

Mon. Sep 16, 2019

ROOM D

Room D | General session | S01. Theory and Analysis Method

[S01]AM-1chairperson:Kiwamu Nishida(ERI, the university of Tokyo),
Daisuke Sato(DPRI, Kyoto University)

9:30 AM - 10:30 AM ROOM D (International Conference Halls I)

[S01-01] Generalized asymptotic ray theory without high-frequency approximation: Application to singular regions of seismic wavefield*Kiyoshi Yomogida¹ (1. Earth &Planet. Dyna., Fac. Sci., Hokkaido Univ.)

9:30 AM - 9:45 AM

[S01-02] Statistical characteristics of seismic velocity changes (3)*Hisashi Nakahara¹ (1. Graduate School of Science, Tohoku University)

9:45 AM - 10:00 AM

[S01-03] Comparison of Stress Tensor Inversion Methods Using Seismological Data*Yukitoshi Fukahata¹, Takaki Iwata², Keisuke Yoshida³
(1. DPRI, Kyoto University, 2. Faculty of Life and Environmental Science, Prefectural University of Hiroshima, 3. Graduate School of Science, Tohoku University)

10:00 AM - 10:15 AM

[S01-04] On the Optimum Solution of Bayesian Inversions*Daisuke Sato¹, Yukitoshi Fukahata¹ (1. DPRI, Kyoto University)

10:15 AM - 10:30 AM

Room D | General session | S01. Theory and Analysis Method

[S01]AM-2chairperson:Kiwamu Nishida(ERI, the university of Tokyo),
Daisuke Sato(DPRI, Kyoto University)

10:45 AM - 12:00 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S01-05] An application of extended Kalman filter for ambient noise monitoring of seismic velocity changes*Kiwamu Nishida¹ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

10:45 AM - 11:00 AM

[S01-06] Full-waveform Inversion (FWI) approach to the imaging of geothermal reservoirs*Junzo Kasahara^{1,2}, Yoko HasaHa^{3,2}, HaruyasuKuzume² (1. University of Shizuoka, 2. ENAA (Engineering Advancement Association of Japan), 3. Daiwa Exploration and Consulting Co. Ltd.)

11:00 AM - 11:15 AM

[S01-07] Effects of quasi-laminated random heterogeneity on surface wave propagation and apparent radial anisotropy*Yunao XU¹, Kazunori Yoshizawa^{1,2}, Takashi Furumura³
(1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Science, Hokkaido University, 3. Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo)

11:15 AM - 11:30 AM

[S01-08] New acoustic approximation for the transversely isotropic media with a vertical symmetry axis*Shibo Xu¹, Hitoshi Mikada¹ (1. Kyoto University)

11:30 AM - 11:45 AM

[S01-09] Seismic activity in Western Tottori area by array analysis for the “0.1 Manten” hyper dense seismic observation dataset*Satoshi Matsumoto¹, Yoshihisa Iio², Shinichi Sakai³, Aitaro Kato³, Group for 0.1 Manten hyper dense seismic observation (1. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. Earthquake Research Institute, University of Tokyo)

11:45 AM - 12:00 PM

Room D | General session | S02. Seismometry and Monitoring System

[S02]PM-2

chairperson:Masanao Shinohara(Earthquake Research Institute, The University of Tokyo), Masayuki Tanaka(MRI, JMA)

2:45 PM - 3:45 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S02-01] The Observation Environments of Broadband Seismograph in Minami-Tori-shima (Marcus Island)*Masayuki Tanaka¹ (1. Meteorological Research Institute)

2:45 PM - 3:00 PM

[S02-02] New Era of Ocean Bottom Broadband Seismology with the Autonomous BBOBS-NX : NX-2G*Hajime Shiobara¹, Aki Ito², Hiroko Sugioka³, Masanao Shinohara¹ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Research Institute for Marine Geodynamics, JAMSTEC, 3. Department of

Planetology, Graduate School of Science, Kobe University)

3:00 PM - 3:15 PM

[S02-03] Distributed Acoustic Sensing measurement by using seafloor optical fiber cable system off Sanriku

*Masanao Shinohara¹, Tomoaki Yamada¹, Takeshi Akuhara¹, Kimihiro Mochizuki¹, Shin'ichi Sakai¹, Takeo Ksajima², Takahiro Arioka², Masayuki Hamakawa³, Shunsuke Kubota⁴ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Fujitsu Laboratories Ltd., 3. Fujitsu Limited, 4. YK Giken Co. Ltd.)

3:15 PM - 3:30 PM

[S02-04] Seismic observation at Azuma volcano using fiber optics and DAS system

*Takeshi Nishimura¹, Kentaro Emoto¹, Hisashi Nakahara¹, Satoshi Miura¹, Mare Yamamoto¹, Shunsuke Sugimura¹, Takahiro Ueda¹, Ayumu Ishikawa¹, Tsunehisa Kimura² (1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Schlumberger)

3:30 PM - 3:45 PM

Room D | General session | S02. Seismometry and Monitoring System

[S02]PM-3

chairperson: Ryoichi Iwase(JAMSTEC), Kazuo Ohtake(Meteorological college)

4:00 PM - 5:15 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S02-05] Video Transmission System using WIN networks

*Kazuo Ohtake¹ (1. Meteorological college)

4:00 PM - 4:15 PM

[S02-06] **Proposal of two-point seismic observation for detecting weak signal**

*Shigeki Horiuchi¹, Aitaro Kato² (1. Home Seismometer Corporation, 2. Univ.Tokyo)

4:15 PM - 4:30 PM

[S02-07] Effect of seafloor inclination on the estimation of OBS installation direction and seismic wave velocity from observed waveform of air gun

*Ryoichi Iwase¹ (1. JAMSTEC)

4:30 PM - 4:45 PM

[S02-08] Demonstration experiment of disaster prevention network by post-earthquake damage evaluation meter in Tokushima Part 2

Hisamitsu Kajikawa¹, *Ryotaro Shirai², Yuka Okada³, Haruhiko Ogawa⁴, Ayumu Mitsuhashi⁴ (1. Meiji Univ., 2. Meiji University Graduate School of Science and

Engineering Department of Architecture and Urban Studies, 3. Misawa Homes Co.,Ltd, 4. Misawa Homes Institute of Research and Development Co.,Ltd.,)

4:45 PM - 5:00 PM

[S02-09] Demonstration experiment of disaster prevention network by post-earthquake damage evaluation meter in Tokushima Part 3

Hisamitsu Kajikawa¹, *Yuka Okada³, Ryotaro Shirai², Haruhiko Ogawa⁴, Ayumu Mitsuhashi⁴ (1. Meiji Univ., 2. Meiji University Graduate School of Science and Engineering Department of Architecture and Urban Studies, 3. Misawa Homes Co.,Ltd, 4. Misawa Homes Institute of Research and Development Co.,Ltd.)

5:00 PM - 5:15 PM

Tue. Sep 17, 2019

ROOM D

Room D | Special session | S23. Open data for seismology

[S23]AM-1

chairperson: Yasuyuki Kano (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Katsuhiko Shiomi (NIED), Tadashi Ishikawa (Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard)

9:15 AM - 10:30 AM ROOM D (International Conference Halls I)

[S23-01] [INVITED] Progress and well-being of Open

Science and research data sharing in international communities

*Yasuhiro Murayama¹ (1. National Institute of Information and Communications Technology)

9:15 AM - 9:45 AM

[S23-02] [INVITED] Recent activity of data publication and data citation in the international community of geomagnetism

*Masahito Nose¹, Yasuhiro Murayama², Takenari Kinoshita³, Yukinobu Koyama⁴, Michi Nishioka⁵, Mamoru Ishii⁵, Manabu Kunitake², Koji Imai² (1. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan, 2. Strategic Program Produce Office, National Institute for Information Communications Technology, Tokyo, Japan, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Kanagawa, Japan, 4. Kindai University Technical College, Mie, Japan, 5. World Data Center for Ionosphere and Space Weather, National Institute for Information Communications Technology, Tokyo, Japan)

9:45 AM - 10:15 AM

[S23-03] [INVITED] Outline of "Promotion of Earthquake Research (third phase)" started in 2019

*Yutaka HAYASHI¹ (1. MEXT)

10:15 AM - 10:30 AM

Room D | Special session | S23. Open data for seismology

[S23]AM-2

chairperson: Yasuyuki Kano (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Katsuhiko Shiomi (NIED), Tadashi Ishikawa (Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard)

10:45 AM - 12:15 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S23-04] Construction and Utilization of a Database

System on Offshore Active Faults around Japan

for Earthquake and Tsunami Hazard Assessment

*Ayako Nakanishi¹, Hiromi Kamata¹, Narumi

Takahashi^{1,2}, Shigeyoshi Tanaka¹, Hiroyuki Fujiwara²,

Tsuneo Ohsumi², Takahiko Inoue³, Tomoyuki Sato³,

Yoshiyuki Kaneda^{1,2,4} (1. JAMSTEC, 2. NIED, 3. AIST,

4. Kagawa Univ.)

10:45 AM - 11:00 AM

[S23-05] Assignment of DOIs to NIED MOWLAS data

*Katsuhiko SHIOMI¹, Naotaka YAMAMOTO

CHIKASADA¹, Shin AOI¹, Narumi TAKAHASHI¹, Youichi

ASANO¹, Takeshi KIMURA¹, Takashi KUNUGI¹, Hideki

Ueda¹, Kenji UEHIRA¹ (1. National Research Institute

for Earth Science and Disaster Resilience)

11:00 AM - 11:15 AM

[S23-06] Development of a data sharing system in the field of volcanology

*Hideki Ueda¹, Taishi Yamada¹, Takanori Matsuzawa¹,

Takahiro Miwa¹, Masashi Nagai¹ (1. NIED)

11:15 AM - 11:30 AM

[S23-07] Introduction of the Groundwater, Strain and Seismograph Display System "Well Web"

*Norio Matsumoto¹ (1. Geological Survey of Japan, AIST)

11:30 AM - 11:45 AM

[S23-08] Data journals for publication and management of observation data: A case of GNSS-A seafloor geodesy

*Tadashi Ishikawa¹, Yusuke Yokota², Shun-ichi

Watanabe¹ (1. Hydrographic and Oceanographic

Department, Japan Coast Guard, 2. Institute of Industrial Science, The University of Tokyo)

11:45 AM - 12:00 PM

[S23-09] Activity of "Slow Earthquake Database"

*Takanori Matsuzawa¹, Masayuki Kano², Yusaku

Takaka³, Naofumi Aso⁴, Satoshi Ide³, Kazushige Obara³

(1. National Research Institute for Earth Science and

Disaster Resilience, 2. Tohoku Univ., 3. Univ. of Tokyo,

4. Tokyo Institute of Technology)

12:00 PM - 12:15 PM

Room D | Special session | S23. Open data for seismology

[S23]PM-1

chairperson: Yasuyuki Kano (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Katsuhiko Shiomi (NIED), Hiroshi Tsuruoka (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

1:30 PM - 3:00 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S23-10] Archive and publication of marine seismic data

by JAMSTEC

*Tetsuo No¹, Ayako Nakanishi¹, Kaoru Takizawa², Yuka Kaiho¹, Yasuyuki Nakamura¹, Gou Fujie¹, Seiichi Miura¹, Koichiro Obana¹, Shuichi Kodaira¹ (1. JAMSTEC, 2. Nippon Marine Enterprises)

1:30 PM - 1:45 PM

[S23-11] How JAMSTEC handles data and samples obtained by JAMSTEC's facilities

*Seiji Tsuboi¹, Chizuru Saito¹, Kazuyo Fukuda¹ (1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

1:45 PM - 2:00 PM

[S23-12] A review of data management for polar sciences in Japan

*Masaki Kanao¹ (1. Research Organization of Information and Systems)

2:00 PM - 2:15 PM

[S23-13] Utilization of earthquake catalog data

*Hiroshi Tsuruoka¹ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

2:15 PM - 2:30 PM

[S23-14] Data usage by non-specialists through mobile apps

*Kentaro Emoto¹ (1. Graduate School of Science, Tohoku University)

2:30 PM - 2:45 PM

[S23-15] Open data will be abused by (dubious) earthquake predictions

*Mamoru Kato¹ (1. GS Human and Environmental Studies, Kyoto Univ.)

2:45 PM - 3:00 PM

Room D | Special session | S23. Open data for seismology

[S23]PM-2

chairperson:Yasuyuki Kano(Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Katsuhiko Shiomi(NIED), Hiroshi Tsuruoka(Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Manabu Morishige(JAMSTEC)

3:15 PM - 4:00 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S23-16] Digitization of Analogue Seismograms by Japanese High School Students

*Miaki Ishii¹, Toshihiro Morinaga^{2,3} (1. Department of Earth &Planetary Sciences, Harvard University, 2. School Innovation Forum, 3. Graduate School of Education, Kyoto University)

3:15 PM - 3:30 PM

[S23-17] Open Data for Historical Earthquake Studies and

Historical Records

*Yasuyuki Kano^{1,2} (1. ERI, The University of Tokyo, 2. Collaborative Research Organization for Historical Materials on Earthquakes and Volcanoes, The University of Tokyo)

3:30 PM - 3:45 PM

[S23] Discussion

3:45 PM - 4:00 PM

Room D | General session | S07. Deep Structure and Properties of the Earth and Planets

[S07]PM-2

chairperson:Yasuyuki Kano(Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Katsuhiko Shiomi(NIED), Hiroshi Tsuruoka(Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Manabu Morishige(JAMSTEC)

4:00 PM - 5:00 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S07-01] Shear velocity and attenuation of the mantle

beneath the Ontong Java Plateau based on an analysis of multiple ScS wave

s

*Daisuke Suetsugu¹, Hajime Shiobara², Hiroko Sugioka³, Aki Ito¹, Takehi Isse², Yasushi Ishihara¹, Satoru Tanaka¹, Masayuki Obayashi¹, Takashi Tonegawa¹, Junko Yoshimitsu¹, Takumi Kobatashi³ (1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 3. Graduate School of Science, Kobe University)

4:00 PM - 4:15 PM

[S07-02] Upper mantle structure beneath the Ontong Java Plateau

*Takehi Isse¹, Daisuke Suetsugu², Hajime Shiobara¹, Hiroko Sugioka³, Aki Ito², Akira Ishikawa⁴, Yuki Kawano¹, Kazunori Yoshizawa⁵, Yasushi Ishihara², Satoru Tanaka², Masayuki Obayashi², Takashi Tonegawa², Junko Yoshimitsu², Takumi Kobayashi³ (1. ERI, the University of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. Kobe University, 4. Tokyo Institute of Technology, 5.

Hokkaido University)

4:15 PM - 4:30 PM

[S07-03] **P-wave tomography beneath Greenland**

*Matsuno Takaya¹, Genti Toyokuni¹, Dapeng Zhao¹ (1. Tohoku univ. Reserch Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions)

4:30 PM - 4:45 PM

[S07-04] Azimuthal anisotropy in the upper mantle using

multi-mode surface waves: Application to the
Australian region

*Yuka Nishimura¹, Kazunori Yoshizawa^{1,2} (1.

Graduate School of Science, Hokkaido University, 2.

Faculty of Science, Hokkaido University)

4:45 PM - 5:00 PM

Wed. Sep 18, 2019

ROOM D

Room D | General session | S10. Active Faults, Historical Earthquakes

[S10]AM-1

chairperson: Kentaro Imai(JAMSTEC), Takashi Hirai(Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

9:15 AM - 10:30 AM ROOM D (International Conference Halls I)

[S10-01] Development of historical earthquake activity

database using historical source journals in Japan

*Akihito Nishiyama^{1,2}, Masaharu Ebara^{3,2}, Rei Mizuno^{1,2}, Seiya Yoshioka^{1,2}, Akihiko Katagiri⁴, Yusuke Oishi^{5,1} (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Collaborative Research Organization for Historical Materials on Earthquakes and Volcanoes, The University of Tokyo, 3. Historiographical Institute, The University of Tokyo, 4. Faculty of Humanities, Niigata University, 5. Fujitsu Laboratories Ltd.)

9:15 AM - 9:30 AM

[S10-02] Ansei Tokai and Nankai Earthquakes Depicted on Kawaraban Newspapers: Mainly on Those Stored in the Disaster Management Library

*Takashi Hirai¹ (1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

9:30 AM - 9:45 AM

[S10-03] Re-examination of the tsunami source for the 1854 Ansei Tokai earthquake along the Nankai Trough

*Kentaro Imai¹, Takane Hori¹, Narumi Takahashi^{1,2}, Ryoko Obayashi¹, Satoshi Kusumoto¹, Takashi Furumura³ (1. Research Institute for Marine Geodynamics, Research and Development Center for Earthquake and Tsunami Forecasting, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

9:45 AM - 10:00 AM

[S10-04] Numerical simulation on formation of normal faults based on elasto-plastic mechanics

*Eiji Yamada¹, Toshihiro Noda², Kentaro Nakai², Akira Asaoka³ (1. Chubu Electric Power, 2. Nagoya Univ., 3. ADEP)

10:00 AM - 10:15 AM

[S10-05] Bayesian inference for recurrent earthquake

sequences with uncertain occurrence times

*Shunichi Nomura¹, Yosihiko Ogata¹ (1. The Institute of Statistical Mathematics)

10:15 AM - 10:30 AM

Room D | General session | S10. Active Faults, Historical Earthquakes

[S10]AM-2

chairperson: Kyoko Kagohara(Faculty of Education, Yamaguchi University), Tetsuro Tsuru(Tokyo University of Marine Science and Technology)

10:45 AM - 12:00 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S10-06] An example of subsea and subseafloor imaging by seismic reflections in Uchiurawan off Numazu

*Tetsuro Tsuru¹, Jin.-O. Park², Kosaku Arai³, Seishiro Furuyama¹, Kazuo Amakasu¹, Keiichi Uchida¹, Mayu Ogawa¹, Shio Shimizu¹, Tetsuo No⁴, Yasuyuki Nakamura⁴ (1. Tokyo University of Marine Science and Technology, 2. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

10:45 AM - 11:00 AM

[S10-07] Offshore active fault survey on Tokachi-Heiya fault zone: Characteristics and distribution of the active structures

*Takashi Ogami¹, Shintaro Abe², Yashito Uchida³, Kenji Nishina³, Ryoyu Arai⁴, Takahiro Kubo⁴, Kenjiro Mukaiyama⁴ (1. AIST, 2. ADEP, 3. HRO, 4. KGE Co., Ltd.)

11:00 AM - 11:15 AM

[S10-08] Offshore active fault survey on Tokachi-Heiya fault zone: Paleoseismic activities based on vibrocore surveys

*Yasuhito Uchida¹, Kenji Nishina¹, Takashi Ogami², Shintaro Abe³, Ryoyu Arai⁴, Takahiro Kubo⁴, Kenjiro Mukaiyama⁴ (1. HRO, 2. AIST, 3. ADEP, 4. KGE Co., Ltd.)

11:15 AM - 11:30 AM

[S10-09] Active tectonics in the northern part of Yamagata Basin, northeast Japan.

*Kyoko Kagohara¹, Shinsuke Okada², Hideki Kosaka³, Atsushi Miwa⁶, Kohei Abe⁶, Tomoo Echigo⁵, Toshifumi Imaizumi⁴ (1. Faculty of Education, Yamaguchi University, 2. IRiDeS, Tohoku University, 3. Kankyo Chishitsu Co., Ltd, 4. Emeritus professor of Tohoku

University, 5. Geo-Research Institute, 6. OYO Corporation)

11:30 AM - 11:45 AM

[S10-10] Are "the long-term evaluations of active faults" consistent with the Quaternary crustal movements in the Osaka plain and the Nara basin ?

*Ichiro Kawasaki¹ (1. Tono Research Institute of Earthquake Science)

11:45 AM - 12:00 PM

Room D | General session | S14. Earthquake Prediction and Forecast

[S14]PM-1

chairperson:Yoshinari Hayashi(Faculty of Societal Safety Sciences, Kansai Univ.), Masajiro Imoto(National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

2:30 PM - 4:00 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S14-01] Social Responses to Expert Questionnaires on the Possibility of Earthquake Short-term Prediction

*Yoshinari Hayashi¹ (1. Faculty of Societal Safety Sciences, Kansai Univ.)

2:30 PM - 2:45 PM

[S14-02] Earthquake predictions by the atmospheric ion of different points

*Kenta Watanabe¹, Naoyuki Yada² (1. Graduate school of Kanagawa Institute of Technology, 2. Kanagawa Institute of Technology)

2:45 PM - 3:00 PM

[S14-03] Measurements of Animal Abnormal Actions for Earthquake predictions

*Naoyuki Yada¹, Kenta Watanabe² (1. Kanagawa Institute of Technology, 2. Graduate school of Kanagawa Institute of Technology)

3:00 PM - 3:15 PM

[S14-04] Reinvestigation of correlation between groundwater anomalies and earthquakes carried out by an amateur network " Namazu-no-kai" in Japan

*Yoshiaki Orihara¹, Toshiyasu Nagao¹ (1. Inst. Oceanic Res. & Develop., Tokai Univ.)

3:15 PM - 3:30 PM

[S14-05] **High resolution seismicity models using interpolation with Delaunay triangulation**

*Yosihiko Ogata¹ (1. Institute of Statistical Mathematics)

3:30 PM - 3:45 PM

[S14-06] Long-term Probability of a Great Earthquake along the Kurile Trench, Japan and its epistemic uncertainty

*Masajiro Imoto¹, Nobuyuki Morikawa¹, Hiroyuki Fujiwara¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

3:45 PM - 4:00 PM

Room D | General session | S01. Theory and Analysis Method

[S01]AM-1

chairperson:Kiwamu Nishida(ERI, the university of Tokyo), Daisuke Sato(DPRI, Kyoto University)

Mon. Sep 16, 2019 9:30 AM - 10:30 AM ROOM D (International Conference Halls I)

[S01-01] Generalized asymptotic ray theory without high-frequency approximation: Application to singular regions of seismic wavefield

*Kiyoshi Yomogida¹ (1. Earth &Planet. Dyna., Fac. Sci., Hokkaido Univ.)

9:30 AM - 9:45 AM

[S01-02] Statistical characteristics of seismic velocity changes (3)

*Hisashi Nakahara¹ (1. Graduate School of Science, Tohoku University)

9:45 AM - 10:00 AM

[S01-03] Comparison of Stress Tensor Inversion Methods Using Seismological Data

*Yukitoshi Fukahata¹, Takaki Iwata², Keisuke Yoshida³ (1. DPRI, Kyoto University, 2. Faculty of Life and Environmental Science, Prefectural University of Hiroshima , 3. Graduate School of Science, Tohoku University)

10:00 AM - 10:15 AM

[S01-04] On the Optimum Solution of Bayesian Inversions

*Daisuke Sato¹, Yukitoshi Fukahata¹ (1. DPRI, Kyoto University)

10:15 AM - 10:30 AM

Generalized asymptotic ray theory without high-frequency approximation: Application to singular regions of seismic wavefield

*Kiyoshi Yomogida¹

1. Earth & Planet. Dyna., Fac. Sci., Hokkaido Univ.

高周波の地震波動場の表現には、漸近波線理論 (asymptotic ray theory, ART) が古くから知られており、波長が不均質性のサイズより小さいなどの条件下で、複雑な媒質に広く応用されてきた (e.g., Cerveny, 2001)。近年は差分法など純数値的手法の適用範囲がますます広がりつつあるものの、高周波領域での観測結果の解釈やモデル化におけるARTの重要性はむしろ高まっている。(地震波はベクトル場として性質も重要であるが、ここでは速度 c に対する(1)式のスカラー波しか扱わない。ただし、本研究の主要な結果はそのまま適用できる。) 従来のARTでは周波数 ω において、走時 τ による位相遅れと振幅のべき乗展開の(2)式の解を仮定した。高周波近似の解として ω を大きくし、べき乗の上位項だけを考える。こうして、位相部分の波線追跡と走時のeikonal equationと、振幅を決定するtransport equationが得られる。

従来のARTが適用できない特異領域 (例: 焦点や影の部分、edge diffraction) では ω の整数のべき乗ではなく、解析解が得られる場合には $\omega^{-2/3}$ などであることがわかっている (例: Table 0.3のcanonical signals, Chapman, 2004)。そこで、本研究では(2)式のようなべき乗展開をあらわに用いない解を考える。(1)式は偏微分方程式なので、その一般的解法の一つである変数分離だけを用い、またその際に現れる未定定数に特別な制約を与えない。

まず解の形式として、(3)式のように変数分離する。未定定数 λ を介して、 τ と x についての(4)式の二つが得られる。従来のARTでは $\lambda = -\omega^2$ で(2)式のフーリエ変換に対応するが、ここでは正負を限定せず、さらに複素数として扱う。一般解は λ ごとの解の重ね合わせの(5)式となり、ARTではフーリエ逆変換による時間領域の解の表現に対応する。次に、従来のARTの(2)式の一般化として高周波数領域では激しく振動する部分のみ分離した、(6)式を空間変動として仮定する。 A は振幅、 τ は走時に対応する関数となる。これを(4)の2番目の式に代入すると、実部と虚部から(7)と(8)の2つの式が得られる。ここで強調すべきは、この操作ではARTのように ω の大きな項を拾っていく (高周波極限) 従来の近似操作は含まれていない点である。(7)式は右辺の第2項を除けば、ARTのeikonal equationと、(8)式はtransport equationと同一となっている。(7)式第2項は振幅 A の空間2階微分と nu^2 (ARTでは ω^2) により、高周波極限で振幅が大きく空間変動する特異領域以外では無視でき、ARTと一致する、すなわち、(7), (8)式はARTの一般化であることがわかる。

しかし、これでは走時 τ と振幅 A がカップルした形式で、不都合である。そこで、空間座標を波線の接線成分の走時 τ とそれに直交するray-centered座標(q_1, q_2)を導入し (Cerveny, 2001)、(9)式のような変数分離として、(7), (8)式に代入すると、新たな未定定数 μ を用いて、(10), (11)式が得られる。(10)式より、新しいeikonal equationは(12)式のようになる。ここで、 D と h は(13)式に従う。先のeikonal eq.の(7)式と比べて、新たな(12)式では振幅によって変動する項 D が、走時 τ とその微分のみで表現される。つまり走時のみの完全に分離した定式化である点が重要である。(10)式は従来のtransport eq.と同じく、(14)式のように波線の幾何学的広がり J で振幅が計算できる。従来のARTでは ω が無限大の近似として特異領域で J がゼロの困難があったが (h は τ のラプラシアンに比例し発散する)、ここではその制約を課さないため h は有限となり、この困難が回避される。この形式では有限な周波数に当たる未定定数を選択することで、特異領域で特徴的な周波数依存性も表現できる。

$$\frac{\partial^2 v(\mathbf{x}, t)}{\partial t^2} = c^2(\mathbf{x}) \nabla^2 v(\mathbf{x}, t) \quad (1) : \quad v(\mathbf{x}, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{A_n(\mathbf{x})}{(-i\omega)^n} e^{i\omega(\tau(\mathbf{x})-t)} \quad (2)$$

$$v(\mathbf{x}, t) \equiv u(\mathbf{x})f(t) \quad (3) : \quad \frac{d^2 f}{dt^2} = \lambda f, \quad \nabla^2 u = \frac{\lambda}{c^2} u \quad (4)$$

$$v(\mathbf{x}, t) = \int d\lambda f(t; \lambda) u(\mathbf{x}; \lambda) \quad (5) : \quad u(\mathbf{x}; \lambda) = A(\mathbf{x}; \lambda) e^{i\nu\tau(\mathbf{x}; \lambda)} \text{ with } \nu^2 \equiv |\lambda| \quad (6)$$

$$(\nabla\tau)^2 = -\frac{\text{sgn}(\lambda)}{c^2(\mathbf{x})} + \frac{1}{\nu^2} \frac{\nabla^2 A}{A} \quad (7) : \quad 2\nabla\tau \cdot \nabla \ln A + \nabla^2 \tau = 0 \quad (8)$$

$$A(\tau, q_1, q_2) = G(\tau)H(q_1, q_2) \quad (9) : \quad \frac{d}{d\tau} \ln G = h \equiv -\nabla^2 \tau / 2(\nabla\tau)^2 \quad (10)$$

$$\nabla_q^2 H \equiv \left(\frac{\partial^2}{\partial q_1^2} + \frac{\partial^2}{\partial q_2^2} \right) H = \nu^2 \mu H \quad (11) : \quad (\nabla\tau)^2 = -\frac{\text{sgn}(\lambda)}{c^2} + \frac{D(\tau)}{\nu^2} + \mu \quad (12)$$

$$D(\tau) = (\nabla\tau)^2 \left[\frac{dh}{d\tau} - h^2 \right], \quad \frac{d}{d\tau} \ln h = \nabla\tau \cdot \nabla \ln \left[\nabla^2 \tau / (\nabla\tau)^2 \right] \quad (13)$$

$$G(\tau) = G(0) \sqrt{\frac{J(0)}{J(\tau)}}, \quad J(\tau) = J(0) \exp \left(-2 \int_0^\tau h(t) dt \right) \quad (14)$$

Statistical characteristics of seismic velocity changes (3)

*Hisashi Nakahara¹

1. Graduate School of Science, Tohoku University

はじめに

地震波干渉法に基づき地震波速度変化のモニタリングを行い、地震や火山噴火に伴う異常を検出するには、平常時の振る舞いを理解し、その統計的な特徴を事前に調べておくことが重要である。中原（2017, 2018, とともに地震学会）では、日本の複数の地域に対して求められた地震波速度変化の平常時の確率密度分布を調査した。しかしその際、地震波速度変化の平均値の時間変化は考慮していなかったため、年周変動などのゆっくりとした変化が確率密度分布に影響を及ぼす可能性が残った。そこで本研究では、観測された地震波速度変化のゆっくりと変化する成分を低次の自己回帰（AR）過程でモデル化し、観測値とその値との残差の確率密度分布を調べることにした。

データ

解析には、Wang et al. (2017)により日本全国のHi-net観測点の連続データを用いて計算された地震波速度変化を使用した。0.15-0.9Hzの周波数帯における9成分の相互相関テンソルのラグタイム-60sから60sの部分を用いて各観測点での地震波速度が計算されている。各観測点から30km以内の観測点とのペアに対する相互相関テンソルが使われている。相互相関テンソル9成分のコーダ部分と複数の観測点ペアを用いることで、地震波速度変化の推定が安定化されている。Wang et al. (2017)では、近畿地方中部を境に北東側480点においては2008年から2012年にかけての期間が解析され、南西側214点では2011年から2012年にかけての期間が解析された。

AR過程による地震波速度変化のモデル化

中原（2014, 地震学会）は、観測された地震波速度変化のスペクトル解析を最大エントロピー法（MEM）に基づき行ったが、本研究ではAR過程の次数を10以下に拘束してAR係数を推定した。その理由は、観測された地震波速度変化のゆっくりとした変化をモデル化したいためである。

確率密度分布

本研究では「平常時」の地震波速度変化の確率密度分布を調べたいため、地震による明瞭なステップ変化が見られない期間のデータを利用した。北東側の観測点では2009-2010年の2年間、南西側の観測点では2011-2012年の2年間を選んだ。観測値からAR過程でモデル化された値を差し引いた残値に対して、平均ランク法により図1のようなガウス確率プロットを作成し、その直線性を確認することによりガウス分布に従うかどうかを調べた。700点近いすべての観測点に対して、ガウス確率プロット上での直線性が極めて高いことが分かった。これは、中原（2018）で確認した様に、平常時の地震波速度変化がガウス分布に従っていると仮定してもよいことを意味する。

定量的モニタリングに向けて

今回の結果から、平常時の地震波速度変化の平均値と標準偏差 σ が分かるので、例えば閾値を平均値 $\pm 4\sigma$ に設定すると、それを超える確率はガウス分布に基づき約0.01%と定量的に計算できる。さらに時間的に連続して閾値を超えると、そのような確率はさらに小さくなる。つまり異常がどの程度稀であるかを確率的に表現できることになる。確率を用いることにより、モニタリングを定量化でき、自動的な異常検知も可能になる。またAR係数は、観測点周辺の地下構造の情報を含んでいると考えられ、観測点によっては大地震前後で変化している可能性が示唆された。

まとめ

本研究では、日本全国で求められた平常時の地震波速度変化のデータについて、まず低次のAR過程でモデル化し、そこからの残差の確率密度分布を求めた。その結果、すべての観測点で残差はガウス分布に従うことが分かった。この知見は、今後定量的かつ自動的なモニタリングを行う際に不可欠である。異常を知るには平常を知ること、定量化するには確率を用いること、の重要性を改めて認識した。

謝辞 フランス・グルノーブルアルプ大学のQingyu Wang氏には、地震波速度変化のデータを提供していただいた。ここに記して感謝いたします。

Comparison of Stress Tensor Inversion Methods Using Seismological Data

*Yukitoshi Fukahata¹, Takaki Iwata², Keisuke Yoshida³

1. DPRI, Kyoto University, 2. Faculty of Life and Environmental Science, Prefectural University of Hiroshima, 3. Graduate School of Science, Tohoku University

観測データを基に地殻の応力状態を推定する応力インバージョンは、地質学的データ（断層面と条線の方向）を解析することからスタートしたが、その後、地震学的データの利用へと、その応用が大きく広がっている。しかし、地震学的データを用いた応力インバージョンにはいくつかの手法があり、それぞれの手法がどのような関係にあるのかが明らかでなかった。我々は、各手法が依って立つ原理に立ち戻り、その違いや特徴について理解を深めたので、ここに報告する。なお、詳細については、「新学術領域研究：地殻ダイナミクス」に関する地学雑誌の特集第1号（2019年10月号）に掲載される「地震学的データを用いた応力インバージョン」（著者：岩田、吉田、深畑）を参照して頂きたい。

地震学的データを用いた応力インバージョンは、用いるデータの違いにより、3種類に大別される。メカニズム解から得た滑りデータを用いる「滑りデータインバージョン」、P波初動の極性データを用いる「P波初動データインバージョン」、地震のCMT解を用いる「CMTデータインバージョン」である。

滑りデータインバージョンとP波初動データインバージョンは、「ある面に対する滑りは、その面内において剪断応力が最大となる方向（接線応力方向）に生じる」とするWallace-Bott (WB) 仮説を共に基本的原理として採用している。加えて「複数の地震を生じさせた応力場が一定」という仮定を補助的に置くことにより、複数の断層滑りデータによる拘束を重ね合わせ、可能な応力場のパラメータ範囲を絞り込む。このように、両者は共通の原理（WB仮説）と仮定（応力場一定）に基づいており、基本的に似た手法と言える。その両者の本質的な違いは、滑りデータインバージョンは、地震波データからいったんメカニズム解を求める一方、P波初動データインバージョンは、メカニズム解を経由せずに応力場を直接推定する点にある。インバージョン解析では、なるべく1次データ（解析上の処理を経ない直接の観測データ）に近いものを解析した方がよいという原則があり、滑りデータインバージョンよりもP波初動データインバージョンの方が、原理的に優れていると考えられる。実際、前者の手法では、断層面の選択および解の誤差評価が重大な問題となるが、後者ではそれらの問題は原理的に克服されている。その一方、滑りデータインバージョンは計算負荷が小さく解析の見通しも良いという利点がある。結局、簡便に解が得られればよい場合には、滑りデータインバージョンで良いと考えられるが、より精確に応力場を求めたい場合にはP波初動データインバージョンを用いるべきだろう。

一方、CMTデータインバージョンは、「地震による応力解放がその場の応力に比例する」(Terakawa & Matsu'ura, 2008, eq. 12)という考えを基本原理に据えている。即ち、前2手法が、地震が断層面上での滑り運動であるといういわばミクロの側面に注目している一方、CMTデータインバージョンは、地震が蓄積された応力の解放過程であるといういわばマクロな側面に注目しているという違いがまず背景としてある。そして、その原理の違いから派生して、CMTデータインバージョンは、応力場一定の仮定が不要、断層面の選択の必要がない、という優れた特質を持つ。その一方で、小地震の解析には不向きなことに加え、弱面の向きの分布が等方的でない場合に上で述べた基本原理が破れることからバイアスを持った解が得られてしまうという問題を抱えている。まとめると、CMTデータが十分にあり、かつ弱面の等方性の近似がよく成り立つあるいは弱面が最適断層面の方向をおおよそ向いていると期待される場合には、CMTデータインバージョンは他の2手法と比べ優れていると考えられる。例えば、日本列島の広域の応力場を推定したTerakawa & Matsu'ura (2010)は、CMTデータインバージョンが得意とする解析であろう。その一方、比較的狭い領域の解析で、CMT解が求まるような比較的大きな地震の発生数が少なかったり、あるいは特定の向きをもつ弱面が偏って発達したりしているような場合には、CMTデータインバージョンはあまり適切でないだろう。さら

に、観測点数が少なく、メカニズム解を求めることが難しい場合には、*P*波初動インバージョンが優れていると考えられる。

On the Optimum Solution of Bayesian Inversions

*Daisuke Sato¹, Yukitoshi Fukahata¹

1. DPRI, Kyoto University

種々の逆解析で得られる推定値は往々にして食い違う。本発表でも述べるように、モデルパラメタの事前分布と観測方程式を同様に与えた場合でも、最適な推定値の分布(逆問題の最適解)を得るためのモデルパラメタおよび超パラメタの推定法は一意ではない。本研究で我々は特に、地球物理で頻出する観測方程式が連続自由度で記述される逆問題に焦点を当て、この場合に最適解を得るための統計学的指標を明らかにしたい。

地球物理で逆問題を取扱う際にはベイズ推定の枠組みがよく用いられる。ベイズ推定では、観測データとモデルパラメタの関係を記述する観測方程式と、モデルパラメタに関する事前分布とをベイズの定理を用いて結合し、事後分布を構成する。さらに、フルベイズと呼ばれる枠組みでは、モデルパラメタの事前分布を規定する超パラメタについてもその事前分布(超事前分布と呼ぶ)を考慮し、モデルパラメタと超パラメタに関する同時事後分布を構成する。但し、多くのフルベイズの解析では、超事前分布として無情報事前分布(一様分布)が用いられており、その場合、フルベイズと超事前分布を考慮しないベイズとで、同時事後分布の関数形は同じになる。この事後分布からモデルパラメタおよび超パラメタの最適値を得るには情報の縮約が必要となる。縮約の方法は自明ではなく、少なくとも3つの流儀がこれまで用いられてきている。まず1つ目が、超パラメタおよびモデルパラメタの事後確率最大(MAP)を最適値とみなすものである。これは最も直観的な方法と言えるだろう。もう1つが、モデルパラメタを積分することにより、超パラメタに関して周辺化された事後分布を求め、その最大値を最適値とするというものである。赤池ベイズ情報量基準(ABIC)そのものであり、地球物理では幅広く用いられてきた(Yabuki & Matsu'ura, 1996)。なお、ABICで得られる超パラメタの推定値は一致性(真値への漸近収束性)という優れた性質を持つことが知られる(渡辺, 2005)。そしてもう1つは、超パラメタに関して事後分布を積分することにより、モデルパラメタに関して周辺化した事後分布を用いるものである。Fukuda & Johnson (2008)などフルベイズ推定を行っている研究では、しばしばこの指標が用いられている。(そのため、この方法により最適値を推定することを、MAP, ABICと対置して以後従来のフルベイズと呼ぶ。)

MAP、ABIC、従来のフルベイズは、その推定値からのばらつきの分布関数(分散など)を含め、多くの問題で似たような結果を与える(e.g., Fukuda & Johnson, 2008)。しかし、モデルパラメタの数を多くした場合にはこれらの解に明瞭な乖離が生じることを発見したので報告する。

まず無情報超事前分布でのフルベイズ推定に関して、MAPおよび従来のフルベイズでの最適解(およびばらつきの分布)の解析的表現を線形逆問題に対して導出した。導出した解析解から、モデルパラメタ自由度とデータ自由度が大きくなるにつれ、モデルパラメタに関して従来のフルベイズの推定値がMAPの推定値に漸近一致することが明らかとなった。さらに、それらの実効的超パラメタの値はABICによる推定値と異なっていることが見出された。

次に、ABICとそれ以外の場合とで得られた2つの異なる推定値のうち、どちらが良い推定値かをsynthetic testで検討した。検討の際は、roughnessが小さいという事前分布(Yabuki & Matsu'ura, 1992)を用いた。検討の結果、MAP推定の分布は、離散化のメッシュサイズを細かくするにつれ、データにオーバーフィットした解にデルタ関数的に収束すること、つまりモデルパラメタの事前分布をほとんど無視する傾向があることがわかった。これは正則化パラメタを0にした場合に劣(混合)決定問題となる設定で一般に生じる問題であることがMAP推定の性質から示唆された。MAP推定でのオーバーフィット傾向はすでに統計学界限では認知されており、ABIC提案の背景となった経緯があるらしい(伊庭, 1992)。一方、ABICを用いた場合には上記の問題は生じず、メッシュサイズを細かくした(離散化誤差の小さい)高解像度な解がフルベイズ推定よりも有意に真の解に

近くなることがいくつかの数値解析例から示された。現時点では、ABICを基準とした最適値推定が最良と示唆される。

誤差を減らしたつもりのメッシュの細かい解にオーバーフィットによる精度劣化が隠れているということは、真値との残差を知り得ない実問題への応用では致命的となりうる。ABICよりも一般的な枠組みと思われるMAPや従来のフルベイズ推定でなぜこのようなことが起きたのだろうか。ラプラス法を用いた鞍点解析を行うと、フルベイズ推定では(一致性を持つ)超パラメタの期待値とMAP/従来フルベイズでの超パラメタの実効値とが(線形非線形にかかわらず)一般に漸近的にすら一致しないという、MAPおよび従来のフルベイズに関する極めてネガティブな性質が導き出された。これがMAPおよび従来のフルベイズ推定でのモデルパラメタのオーバーフィットを生じさせていると考えられる。

Room D | General session | S01. Theory and Analysis Method

[S01]AM-2

chairperson:Kiwamu Nishida(ERI, the university of Tokyo), Daisuke Sato(DPRI, Kyoto University)

Mon. Sep 16, 2019 10:45 AM - 12:00 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S01-05] An application of extended Kalman filter for ambient noise monitoring of seismic velocity changes

*Kiwamu Nishida¹ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

10:45 AM - 11:00 AM

[S01-06] Full-waveform Inversion (FWI) approach to the imaging of geothermal reservoirs

*Junzo Kasahara^{1,2}, Yoko HasaHa^{3,2}, Haruyasu Kuzume² (1. University of Shizuoka, 2. ENAA (Engineering Advancement Association of Japan), 3. Daiwa Exploration and Consulting Co. Ltd.)

11:00 AM - 11:15 AM

[S01-07] Effects of quasi-laminated random heterogeneity on surface wave propagation and apparent radial anisotropy

*Yunao XU¹, Kazunori Yoshizawa^{1,2}, Takashi Furumura³ (1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Science, Hokkaido University, 3. Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo)

11:15 AM - 11:30 AM

[S01-08] New acoustic approximation for the transversely isotropic media with a vertical symmetry axis

*Shibo Xu¹, Hitoshi Mikada¹ (1. Kyoto University)

11:30 AM - 11:45 AM

[S01-09] Seismic activity in Western Tottori area by array analysis for the “0.1 Manten” hyper dense seismic observation dataset

*Satoshi Matsumoto¹, Yoshihisa Iio², Shinichi Sakai³, Aitaro Kato³, Group for 0.1 Manten hyper dense seismic observation (1. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. Earthquake Research Institute, University of Tokyo)

11:45 AM - 12:00 PM

An application of extended Kalman filter for ambient noise monitoring of seismic velocity changes

*Kiwamu Nishida¹

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

はじめに

地震・火山現象を理解する上で、地震波速度構造の時間変化を捉える事は重要である。地震や火山噴火に伴った応力変化や流体の移動は近傍の地下構造に大きな影響を与えるため、地震波速度構造の変化から応力状態や流体の分布などに制約を与えることが期待できるためである。実際に地下構造の時間変化を求めようとする場合、例えばコントロールソースを用いて繰り返し地震波速度構造推定を繰り返す事ができれば理想的である。しかし多くの場合現実的ではない。一方自然地震を使う場合、震源の不確定性や震源分布の偏りなどに起因する不確定性が、速度構造に大きな不確定性を引き起こす。そのため、たとえ時間変化が検出できたとしても、それはただのノイズなのか本当の速度変化なのか判然としない。

地震波干渉法による解析を用いれば、一方の観測点を仮想的な震源とみなすことができるためこの問題を回避することが可能である。原理的には、2点で連続地震観測を行い、その雑微動記録の相互相関関数の変化を見続ければその2点間の局在化された地震波速度構造変化を時々刻々モニターすることができる。しかし、励起源の分布がランダムかつ一様と仮定できる必要がある。実際には励起源の時分布には偏りがあるため、見かけの時間変化を検出する可能性がある。この効果を低減するため、コーダ波干渉法 (e.g. *Poupinet et al.* 1984) が合わせて用いられることが多い。この手法では、抽出された相互相関関数のコーダ波部分は、励起源の偏りの影響を受けづらいという性質を利用している (e.g. *Hadziioannou et al.* 2009)。実際近年多くの、地震・火山噴火に伴う地震波速度構造変化が検出され、多くの観測例が蓄積されつつある (e.g. *Sens-Schönfelder and Wegler* 2006, *Brenguier et al.* 2008)。また観測された地震波速度構造の時間変化は地震・火山現象以外にも、降水量に伴う変化等表層付近の現象に強く影響されていることも分かってきた (e.g. *Wang et al.* 2017)。地震波速度構造の時間変化をモデリングし、かつ降水量等の影響を定量的に評価するためには、状態空間モデルが有効であると考えられる。そこで本研究では、拡張カルマンフィルターの適応を試みたので報告する。

解析手法

地震波速度構造の時間変化の測定にはストレッチング法 (e.g. *Sens-Schönfelder and Wegler* 2006) を用いた。ここでは、ある1つの観測点ペアに注目し、以下のような解析を行なう。

- (1) まず1日毎に相互相関関数 ϕ_i を計算する。3成分x3成分、のペアで計算する。
- (2) Secondary microseisms の周波数帯での解析を想定している。
- (3) 全観測期間相互相関関数を平均化し、基準となる相互相関関数 $\phi_0(t)$ を計算する。
- (4) 直達波付近は付近は励起源分布の時間変化の影響を受けやすいため、lag time 20-100秒程度の coda 波に注目する。

地震波速度構造の時間変化を一様に起こっていると仮定し、時刻 i での相互相関関数 $\phi_i^{\text{synth}}(t) = A_i \phi_0(t(1+\alpha_i)t)$ とかけるとする。 $(A_i - A_{i-1})$ と $(\alpha_i - \alpha_{i-1})$ が十分に小さいとしてテーラー展開すると、

$$\phi_i^{\text{synth}}(t) = (A_{i-1} + (A_i - A_{i-1})) \phi_0(t(1+\alpha_{i-1}) + t(\alpha_i - \alpha_{i-1})) \sim \phi_{i-1}^{\text{synth}}(t) + (A_i - A_{i-1}) \phi_0(t(1+\alpha_{i-1})) + A_{i-1} \phi_{0,t}(t(1+\alpha_{i-1})) t(\alpha_i - \alpha_{i-1})$$

と書くことができる。ここで $\phi_{0,t}$ は ϕ_0 の時間微分を表す。

A_i と α_i を状態変数、 ϕ_i を観測値とみなすことで、線形化した観測方程式を構成することができる。状態方程式として1次のトレンドモデルを仮定し、拡張カルマンフィルターを構成した。事前確率として観測データの共分散行列、状態擾乱項の共分散行列とモデルの共分散行列を仮定する必要がある。また、計算の高速化のため、予め基準となる相互相関関数 ϕ_0 の時間微分値 ($d^i \phi_0 / dt^i$) を5次まで計算しておき、各時刻ステップで $\phi_0(t(1+\alpha_{i-1}))$ をテーラー展開から計算した。

予察的な解析結果によると、通常のスプレッティング解析と整合的な結果が得られた。状態空間モデルの利点として、(1)欠測値を自然に取り扱うことができる、(2)降水量の影響等、他の地球物理学的観測量を柔軟に取り入れることが可能な点が挙げられる。今後、降水量の効果を適切にモデリングし、地震・火山起源のシグナルと分離する手法を開発する予定である。

Full-waveform Inversion (FWI) approach to the imaging of geothermal reservoirs

*Junzo Kasahara^{1,2}, Yoko HasaHa^{3,2}, Haruyasu Kuzume²

1. University of Shizuoka, 2. ENAA (Engineering Advancement Association of Japan), 3. Daiwa Exploration and Consulting Co. Ltd.

Introduction

In the geothermal development, seismic approaches have not frequently used. There are several reasons for this. The first reason might be the cost for doing seismic reflection survey in the geothermal field. The cost of seismic survey is thought to be more expensive than the EM and/or gravity surveys. In the oil exploration, costs for surveys are less important because the profits by oil and gas are huge. The second reason is probably difficulty to find the geothermal reservoirs due to complex geological circumstances and weak reflection signals. Usually oil/gas reservoirs tend to have large impedance contrast to the surrounding layers. Our approach is to use the temporal change of physical properties and location of reservoirs. By use of temporal change, large seismic property changes could be generated. We assume to use stable seismic sources enabling us to do long duration stacking enhancing S/N and full-waveform inversion method. In this study, we show the result of simulations using full-waveform inversion.

FWI imaging of geothermal reservoirs

To estimate the physical properties at the geothermal reservoirs, we applied the full-waveform inversion (FWI). Among many FWI methods we used adjoint approach developed by Tromp *et al* (2005). In the survey, we propose to use fiber optical distributed acoustic sensor (DAS) receivers along the borehole. We carried out three simulations: 1) a seismic active source(s) placed in the borehole and supercritical water reservoir at the 4km depth, 2) more realistic field study model and 3) natural earthquakes surrounding an igneous intrusion. In the first case, we used a geothermal reservoir model at the 4 km depth. We examined three source locations at 2km buried source depth. In the second case, we used a case of more realistic seismic observation system. We used a single force, surface seismometers and DAS in the borehole. In the third case, we assume an igneous intrusion with the top at the 4km depth. We tested nine natural earthquakes surrounding the igneous intrusion.

Result

First case: The reconstructed images assuming three source locations of 5 km, 3 km and 1 km from the drilling borehole show satisfactory retrieval of the assumed zone. The 3 km location case gave the best results. The Vp, Vs and density were retrieved as nearly the assumed model at the almost exact location and thickness.

The second case: We used two steps for inversion. By the first step, we estimated location of assumed reservoir model and retrieved appropriated shape and location of the model. Using this result, we calculated physical properties of the model. The result showed that Vp is partly estimated but the Vs is poorly retrieved.

The third case: The surface of igneous intrusion was imaged for Vs, but the smearing of intrusion was

identified for V_p and density. Recovery of physical properties inside of the intrusion are not satisfactory.

Discussion and Conclusions

The result of FWI strongly depends on location and energy of the seismic source(s) and the location of seismic observation system(s). The aperture of seismic system is important. When we consider any realistic study field, good aperture coverage is difficult to be satisfied. The poor aperture might lose the FWI performance. Compared to the controlled seismic sources, natural earthquakes are difficult to choose the locations and size. Although controlled sources are mostly less energy, we can enhance the power of seismic waves by long duration stacking.

Acknowledgements

This presentation is based on results obtained from a project commissioned by the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO). We also express our great thank to NEDO and officers in NEDO.

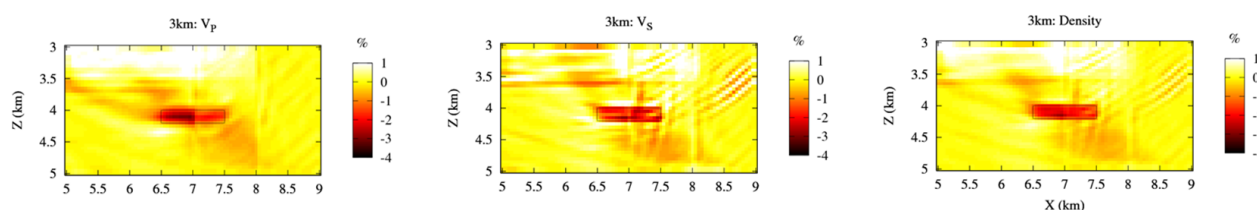


Figure : Simulation result of FWI model-1 for the source location at the 3 km distance from the drilling borehole. Left to right are V_p , V_s and density.

Effects of quasi-laminated random heterogeneity on surface wave propagation and apparent radial anisotropy

*Yunao XU¹, Kazunori Yoshizawa^{1,2}, Takashi Furumura³

1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Science, Hokkaido University, 3. Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo

Large-scale tomographic studies using long-period surface waves have revealed strong radial anisotropy with faster SH wave speed than SV in the upper mantle (e.g., Nettles & Dziewonski, 2008; Yoshizawa & Kennett, 2015). It has been well known that such radial anisotropy or transverse isotropy with SH>SV can also partly be generated by horizontal finely-layered structure (e.g., Aki, 1968). Some recent body-wave studies (e.g., Kennett & Furumura 2008) have suggested the existence of randomly-distributed quasi-laminated heterogeneity in the lithospheric mantle, which is required to explain the observations of strong high-frequency coda waves.

To investigate the effects of such fine-scale laminated heterogeneity on the propagation of long-period surface waves, we performed a series of two-dimensional finite-difference method simulations using velocity models with stochastic random heterogeneity with the background velocity from IASP91 model (Kennett & Engdahl, 1991). Following Kennett and Furumura (2008, GJI), we considered finely quasi-laminated heterogeneities with RMS 2% velocity deviations from the background model in three different depth ranges; (1) Moho~100km (equivalent to oceanic lithosphere), (2) Moho~200km (equivalent to continental lithosphere) and (3) 150km~250km (equivalent to asthenosphere). The velocity deviation is controlled by a von Karman type distribution function with a Hurst number of 0.5 and different correlation scales vertically and horizontally. The vertical correlation length is fixed to 0.5 km, but the horizontal correlation lengths are varied from 10 km (as suggested by Furumura & Kennett, 2005) to 500 km (equivalent to a 1-D velocity profile as the lateral variation is smoothed out.). We also used three different event depths for our numerical simulations (5km, 50km and 100km) to check the effects of source depth.

Then, we measured average phase speeds of the fundamental-mode surface waves using inter-station non-linear waveform fitting method by Hamada & Yoshizawa (2015, GJI), using about 100 synthetic seismograms located at the epicentral distances between 800 and 2000 km for each model. Through the comparisons of the average inter-station phase speeds between different models, we quantitatively investigate the effects of finely-laminated heterogeneity with various horizontal correlation lengths on surface wave propagation, in particular, on the phase speeds of Love and Rayleigh waves.

These numerical experiments suggest the strong influence of the horizontal correlation length of quasi-laminated random heterogeneity on the phase speed drop of Rayleigh waves, resulting in the generation of apparent radial anisotropy; as we employ the longer horizontal correlation length, the apparent radial anisotropy becomes greater. While the Love wave phase speeds are less affected by such quasi-laminated heterogeneity at any scales, Rayleigh wave phase speeds decreased more than 1% compared to the isotropic case in the period range 50-80s for the heterogeneous continental model (quasi-laminated random heterogeneity in the depth of 35-200km) with a relatively large horizontal correlation length (500 km) and a shallow source at 5 km depth. Such effects become much weaker in the case of shorter horizontal correlation length (10 km), for which phase speed reduction of Rayleigh waves is reduced to about 0.2%. For models with all the correlation scales, we have observed strong high

frequency (>1 Hz) body wave signals with coda waves, which coincides well with earlier studies (e.g., Kennett & Furumura, 2013, GJI).

These results indicate that finely quasi-laminated structure with intermediate to long horizontal scales (several hundred kilometers) may cause non-negligible phase speed reduction of Rayleigh waves, resulting in apparent radial anisotropy with $SH > SV$ in the upper mantle. Changing the source depths also affects the strength of velocity drop of Rayleigh waves; e.g., for an event at 50 km depth located within the heterogeneous layer, Rayleigh wave phase seeds are reduced nearly 2 % at the maximum, which may indicate the strong influence of near-source heterogeneities. Further investigations with such numerical simulations incorporating realistic 3-D mantle structure models from latest tomographic studies in comparisons with observed waveform data will be of help in the better understanding of the nature of apparent radial anisotropy.

Keywords: random heterogeneity, surface waves, seismic anisotropy, numerical simulation

New acoustic approximation for the transversely isotropic media with a vertical symmetry axis

*Shibo Xu¹, Hitoshi Mikada¹

1. Kyoto University

Seismic data processing in the elastic anisotropic model is complicated due to multi-parameters-dependency. Approximations to the P-wave kinematics are necessary for practical purposes. The acoustic approximation for P-waves in a transversely isotropic medium with a vertical symmetry axis (VTI) simplifies the description of wave propagation in elastic media, and as a result, it is widely adopted in seismic data processing and analysis. However, finite difference implementations of that approximation are plagued with shear wave artifacts. Specifically, the resulting wavefield also includes artificial diamond-shaped S-waves resulting in a redundant signal for many applications that require pure P-wave data. To derive a totally S-wave free acoustic approximation, we propose a new acoustic approximation for pure P-waves that is totally free of S-wave artifacts in the homogenous VTI model. To keep the S-wave velocity equal to zero, we formulate the vertical S-wave velocity to be a function of the model parameters, rather than simply setting it to zero. Then, the corresponding P-wave phase and group velocities for the new acoustic approximation are derived. For this new acoustic approximation, the kinematics is described by a new eikonal equation for pure P-wave propagation, which defines the new vertical slowness for the P-waves. The corresponding perturbation-based approximation for our new eikonal equation is used to compare the new equation with the original acoustic eikonal. The accuracy of our new P-wave acoustic approximation is tested on numerical examples for homogeneous and multilayered VTI models. We find that the accuracy of our new acoustic approximation is as good as the original one for the phase velocity, group velocity and the kinematic parameters like the vertical slowness, traveltime and the relative geometrical spreading. Therefore, the S-wave-free acoustic approximation could be further applied in seismic processing that requires pure P-wave data. Our newly proposed acoustic approximation is meant to be an alternative to the original formula (Alkhalifah, 1998) in representing the elastic VTI model for P-waves. The SV shear phase velocity is set to zero for all phase angles while for standard acoustic approximation (Alkhalifah, 1998) only vertical S velocity is zero. Compared with the original equation (Alkhalifah, 1998), the expression becomes more complicated while it may not improve the accuracy of P-wave description. However, it provides a S-wave free wavefield necessary for many applications. It can be used for imaging applications. The corresponding eikonal equation for the new acoustic approximation is a sixth-order nonlinear PDE, which can be used to describe the pure P traveltimes. The corresponding perturbation-based approximation for the new eikonal equation is used to compare the accuracy of this new approximation as compared with the original formula. The new approximation yields accurate traveltimes free of shear wave artifacts, but potentially at an additional cost considering the higher-order nature of the formula.

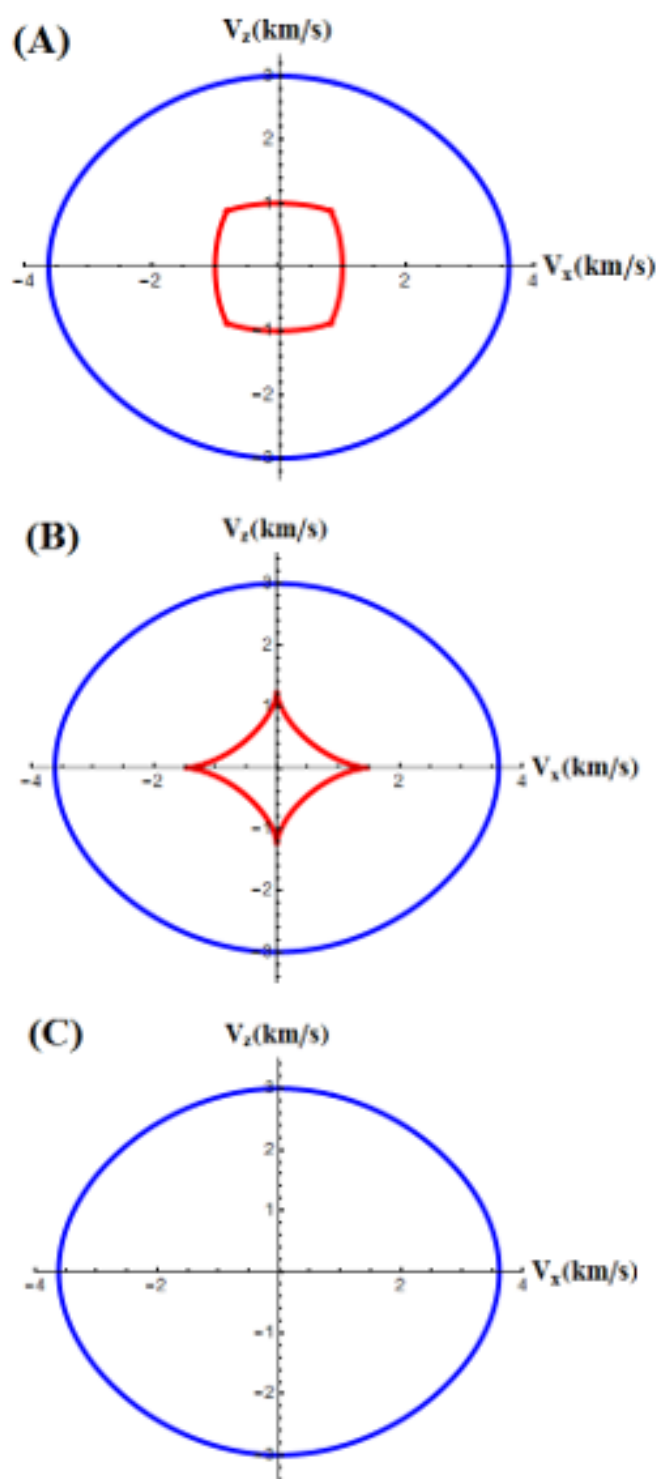


Figure The snapshot for the elastic VTI case (a), the original acoustic approximation (b) and our new acoustic approximation (c), top, middle and bottom, respectively. The P and S-wave velocities are shown in blue and red lines, respectively.

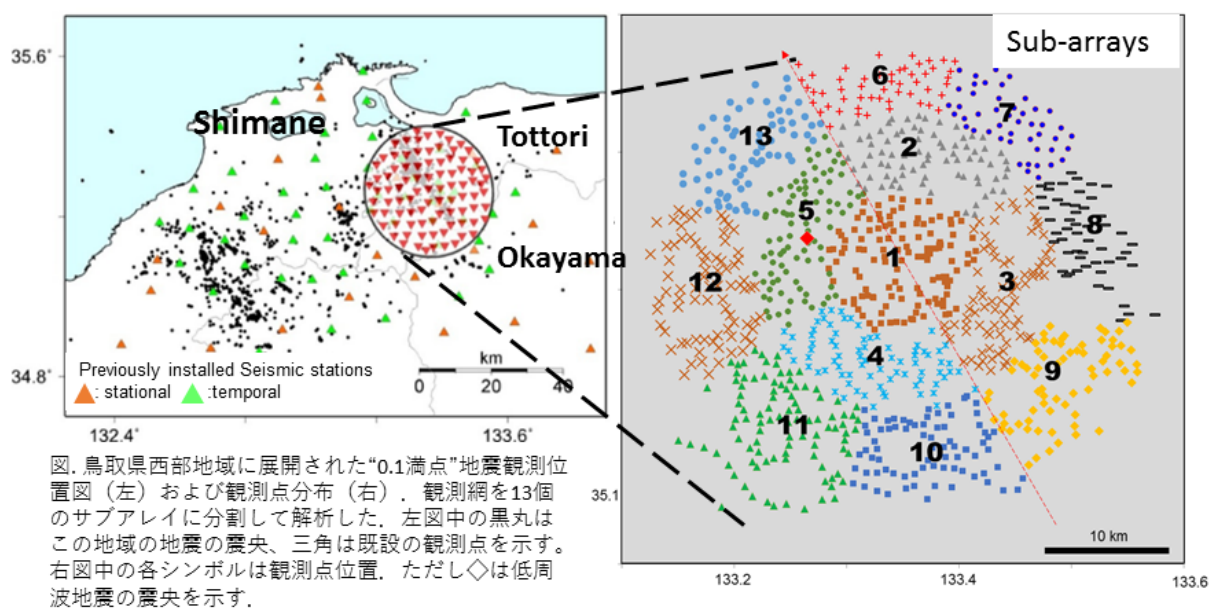
Seismic activity in Western Tottori area by array analysis for the “0.1 Manten” hyper dense seismic observation dataset

*Satoshi Matsumoto¹, Yoshihisa Iio², Shinichi Sakai³, Aitaro Kato³, Group for 0.1 Manten hyper dense seismic observation

1. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. Earthquake Research Institute, University of Tokyo

2017年3月から2018年4月まで2000年鳥取県西部地震震源域をカバーする範囲に1,000点の地震計を展開した（0.1満点観測）。この観測の持つ高い検知能力と分解能により、得られたデータから微小地震のメカニズム解の高精度推定、非ダブルカップル成分検出、小地震断層形状の推定などが行われた（松本・他、林田・他、加藤・他、2018）。本研究では得られたデータにアレイ解析手法を適用し、観測網に到達する波動場や特異な活動検出を試みた。

地震観測は2もしくは4.5Hz上下動地震計を用い、連続記録を得ることができた。地震計の固有周波数は数Hz以上であるものの、0.1Hz程度のフィルターをかけると、遠地地震の波動場を明瞭にイメージすることができた。一方、地震計アレイ解析は波動場の特性を把握するために有効な手法であり、微弱な信号も検出可能である。このことから、0.1満点観測データにアレイ解析手法を適用した。観測点の間隔が1km程度であること、観測網が35km程度の広がりを持つことを考慮し、1,000点の観測点を図に示すとおり、13のサブアレイに分割し、それぞれで解析を行った。遠地地震の記録に対して通常のBeam-forming法、MUSICスペクトラム法を適用した。この結果、すべてのサブアレイで震源方向からの波の伝播を把握することができた。さらに、微弱な活動を検出する目的で、2018年3月にこの地域で発生したモホ面近傍の低周波地震の検出を行った。地震記録は数Hz程度の信号が卓越しており、観測点間隔以下の波長であるため、通常のアレイ解析は適用できない。このため、速度波形にバンドパスフィルター、MSエンベロープにした後、時系列を微分し、エンベロープの時間変化（つまり、エネルギー密度時間変化）を検出することとした。その結果、13のサブアレイにおいて、それぞれおおむね震源方向からの信号を推定することができた。この方法により検知しにくい低周波地震などを検出できるものと期待できる。



Room D | General session | S02. Seismometry and Monitoring System

[S02]PM-2

chairperson: Masanao Shinohara (Earthquake Research Institute, The University of Tokyo), Masayuki Tanaka (MRI, JMA)

Mon. Sep 16, 2019 2:45 PM - 3:45 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S02-01] The Observation Environments of Broadband Seismograph in Minami-Torishima (Marcus Island)

*Masayuki Tanaka¹ (1. Meteorological Research Institute)

2:45 PM - 3:00 PM

[S02-02] New Era of Ocean Bottom Broadband Seismology with the Autonomous BBOBS-NX : NX-2G

*Hajime Shiobara¹, Aki Ito², Hiroko Sugioka³, Masanao Shinohara¹ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Research Institute for Marine Geodynamics, JAMSTEC, 3. Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University)

3:00 PM - 3:15 PM

[S02-03] Distributed Acoustic Sensing measurement by using seafloor optical fiber cable system off Sanriku

*Masanao Shinohara¹, Tomoaki Yamada¹, Takeshi Akuhara¹, Kimihiro Mochizuki¹, Shin'ichi Sakai¹, Takeo Ksajima², Takahiro Arioka², Masayuki Hamakawa³, Shunsuke Kubota⁴ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Fujitsu Laboratories Ltd., 3. Fujitsu Limited, 4. YK Giken Co. Ltd.)

3:15 PM - 3:30 PM

[S02-04] Seismic observation at Azuma volcano using fiber optics and DAS system

*Takeshi Nishimura¹, Kentaro Emoto¹, Hisashi Nakahara¹, Satoshi Miura¹, Mare Yamamoto¹, Shunsuke Sugimura¹, Takahiro Ueda¹, Ayumu Ishikawa¹, Tsunehisa Kimura² (1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Schlumberger)

3:30 PM - 3:45 PM

The Observation Environments of Broadband Seismograph in Minami-Tori-shima (Marcus Island)

*Masayuki Tanaka¹

1. Meteorological Research Institute

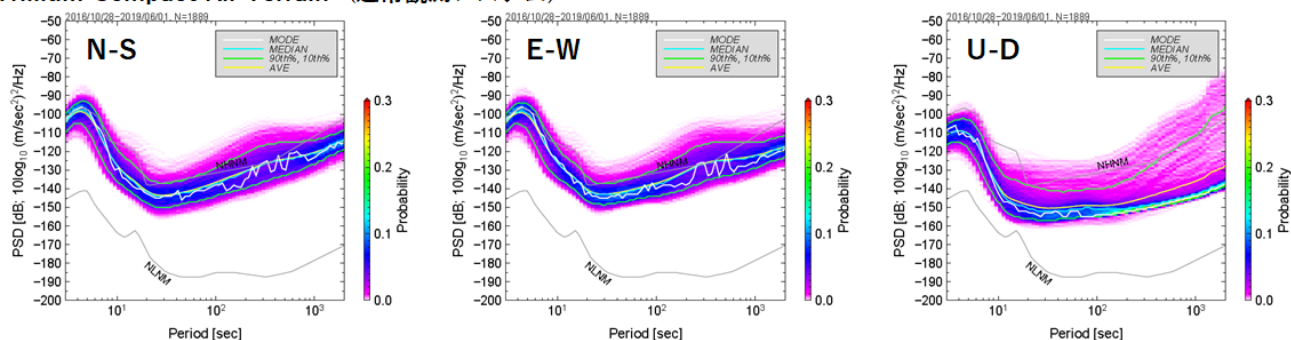
南鳥島は、本州や小笠原諸島から1,000 km以上離れた日本最東端の島で、太平洋プレート上に存在する唯一の領土である。太平洋プレートは年間約10 cmの速さで概ね西進し、日本海溝及び伊豆・小笠原海溝などから沈み込んでいる。安定した長期観測が困難な海域をカバーする地球物理観測の拠点としての役割が期待されている。東京大学地震研究所と気象研究所は共同で、1996年にSTS-2広帯域地震計(以下、STS-2)とLS-8000WDデータロガーからなる観測システムを現地に整備し、観測を開始した。2014年10月以降はTrillium Compact All-Terrain広帯域地震計(以下、TCAT)とLS8800データロガーからなる観測システムに変更し、JAMSTEC・地震研・気象研の三者共同で運用している。SDカードの交換及び送付は気象庁南鳥島気象観測所の支援を得て行われている。観測によって概ねM4.5以上の太平洋プレート周辺域の地震のT相やM5を超える地震の実体波が捉えられている[石原・他(The 2015 fall meeting)、田中・他(The 2016 fall meeting)]。しかし、現在のTCATは固有周期120秒の仕様ではあるが、簡易観測型の機器のため、周期10秒までの帯域が実用的と言われている。そこで、2016年10月より、STS-2とLS8800データロガーからなる臨時観測システムを設置して比較観測を行っている。TCATは屋外の深さ約1 mの所に置かれた800 mm×400 mm×200 mmのコンクリート土台の上にプラスチックバケツを被せて埋設されている。また、臨時のSTS-2は潮位計機器が置かれている温度22~24℃で空調管理されている室内の厚さ約1 mのコンクリート基礎床の上に設置し、空調の風が直接当たらないようにウレタン材で覆われている。2016年10月下旬から2019年6月初旬までの周期3秒~2000秒の24時間平均パワースペクトル密度(PSD)を比較した(図1)。短周期側では海洋起源のmicroseismsの変動が共に見られる。周期10秒から600秒では、屋外埋設のTCATよりも室内設置のSTS-2の方が上下動成分で10PSD[10log₁₀m²/sec⁴/Hz dB]程度ノイズレベルが低い。時間変化で見ると、共に季節による変化が確認できる。なお、2018年11月頃から、TCATによる観測システムにおいて、上下動成分の波形記録に異常が見られる。現在、原因を調査中である。また、広帯域地震計は温度に敏感で、温度ドリフトが生じると記録は非線形になる。そこで、温度環境についても併せて調査した。STS-2の置かれた室内2か所(データロガー付近とウレタン材で覆ったSTS-2の脇)に温度ロガーを設置し、屋外埋設のTCAT内部の温度や南鳥島アメダスの気温等と併せて、TCATとSTS-2の出力電圧とデータのある2016年10月下旬から2018年10月中旬までについて比較した(図2)。屋外埋設のTCAT内部の温度は、南鳥島アメダスの気温の日最高気温とほぼ同じ値で変化している。一方、室内設置のSTS-2はウレタン材で覆ったことによる効果と思われるが、空調管理された室内よりもウレタン材で覆った内部の方が温度変化は小さい。ただし、期間中に数回空調が停止しており、停止したときは室内の温度は一気に上昇する。STS-2を覆っているウレタン内部の温度も室内ほどではないが上昇する。STS-2は、長周期の変動に対して±10℃以内、短周期は2~22℃において、センサーの中心位置を調整せずに測定することができ、15~35℃の範囲ではドリフトはごく僅かであることが仕様に記されている。比較期間において、平時のSTS-2は24±3℃の温度環境にあり、ドリフトはほとんどなく、地球潮汐による変動が見られる。TCATには温度ドリフトの調整機能はなく、全観測期間において季節によって変動する気温と対応するドリフトが見られる。加えて、季節変動よりも短い周期のドリフトも見られる。そのため、地球潮汐がSTS-2によるにはっきりとは確認できない。質の良いデータを得るにはひとつには温度対策は必須である。

謝辞

本調査は、東京大学地震研究所の一般共同研究等の支援を受けています。

国立研究開発法人防災科学技術研究所のパワースペクトル密度計算と作図ツールを使用させて頂きました。資料作成にGeneric Mapping Tools (GMT, Wessel & Smith, 1991) とSeismic Analysis Code (SAC) を使用しました。

Trillium Compact All-Terrain (通常観測システム)



STS-2 (臨時観測システム)

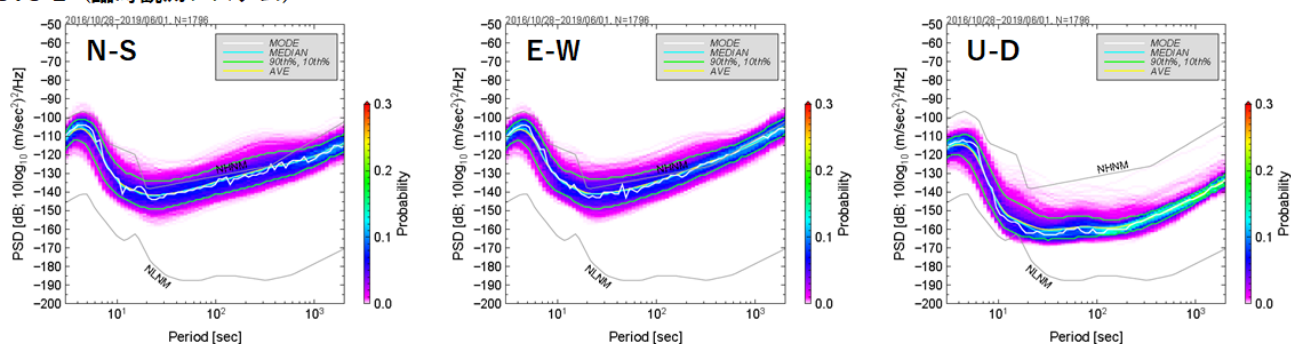


図1. 24時間平均パワースペクトル密度 [表示期間: 2016/10/28~2019/6/1]

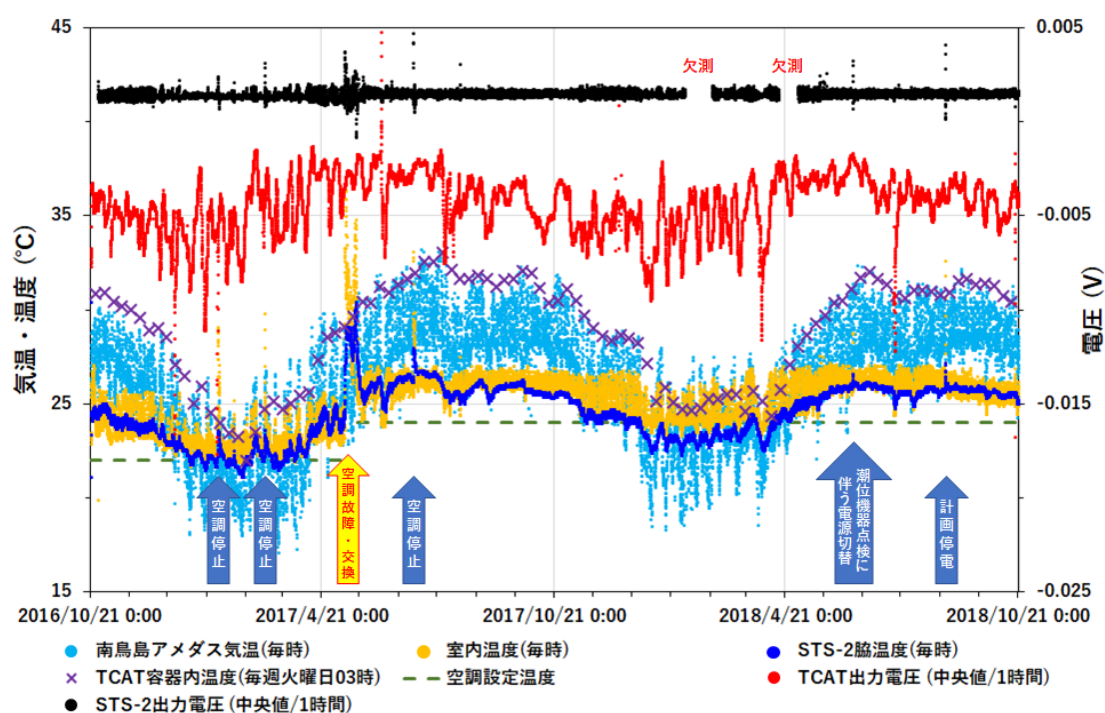


図2. 南鳥島気温、室内温度、地震計出力電圧 [表示期間: 2016/10/21~2018/10/21]

New Era of Ocean Bottom Broadband Seismology with the Autonomous BBOBS-NX : NX-2G

*Hajime Shiobara¹, Aki Ito², Hiroko Sugioka³, Masanao Shinohara¹

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Research Institute for Marine Geodynamics, JAMSTEC, 3. Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University

1.はじめに

著者らは自己浮上型の広帯域海底地震計(BBOBS)を開発し大規模観測に適用しつつ、海底での広帯域海底地震観測を陸上観測と同等な質で行える新型の広帯域海底地震計(BBOBS-NX)を近年に開発・実用化してきた[1]。また、その応用版である広帯域海底地震・傾斜計(BBOBST-NX)の開発により、海底面での機動的傾斜観測が可能であることを実証しつつある[2]。しかしながら、これらの新型観測機器は潜水艇利用を前提としたものであるため、その利用機会と観測実施可能な海域に大きな制約がある。多数の観測研究成果を挙げてきた、機動性の高いBBOBSと同様な設置・回収方法を、この新型観測機器でも可能とすることが本研究の目的である。この実現により、海底地震・測地分野での観測研究の大幅な観測機会・対象領域の拡大につながり、国内だけではなく、国際的にも多大な研究の進展と波及効果が期待される。

2.自律動作実現における既知の問題点と課題

BBOBS-NXは広帯域センサー部を記録部から独立させ、各成分毎に分離・小型化することで海底面へ容易に貫入可能な構造としている。これを海面から自由落下させ重力により海底面へ貫入・自己埋設させ、底層流の影響を受け難い状態を得ている。但し、2015年7月まで計16回の設置で約半数が、センサーに許容される傾斜($\pm 8^\circ$)を越えて着底した。また、海底と良い結合状態のセンサー部を、回収時には浮力で引き抜く必要がある。更に、設置時の機器展開と同等な動作も含め、自律動作を確実に実行できる全体構造が必須で、かつBBOBS-NXで改善された観測記録の質は維持しなければいけない。

3. NX-2Gの構造と問題点への対応

2016年にひとまず完成したNX-2Gの全体構造・動作概念を左図に示す。着底時の過大な傾斜の問題に対しては、海中を降下中に起きる大きな周期的傾斜変化が原因であったので、センサー部を引き抜くのに必要な浮力体と記録部を繋ぐ際に複数のロープを耐圧球の赤道部からとることで、傾斜変化の発生を効果的に抑制できることが実証できている。また、回収時にセンサー部を海底から引き抜くのに要する力を複数回実測し(65-80kgf)、必要な浮力を追加した。機器の展開方法については、センサー部との結合が弱ければ、大きな物体が近くに在っても記録への影響がないことも実地試験で確認し、決定した。観測中はセンサー部の中央に置かれる錘の直上に記録部が配置され、センサー部と記録部を繋ぐものは水中ケーブルのみとなる。錘も堆積物中には深く入らないように、その底面の高さや形状を設定した。

4.試験観測

2016年に試作機の実海域での動作試験を実施し、2017年4月に実用機の長期試験を福島県沖の日本海溝陸側斜面(水深4500m)で開始、2018年10月に回収した。設置時は自由落下で投入後、船上から観測状態へ移行し観測開始させた。回収時は観測状態(右写真)、および回収状態への移行動作の確認のため、ROVで観察後に吊り下げて揚収した。投入～着底～観測開始までの様子を映像記録するためNX-2Gに取り付けた深海ビデオカメラも無事回収し、観測状態への移行動作が正常であったことも確認できた。

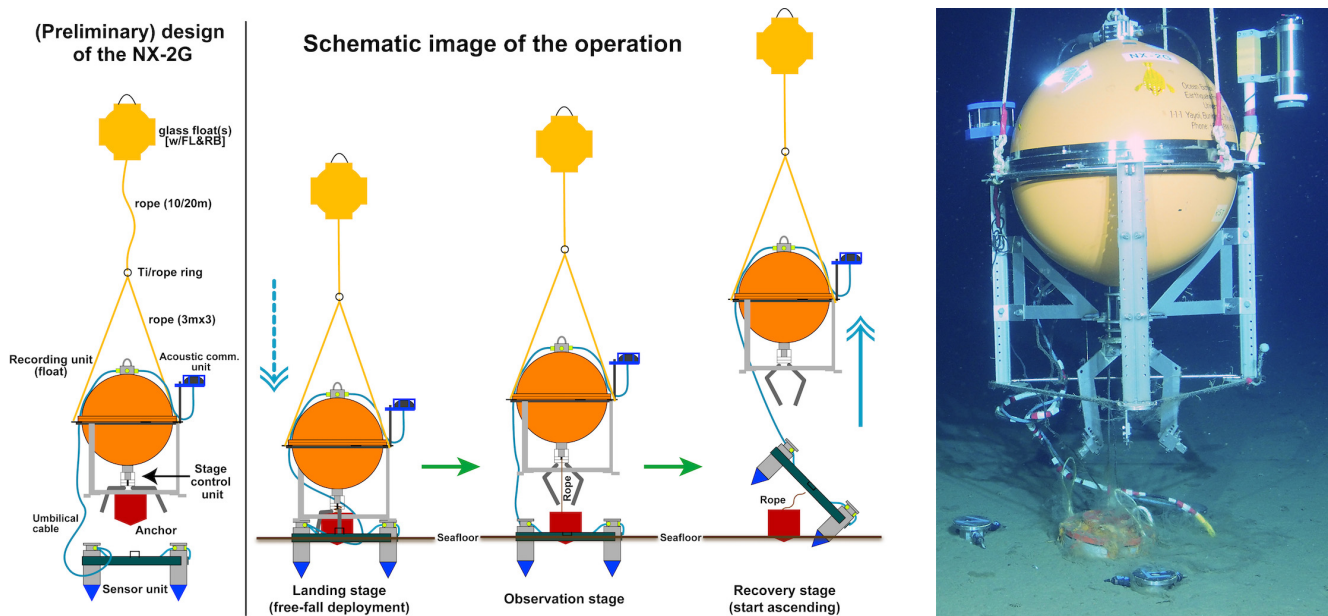
NX-2Gの機械的動作については想定通りであったが、隣接して設置していたBBOBSと比較して、埋設センサーとしてのノイズ低減効果が見られなかった。これは、非常に柔らかい底質および余長が不足した水中ケーブルの取り回しに起因するものと思われる。センサーの1成分に故障もあったので、再度の長期比較評価試験を今年8月に開始する予定である。

謝辞

多数の試験観測では、海洋研究開発機構・日本海洋事業の関係者にお世話になっていることを感謝する。本研究は科研費(基盤A,15H02122)の補助を受けている。

参考文献

- [1] H. Shiobara, T. Kanazawa and T. Isse, IEEE-JOE, 38, 396-405, 2013.
- [2] 塩原・他, 日本地震学会秋季大会, S02-07, 10月26日, 2017.
- [3] H. Shiobara et al., AGU-FM, S43E-0654, 13 Dec., 2018.



Distributed Acoustic Sensing measurement by using seafloor optical fiber cable system off Sanriku

*Masanao Shinohara¹, Tomoaki Yamada¹, Takeshi Akuhara¹, Kimihiro Mochizuki¹, Shin'ichi Sakai¹, Takeo Ksajima², Takahiro Arioka², Masayuki Hamakawa³, Shunsuke Kubota⁴

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Fujitsu Laboratories Ltd., 3. Fujitsu Limited, 4. YK Giken Co. Ltd.

近年、光ファイバをセンサとして用いるDistributed Acoustic Sensing(DAS)計測が、パイプラインや送電線などのセキュリティ監視や設備管理に用いられている。さらに、DAS計測は、資源探査のためにVertical Seismic Profilingなどの地震探査にも使われ始めてきている。DAS計測は自然地震観測にも有効であると考えられることから、これまでに陸上または海底に設置された光ファイバーケーブルを用いた地震観測の試みが行われている。しかし、現在までに、海底におけるDAS計測技術を用いた地震観測については十分には行われていない。DAS計測は光ファイバセンシング技術の一つで、コヒーレントな光の短いパルス、シングルモードファイバに連続して入射して、後方散乱を観測する。ファイバ近傍で発生した振動により発生したファイバの微小な変形が、後方散乱波のパターンを変化させることから、振動を検出する。パルスを送出してから時間が計測を行っている位置に対応し、パルス幅が空間分解能に対応する。現在は、空間分解能は短い場合では数mである。すなわち、地震計を数m間隔で設置した、長さが敷設されているファイバに対応する直線アレイ観測を実施することが可能である。現状では、70km以遠まで散乱波を観測することが可能である。一方、得られるデータのうち振幅情報などについては、これまでの振り子型地震計によるデータとは性質が異なり、データ処理手法についても、検討・開発が必要である。

東京大学地震研究所は、平成8年に三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムを設置した。このシステムは3つの地震計と2つの津波計が接続されており、ケーブルの全長は約120kmである。2011年東北地方太平洋沖地震の被災による中断を経て、現在も観測を行っている。このシステムは将来の拡張用として、海底ケーブルに6本(3組)の予備ファイバが用意されている。予備ファイバには中継器などは接続されていないので、この予備ファイバを用いて、陸上局からケーブル先端までのDAS計測が適用可能である。また、予備ファイバはDAS計測に適した分散シフト・シングルモードファイバである。そこで、我々は、次期海底ケーブル式観測システムの新技术として、DAS技術を用いた海底地震観測システムの開発を、三陸沖光ケーブル観測システムを用いて開始した。DAS技術による海底観測は、海底ケーブル上に短い間隔でセンサを取り付けた状態と同じであり、これまで「点」であった観測を、「線」での観測に変化させるものである。

平成8年に設置した三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムの予備ファイバを用いて、2019年2月13日から15日の間に、初めてのDAS計測を実施した。DAS計測に先立ち、光パルス試験器(OTDR)により、DAS計測を実施す予備ファイバの状態が良好であることを確認した。DAS計測の送受信機を陸上局に設置し、陸上局から100kmの地点まで、サンプリング周波数500Hz、観測チャンネル間隔を5mと設定して計測を実施した。計測の空間分解能を示すゲージ長は、10mまたは40mである。計測の結果、約46時間の連続したデータを収録することができた。収録されたデータには、観測システム近傍で発生した比較的規模の小さな地震や、深発地震を含めて多数の地震が観測された。これらの記録は、三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システムの地震計の記録と比較することが可能である。今後、得られたデータを用いて、解析手法の検討・開発を行う。

Seismic observation at Azuma volcano using fiber optics and DAS system

*Takeshi Nishimura¹, Kentaro Emoto¹, Hisashi Nakahara¹, Satoshi Miura¹, Mare Yamamoto¹, Shunsuke Sugimura¹, Takahiro Ueda¹, Ayumu Ishikawa¹, Tsunehisa Kimura²

1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Schlumberger

通信用に開発された光ファイバー内を伝播する光の散乱波を利用したDistributed Acoustic Sensing(DAS)systemを用いることで、ファイバーに生じた歪みの時間変化を数メートルから数十メートル間隔で測定することができる。この光ファイバーを利用した震動計測が物理探査や地熱開発で利用され、浅部構造や亀裂状況等が高精度で測定できるだけでなく、自然地震の観測例も国内外で報告されるようになってきた。光ファイバーによる観測は、数mから数十m間隔で測定点を設置可能であるだけでなく、ファイバーの端点のみに計測器を設置することにより最大40kmの測線長のデータが得られるメリットがある。一方、光ファイバーと地面とのカップリング状況が不明であったり、3成分方向の観測は難しくケーブル敷設方向の震動（歪み）成分のみ計測できるという難点もある。今回、吾妻山地域で光ファイバーを利用した地震観測を開始した。上記の長所短所に関連付けながら観測の概要と得られた地震波データについて紹介するとともに、今後の発展性について議論する。

磐梯吾妻スカイラインの道路沿いに敷設されている、国土交通省所有のシングルモード光ファイバーケーブルを借用して、使用した。土湯温泉ゲートから浄土平までほぼ南北方向に伸びる総長14.2kmの測線である。山道であるため、測線上の中央および南側でつづら折りとなっている箇所がある。光ファイバーは、深さ50cmほどに埋設された管内に敷設されている。南端の土湯温泉ゲートにシュルンベルジェ社のheterodyne Distributed Vibration Sensing (hDVS)を設置し、サンプリング周波数1000Hz、サンプル箇所の間隔10mで、7月4日より連続観測を開始した。観測終了は8月末を予定している。1 Hzのハイパスフィルターがかけられ、SEG-Y形式で記録される。また、光ファイバーケーブルが敷設されている道路沿い4カ所に広帯域地震計1台と周期地震計3台を設置し、並行観測を行った。

7月4日の開始直後から、吾妻山で発生する低周波地震、周辺で発生する構造性地震、遠地地震などが記録された。福島県と岩手県沖で発生したマグニチュード4クラスの地震について、地震計の速度波形と光ファイバーによる歪み波形を比べたところ、1Hz以下の低周波成分から10Hz程度までのスペクトル構造は類似していることがわかった。吾妻山の微小な火山性地震も記録されていることから、道路沿いに敷設した光ファイバーとDASを用いた計測により、火山性地震や微動、自然地震を十分記録することができるといえる。このシステムでは、ケーブル敷設方向の1成分のみしか震動を記録できないものの、コーダ波を利用した解析や、先行研究では報告されているように地震波干渉法が適用できると考えられる。火山地域だけに限らず、屈折・反射法や地盤特性の把握など、幅広い分野の解析に利用できると考えられる。

謝辞

国土交通省の光ファイバーを借用した。観測に当たって、国土交通省東北地方整備局福島河川国道事務所の方々に便宜を図っていただいた。

Room D | General session | S02. Seismometry and Monitoring System

[S02]PM-3

chairperson: Ryoichi Iwase(JAMSTEC), Kazuo Ohtake(Meteorological college)

Mon. Sep 16, 2019 4:00 PM - 5:15 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S02-05] Video Transmission System using WIN networks

*Kazuo Ohtake¹ (1. Meteorological college)

4:00 PM - 4:15 PM

[S02-06] **Proposal of two-point seismic observation for detecting weak signal**

*Shigeki Horiuchi¹, Aitaro Kato² (1. Home Seismometer Corporation, 2. Univ.Tokyo)

4:15 PM - 4:30 PM

[S02-07] Effect of seafloor inclination on the estimation of OBS installation direction and seismic wave velocity from observed waveform of air gun

*Ryoichi Iwase¹ (1. JAMSTEC)

4:30 PM - 4:45 PM

[S02-08] Demonstration experiment of disaster prevention network by post-earthquake damage evaluation meter in Tokushima Part 2

Hisamitsu Kajikawa¹, *Ryotaro Shirai², Yuka Okada³, Haruhiko Ogawa⁴, Ayumu Mitsunashi⁴ (1. Meiji Univ., 2. Meiji University Graduate School of Science and Engineering Department of Architecture and Urban Studies, 3. Misawa Homes Co.,Ltd, 4. Misawa Homes Institute of Research and Development Co.,Ltd.,)

4:45 PM - 5:00 PM

[S02-09] Demonstration experiment of disaster prevention network by post-earthquake damage evaluation meter in Tokushima Part 3

Hisamitsu Kajikawa¹, *Yuka Okada³, Ryotaro Shirai², Haruhiko Ogawa⁴, Ayumu Mitsunashi⁴ (1. Meiji Univ., 2. Meiji University Graduate School of Science and Engineering Department of Architecture and Urban Studies, 3. Misawa Homes Co.,Ltd, 4. Misawa Homes Institute of Research and Development Co.,Ltd.,)

5:00 PM - 5:15 PM

Video Transmission System using WIN networks

*Kazuo Ohtake¹

1. Meteorological college

概要

大久保(2018)はWIN パケットに波形ではなく任意のzip ファイルを埋め込んでWIN ネットワークに送信できることを示した。また、大竹(2018)はその応用としてWIN ネットワークを用いたファイル配信システムのプロトタイプを作成した。

本発表では、観測点の監視を念頭に置いた、WIN システムをデータ流通基盤として用いる、安価で実用的な映像伝送システムを作成したことを報告する。

システムの概要

システムの構築にあたっては、既存のWIN ネットワークを活用できることに加え、安価に構築できること、シンプルな構成であることを目指した。

Web カメラにはドン・キホーテの「スマモッチャー」IP001-WH(4298 円)を利用する。また、WIN フォーマットへの変換はRaspberry Pi 3 Model B+ 上で動作するプログラムを記述した。受信側ではffmpeg を用いて動画ファイルをHLS (HTTP Live Streaming) 形式に変換し、Apache ウェブサーバから配信する。なお、このWeb カメラは本来はクラウドでの利用を想定しているものであり、本システムの用途に合うように <https://github.com/ant-thomas/zsgx1hacks> で公開されているプログラムを導入しておくものとする。

プログラム

Web カメラからの動画はrtsp 形式で取得できる。WIN 3.0.2 をベースとして、この動画をWIN パケット形式にして共有メモリに書き込むプログラムを作成した。ただし通常の設定ではビットレートが不足するので、4 ビット無圧縮(サンプルサイズ情報5)、4095Hz サンプリングで複数チャネルを束ねてデータを送出することにした(リンク集約)。受信側はrecvt の書き込む共有メモリ領域を走査し、ffmpeg コマンドによるフォーマット変換を経て、Apache からHLS 形式で配信する。

本システムを構築したLAN 内の試験環境では、10 秒程度の遅延で正しく配信されることを確認している。

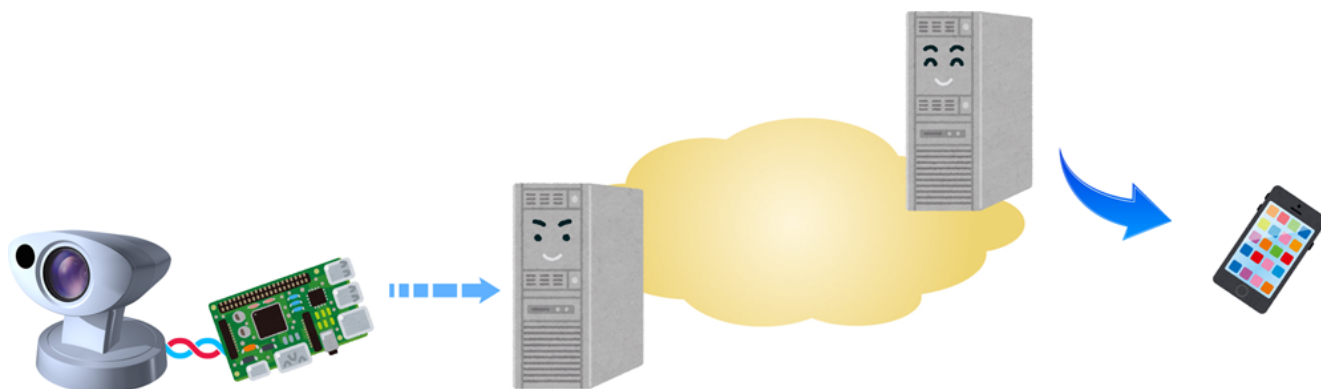
今後の課題

現在のところリンク集約にかかる調整は手作業で行なっている。これを自動で最適な状態にする仕組みを作る必要がある。また、動画は必要な通信帯域が大きくなりがちであるため、解像度の削減やフレームレートの間引きなどを手軽に実施できるインターフェースも必要であろう。このWeb カメラは本来リモートからレンズの方向を変えるなどのコントロールが可能であるが、本システムでは対応していない。

参考文献

大久保(2018): WIN format を利用した地震動波形以外の格納, データ流通ワークショップ発表要旨集.

大竹(2018): WIN ネットワーク上でのファイル交換, 日本地震学会2018 年度秋季大会予稿集, S02-06.



図：本システムの概念図

Proposal of two-point seismic observation for detecting weak signal

*Shigeki Horiuchi¹, Aitaro Kato²

1. Home Seismometer Corporation, 2. Univ.Tokyo

1. はじめに 地震計を地表に設置した場合と、地下深部に設置した場合の違いは、ノイズの発生源から離れているか否かである。地震計を地表に設置すると、観測される波形に、風雨や人工的ノイズの混入が避けられない。しかし、センサー近傍で発生するノイズを除去することができれば、地表設置のセンサーでも、地下深部に設置した地震計と同程度に高精度の観測データが得られる可能性がある。本発表では、数mから数10m離れた2地点にセンサーを設置し、2点の観測波形のconvolutionを連続的に計算（以下convolution波形と呼ぶ）すると、convolution波形には、センサー近傍で発生するノイズがほぼ含まれなくなり、到着時刻の読み取りや、地下構造推定に適した記録が得られることについて述べる。

2. Convolution波形の計算法 数mから数10m離れたA点、B点の2カ所に地震計が設置されているとする。A点の地震計では、A点の近傍に発生源を持つノイズの振幅は大きい。しかし、両者の設置位置が離れていることから、B点の近傍で発生するノイズの振幅は小さい。B点でも、同様である。また、ノイズの発生源が異なることから、両者の波形の相関は低いと考えられる。一方、地震は、地下深部で発生することから、両観測点での波形は、到着時刻の僅かな差はあっても、相関は高いと思われる。

A点、B点の地震計で観測されるとノイズ波形と、地震波形を分離して $Ua(t)=Na(t)+Sa(t)$, $Ub(t)=Nb(t)+Sb(t)$ と表す。ここに、 $Na(t)$, $Nb(t)$ は、A点、B点でのノイズ波形 $Sa(t)$, $Sb(t)$ は、地震波形である。 $Ua(t)$ と $Ub(t)$ との区間長 w のconvolutionは、因果律を満足するよう積分範囲を変更して表すと、

$$f(t,p)=\int_{t-w}^t ua(T)Ub(T-p)dT \quad (1)$$

と表せる。地震によるP波がA点に到着する時刻と、B点に到着する時刻との差の最大値を Δt とすると、 p を $-\Delta t$ から Δt まで変動させた場合の $f(t,p)$ の最大値は、

$$G(t)=\max\{f(t,p)\}, \quad -\Delta t < p < \Delta t \quad (2)$$

と表される。本報告のconvolution波形とは、 $G(t)$ のことである。簡単のため、A点、B点でのノイズとノイズ、地震波とノイズの相関は0、地震波の相関は1であると仮定すると

$$G(t)=\int_{t-w}^t Sa(T)^2 dT \quad (3)$$

と表される。(3)式は、ノイズとノイズとの相関、地震波とノイズとの相関が低ければ、convolution波形は、センサーの近傍で発生するノイズを含まないことを示している。

3. 結果 加藤(2018)による熊本での1000点のアレイ観測データを用いて、convolution波形の有効性について調べた。図1に熊本でのアレイ観測のconvolution波形と生波形との比較が示す。Convolution波形は、S/Nが極めて高く、到着時刻の読み取りに適している。また、convolution波形は、コヒーレントな位相が到来すると、振幅が大きくなる性質があることから、反射法探査の解析にも利用できるものと期待される。

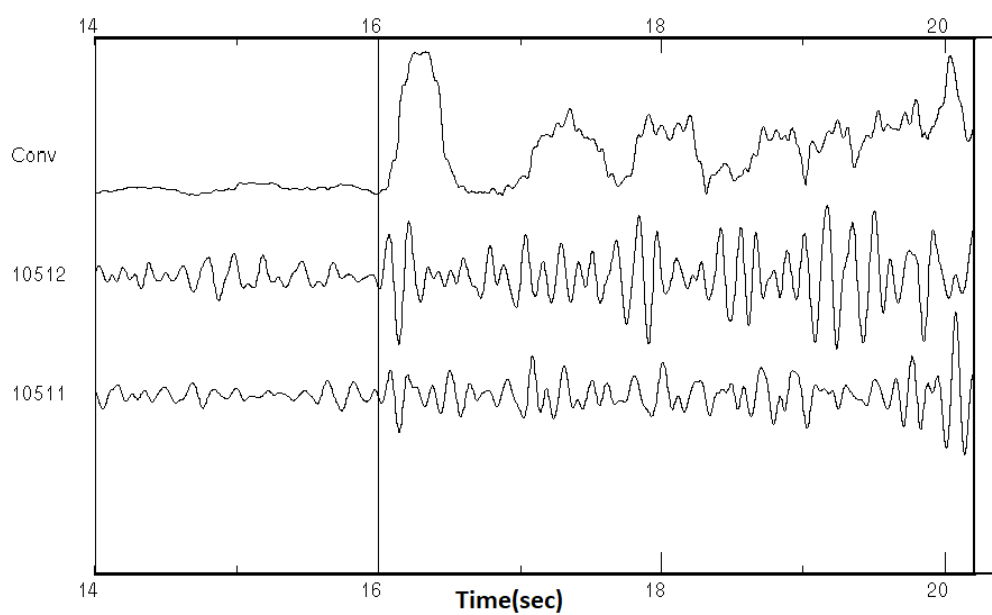


図1. 隣接する2観測点(10511,10512)で記録された地震のP波部分の波形と、そのConvolution波形

Effect of seafloor inclination on the estimation of OBS installation direction and seismic wave velocity from observed waveform of air gun

*Ryoichi lwase¹

1. JAMSTEC

筆者は、地殻構造探査の測線が観測点近傍を通過した防災科学技術研究所の「日本海溝海底地震津波観測網」(S-net)の一部の観測点について、いずれもwebで公開されている連続波形データにおけるエアガン観測波形の初動部分の3次元パーティクル・モーション、及び地殻構造探査の航跡データを用いて、地震計(加速度計)の設置方位及び各観測点における海底表層の地震波速度、即ちP波及びS波速度の推定を行った(岩瀬, 2019)。その際、航跡データから求めたエアガン音源の方位とパーティクル・モーションから推定されるエアガン信号の入射方位について、音源が観測点に近づくと、両者の間にずれが生じることが確認された。この現象は、東京大学地震研究所の「三陸沖光ケーブル式海底地震・津波観測システム」を対象として、同様の解析手法を用いた地震計設置方位と地震波速度の現場推定でも確認されており(Iwase, 2016のFig. 3)、方位角のずれは最大で9度となっている。当該文献ではその原因を機器特性の影響と推定している。設置方位推定を行ったS-net観測点のうち一部の観測点については、近傍の海山の影響と推定される不規則なずれも確認されている。しかしながら、大半の観測点で系統的なずれが見られることから、観測点周辺海底の傾斜の影響が推定された。

そこで今回は、観測点周辺海底の傾斜が、エアガンの観測波形による加速度計の設置方位及び海底表層地震波速度推定に及ぼす影響について、その発生原因を考察した。

地震波形から得られるパーティクル・モーションは、水中を伝搬してきた水中音波そのものを描き出しているわけではなく、水中音波が海底面に入射して海底下に透過した地動を表している。そしてその地動は、入射臨界角内では疎密波(P波)と変換された横波(SV波)の合成波である。そのため、パーティクル・モーションの鉛直成分の角度は、水中音波の海底面への入射角ではなく、P-SV合成波による透過波の見かけの出射角に対応する。水中音波の入射角は航跡から推定できるので、Iwase(2016)及び岩瀬(2019)では、この特徴を利用して、この透過波の見かけの出射角に関して、平面波の流体-固体境界入射を仮定した際のZoeppritz方程式に基づく理論値との比較を行い、地震波速度を推定している。

音源の入射方位についても、同様のことが考えられる。即ち、海底に傾斜がある場合、透過波(P-SV合成波)の振動方向は、入射した水中音波の音線を含み傾斜した海底面と垂直な平面内に存在するが、それは必ずしも鉛直平面内にあるわけではない。一方、加速度計では、重力の方向から鉛直軸の向きを求めており、これは傾斜した海底面法線方向とは異なる。

以上の考察を元に、比較的簡単なケースとして、海底の傾斜面(傾斜角10度と仮定)の走向上の入射臨界角(60度と仮定)に対応する位置の音源からの入射音波に対し、加速度計のパーティクル・モーションから得られる「見かけの」音源方位の入射方位からのずれを求めたところ、6度程度と見積もられた。

両者の関係式には、海底の傾斜角、音波の入射方位及び入射角、透過波の見かけの出射角といったパラメータを含むことになる。岩瀬(2019)以降に実施したS-net観測点の設置方位及び海底表層地震波速度推定結果を含め、観測データと比較した結果を報告する。

謝辞

本研究の実施にあたり、防災科学技術研究所が公開している地震波形データ、及びJAMSTECが公開している各調査航海のデータを利用しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

R.Iwase, Jpn. Jour. App. Phys, 55, 07KG01, 2016.
岩瀬, JpGU2019, STT43-P04, 2019.

Demonstration experiment of disaster prevention network by post-earthquake damage evaluation meter in Tokushima Part 2

Hisamitsu Kajikawa¹, *Ryotaro Shirai², Yuka Okada³, Haruhiko Ogawa⁴, Ayumu Mitsunashi⁴

1. Meiji Univ., 2. Meiji University Graduate School of Science and Engineering Department of Architecture and Urban Studies, 3. Misawa Homes Co.,Ltd, 4. Misawa Homes Institute of Research and Development Co.,Ltd.,

1.はじめに

本報は2018年度に発表したその1の続報である。その1では、徳島県における実証実験の概要と被災度判定計の設置について述べた。本報は、この実証実験で計測したデータ（以下、計測入力データという）とその利活用についての報告を行う。計測入力データについては、計測震度と入力加速度軌跡図に関する検証を行う。

2.計測入力データについて

本実証実験は、徳島県（徳島市、阿南市、美馬市）で行い、我々の研究グループが管理しているデータベースに計測入力データを現在も集積し続けている。本報で扱う計測入力データの期間は、2017年10月～2019年6月とする。この期間に、気象庁の発表で徳島県内に震度1以上の観測があった場合が56件あった。このうち実証実験の対象建物で計測があったものが31件であり、37棟のうち20棟以上で計測があったものに絞り、阿南市の結果を表1に示す。また、併せて同市内にある防災科学研究所強震観測網（K-NET）にて計測されたデータを示す。

2.1.計測震度に関する検討

計測震度の分布状況は、県内広域に渡っていることから最大で2.5のばらつきが確認された。また、同市内のK-NETで計測していなくても被災度判定計で計測している場合もあれば、その逆の場合もあった。また、表1に示す阿南市の場合、同一市内でも0.5～1.9のばらつきがあった。ばらつき具合には、建物、震源の方向や規模等に関連している様子はなく、建物ごと地震ごとに大きくなったり小さくなったりしていることが分かった。

2.2.入力加速度軌跡図に関する検討

図1に表1の地震No.11における建物No.25～29及び同市内K-NETの加速度軌跡図（3面）を示す。加速度軌跡図は三軸合成の最大加速度を記録した時刻までを黒色の実線、それ以降を灰色の実線で描いている。図中の最外円はその平面での最大加速度を半径とした円であり、NSEW面の円上にある×印はたたえ物から見た水平の震源方向を示している。基準化はNSEW平面の二軸合成の最大加速度を1としたものである。同一市内であっても軌跡の形状は建物ごとに大きく異なっている。また、NSEW面における最大加速度ベクトルの最大値は約6倍の差がある。建物ごと地震ごとに性状が異なっていると考えられる。

3.情報開示ツール

計測入力データの利活用の1つとして情報開示のツールとして防災一括管理システム、スマートフォンによる防災アプリ、防災情報モニターの開発を行った。また実証実験では関係者および協力していただいた市民により模擬データを用いた防災訓練を行った。そのうえで、アンケート調査を実施し、意見をまとめ分析した。

4.まとめ及び今後の課題

本報では、計測入力データとその利活用の1例として情報開示ツールについて示した。計測入力データについては、計測震度の分布状況と入力加速度軌跡図を示し、建物ごと地震ごとに大きくなったり小さくなったり性状が異なっていることを示した。また、計測入力データの利活用の1つである防災一括管理システム、スマートフォンによる防災アプリ、防災情報モニターによる防災訓練を実施したアンケート結果を示し有効性を示した。今後の課題としては、計測入力データの計測震度及び入力加速度軌跡図に関する検討については、今後さらにビッグデータを集積し、この性状に関して統計的に分析することで、建物の入力（揺れやすさ）についての傾向を明らかとする可能性があると考えられる。情報開示ツールについては、改善や行政の防災対応へ導入及び運用の検討を行う必要がある。

謝辞：本報の内容に一部は総務省平成28年度補正予算IoTサービス創出支援事業によるものである。また、関係者の方々には多大なるご協力を得た。ここに記して謝意を表する。

表 1 計測入力データ (計測震度)

地震 No.	地震の発生日時		震央地名	深さ	マグニ チュード	最大 震度	建物No.											K-NET
							阿南市											阿南市
							24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
1	2018/4/9	1:32:31	島根県西部	12	6.1	5強	0.6	1.9	0.6	1.3	1.5	0.8	1.5	1.5	1.4	1.4	0.6	0.9
2	2018/5/30	6:10:08	徳島県南部	11	3.8	2	1.4	1.3	-	1.4	1.3	1.6	1.1	0.9	1.3	0.9	1.5	1.1
3	2018/6/16	18:13:07	紀伊水道	43	3.8	2	1.1	1.2	0.7	1.6	1.4	1.6	1.3	1.0	1.6	1.0	1.6	1.6
4	2018/6/18	7:58:34	大阪府北部	13	6.1	6弱	1.6	2.4	1.6	2.1	2.2	1.7	2.4	2.4	2.4	2.2	1.4	1.7
5	2018/11/2	16:53:54	紀伊水道	44	5.4	4	2.8	3.2	2.4	3.5	2.9	3.5	3.0	2.9	3.0	3.0	2.8	3.3
6	2018/11/5	8:19:17	紀伊水道	45	4.6	3	1.7	1.9	1.1	2.0	1.5	1.8	1.9	1.6	1.7	1.9	1.6	2.1
7	2018/11/21	4:09:50	種子島近海	123	5.2	3	-	-	-	0.5	-	-	-	-	0.6	0.5	-	1.1
8	2018/11/25	18:19:04	徳島県南部	42	4.1	3	2.0	1.9	1.8	1.8	1.5	2.0	2.0	1.4	1.4	2.2	2.3	2.6
9	2018/12/3	17:08:23	和歌山県北部	48	4	3	1.2	1.0	0.6	1.2	1.1	1.8	1.2	1.0	1.8	0.9	1.6	1.3
10	2019/1/29	3:22:57	徳島県北部	37	3.9	2	-	0.6	-	0.9	0.9	0.8	0.6	-	0.9	-	1.1	0.9
11	2019/3/13	13:48:49	紀伊水道	43	5.3	4	-	3.5	2.2	3.5	3.3	4.1	3.2	3.4	3.6	3.3	2.8	3.1

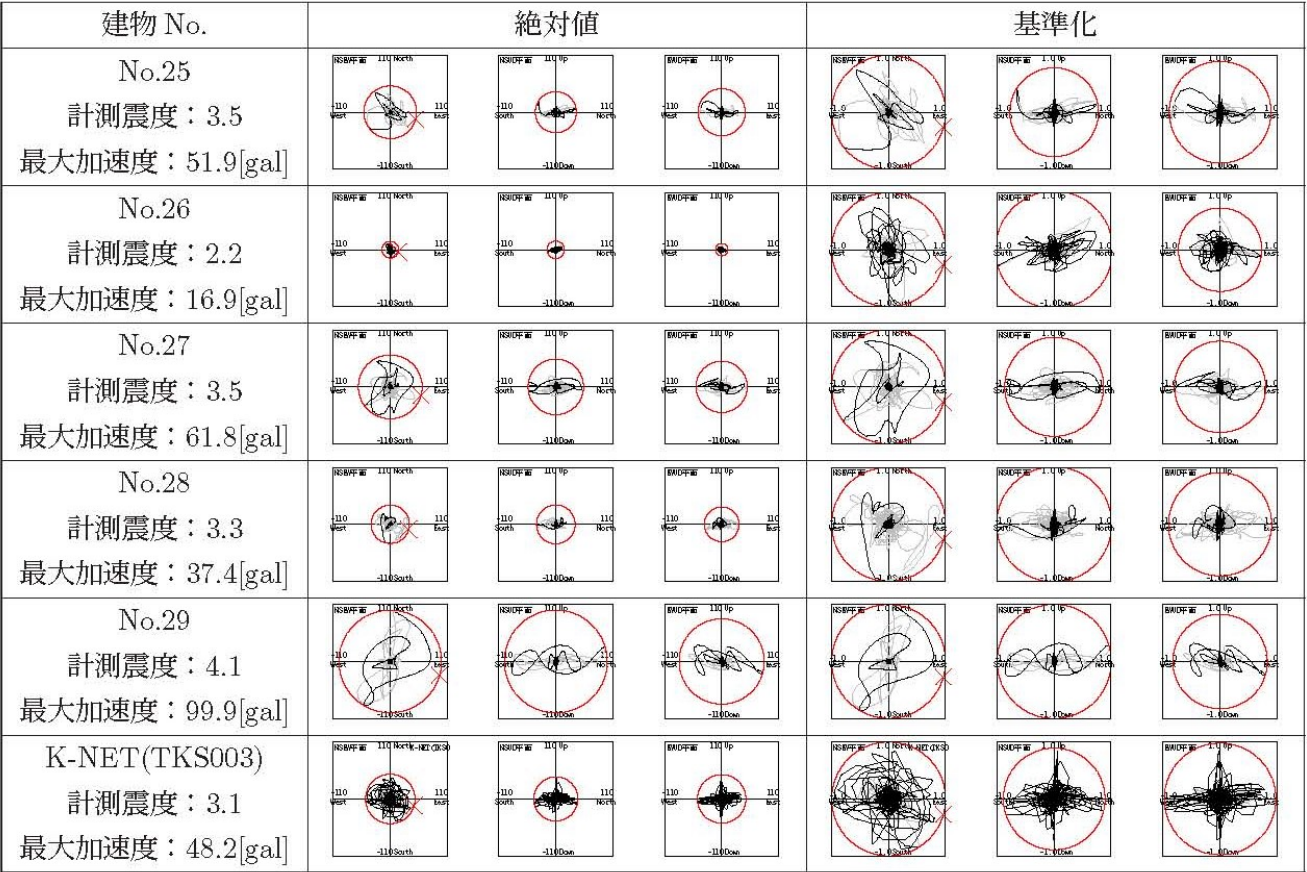


図 1 2019/3/13 13:48 発生地震における阿南市内の建物と K-NET(TKS003) の加速度入力軌跡図

Demonstration experiment of disaster prevention network by post-earthquake damage evaluation meter in Tokushima Part 3

Hisamitsu Kajikawa¹, *Yuka Okada³, Ryotaro Shirai², Haruhiko Ogawa⁴, Ayumu Mitsunashi⁴

1. Meiji Univ., 2. Meiji University Graduate School of Science and Engineering Department of Architecture and Urban Studies, 3. Misawa Homes Co.,Ltd, 4. Misawa Homes Institute of Research and Development Co.,Ltd.

1.はじめに

筆者らは、被災度判定計で計測したデータ（以下、計測入力データという）の活用方法の1つとして巨大地震時被災度予測法の研究開発を行っている¹⁾。この巨大地震時被災度予測手法には、地震応答スペクトルを用いている。本報では、この地震応答スペクトルを用いたSa-Sd曲線の形状や応答値について検証を行う。なお、本報はその1：実証実験の概要と被災度判定計の設置（2018年度発表）、その2：計測入力データとその活用（2019年度発表）の続報である。

2.計測入力データについて

本実証実験は、徳島県（徳島市、阿南市、美馬市）で行い、我々の研究グループが管理しているデータベースに計測入力データを現在も集積し続けている。本報で扱う計測入力データの期間は、その2と同様に、2017年10月～2019年6月とする。この期間に、気象庁の発表で徳島県内に震度1以上の観測があった場合が56件あった。このうち実証実験の対象建物で計測があったものが31件であり、対象建物37棟のうち20棟以上で計測があった地震は11件であった。また、併せて同市内にある防災科学研究所強震観測網（K-NET）にて計測されたデータとも比較検証を行う。

3.Sa-Sd曲線に関する検討

2.計測入力データで述べた地震11件のうち、計測震度が最も大きかった2019年3月13日震央地名：紀伊水道の地震（被災度判定計の最大計測震度4.1）における阿南市建物No.25～29の建物と同市内のK-NETにおけるSa-Sd曲線を図1に示す。図1の左側は絶対値、右側は設計用応答スペクトルに基準がしたSa-Sd曲線である。Sa-Sd曲線作成方法は、参考文献2）をもとに変位応答スペクトル（Sd）と加速度応答スペクトル（Sa）を算出し、x軸にSd、y軸にSaをプロットすることで作成する。

絶対値のSa-Sd曲線を比較してみると、建物ごとに形状や応答変位、応答加速度の大きさが大きく異なることがわかる。No.26とNo.29の建物の応答変位を比較すると約3倍以上、応答加速度を比較すると約5倍以上である。次に基準化した場合、応答加速度は概ね一致しているが、No.25、26、28の建物においては最大応答変位が7.5cmを超えている。また、絶対値と同様に形状についても建物ごとに大きく異なっていることがわかる。同一市内の建物であっても、建物ごとにSa-Sd曲線の性状が大きく異なることが確認された。

4.まとめ及び今後の課題

本報では、計測入力データの活用の1例として巨大地震時被災度予測手法に用いる地震応答スペクトルで作成したSa-Sd曲線について検証を行った。その結果、建物ごとにSa-Sd曲線の形状も、最大応答変位、最大応答加速度も大きく異なることが確認された。今後は、ビッグデータを集積し、地盤の揺れやすさ及びその建物のSa-Sd曲線の形状の特徴を統計的に分析することで、建物の入力（揺れやすさ）についての傾向が明らかとなる可能性がある。また、現在の建物の設計法は1方向のみを考慮したスペクトルを用いているが、建物の設計にはXY方向やNSEW方向など2方向を考慮した設計を行う必要があると考えられる。

謝辞：本報の内容に一部は総務省平成28年度補正予算IoTサービス創出支援事業によるものである。また、関係者の方々には多大なるご協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 梶川久光,その他：建築物の被災度判定計による防災ネットワークの研究開発 その13,日本建築学会大会梗概集,2018年
- 2) 柴田明德：最新耐震構造解析,森北出版株式会社,2009

謝辞：本報の内容の一部は総務省平成28年度補正予算IoTサービス創出支援事業によるものである。また、関係者の方々には多大なるご協力を得た。ここに記して謝意を表する。

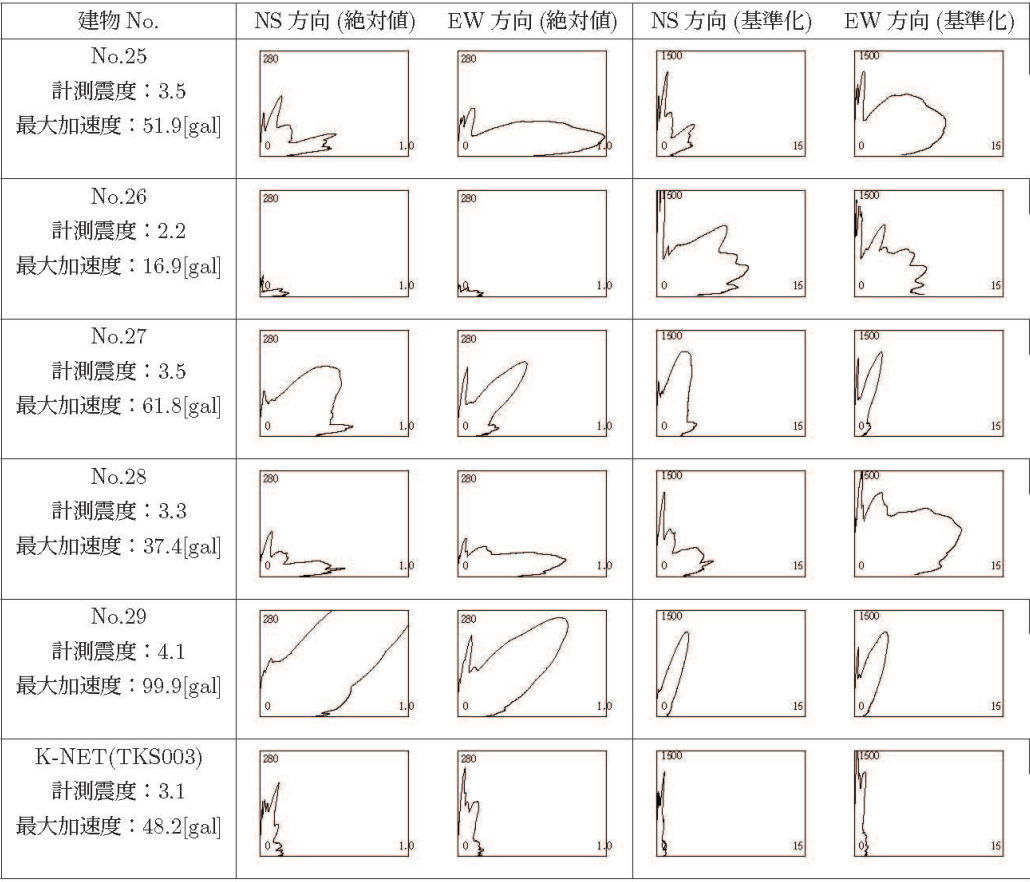


図 1 2019/3/13 13:48 発生地震における阿南市内の建物と K-NET(TKS003) の Sa-Sd 曲線

Room D | Special session | S23. Open data for seismology

[S23]AM-1

chairperson: Yasuyuki Kano (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Katsuhiko Shiomi (NIED),
Tadashi Ishikawa (Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard)

Tue. Sep 17, 2019 9:15 AM - 10:30 AM ROOM D (International Conference Halls I)

[S23-01] [INVITED] Progress and well-being of Open Science and research data sharing in international communities

*Yasuhiro Murayama¹ (1. National Institute of Information and Communications Technology)
9:15 AM - 9:45 AM

[S23-02] [INVITED] Recent activity of data publication and data citation in the international community of geomagnetism

*Masahito Nose¹, Yasuhiro Murayama², Takenari Kinoshita³, Yukinobu Koyama⁴, Michi Nishioka⁵,
Mamoru Ishii⁵, Manabu Kunitake², Koji Imai² (1. Institute for Space-Earth Environmental
Research, Nagoya University, Nagoya, Japan, 2. Strategic Program Produce Office, National
Institute for Information Communications Technology, Tokyo, Japan, 3. Japan Agency for Marine-
Earth Science and Technology, Kanagawa, Japan, 4. Kindai University Technical College, Mie,
Japan, 5. World Data Center for Ionosphere and Space Weather, National Institute for
Information Communications Technology, Tokyo, Japan)

9:45 AM - 10:15 AM

[S23-03] [INVITED] Outline of “Promotion of Earthquake Research (third phase)” started in 2019

*Yutaka HAYASHI¹ (1. MEXT)
10:15 AM - 10:30 AM

Progress and well-being of Open Science and research data sharing in international communities

*Yasuhiro Murayama¹

1. National Institute of Information and Communications Technology

1. はじめに

近年「オープンサイエンス」や「オープンデータ」などといった言葉を聞く機会が増えている。よくわからない、つかみどころがない、という声もある一方、国際的な科学政策では2013年G8での合意以来、とくに科学研究の「データ」を中心にした整備・共有（「オープン化」）の推進が重要なトピックとなっている（例えば内閣府（2015, 2018b[ym1]）など）。2013年ごろに国内で話をしてもなかなか議論にならなかった頃と比べれば大きな変化である。

「わくわく面白い」オープンサイエンスでは必ずしもないかもしれないが、科学が不要な無理をせず健全に活動できる、そして科学と社会が相互に恩恵をうけるようなそういう議論を目指したい。

2. 「オープンサイエンス」とは

本稿で述べるオープンサイエンスは主に、欧米のアカデミーや政府機関・予算配分機関での議論に近い。英国王立協会や米国科学アカデミー、OECD（経済協力開発機構）やICSU（国際科学会議；2018年よりISC；国際学術会議）などが科学発展に資する研究データ取扱いが議論される（例えばThe Royal Society, 201[ym2] 8など）。近年の科学の相当部分がデータに依るのなら、それは論文と同様に科学の重要な要素であり、論文と同様に科学研究の成果物であり資源とする議論が活発である（AGU, 2013[ym3] など）。なお「オープンデータ」は過去、政府系公共データのオープン化運動の呼称でもあったが、専門性のある科学データのそれとは大きく異なるため区別いただく必要がある。例えば欧州連合政府では異なる部局で取り扱われる。

3. 地球惑星科学とデータ共有

地球惑星科学は長年にわたり観測データの共有、相互交換をコミュニティ活動の中にとりこんで発展してきた分野である。国際アカデミーであるICSUの下科学データ委員会ICSU-World Data System（WDS；2008年設立）は現在は全学術領域を対象とするがその前身の1つWDC（World Data Centre）は国際地球観測年を契機として設置された。また国連海洋委員会下にある国際海洋データ交換機構（IODE）、世界気象機構（WMO）の気象データ交換網など、枚挙にいとまがない。オープンサイエンスや研究データ共有を、他の分野に先駆けて議論するにふさわしい分野といえる。

4. 「オープン化」

「オープンサイエンス」「オープンデータ」というと、研究の過程のすべての情報やデータの公開と思われることが多いが、誤解といってよい。日本政府は「戦略的共有」という言葉で、競争性と共存するオープン化（これも近年では「オープン」と言わず「データ共有」などとも呼ぶ）を志向する（内閣府、2018a[ym4]）。オープン化やデータ開示が最終目的ではなく、科学研究の健全化、最適化、それによるよりよい科学成果の創出と社会への貢献、といった目標を探索し、これに基づいた戦略や行動が考えられるべきである。

5. 科学の再現性とFAIRデータ原則

研究成果は一般に例えば専門家コミュニティによる議論や検証を経て正当と認められる。近代科学の原理からいえば、再現性（reproducibility）を担保するため記録の保存・共有が必要である（AAAS, 1990など）。その意味で、データを引用（data citation）すること、そのためにデータに論文で用いるようなDOIを付与する（mintという）こと、などいくつかの今後科学データの共同利用に求められる原則が、「FAIR（Findable, Accessible, Interoperable, Reusable）データ原則」（例えばWilkinson et al., 2016）[ym5]としてまとめられている。

6. まとめにかえて：科学の業績としての研究データへ向けて

近年では、DORA (San Francisco Declaration on Research Assessment)(DORA, 2013)で、研究評価や研究者採用においてデータセットをはじめ幅広い研究成果を対象にすべきという声明が出されAGU、EGUはじめ国際的に話題となっている。これまでの論文を出すことが研究の成果であった時代から、研究が何を世に残すかという視点から幅広い科学の在り方を、学術現場から議論する声があがっている。同サイトでは専門家の採用評価にオープンサイエンス活動が考慮された欧米の事例も紹介されている。科学者が知的営為によって生成したものが知的価値があるのならば、きちんと評価する、そうでなければ持続可能な科学制度が危機に瀕する、という認識と思われる。それはすなわち科学を統治原理とする現代社会にとっても危機であろう。社会と科学の持続的発展のための議論が今後必要といえる。

Recent activity of data publication and data citation in the international community of geomagnetism

*Masahito Nose¹, Yasuhiro Murayama², Takenari Kinoshita³, Yukinobu Koyama⁴, Michi Nishioka⁵, Mamoru Ishii⁵, Manabu Kunitake², Koji Imai²

1. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, Nagoya, Japan, 2. Strategic Program Produce Office, National Institute for Information Communications Technology, Tokyo, Japan, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Kanagawa, Japan, 4. Kindai University Technical College, Mie, Japan, 5. World Data Center for Ionosphere and Space Weather, National Institute for Information Communications Technology, Tokyo, Japan

The DOI (digital object identifier) system was originally developed by publishers and introduced as a common identifier for publication in late 1990s. Now, more than 5000 publishers participate in the DOI system. DOI is applicable not only for usual publication articles but also for any objects such as a piece of online content (e.g., PDF files, movie files, etc.) or a physical asset (e.g., DVD, an item of equipment, rock samples, etc.). Therefore, it can be mint to research data or database. Minting DOI to scientific database can be considered as data publication, since the database is identified with DOI. Data publication and data citation with DOI provide much benefit to both researchers and data providers: (1) Researcher can more easily locate the data used in the paper, obtain necessary information of the data (i.e., metadata), and validate the findings of the paper; and (2) Data providers can gain professional recognition and rewards for their labors of publishing and managing data set, according to results of data publication and data citation, in the same way as traditional publications.

Recognizing the importance of data publication and data citation, solar-terrestrial physics (STP) data centers in Japan have been working to mint DOI to their database (i.e., to register DOI on their database). We participated from October 2014 in a 1-year pilot program for DOI-minting to science data launched by Japan Link Center, which is one of the DOI registration agencies. In the pilot program, a procedure of the DOI-minting for STP data was established. As a result of close collaboration with Japan Link Center, the first case of data-DOI in Japan (doi:10.17591/55838dbd6c0ad) was created in June 2015. As of July 2019, there are 18 data-DOIs for the STP data in Japan. Four of them are related to geomagnetic field data: the Dst index (doi:10.17593/14515-74000), the AE index (doi:10.17593/15031-54800), the Wp index (doi:10.17593/13437-46800), and magnetotelluric data at Muroto, Japan (doi:10.17593/13882-05900).

In the International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA), scientists who are working for data centers or observatories started discussion about DOI-minting to their data and a task force was formed in August 2013. In the latest International Union Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assemblies that was held at Montreal, Canada, in July 2019, the task force reported “Present Status of Data Publication and Data Citation of Geomagnetic Data/Indices” that is available from <https://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vdat/>. The report found that there are different types of activities of data publication in individual data centers or observatories. In addition to data publication, it was also found that data citation started to be actually implemented in some international journal articles. In the field of geophysics including seismology, interests to the DOI-minting are rapidly growing. At the IUGG General Assemblies, an inter-association symposium entitled “Geoscience data licensing, producing, publication and citation” was held. In this symposium, 3 invited talks, 12 contributed talks, and 6 posters presented actual practices and future plans of data licensing, producing, publication, and citation of scientific data, and possible related topics. The international effort will be continued for such topics regarding scientific data in geophysics.

Outline of “Promotion of Earthquake Research (third phase)” started in 2019

*Yutaka HAYASHI¹

1. MEXT

1. はじめに

2019年5月に地震調査研究推進本部（以下、「地震本部」）は、将来を展望した新たな地震調査研究の方針を示す「地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策（第3期）―」（以下、「第3期総合基本施策」）を策定した。本稿では、この施策の背景と概要を紹介する。

2. 背景

地震本部は、阪神・淡路大震災を契機として、1995年6月に制定された「地震防災対策特別措置法」（平成7年法律第111号）に基づいて、地震に関する調査研究を一元的に推進する機関として設置された。この法で定められた地震本部の役割は、(1)総合的かつ基本的な施策の立案、(2)関係行政機関の予算等の事務の調整、(3)総合的な調査観測計画の策定、(4)関係行政機関、大学等の調査結果等の収集、整理、分析及び総合的な評価、(5)上記の評価に基づく広報、である。

地震本部は、(1)の役割として、1999年4月に「地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策―」（以下、「総合基本施策」）を、2009年4月に「新たな地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策―」（以下、「新総合基本施策」）を策定した。(2)～(5)の役割は、地震防災対策の強化、特に地震による被害の軽減に資することを目標に、総合基本施策と新総合基本施策の方針の下で実施されてきた。なお、東日本大震災において地震調査研究に関する多くの課題等があったため、新総合基本施策は2012年9月に改訂された。

2019年5月に策定された第3期総合基本施策は、新総合基本施策の策定以降の環境の変化や地震調査研究の進展を踏まえて、地震本部が将来を展望した新たな地震調査研究を推進する今後10年間の基本方針である。

3. 第3期総合基本施策の概要

第3期総合基本施策は、3章で構成され、その概要は図1及び下述のとおりである。

第1章「我が国の地震調査研究をめぐる諸情勢」では、地震調査研究の進捗、地震本部による成果、地震調査研究を取り巻く環境の変化について概説されている。地震本部が設置されて20年余りが経過する間に、地震調査研究の成果は着実に社会へと還元され始めているが、十分に活用が進んでいるとは言えない状況にあると分析されている。社会への成果の還元が進んだ例として、全国地震動予測地図や各種長期評価が、防災計画、地震保険の基準料率算定、耐震対策の計画に活用され始めたことが挙げられ、より活用できる例として、各種長期評価を行う過程で生み出される様々なデータや分析手法を建築物の耐震化等に活用できる可能性が指摘されている。

第2章「これからの地震本部の役割」では、新たな科学技術を積極的に活用して社会の期待を踏まえた成果を創出すべきこと、これからの地震調査研究の進むべき方向性、地震火山観測研究計画（建議）との連携強化等が示されている。地震調査研究の成果が今後更に防災・減災に貢献するためには、一般国民のみならず、地方公共団体や民間企業、NPO等にとってより活用しやすい成果を提供すること、また、これらの組織からの地震本部への期待を適切に地震本部における議論に反映する体制を構築していくことの必要性が示されている。

第3章「今後推進すべき地震調査研究」では、当面10年間に取り組むべき地震調査研究と横断的な事項について、基本目標と各基本目標の達成に向けてこの10年間に取り組むべき項目が示されている。取り組むべき地震調査研究として設定された基本目標は、海溝型地震の発生予測手法の高度化、津波予測技術（津波即時予測技術及び地震発生前に提供する津波予測の技術）の高度化、内陸で発生する地震の長期予測手法の高度化、大地

震後の地震活動に関する予測手法の高度化、地震動即時予測及び地震動予測の高度化、社会の期待を踏まえた成果の創出～新たな科学技術の活用～、の6点である。また、横断的に取り組むべき事項として設定された基本目標は、基盤観測網等の長期にわたる安定的な維持・整備、地震調査研究における人材の育成・確保、地震調査研究の成果の広報活動の推進、国際的な連携の強化、の4点である。

4. おわりに

地震・津波に関する諸現象を解明・予測するための地震調査研究を進め、その成果を明確かつわかりやすい形で社会に示し、災害による被害軽減に貢献していく取組の重要性がより一層増しているとして、第3期総合基本施策は、「我が国が地震災害に対して強い国となるよう、オールジャパンとして、戦略を持ち、関係者一丸となって努力していかなければならない」と締めくくられている。

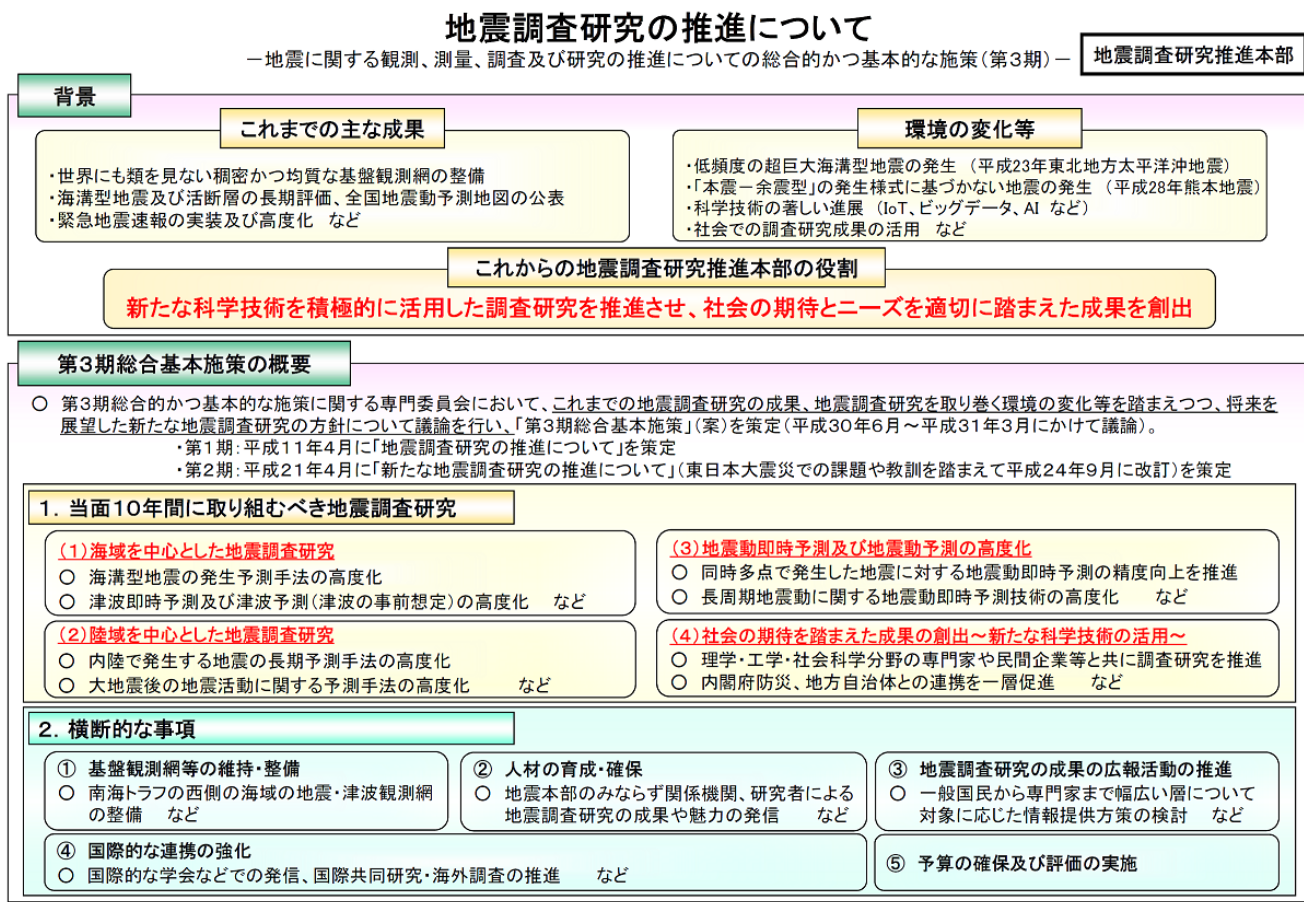


図1 「地震調査研究の推進について(第3期)」の概要(地震調査研究推進本部, 2019)

Room D | Special session | S23. Open data for seismology

[S23]AM-2

chairperson: Yasuyuki Kano (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Katsuhiko Shiomi (NIED),
Tadashi Ishikawa (Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard)

Tue. Sep 17, 2019 10:45 AM - 12:15 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S23-04] Construction and Utilization of a Database System on Offshore Active Faults around Japan for Earthquake and Tsunami Hazard Assessment

*Ayako Nakanishi¹, Hiromi Kamata¹, Narumi Takahashi^{1,2}, Shigeyoshi Tanaka¹, Hiroyuki Fujiwara², Tsuneo Ohsumi², Takahiko Inoue³, Tomoyuki Sato³, Yoshiyuki Kaneda^{1,2,4} (1. JAMSTEC, 2. NIED, 3. AIST, 4. Kagawa Univ.)

10:45 AM - 11:00 AM

[S23-05] Assignment of DOIs to NIED MOWLAS data

*Katsuhiko SHIOMI¹, Naotaka YAMAMOTO CHIKASADA¹, Shin AOI¹, Narumi TAKAHASHI¹, Youichi ASANO¹, Takeshi KIMURA¹, Takashi KUNUGI¹, Hideki Ueda¹, Kenji UEHIRA¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

11:00 AM - 11:15 AM

[S23-06] Development of a data sharing system in the field of volcanology

*Hideki Ueda¹, Taishi Yamada¹, Takanori Matsuzawa¹, Takahiro Miwa¹, Masashi Nagai¹ (1. NIED)

11:15 AM - 11:30 AM

[S23-07] Introduction of the Groundwater, Strain and Seismograph Display System "Well Web"

*Norio Matsumoto¹ (1. Geological Survey of Japan, AIST)

11:30 AM - 11:45 AM

[S23-08] Data journals for publication and management of observation data: A case of GNSS-A seafloor geodesy

*Tadashi Ishikawa¹, Yusuke Yokota², Shun-ichi Watanabe¹ (1. Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard, 2. Institute of Industrial Science, The University of Tokyo)

11:45 AM - 12:00 PM

[S23-09] Activity of "Slow Earthquake Database"

*Takanori Matsuzawa¹, Masayuki Kano², Yusaku Takaka³, Naofumi Aso⁴, Satoshi Ide³, Kazushige Obara³ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Tohoku Univ., 3. Univ. of Tokyo, 4. Tokyo Institute of Technology)

12:00 PM - 12:15 PM

Construction and Utilization of a Database System on Offshore Active Faults around Japan for Earthquake and Tsunami Hazard Assessment

*Ayako Nakanishi¹, Hiromi Kamata¹, Narumi Takahashi^{1,2}, Shigeyoshi Tanaka¹, Hiroyuki Fujiwara², Tsuneo Ohsumi², Takahiko Inoue³, Tomoyuki Sato³, Yoshiyuki Kaneda^{1,2,4}

1. JAMSTEC, 2. NIED, 3. AIST, 4. Kagawa Univ.

JAMSTEC海域地震火山部門 地震発生帯研究センター 海域断層情報総合評価グループは平成25年度より、文部科学省による科学技術基礎調査等委託事業「海域における断層情報総合評価プロジェクト」を受託している。本プロジェクトでは、国・地方自治体、公的機関等への情報提供、および各機関による防災・減災対策の促進に繋がるデータベースとしての利活用を目的として、これまで日本海・南西諸島海域・伊豆小笠原諸島海域・南海トラフ海域における活断層情報等を取り纏め、地震・津波ハザード評価のための基礎資料を作成している。本プロジェクトは、サブテーマ1「海域断層に関する既往調査結果の収集及び海域断層データベースの構築」、サブテーマ2「海域における既往探査データ等の解析及び統一的断層解釈」、サブテーマ3「海域における断層モデルの構築」を業務の基本構成とする。

サブテーマ1では、様々な機関が保有する地震探査データや海底地形データ、速度情報等を収集し、それらを一元的に管理・登録するとともに、断層解釈結果や速度構造モデル、断層モデルなど、サブテーマ2・3から得られた成果も登録・閲覧できるデータベースを構築した。サブテーマ2では、サブテーマ1で収集した反射法探査データを統一的かつ最新の処理手法で再解析し、反射断面深部イメージングの品質向上を図った上で、統一的評価基準に基づき、断層の同定と空間分布を解釈した。また、3次元速度構造モデルを構築し、解釈断層を深度変換し、断層カタログを作成した。サブテーマ3では、サブテーマ2の成果である断層カタログから空間分布の大きい主断層について断層モデルを作成し、一部海域では地震動と津波のシミュレーションを実施し、モデルの妥当性を検証した。

本プロジェクトは今年度が7カ年計画の最終年度に当たり、海域断層データベースの構築も大詰めを迎えており、現在、収集した既往データや解釈・解析結果の登録とともにデータ閲覧機能の充実を図っているところである。また、昨年度より、文部科学省地震調査推進本部所管の海域活断層評価手法等検討分科会において本データベースが試験運用されており、同分科会へ情報提供を行いながら、来年度以降の本格運用を見据えたシステム環境整備や利活用に対する問題点の洗い出しを行っている。

本プロジェクトの成果物である海域断層データベースについては、積極的な情報提供と防災・減災対策への貢献の必要性を鑑みれば、対象は公共性・公益性の高い内容の検討に必要とされる案件に限定されるものの「公開」するのが基本的考えである。しかしながら、本プロジェクトで収集したデータは民間会社を含めた様々な機関から提供された、また借用したものであり、公開にあたってはある程度の制約がある。従って、試験運用中のデータベースは、現在限定的な使用に限られている。今後の運用に向けて、対象となる利用者や公開するデータの設定や取り扱いについて、慎重に検討する必要がある。さらに、JAMSTECや産総研などから、本データベースの元となったデータが部分的ではあるものの既に公開されていることから、データの権利・責任の所在などを明確にするなどの課題もある。

本発表では、海域断層データベースの概要とその運用・利活用時における課題について紹介し、最後に本データベースの今後の展開とJAMSTECの地震研究業務において期待される波及効果について触れる。

Assignment of DOIs to NIED MOWLAS data

*Katsuhiko SHIOMI¹, Naotaka YAMAMOTO CHIKASADA¹, Shin AOI¹, Narumi TAKAHASHI¹,
Youichi ASANO¹, Takeshi KIMURA¹, Takashi KUNUGI¹, Hideki Ueda¹, Kenji UEHIRA¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

1995年に発生した阪神・淡路大震災を契機として設置された地震調査研究推進本部により、1997年8月に「地震に関する基盤的調査観測計画」が取りまとめられた。本計画では、地震観測、地震動（強震）観測を含む基盤的調査観測の基本的な考え方が示されたほか、「基盤的調査観測等の結果は、公開することを原則とし、円滑な流通を図るよう努めるものとする」と明記された。防災科学技術研究所（防災科研）では、この計画に基づいて整備されたHi-netやKiK-net等に加え、その後に整備が進んだV-netやS-net, DONETを含めた陸海統合地震津波火山観測網MOWLASの運用管理を行うとともに、MOWLASで得られた観測波形データの流通・公開の責を担っている。これらの観測網による観測データは、日本の地震津波火山防災に不可欠なデータとして広く活用されている。しかし、日本全国を対象とした観測網を将来にわたって維持し、データ公開を継続するためには、公開されたデータの利用状況や用途を把握し、その有用性を客観的に示すことが極めて重要となっている。防災科研では、観測データの利用状況を把握することを目的として、観測データダウンロードを希望するユーザーにIDの登録を依頼するとともに、データ利用により得られた成果（またはその概要）を報告して頂くことをお願いしている。これまでに多くの利用実績の報告を頂いているが、このような受動的な調査では、収集出来る情報に限界があるのも事実である。

一方、学術雑誌等の研究発表の場において、解析に使用したデータや解析結果を第三者が利用可能となるようデータを公開すること、あるいはその取得方法を明記することを求める傾向が強まっている。防災科研のウェブサイトで公表している観測データについても、多くの利用者が長期に亘って参照しやすい環境を整えることが重要となる。

防災科研では、2017年度後半より、防災科研が発行する出版物や公開するデータにDOI（Digital Object Identifiers；デジタルオブジェクト識別子）を付与するための全所的な取り組みが始まった。MOWLASを構成する各観測網データに対しては、2018年度中にDOIの付与を完了した。DOIの登録に際しては、観測データの国際的な利用を念頭に、DataCiteが管理するDOIをJaLC（ジャパンリンクセンター）経由で付与する形式を採用した。DOIは永続的に使用するデジタル識別子であり、DOIからアクセス可能なランディングページを構築する。ランディングページには、文献やデータに関する基本的な情報（メタデータ）と文献やデータそのもの（あるいは公開ページへのリンク）を記載する。ランディングページを適切に管理することで、公開ページのURLを変更しても、ユーザーは容易に当該ページにたどり着くことが出来る。近い将来には、出版された論文等に掲載されているDOIを逆引きすることにより、MOWLAS観測データの利用統計が能動的に取得できるようになることが期待されている。この情報は、観測網の利用価値を客観的に評価する指標として重要な位置を占めることを期待している。

今後、論文等で観測データを利用される際には、是非、観測網のDOIを記述頂きたい。一方、DOIによる利用統計の逆引きの実現にはもう少し時間を要する見込みである。また、DOIですべての利用状況を網羅出来るものではない。観測データを利用された際には、引き続き成果を防災科研まで報告頂けるよう、御協力をお願いしたい。

防災科研Hi-net（NIED Hi-net） <https://doi.org/10.17598/NIED.0003>

防災科研K-NET, KiK-net（NIED K-NET, KiK-net） <https://doi.org/10.17598/NIED.0004>

防災科研F-net (NIED F-net) <https://doi.org/10.17598/NIED.0005>
防災科研V-net (NIED V-net) <https://doi.org/10.17598/NIED.0006>
防災科研S-net (NIED S-net) <https://doi.org/10.17598/NIED.0007>
防災科研DONET (NIED DONET) <https://doi.org/10.17598/NIED.0008>
防災科研 陸海統合地震津波火山観測網 (NIED MOWLAS) <https://doi.org/10.17598/NIED.0009>

Development of a data sharing system in the field of volcanology

*Hideki Ueda¹, Taishi Yamada¹, Takanori Matsuzawa¹, Takahiro Miwa¹, Masashi Nagai¹

1. NIED

<はじめに>

防災科研は、文部科学省の次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト（以下、火山プロジェクト）において、火山分野におけるデータ共有の仕組み作りを進めている。本講演では、現在開発中のシステムと火山分野におけるデータ共有の動向について紹介する。

<JVDNシステム>

火山プロジェクトにおいて、関係機関の火山観測データをオンラインで一元化共有するJVDNシステムの運用を開始した（JVDNとは、Japan Volcanological Data Networkの略）。ポータルサイト (<https://jvdm.bosai.go.jp>) からアクセスできる。2019年7月末時点で、防災科研の火山観測データを公開している。今後、気象庁、国土地理院、大学等のデータの公開も進める予定である。

本システムでは、GIS画面で各火山観測点の情報を確認できるほか、地震波形画像、傾斜計、GNSSデータなどを表示できる。WINデータなどのデータを研究に利用したい場合は、観測機器を選んで、ダウンロードすることもできる。地震分野と異なる点は、地震計データだけでなく、GNSSデータ、火山ガス、画像などの複数種類のデータを扱っている点である。今後SARなどのリモートセンシングデータ、火山灰の降灰量調査結果、ボーリングコアの情報なども公開する予定である。

<火山分野におけるデータ共有の重要性>

本システムは、データの活用促進だけでなく、関係機関の連携強化や共同研究をより活性化することを目的としている。データ共有を通じた分野間・組織間の連携は、日本の火山研究において非常に重要な課題である。火山活動に伴って、地震だけでなく地殻変動、地磁気、火山ガスなど様々な観測項目に変化が現れる。火山現象を明らかにするためには、1つの観測項目だけでなく、複数項目のデータを総合的に分析することが必要である。JVDNシステムでは、複数項目のデータ共有を進め、可視化ツールで比較できるようになっている。さらに、日本は、諸外国と異なり火山監視と研究を行っている組織が複数に分かれており、連携して観測や研究を進めにくい構造的な問題を抱えている。JVDNシステムはそれらの問題の改善に貢献すると考えている。

<これまでの日本の火山分野におけるオープンデータの状況と課題>

重要であるにもかかわらず火山分野においてデータ共有が進んでこなかった理由には、他の分野と共通する問題の他、火山特有の問題も背景にあると考えている。その1つは、自分が研究対象としている火山のデータが得られれば研究できるため、データ共有の価値があまり理解されてこなかったことである。それぞれの火山観測所で研究を行うことは、個々の火山の個性や特徴を詳しく知ることができ、機器のメンテナンスや地域防災に貢献しやすいなど、メリットは大きい。しかし、個々の火山の研究は活火山が持つ普遍的特徴を見出しにくい。全国の火山のデータを共有することによって、火山が持つ普遍性が明らかになり、それによって火山への理解が深まるとともに、噴火予測にも貢献できると考える。

もう1つの理由は、火山観測点が過酷な環境に設置されていることが多く、故障したり様々な異常が含まれて

いたりする場合があるため、利用者が誤った使い方をするのではないかという懸念があるためである。例えば、傾斜計データには火山活動に伴う変化以外に、降雨や地震、原因不明の変化も含まれている。この問題に対しては、データ提供者が観測項目ごとに公開・非公開を切り替えられるようにし、さらにメンテナンス情報を記入できるようにした。また、ポータルサイトに火山観測データの利用上の注意を掲載している。

＜海外の動向＞

シンガポール南洋理工大学EOSでは2009年よりWOVOdatデータベースプロジェクトが進められており、国際的なデータ共有が進められている。しかし、まだ十分に進んでいないのが現状であり、集約されているのは生データではなく震源情報などの処理済みデータのみである。アメリカのUSGS、イタリアのINGV、EOSでは、データベースを活用して、統計的に噴火の推移予測を行うための研究が進められている。

＜今後の展望＞

火山分野におけるデータ共有の取り組みはまだ始まったばかりであるが、開発したJVDNシステムの利点やデータ共有の意義が理解されつつあると考えている。次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトは令和7年度まで続く予定である。今後、本システムをプラットフォームとして、分野間や組織間連携による共同研究や人材育成の成果が生まれてくるものと考えている。

Introduction of the Groundwater, Strain and Seismograph Display System "Well Web"

*Norio Matsumoto¹

1. Geological Survey of Japan, AIST

産業技術総合研究所では、地震予測の研究を目的として、1976年から東海地域で、1996年から近畿地域およびその周辺地域において、さらに2006年から南海トラフ沿いの愛知県から紀伊半島、四国にかけて、計50地点で地下水、歪、地震、気象等の観測を行っている。これらの最新データのグラフや関連情報、および各種会合資料を公開するために、「地震に関連する地下水観測データベース” Well Web”」(<https://gbank.gsj.jp/wellweb/GSJ/index.shtml>)を運用している。

Well Webの機能は①最新データ表示、②会合資料、③解説資料、④メンテナンス情報、⑤地震前後における地下水変化事例データベースと⑥ユーザデータ解析で構成される。

「最新データ表示システム」には、地下水・歪データ表示と地震データ・震源データ表示がある。地下水・歪データ表示とでは、表示したい観測井を選択した後に最新3ヶ月データが表示される。図の上の「期間を選択」の部分で同じ表示パターンでの期間を最新12日間と最新2年間表示に変更することができる。グラフは毎日1回自動で更新されている。

地震データ・震源データ表示では、「震源図表示」を選択すると気象庁一元化震源や深部低周波微動などの震源図を描くことができる。また、「連続波形表示」を選択すると、産総研の観測点で観測した地震波の連続波形を表示できる。

「会合資料」には産総研が南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会や地震予知連絡会に提出した資料をPDFで見ることができる。

「ユーザデータのBAYTAP/tpe/tper/mrar解析」では、産総研が解析に利用しているBAYTAP-G (Tamura et al., 1991) やtpe, tper, MRAR解析 (Matsumoto, 1992; Matsumoto et al., 2003) の解析方法を手持ちのデータに適用することができる。また、「ユーザデータの時系列解析」では、北川 (2005) で紹介されている時系列解析手法を手持ちのデータに適用することが可能である。

なお、Well Webでグラフ表示している地下水・気象データのデジタル値の多くの部分を今年度中に公開予定である。

Data journals for publication and management of observation data: A case of GNSS-A seafloor geodesy

*Tadashi Ishikawa¹, Yusuke Yokota², Shun-ichi Watanabe¹

1. Hydrographic and Oceanographic Department, Japan Coast Guard, 2. Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

GNSS-音響測距結合方式(GNSS-A)による海底地殻変動観測は、深海底における絶対位置座標を測定可能な唯一の技術であり、海溝型地震の震源域直上の海底における地殻変動を直接検出できる技術として地震学上重要な役割を担う。海上保安庁は、日本海溝や南海トラフ周辺海域において海底地殻変動観測点を展開し、GNSS-A観測を継続的に行っている。これまでに、海洋プレートの沈み込みに伴う変動(e.g. Fujita et al. 2006, Sato et al. 2013, Yokota et al. 2016)、地震時の変動(e.g. Matsumoto et al. 2006, Sato et al. 2011)、地震後の余効変動(e.g. Watanabe et al. 2014)などを捉えることに成功している。

これらの観測成果は、モデル研究などの分野において広く活用されているが、その際の成果の引用は、例えば、南海トラフであればYokota et al. (2016)、東北沖地震の余効変動であればWatanabe et al. (2014)、といったように個別の論文を引用する形となることが多い。一方で、観測は論文出版以降も継続的に実施しており、新たなデータが随時追加されている。更新された結果は、webサイト上でデータを公開するとともに地震調査委員会等の関連会議の場で定期的に公表している。しかしながら、学術論文に使用するには、データの取得手法や質が明確でないなど、使い勝手が良いとは言えず、それら最新のデータが論文に引用されることは少ない。また、資料やwebサイトによる引用は、引用件数の把握など、成果の管理の点からも、適切な方法であるとは言い難い。

これまでは、観測成果を査読付きの論文として発表するには、観測結果のみでは不十分であり、結果の解釈やモデル化等の研究が必須であった。そのため、観測データが更新されても、それに関する新たな研究がない限り、更新されたデータを査読付きの成果として発表することができなかった。また、研究部分の成果の創出に時間がかかり、その結果観測データが世に出ることが遅れるという問題も発生しうる。

近年、データそのものの重要性に着目し、研究とデータを分離し、データのみを査読付きの論文として発表する仕組みであるデータジャーナルが発刊されるようになった(図)。そこで、我々のグループでは、観測データをより適切に使い易い形で公開することを目指し、GNSS-A観測で得られる海底観測局の位置座標データの時系列をデータジャーナル誌から発表することにした(Yokota et al. 2018, Scientific Data)。査読は、データの中身の重要性や新規性ではなく、データを生産した手段・手法の解説やデータの精度や妥当性に関する科学的な検証、データの使用手法など、第三者がデータを適切に使用するための記述が適切になされているかに重きが置かれる。なお、データと研究を分けて考えるため、(雑誌にもよるが)新たな科学的知見をもたらすことを目的とした事柄については、基本的に記述してはいけないことになっており、この点が、従来の学術論文とは異なる哲学となる。データをデータジャーナルとして出版することにより、データの引用は識別子(DOI)が付いた論文を引用するという形で適切に管理されることが期待される。また、観測を実施したこと自体が査読付の成果となることは、観測を主体とする機関としては、望ましい形式であるといえる。

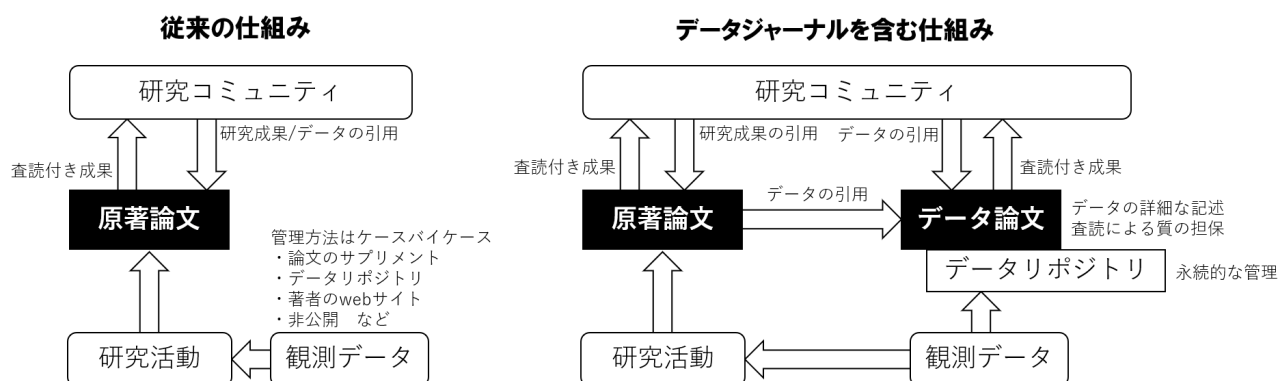
データジャーナルでは、基本的にデータが個人や所属組織のwebサイト等ではなく、適切なりポジトリにおいて管理されていることを条件としている。ここで適切なりポジトリとは、データベース管理の永続性が担保されていることや、登録データにDOIのような永続的な識別子が付与される機能を有することなどの条件をクリアしたものである。固体地球の分野でScientific Data誌が推奨するリポジトリは少なく、今回我々のグループでは、試みとしてドイツのPANGAEAという地球科学データベースにデータを登録した(doi:10.1594/PANGAEA.885139)。

なお、今回我々のグループがScientific Data誌に発表したのは、2017年中頃までの観測データであり、当初の問題である新たに追加されるデータを、どう発表・出版していくかについては、未だ検討段階である。地殻変動観測に限らず、地球科学においては日々更新されるタイプの観測データが多く存在するが、こうした時系列データの出版の方法についての確たる枠組みは構築されていないようで、この分野における適切な手法を検討していくことが必要になると思われる。

参考文献：

Yokota, Y., T. Ishikawa and S. Watanabe (2018): Seafloor crustal deformation data along the subduction zones around Japan obtained by GNSS-A observations, Scientific Data, 5:180182, doi:10.1038/sdata.2018.182.

Yokota, Y., T. Ishikawa, S. Watanabe (2018): Original data of seafloor crustal deformation along the subduction zones around Japanese Islands, PANGAEA, doi:10.1594/PANGAEA.885139.



図：データジャーナルによる研究成果とデータの利用体制。

(地球電磁気・地球惑星圏学会(2013), “地球電磁気学・地球惑星圏科学の現状と将来”の図4.3.2を基に作成)

Activity of "Slow Earthquake Database"

*Takanori Matsuzawa¹, Masayuki Kano², Yusaku Takaka³, Naofumi Aso⁴, Satoshi Ide³, Kazushige Obara³

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Tohoku Univ., 3. Univ. of Tokyo, 4. Tokyo Institute of Technology

科学研究費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型）「スロー地震学」ではカタログ班を設け、国内外で構築されているスロー地震のカタログを集約し、標準化されたフォーマットでのカタログを提供し、カタログの可視化機能も備えた英語版ウェブサイト”Slow Earthquake Database”（「スロー地震データベース」, <http://www-solid.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~sloweq/>）を構築、運用している。本講演では、この取り組みについて紹介する。

○スロー地震データベースの目指すもの

スロー地震はその時定数から、低周波地震・微動、超低周波地震、スロースリップイベント(SSE)に分類されるが、同規模の通常の地震に比べて時定数の長いゆっくりとした断層すべり現象としての統合的な見方も重要である。Obara (2002)による深部低周波微動の発見を端緒として、国内外の研究者により種々のスロー地震のイベントカタログが得られている。これらのカタログを利用するには、論文やリポジトリ、公開ページ等にアクセスしてデータを取得し、フォーマット変換を行うといった作業が各々の研究者に必要となる。こうした労力は、スロー地震カタログを利用した研究や議論の敷居を高める要因となる。

スロー地震データベースは、研究者が利用しやすい形でのカタログの集約と標準化、簡易な可視化機能を提供することにより、国際的にスロー地震に関連した研究を盛り立て、より広い分野へスロー地震研究の成果が浸透することを目指し公開された。さらにこうした活動を通じて、世界の同研究コミュニティを牽引する中核的な役割を担うことも目指している。

○スロー地震データベースの公開・運用

ウェブサイトの構築に先立ち、「スロー地震学」は、スロー地震の解析をしている国内の研究者に対し、プロジェクトに関わらず広く呼びかけて2回の研究集会を開催するとともに、情報交換・議論用のメーリングリストを作成した。こうしたコミュニティにおいて、スロー地震データベースのあり方やフォーマットの標準化に関する議論を行った。

これを基に「スロー地震データベース」は2017年12月に公開された。本データベースの“Map+DL”ページからは、ユーザーが指定した期間・場所・種類のスロー地震の発生状況を時間・カタログ・発生深度別に色分けして地図上に表示したり、標準化されたフォーマット（あるいはユーザー指定のフォーマット）でカタログをダウンロードしたりすることが可能である。カタログ提供者が了承した場合には、“Originals”ページにて元データも提供される。これらのカタログは利用規約のもと、論文等で利用することが可能である。公開当初のカタログ数は29であったが、2019年7月現在では46まで増えている。なお本データベースは、世界的な位置づけを狙うとともに、原論文を理解できる研究者向けであるため、ページ作成や運用の労力を軽減する観点から、英語ページのみとしている。

本データベースについては、Seismological Research Letters 誌のData Mineに投稿し、論文として出版されており(Kano, Aso, et al., 2018)、カタログ利用の際には、カタログ提供者の指定した論文および上記論文の引用が求められる。本論文は、2019年7月現在、少なくとも7編の査読付き論文に引用されている。

本データベースの利用規約は、全カタログに関する“General Policy”と個々のカタログに関する“Individual Policy”の二つからなる。“General Policy”では、前述の論文の引用の他、“Individual Policy”の順守、自己責任での利用、データ更新の可能性、プロジェクトへの謝辞、商用利用の不可、再配布の不可について規定している。

○おわりに

本データベースが広く活用されるためには、長期の安定した運用が重要である。本データベースは、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）」の課題の一部に位置付けられており、科研費課題の終了後もデータベースとして継続できる見込みであるが、運用に係る人件費等の大幅減に対応するため、作業の省力化を現在進めている。ただし、フォーマットの標準化においては、SSEの時空間すべり発展など、課題が残っている。ウェブサイトについても、表示数が増えた場合の操作性などの既存の課題とともに、随時の問題対応が必要である。こうしたことから、現科研費課題のような大きな研究計画への申請も検討していく予定である。

スロー地震データベースは、論文等の成果によるカタログのオリジナルの公開場所としての、単なるレポジトリを目指すものではない。研究者のコミュニティに根差し、フォーマットの標準化や可視化機能の提供などを通じて、様々なカタログの横断的な利用を国内外で促進することに、大きな意義があると考えている。

Room D | Special session | S23. Open data for seismology

[S23]PM-1

chairperson: Yasuyuki Kano (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Katsuhiko Shiomi (NIED), Hiroshi Tsuruoka (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

Tue. Sep 17, 2019 1:30 PM - 3:00 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S23-10] Archive and publication of marine seismic data by JAMSTEC

*Tetsuo No¹, Ayako Nakanishi¹, Kaoru Takizawa², Yuka Kaiho¹, Yasuyuki Nakamura¹, Gou Fujie¹, Seiichi Miura¹, Koichiro Obana¹, Shuichi Kodaira¹ (1. JAMSTEC, 2. Nippon Marine Enterprises)
1:30 PM - 1:45 PM

[S23-11] How JAMSTEC handles data and samples obtained by JAMSTEC's facilities

*Seiji Tsuboi¹, Chizuru Saito¹, Kazuyo Fukuda¹ (1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)
1:45 PM - 2:00 PM

[S23-12] A review of data management for polar sciences in Japan

*Masaki Kanao¹ (1. Research Organization of Information and Systems)
2:00 PM - 2:15 PM

[S23-13] Utilization of earthquake catalog data

*Hiroshi Tsuruoka¹ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)
2:15 PM - 2:30 PM

[S23-14] Data usage by non-specialists through mobile apps

*Kentaro Emoto¹ (1. Graduate School of Science, Tohoku University)
2:30 PM - 2:45 PM

[S23-15] Open data will be abused by (dubious) earthquake predictions

*Mamoru Kato¹ (1. GS Human and Environmental Studies, Kyoto Univ.)
2:45 PM - 3:00 PM

Archive and publication of marine seismic data by JAMSTEC

*Tetsuo No¹, Ayako Nakanishi¹, Kaoru Takizawa², Yuka Kaiho¹, Yasuyuki Nakamura¹, Gou Fujie¹, Seiichi Miura¹, Koichiro Obana¹, Shuichi Kodaira¹

1. JAMSTEC, 2. Nippon Marine Enterprises

海洋研究開発機構（JAMSTEC）では、1997年に深海調査研究船「かいれい」が竣工されてから本格的にマルチチャンネル反射法地震（MCS）探査や自己浮上型海底地震計（OBS）を用いた地震探査・自然地震観測による地殻構造研究を実施してきた（e.g., 小平, 2009, 地震2）。

JAMSTECの地殻構造探査は、年度毎の予算動向によって大きく変化するため、必ずしも測線数や実施航海数が年々増加しているというわけではないが、1測線あたりのデータ容量は10年前や20年前と比較すると明らかに増加している。それは、地震探査システムの高度化、コンピューティングの進展、ハードディスクの大容量化・低価格化などによって、受振チャンネル数・サンプリングレート・記録長が増加したことによる。また、OBSに関しても、1997年当初は十数台を使った観測であったが、現在は100台以上を用いる観測も特別ではなくなった。したがって、年々累積していくデータを消失させることなく、長期的に維持・管理することは重要な課題の1つであるため、得られたデータはJAMSTEC横浜研究所内のデータ保管室やサーバー上のハードディスクに保管し、定期的にバックアップを取っている。さらに、バックアップデータを収録したメディア形式は同じ横浜研究所のみではなく、大災害等に備えたデータの遠隔地バックアップとして沖縄県名護市にあるJAMSTEC国際海洋環境情報センターにも保管している。

一方、データを用いた解析・研究は、担当している研究員が責任を持って進めて成果発表しているが、データそのものはJAMSTECの中で定めている「データ・サンプルの取り扱いに関する基本方針」に則って原則的に公開している。その一環として、2004年から「地殻構造探査データベースサイト」（www.jamstec.go.jp/obs/mcs_db/j/）というWebを開設し、取得されたデータや調査航海の詳細情報を記載し、データ自体はオフラインではあるが、データに関する問い合わせや利用申請に対応している（Kido et al. 2006, JAMSTEC-R）。

大まかではあるが、以上のようにJAMSTECでは地殻構造探査データのアーカイブと公開を進めているが、現状多くの課題がある。

1つはフォーマットの問題である。地殻構造探査で扱う波形データや測位データはSEG（アメリカ物理探査学会）による“SEG Technical Standards”で定めたフォーマットによって出力されており、解析や解釈で用いているソフトウェアはそれらのフォーマットが扱える仕様となっている。したがって、今後も多くのフォーマットに対応したソフトウェアとそれをインストールしているハードウェアを維持・管理し続けることは重要になるが、長期的な視点で考えるとその時代に合ったフォーマットへ変換していくことは大きな課題である。2つ目はデータの品質管理の問題である。データ取得方法やデータ処理方法は年々多様化してきている。また、調査実施した年度・時期、調査を実施した船舶、データ取得システムの仕様や状態、データ処理・解析方法によって品質は大きく異なり、さらに調査や解析を担当した研究員・技術員による違いもある。これらについて、どのように整理していくかも課題である。3つ目はデータを保管する媒体の問題である。データを収録している媒体の劣化も非常に大きい問題で、媒体の劣化をどのようにチェックし、媒体を読み込むためのデバイスの維持、バックアップや新しい媒体への移行のタイミングも課題である。4つ目は、予算・人材・時間の確保の問題である。現時点では地殻構造探査データの公開やアーカイブのための専任の人員がおらず、予算も非常に限られている。データの公開やアーカイブに関する重要性について否定する人はほとんどいない一方、専任の人材や予算を確保しようという動きにならない。そういう意味では少人数でできるようなシステムの効率化を図ることが1つの解決策になるが、容易なことではない。以上の4つの事例以外に

も、データポリシーやデータDOI付与への問題など課題は数多い。

課題は多いが、地殻構造探査データのアーカイブと公開の重要性は年々増している。例えば、地殻構造探査データの利用や研究の裾野を広げ、新たな解析手法による新しい地殻構造イメージング (e.g., Kamei et al. 2012, EPSL) や地震前後のTime lapse解析による構造変化の抽出 (e.g., Landrø et al. 2019, IJGGC) などデータ取得を行った当時には想定していなかった研究も展開されている。さらに、観測や解析の担当者の異動や退職のリスクに対してもアーカイブの維持・継承は重要になっている。

How JAMSTEC handles data and samples obtained by JAMSTEC's facilities

*Seiji Tsuboi¹, Chizuru Saito¹, Kazuyo Fukuda¹

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

海洋研究開発機構では、機構の調査船等が調査観測航海で取得したデータ・サンプルについて、機構の「データ・サンプルの取り扱いに関する基本方針（データポリシー）」を2007年に制定し、このポリシーに関連する諸規程に従い継続的に収集・保管・品質管理・公開（提供）を実施している（http://www.jamstec.go.jp/j/database/data_policy.html）。このポリシーでは、機構の施設で取得されたデータ・サンプルは「人類共有の財産であり、研究・教育などの利用のために広く公開され、将来にわたって世界中で活用されることが重要」であると述べられている。このために、機構では「機構の施設・設備等を利用して取得されたデータ・サンプルは、特別な取り決めがある場合を除き、機構に帰属」と定義しており、これにより、専門のデータ管理部門がデータ管理公開を行う体制が構築されている。

機構の船舶や潜水船による航海や潜航調査で取得したデータ・サンプルは、機構内の規定類で定められた公開猶予期間を経た後に公開される。その際に、国連海洋法条約や、外部資金による研究計画などに基づいた特別な契約の有無などに基づいて公開の可否を検討し、公開可能と判断されたものを、このようなデータの統合サイトである「JAMSTEC航海・潜航データ探索システム（DARWIN）」から公開している。公開済みの航海数は、2019年1月末で1,929航海に、潜航数は5,961潜航となっている。2019年1月末の公開済みのデータ件数は13,914件である。サンプルについては、岩石サンプルのメタデータ、堆積物コアサンプル、生物サンプルを合わせた公開数が約69,384件となっている。

機構が保有する潜水調査船や無人探査機により取得された膨大な数の深海の映像や画像は「深海映像・画像アーカイブス（J-EDI）」で公開されている。公開している映像の総時間は約38,000時間(平成30年度末時点)、公開している画像の総枚数は約150万枚(平成30年度末時点)となっている。公開している映像や画像は、公開猶予期間を経過したものであり、映像や画像とともに撮影場所、撮影内容(生物名や事象)、調査内容などの詳細な情報も公開している。深海映像・画像アーカイブスでは、新規の深海映像画像の分類作業を継続的に実施しており、また深海に存在するデブリが映る映像画像に注目して詳細な分類作業を行ない「深海デブリデータベース」として公開も行っている。深海デブリデータベース内のデータを用いて論文化したことにより、UNEPサイトで引用されるなど、世界的にも話題となっている。

機構が公開するデータの将来的な利用促進とオープンサイエンスの取組として、調査航海で得られたデータセットに対するデジタルオブジェクト識別子(Digital Object identifier : DOI)の付与の環境を整備し、DOI付与を開始するとともに、研究者が持つデータセットへの展開に向けて研究者の状況把握と対応検討を進めている。

A review of data management for polar sciences in Japan

*Masaki Kanao¹

1. Research Organization of Information and Systems

Diverse data accumulated by many science disciplines in polar regions make up the most significant legacy of the International Polar Year (IPY2007-2008). The Polar Data Center (PDC) of the National Institute of Polar Research (NIPR), followed by the Polar Environment Data Science Center (PEDSC) of the Joint Support-Center for Data Science Research (DS) since 2016 have responsibility to manage these multi-disciplinary polar data in Japan as a National Antarctic Data Center (NADC). The data policy of PDC/PEDSC was established in February 2007, based on the requirements of the Standing Committee on Antarctic Data Management (SCADM) of the Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR). During the IPY, a significant number of metadata records were compiled from IPY- endorsed projects. A tight collaboration has been established between the Global Change Master Directory (GCMD), the Polar Information Commons (PIC), and the newly established World Data System (WDS). In this presentation, a decade of history of polar data management is demonstrated, in particular focusing on several database of PEDSC, international collaboration among global data bodies and initiatives, data publication and citation, as well as data journal issues (Polar Data Journal). Linkages of data sharing among Asian Forum for Polar Sciences (AFoPS) countries, moreover, should be promoted by the involved countries in near future.

Utilization of earthquake catalog data

*Hiroshi Tsuruoka¹

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

地震研究所地震火山情報センターでは、TSEISなるWebアプリケーションを開発し、気象庁一元化震源をはじめ、ISCカタログなど種々の震源カタログを提供している。このアプリケーションでは、時間、領域、マグニチュード等で検索ができ、震央表示、断面図表示、M-T図、地震数積算図、規模別頻度分布図などの出力機能を有する他リスト出力もでき研究者だけでなく地震活動に興味がある一般の方からも利用されている。このアプリについては、もともとはUNIXにおいて開発されたツールをWeb対応させたアプリケーションである。アプリケーションの提供を維持するために様々な対応を行っている。

1)UNIX以外で利用可能となるようマルチプラットフォーム化

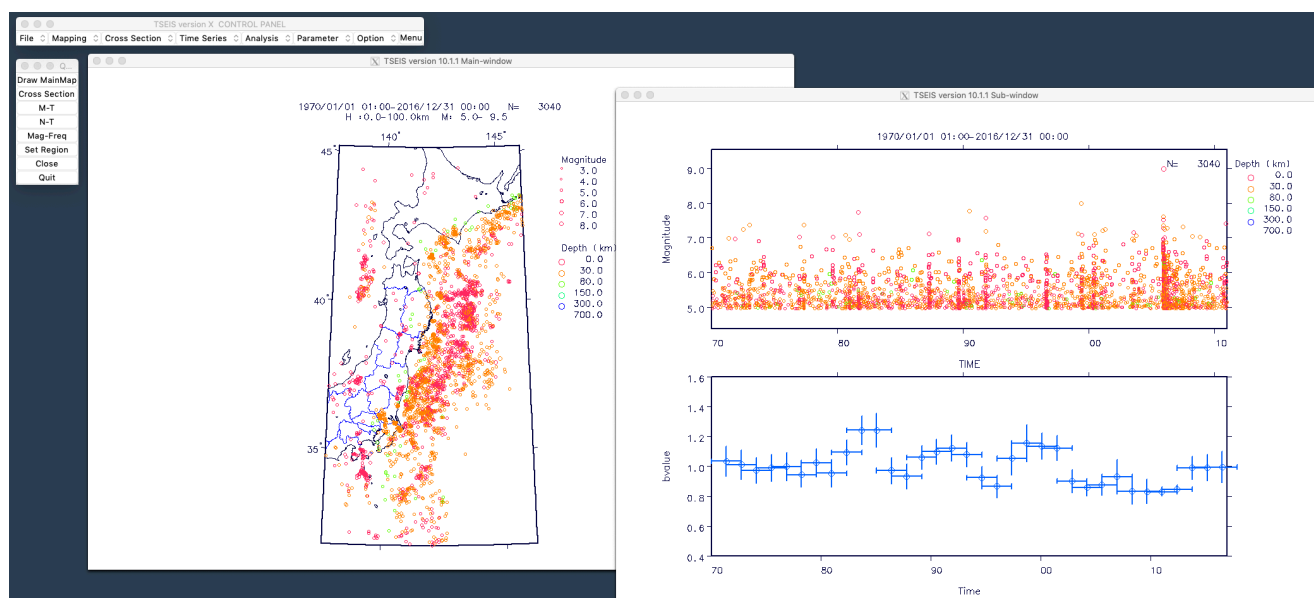
2)商用のソフトウェアに依存しない開発環境の選択

3)特定のデータライブラリ等を利用しない

4)アプリケーション内で利用する共通フォーマット

1)の対応にあたり、コンパイラ環境はGNUコンパイラコレクション(GCC)を採用した。もちろん昨今であればPythonなどの言語も候補にあがると思われるが、今後10年利用できるのかは判断が困難である。一方、C言語、Fortran言語はプログラムの資産も多いので今後も対応すると思われる。2)については例えば、機能が豊富なMatlab等を採用することによりコーディングの量は格段に減るがMatlab本体のバージョンアップによりその対応がほぼ毎年発生するだけでなくこのツールの維持のためのライセンス量が負担になることが多い。3)についてはこれまでnetCDFというかなり汎用的に利用されているデータライブラリを利用してきたが計算機の向上によりアスキーデータの入力でも問題がなくなったことなどがあり使用しないことにした。4)については各震源カタログのフォーマットはデータソース機関毎に異なっており、それぞれのフォーマットを読み込むようにするという対応ではなく内部的な共通フォーマットに変換してそのデータを読み込むようにしている。

地震活動解析ツールについては、地震活動解析ルーチンの拡充が重要であるが、現在ベータバージョンを開発中である(図)。本来であれば開発チームを作成することにより開発時間が短縮できると思われるが、少しずつ充実を図っている。また、今後はwebAPIを策定するなども検討している。



Data usage by non-specialists through mobile apps

*Kentaro Emoto¹

1. Graduate School of Science, Tohoku University

地震学におけるデータは、震源位置やマグニチュードといった地震学を専門としていない一般の人々にも馴染みのあるものから、ある観測点での地震動記録といった専門家向けの解析用のものまで様々である。特に地震動記録は、データのフォーマットも地震学者コミュニティにおける独自のものが採用されていることが多く、非専門家では波形を表示することも難しい。このような専門データの一般からのニーズは高くないと思われるが、専門家が波形の切り出しやフィルタリングを行い、要点を抜き出した上で画像として一般向けに発信されることもある。一方、震源情報といったニュースで広く馴染みのある情報ですら、その地震が話題となっている場合以外は、非専門家がすぐにアクセスすることは難しい。まず、どの機関がどのように公開しているかを調べ、webで公開されている場合には数値データをダウンロードする必要がある。震源情報のデータファイルのフォーマットは、比較的わかりやすい場合が多いが、膨大な情報の中から知りたい情報を抽出する手間が生じる。つまり、非専門家では地震学で観測されるデータをすぐに扱うことはできない。このようなことは、地震学だけに限ったことではないが、インターネットが普及し、膨大な情報を得られる現在の社会において、地震学のデータもより多くの人に利用可能な状態であることが望まれる。

我々は、震源分布を視覚的にわかりやすく表示するためのモバイル端末アプリを作成した（江本・他、2019）。このアプリはApple社のiPhoneやiPad上で動作するiOSを対象とし、AppStoreから無償でダウンロードすることが可能である。このアプリでは、日本列島周辺で発生する地震活動を3次元的に表示することが可能である。日本列島の地形や海底地形、太平洋プレートやフィリピン海プレート形状も震源分布同様に3次元表示することで、プレートの沈み込みと地震活動の関係を一目で把握することが可能である。アプリ内にはあらかじめサンプルデータとして、2週間分の震源カタログが含まれるが、防災科学技術研究所のアカウントを利用することで、10年前から1日前までの期間のカタログを追加ダウンロードすることができる仕様とした。表示する震源の期間やマグニチュードはユーザーが設定することができる。Webアプリやマルチプラットフォームのアプリケーションではなく、特定の端末を対象とし、性能を重視することで、1ヶ月分の地震（約18,000個）を表示しても滑らかな動作を実現している。

本アプリは、地震学に興味を持つ幅広いユーザを対象とし、非専門家でも気軽に震源分布に触れる機会が増えることを期待している。日本は毎日のように有感地震が発生しているため、テレビや新聞で地震の情報に触れる機会は多い。しかし、震源分布を自分自身で描画するには、カタログのダウンロードやデータの加工、描画ソフトにおけるスクリプトの作成といった、やや手間のかかる作業が必要である。本アプリはそのような手間をなくし、普段から地震活動に触れる機会を増やし、地震に対する興味と理解を深めることで、普段からの地震災害への備えにつながることを期待している。また、本アプリは、中学校や高等学校において、地震活動とプレートとの関係や、自分の住む場所における普段からの地震活動を把握する際の教材となることが期待される。

本発表では、既に公開済みの3次元震源分布表示アプリを中心とし、モバイル端末アプリにより、地震学のデータを非専門家に届けることの可能性を議論する。

Open data will be abused by (dubious) earthquake predictions

*Mamoru Kato¹

1. GS Human and Environmental Studies, Kyoto Univ.

データ公開はデータが使われる機会を増やす。ただし不幸な使われ方を事前に想定して対策していることが望ましい。データ公開はアウトリーチ活動でもあると位置付けるのがよいだろう。

科学研究で取得されたデータを公開する最大の目的はその利活用である。地震学では新しいデータが新しい分野を拓くということを繰り返してきた。データの使用者が増えることはデータ公開の最大の目的であろう。

では、公開されたデータを使うのは誰だろうか。地震学会の会員は1800人程度で、継続的に公開データにアクセスするのはこの一部である。これに対し、ネット利用者かつ地震に関心を持つ人は桁で数が多いだろう。公開データを目にする人の大半は非専門家である。非専門家が地球惑星科学のデータに関心をもつ理由のひとつが地震の予知・予測である。地震への不安がこの関心を生んでいるであろう。社会では宏観前兆現象への関心は高い。信頼性の高いデータが自由に使えるとなればそれを用いて地震予知・予測を試みる人は出てくるだろう。これは地磁気観測などの1次データであっても、震源情報などの2次データであっても、同じである。

データを用いて地震前兆現象に関する自説を検証することは健全な科学であり、これを妨げる必要はない。一方、不健全な使われ方をされた場合、どこで誰がどのような地震予知・予測情報を発信しているかをデータ公開者が網羅的に知ることは難しい。元となるデータの信頼性はその予知・予測の確実性を保証するものではないが誤解は生じやすい。小さな地震は数が多く、ランダムな予測でも一定の割合で成功することも問題を難しくする。

このような状況から生じる混乱を最低限に抑える一つの手段は、データ公開サイドが非専門家のアクセスを前提とし、データの「素性」の解説を事前に用意することである。データ公開を地震科学の広報の一手段であると扱い、初心者にもその価値が分かるような説明をすることが好ましい。どのような観測をして得たか、どのように用いるのか、どのような研究成果につながっているのかを紹介することは、その観測とデータ公開を継続するため応援団を作る作業にもつながる。これは初めてデータを使う人にとっても有益な情報である。例えば、高校科学部が研究に用いるケースを想定して、使い方や注意点などのチュートリアルを公開することが考えられる。このような準備は健全なデータの利活用を促すこととなるだろう。データ公開に至るフローやデータが意味するものを知る機会を提供ことをアウトリーチであると位置づけることもできるだろう。

発表では、データ公開に関して何を想定するべきか、を実際に公開データが（地球科学の専門家が想像もしないだろう形で）地震予知に使われている例を紹介しながら議論する。

Room D | Special session | S23. Open data for seismology

[S23]PM-2

chairperson: Yasuyuki Kano (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Katsuhiko Shiomi (NIED), Hiroshi Tsuruoka (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Manabu Morishige (JAMSTEC)

Tue. Sep 17, 2019 3:15 PM - 4:00 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S23-16] Digitization of Analogue Seismograms by Japanese High School Students

*Miaki Ishii¹, Toshihiro Morinaga^{2,3} (1. Department of Earth & Planetary Sciences, Harvard University, 2. School Innovation Forum, 3. Graduate School of Education, Kyoto University)

3:15 PM - 3:30 PM

[S23-17] Open Data for Historical Earthquake Studies and Historical Records

*Yasuyuki Kano^{1,2} (1. ERI, The University of Tokyo, 2. Collaborative Research Organization for Historical Materials on Earthquakes and Volcanoes, The University of Tokyo)

3:30 PM - 3:45 PM

[S23] Discussion

3:45 PM - 4:00 PM

Digitization of Analogue Seismograms by Japanese High School Students

*Miaki Ishii¹, Toshihiro Morinaga^{2,3}

1. Department of Earth & Planetary Sciences, Harvard University, 2. School Innovation Forum, 3. Graduate School of Education, Kyoto University

一般的に研究に使われる地震計のデータは約40年前からのデジタルデータです。しかし、地震計は100年以上前に作られ、アナログ記録は世界中にほぼ100年間分存在します。日本は世界的にも早い時点で地震計設置が進んだ国ですので、アナログ記録も数多く残されています。アナログデータにアクセスすることができれば、地震データの利用可能期間は2倍以上長くなり、巨大地震や珍しい地震や、ゆっくりと変化する地下構造などの現象を研究するための機会を提供します。この貴重なデータを使用可能にする最大の障害はデータのアナログからデジタルへの変換です。この発表では、デジタル化の取り組みと、データベースの構築に一般の人々（高校生など）が参加する可能性について説明します。

デジタル化の第一歩は写真媒体などで残されている地震計記録をスキャンなどでコンピューター画像として読み込む事です。地震計記録は一般的に使用される紙よりもサイズが大きいので、大判スキャナーなどが必要となります。残されている記録が多いので、このスキャンも大変な作業となりますが、コンピューター画像だけでは、現代の分析には使えません。画像を時系列に変換する必要があります。このため、ハーバード大学では地震計画像のデジタル化ソフト、DigitSeis、を開発しています。このソフトでは出来る限りの自動化を目指していますし、将来的には人工知能を使用する計画ですが、今の時点ではかなりの部分が手作業に頼っています。人工知能を使用する為には膨大な育成用データが必要ですが、地震計記録のデジタル化のデータベースは現在存在しません。このデータベースを構築するのと、研究に使用されるデータを作成する為に2018年からデジタル化の作業を日本の高校生に協力してもらっています。

生徒はまず、DigitSeisソフトの仕様方法をトレーニング画像の解析を通して学びます。解析ファイルはインターネットを通してハーバード大学に提出され、問題点などを指摘したフィードバックが足されたファイルが生徒に返されます。生徒はフィードバックを元に修正作業を行い、再度解析ファイルを提出します。このトレーニング画像の解析の問題点が解消され、合格すると、デジタル化されたことのない画像をデジタル化することに進みます。解析が終了したデータ（SACフォーマット）はハーバード大学のウェブページで公開されています。このプロジェクトは地震学者が使用するためのデジタルデータへの変換を行うのが1つの目的ですが、早い段階で科学や研究に学生を参加させる絶好の機会でもあります。まだまだソフトの改善などの課題も沢山ありますが、高校生がデジタル化された記録を使って簡単な研究に取り組めたりする可能性を広げていきたいと考えています。このプロジェクトの最終目的は日本の地震学者によって日本のアナログ記録を日本の高校生がデジタル化する事ですので、日本の地震学者や教育者の方の参加を募っていききたいと思います。

Open Data for Historical Earthquake Studies and Historical Records

*Yasuyuki Kano^{1,2}

1. ERI, The University of Tokyo, 2. Collaborative Research Organization for Historical Materials on Earthquakes and Volcanoes, The University of Tokyo

加納靖之

東京大学地震研究所

国内外でオープンデータの流れが加速するなかで、地震学の周辺での現状と今後の見通しを議論するため、特別セッション「オープンデータと地震学」を企画した。オープンデータ、特に観測データへの永続的識別子付与の重要性を考えるようになったのは、過去に大学の微小地震観測や地殻変動連続観測のデータ生産および流通に携わりながら、その作業そのものを業績として示しにくい環境に疑問を持ったことだった。データへのDOI付与やデータジャーナルによる出版など、観測データを有効にオープンにする方策が見えてきつつある。

オープンデータについて考えるとき、研究分野や対象となるデータの内容あるいは形態によって、オープンにするために必要な作業が違ってくると考えられる、ここでは、歴史地震研究および歴史記録（ここでは、主として記録装置のデジタル化以前の紙に記録された観測記録）のオープンデータについて考えてみたい。

歴史地震研究においては、いわば生データともいえる歴史史料から地震に関係する部分を抽出し、解読して分析に利用する。地震に関係する記述を収集した史料集（たとえば『大日本地震史料』や『新収日本地震史料』など）が刊行されている。これらから必要な情報を抽出・分析し、歴史時代に発生した地震に関するカタログが作成されている（たとえば『理科年表』の「地震の年代表」など）。主として出版物としてオープンにされてきた歴史地震に関するデータであるが、史料集をデータベース化したもの（たとえば、[古代・中世] 地震・噴火史料データベース <https://historical.seismology.jp/eshiryodb/>）や、史料集の掲載巻ページを検索できる「歴史地震史料検索システム」(<http://etna.seis.nagoya-u.ac.jp/HistEQ/>) など、オンラインでのデータ提供も取り込まれつつある。歴史地震のカタログのひとつとし地震学会ホームページで公開されているものもある。（<http://www.zisin.jp/publications/document05.html>）。また、歴史史料自体も、一部については所蔵館等によってデジタルアーカイブ化され、オンラインで容易に検索でき、書誌情報だけでなく、史料そのものをデジタル画像として閲覧できるものもある。

歴史地震研究の成果は、地震本部の報告書などでも広く使われている基礎的なデータである。カタログの個々の地震の発生日時や場所、規模などの精度や妥当性を評価するには、推定に使われた歴史史料の原本や画像、あるいは抽出された記述、分析結果をまとめた研究論文や報告書等まで遡って検証できることが望ましい。もともと紙であったために、このような検証を行うには経験が必要であり、中には、史料の所在地など、既に失われてしまった情報もある。歴史地震研究に使われた歴史史料や記述について、何らかのIDをつける形で整理して公開することができれば、過去の成果の検証が容易になり、新たな切り口による分析を促進し、また、歴史地震研究に参加しようとする際の障壁が小さくなるのではないか。

京都大学阿武山観測所には、1940年代から京都大学で実施されてきた地殻変動観測の記録の一部が保管されている。京都大学紀州観測点の傾斜記録のうち、1970年代のプロマイド紙に描かれた傾斜変化の分析から、紀伊半島下で発生するスローイベントを捉えている可能性があることが明らかになった。このように、観測時には知られていなかった現象やモデルを、過去のデータに適用することで新たな知見が得られる可能性が

ある。

歴史記録については、既に多くの記録がデジタル画像化され公開されている（たとえば、東京大学地震研究所「和歌山観測所観測点ペン書き記録画像DB」<https://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/wakayama/>）。ハーバード大学の「地震計記録のデジタル化プロジェクト」のように教育と組み合わせた取り組みもなされている。気象分野などでは、「データレスキュー」のキーワードで、保全や活用の取り組みがなされている。いっぽうで、まったく顧みられないまま書庫や倉庫に眠っているケースもあると考えられる。記録紙そのものだけでなく、計器の設置状況や感度などのメタデータとともに、保存・公開の方法を考えていかなければならない。

歴史史料と歴史記録の活用にあたって、共通する要素としてデジタル画像の扱いがある。撮影機器の高度化と、計算機での処理や情報ネットワークの高速化により、高精細、高画質のデジタル画像をこれまでより容易に公開できるようになってきた。デジタルアーカイブの画像データ公開の国際標準形式としてInternational Image Interoperability Framework (IIIF)がある。博物館や図書館のデジタル展示や人文学研究に活用されている技術であるが、地震学に関係する画像資料の公開に応用すれば、データ利用の可能性が広がるのではないか。画像公開にあたってメタデータやライセンスの付与などに関する知見も先行する分野から取り入れつつ、数値データ以外のデータについても、再利用可能な形でのデータ公開を目指したい。

3:45 PM - 4:00 PM (Tue. Sep 17, 2019 3:15 PM - 4:00 PM ROOM D)

[S23] Discussion

Room D | General session | S07. Deep Structure and Properties of the Earth and Planets

[S07]PM-2

chairperson: Yasuyuki Kano (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Katsuhiko Shiomi (NIED), Hiroshi Tsuruoka (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo), Manabu Morishige (JAMSTEC)

Tue. Sep 17, 2019 4:00 PM - 5:00 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S07-01] Shear velocity and attenuation of the mantle beneath the Ontong Java Plateau based on an analysis of multiple ScS wave

S

*Daisuke Suetsugu¹, Hajime Shiobara², Hiroko Sugioka³, Aki Ito¹, Takehi Isse², Yasushi Ishihara¹, Satoru Tanaka¹, Masayuki Obayashi¹, Takashi Tonegawa¹, Junko Yoshimitsu¹, Takumi Kobatashi³

(1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 3. Graduate School of Science, Kobe University)

4:00 PM - 4:15 PM

[S07-02] Upper mantle structure beneath the Ontong Java Plateau

*Takehi Isse¹, Daisuke Suetsugu², Hajime Shiobara¹, Hiroko Sugioka³, Aki Ito², Akira Ishikawa⁴, Yuki Kawano¹, Kazunori Yoshizawa⁵, Yasushi Ishihara², Satoru Tanaka², Masayuki Obayashi², Takashi Tonegawa², Junko Yoshimitsu², Takumi Kobayashi³ (1. ERI, the University of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. Kobe University, 4. Tokyo Institute of Technology, 5. Hokkaido University)

4:15 PM - 4:30 PM

[S07-03] P-wave tomography beneath Greenland

*Matsuno Takaya¹, Genti Toyokuni¹, Dapeng Zhao¹ (1. Tohoku univ. Reserch Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions)

4:30 PM - 4:45 PM

[S07-04] Azimuthal anisotropy in the upper mantle using multi-mode surface waves: Application to the Australian region

*Yuka Nishimura¹, Kazunori Yoshizawa^{1,2} (1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Science, Hokkaido University)

4:45 PM - 5:00 PM

Shear velocity and attenuation of the mantle beneath the Ontong Java Plateau based on an analysis of multiple ScS wave

S

*Daisuke Suetsugu¹, Hajime Shiobara², Hiroko Sugioka³, Aki Ito¹, Takehi Isse², Yasushi Ishihara¹, Satoru Tanaka¹, Masayuki Obayashi¹, Takashi Tonegawa¹, Junko Yoshimitsu¹, Takumi Kobatashi³

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 3. Graduate School of Science, Kobe University

The Ontong Java Plateau (OJP) in the southwest Pacific is the largest oceanic Large Igneous Provinces (LIP) on Earth. Detailed seismic structure of the plateau has not been understood well because of sparse seismic stations. We investigated seismic attenuation of the mantle beneath the plateau by analyzing temporary seismic stations on the seafloor and islands in and around the plateau. We analyzed the spectra of multiple ScS waves to determine the average attenuation of the mantle (Q_{ScS}) beneath the plateau. We estimated the average Q_{ScS} values for the paths with bounce points located in the plateau to be 309, which is significantly higher than the average (i.e., weaker attenuation than average) estimated in the western Pacific and is close to that of stable continents. We obtained positive residuals of 6 s for travel times of multiple ScS waves, which indicate that the average S velocity in the entire mantle beneath the OJP is low. While the positive residuals is at least partially attributable to the Pacific Large Low Shear Velocity Province (Pacific LLSVP), it is difficult to conclude whether low-velocity anomalies are required in the OJP upper mantle to explain the residuals from the multiple ScS analysis.

Upper mantle structure beneath the Ontong Java Plateau

*Takehi Isse¹, Daisuke Suetsugu², Hajime Shiobara¹, Hiroko Sugioka³, Aki Ito², Akira Ishikawa⁴, Yuki Kawano¹, Kazunori Yoshizawa⁵, Yasushi Ishihara², Satoru Tanaka², Masayuki Obayashi², Takashi Tonegawa², Junko Yoshimitsu², Takumi Kobayashi³

1. ERI, the University of Tokyo, 2. JAMSTEC, 3. Kobe University, 4. Tokyo Institute of Technology, 5. Hokkaido University

オントンジャワ海台（以下OJPと略す）は地球上最大の巨大海台であり、白亜紀後期（1.2億年及び9千万年前）に現在の南太平洋の海域において激しい火山活動の結果生成された。同時期に地球が温暖化するとともに海洋無酸素事変が発生し、多くの海洋生物が絶滅するなど、地球の表層・海洋環境に大きなインパクトを与えたことが示唆されている。しかしなぜ火山活動が起きたのかどのようなメカニズムで環境に影響を与えたのかは定説はない。OJPの上部マントル構造に関してもいくつかの謎がある。OJP下のマントルに深さ300kmまで地震波低速度異常が存在し（Richardson et al., 2000）、この低速度異常は化学組成の異なる硬いマントルの根である（Klosko et al., 2001）とされているが、最近の研究（Covellone et al., 2015）ではそのような低速度異常はみられてない。OJPでこのように未解明な点が多いのはOJPにおける地球物理観測が不足しているからである。我々はOJPの地下構造を明らかにするため2014-2017年にかけてOJP海域に23点の広帯域海底地震計、2点の海洋島広帯域地震観測点、20点の海底電位差磁力計を展開した（OJPアレー）、本研究では広帯域地震観測記録を用いた表面波トモグラフィーによるS波速度構造の結果について報告する。

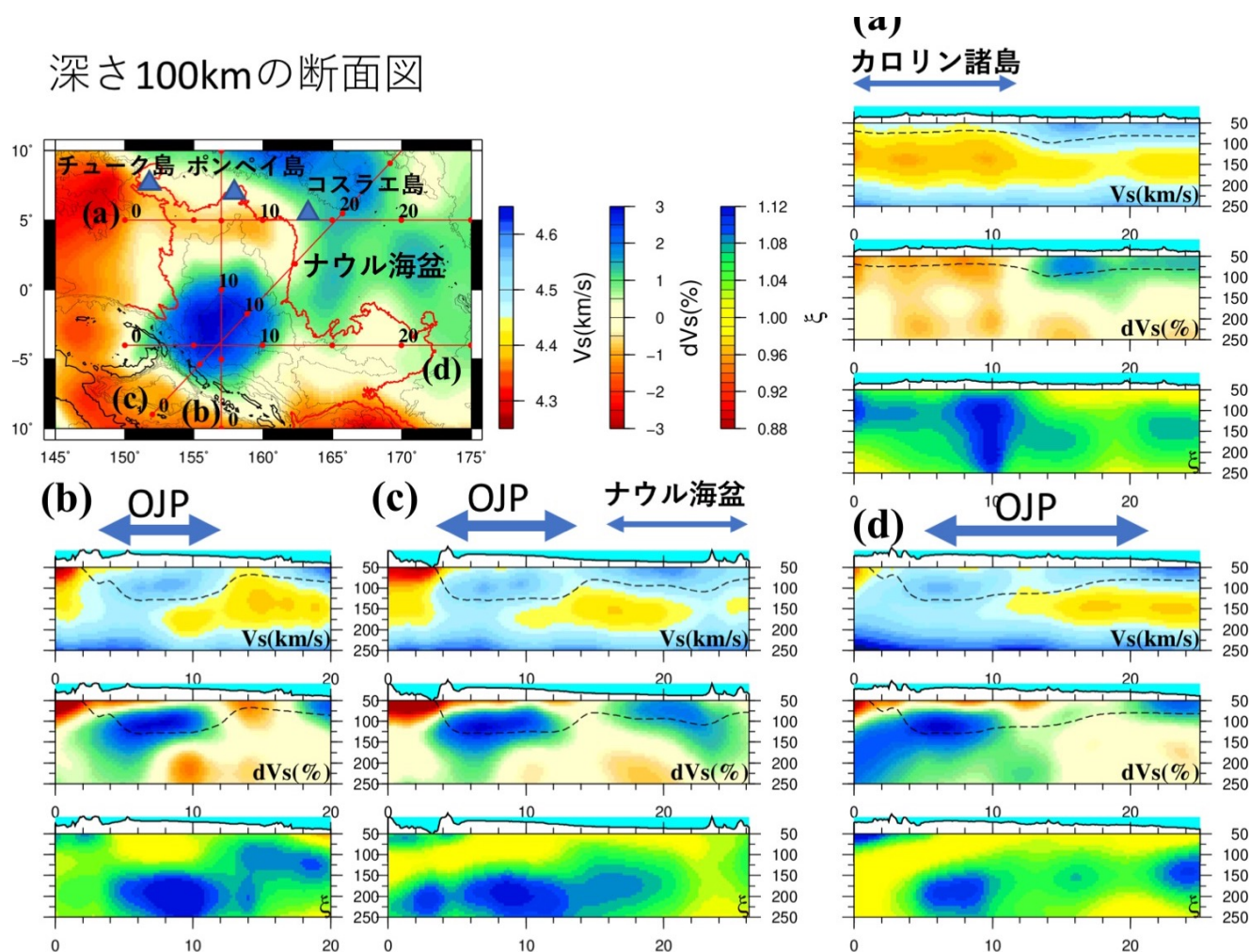
西太平洋域の陸上及び海底広帯域地震観測点及びOJPアレーで取得された地震波形記録の表面波波形の位相速度を測定し、表面波トモグラフィー手法（Yoshizawa & Kennett, 2004）により、オントンジャワ海台と周囲の3次元上部マントルS波構造を鉛直異方性を含めて求めた。OJPアレーの海底地震計によって得られた記録は傾斜ノイズ、コンプライアンスノイズ除去手法を適用し地震波形記録の質の向上をはかった。使用した波線数は基本モードのラブ波約1500、レイリー波約4000、高次モード（4次まで）がそれぞれ250-500, 1000-1500である。チェッカーボード解像度テストの結果、本研究で得られたOJP海域の最上部マントルS波速度構造の水平方向解像度は等方不均質構造で約400km、鉛直異方性構造は約700kmであった。

得られたOJPの速度構造の大まかな特徴は以下の通りである、

(1) OJP北方に東西に並んでいるカロリン諸島の下に少なくとも深さ300kmまで約2%の低速度異常がみられる。カロリン諸島はホットスポット火山列と考えられているが現在のホットスポットに近い東端のコスラエ島付近のみでなく既に主要な活動を終えているポンペイ島、チューク島に至る約800km広範囲な領域に低速度異常が存在することは興味深い。

(2) OJP中央部（直径約700km）の深さ70-150kmの領域に約2%の高速度異常が存在することがわかった。これは従来の研究とは異なる結果である。この高速度異常領域は鉛直異方性が弱く、S波速度は4.45-4.55km/s程度であり、隣接するナウル海盆のリソスフェアの特徴とよく似ている。またS波速度の鉛直方向勾配の最大値の深さ（リソスフェア底部を推定する指標）はOJP中央部は約130km、ナウル海盆は90kmである。これらの結果は、OJP中央部ではリソスフェアが周囲より約40km深部にまで達していることを示している。OJP形成時のマントル残渣物質がリソスフェアの深さ約100-120kmに存在していることがOJPの火山岩中のゼノリスの解析から示唆されており、本研究はこの存在を地震学的に初めて示した研究である。

深さ100kmの断面図



OJPの深さ100kmの速度不均質構造と断面図(a, b, c, d).

断面図は上からS波速度(km/s), 速度異常(%), 鉛直異方性の大きさを示す. 点線は速度の負の鉛直勾配が最大値をとる深さを示す.

カロリン諸島下に顕著な低速度異常が見られる(断面a)

OJP中央部の高速度異常は周囲の海洋マントルと同様な特徴を有している (断面b, c, d).

P-wave tomography beneath Greenland

*Matsuno Takaya¹, Genti Toyokuni¹, Dapeng Zhao¹

1. Tohoku univ. Reserch Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions

The Greenland landmass has a long and complex tectonic history (~4 billion years). However, most of the continent is covered by the extensive inland ice cap, and so it is hard to access its geology and the underlying tectonics. The Greenland Ice Sheet Monitoring Network (GLISN) is an international project between 11 countries to establish a seismic network in and around Greenland (Toyokuni et al., 2014). The project was initiated in 2009, and now it provides broadband, continuous, and real-time seismic data from 33 stations. This study aims to reveal the 3-D mantle structure beneath Greenland by using the GLISN data.

We inverted P-wave arrival-time data of both local and teleseismic events recorded at 33 GLISN stations to estimate 3-D P-wave velocity (V_p) tomography beneath Greenland and surrounding areas. We integrated two sets of first P-wave arrival-time data. The first data are selected from a catalog compiled by the International Seismological Centre, which include 35,553 arrival times from 5,240 teleseismic events and 934 local earthquakes. The second data are newly picked from seismograms by ourselves using the cross-correlation technique (Liu & Zhao, 2016), which include 4,322 P-wave relative travel-time residuals from 159 teleseismic events. We used the seismic tomography method by Zhao et al. (2012).

In the polar region, if grid nodes are arranged on the basis of geographic coordinates, the distance between two adjacent nodes in the same latitude decreases as it gets closer to the pole. In order to overcome this problem, we converted our study region from the geographic coordinates to ecliptic coordinates. This scheme enables to solve equations in quasi-Cartesian coordinates (e.g., Kobayashi & Zhao, 2004; Gupta et al., 2009; Takenaka et al., 2017). We set up a 3-D grid with a horizontal grid interval of 2° and a vertical grid interval of 15–30 km (at depths of 5–700 km).

The results of this study are summarized as follows.

There is a prominent low- V_p anomaly beneath Iceland (at depths < 500 km), which is related to the current Iceland plume. In the shallow mantle (at depth of 40–250 km) beneath central and offshore eastern Greenland, V_p is relatively lower than those in the other inland areas of Greenland in the depth range, which may reflect the ancient motion path of the Iceland plume. This feature coincides with the known basalt areas at the central western and eastern coasts of Greenland.

References:

Kobayashi & Zhao (2004) PEPI, 141, 167–181.

Gupta, Zhao & Rai (2009) *Gondwana Res*, 16, 109–118.

Liu & Zhao (2016) *PEPI*, 252, 1–22.

Takenaka et al. (2017) *EPS*, 69:67.

Toyokuni et al. (2014) *Antarctic Record*, 58 (1), 1–18.

Zhao et al. (2012) *GJI*, 190, 816–828.

Keywords: Seismic tomography, Greenland, Iceland plume, GLISN project

Azimuthal anisotropy in the upper mantle using multi-mode surface waves: Application to the Australian region

*Yuka Nishimura¹, Kazunori Yoshizawa^{1,2}

1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Science, Hokkaido University

地球表層のプレート運動と地球内部のダイナミクスとの関係を明らかにする上で、地震表面波は最も有用な情報源の一つである。地震波速度の方位異方性は主に、地球内部での物質流動による結晶選択配向の影響を反映するため、現在のプレート運動との関係や、リソスフェア内に残る過去の大陸の変動過程の痕跡を調べるの役立つ。現在、大陸プレートとして最も速く移動（約7cm/年）するオーストラリア大陸は、その周辺域の活発な地震活動と、安定大陸上の地震観測点での良質な観測波形を用いることで、大陸全域をカバーする地震波線を得やすく、高解像度な表面波トモグラフィーモデルの復元に適している。

本研究では、オーストラリアプレート周辺域で発生した1990年から2007年までのマグニチュード5.0～7.0の遠地地震の波形解析から得られた、基本及び高次モードのラブ波およびレイリー波の位相速度情報 (Yoshizawa, *PEPI*, 2014) を用いて、周期毎・モード毎の方位異方性空間分布を復元する。異方的な位相速度分布の復元には、Yoshizawa & Kennett (*JGR*, 2004) の表面波トモグラフィー法を、方位異方性媒質の場合に拡張した手法を利用する。得られた方位異方性モデルを用いて、当該地域のテクトニクスやプレート運動との関係等について検証を行う。

得られた位相速度モデルの等方成分では、大陸中央～西部のクラトン域で高速異常が、大陸東縁～海洋域では低速異常が見られるなど、当該地域下の大規模不均質構造の空間分布を反映したモデルが得られた。一方、方位異方性では、深さ約100kmの大陸リソスフェア内部に感度を有する周期帯において、大陸を構成する3つの主要クラトン間の境界に沿う形で、方位異方性の向きが変化することがわかった。これは、各クラトンの過去の変形過程を通じて生じた凍結異方性を反映するものと考えられる。また特に、深さ100km付近では大陸東側の海域下で、深さ200km付近では海洋・大陸域下ともに、方位異方性の高速方向とプレート絶対運動方向 (Gripp & Gordon, *GRL*, 1990) とがほぼ一致した。これは、海洋と大陸では、リソスフェアの厚さの違いのために、流動性アセノスフェアの深さが異なることを反映している。

また、大陸中央～西部の始生代から原生代のクラトン領域と大陸東部の顕生代の領域とを区分する大規模な構造線 (Tasman Line) 周辺に着目し、方位異方性の高速方向とプレート絶対運動 (Absolute Plate Motion: APM) の方向との関係について精査した。その結果、Tasman Line 東側の顕生代の領域において、周期約100秒以下の短周期（約150kmより浅部を反映）では大陸北部でのみ、方位異方性とAPMとの一致が見られるが、より長周期側（深部を反映）では、異方性とAPMの一致する領域が徐々に南側にも広がることわかった。Tasman Line 東側の顕生代領域のリソスフェアは、西側のクラトン域よりも薄く、流動性アセノスフェアがより浅部にまで影響することが主な原因と考えられ、特に高速移動する大陸リソスフェアの北東端付近においてこの影響が顕著であることが示唆される。また、Tasman Line 付近では、等方S波速度構造が、大陸東縁部に向かってリソスフェアが階段状に薄くなることが報告されており (Fishwick et al., *Tectonics*, 2008), これもアセノスフェア内の物質流動に影響を与えていると考えられる。今後、本研究で得られた周波数毎の位相速度分布から、3次元的なS波方位異方性モデルを作成し、より詳細な空間分布を調べていく必要がある。

Room D | General session | S10. Active Faults, Historical Earthquakes

[S10]AM-1

chairperson: Kentaro Imai(JAMSTEC), Takashi Hirai(Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

Wed. Sep 18, 2019 9:15 AM - 10:30 AM ROOM D (International Conference Halls I)

[S10-01] Development of historical earthquake activity database using historical source journals in Japan

*Akihito Nishiyama^{1,2}, Masaharu Ebara^{3,2}, Rei Mizuno^{1,2}, Seiya Yoshioka^{1,2}, Akihiko Katagiri⁴, Yusuke Oishi^{5,1} (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Collaborative Research Organization for Historical Materials on Earthquakes and Volcanoes, The University of Tokyo, 3. Historiographical Institute, The University of Tokyo, 4. Faculty of Humanities, Niigata University, 5. Fujitsu Laboratories Ltd.)

9:15 AM - 9:30 AM

[S10-02] Ansei Tokai and Nankai Earthquakes Depicted on Kwaraban Newspapers: Mainly on Those Stored in the Disaster Management Library

*Takashi Hirai¹ (1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University)

9:30 AM - 9:45 AM

[S10-03] Re-examination of the tsunami source for the 1854 Ansei Tokai earthquake along the Nankai Trough

*Kentaro Imai¹, Takane Hori¹, Narumi Takahashi^{1,2}, Ryoko Obayashi¹, Satoshi Kusumoto¹, Takashi Furumura³ (1. Research Institute for Marine Geodynamics, Research and Development Center for Earthquake and Tsunami Forecasting, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo)

9:45 AM - 10:00 AM

[S10-04] Numerical simulation on formation of normal faults based on elasto-plastic mechanics

*Eiji Yamada¹, Toshihiro Noda², Kentaro Nakai², Akira Asaoka³ (1. Chubu Electric Power, 2. Nagoya Univ., 3. ADEP)

10:00 AM - 10:15 AM

[S10-05] Bayesian inference for recurrent earthquake sequences with uncertain occurrence times

*Shunichi Nomura¹, Yoshihiko Ogata¹ (1. The Institute of Statistical Mathematics)

10:15 AM - 10:30 AM

Development of historical earthquake activity database using historical source journals in Japan

*Akihito Nishiyama^{1,2}, Masaharu Ebara^{3,2}, Rei Mizuno^{1,2}, Seiya Yoshioka^{1,2}, Akihiko Katagiri⁴, Yusuke Oishi^{5,1}

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Collaborative Research Organization for Historical Materials on Earthquakes and Volcanoes, The University of Tokyo, 3. Historiographical Institute, The University of Tokyo, 4. Faculty of Humanities, Niigata University, 5. Fujitsu Laboratories Ltd.

§1. はじめに

これまでの歴史地震研究においては、『新収日本地震史料』など既刊地震史料集に収められている諸史料に基づいて、主として特定の被害地震に関する研究が実施され、被害地震のカatalogが整備されてきた（宇佐美・他、2013）。その一方で、日記史料から採録され、既刊地震史料集に収められている数多くの有感地震（被害を及ぼさないものの人が揺れを感じることができる地震）の記録については、現状ではほとんど研究の対象とされていない。そこで本研究では、有感地震の記録が数多く含まれている日記史料に着目し、既刊地震史料集ではなく日記史料の原本に基づいて、新機軸のデータベースを構築している。以下では、このデータベースの構成とそれを活用した今後の歴史地震研究の展開について述べていく。

§2. 日記史料と有感地震

日記史料には、記主（日記史料の記述者）が記した日々の様々な出来事だけでなく、日付の後もしくは文中に、その日の天気や地震・天文現象といった自然現象が記されている。日記史料にある有感地震の記録（以下、有感記録）は、揺れを感じたという体験とほぼ同時期に、揺れを感じた記主の手で記されているために、記述内容の信頼性は高い。また、ほとんどの日記史料の記主は特定されており、記された場所についてはその屋敷地まで詳細に特定できる場合も多い。さらに、同じ場所で同一の記主によって、十数年から数十年の比較的長期間にわたって書き継がれているために、他の史料に比べて記録内容が安定しているという特徴がある。

日本列島には古代から近世まで約900年という長期間にわたって、膨大な数量の日記史料が現存している。古代・中世については、政治の中心地であった京都や奈良で記された公家や寺家・社家の手による日記史料が圧倒的に多い。江戸時代中期以降は政治体制の確立・安定に伴って、各地の藩の政庁や城下町などでも武士や商人などが日記史料を残すようになり、日記史料の空間分布は全国的に拡大してくる。

日記史料にある有感記録は、記主が揺れを感じた場所における地面や建物の揺れ方を表現しており、揺れによる被害の記述を伴わない場合には、揺れの強さまでは明確にわからない場合が多い。けれども、日記史料が記録された場所において、記主が地震を感じたか感じなかったかは明確である。そのため、人が地震を感じたか感じなかったという有感記録について、広範囲に長期間にわたって集積・分析することで、有感範囲の空間分布や時間変化の検討が可能になってくる。

§3. 日記史料有感地震データベースの構築

本研究では、数多くの日記史料を調査・閲覧し、長期間にわたる天気の記述があり、地震の記述が散見されるものを選定している。また、各地の史資料保存機関には未整理の日記史料も収蔵されており、これらについても新規に調査・撮影を行い、データベースの構築に必要な時期や地域の日記史料を収集している。このようにして収集した日記史料の内容を分析し、年月日（太陰暦・太陽暦）、時刻（時間帯）、天気、地震、自然現象、史料本文（記述の抜粋）、所在地といった記述を抽出している。なお本研究では、日記史料の記録の連続性に着目し、有感記録のない日についてもデータ化しており、一ヶ月や一年ごとの有感地震の頻度も把握できるようにしている。

以上のようにして抽出した複数の日記史料データを組み合わせて、日記史料有感地震データベースを構築している。さらに、データベースを地理情報システム上に表示する機能を開発し、有感場所の時空間分布図を作成

している。現在公開している試作版（2019年5月更新）では、33点の日記史料にある嘉永七年（1854年）～安政三年（1856年）の有感記録が収録されている（<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/eri-hi-cro/database/index.html>）。今後は、日記史料の点数と収録期間を順次増やしていき、それに応じてデータベースの構成も改良していく予定である。

§4. おわりに

日記史料有感地震データベースでは、南海トラフ沿いの巨大地震や、それに前後して日本列島で大地震の発生が相次いだ19世紀中頃の期間について、集中的にデータ化を実施しており、当該期の日本列島における地震活動の時空間分布の解明を目指している。また、本データベースを活用して、19世紀中頃の有感範囲のデータと、気象庁の震度データベースにある有感範囲のデータとを比較し、19世紀中頃に日本列島で発生した中・小規模の地震に関する震源決定の可能性も検討している。

Ansei Tokai and Nankai Earthquakes Depicted on Kwaraban Newspapers: Mainly on Those Stored in the Disaster Management Library

*Takashi Hirai¹

1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

1. はじめに

かわら版は、江戸時代に普及した時事性の高い内容を扱った印刷物であり、特に幕末のころに質・量ともに飛躍的な発展を遂げた。おりしも、江戸時代末期は安政東海・南海地震や安政江戸地震をはじめ災害が頻発した時期でもあり、かわら版は当時の災害報道の媒体のひとつとして研究の対象になってきた（たとえば、北原 [1] など）。かわら版は無許可の出版物であり、発行者や発行時期を詳細に特定できることは少ない。そのため、歴史地震研究に供する史料としての有用性を担保することは難しい。しかしながら、当時の人々が震災の状況をどのように把握したか、あるいは、どのように対応したかという観点においては、見るべきものがあるようにも思われる。

本稿では、名古屋大学減災連携研究センター古文書勉強会の活動の一環として、公益社団法人全国市有物件災害共済会防災専門図書館所蔵のかわら版の翻刻を進めていることを紹介し、特に多数を占める安政東海・南海地震についてのかわら版の内容吟味と利用について報告する。

2. 防災専門図書館所蔵のかわら版

公益社団法人全国市有物件災害共済会防災専門図書館は、わが国で唯一の災害関係の資料を専門に扱う図書館である。火災や地震をはじめとした災害に関するかわら版も多数収蔵しており、ホームページ上で閲覧することができる [2]。内容の内訳は、火災35点、風水害6点、地震49点である。地震の中では1855年安政江戸地震19点、1854年安政東海・南海地震16点、その他の地震14点である。名古屋大学減災連携研究センター古文書勉強会では、安政東海・南海地震に関するものを中心に翻刻を進めており、その成果を名古屋大学減災館の一般公開スペースに展示している。なお、一部のかわら版は東京大学情報学環の小野秀雄コレクション [3] に同様のものが収蔵されており、翻刻にあたり参考にした。

先述の通り、発行者や発行時期を特定できるかわら版は少ないが、「諸国大地震並大津浪」と「諸国大地震大津波式編」については、発災翌月の安政元年十二月二十日までの間に発行されたと推定される。これは、豊橋市美術博物館所蔵「柴田家文書」にかわら版と同じ文章が引用されており、末尾に「安政元年十二月廿日写之」とある [4] ことから判明したものである。

3. 利用例

防災専門図書館所蔵のかわら版のひとつ「諸国大地震大津波末代噺」を取り上げる（図1）。これは、安政東海・南海地震による各地の被害状況などを36ますのすごろくに仕立てたものである。振り出しと上がりはともに大阪であり、「世直り」や「目出度い」などの文言が多いことから、おそらく大阪で出版されたものであろう（「世直り」または「世直し」は当時近畿地方で唱えられた地震除けの呪文とされる [5]）。

著者らは、これをA0サイズの布に印刷し、名古屋大学減災館の一般公開時間やイベント「キッズデー」において、実際にすごろく遊びを行った（図2）。各ますに書かれている内容は、そのままでは一般には解読が難しいため、あらかじめ翻刻した資料を作成して配布した。また、必ず古文書勉強会のメンバーが付き添い、駒が止まったますごとに解説を行った。参加者からは、「止まったますごとの解説があるからおもしろい。解説カードなどを作るとよいのではないか」などの意見が聞かれた。

4. 課題

今後も引き続き、防災専門図書館所蔵のかわら版を中心に、翻刻を進める。同時に、新たな史料も発見しつつある

ので、これについても翻刻を行う。すごろく「諸国大地震大津波末代噺」については、さらに内容の調査を行い、解説を充実させていく予定である。

謝辞

本稿の作成にあたり、防災専門図書館所蔵のかわら版を参照した。解説にあたっては、名古屋大学大学院文学研究科・石川寛特任准教授の指導と名古屋大学減災連携研究センター古文書勉強会のメンバーの協力をいただいた。それぞれ、ここに記して感謝の意を表する。なお、本稿は古文書勉強会の一員でもある元名古屋大学大学院生・森脇美沙氏の報告 [6] をもとに再構成したものである。

参考文献

- 1) 北原糸子：地震の社会史－安政大地震と民衆－，吉川弘文館 (2013)
- 2) 防災専門図書館：火災・地震関係かわら版, <https://www.city-net.or.jp/htmls/> (2019年7月17日閲覧)
- 3) 東京大学情報学環：小野秀雄コレクション, <http://www.lib.iii.u-tokyo.ac.jp/collection/ono.html> (2019年7月17日閲覧)
- 4) 平井敬：柴田家文書に記された安政東海・南海地震, 日本地震学会2017年秋季大会, S10-P06 (2017)
- 5) 武者金吉：地鯨居士雑筆, 地震学会誌11, 2, pp.85-86 (1939)
- 6) 森脇美沙：防災専門図書館所蔵 災害関係かわら版の減災啓発教材としての活用－名古屋大学減災連携研究センター古文書勉強会の活動報告－, 中部「歴史地震」研究年報7, pp.169-177 (2019)

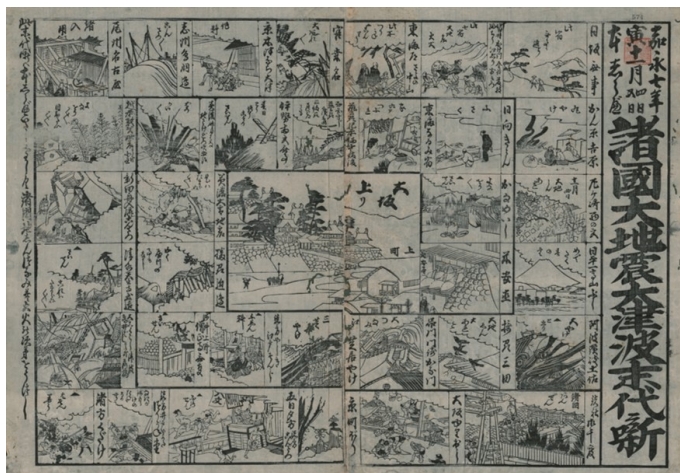


図1 諸国大地震大津波末代噺



図2 すごろく遊びの様子

Re-examination of the tsunami source for the 1854 Ansei Tokai earthquake along the Nankai Trough

*Kentaro Imai¹, Takane Hori¹, Narumi Takahashi^{1,2}, Ryoko Obayashi¹, Satoshi Kusumoto¹, Takashi Furumura³

1. Research Institute for Marine Geodynamics, Reserch and Development Center for Earthquake and Tsunami Forecasting, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

1. 研究の目的 南海トラフではM8クラスの巨大地震が90～150年程度の間隔で繰り返し発生し、地震動や津波による大きな被害をもたらしてきた。1707年宝永地震の際には強震動による震害と巨大津波が南海トラフ沿岸に襲った。強震動と巨大津波による被害は、1854年に発生した安政東海・南海地震、1944年昭和東南海地震、1946年昭和東海地震においても南海トラフの沿岸部で繰り返し起きている。これらの南海トラフ巨大地震の周期性として、これまでは一定のプレート運動速度に基づき、固有の地震断層面における再来発生間隔が受け入れられてきた（例えば、石橋・佐竹, 1998）。一方、瀬野（2012）は、安政東海地震と昭和東南海地震の強震動生成領域が相補的であった可能性を指摘し、昭和東南海地震が安政東海地震の一部で起きたという従来の考えに疑問を呈している。津波波源域についても同様の観点から再解釈が必要である。安政東海地震の波源モデルについては既往研究（Ando, 1975; Ishibashi, 1981; 相田, 1981; 安中・他, 2003）で検討されているが、いずれも1～2枚の矩形断層モデルであり、昭和東南海地震の波源域との相補関係を比較できる分解能ではない。本研究では、安政東海地震の震源域に近い紀伊半島から伊豆半島に至る太平洋沿岸における津波痕跡分布を説明するための波源について再検討を行い、昭和東南海地震の波源域との関係性について議論する。

2. 研究内容 本地震による津波痕跡高は既往研究（羽鳥, 1977; 都司・他, 1991, 行谷・都司, 2005; 都司・他, 2013; 都司・齋藤, 2014; 今井・他, 2017）と、史料集の再精査によって得られた史料とそれに基づいた津波痕跡高（今井・他, 2019）を用いた。これらによる安政東海地震津波の津波痕跡高さ分布には2つのピークがあり、志摩半島東端の国崎で22 mに達していた。もう一つのピークは伊豆半島南東の入間で、津波痕跡高さが15mを超えていた。

波源断層モデルは安中・他（2003）の2枚の矩形断層で構成されるモデルを基に、東海震源域では走向方向に3分割、傾斜方向に2分割、東南海震源域では走向方向に5分割、傾斜方向に2分割の小断層を設定した。各小断層による津波のグリーン関数は線形長波理論（空間格子間隔150 m, 時間間隔0.2 s）で計算し、津波高分布を説明するための断層のすべり量分布はSA（Kirkpatrick et al., 1983）を用いて推定した。津波痕跡高には、誤差に基づくバラツキを一様乱数で考慮し、10,000回の試行から各小断層のすべり量を評価した。

3. 主な結論 本研究で得られた波源断層のすべり量分布（図1）の特徴として、御前崎沖、遠州灘沿岸および志摩半島沖では10 mにおよぶ大きな断層すべりとなった。一方、志摩半島沿岸ではほとんどすべりが生じていない領域が存在することがわかった。昭和東南海地震の波源モデル（例えば、Baba et al., 2005）では志摩半島沿岸では大きな断層すべりが生じていたことを照らし合わせると、津波励起領域の一部においては相補関係が示唆される。

謝辞 本研究はJSPS科研費（16H03146）、H25-R1年度文部科学省「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」（研究代表者：海洋研究開発機構 金田義行）の一環として行われました。

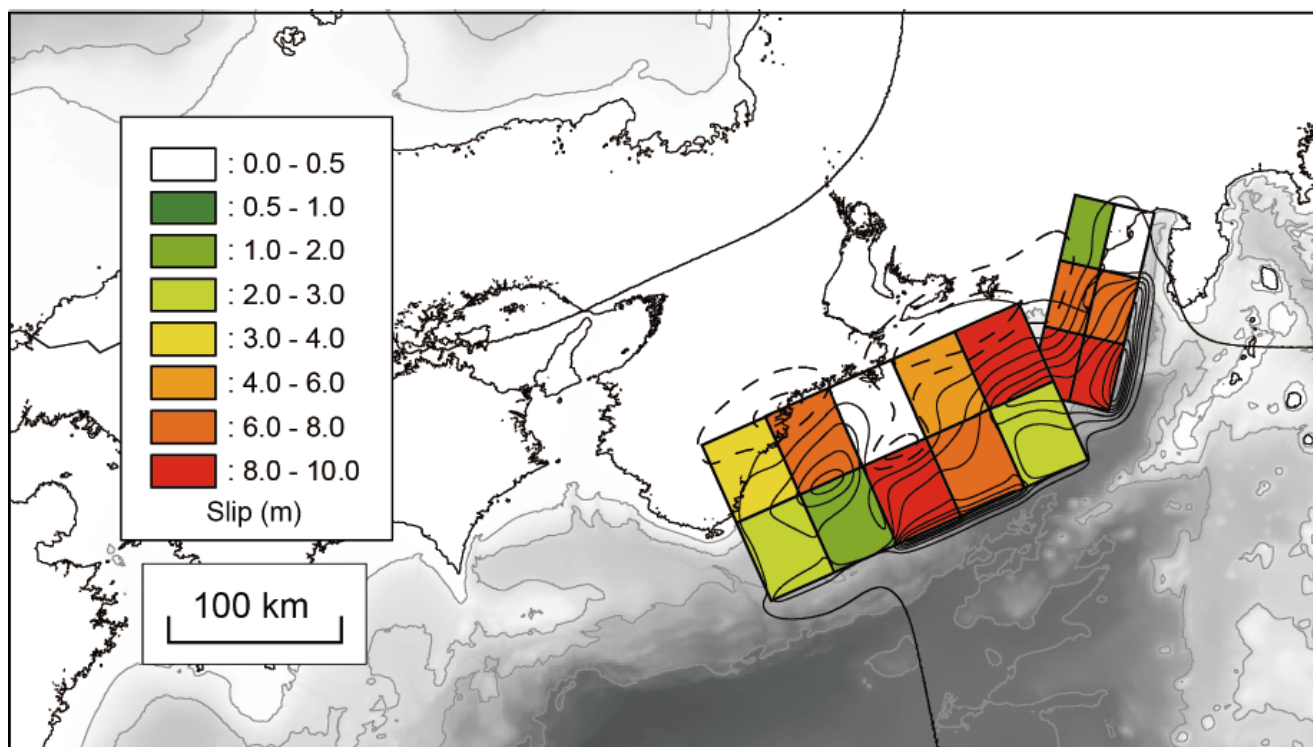


図1 本研究による安政東海地震の波源断層モデル. 図中のコンターは地殻変動量を示し, 実線は隆起, 破線は沈降, その間隔は 0.5 m である.

Numerical simulation on formation of normal faults based on elasto-plastic mechanics

*Eiji Yamada¹, Toshihiro Noda², Kentaro Nakai², Akira Asaoka³

1. Chubu Electric Power, 2. Nagoya Univ., 3. ADEP

1. はじめに

地盤内に「正断層」が確認されると、それが「活断層」であるかどうかの判定が難しく、その成因が争点となることもある。本報告では、地盤の隆起に伴う傾斜によって形成されたと考えられる正断層群についての数値シミュレーション結果を紹介する。図1に示す水平堆積海底地盤を対象とし、地盤の堆積後は続成作用により固結が進行して強度が増加する点に注目して、固結状況が異なる3種類の地盤が傾斜する際の地盤挙動を調べた。計算には、骨格構造の動きに着目した土の弾塑性構成式SYS Cam-clay model¹⁾を搭載し、慣性力を考慮した水～土骨格連成有限変形解析コードGEOASIA²⁾を用いた。

2. 計算の前提

堆積直後のふわふわの未固結の粘土の状態から、現在の固結した軟岩のような状態まで続成作用が進行して粘土の物性が変化するには、500万年とも言われる大変長い時間経過が必要である。地盤の隆起とそれに伴う傾斜などのイベントは、それが地震によるものか緩慢な地殻変動によるものか原因はいろいろ考えられても、それに要する時間は、500万年から見れば短時間のイベントとみなすと、地盤傾斜の進行中には地盤の「硬さ」が変化することは考えなくてもよい。

3. 計算結果

以上を前提に、未固結から固結まで続成作用が進行中の様々な状態の粘土を弾塑性構成式上で再現し、傾斜が進行する地盤でどのようなすべりが生じるかを調べた。図2は、未固結～半固結状態にある地盤が傾斜する際のせん断ひずみ分布を示す。傾斜が進行すると、せん断ひずみの局所化が進展し、すべり線が地表面から深部に向かって発生する。すべり線は経時的に位置を変えて次々と地盤内に発生し、シャベルを掘り入れた時のような形のリストリックな正断層群が形成される(図4【地盤2】)。図3は、正断層群形成時の地盤状態を示す。すべり線に沿ってブロックは後方回転し、砂分優勢として設定した地盤下層では圧縮領域が広がることによって浅部の変位が吸収され、すべり線は不明確になっている。図4は、地盤の固結状態ごとの正断層群形成状況を示すが、リストリックな正断層群が形成される地盤物性は「ごく限定的」であることが計算によって確かめられた。未固結～半固結状態より軟らかい堆積直後の状態では、地盤は流れるだけ(図4【地盤1】)であり、それより硬ければ、すべり線は現れない(図4【地盤3】)。

4. おわりに

以上の計算結果は、(1)未固結～半固結状態で形成された正断層群は、時間が経過して固結が進行すると再度すべりが起こらないことを示すとともに、(2)続成作用による固結化の経年的進行の度合いと照らし合わせることで、リストリックな正断層群が発現した年代を推定する新しい力学的な手法が存在することを示唆している。

【参考文献】

- 1) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K. and Nakano, M. (2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, 42(5), pp.47-57.
- 2) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M. (2008): Soil skeleton-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay mode, *Soils and Foundations*, 48(6), pp.771-790.

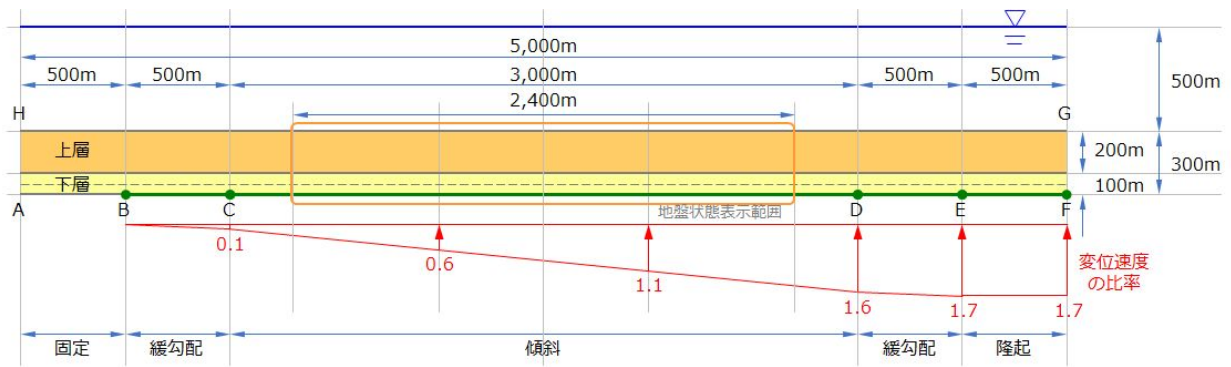


図1 計算領域

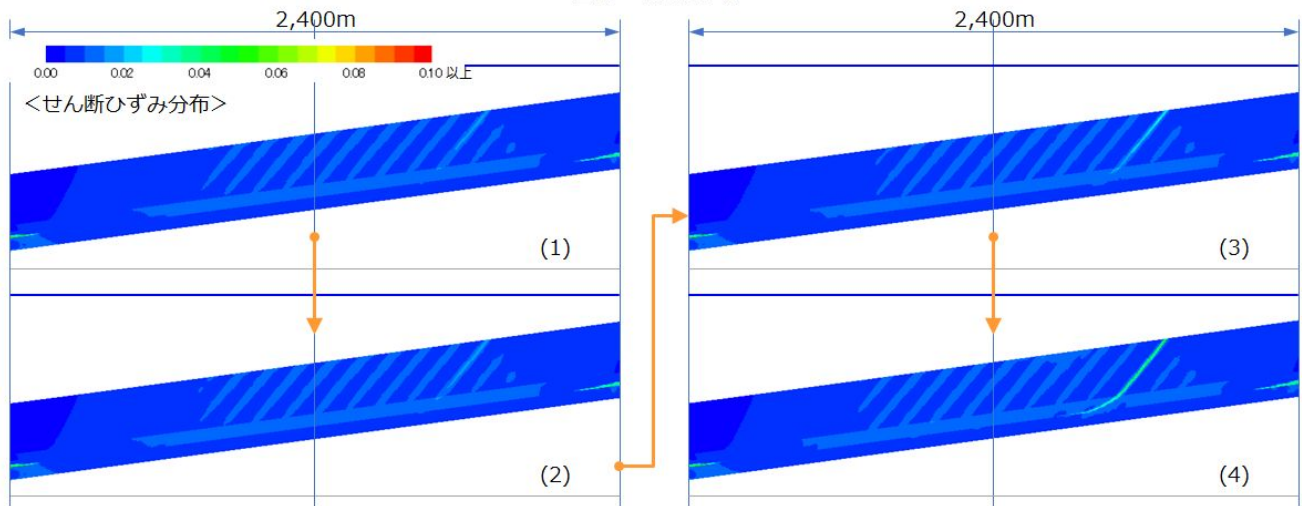


図2 正断層の形成過程

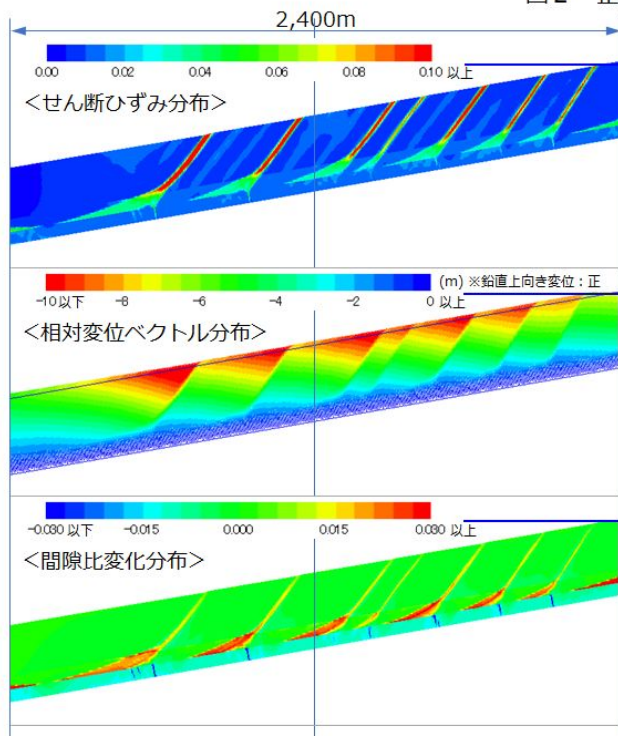


図3 正断層群形成時の地盤状態

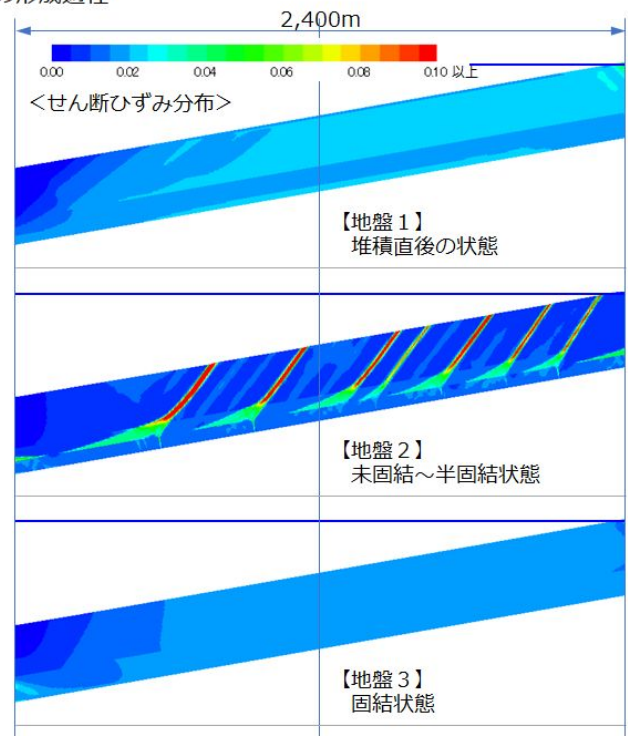


図4 固結状態ごとの正断層群形成状況

Bayesian inference for recurrent earthquake sequences with uncertain occurrence times

*Shunichi Nomura¹, Yoshihiko Ogata¹

1. The Institute of Statistical Mathematics

不確定な発生時期をもつ繰り返し地震の更新過程におけるパラメータ推論について議論する。点過程理論における厳密な尤度および将来発生確率の評価は、不確定な発生年代に関する多重積分を含むため、数値的に計算することさえしばしば困難となる。代わりに、不確定な発生履歴のモンテカルロシミュレーションは、それぞれのシミュレートされた履歴について尤度や将来確率を計算し、それらの単純平均をとることによって評価に利用することができる。本稿ではBrownian Passage Time (BPT)分布更新過程をベースとしたベイズモデルを提案し、地震本部が公開する日本の内陸主要活断層カタログのうち、少なくとも2つ以上の最新のイベントが特定されたセグメントへと適用する。モンテカルロシミュレーションは数値積分とほぼ同じ結果をもたらすことが示される。パラメータ推論では、地震本部と同様に全国の内陸主要活断層で共通した再来間隔の変動係数を仮定する。日本の73の内陸主要活断層のカタログから、共通の変動係数として0.50というベイズ推定値が得られる。これは、地震本部による長期評価で現在適用されている0.24という変動係数の推定値よりも相当に大きい。変動係数の推定値の違いは、いくつかのセグメントにおける長期確率予測に重大な影響を及ぼす。また、仮想活断層のパラメータ推論と予測の数値実験を示し、ベイズ推定およびベイズ予測を最尤推定に基づくプラグイン法と比較する。さらに、変動係数を全国一律に設定するのが適切であるかどうかについて検討を行い、断層別あるいは集約された地域別での変動係数のベイズ推定を行う。

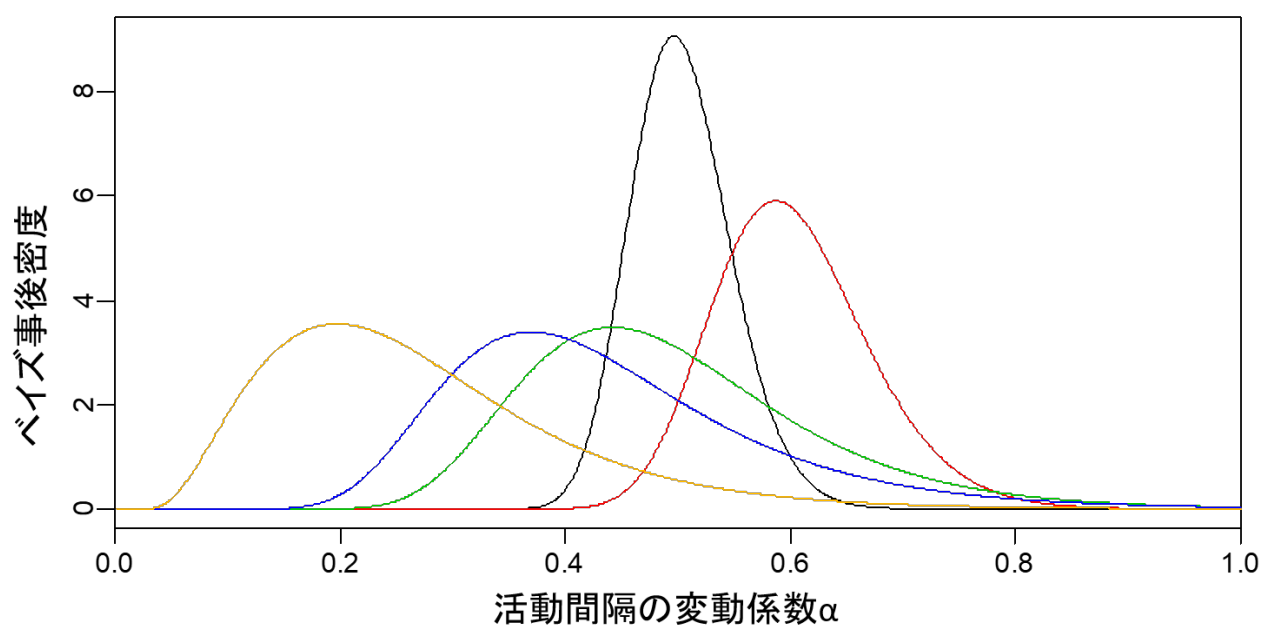


図:地震本部により最新活動時期と1つ前の活動時期が推定されている73セグメントから導出される、変動係数のベイズ事後分布。黒線は全国共通とした変動係数の事後密度を表し、赤、緑、青、黄線はそれぞれ関東地方+中部地方、近畿地方、四国地方、九州地方に位置するセグメントで共通とした変動係数の事後密度を表す。

Room D | General session | S10. Active Faults, Historical Earthquakes

[S10]AM-2

chairperson:Kyoko Kagohara(Faculty of Education, Yamaguchi University), Tetsuro Tsuru(Tokyo University of Marine Science and Technology)

Wed. Sep 18, 2019 10:45 AM - 12:00 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S10-06] An example of subsea and subseafloor imaging by seismic reflections in Uchiurawan off Numazu

*Tetsuro Tsuru¹, Jin.-O. Park², Kosaku Arai³, Seishiro Furuyama¹, Kazuo Amakasu¹, Keiichi Uchida¹, Mayu Ogawa¹, Shio Shimizu¹, Tetsuo No⁴, Yasuyuki Nakamura⁴ (1. Tokyo University of Marine Science and Technology, 2. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

10:45 AM - 11:00 AM

[S10-07] Offshore active fault survey on Tokachi-Heiya fault zone: Characteristics and distribution of the active structures

*Takashi Ogami¹, Shintaro Abe², Yashito Uchida³, Kenji Nishina³, Ryoyu Arai⁴, Takahiro Kubo⁴, Kenjiro Mukaiyama⁴ (1. AIST, 2. ADEP, 3. HRO, 4. KGE Co., Ltd.)

11:00 AM - 11:15 AM

[S10-08] Offshore active fault survey on Tokachi-Heiya fault zone: Paleoseismic activities based on vibrocoring surveys

*Yasuhito Uchida¹, Kenji Nishina¹, Takashi Ogami², Shintaro Abe³, Ryoyu Arai⁴, Takahiro Kubo⁴, Kenjiro Mukaiyama⁴ (1. HRO, 2. AIST, 3. ADEP, 4. KGE Co., Ltd.)

11:15 AM - 11:30 AM

[S10-09] Active tectonics in the northern part of Yamagata Basin, northeast Japan.

*Kyoko Kagohara¹, Shinsuke Okada², Hideki Kosaka³, Atsushi Miwa⁶, Kohei Abe⁶, Tomoo Echigo⁵, Toshifumi Imaizumi⁴ (1. Faculty of Education, Yamaguchi University, 2. IRIDeS, Tohoku University, 3. Kankyo Chishitsu Co., Ltd, 4. Emeritus professor of Tohoku University, 5. Geo-Research Institute, 6. OYO Corporation)

11:30 AM - 11:45 AM

[S10-10] Are "the long-term evaluations of active faults" consistent with the Quaternary crustal movements in the Osaka plain and the Nara basin ?

*Ichiro Kawasaki¹ (1. Tono Research Institute of Earthquake Science)

11:45 AM - 12:00 PM

An example of subsea and subseafloor imaging by seismic reflections in Uchiurawan off Numazu

*Tetsuro Tsuru¹, Jin.-O. Park², Kosaku Arai³, Seishiro Furuyama¹, Kazuo Amakasu¹, Keiichi Uchida¹, Mayu Ogawa¹, Shio Shimizu¹, Tetsuo No⁴, Yasuyuki Nakamura⁴

1. Tokyo University of Marine Science and Technology, 2. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 3. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

1. はじめに

海底下の地質構造を高精度に映像化する手法として、反射法地震探査がよく用いられる。また、この手法は、海水の温度や塩分の違いで生じる反射波を利用することによって海洋物理学的研究にも応用されている（中村, 2008; 横田ほか, 2010）。しかしながら、これらは、海底下あるいは海中のいずれかを探査対象としてデータ解析が行われており、海中から海底下までを統一的に映像化するための手法は未だ開発の余地がある。筆者らは、海底から湧出する流体およびその湧出経路のイメージングを目的として海中海底下統合イメージングの開発を目指しており、今回、沼津沖内浦湾において反射法地震探査データを使った海中海底下イメージングを試みた。

沼津沖内浦湾は駿河湾の北東奥部に位置し、東に富士川河口断層帯および西には丹那断層が南北に走っていることから、活構造を目的とする調査海域として適している。また、音波探査等による既存研究において、いくつかの断層の存在が明らかになっている（たとえば、佐藤, 2014）。

2. 手法

海中海底下統合イメージングの最終目標は、計量魚群探知機データと反射法地震探査データとの統合である。従来、計量魚群探知機は音波で海中の生物を、反射法地震探査は地震波で海底下の地質構造を観測する手法であり、各々、探査対象のイメージングに適した分解能を有している。すなわち、前者では数10～数100kHz、後者では10～数100Hzの周波数帯域が使われることが多い。そのため、振源（音源）としては、前者では圧電素子、後者では主にエアガンが用いられる。本研究における探査対象が湧出流体および湧出経路であることから、必要な周波数帯域としては数10～数10kHzであろうと考えている。よって、まずは、数10～数kHzの周波数帯域を有し、安価な価格で購入できる水中スピーカーを振源として利用している。データ処理については、現時点では従来型の反射法地震探査データ処理のみを適用しており、計量魚群探知機と反射法地震探査データの統合処理については、分解能の違いを克服する手法を現在検討中である。また、従来型の地震探査データ処理に加え、今回は、減衰特性をマッピングする減衰プロファイリング法（Tsuru et al., 2017; Shimizu, 2018）を実施した。これは、反射波が不明瞭な場所で断層の解析を容易にするためである。

3. 実験概要

2018年8月7日、沼津沖内浦湾の水深約80mの海域において、測線長約560mの東西測線20本の反射法地震探査データを収録した。測線間隔は10mである。発振は6sおきに水中スピーカーから非パルス波を出力し、受振は16chのストリーマーケーブルを使用した。グループ間隔は3.125mである。なお、ストリーマーケーブルは産業技術総合研究所殿からお借りした。収録されたデータは、発振波形との相互相関を計算することにより、パルス波に変換した。調査に使用した船舶は、株式会社オキシーテックの計測船「第二いこい丸」（17トン）である。

4. 結果

観測データを処理した結果、面積にして約560m×200mのミニ3D地震探査データが得られた。まず、海底下の構造については、連続性の良い反射波が見える場所では、反射断面上での反射波のずれにより活断層と解釈される断層の発達を観察され、タイムスライス上でそれらの走向が確認できた。一方、反射波が不明瞭な場所

では、従来型のタイムスライスでは断層は確認できないが、減衰プロファイリングから作成したQスライス上で断層の発達を確認できた。

海中については、1測線（ND1808-10）において海底から上昇する流体であろうと考えられる音波の散乱現象が見られた。速度解析により、その場所の海中音速を調べた結果、1600m/sと周囲の平均音速1500m/sより優位に大きいことが明らかになった。海中音速は、温度と塩分の関数であり、温度による変化の方が大きいことから、今回観測された流体は現時点では海底下から湧出した流体（水）であろうと推定している。また、興味深いことに、その流体は断層が途切れた場所から湧出しているように見える。

5. まとめ

反射法地震探査データを用いて、海中海底下イメージングを試みた。その結果、海底下に発達する断層および断層近傍から湧出したと推定される流体を観測によって捉えることができた。今後は、計量魚群探知機データとの統合イメージングによる、より高精度な湧出流体の観測手法の開発を目指す。

Offshore active fault survey on Tokachi-Heiya fault zone: Characteristics and distribution of the active structures

*Takashi Ogami¹, Shintaro Abe², Yashito Uchida³, Kenji Nishina³, Ryoyu Arai⁴, Takahiro Kubo⁴, Kenjiro Mukaiyama⁴

1. AIST, 2. ADEP, 3. HRO, 4. KGE Co., Ltd.

平成30年度文部科学省委託「内陸及び沿岸海域の活断層調査」の一環として、十勝平野断層帯の海域延長部における活断層の分布・性状および活動性を明らかにすることを目的として、海底活断層調査を実施した。本講演では、調査によって明らかになった海底活断層の分布・性状について報告する。

十勝平野断層帯は、陸域において断層帯主部と光地園断層に区分されている（地震調査研究推進本部，2005）。それらのうち光地園断層は、北西–南東走向を持ち、断層の北東側が相対的に隆起する逆断層によって構成されている。光地園断層は海岸線まで達していると推定されるが、海域延長部における活断層の分布は不明である。そのため、さらに沖合の海域において海底地質図（辻野・他，2014）に記述されている活構造と、陸域の光地園断層との関係も不明である。したがって、光地園断層の海域延長部における地質構造および活構造の分布を高い空間分解能で明らかにすることによって、断層帯の南端位置を明らかにする必要がある。

光地園断層の海域延長部における地質構造を精度良く把握するため、マルチチャンネル反射法音波探査を実施した。探査測線は、推定される海底活断層の走向に直交する向きに、水深50 m以浅の海域ではブーマーを音源として8測線（陸側から順に、B1～B8測線）、水深50～600 m程度の海域では容積15 inch³のウォーターガン（水銃）を音源として7測線（陸側から順に、W1～W7測線）を配置した。構造を対比できるようにB8測線とW1測線を同一線上に配置し、検測線をそれぞれの海域に1測線配置した。受信部にはチャンネル間隔2.5 mの12 ch ストリーマーケーブルを使用した。ウォーターガンを音源とした探査測線W2における断面図を図に示す。

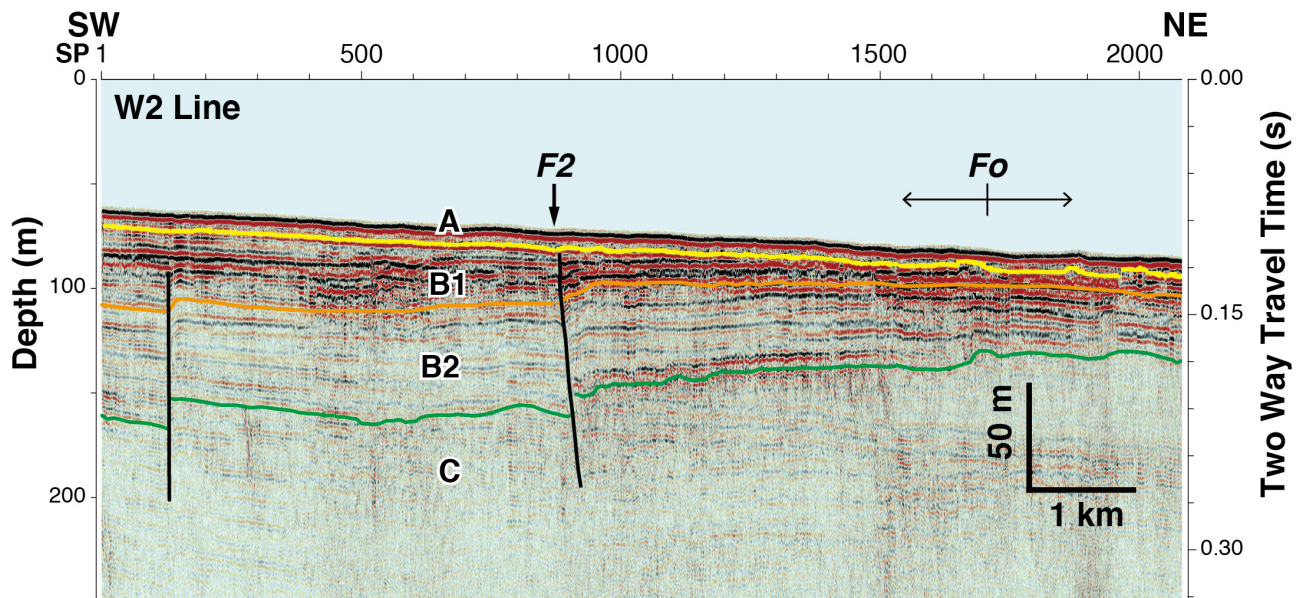
調査対象海域の層序は、音響層序および既存の海底地質図の成果にもとづき、沖積層（A層）、上部更新統（B1層）、中部更新統（B2層）、下部更新統ないし鮮新統以下（C層）に区分できる（図）。ブーマーを音源とした探査記録断面にもとづいて、光地園断層の海域延長部において、B1層を累積的に上下変位させる逆断層（F1断層およびF2断層）が確認できる。また、ウォーターガンを音源とした探査記録断面にもとづいて、ブーマー探査で確認できたF2断層を追跡できる（図）。さらに、B2層およびB1層の累積的な褶曲変形にもとづいて、逆断層（F3断層）が推定できる。これらの断層は断層の北東側を相対的に隆起させている。F1断層およびF2断層は、最も陸側の測線（B1測線）まで連続的に認識できるため、陸域の光地園断層に連続すると判断される。これらの断層は、海域によっては2～3条に分岐している。F2断層およびF3断層の北東側には活背斜（Fo背斜）が分布している（図）。Fo背斜は非対称性（背斜の南西翼の傾斜が相対的に急勾配）を有しており、F2断層およびF3断層の関連褶曲であると判断される。これらの活構造による変位はA層／B1層境界（侵食面）およびA層には確認できない。F2断層はB1層を累積的に上下変位させており、B8測線およびW1測線におけるB1層基底面の上下変位量は約14 mである。

断層帯の海域延長部には、活背斜（Fo背斜）の南西側にF1断層、F2断層、F3断層が並走して分布していることが明らかになった。断層帯の海域部における活構造の配置は、十勝平野断層帯主部と類似している。このことは、両者が同様の応力場で形成されてきたことを示唆する。本研究で明らかになったF1断層はB1測線～B6測線の範囲、F2断層はB1測線～W4測線の範囲、F3断層はW3測線～W5測線の範囲、Fo背斜はW1測線～W5測線の範囲に、それぞれ連続的に確認できる。一連の活構造はW6測線に至って認識できなくなる。そのため、断層帯の海域延長部に分布する活構造の南端位置は、W5測線とW6測線の間にありと推察される。以上にもとづくと、断層帯の海域部の長さ（海岸線から活構造の南端）は、最長で約33 kmとなる。また、陸域

における光地園断層と断層帯の海域部を合わせると、その断層長は約58 kmとなる。

地震調査研究推進本部（2005）：十勝平野断層帯の評価．23 pp.

辻野・他（2014）：襟裳岬沖海底地質図，海洋地質図，no.83(CD)，産業技術総合研究所地質調査総合センター．



図．十勝平野断層帯海域部における第四系の変形

F2断層は上部更新統（B1層）および中部更新統（B2層）を累積的に変位させる．完新統（A層）の変位は確認できない．Fo背斜はF2断層に伴う断層関連褶曲と判断される．

Offshore active fault survey on Tokachi-Heiya fault zone: Paleoseismic activities based on vibrocoring surveys

*Yasuhito Uchida¹, Kenji Nishina¹, Takashi Ogami², Shintaro Abe³, Ryoyu Arai⁴, Takahiro Kubo⁴, Kenjiro Mukaiyama⁴

1. HRO, 2. AIST, 3. ADEP, 4. KGE Co., Ltd.

講演者らは平成30年度文部科学省委託「内陸及び沿岸海域の活断層調査」の一環として、十勝平野断層帯の海域延長部における活断層の分布・性状および活動性を明らかにすることを目的とした海底活断層調査を実施した。本講演では主に、完新世～後期更新世における断層の活動性に関して得られた結果を報告する。

十勝平野断層帯は、北海道十勝平野にほぼ南北に分布する東側隆起の逆断層を主体とする活断層帯である。本断層帯の陸域はその分布形態から主部と光地園断層とに区分されている（地震調査研究推進本部, 2005）。南部の光地園断層の長さは約26 kmで北西-南東方向に延びており、その南端は海岸付近に達している可能性が指摘されていた。これまで光地園断層の海域延長部における活構造の分布に関する資料は確認されていなかったが、講演者らによる調査によって、その分布・性状が初めて明らかになった（本学会, 同セッションにおける講演：大上・他, 2019）。

これまで陸域で実施された調査によって、光地園断層における活動時期や活動に伴う上下変位量に関するデータが得られてきているものの（地震調査研究推進本部, 2005；産業技術総合研究所, 2013）、将来の活動を明確にするためには平均活動間隔を精度良く求める必要がある。しかしながら、海域における断層の活動履歴や変位量に関する情報は得られていない。そのため、本調査では海底下浅部の堆積構造を高分解能で把握するとともに、堆積物を採取して具体的な年代軸を入れることによって、活動履歴や変位量に関する情報を取得することを目的とした。本調査によって海域で取得した情報と陸域での結果を総合することによって、断層帯の活動性をより明確にできる可能性がある。

本調査では、陸域の光地園断層の想定される延長部海域において、高分解能音波探査および柱状採泥調査を実施した。音波探査測線は、底質採取調査が可能な海域（概ね水深50 m以浅）において、推定される海底活断層の走向に直交方向に8本の測線と検測線を1本設置した。音波探査は、ブーマーを音源としたマルチチャンネル音波探査（大上・他, 2019）に加えて、海底表層を高解像度で探査が可能な高周波音源を用いたパラメトリック方式シングルチャンネル高分解能音波探査を実施した。得られた反射記録断面に基づいて、底質採取地点を選定し、合計5地点の底質採取地点においてパイプロコアラを用いた柱状採泥をおこなった。採取した堆積物試料は肉眼およびCTスキャナを用いた観察を実施し、堆積物試料から得られた年代試料の年代測定を実施した。

高分解能音波探査結果と海底地質図等の既存資料からは、本調査対象海域の海底下浅部には上位からA層、B1層が分布している。ブーマーマルチチャンネル記録断面によれば、陸域の光地園断層の海域延長部において、大上・他（2019）に述べられているように、B1層を累積的に上下変位させるF1、F2の二条の逆断層が確認できる。これらF1、F2断層は調査域の最も陸側の海岸線付近まで連続的に認識されることから、陸域の断層に連続している可能性が高い。しかし、F1、F2断層による変位はB1層内部にとどまりA層／B1層境界面やA層内部においては確認できないことから、B1層の形成期間中にF1、F2断層による断層活動が2回以上存在したものの、A層／B1層境界面が形成されて以降は両断層による断層活動は存在しないと判断される。

さらに、後期更新世以降における断層の活動時期を検討するために、A層、B1層の具体的な年代決定を目的として堆積物中から得られた貝化石及び植物化石を対象とした放射性炭素年代測定をおこなった。堆積物コア試料の観察、音波探査記録断面との対比によって、コア試料を下位からb～a2～a1の3つの堆積ユニットに区分

した。堆積ユニットbはMIS 3に相当する放射性炭素年代（46.3 cal kBP）を示す氾濫原堆積物を含んでいる。探査記録断面と比較すると、本ユニットはF1断層によって変形を受けているB1層に対比される。上位の堆積ユニットa2（放射性炭素年代4.16–7.35 cal kBP）および堆積ユニットa1（放射性炭素年代1.54–0.73 cal kBP）は、砂礫によって構成される。探査記録断面と比較すると、本ユニットは海進に伴う侵食面（A層／B1層境界面）を介してB1層に累重しているA層に対比される。沖側のB7測線上の柱状採泥地点（TKC-8）地点の水深（約–37m）およびA層／B1層境界面の深度（約–65m）と、相対的海水準変動曲線を比較することにより、この侵食面が形成された年代は約12.5 kaと見積もられた。これらから、光地園断層の海域延長部における最新活動は、少なくとも12.5 cal kBP以前でかつ46.3 cal kBP以降にあったと推定される。

地震調査研究推進本部（2005）：十勝平野断層帯の評価。23 pp.

産業技術総合研究所（2013）：十勝平野断層帯（光地園断層）の活動性および活動履歴調査。「活断層の補完調査」成果報告書 No.H24-1。25pp.

大上・他（2019）：十勝平野断層帯海域延長部における活断層調査：高分解能音波探査記録に基づく分布・性状の把握。日本地震学会2019年度秋季大会講演予稿集。

Active tectonics in the northern part of Yamagata Basin, northeast Japan.

*Kyoko Kagohara¹, Shinsuke Okada², Hideki Kosaka³, Atsushi Miwa⁶, Kohei Abe⁶, Tomoo Echigo⁵, Toshifumi Imaizumi⁴

1. Faculty of Education, Yamaguchi University, 2. IRIDeS, Tohoku University, 3. Kankyo Chishitsu Co., Ltd, 4. Emeritus professor of Tohoku University, 5. Geo-Research Institute, 6. OYO Corporation

1. はじめに

仙台湾から奥羽脊梁山脈・出羽丘陵を横断して庄内平野に至る地域は、東北日本弧の中でも南北走向の逆断層や活褶曲が密集する地域である。その中に位置する山形盆地の西縁には、南北約60 km、主に西側隆起の逆断層帯が存在する。このうち山形県大石田町田沢から山形県河北町弥勒寺付近に至る約15 kmの区間では、活断層の地表トレースが複雑に併走・雁行している。さらに、断層群の低下側となる盆地中央部には、河島山丘陵が地形的な高まりとして存在し、その東側を通る活構造の存在も指摘されている（今泉ほか、2001；池田ほか、2002；瀬崎ほか、2016）。本研究では、地表形態が複雑な活断層帯の構造とその発達史を明らかにすることを目的として、地形・地質調査ならびに反射法地震探査及び重力探査を実施した。

本地域の活構造を把握するため、既存研究を踏まえて、本地域の地質を下位より中部中新統の楯岡層、上部中新統の本郷層、鮮新統の左沢層、葉山火山岩類、下部更新統の北山層、中部更新統の山屋層および沖積層とし、これらの分布と構造を調査した。また、本地域の段丘面は、空中写真判読と現地調査、新庄・尾花沢地域の火山灰編年に基づいて高位よりH面、M1面、M2面、L1面、L2面、L3面の6面に区分し、これらを基準として断層変位地形を判読した。反射法地震探査および重力探査は、山形盆地北部を横切るように2本の測線（Line AとLine B）を設定した。Line Aは、村山市西郷地区から大槇までの4.11km、Line Bは、村山市樽石地区から基点までの3.75kmである。Line AとLine Bは南北に約1.2km程度離れているが、両測線を合わせることで山形盆地北部の断層群を横断する。

2. 地形と地表地質からみた活構造

本研究では、段丘面の分布や形態、断層変位地形、地表地質に基づき、本地域の活断層を5つの断層群（西からF0～F4）に区分した。F0は、出羽丘陵の山地高度不連続に沿って、大高根山北東縁から寒河江川北岸付近に分布する。断層は楯岡層と本郷層の境界に推定され、楯岡層はほぼ直立している。F0を挟んだ山地高度の差は300～500mであるが、断層をまたぐ河岸段丘には変位が認められない。

F1は、丘陵地と盆地の地形境界に沿って、大石田町横山から河北町沢畑付近まで分布する。断層付近ではほぼ直立した左沢層が認められる。代表的な変位地形は、樽石川扇状地に発達する北北東-南南西方向のテクトニックバルジであり、断層を挟んだH面とL1面との比高は約40 mである。またL1面の上下変位量は約4 mである。

F2は最上川と丘陵地・盆地境界の間にある逆断層群で、断層に沿って非対称な褶曲や段丘面の山側への傾動が認められる。この断層群には高森山断層（F2a）とその東側に約1 km程度離れて並走する断層（F2b）が含まれる。F2aの代表的な変位地形は、樽石川右岸側の高森山東縁であり、断層を挟んだH面とL2面の比高は約79 mである。また、L1面の上下変位量は約4 mである。F2bの代表的な変位地形は、稲下東側の樽石川右岸側にみられる断層崖であり、その上下変位量はM2面で12 m、L1面で約5 mである。

F3は、河島山東縁に分布する逆断層で、断層の上盤側に非対称な背斜構造がみられ、最上川沿いの段丘面に西への傾動を与えている。最上川は概ねF2とF3との間を穿入蛇行している。代表的な変位地形は、浮沼周辺のL1面に認められる断層崖で、その上下変位量は約5 mである。

F4断層は、地質調査および後述する反射法地震探査から、明らかになった西傾斜の逆断層である。地表に明瞭な変位地形は認められないが、低地内にM面が残存していることやL面のわずかな傾斜変換などが、F3東側の低地が隆起していることの傍証とみることができる。

3. 地下構造と構造発達史

反射法地震探査および重力探査から、F1～F4は、いずれも西傾斜の逆断層であり、断層面の傾斜を考慮するといずれもF0に収斂することが分かった。F1とF2は、下位よりF2b, F2a, F1と重なるthrust sheetを形成して、地下500～800mのデタッチメントに、F3とF4は地下1200～1500mのデタッチメントに収斂することから、分岐する深度を基準として、大きくF1・F2とF3・F4というグルーピングが可能である。断層運動に伴う成長層に基づいて各断層の活動開始時期を推定すると、F1が北山層堆積期、F2が山屋層堆積期となり、過去にF1からF2への前進が起きたことが示唆される。また、F3およびF4の成長層は北山層にみられることから、F2に先行してこれらの断層が活動していたことも推定される。このことは最上川の流路固定に影響したと推察される。今後、総変位量や変位速度にも着目しながら、本地域の構造発達史をより詳細に検討していく。

Are "the long-term evaluations of active faults" consistent with the Quaternary crustal movements in the Osaka plain and the Nara basin ?

*Ichiro Kawasaki¹

1. Tono Research Institute of Earthquake Science

●1970年代の活断層研究の発展期には、大規模活断層の第四紀後半における活動度の等速性が強調された（松田，1977）。しかし、活断層の長期評価を単純に数10万年程度まで線形で外挿すると、等速性の考えや多くの地質学的知見と大きく矛盾するよう見える。この矛盾の理由を考えるヒントを得る目的で、上町断層、生駒断層、奈良盆地東縁断層の活断層の長期評価に基づいて累積地震性地殻変動の上下成分を180万年程前まで遡って計算し、間氷期ごとに形成されてきた大阪平野（吉川・他，1987）と奈良盆地（奥村・他，1997）の海成粘土層堆積構造や第四紀基底深度（小池・町田，2001）や、堀家・他（1996）の人工地震探査による地殻構造モデルと比較した。累積地震性地殻変動の計算では、活断層の長期評価に与えられている限りはその断層パラメータを用い、与えられていない場合（主として断層の長さや傾き）は適宜仮定した。計算には、Okada(1985)のプログラムを用いた。

●大阪平野と奈良盆地の海成粘土層堆積構造や人工地震探査の結果などによると、第四紀基底深度は、上町断層西側で1.5km～1.6km、上町断層で0.7km程、東大阪（大阪平野東縁部）で1.6km程、奈良盆地で0.4km程である。

最初のチェックとして、180万年程の累積地震性地殻変動の落差と、第四紀基底深度の落差を比較したが、おおむね調和的である。しかし、深度／高度そのものはまったく調和的でない。それは、弾性論的計算では、縦ずれ断層では、断層ずれの多くは上盤側が受け持ち、下盤側の沈降は小さいからである。

●奈良盆地の海成粘土層堆積構造を見ると、最近80万年程の海成粘土層が欠けている。それは、奈良盆地は、80万年程前以前は、定常的沈降が卓越していたが、80万年程前以降になると定常的沈降が停滞したか、あるいは隆起に転じたことを意味している。吉川・他（1987）の大阪平野の海成粘土層堆積構造も、80万年程以降、堆積速度は遅くなったように見受けられる。

そこで、堆積速度が変化した時期は80万年前から50万年前まで10万年間隔、それ以前と以降の沈降速度は10m/10万年の間隔で変化させ、「海成粘土層Ma3（86万年程前）、Ma6（61万年程前）、Ma10（33万年程前）などの堆積時点の深度が100mから0mの間」という拘束条件を満たす解を求めるために試行錯誤を行ったところ、次の「2段階定常的地殻変動説」に至った。

【180万年前から50万年前まで】広域的に70m/10万年程の沈降、

【50万年前から現在まで】広域的沈降は無し。

●この2段階定常的地殻変動と累積地震性地殻変動によって上町断層の下盤側と上盤側の各年代の基底面の深度と地表面の深度を復元すると表1のようになる。＜＞で括った深度は上記の拘束条件を満たしていないものである。生駒断層下盤側（東大阪）と生駒山、奈良盆地中央部に対してもそれなりにプロセスを復元することができる。もちろん拘束条件に矛盾する点も多々あるが、発表者には、予想外に、上記の海成粘土層構造や先行研究によって推定された古地理とあらまし調和的であるように思われた。

あらましにせよ、調和的であるという事実は、「2段階定常的地殻変動仮説を媒介に、1万年程の証拠によって求められた活断層の活動度が、近似的には、100万年のオーダーまで線形で外挿可能である」ことを示しているように思われる。また、六甲変動は50万年程前頃に始まったとされているが、「断層運動の縦ずれ成分は、50万年程前以前は定常的地殻変動（沈降）によって埋没してきたが、50万年程前以降には地表に顕在化した」ということかも知れない。

もちろん「2段階定常的地殻変動説」による復元案には不確実性は大きい、定常的地殻変動が無いモデル化や、1段階のモデル化では、海成粘土層の堆積構造を到底説明できないことを強調しておきたい。

●残された主たる問題点は、①断層面の幅と深部の傾斜が不明の場合は適宜仮定したこと、②地殻変動をモデル計算したとき、断層滑りは断層面上で均一としたが、実際には揺らぎがあると考えられること、③断層面の幅が30 kmで、累積断層ずれが1000mだと、弾性歪み0.03になる。こんな大きな歪みは通常の線形弾性理論の

適用限界から外れること、④堆積層底部における地層の圧密などは考慮していないこと、⑤定常的地殻変動（速度）が50万年程前頃に変化したのなら、活断層の活動度、従って地震性地殻変動も変化した可能性があることなどであろう。

参考文献

堀家・他，地震第2輯，第49巻，193—203，1996.
小池・町田編，『日本の海成段丘アトラス』，2001.
松田時彦，地団研専報，20，213-225，1977.
岡田篤正，第四紀研究，19，3，263-276，1980.
Okada,Y., BSSA, 75, 1135-1154, 1985.
奥村・他，地質調査所，51-62，1997.
吉川・他，物理探査学会第77回講演論文集，114-117，1987.

表 1 上町断層の下盤側と上盤側の各年代における第四紀基底と地表堆積面の深度復元案

年代	上町断層				堆積した地層
	下盤側基底	堆積面	上盤側基底	堆積面	
【180 万年前頃】	-275m 程		-295m 程		
【100 万年前頃】	-975m 程	-35m 程	-675m 程	-25m 程	ピンク火山灰層
【86 万年前頃】	-1098m 程	-8m 程以浅	-742m 程	<+28m 程>	Ma3 層
【61 万年前頃】	-1317m 程	-87m 程	-861m 程		Ma6 層
【50 万年前頃】	-1413m 程	沈降速度急減	-913m 程	隆起に転じた	
【33 万年前頃】	-1442m 程	-52m 程			Ma10 層
【12 万年前頃】	-1480m 程		-827m 程	-2m 程	浅海性化石層
【現在】	-1500m 程		-800m 程	+25m 程	中位段丘に成った
現在の深度	ピンク火山灰層 -560m 程 Ma3 層 -410m 程 Ma6 層 -270m 程 Ma10 層 -110m 程		ピンク火山灰層 -150m 程		

直感的に分かりやすいように，沈降は-，隆起は+の符号を付けた。

Room D | General session | S14. Earthquake Prediction and Forecast

[S14]PM-1

chairperson:Yoshinari Hayashi(Faculty of Societal Safety Sciences, Kansai Univ.), Masajiro Imoto(National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

Wed. Sep 18, 2019 2:30 PM - 4:00 PM ROOM D (International Conference Halls I)

[S14-01] Social Responses to Expert Questionnaires on the Possibility of Earthquake Short-term Prediction

*Yoshinari Hayashi¹ (1. Faculty of Societal Safety Sciences, Kansai Univ.)

2:30 PM - 2:45 PM

[S14-02] Earthquake predictions by the atmospheric ion of different points

*Kenta Watanabe¹, Naoyuki Yada² (1. Graduate school of Kanagawa Institute of Technology, 2. Kanagawa Institute of Technology)

2:45 PM - 3:00 PM

[S14-03] Measurements of Animal Abnormal Actions for Earthquake predictions

*Naoyuki Yada¹, Kenta Watanabe² (1. Kanagawa Institute of Technology, 2. Graduate school of Kanagawa Institute of Technology)

3:00 PM - 3:15 PM

[S14-04] Reinvestigation of correlation between groundwater anomalies and earthquakes carried out by an amateur network “Namazu-no-kai” in Japan

*Yoshiaki Orihara¹, Toshiyasu Nagao¹ (1. Inst. Oceanic Res. &Develop., Tokai Univ.)

3:15 PM - 3:30 PM

[S14-05] High resolution seismicity models using interpolation with Delaunay triangulation

*Yosihiko Ogata¹ (1. Institute of Statistical Mathematics)

3:30 PM - 3:45 PM

[S14-06] Long-term Probability of a Great Earthquake along the Kurile Trench, Japan and its epistemic uncertainty

*Masajiro Imoto¹, Nobuyuki Morikawa¹, Hiroyuki Fujiwara¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

3:45 PM - 4:00 PM

Social Responses to Expert Questionnaires on the Possibility of Earthquake Short-term Prediction

*Yoshinari Hayashi¹

1. Faculty of Societal Safety Sciences, Kansai Univ.

地震の直前予知の可能性について、多くの地震研究者は「難しい」という見解を繰り返し述べているが、市民や行政担当者と研究者の間で難しさについての共通認識が得られているとは言い難い。研究者の中でも地震予知に関する認識は様々で、「破壊現象は偶然に支配される部分が大きいため原理的に無理」ということを強調する人、「科学的には地震予知の可能性があるので今は難しいが研究を続けなければならない」という視点を強調する人、「社会対応まで含めると実地的地震予知の実現は無理」と考える人などがいて、地震予知の難しさについての統一見解のようなものがあるわけではない。また、研究者の間でも認識に幅があるということは、正解や見本のある問題に慣れすぎてしまった人や、強力なリーダーシップに期待しがちな人々には受け入れがたいことであり、このことが社会対応まで含めた地震予知の議論が暴走しやすい一因とも思われる。そこで林(2019, 地球惑星科学連合大会)では、地震予知に至るまでの過程を科学的および社会的要素に分解したアンケート調査を行い、地震研究者が考える地震予知の難しさの定量化・可視化を試みた。

アンケートは日本地震学会の理事15人と代議員123人の合計138人を対象とし、メールまたは対面で依頼し記名での回答を求めた。最終的に90人から有効な回答を得た（有効回答率65%）。

地震予知に至るまでのプロセスは「1.地震前の異常現象の有無」、「2.異常現象の観測可能性」、「3.観測されたデータから短時間で異常を判定できる可能性」、「4.判定した結果を即座に社会に向けて発表できるか否か」という4つの要素に分けて、それぞれについて0%から100%まで10%刻みの数値で回答を求めた（＝予知率）。また、地震予知に関連する情報が発表された時に、地震が発生する確率についても同様に0%から100%まで10%きざみの数値で回答を求めた（＝的中率）。各数値に理論的根拠や観測記録に基づいた根拠を求めることは困難であるが、研究者の経験や直感は無視できないと考えて、擬似的な定量的評価を試みた。

地震予知に至る4つの要素はいずれも地震研究者が考える成功率の幅は大きく、当初想定していたように地震研究者の統一見解は得られなかった。例えば「地震前に異常現象が存在する」は平均値49.3%、中央値50%、標準偏差30.5で0%から100%まで回答の幅があった。

4要素の中で最も困難だと考えられていたのは、観測されたデータから短時間で異常を判定することで、平均値27.9%、中央値20%、標準偏差26.5であった。また、研究者間でもっとも評価がわかれたのは、判定された結果を即座に発表できるか否かであった（平均値40.9%、中央値50%、標準偏差34.6）。これは科学とは関係しない部分で、地震研究者の行政組織への信頼感に幅があることを反映しているものと考えられる。

各研究者が評価した予知率（1×2×3×4）の平均値は5.8%（中央値では1.2%）で非常に低い値となった。また予知情報が出されたときに地震が実際に発生する確率（的中率）の見積もりは平均で19.7%となり、5回情報が出ても4回は地震が起きないだろうという評価になった。

予知に至るまでの4つの要素をそれぞれ単独で見れば、いずれも30%から50%程度は可能性があると評価されており、ある程度は期待できる数値である。この値は静岡県による市民の地震予知への期待値に関する調査における平均値に近い値でもある。しかし地震予知を成功させるには、4つのプロセス全てが成功しなければならないため、最終的な予知率は極めて低くなる。

このような内容についての発表が新聞記者の目にとまり、連合大会の発表前にK通信とY新聞から取材を受け

た。K通信の配信記事は全国の地方紙や日本経済新聞などに掲載されるとともに、Yahoo!ニュースのトップにも掲載された。取材対応においては研究者の認識に幅が大きいことと、各要素を単独で取り出すと30%から50%と考える研究者が多く、これだけに注目すると地震予知に期待がもてるような印象を与え、それが誤った印象を市民にあたえがちなことを強調したが、記事になる時にはわかりやすさが優先され、予知率の平均値5.8%に、的中率の平均値19.7%をかけた地震予知の成功率は1%という見出しになった。多様性があり、回答の幅もあるので、単純な平均値で結果を説明するのは難しいということを、社会に伝えることの難しさを味わうとともに、ややヒステリックなメールやSNSの反応も多数いただいた。またK通信の配信記事では、見出しの変更や独自取材による識者のコメントの追加が認められており、同じ内容の記事であっても地方によって与える印象に大きな差が見られた。

一方、Y新聞については日本地震学会の会長や、評価検討会の委員長が地震予知は難しいと言っていること、そのものですねという反応で、こちらは記事になることはなかった。

Earthquake predictions by the atmospheric ion of different points

*Kenta Watanabe¹, Naoyuki Yada²

1. Graduate school of Kanagawa Institute of Technology, 2. Kanagawa Institute of Technology

1. はじめに

我が国は世界でも有数の地震大国であり、大規模地震による被害は甚大である。地震発生前には様々な前兆現象が報告されている⁽¹⁾。そこで本研究では、地震前兆現象のひとつとされる大気イオン濃度の異常⁽²⁾に着目した。

NPO法人e-PISCOでは、全国規模で大気イオン濃度の測定を継続的に行っており、本研究では全国9ヶ所の測定データを使用し、地震発生日時の予測に加えて震央の予測について考察を行った。

2. 測定装置および予測方法

大気イオン濃度の異常値は、地震発生日が近づくに従って減少していく傾向がある。一例として、北海道河東郡音更町における2019年3月から4月の大気イオン濃度のグラフを図1に示す。本研究では、2つの基準値を設定して異常値を判断した。初めに計測された最大異常値をA、その後に再び計測された異常値をBとし、2つの異常値を直線で結ぶことにより、日付軸と交わった前後72時間を地震発生の予測期間とした。

測定期間は2017年3月1日から2019年6月30日までの27ヶ月である。本研究では予測の対象とする地震を「対象地震」と呼称し、各測定地点から半径500 km圏内で発生したマグニチュード (以下Mと略す) 5.0 以上の地震と定めた。なお、発生した地震の情報については、気象庁発行の週間地震概況⁽³⁾を参考にした。また、予測期間に複数の対象地震が発生した場合には、最も規模が大きいものを選択した。さらに、複数の測定地点の予測が同時期を示した場合には、「最大異常値 Aの発生が遅かった測定地点が最も震央に近い」と推論を立て簡易的な震央の予測を行った。

3. 測定結果

前述の予測方法を用いた結果、測定期間中に発生した対象地震は114回であり、そのうち56回については、時間的予測 (事前の捕捉) に成功した。また予測の総数174回のうち、79回が的中した。本研究では予測に関する評価基準として、予測的中率および地震捕捉率を算出して評価を行った。予測的中率とは、予測を行った総数のうち、予測が的中して対象地震が発生した割合であり、地震捕捉率とは、発生した対象地震の総数のうち、予測が的中した割合である。

表1に測定地点別の予測的中率および地震捕捉率を示す。測定器の故障により、測定を長期間行うことができなかった札幌測定点、小山測定点、飯田測定点を除き、対象地震数に大きな差はなかった。予測回数については、連続した異常値などが原因となり、予測方法を適用できない測定地点が存在したため、予測回数に大きな差が生じた。また、対象地震数と比較して予測回数が少ないことから、地震捕捉率は全体的に低い結果となった。一方で、予測的中率については測定地点ごとにばらつきがみられたが、複数の測定地点にて予測が同時期を示し、異なる測定点から同じ地震について予測に成功した。

的中した予測の一例として、2019年4月11日17時18分頃に三陸沖を震源として発生したM 6.2の地震に着目する。

表2は同時期に複数地点で異常が見られた時の予測を示している。表2のように複数の測定地点において地震発生予測が同時期を示した場合には、最大異常値 Aの発生が最も遅かった音更測定点から半径500km圏内にて4月10日前後の地震発生を予測した。

実際の地震発生は各予測の前後72時間以内の4月11日17時18分頃であることから、時間的予測は成功したといえる。また、発生場所についても音更測定点が震央に最も近かったことから、簡易的ではあるが発生場所の予測に成功した。

同様に複数の測定地点で地震発生予測が同時期を示したのは20回であり、そのうち8回は簡易的な震央の予測に成功した。しかし、対象地震の範囲が広過ぎることや、長期間のデータを使用したにもかかわらず、発生し

た対象地震の総数に対して震央の予測を行うことができた回数がかなり少ないことから、現状では地震発生日時と震央の予測を同時に行うことは困難であるといえる。

4. おわりに

大気イオン濃度の異常より対象地震の約45%の発生日時を事前に予測することができたが、震央の予測については複数の測定地点のデータを用いても現状は不十分な確度であった。

測定に使用したCOM-3700において、地震前兆現象となる異常を示す地震の発生範囲は半径300 km圏内とされているが、本研究では震央の予測について広域での検証を行うため、対象地震を各測定地点より半径500 kmとした。そのため、より正確に震央の予測を行うには、対象地震の範囲を限定しても現在の対象地震と同等の範囲をカバーできるよう測定地点を増やすなど、データを蓄積していく必要がある。

地震予知には「時間」、「規模」、「場所」の3要素全てが備わらなければならないため、天気予報のように地震予知が身近な存在になるのには、時間を要するであろう。

参考文献

- (1) 弘原海弘, 前兆証言1519!, 東京出版, ISBN4-924644-49-8, 1995.
- (2) NPO法人 大気イオン地震予測研究会 e-PISCO, <http://www.e-pisco.com/> (2019).
- (3) 気象庁, 週間地震概況 No.1678 ~ No.1800 (2017-2019).

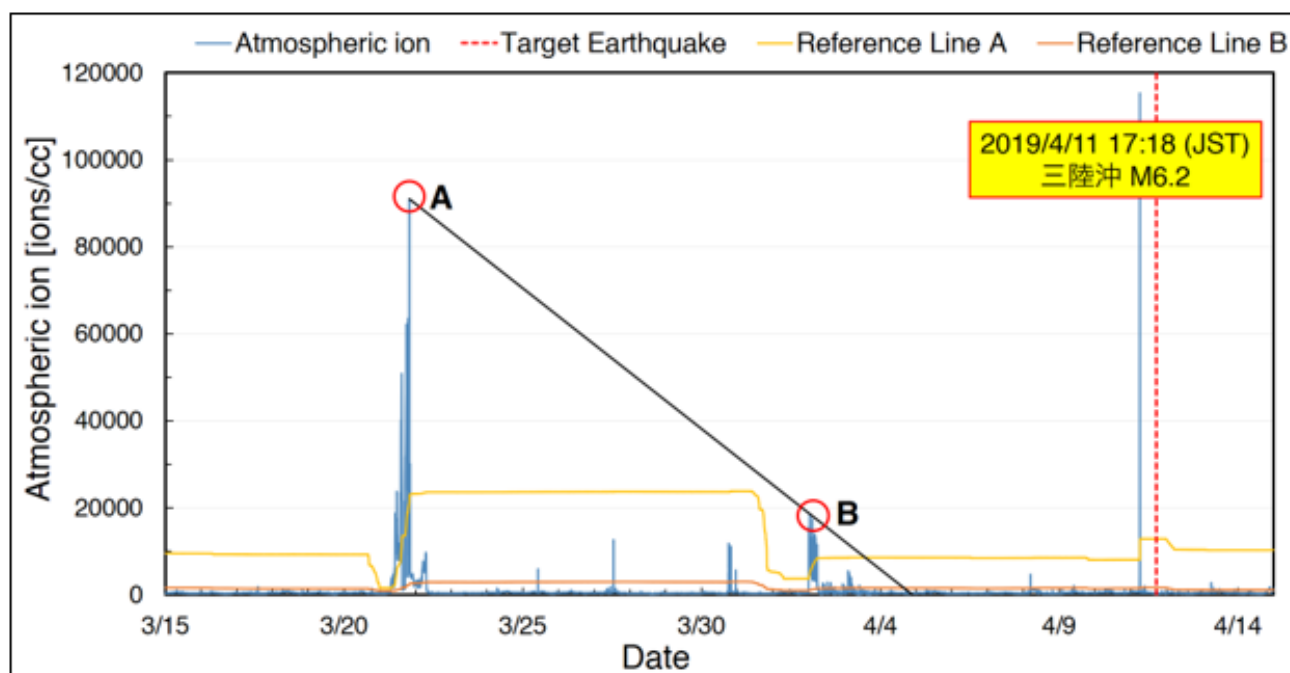


図1 予測方法
(北海道 河東郡音更町 2019年3月15日～4月15日)

表1 測定地点別の予測的中率および地震捕捉率

測定地点	対象地震数	予測回数	予測的中数	予測的中率 [%]	地震捕捉率 [%]
音更	52	26	13	50.0	25.0
札幌	44	15	10	66.7	22.7
柴田町	66	14	9	64.3	13.6
小山	39	25	10	40.0	25.6
松本	56	8	3	37.5	5.4
飯田	45	25	8	32.0	17.8
厚木	58	9	3	33.3	5.2
沼津	56	17	10	58.8	17.9
清水	55	35	13	37.1	23.6

表2 複数地点において同時期に重なった地震予測

測定地点	北海道 音更町	宮城県 柴田町	静岡県 沼津市	静岡県 清水区
------	------------	------------	------------	------------

Measurements of Animal Abnormal Actions for Earthquake predictions

*Naoyuki Yada¹, Kenta Watanabe²

1. Kanagawa Institute of Technology, 2. Graduate school of Kanagawa Institute of Technology

1. はじめに

動物と地震の関係には、昔から様々な伝承や記述が存在しており、最近の大規模地震に関しても報告がされている⁽¹⁾⁽²⁾。しかしながら、動物の異常行動を活用して地震の予知に役立てようとする研究例は、世界的にも非常に珍しく、本研究グループの研究に対しても海外メディアが取材に来るほどである⁽³⁾。その一方で地震前に顕れる動物の異常行動の報告例は、いずれも定性的な報告例であり、地震予知に応用するためには、平常時から定常的に動物の行動を、定量的に計測する必要がある。

本研究では動物の異常行動の定義として、以下の(1)式を用い、本研究で予測を行う対象としての地震は、マグニチュード4.5以上の半径350 km以内で発生する地震とした。

動物の行動回数 > 1ヶ月前までの平均行動回数 + 標準偏差の1.5倍 (1)

2. 動物の行動測定装置

本研究では多地点での動物の異常行動情報を収集するために、図1に示すような行動測定キットを制作して協力者または協力機関に提供した。本研究で行動を計測した動物のうち、犬やネコ以外の動物は、このシステムを使用した。すなわち、水槽Cの両側にDのセンサーを配置して、その間を動物Bが横切る回数をカウンターAで記録する装置である。鳥やヘビの場合には、水槽Bの代わりに鳥かごやプラスチックケースを使用している。

3. 2019年5月までの測定結果

地震が発生する予測情報に関する評価基準としては、的中率と捕捉率の二つをあげることができる。すなわち、的中率とは、異常行動を示した回数のうち実際に地震が発生(的中)した回数の割合であり、本研究では当日も含めて3日以内に発生したものを的中とした。また捕捉率とは、予測対象とした地震の回数のうち、3日前までに動物が異常行動を示した回数の割合である。なお、予測対象とした地震の回数は測定地点によって異なる。

表1には、2018年3月～2019年5月の本研究の研究成果として、各動物の異常行動回数と発生した対象地震の関係をまとめた。表中の測定地点の記していない動物は神奈川工科大学(神奈川県厚木市)で飼育している動物である。

表1から明らかなように、2019年5月までの計測では、的中率が平均で34%、捕捉率が平均で25%であり、この数値は測定地点を増やすことで、さらに上昇するものと考えている。

4. 動物の異常行動計測ネットワーク

多地点によって動物の行動計測が遂行されるようになった場合、大きな問題となるのが計測データの収集・整理である。また、全国から提供された計測データを如何に公表して、それに基づく地震発生予測を如何に伝達するかも重要な課題の一つである。

計測協力者には、児童・生徒などの子供たちの参加も想定しているため、誰でも気軽にアクセスして自分たちの計測データを報告できるシステムの構築が必要となる。本研究グループでは、2016年度から計測データの収集にGoogleから提供されているフリーのクラウド上のドライブファイルを使用している。

このシステムを利用することにより、インターネット環境とGoogleアカウントさえあれば、各地の計測協力者が指定の箇所にデータを書き込むことが可能である。

書き込まれた計測データに基づいて、動物の異常行動を判断することは、本研究責任機関である神奈川工科大学で行う。また、計測協力者のうち希望する方には、異常行動の判別に使用するExcelファイルの提供も予定し

ている。

5. おわりに

日本のように毎年のように人的被害をもたらすような大規模な地震が発生している国においては、そのような地震を、その発生前に予測することができれば防災上だけでなく、経済的な面からも大きなメリットがある。地震予知は様々な研究機関において種々の手法で試みられており、その予測精度はこの半世紀でかなり上がってきている。しかし、未だに確実な予測手法が確立されているわけではなく、多くの研究者が試行錯誤しながら挑戦しているのが現状である。

そのような現状において、子供たちにも協力をしていただく「動物の異常行動の計測」による地震予知は、防災意識の啓蒙活動の面からも、予測が外れた際の非難を躲す面からも、期待できる手法の一つと考えられ、そのためのインターネット環境を利用した情報収集および収集した情報に基づく予知情報の発信は、未だに「天気予報」のように「地震予報」が発表されない「地震予知」の分野に、大きな一石を投じることになると考えている。

参考文献

(1) 弘原海弘, 前兆証言1519!, 東京出版, ISBN4-924644-49-8, 1995.

(2) 矢田直之, 自然災害-この予兆に気をつけろ! (地震予知に挑む②), ネコ・パブリッシング社, ISBN 978-4-7770-1872-7, 2015.

(3) for example, FRANCE24, environment animals all the answers earthquake prediction pollution detection cats tadpoles cows, English

version:<http://www.france24.com/en/20130126-environment-animals-all-the-answers-earthquake-predictions-pollution-detection-cats-tadpoles-cows> (2013).

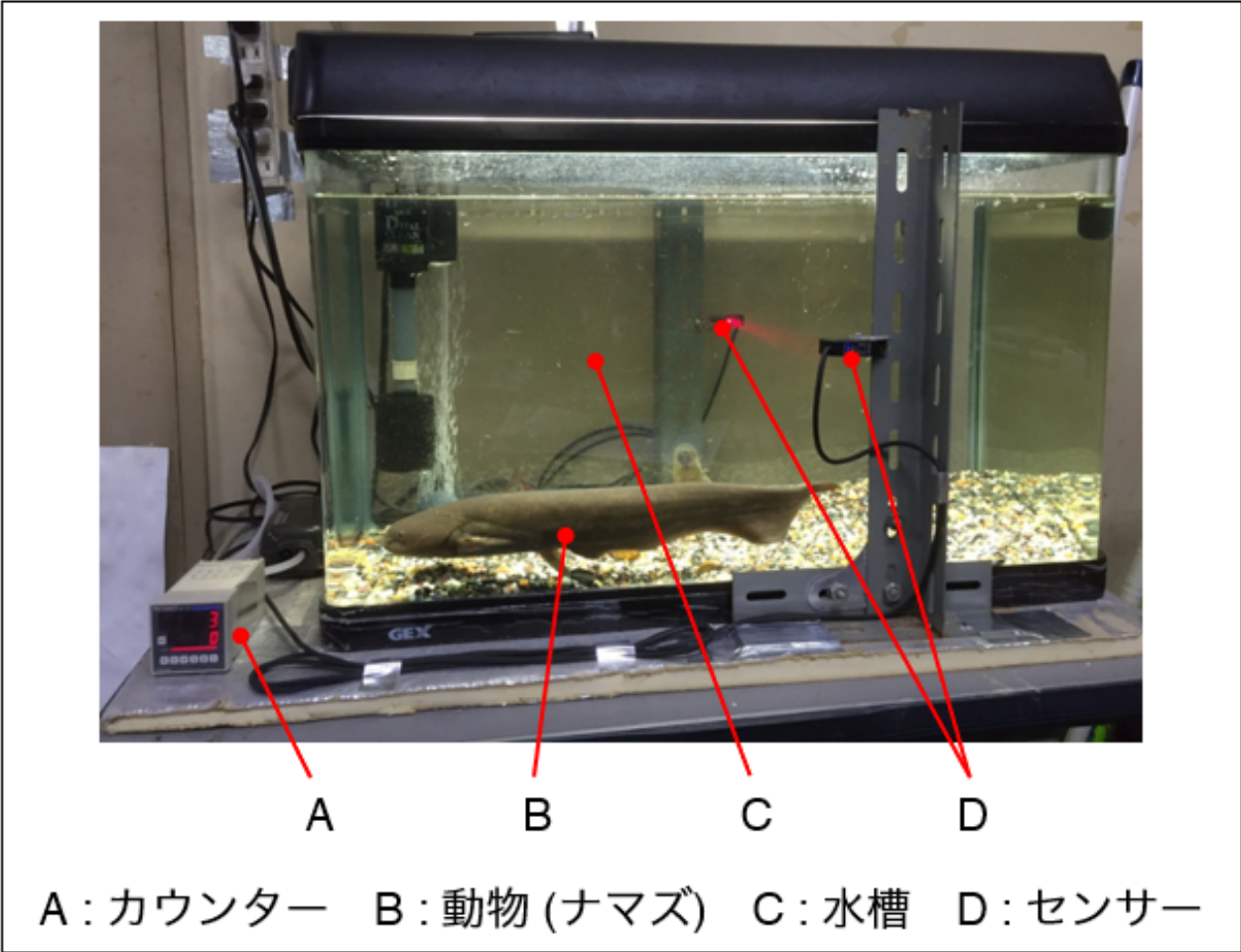


図1 水槽を用いた行動回数計測システム

表1 2019年5月までの動物の異常行動と発生した地震

	的中率 [%]	捕捉率 [%]	対象地震
ナマズ	32.5	22.0	59
ウズラ	32.7	30.5	
ヘビ1	33.3	23.7	
ヘビ2	25.0	20.3	
白ネコ	43.8	35.6	
黒ネコ	36.4	25.5	47
文鳥	33.3	22.7	22
ナマズ (神奈川県横須賀市)	40.5	27.4	62
ウーパールーパー (東京都練馬区)	29.6	12.7	63

Reinvestigation of correlation between groundwater anomalies and earthquakes carried out by an amateur network “Namazu-no-kai” in Japan

*Yoshiaki Orihara¹, Toshiyasu Nagao¹

1. Inst. Oceanic Res. & Develop., Tokai Univ.

1976年に設立された「なまずの会」は、地震予知を目指した一般民間人による地下水観測のグループである。多いときには、神奈川県・東京都・静岡県を中心に、のべ200以上の個人や団体が参加していた。「なまずの会」では主に浅井戸の水位観測が行われ、観測者は定期的に観測結果をハガキで事務局へ報告し、神奈川県温泉地学研究所報告（観測だより）でデータが公表されていた。このデータは観測者ごとに分けられ、日毎に異常あり・なしの形で示されている。この形式のデータは、1977年2月から1987年12月までの10年10ヶ月分が残っている。期間中に地震先行異常を捉えたとされる地震は、1978年の伊豆大島近海地震（M7.0）、同年の宮城県沖地震（M7.4）などである。これらの地下水異常と地震との関係については、Oki and Hiraga (1988) などで既に紹介されている。しかし、いずれも地震前に着目した分析が中心であった。そこで、本研究ではマグニチュード(M)6.0以上M6.5未満の地震は、観測点から半径100km以内、M6.5以上M7.0未満は半径150km以内、M7.0以上M7.5未満は半径200km以内、M7.5以上M8.0未満は半径250km以内で発生した地震を対象にして、地震前の異常あり・なし、異常後の地震あり・なしを調べた。その結果、地震前の異常があった観測点の割合は、全体の3～4割程度であった。また、対象となる19個の地震について、地震7日前までに地下水異常があった地震は10個だった。仮に好成績観測点の基準をAAR (Anomaly Appearance Rate: 予知率) $\geq 50\%$ 、かつEOR (Earthquake Occurrence Rate: 適中率) $\geq 50\%$ 、かつ確率利得 ≥ 20 、かつp値 $\leq 5.0\%$ とした場合、6観測点（全体の4.5%）がそれに該当した。

謝辞：本研究は東京大学地震研究所共同利用（2019-Y-地震（中短期予測）2）の援助を受けました。

High resolution seismicity models using interpolation with Delaunay triangulation

*Yoshihiko Ogata¹

1. Institute of Statistical Mathematics

階層的時空間ETAS（HIST-ETAS）モデルは、地震活動の空間的非一様性を表すために、位置に依存する係数を用いた時空間ETAS地震活動モデルです。任意の位置での値が、地震位置と追加点で構成したDelaunay網の各三角形の端点での3つの値（係数値）によって線形補間される区分線形関数となります。係数値の数が膨大なので、推定には区分線形関数の適切な制約の下で罰則付き対数尤度を最大化することによって最適解を得ます。これは地震の集中地域での高解像度の変化を提供し、地震活動の活発な段階で地域性の違いに対応した高解像な時空間予測を提供します。

このモデルは余震や群発地震の非等方性を再現し、短期時空間予測を提示するのに役立ちます。また、背景地震活動のインバージョン解は地震多発帯周辺では空間強度が数桁の違いで変化するが、大地震の長期的な位置予測に有用であることが確認されている。

本発表はDelaunay三角網を使った2次元HIST-ETASモデルやその他のモデルの階層的時空間プロセスモデル（HIST-PPM）の推定のフリーソフトウェアの紹介を兼ねています。また3次元版の階層的モデルで関東直下の地震予測についても言及したいと思います。



Long-term Probability of a Great Earthquake along the Kurile Trench, Japan and its epistemic uncertainty

*Masajiro Imoto¹, Nobuyuki Morikawa¹, Hiroyuki Fujiwara¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

北海道東部の津波堆積物の調査から、十勝沖から根室沖を震源とする超巨大地震（17世紀型）が繰り返し発生したことが推定されている。政府地震調査委員会は、BPT分布モデルを用いて今後30年以内の地震発生確率は7～40%と評価した。また、震源域が不特定な地震として、ポアソン過程モデルを適用して5～9%と評価した。

発生確率の不確定性に関しては、調査委員会報告書(2017 表7)の地震発生時期を用いて、1) Parsons (2008)の方法に準じたBPT分布モデルとポアソン分布モデルの適合度比較や、2) 異なる関数形を仮定して、発生時期確率密度関数の影響を検討し、これまで次のような結果を得た。

1)ポアソン分布モデルに対するBPT分布モデルの尤度比は藻散布沼の系列で0.70-0.79となり、ポアソン分布モデルの尤度が高い。これに対し、霧多布湿原の系列では尤度比は約2.0となりBPT分布モデルの方が高い。
2)確率密度関数の違いによる尤度比の変動は1割程度である。BPT分布モデルに基づく今後30年間に地震が発生する確率の平均値は、藻散布系列で約11%、霧多布系列で21%前後である。平均値は、モデルパラメータの尤度（合致数）を重みとした加重平均である。密度関数の違いによる確率値の変動は僅かである。ポアソン分布モデルでは、データや確率密度関数の関数形の影響は僅かで、平均値は約8%である。

藻散布沼系列と霧多布湿原系列で最適モデルが異なることや確率値に大きな差があることから、これら2カ所の系列を統合して解析することを試みた。表7に記載された各地点2つの推定堆積期間(68%および95%区間)に基づき推定した確率密度分布を比較する(図1)。ここで、縦軸はそれぞれ最大値で正規化してある。また、密度関数はそれぞれの区間で68%あるいは95%を満たす一様な関数として求めた。実線は藻散布沼の系列であり、点線は霧多布湿原の系列である。

2地点の推定発生期間を比較すると、5回のイベントのうち4回で発生期間の一部が重なるが、残り1回(No. 4)では全く重なっていない。2地点の推定堆積期間に重なりが認められる場合には、信頼度の高い発生時期を特定することが可能となるが、No.4ではそれが困難となる。このため、藻散布沼系列と霧多布湿原系列を相異なる独立した時系列として処理する。

統合処理の結果、BPT分布モデルでは確率の平均値は約14%となった。この計算では、藻散布沼系列と霧多布湿原系列を独立な時系列としているが、これらの堆積物が同一の地震を対象としていることを考慮すると、独立でない場合を検討する必要がある。

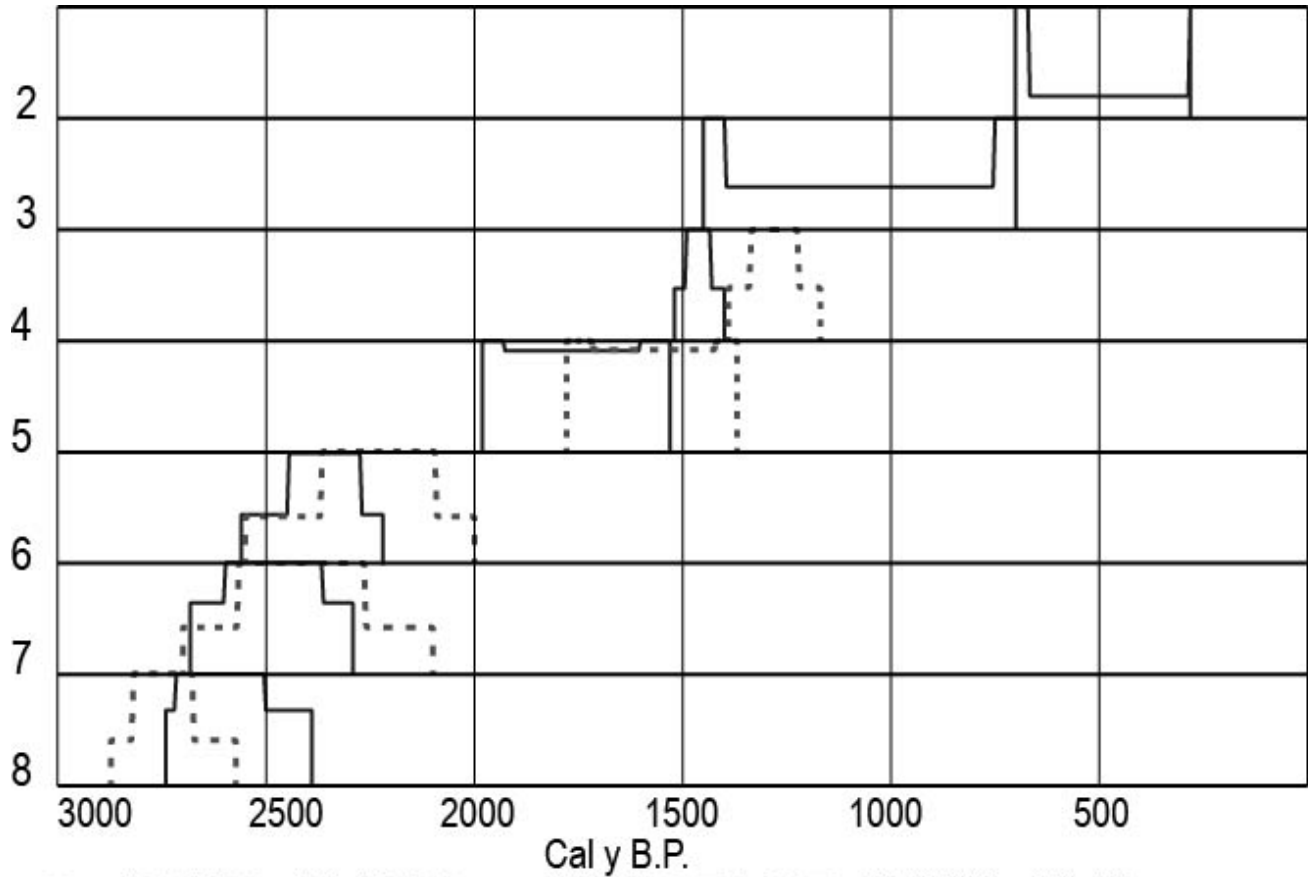


図1 超巨大地震の発生確率評価に用いた藻散布沼と霧多布湿原の津波堆積物の堆積時期。
表7の68%および95%区間から 密度関数を階段関数で推定. 各密度関数の最大値で正規化されている.
実線は藻散布沼系列で波線は霧多布湿原系列である.