

Wed. Sep 18, 2019

ROOM D

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

[S10]AM-1

chairperson:Kentarō 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

*Kentarō 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, Kentarō 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, Yoshiko 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 | 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 Kowaraban 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

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、被害地震のカタログが整備されてきた（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、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 Kawaraban 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。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)

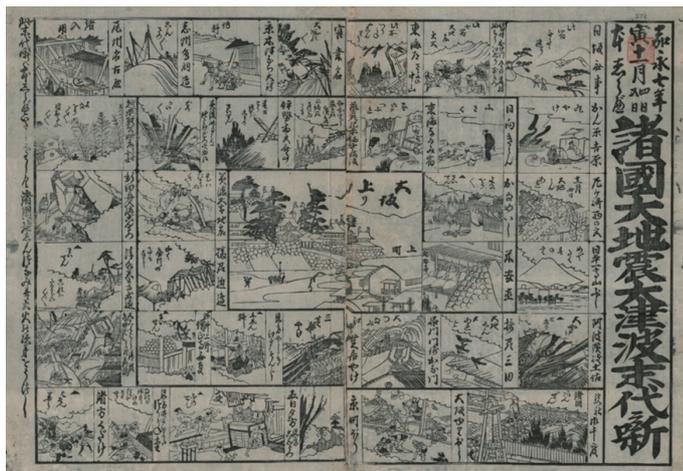


図1 諸国大地震大津波末代噺



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。

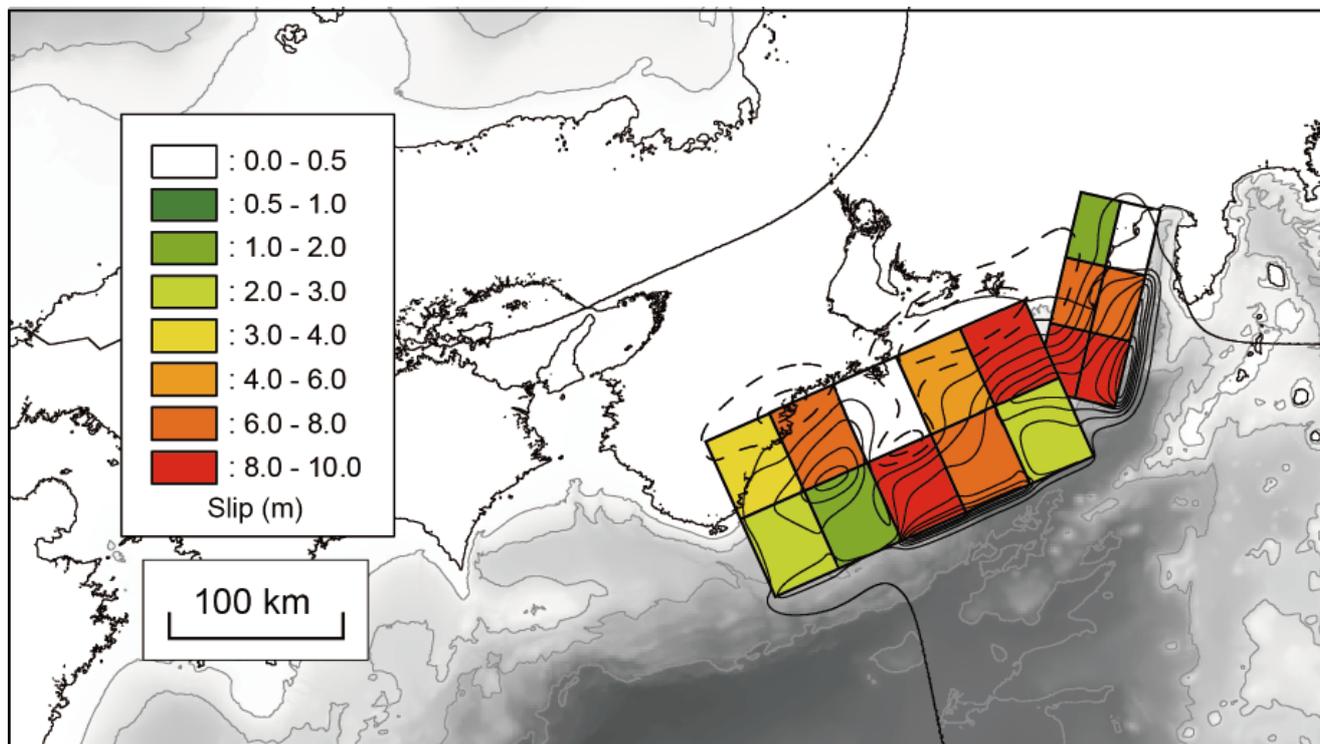


図1 本研究による安政東海地震の波源断層モデル. 図中のコンターは地殻変動量を示し, 実線は隆起, 破線は沈降, その間隔は0.5 mである.

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により、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.

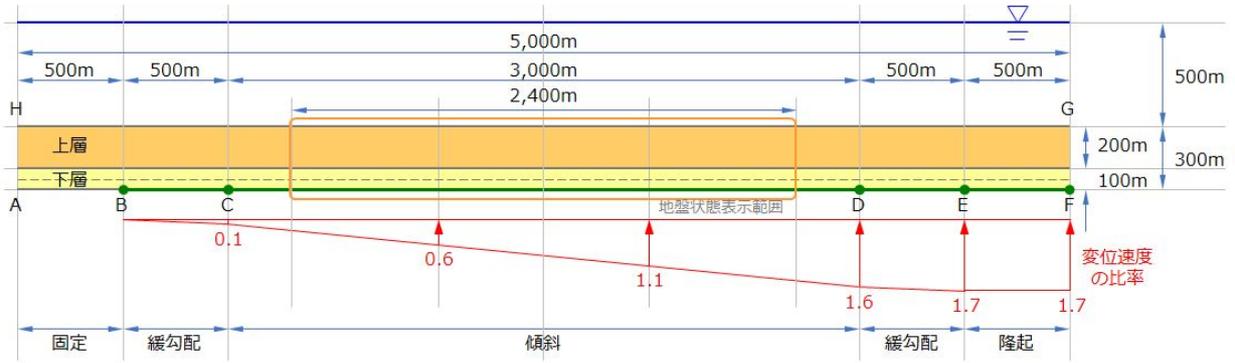


図1 計算領域

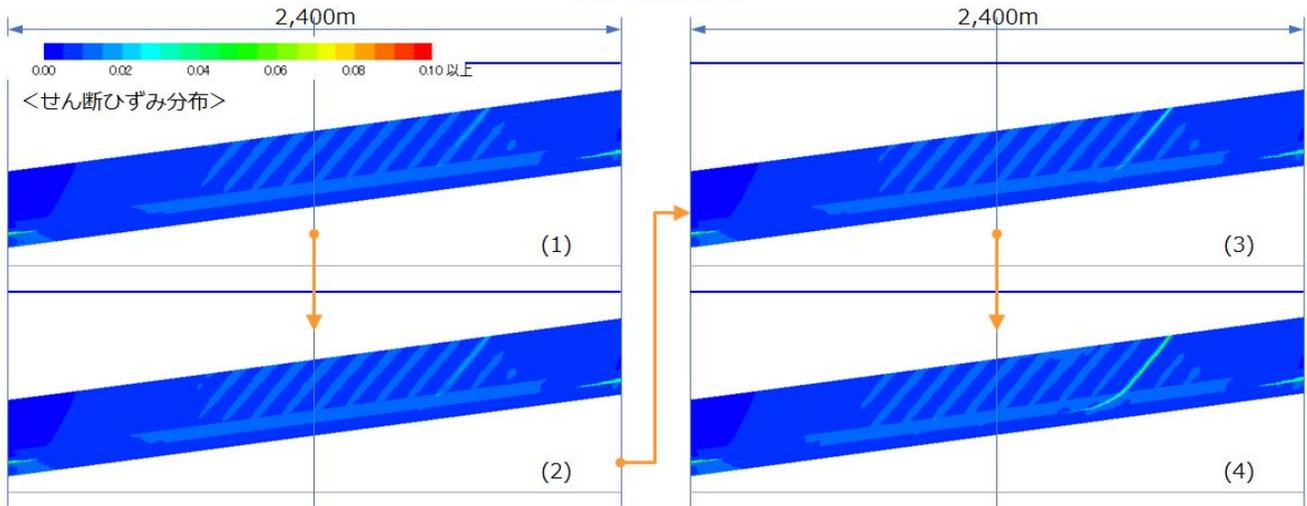


図2 正断層の形成過程

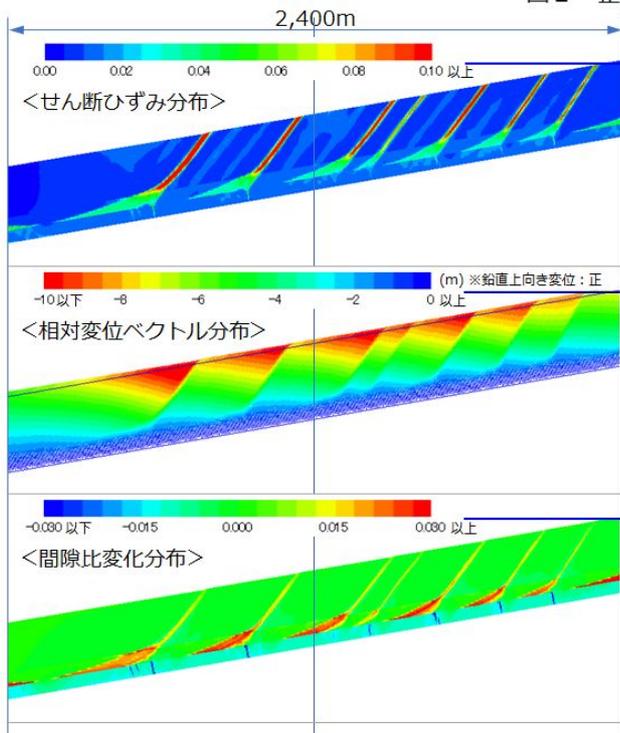


図3 正断層群形成時の地盤状態

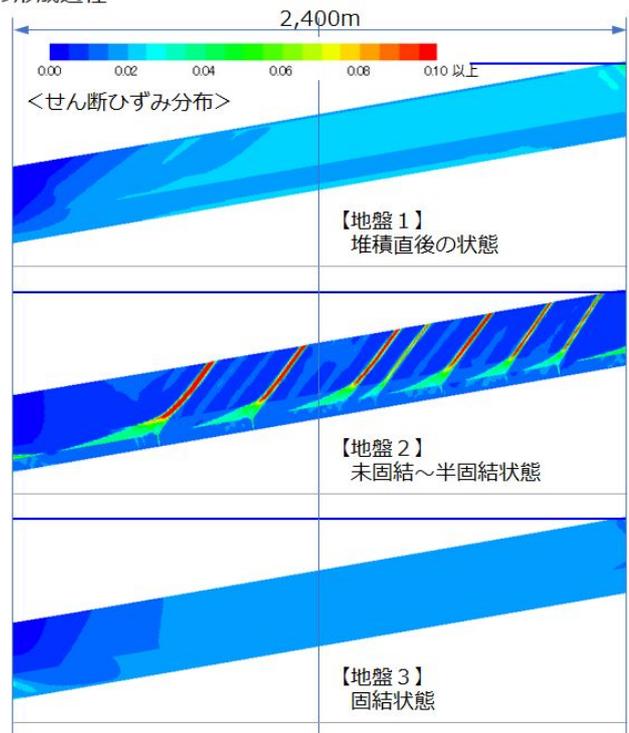


図4 固結状態ごとの正断層群形成状況

Bayesian inference for recurrent earthquake sequences with uncertain occurrence times

*Shunichi Nomura¹, Yoshiko 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、数值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。

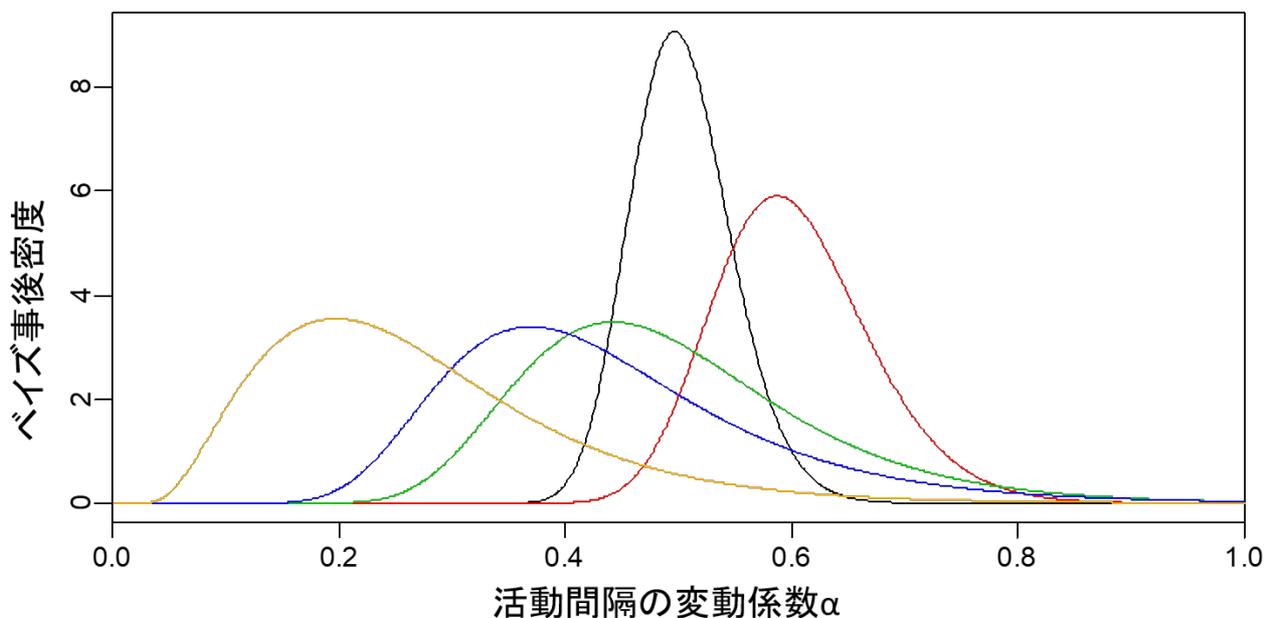


図:地震本部により最新活動時期と1つ前の活動時期が推定されている73セグメントから導出される、変動係数のベイズ事後分布。黒線は全国共通とした変動係数の事後密度を表し、赤、緑、青、黄線はそれぞれ関東地方+中部地方、近畿地方、四国地方、九州地方に位置するセグメントで共通とした変動係数の事後密度を表す。

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统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測線の間にあると推察される。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．

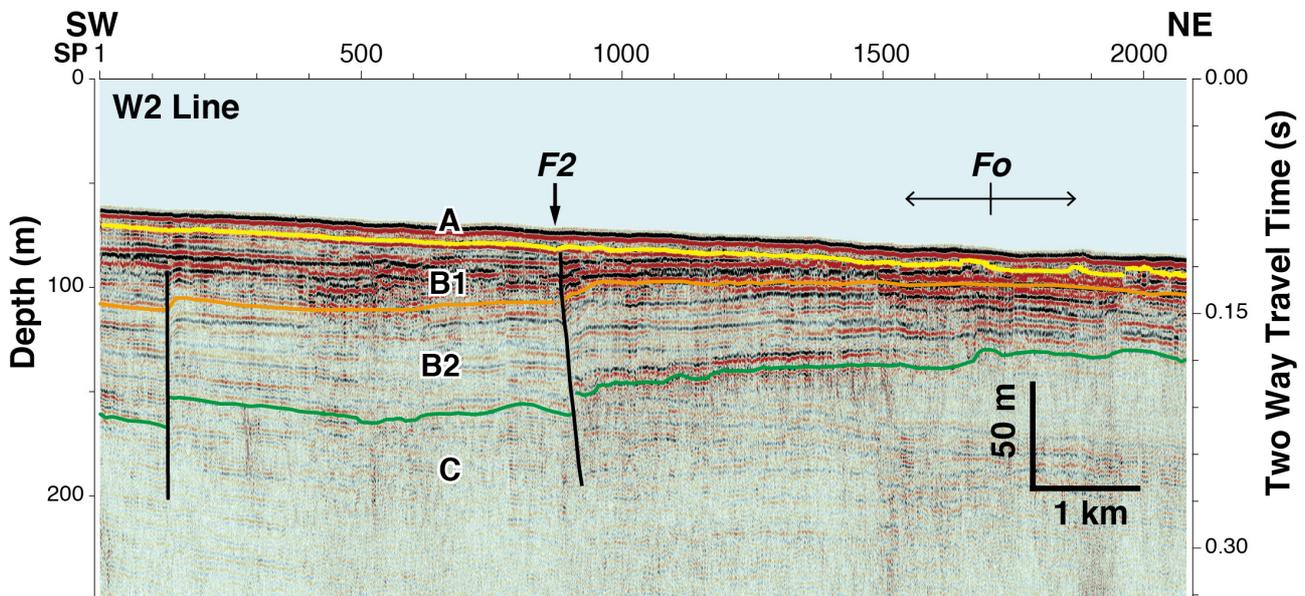


図. 十勝平野断層帯海域部における第四系の変形

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ブローカー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し調和的であるように思われた。

あらしにせよ、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ですが、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 Ma3 層 Ma6 層 Ma10 層	-560m 程 -410m 程 -270m 程 -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用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小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が大きく、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

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).

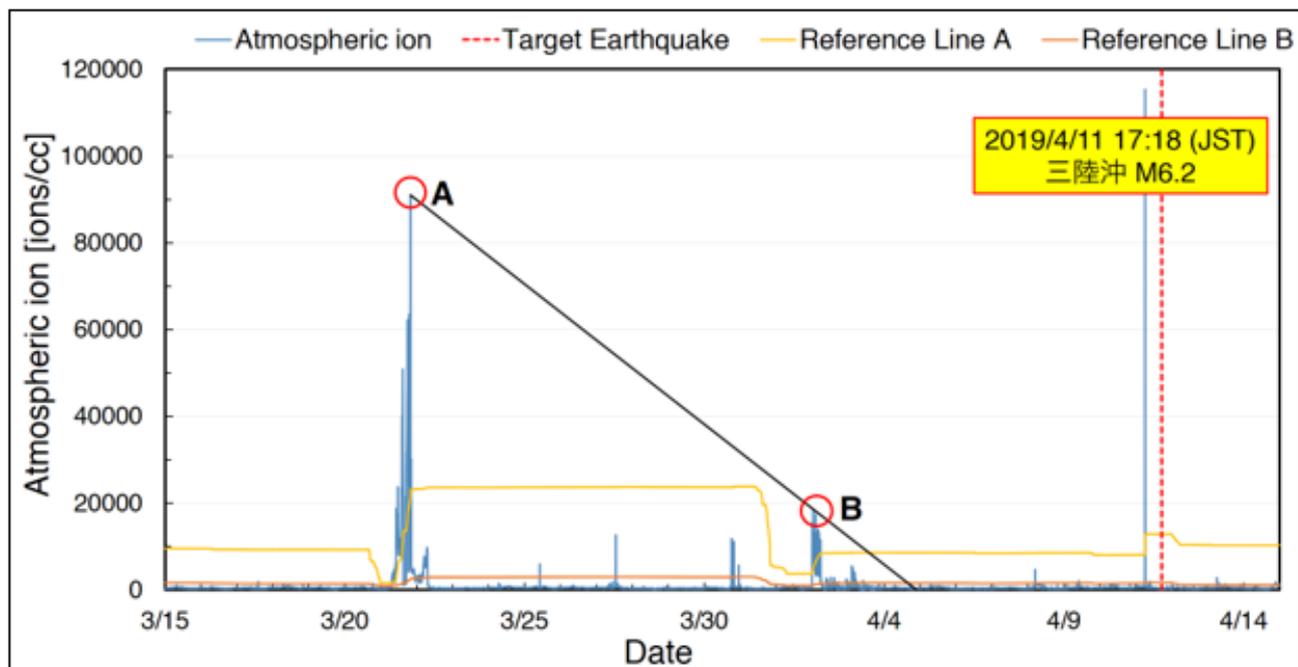


図1 予測方法
(北海道 河東郡音更町 2019年3月15日～4月15日)

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性をまとめた。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から明らかのように、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).

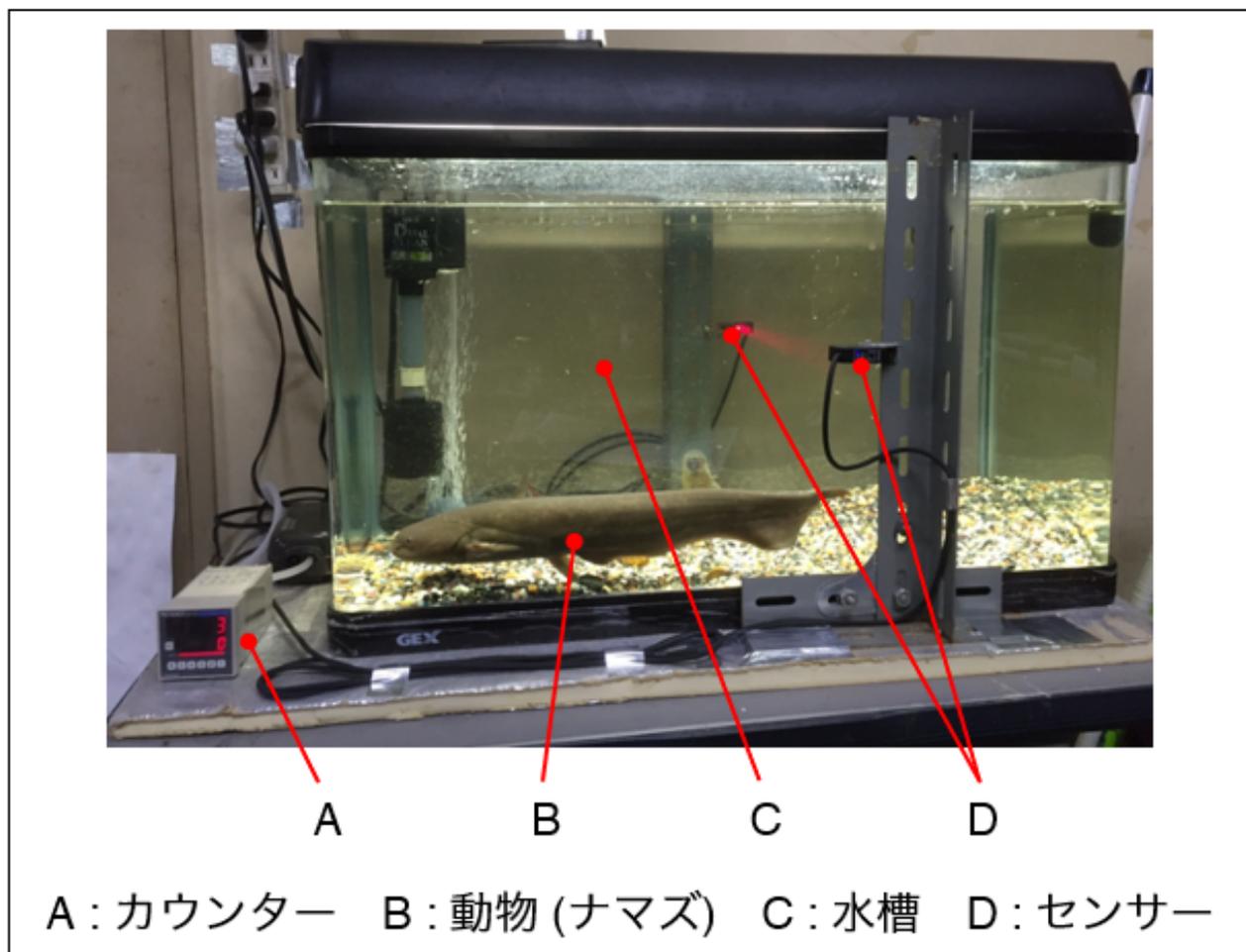


図1 水槽を用いた行動回数計測システム

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

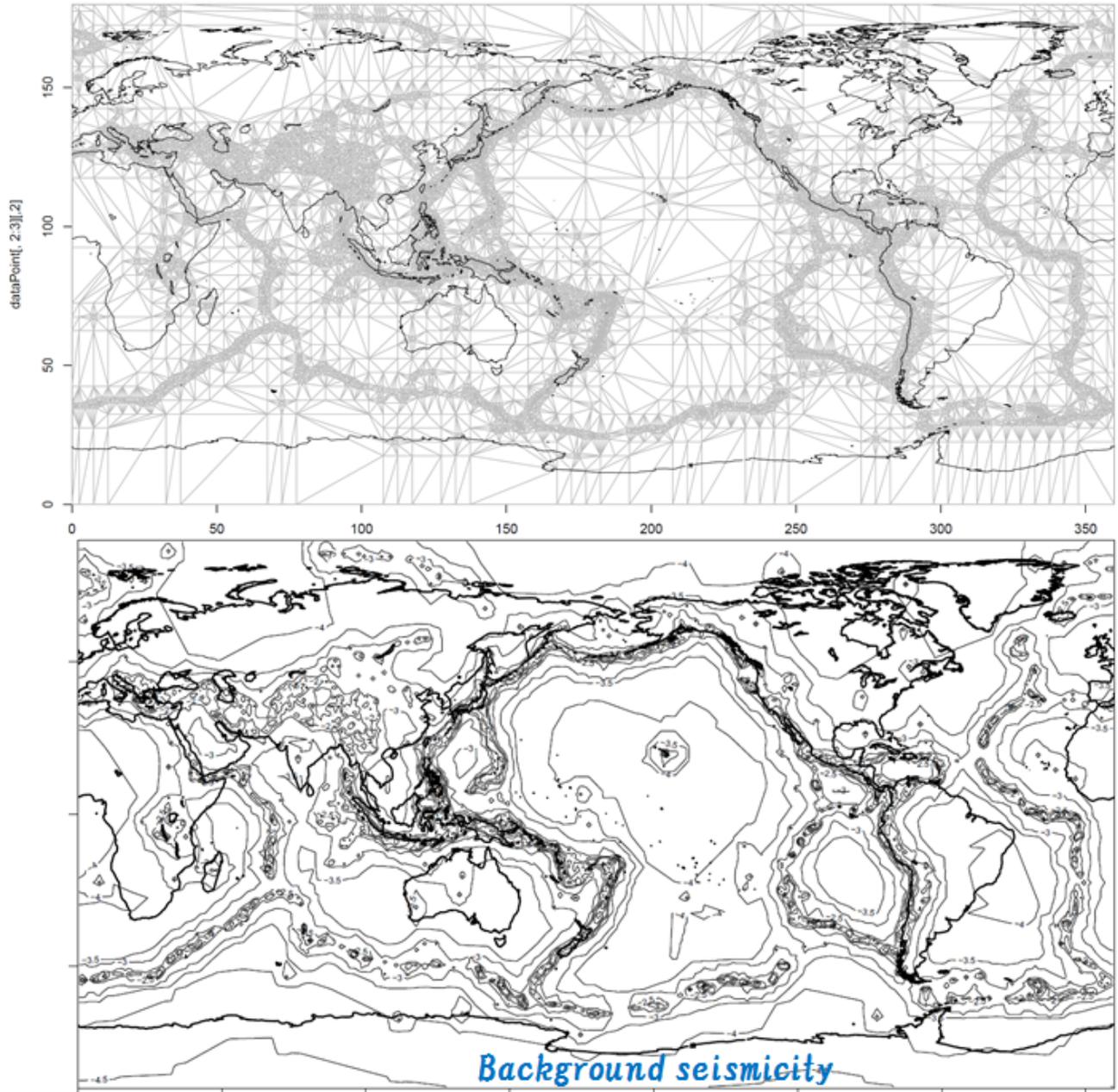
*Yosihiko Ogata¹

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。

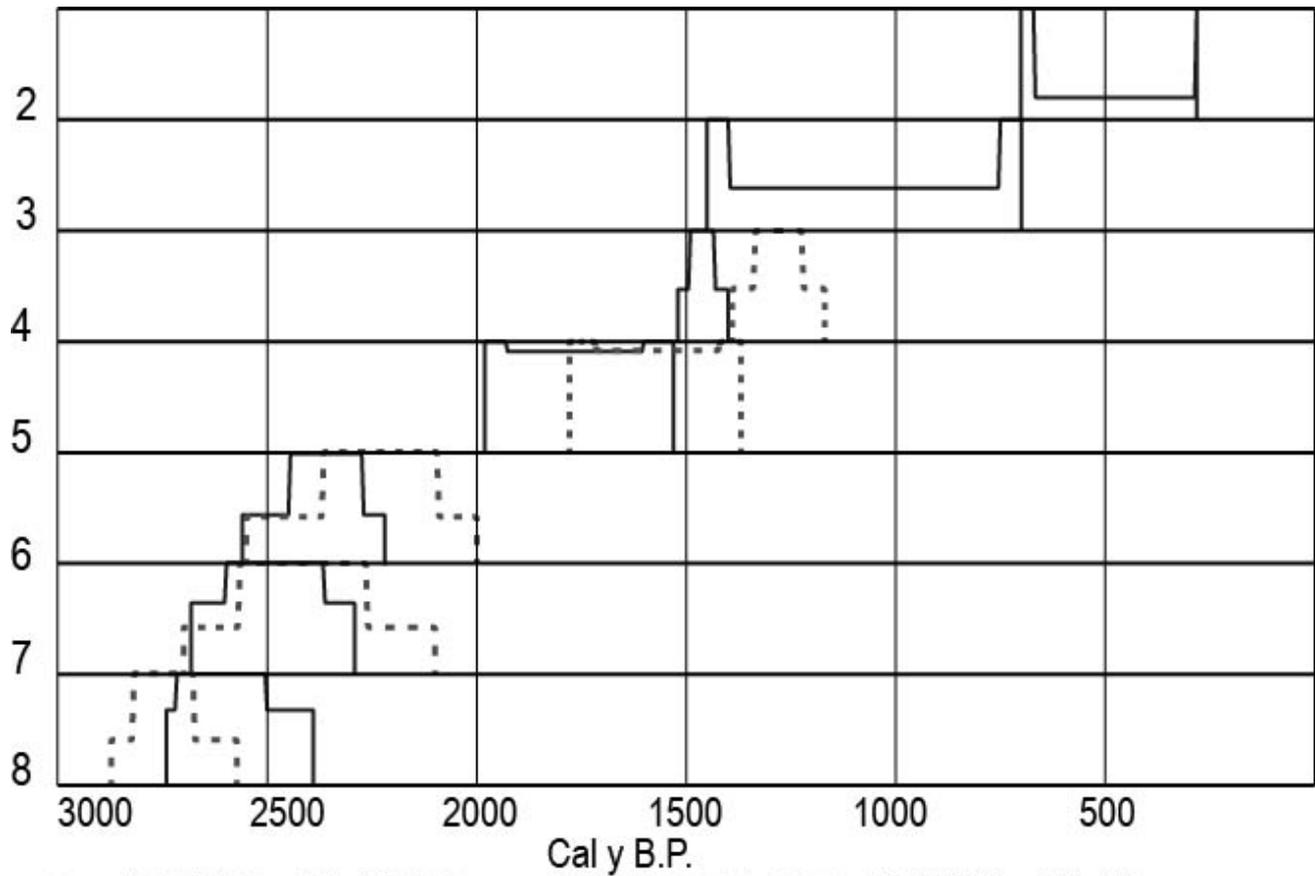


図1 超巨大地震の発生確率評価に用いた藻散布沼と霧多布湿原の津波堆積物の堆積時期。
表7の68%および95%区間から密度関数を階段関数で推定。各密度関数の最大値で正規化されている。
実線は藻散布沼系列で波線は霧多布湿原系列である。