネタイト）であり、MnOを3～4%含んでいる。一方、サプロライト化した安山岩中では磁鉄鉱は赤色帯びた不透明鉱物として認められ、MnO含有量が0.1%に減少している。帯磁率の減少と磁鉄鉱の赤色化、Mnの溶出は整合しており、Mnの供給源は磁鉄鉱であると判断できる。溶出実験ではpHの低い溶液の方が新鮮な安山岩からのMnの溶出量と溶出速度が大きい。この傾向は風化帯を流下している地表水中のMn濃度が大きいこととも一致している。マンガン水酸化物の周辺の白色化した部分にはカオリナイトが生成している。カオリナイトは低pH溶液下で生成することが知られている。Mnイオンは大気と平衡するCO_2に富む低pHの地下水が安山岩中の磁鉄鉱を溶解させたことにより供給された。その後、Mnに富む表層水は割れ目を浸透し最初にカオリナイトを晶出させ、続いてMn、Feが割れ目に浸透することで、Mn、Feが沈殿したと推察する。

© 2021 Geological Society of Japan

5、まとめ
割れ目を充填する黒いマンガン水酸化物が多く認められる赤色強風化部でMnの供給源と成因に関して推察を行った。Mnは磁鉄鉱（チタノマグネタイト）に多く含まれており、風化作用を受け溶出している。溶液中のMn濃度、Mn溶出速度は低pH溶液中で大きくなることから、Mnは風化によって表層水中に溶出し、割れ目に侵入し沈殿したと推察できる。 黒色で割れ目をフィルム状に充填するマンガン水酸化物は軟質である。一面せん断強度も低いとの報告がされている（山本ほか、2001）。このようなマンガン水酸物が充填する割れ目が多いと、崩落や地すべりの発生する場合があると推察する。

参考文献 中田・太田（2019）応用地質学会講演集（令和元年度） 山本ほか (2001)地すべり 37, 49-57. 歌田・澤田（2005）地質学雑誌、111、206-216.

Keywords: Weathering, Manganese hydroxide, landslide

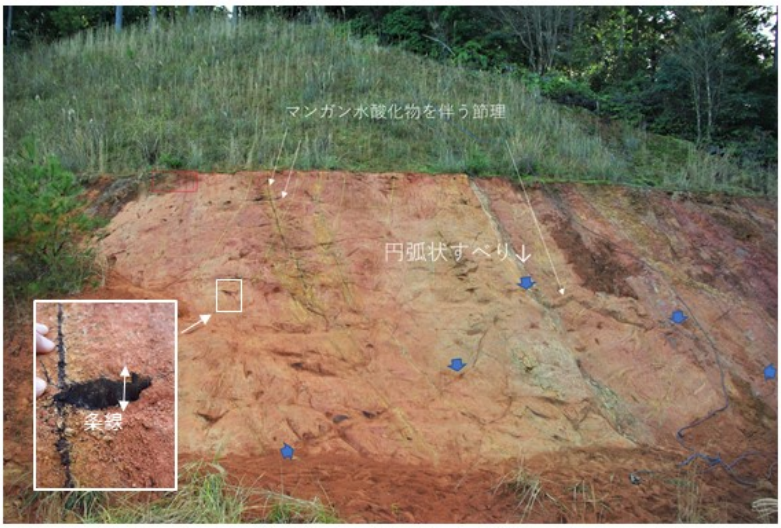


図 1　下関亜層群（安山岩）の赤色強風化部とマンガン水酸化物

© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Luminescence dating of feldspar in the fault zone of the active Futagawa fault

*Youji MATSUOKA[1], Kiyokazu OOHASHI[1], Toru TAMURA[2], Sumiko TSUKAMOTO[3]

1. Yamaguchi Univ., 2. Geological Survey of Japan, AIST, 3. Leibniz Institute for Applied Geophysics

はじめに
ルミネッセンス年代測定法は，鉱物中の自然放射線に由来する捕獲電子が熱や光の刺激を受け再結合することを利用した年代測定法である(奥村・下岡, 2011)．ルミネッセンス信号が熱によってリセットすることから，ルミネッセンス年代測定法を活断層の活動年代測定に利用できる可能性が唱えられており，実際にKim et al.(2019)やOohashi et al.(2020)などの高速摩擦試験の結果からルミネッセンス信号のリセットが確認されている．天然の断層帯で地震とルミネッセンス信号のリセットの関連性を明らかにするためには，(1) 最新活動時期とその時のすべりパラメータ（例えばすべり速度やすべり量），(2) 最新活動面，(3)熱水などの地震とは関係ないルミネッセンス信号のリセット要因がないこと，の以上3点がわかっている必要がある．
本研究では，これらの情報が既知である，2016年熊本地震を引き起こした布田川断層の露頭より採取した試料を用いて，ルミネッセンス年代測定を行った．

布田川断層の等価線量値
本研究では，大橋・田村 (2016)で最新すべり面が報告された布田川断層の露頭に暗幕をかけ，遮光状態で断層ガウジ試料，断層角礫試料，母岩である阿蘇-4火砕流堆積物(断層から3 m及び30 m離れた地点)を採取した．断層角礫試料はブロック状で採取し，暗室ですべり面からの距離に応じて1 cmごとにサブサンプリングを行った．
最初に手でほぐした試料を流水下でふるいにかけ，73～125 μmの粒子を得た．次に，比重2.58~2.63 g/cm³の長石を得るために，2.63 g/cm³の重液を用いて重鉱物を除去し，次いで2.58 g/cm³の重液を用いて火山ガラスなどの軽鉱物を除去した．最後に，マグネティックセパレーターで磁性鉱物を分離し，長石を抽出した．本研究で用いた断層試料および母岩（阿蘇-4火砕流堆積物）に含まれる長石はXRD測定よりAnorthiteが大部分であり，少量のOrthoclaseが存在していた．
ルミネッセンス測定は産業技術総合研究所のRisø TL/OSL reader を用いpIRIR法で測定した．また，pIRIR法の測定プロトコルのうち低温で励起光を当てる際にIR測定も実施した．今回の測定は長石試料であるため，人工太陽を用いたフェーディングテストも実施した．
フェーディングテストの結果より,フェーディング率を表すg値はIRで平均11.9±3.4 %/decadeと大きな値であるのに対し， pIRIRは平均1.2±1.0 %/decadeであった．フェーディング補正後の等価線量値は，pIRIRで約170～185 Gy，IRで約90～120 Gyの範囲で求められた．等価線量値はすべり面からの距離とは関係なく全体として一様であったことから，年代値はほとんど同じ値を示すと考えられる．これは，2016年熊本地震および古地震学的に求められている過去数回の活動で，ルミネッセンス信号が完全リセットされなかったことを意味する．

参考文献
Kim et al. (2019). Tectonophysics 769 (2019) 228191.
Oohashi et al. (2020). Journal of Geophysical Research Volume125, Issue10 October 2020, https://doi.org/10.1029/2020JB019900
大橋聖和・田村友識. (2016). 2016年熊本地震で動いた布田川断層の活断層露頭. 地質学雑誌, 122.
奥村輔・下岡順直. (2011). ルミネッセンス年代値を開始するための心得. 地質技術, 1, 5-17.

Keywords: Luminescence dating, fault, earthquake, feldspar

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

Poster | R20 [Regular Session]Geoscience Education/History of Geoscience

[1poster68-70] R20 [Regular Session]Geoscience Education/History of Geoscience

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R20-P-1] Geology in Japan just after the WWII

*Michiko dvan Yajima[1] （1. Tokyo Metropolitan University）

4:30 PM - 7:00 PM

[R20-P-2] Practice of Earth Science-based Inquiry Activities in High School

*Kazuya Kawakatsu[1] （1. Hyogo Prefectural Himejihigashi Senior High School）

4:30 PM - 7:00 PM

[R20-P-3] Studying field geology in the Himalaya-Highlights of the 9th Student Himalayan Field Exercise Tour in March 2020 and invitation to the 10th exercise tour in 2022

*Masaru Yoshida[1,2], Student Himalayan Field Exercise Project （1. Gondwana Institute for Geology and Environment, 2. Tribhuvan University(Emeritus Professor)）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

Geology in Japan just after the WWII

*Michiko dvan Yajima[1]

1. Tokyo Metropolitan University

戦後すぐの日本の地質学はGHQがリードしていたことを明らかにした。1945年12月16日と1946年6月9日に東京帝国大学理学部にて在都日米地学者交歓会が行われ、GHQ内のスタンフォード大学のスケンク（H.G. Schenk, 1897–1960）が主導的立場に立った。1946年より日本地質学会は活動を開始し、1947年5月には京都大学理学部で日本地質学会が開催され、やはりスケンクが指導した。 エネルギー資源としての石油探鉱、石炭探鉱は重要で、アメリカの占領政策と共同でPEAC（石油開発促進委員会）、CEAC（炭田探査審議会）という組織を通して1947年から開始された。朝鮮半島、中国北部（満州）に多く進出していた地質学者たちは、GHQの要請もあり、帰国して外地での地質研究をまとめた。米国地質調査所出張所の協力もあり、1952年4月には東亜地質鉱産誌3巻1991頁の大著が出版され、1954～1960年には東亜地質図が東京地学協会から刊行された。

Keywords: WWII, H.G. Schenk, PEAC, CEAC

© 2021 Geological Society of Japan

Practice of Earth Science-based Inquiry Activities in High School

*Kazuya Kawakatsu[1]

1. Hyogo Prefectural Himejihigashi Senior High School

１　高校生に求められる資質や能力とは何か

現代は、与えられた課題を正確に解くだけではなく、自ら課題を設定し、解決の道筋を考えて解決する能力や議論する力が求められており、「探究」が新学習指導要領に取り入れられている。また、優れた女子生徒の発掘・育成や、社会人として必要な科学倫理観の育成にも注力されている。

２　スーパーサイエンスハイスクール指定で目指すこと

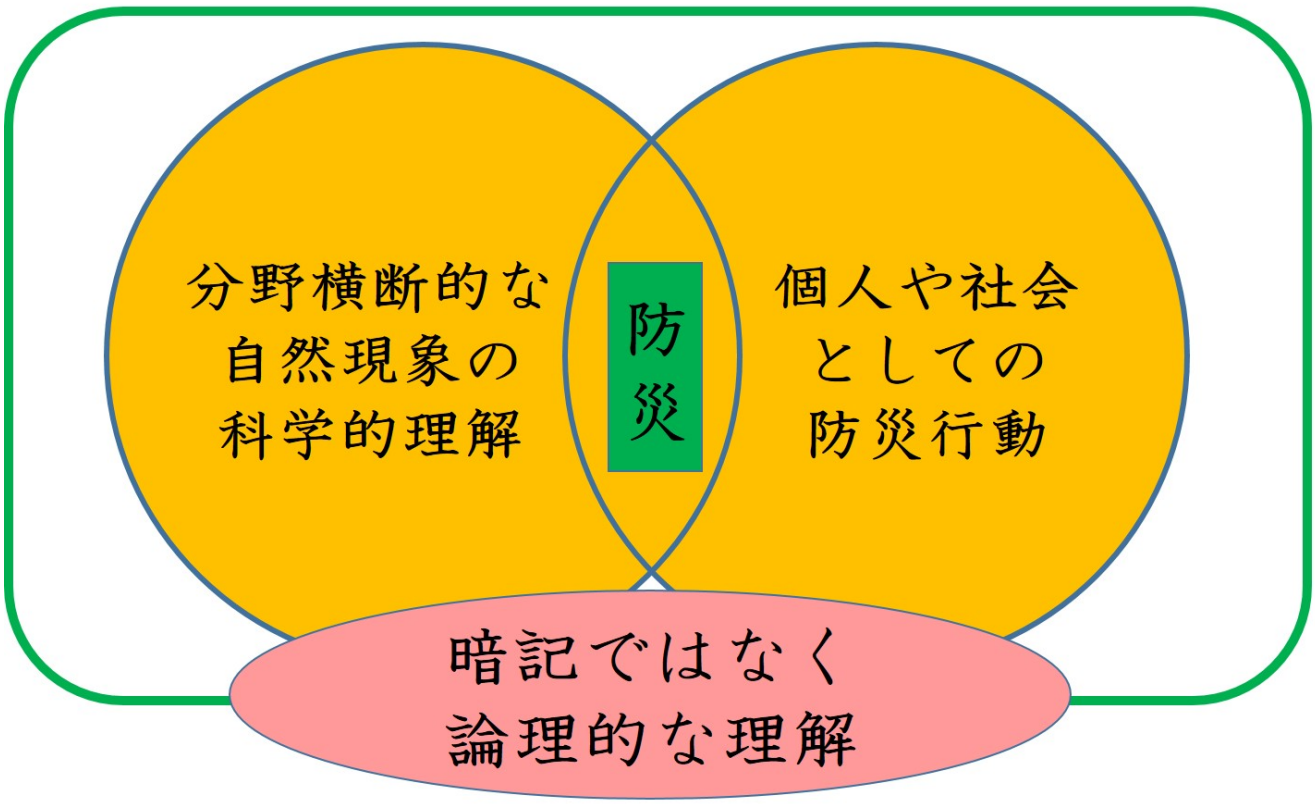
本校は令和2年度から5年間、文部科学省よりスーパーサイエンスハイスクール（SSH）の指定を受け、これらの研究課題に取り組む事業を展開している。特筆すべき活動として、（１）１年次生全員（280名）に「自然科学探究基礎」で、地学分野を基礎にした分野横断的な自然科学教育をおこなう、（２）１年次生全員で「理数探究基礎」（課題研究／１単位）に取り組む（２年次生理系で２単位、３年次生理系で１単位）、（３）２年次生理系で「科学倫理」の課題研究に取り組む（２単位）、（４）全国の高校生を対象にした「Girl’s Expo with Science Ethics」を開催して、理系女子の研究発表や科学倫理の研究発表をおこなう、（５）希望生徒を対象に、オーストラリア野外調査（地質調査／２週間）やジョージタウン大学研修（科学倫理／１週間）をおこなう、（６）野外調査で得られた成果はAGU等の国際学会で発表する、（６）科学部の国際的な活動を強力に支援する、等が挙げられる。

３　多くの探究活動を地球科学（地学）をベースにして実施する

兵庫県は1995年に阪神淡路大震災を経験した。その後も各地で地震や火山の噴火、津波、台風など、多くの自然災害に見舞われている。我々にはそこから学んだ自然の学びや防災の教訓を継いでいく義務がある。自然災害の理解は、生きた自然の学びでもある。教科書には、ハザードマップを確認しておこう、建物を耐震構造にしておこう、避難場所と避難経路を確認しておこう、防災グッズをそろえておこうなど、防災、減災、自助、共助に関するまとまった記述があり、授業ではその部分ばかりに注目が集まる。しかし、自然災害（自然）を理解するためには、防災と科学的な自然の理解が両輪である必要がある。地学の内容は、自然科学の全領域にわたる学びに力を発揮する分野であるが、一方で地学を深く学ぶカリキュラムを有している高等学校は全国でも数少ない。「自然科学探究基礎」で複眼的、広域的視点に基づく自然科学全般の基礎知識を習得し、さらに「理数探究基礎」（課題研究）で具体的に実践する。

Keywords: Inquiry, Basics of natural science quest, Theme Research, Super Science High School, Science Ethics

© 2021 Geological Society of Japan



© 2021 Geological Society of Japan

Studying field geology in the Himalaya-Highlights of the 9th Student Himalayan Field Exercise Tour in March 2020 and invitation to the 10th exercise tour in 2022

*Masaru Yoshida[1,2], Student Himalayan Field Exercise Project

1. Gondwana Institute for Geology and Environment, 2. Tribhuvan University(Emeritus Professor)

第9回学生のヒマラヤ野外実習ツアー（SHET-9）は今年の3月上旬に15日間、例年通りのプログラムで実施された。当初の参加登録者は定員オーバーの26人であったが、コロナウイルス問題のため出発直前に16人がキャンセルし、実際の参加者は学生7人と一般3人の合計10人であった。学生は北大、山形大、信州大、千葉大、横浜国大と名大で、一般は全員秋川流域ジオの会所属であった。 3月6日から１０日間の野外実習ツアーは、例年通りカトマンズ（2泊、予習セミナと市内ツアー）～ポカラ（泊）～カロパニ（泊）～カグベニ（泊、ムクチナート往復）～カロパニ（泊）～タトパニ（泊）～ポカラ（2泊）～タンセン（泊）～ルンビニ（泊）～カトマンズ（2泊、総括セミナーと市内ツアー）の旅程であった。 野外ツアー中は殆ど毎日天気がよく、ヒマラヤの眺望に恵まれた。露頭状態もよく、見事な化石やカイヤナイト片麻岩が採集できた。ポスターではこれらの写真を展示する。 第10回実習ツアーは今回と同様の内容で2022年3月４日から3月18日（前後数日程度の変更の可能性がある）に実施する予定であり、参加者募集は今年5月に開始した（下記URL）。 https://www.data-box.jp/pdir/1ec5fe91685d4c28b2fb55baf4e3aae8　なお、感染症蔓延等の問題等で日ネ両政府による渡航規制や旅行規制等がある場合には、その内容によっては1年後に延期する。 最後になりますが、本プロジェクトにご後援名義を頂いた日本地質学会ほかの6学会、ご寄付を頂いた国際ゴンドワナ研究連合（IAGR）とゴンドワナ地質環境研究所（GIGE）に謝意を表します。

写真：ダウラギリ峰をバックに、実習ツアーの一行

Keywords: Himalayan Geology, Field geology exercise tour

© 2021 Geological Society of Japan

© 2021 Geological Society of Japan

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

[1poster71-73] R23 [Regular Session]Nuclear energy and geological sciences

Sat. Sep 4, 2021 4:30 PM - 7:00 PM poster (poster)

[R23-P-1] Data Collection and Predictive Analysis of Volcanic Dykes Distribution

*Makoto KAWAMURA[1], Hua JIA[2], Yukiko KOIZUMI[2], Masakazu NIWA[1], Koji UMEDA[3] （1. Japan Atomic Energy Agency, 2. Mitsubishi Materials Techno Corp., 3. Hirosaki Univ.）

4:30 PM - 7:00 PM

[R23-P-2] (entry) Assessment of the level of activity of advective transport through fractures in Neogene mudstone by comparison between stable isotope compositions of fracture and pore waters

Akihito Mochizuki[1], *Eiichi Ishii[1] （1. Japan Atomic Energy Agency）

4:30 PM - 7:00 PM

[R23-P-3] Age Constraint on the Quaternary Sediments by Terrestrial Cosmogenic ^{10}Be Analyses in the Omaezaki Area

*Hisanori Ominami[1], Koumei Nishimura[1], Eiji Nakata[2], Yuki Matsushi[3] （1. Chubu Electric Power Co.,Inc., 2. Central Research Institute of Electric Power Industry, 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University）

4:30 PM - 7:00 PM

©The Geological Society of Japan

Data Collection and Predictive Analysis of Volcanic Dykes Distribution

*Makoto KAWAMURA[1], Hua JIA[2], Yukiko KOIZUMI[2], Masakazu NIWA[1], Koji UMEDA[3]

1. Japan Atomic Energy Agency, 2. Mitsubishi Materials Techno Corp., 3. Hirosaki Univ.

【背景・目的】高レベル放射性廃棄物の地層処分事業や安全規制において、火山・火成活動、深部流体、地震・断層活動、隆起・侵食といった自然現象の影響を把握するための調査・評価技術の整備は非常に重要である。火山・火成活動に関する調査・評価技術における課題の一つとして、マグマの影響範囲を把握するための技術の高度化が挙げられる。この課題に対しては、特に岩脈の発達が第四紀火山の中心から半径15 km（科学的特性マップにおける好ましくない範囲の基準）以上に及ぶ場合のデータの蓄積が求められるが、現存の火山体下に伏在している火道やそこから派生している岩脈の分布を把握することは現実的に困難である。そのため日浦ほか（2021）では、火山体が中心火道とそこから放射状に伸びる岩脈の分布を反映しているといった仮定のもと、地理情報システム（GIS）を用いた数値標高データの解析に火山体の三次元的な形状を定量的に把握するとともに、岩種、噴火タイプ、基盤標高などとの関連性について検討を行ってきた。しかしながら、本検討では解析の範囲を火山体に限定しているため、火山体を超えた岩脈についてはモデル化や評価ができないという問題がある。

野外で地質踏査をすると、第四紀火山から離れた場所でも小規模ながら岩脈が貫入している露頭が見つかることがある。このような岩脈が近傍の第四紀火山に関連するかどうかは、岩脈の広がりを評価するうえで重要となる。そこで、我々は丹念な地表踏査の結果が記載したものとして、国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター発行の地質図幅から「岩脈」を抽出し、周辺の第四紀火山との関連性について評価を試みた。

【実施内容】予察的な検討として大山を事例対象とし、20万分の1の「松江及び大社」、「高梁」、「浜田」及び「岡山及丸亀（中国地方の海岸線以北を対象）」の地質図幅を使用した。抽出対象とした「岩脈」は図幅の凡例にある「寄生火山」、「貫入岩」、「岩頸」、「岩脈」及び「岩床」を対象とした。また、データ抽出作業としては、岩脈の分布についてはデジタルでトレースを行い、GISデータを作成して白地図上に整理したうえで、「位置（緯度・経度）」、「サイズ（長径・短径など）」、「時代」、「岩型」、「岩脈が貫入している地層名、時代」及び「最寄り火山の火山名、火口からの距離」のデータを抽出した。

【結果】抽出された火山岩岩脈等の数は、「松江及び大社」が67、「高梁」が53、「浜田」が22、そして「岡山及丸亀」が9の合計151であった（添付図参照）。第四紀火山に関連する岩脈類は新期大山火山噴出物（寄生火山）に限られ、それらの分布も大山の火山体内に限られる。また、岩脈の分布は Nakamura（1977）が指摘したように水平最大主応力軸（$\sigma_{H\text{-}max}$）に伸びる放射状火山岩脈を示すことや、日浦ほか（2021）で検討した地形解析結果とも整合的である。なお、添付図では大根島の近くにドレライト岩脈が抽出されているが、それらは新第三紀中新世とされており、大根島との関連性は低いと考えられる。一方、火山より離れた地点に位置する岩脈類は全て新第三紀もしくは先新第三紀に形成されたものと判定されており、溶岩もあるがドレライトや閃緑岩など深部で形成されたことが示唆される岩石の岩脈もある。また、先新第三紀の岩脈類は、「浜田」と「岡山及丸亀」図幅の一部に認められ、レンズ状の分布形態を示すものが比較的多く認められる。産状は酸性岩の岩脈を主体としている。このことは第四紀よりも以前に深部で形成された岩脈が削剥により地表に見られるようになったことを示唆していると考えられる。今後は、さらに検討範囲を広げて例外的な事例がないか確認していく。

【参考文献】日浦祐樹ほか：第四紀火山を対象としたGISを用いた地形解析による放射状岩脈のモデル化の検討，日本地球惑星科学連合2021年大会H-CG23，2021.

Nakamura, K.: Volcanoes as Possible Indicators of Stress Orientation –Principle and Proposal, Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol.2, pp.1-16, 1977.

地質調査総合センター：20万分の 1 地質図幅「松江及び大社」，1982.

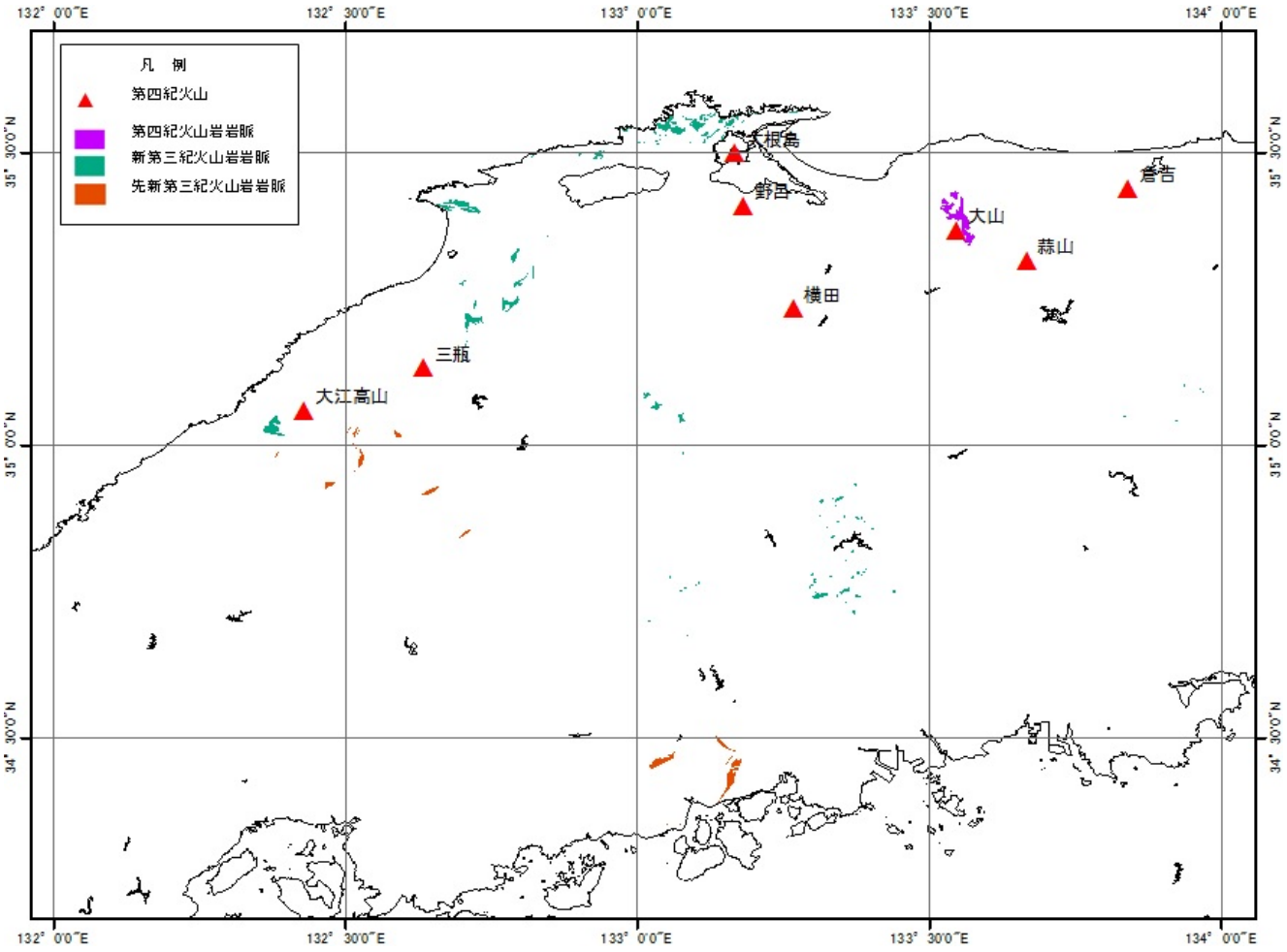
地質調査総合センター：20万分の 1 地質図幅「高梁」，1996.

地質調査総合センター：20万分の 1 地質図幅「浜田」，1988.

© 2021 Geological Society of Japan

地質調査総合センター：20万分の１地質図幅「岡山及丸亀」，2002.
謝辞：本報告は経済産業省資源エネルギー庁委託事業「令和2年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業（地質環境長期安定性評価技術高度化開発）」の成果の一部である。

Keywords: Quaternary Volcanos, Dike Distribution, Geological Map, Geographic Information System (GIS), Daisen Volcano



© 2021 Geological Society of Japan

(entry) Assessment of the level of activity of advective transport through fractures in Neogene mudstone by comparison between stable isotope compositions of fracture and pore waters

Akihito Mochizuki[1], *Eiichi Ishii[1]

1. Japan Atomic Energy Agency

ある端成分をもつ水が岩石中の亀裂に沿って流れている場合、亀裂内の水（亀裂水）の安定同位体比（δD, $\delta^{18}O$）は、亀裂周辺の岩石マトリクス内に含まれる間隙水に比べてより当該端成分に近い値を示すと推定される（図(a)）。一方、亀裂水が停滞している場合には、亀裂と岩石マトリクスの間における拡散によって、亀裂水と間隙水の安定同位体比は類似した値を示すと推定される（図(b)）。以上の推定の妥当性を検証するために、北海道幌延地域の新第三紀泥岩を対象として、鉛直ボーリング孔（HDB-5, -6, -9, PB-V01）の長期揚水により得られた亀裂水と揚水区間周辺の岩石コア中の間隙水とで安定同位体比を比較した。

HDB-5孔の深度28～250 mおよびHDB-9孔の深度27～83 mでは、亀裂水および間隙水の安定同位体比が天水（最終氷期の天水／最終氷期以降の天水）の端成分にもっとも近い値を示し、かつ亀裂水の安定同位体比は間隙水に比べて天水の端成分により近い値を示した。このことは、天水がもっとも浸透しているHDB-5および-9孔の浅部領域において、亀裂に沿った天水の移流が生じていることを示唆する。一方、HDB-6孔およびPB-V01孔において天水がもっとも浸透していると考えられる深度（それぞれ、280～313 mおよび183～277 m）や、各孔のそれ以外の深度領域では、亀裂水の安定同位体比は周辺深度の間隙水の値と同程度であった。これらの領域では、亀裂に沿った天水の移流が現在は生じていないことが示唆される。

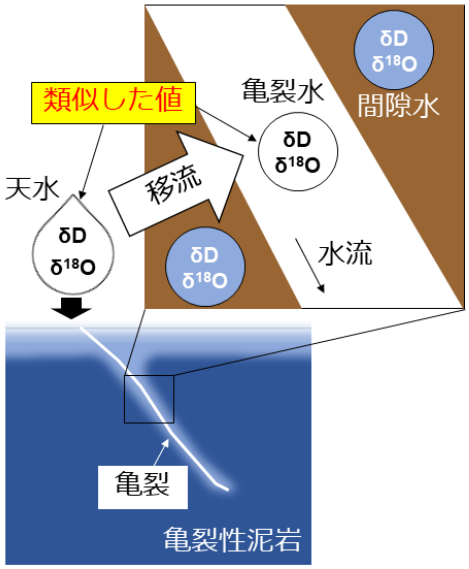
水の安定同位体比を利用した成分分離（寺本ほか, 2006）および亀裂水中でのトリチウムの検出から、本研究の対象深度における地下水は化石海水と最終氷期に浸透した天水の混合により形成され、HDB-5および-9孔の浅部領域のみに最終氷期以降（現在）の天水が浸透していると推測される。このことは、同領域において亀裂に沿った天水の移流が生じているという本研究の推定結果と整合的であり、天水の移流の程度に関する評価手法の妥当性を支持するものである。HDB-5および-9孔の浅部領域では淡水水頭が静水圧よりもやや離れた値を示しており、相対的に高い動水勾配のために天水の移流が生じていると考えられる。本研究により得られた知見は、地層処分の安全評価において、亀裂や断層に沿った地下水の移流の程度を評価するのに役立てることができる。

引用文献：寺本ほか (2006), 応用地質, vol.47, No.2, pp.68-76.

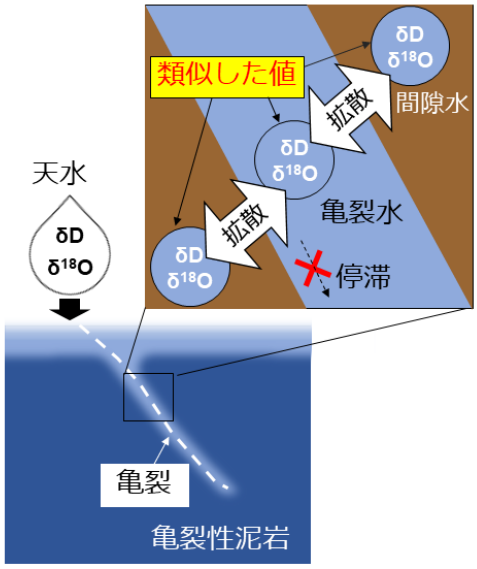
Keywords: Sedimentary rocks, Fractures, Advective transport, Stable water isotopes, Horonobe

© 2021 Geological Society of Japan

(a) 天水の移流が生じている場合



(b) 天水の移流が生じていない場合



© 2021 Geological Society of Japan

Age Constraint on the Quaternary Sediments by Terrestrial Cosmogenic ^{10}Be Analyses in the Omaezaki Area

*Hisanori Ominami[1], Koumei Nishimura[1], Eiji Nakata[2], Yuki Matsushi[3]

1. Chubu Electric Power Co.,Inc., 2. Central Research Institute of Electric Power Industry, 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

これまで侵食地形の削剥速度決定や、段丘等の堆積地形の形成年代決定において、石英中の宇宙線生成核種（^{10}Be）を用いた研究が盛んに行われてきた（松四ほか, 2007）。表面が侵食を受けている地形の形成年代や堆積物の定置年代を、^{10}Beを用いて推定しようとする時、一般的には表面から鉛直下向きに複数深度で採取した試料を分析し、核種濃度の深度分布を得る方法（Depth profiling）が用いられる。この方法をとる事により、時間と速度の両情報を得られる可能性があるためである。本研究では、対象地点の基盤岩にこの方法を適用し、それを覆う上載層の定置年代に対する制約付与を試みた。

【地質概要】

調査地点は静岡県御前崎市佐倉である。この場所の基盤は新第三紀中新世後期から鮮新世前期の砂岩泥岩互層（相良層）であり、標高約50 mに位置する本地点（BF4地点）では、第四紀の堆積物が基盤岩を不整合に覆っている。本地点の北方約1 kmの標高55 m付近（BF1地点）には、最終間氷期（下末吉期）の海進期に対比される古谷泥層が分布する（杉山ほか, 1988）。また、調査地点である佐倉周辺の相良層には、南に開いた緩い弧状を呈する正断層群（H断層系：奥村2016）が分布し、これらの正断層群は、佐倉地域に分布するいずれの段丘堆積物も変位させていないことが確認されている。

【試料採取】

試料は、図－１に示すトレンチの断層の上盤側から採取した。基盤岩の相良層にはNW-SE走向の南落ちの正断層が確認され、円～扁平な基底礫を含む泥層が50cm程の層厚で相良層を不整合に覆っている。泥層の基底面に変位や変形は認められない。標高や泥層に含まれる基底礫の礫種等を踏まえると、泥層は最終間氷期の海進期の段丘堆積物に対比されると考えられる。正断層は、比較的連続性の良い2条の断層面を有し、断層面やその周囲には、引き延ばされたり、ちぎれたような形状を示す砂岩や泥岩が見られ、断層面には明瞭なせん断面は確認されない。また、断層周辺の母岩に断層角礫は認められないことから、堆積後の固結前の流動変形を伴う断層であることが示唆される。
本地点の第四紀堆積物は泥質であり、^{10}Be分析のための試料精製に適した粒径の石英粒子がほとんど認められない。そのため下位に位置する第三系基盤岩（相良層）を分析の対象とし、その結果に基づいて上位の第四系の堆積年代を検討した。試料は、相良層の上面から砂岩層を対象に深度方向に採取し、粒度150μmを中心とした石英を抽出した。得られた石英粒子は、米国Purdue大学の加速器質量分析施設（PRIME Lab）で化学処理した後、^{10}Be濃度を分析した。

【分析結果】

測定された^{10}Be/^{9}Be同位体比は、バックグラウンドよりも有意に高く、測定は良好な状態で実施された。分析によって得られた石英中の^{10}Be濃度について、各試料の採取標高に対してプロットした深度プロファイルを図－２に示す。^{10}Beの濃度は、深さ方向に連続的に減少している。

【考察】

御前崎地域では、後期更新世の海進期以降、基盤を覆う堆積物が海水準の低下や隆起に伴う海退と同時に地表に露出し、侵食を受けている。BF4地点は近傍のBF1地点に比べて基盤を覆う泥層の層厚が小さく、両地点に現存するそれらの層厚差は約15 mに達する。このことはBF4地点が大きく削剥されていることを示唆し、仮

© 2021 Geological Society of Japan

にそれがMIS5eに相当する12～13万年前以降、現在までの間に生じたとすると、削剥速度は少なくとも約120 mm/kaと想定される。一方で、分析により得られた^{10}Be濃度の深度分布は、数十万年スケールで約120 mm/kaの速度で地表が削剥されてきたと考えた場合に推定される核種の蓄積モデルカーブと合致している。このことは、BF4地点において基盤を覆う第四系堆積物を最終間氷期の海進期の堆積物とみなして差し支えないことを意味している。

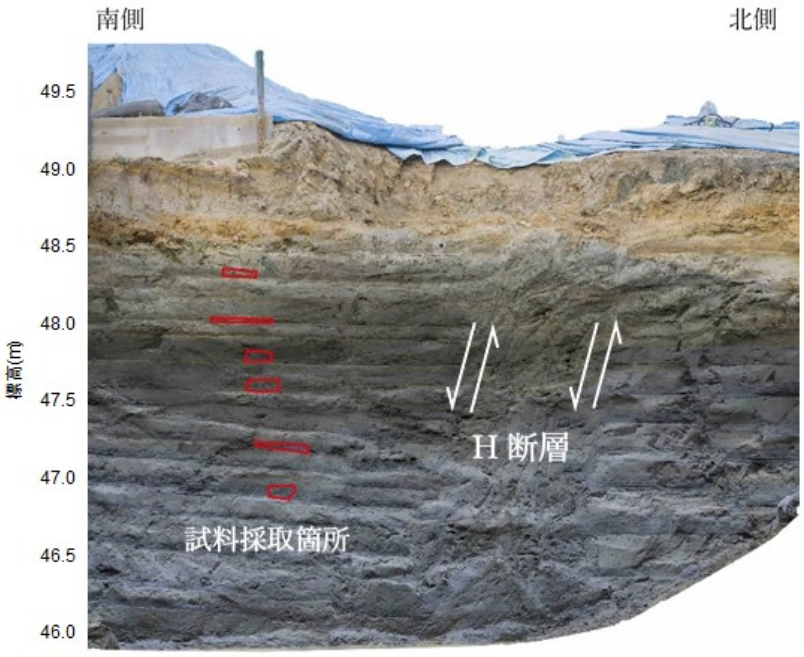
【結論】

今回、^{10}Beを用いてBF4地点の泥層の堆積年代を検討した結果、第三系における核種の蓄積量は、上位の第四系が12～13万年前に堆積後、現在までの間に約15 m削剥されたとの想定で得られるモデルカーブと整合しており、これが最終間氷期の海進期の堆積物に対比できるとの結果を得た。なお、断層の下盤側においても深度方向に^{10}Beを用いた分析を実施した。その結果、^{10}Beの深度方向の濃度には、断層の両側で有意な差異は認められなかった。

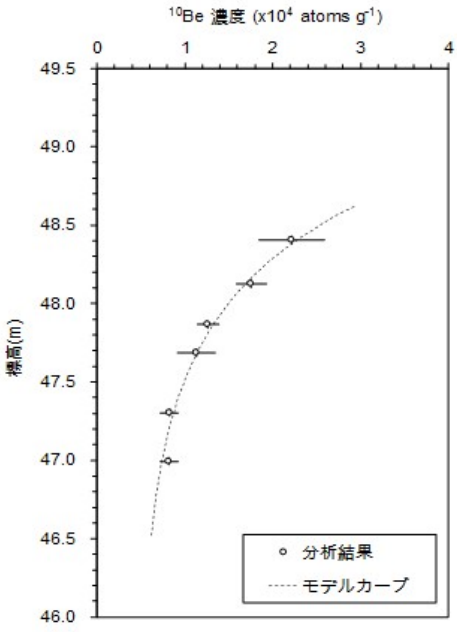
【引用文献】

松四ほか(2007)宇宙線生成核種^{10}Beおよび^{26}Alのプロセス地形学的応用：地形，28，87-107.
杉山ほか(1988)御前崎地域の地質．地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，153p.
奥村（2016）浜岡原子力発電所とその周辺の上盤プレート地殻内断層と地震: 日本地球惑星科学連合2016年大会.

Keywords: Cosmogenic 10Be, Depth profiling, Furuya mud layer, Sagara layer, Normal fault group



図－1



図－2

© 2021 Geological Society of Japan