

Wed. Oct 23, 2024

Room C | Regular session : S01. Theory and analysis method

9:00 AM - 10:30 AM JST | 12:00 AM - 1:30 AM UTC | Room C Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S01] AM-1

chairperson:Hiroshi TAKENAKA, Hironori Kawakata

9:00 AM - 9:15 AM JST | 12:00 AM - 12:15 AM UTC

[S01-01] Analytical solutions of attenuation relation for the Near-Field Term in Earthquake
Displacement: Extension to Line and Circular Sources

*Koei Suzuki¹, Hiroe Miyake¹, Shiro Hirano² (1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2. Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University)

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[S01-02] The behavior of elastic waves traveling through a heterogeneous medium (2) ~ To clarify its
dependence on the strength of heterogeneity~

*Hironori KAWAKATA¹ (1. Ritsumeikan University)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[S01-03] Numerical simulation of an *Lg* wave beneath bay topography

*Ryota Yasumoto¹, Hironori Kawakata¹, Shiro Hirano² (1. Ritsumeikan University, 2. Hirosaki University)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[S01-04] Variation of Prediction of Strong Ground Motions Using Corrected Empirical Green's Function
Method Caused by Selection of Phase Wave

*Noriki Sugahara¹, Atsushi Nozu¹, Yosuke Nagasaka¹, Yusuke Fukunaga¹ (1. Port and Airport Research Institute)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[S01-05] The improvement of aftershock shaking forecasting performance considering the saturation
effects of maximum amplitudes

*Kaoru SAWAZAKI¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[S01-06] Autocorrelation analysis of site amplification factor from the spectral inversion method of
strong-motion data: principle and method

*Hiroshi TAKENAKA¹, Tomotsugu WATANABE¹, Akihiro MINAKATA¹ (1. Department of Earth Sciences, Okayama University)

Room C | Regular session : S01. Theory and analysis method

10:45 AM - 12:15 PM JST | 1:45 AM - 3:15 AM UTC | Room C Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S01] AM-2

chairperson:Kiwamu Nishida(ERI, the university of Tokyo), Tomoya Takano(Hirosaki University)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[S01-07] Coherence based detection of very long-period seismic signals from northern Canada.*Tomoya TAKANO¹, Piero Poli² (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. University of Padova)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[S01-08] Anisotropic tomography of East Japan: Effect of 3-D anisotropic ray tracing*Ryo Tsunashima¹, Dapeng Zhao¹, Genti Toyokuni¹ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[S01-09] Detailed P-wave velocity structure of the uppermost crust off Sanriku, Japan using DAS, OBS and controlled seismic sources.*Shun FUKUSHIMA¹, Masanao SHINOHARA², Tomoaki Yamada², Ryota Hino¹, Ryosuke Azuma¹, Yoshihiro Ito³, Yusuke Yamashita³ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[S01-10] Ocean gravity wave excited by the 2022 eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai Volcano: the excitation mechanism*Kiwamu NISHIDA¹, Mie Ichihara¹, Tatsuya Kubota², Takashi Tonegawa³ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC))

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[S01-11] Using tsunami-source data in estimating fault rupture area for the Nankai-trough megathrust earthquake*Hisahiko KUBO¹, Suzuki Wataru¹, Tatsuya Kubota¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[S01-12] Improvement in centroid moment tensor analysis for offshore earthquake by using ocean-influenced Rayleigh wave*Lina Yamaya¹, Hisahiko Kubo¹, Tatsuhiko Saito¹, Shunsuke Takemura², Katsuhiko Shiomi¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)**Room C | Regular session : S01. Theory and analysis method**

1:30 PM - 2:00 PM JST | 4:30 AM - 5:00 AM UTC | Room C Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S01] PM-1

chairperson:Yukitoshi Fukahata(DPRI, Kyoto University)

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[S01-13] Where have all the isotropic components gone?*Hitoshi KAWAKATSU^{1,2} (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica)

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[S01-14] A Small Note on the Errors in Fault Slip Inversion*Yukitoshi FUKAHATA¹ (1. Kyoto University)

Room C | Regular session : S14. Earthquake prediction and forecast**2:00 PM - 3:00 PM JST | 5:00 AM - 6:00 AM UTC | Room C Medium-sized Conference room 302 (3F)****[S14] PM-1**

chairperson:Jiancang Zhuang(The Institute of Statistical Mathematics, Research Organization of Information and Systems)

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[S14-01] Comments on a bias of the Geometrical Mean Likelihood Estimate for the BPT distribution shape parameter

*Masajiro IMOTO¹, Nobuyuki MORIKAWA¹, Hiroyuki FUJIWARA¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[S14-02] Quantification of earthquake Predictability and detailing of entropy-based scores for evaluating earthquake forecast

*Jiancang ZHUANG^{1,2} (1. The Institute of Statistical Mathematics, 2. Graduate Institute for Advanced Studies, SOKENDAI)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[S14-03] Estimating the number of inland earthquakes using machine learning

*Tomoyuki Fujita¹, Hiroaki Takahashi², Ohzono Mako² (1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[S14-04] Predicting Earthquakes with Hierarchical Neural Network Models

*MATHEUS HENRIQUE JUNQUEIRA SALDANHA¹, YOSHITO HIRATA² (1. Degree Programs in Systems and Information Engineering, Graduate School of Science and Technology, University of Tsukuba, 2. Institute of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba)

Room C | Regular session : S14. Earthquake prediction and forecast**3:15 PM - 4:45 PM JST | 6:15 AM - 7:45 AM UTC | Room C Medium-sized Conference room 302 (3F)****[S14] PM-2**

chairperson: Masashi KAMOGAWA, Kiwamu Nishida (ERI, the university of Tokyo)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[S14-05] Can the preseismic D-region electron density increase reported by the DEMETER satellite be regarded as a seismic precursor?

*Masashi KAMOGAWA¹, Masahiko YAMAZAKI², Tetsuya KODAMA³, Toshiyasu NAGAO¹ (1. Natural Disaster Research Section (NaDiR), Global Center for Asian and Regional Research, University of Shizuoka, 2. Department of Aerospace Engineering, College of Science and Technology, Nihon University, 3. Japan Aerospace Exploration Agency)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[S14-06] Is a Massive Sardine Die-Off and Beaching Event in Japan an Earthquake Precursor?

*Yoshiaki ORIHARA¹ (1. Faculty of Education, Tokyo Gakugei University)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[S14-07] Unnoticed Strong Seismic Vertical Shock Waves - Part 2 -
- A proposal to predict right before quakes by radio noise observation (2/2) -

*Hiroshi MAEHARA¹ (1. Geosystem Research Institute)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[S14-08] Capturing the Precursor Phenomena of a Giant Earthquake

*kimio uchino¹ (1. himawarinowa.lab)

4:15 PM - 4:30 PM JST | 7:15 AM - 7:30 AM UTC

[S14-09] Catfish predicted the earthquake.

*Yutaka Naoi¹ (1. None)

4:30 PM - 4:45 PM JST | 7:30 AM - 7:45 AM UTC

[S14-10] Challenge to earthquake prediction

*Takanobu HARA¹ (1. kagakugiken)

Room C | Regular session : S01. Theory and analysis method

📅 Wed. Oct 23, 2024 9:00 AM - 10:30 AM JST | Wed. Oct 23, 2024 12:00 AM - 1:30 AM UTC | 🏢 Room C
Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S01] AM-1

chairperson:Hiroshi TAKENAKA, Hironori Kawakata

9:00 AM - 9:15 AM JST | 12:00 AM - 12:15 AM UTC

[S01-01] Analytical solutions of attenuation relation for the Near-Field Term in Earthquake Displacement: Extension to Line and Circular Sources

*Koei Suzuki¹, Hiroe Miyake¹, Shiro Hirano² (1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2. Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University)

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[S01-02] The behavior of elastic waves traveling through a heterogeneous medium (2) ~ To clarify its dependence on the strength of heterogeneity~

*Hironori KAWAKATA¹ (1. Ritsumeikan University)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[S01-03] Numerical simulation of an *Lg* wave beneath bay topography

*Ryota Yasumoto¹, Hironori Kawakata¹, Shiro Hirano² (1. Ritsumeikan University, 2. Hirosaki University)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[S01-04] Variation of Prediction of Strong Ground Motions Using Corrected Empirical Green's Function Method Caused by Selection of Phase Wave

*Noriki Sugahara¹, Atsushi Nozu¹, Yosuke Nagasaka¹, Yusuke Fukunaga¹ (1. Port and Airport Research Institute)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[S01-05] The improvement of aftershock shaking forecasting performance considering the saturation effects of maximum amplitudes

*Kaoru SAWAZAKI¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[S01-06] Autocorrelation analysis of site amplification factor from the spectral inversion method of strong-motion data: principle and method

*Hiroshi TAKENAKA¹, Tomotsugu WATANABE¹, Akihiro MINAKATA¹ (1. Department of Earth Sciences, Okayama University)

Analytical solutions of attenuation relation for the Near-Field Term in Earthquake Displacement: Extension to Line and Circular Sources

*Koei Suzuki¹, Hiroe Miyake¹, Shiro Hirano²

1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 2. Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University

近年、2016年熊本地震、2023年トルコ・カフラマンマラシュ地震、2024年能登半島地震など、断層ごく近傍で地震記録や測地記録が稠密に観測される事例が増えてきた。そのため、Aki and Richards (1980, 2002) における地震波の近地項・中間項・遠地項の寄与が改めて着目されている。鈴木・他 (2024, JpGU) では、ダブルカップル点震源から放射される地震波変位場の近地項の距離減衰に関する解析的考察を行った。ダブルカップル点震源から放射される地震波の変位場は、モーメントテンソルとグリーンテンソルの空間微分の畳み込みによって表される (Aki & Richards (1980, 2002))。近地における地震波の特性についての既往研究は様々あるが、永久変位および $r \rightarrow 0$ としたときの結果(e.g. Wu & Ben-Menahem, 1985)を除いて、変位および速度の震源距離 r の依存性、すなわち距離減衰性については十分に解明されていない。そこで、複数の代表的な moment rate関数（デルタ関数、Box-car関数、二等辺三角形の関数、smoother ramp関数など）を用いて、変位と速度の近地項の距離減衰の解析解を導出した。その結果、変位の近地項は、震源時間関数に依らず震源距離に対して r^{-2} で減衰することを証明した。また、速度の近地項の距離減衰は、震源時間関数の形状に依って減衰率が切り替わる距離が一意に定まり、この境界点より近距離では r^{-2} 、遠距離では r^{-3} に移行することを明らかにした。最後に、この解析結果と数値積分を用いて近地項を計算した結果との整合性を検証した。また、簡単な震源時間関数を用いて、最大速度の減衰率に関する実験を行った。

本研究では、震源のモデルに線震源を仮定し、moment rate関数にBox-car関数を用いて、近地項、中間項、遠地項と、これらの和を成分ごとに解析的に計算し、変位の距離減衰率を調べた。その結果、線震源のすべりの方向と垂直の方向成分について、特定の観測点位置で中間項S波成分のみ現れることで、遠地でも距離減衰率が r^{-2} となることや、近地項、中間項、遠地項の総和の波形に永久変位の波形が強く残ることで、遠地でも ω 依存性が ω^{-1} となるような観測点の位置が存在することがわかった。

また、Cara & Bour (1995)では、震源にstopping phaseを考慮しない円形震源を仮定して変位場の解析解を導出したが、観測点位置に制約を設けており、任意の観測点位置における結果に対応していない。そのため本研究では、震源のモデルに円形震源をCara & Bour (1995)と同様の条件で仮定し、数値積分を用いて任意の観測点位置について、震源近傍から遠地までの変位場を調べた。その結果、線震源において中間項S波成分のみ現れた観測点位置では、他の項も見られたことで、特定の観測点位置で中間項S波成分のみ現れる結果は、線震源モデル特有のものと考えられる。しかし別に、特定の観測点位置で、遠地でも ω 依存性が ω^{-1} となるような観測点の位置が存在することがわかった。

近年の断層近傍の強震波形を分析すると、特定の成分において、 ω 依存性が ω^{-1} となるような観測点の位置が存在することがわかっている。本研究では、この原因について、理論および数値計算から得られる予察と、観測事実との整合性について議論する。

The behavior of elastic waves traveling through a heterogeneous medium (2) ~ To clarify its dependence on the strength of heterogeneity~

*Hironori KAWAKATA¹

1. Ritsumeikan University

不均質媒質に対する弾性波の伝播特性は、不均質の空間的な分布、不均質の特徴的なサイズ、弾性波の波長、不均質の強さなどのさまざまな要素が複合的に絡み合って決まる。特に多孔質媒質における弾性波の伝播特性は、地表付近の地震波の振る舞いを検討する際などにおいて重要であるが、多孔質媒質などの強い不均質を持つ場合の弾性波の振る舞いについてはよくわかっていない。本研究は、実験室内で不均質媒質に対する弾性波透過試験を実施し、波動場の時空間発展の不均質強さによる違いを調べることを目標としてはじめられた。川方（2023, SSJ）は弱い（10 %程度以下）不均質媒質として、斑糲岩質試料から計測を開始させ、不均質サイズに対して同程度以下の波長をもつ短周期弾性波における粒子軌跡、波面の乱れを確認し、本手法の有効性を示した。今回は、強い不均質を持つ媒質として、人工的に空隙を埋設した単純な模擬媒質を作成し、この媒質に弾性波を透過させ、その振る舞いを調べることにした。

模擬媒質は直径107 mm、高さ50 mmの円柱形のセメントモルタルとし、媒質中に両端面から17 mmに中心が来るように直径8 mmの中空のPP球を埋設した。各面においてPP球は中心から25 mm程度の位置に約45度間隔で8個をほぼ円周状に配置し、中心のものと合わせて9個を配置した（図）。また、2つのPP球を配置した面では互いにPP球の位置は端面から見て約22.5度ずれるように配置した。弾性波計測は川方（2023, SSJ）と同様に、正確な波動を計測するために、Nishizawa et al. (1997, BSSA)などによって提案されているレーザードップラー速度計（LDV）を採用した。片方の端面の中央に送信用の厚み振動型圧電振動子を貼り付けて、繰り返し電圧パルスを加えることで弾性波を繰り返し放射させた。LDVは直交する3方向で受信することとし、3成分波形として取り扱う。波形は4 MHzのアンチエイリアス=フィルターを通したのちに10 Mspsで収録された。等位相面の時空間的發展や粒子軌跡、コーダ特性などの周波数依存性について報告する。

謝辞：本研究はJSPS科研費JP22H01336、文部科学省による「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第3次）」の支援を受けた。

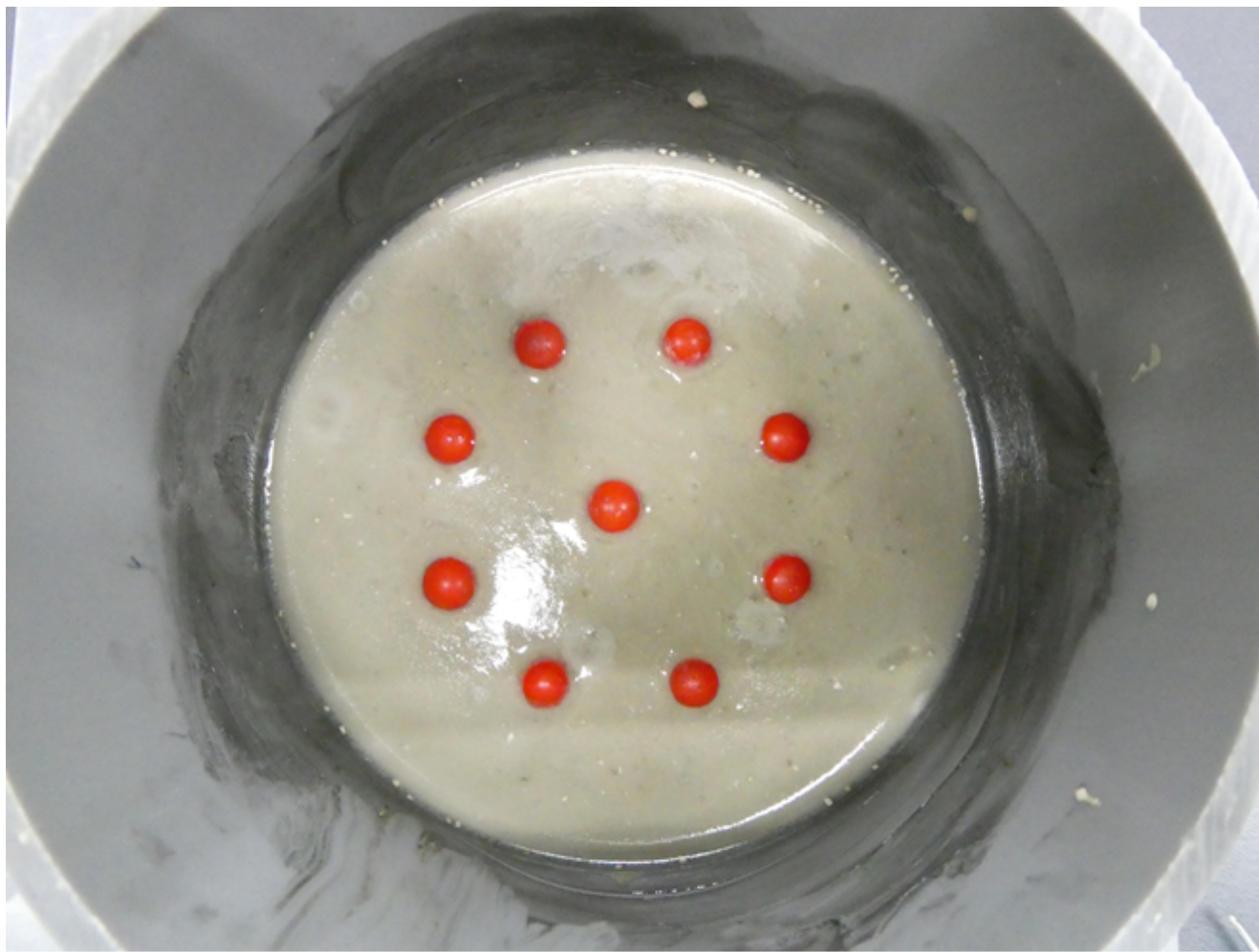


図. 作成途上の模擬媒質の様子. 二硫化モリブデングリスを塗布した硬質ポリ塩化ビニル管（内径107 mm）にセメントモルタルを注入し，中空のPP球を配置した状態.

Numerical simulation of an Lg wave beneath bay topography

*Ryota Yasumoto¹, Hironori Kawakata¹, Shiro Hirano²

1. Ritsumeikan University, 2. Hirosaki University

Lg 波は地表とモホ面の間を多重反射しながら伝播する地殻内トラップS波である。 Lg 波は卓越周波数0.2~5Hz, 群速度2.8km/s~3.5km/sの範囲にエネルギーを持つ。また地殻・上部マントルの不均質性に敏感であるという特徴を持つ(Kennett, 1989, GJI)。Furumura *et al.* (2014, PEPS)は、日本海を伝播する Lg 波が、地殻の薄化と海水の影響により除去されることを明らかにした。また日本の Lg 波伝播特性については、解像度数十キロスケールの広域を対象とした研究が主に実施されてきた(例えばFurumura and Kennett 2001, BSSA)。しかしながら湾などのそれよりも小スケールな地形、構造における Lg 波のふるまいは未だ解明されていない。ここで Lg 波に顕著な影響を与えることが期待される湾として駿河湾を紹介する。駿河湾は、静岡県に位置する日本一深い湾である。またプレート境界が湾内に入り込んでいるため、溝状に地形を有し地殻厚、堆積層厚変化に富んだ湾でもある(図 a, b)。Yasumoto *et al.* (2023, AGU)では、地域的な Lg 波伝播特性の解明を目的として駿河湾における記録の解析を行った。この研究では、駿河湾西方遠方から到来する Lg 波が駿河湾を横切の際に振幅が顕著に減少するという結果が得られた。彼らは原因として、 Lg 波の伝播に海水の存在、駿河湾直下の地殻構造変化などが影響している可能性を挙げている。しかしながら駿河湾に海底地震計が存在しないことや構造の複雑性から原因を解析的に解き明かすことは困難である。そこで本研究では数値シミュレーションを用いて、本現象の発生要因を調査することとした。2次元有限差分法のP-SV成分で駿河湾西方遠方から到来する Lg 波についてのシミュレーションを実施した。数値計算プログラムとしては、地震波伝播をモデル化するためのオープンソース統合並列シミュレーションコードOpenSWPC(Maeda *et al.*, 2017, EPS)を使用した。シミュレーションに使用した地震構造モデルはJIVSM(Koketsu *et al.* 2012, WCEE)であり、1Hzよりも低い周波数帯の波を主に放射するような震源を設定した。計算結果としてはYasumoto *et al.* (2023, AGU)と同様に、駿河湾を Lg 波が横切の際の振幅が減少した(図 c)ことに加えて、湾西岸側で Lg 波の振幅が増幅する現象が確認された。この振幅増幅は、湾西岸側の堆積層が厚いことが原因の可能性が考えられ(図 b)、湾地形がもたらす効果を明らかにするうえで精査が必要であることが分かった。そこで湾を西から横切る際の Lg 波の振幅減少に堆積層厚変化以外の要素がどの程度寄与しているのか数値シミュレーションを用いて調査する。

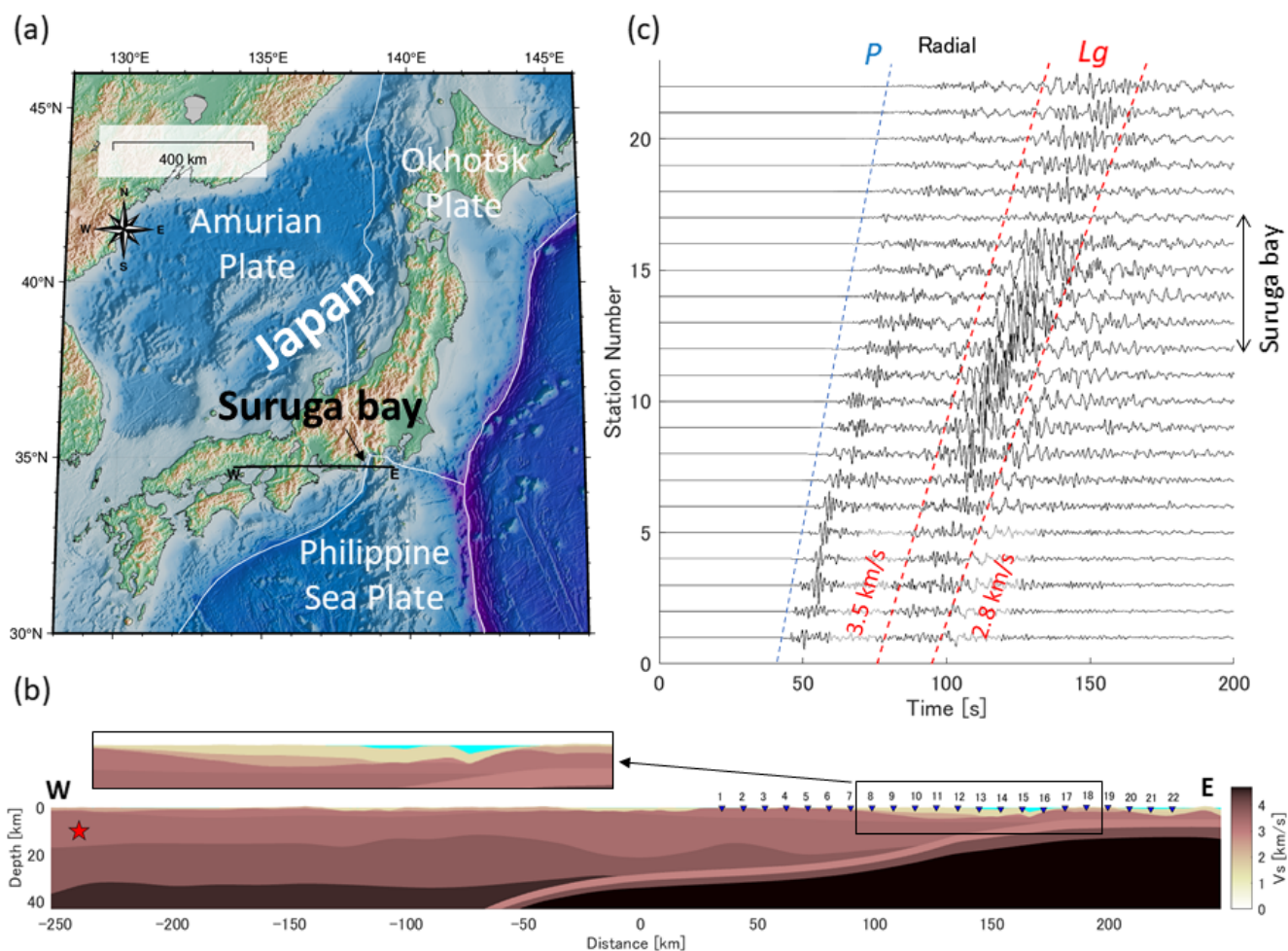


図 (a) 日本周辺のプレート境界 (Bird, 2003), 地形データはSRTM15+V2.4 (Tozer *et al.*, 2019)を使用している. (b) シミュレーションで使った2次元S波速度構造モデル. この速度構造モデルは, 図aの直線WEの鉛直断面に対応している. 赤の星型マーカーと青の逆三角形型マーカーは, それぞれシミュレーションにおける震源, 地震観測点を表している. (c) Radial成分におけるシミュレーション波形の記録セクション. 波形には, 1Hzのローパスフィルターを掛けている. P は直達P波を表す, Lg はLg波の波群を表す. 地震観測点12~17は, 駿河湾海底に位置している.

Variation of Prediction of Strong Ground Motions Using Corrected Empirical Green's Function Method Caused by Selection of Phase Wave

*Noriki Sugahara¹, Atsushi Nozu¹, Yosuke Nagasaka¹, Yusuke Fukunaga¹

1. Port and Airport Research Institute

1. 研究の背景と実施内容

強震動予測手法である修正経験的グリーン関数法^{1), 2)}では、小断層の位相として、実際の観測波（位相波）の位相を用いるのが特徴である。実際に発生した大地震の観測波の再現を目的とする強震動評価では、強震動評価結果がより観測波の特徴を再現できるように位相波を選択すればよい。一方、確率論的地震ハザード解析（以降、PSHAと表記する）においては、想定される地震に対して強震動予測を行う必要がある。その際にも位相波を設定する必要があるが、その位相波の選択による強震動予測結果の変動についてはよく分かっていない。なお、上記で想定しているPSHAは、フーリエスペクトルを用いたPSHA（詳細は文献3を参照）であり、位相波の選択が地震ハザードの計算結果に影響する。そこで本研究では位相波の選択が修正経験的グリーン関数法による強震動予測結果に及ぼす影響について検討した。なお、波形の重ね合わせに伴う変動は対象とせず、小地震波形を作成する段階での変動を対象とした。

2. 検討対象とした地震

本研究では、港湾地域強震観測網の観測点のうち観測記録数が比較的多い相馬-O（緯度：37°49.9'，経度：140°57.6'，旧相馬Gと同位置）を対象とし、2011年3月～2024年7月までに発生した地震のうち、気象庁マグニチュードが5.7～6.0で、福島県東方沖を震源とする全9つの地震（相馬-Oの記録で条件に合致するもの全て）を対象にした。入射方向が同程度である地震を対象とするため、震源位置は（記録数の多い）福島県東方沖のものを対象とした。点震源を仮定して計算できる規模の地震を対象に位相の影響を確認するため、気象庁マグニチュードで5.7～6.0の範囲のものを対象とした。使用した地震の一覧（発震日時，緯度，経度，深さ（km），震央距離（km）の順に記載）を以下に示す。

1. 2018/7/31 17:42:00, 37°09.4', 141°13.8', 20.5, 78.6
2. 2018/2/26 1:28:00, 37°32.3', 141°45.8', 39.8, 77.7
3. 2017/10/6 23:56:00, 37°05.3', 141°09.3', 52.7, 84.3
4. 2017/7/20 9:11:00, 37°20.5', 141°35.3', 45.8, 77.6
5. 2017/2/28 16:49:00, 37°30.9', 141°22.0', 52.4, 50.2
6. 2016/11/22 23:03:00, 37°10.7', 141°26.7', 28.4, 84.1
7. 2016/11/22 6:39:00, 37°14.6', 141°22.7', 22.3, 75
8. 2016/6/27 7:57:00, 36°59.4', 142°24.1', 19.2, 157.8
9. 2016/4/20 21:19:00, 37°46.3', 141°41.3', 48.5, 64.3

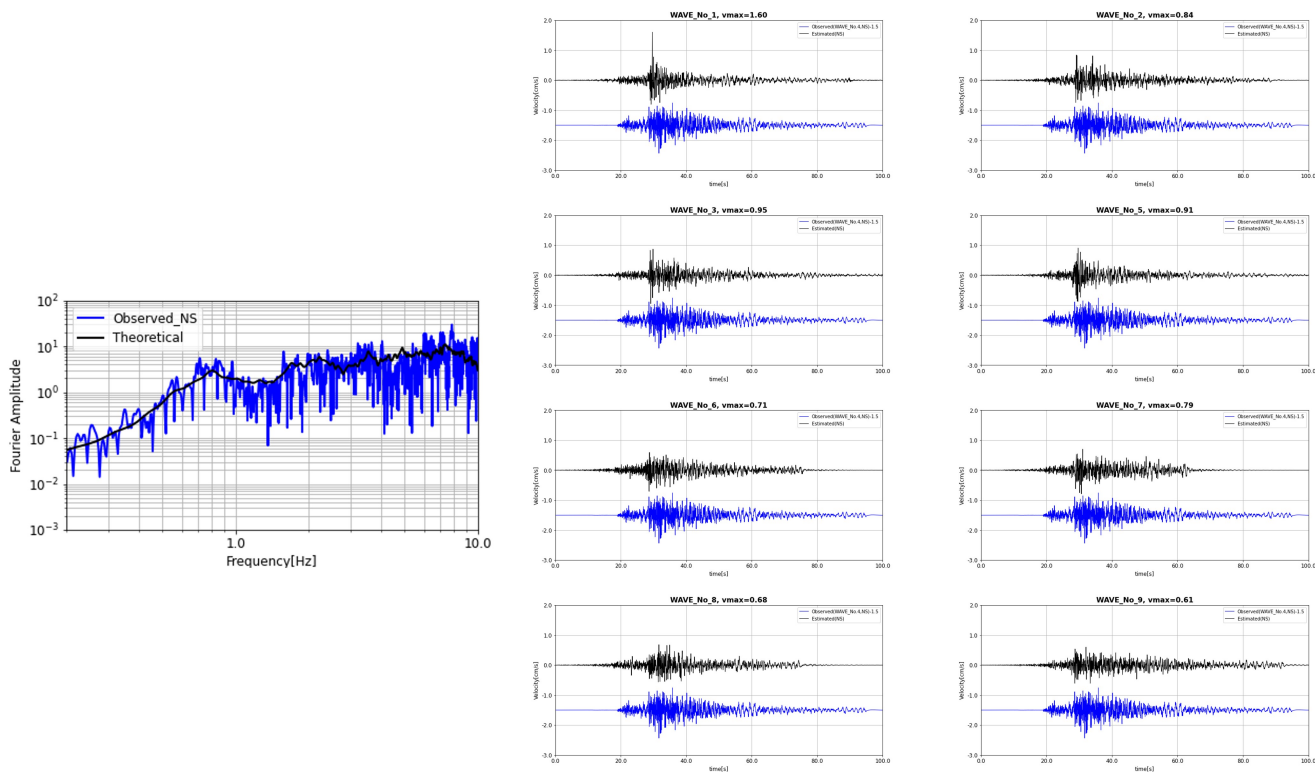
3. 修正経験的グリーン関数法を用いた強震動評価結果の変動の評価

2.で示した9つの地震記録のうち、4番の記録（9つの記録中で震央距離が中程度のものを選択）を対象に、修正経験的グリーン関数法を用いた強震動評価を実施した。その際、地震モーメント M_0 とコーナー周波数 f_c は、加速度フーリエ振幅スペクトルの観測結果と計算結果の残差自乗和を最小化するように推定した。具体的には、まず、 f_c を十分大きな値に固定（1.5に固定）した上で、0.2～0.5Hzの残差自乗和を最小化するように M_0 を推定し、その後、推定した M_0 を用いて、0.2～10.0Hzの残差自乗和を最小化するように f_c を推定した。また経験的サイト増幅特性を用いた。推定した M_0 （ $=6.928 \times 10^{23}$ dyne-cm）と f_c （ $=2.590$ Hz）を用いて修正経験的グリーン関数法で計算した加速度フーリエ振幅スペクトルと観測記録の加速度フーリエ振幅スペクトルを図（左）に示す。（残り）8つの地震記録を位相波として用いて速度波形（単位はcm/s）を計算した結

果を観測波形と比較して図（右）に黒線で示す（計算結果の最大速度，観測結果（青線）も併せて示す）。ここでは，入射方向とマグニチュードが近い地震を用いているが，それでも選定する位相波によって，強震動予測結果（速度波形）にある程度の違いが生じることが分かる。また，最大速度の標準偏差（本稿で標準偏差は，不偏推定量として求めた分散の1/2乗として計算した）は，約0.322（NS成分），約0.163（EW成分）となった。最大速度について，常用対数をとった上で，その標準偏差を求めると，約0.130（NS成分），約0.080（EW成分）となった。これは，著者らが既往研究で経験的サイト増幅特性を評価した際の個別記録の残差（常用対数表示）の標準偏差の全国10地点での平均値⁴⁾（全国平均値について，周波数方向に0.2Hz~2.0Hzでさらに平均をとった数値）である0.15と比較しても，小さい変動とはいえない。これは，フーリエスペクトルを用いたPSHAにおける位相波選択の重要性を示唆するものであるともいえる。なお，これはあくまで位相波選択の影響が比較的出やすいと考えられる最大速度に着目した比較であり，今後，他の指標でも比較を行っていく予定である。

参考文献

- 1)古和田明, 田居優, 岩崎好規, 入倉孝次郎: 経験的サイト増幅・位相特性を用いた水平動および上下動の強震動評価, 日本建築学会構造系論文集, No.514, 1997.
- 2)野津厚: 地震工学に関する解説書（修正経験的グリーン関数法）(https://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bsi/taisin/tutorial_jpn/tutorial_049.pdf)
- 3)竹信正寛, 野津厚, 宮田正史, 佐藤裕司, 浅井茂樹: 確率論的時刻歴波形として規定される港湾におけるレベル1地震動の設定に関する包括的整理, 国土技術政策総合研究所資料, No.812, 2014.
- 4)菅原法城, 竹信正寛, 野津厚, 長坂陽介, 山田雅行, 江口拓生, 佐野新: 臨時の地震観測に基づき評価された設計入力地震動のばらつきに関する推定段階の要因に着目した定量的評価, 地震工学シンポジウム論文集, 2023.



The improvement of aftershock shaking forecasting performance considering the saturation effects of maximum amplitudes

*Kaoru SAWAZAKI¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

大地震直後の連続地震計記録から余震による揺れの超過確率を予測する手法（Sawazaki, 2021）においては、地震後数時間の時点で記録された地震計記録の区間最大振幅がしたがう確率分布を予測に利用する。この確率分布の導出においては、G-R則と大森一字津則に加えて、対数最大振幅がマグニチュード（M）に比例するという仮定を設けている。観測される余震の多くはM5程度以下であるため、大部分の余震についてはこの比例関係が概ね当てはまると考えられる。しかし、小振幅の確率分布を説明するのに推定したパラメータを、将来起こりうる最大振幅の超過確率の予測にそのまま外挿して用いると、最大振幅の予測が観測値よりも系統的に過大評価される傾向が見られる（澤崎、JpGU2024）。この過大評価を改善するため、本研究では、対数最大振幅のM依存性が最大振幅の増加と共に小さくなるような関係式を採用し、最大振幅の飽和の影響を予測に反映することで、過大評価の軽減を試みた。

多くの地震動予測式（例えばMorikawa and Fujiwara, 2013）では、最大振幅 x （PGA、PGV等の揺れ指標）の対数は以下の式で表現される。

$$\log(x) = aM + bR + c - \log[R(1 + \gamma)] \quad (1)$$

ここで $\gamma = d10^{-eM}/R$ 、 R は断層最短距離（km）を表す。 a から e は観測値から経験的に求められる係数である。(1)式では、幾何減衰を表す右辺第4項に M についての非線形性が表れる。これは、 M が大きいほど震源過程の有限性を無視できなくなり、点震源の場合よりも見かけの幾何減衰が弱くなる効果を反映したものと解釈できる。 $\gamma \ll 1$ を満たすような小振幅においては震源過程の有限性を無視でき、対数最大振幅の M 依存性の線形性を仮定できる（ M 依存性は右辺第1項のみで決まる）。Sawazaki (2021)ではこの線形性を仮定したうえで最大振幅の確率分布を導出したが、本研究では M についての非線形性も考慮した導出を行う。なお多くの地震動予測式は、M5~6程度の中規模以上の地震を対象に構築されているが、本研究で扱う余震の揺れはこれよりも小さいものが大部分であるため、より小さい M まで(1)式を拡張して適用できることが前提となる。

余震による揺れ予測においては、地震動予測式を M について解く必要があるが、(1)式を M について解析的に解くことはできない。そこで、(1)式の代わりに以下の式を採用する。

$$\log[x(1 + x/x_c)^q] = a'M + C \quad (2)$$

この式は M について解くことができ、最大振幅 x が x_c よりも十分小さい場合は対数最大振幅が M に比例し、 x が大きくなるにつれて M 依存性が小さくなる特徴を持つ。 C は震源距離やサイト特性などの M 以外に関わる全ての効果を含む。(1)式と(2)式からは、対数最大振幅の M での偏微分はそれぞれ

$$\partial \log(x) / \partial M = a - e\gamma / (1 + \gamma) \quad (3)$$

$$\partial \log(x) / \partial M = (1 + x/x_c)a' / (1 + (1 + q)x/x_c) \quad (4)$$

と導かれる。この(3)と(4)式で表現される偏微分が、なるべく広い最大振幅の範囲で一致するように未知係数 q と x_c を定めた。

試行錯誤の結果、 $q=10$ 、 $x_c=2000\text{cm/s}^2$ 程度のときに、(3)式と(4)式が広い x の範囲で一致することが分かった。このとき、 x_c の値は震源距離に強く依存しないことも分かった。これらの値を(4)式に当てはめたときの微分係数は、 x が 0cm/s^2 、 20cm/s^2 ($x=0.01x_c$)、 200cm/s^2 ($x=0.1x_c$)、 2000cm/s^2 ($x=x_c$) のとき、それぞれ a' 、 $0.91a'$ 、 $0.52a'$ 、 $0.17a'$ となる。余震で $x_c=2000\text{cm/s}^2$ もの揺れが観測されることは希だが、これよりも十分に小さい揺れにおいて既に、対数最大振幅と M の非線形性が無視できなくなっており、余震による揺れ予測において振幅の飽和を考慮することの重要性が確認できる。

この結果を踏まえて、(2)式に $q=10$ 、 $x_c=2000\text{cm/s}^2$ を指定したうえでG-R式、大森一字津式と共に用いた場合の余震による揺れ予測を、2008年岩手・宮城内陸地震を対象に行った。Hi-netの連続波形記録の機器特性を0.1Hzまで補正したのち、微分して加速度記録に変換した。この3成分ベクトル和を計算し、一定時間ごとの区間最大振幅を解析に用いた。機械的な飽和（汐見他、2005）が見られる波形については併設のKiK-net加

速度記録を代わりに用いた。

解析の結果、大きな揺れを観測した震源近傍の観測点については、従来法では数千 cm/s^2 もの極めて強い揺れがそれなりに高い確率で起こると予測していたところ、飽和の影響を考慮したことにより、その予測幅の上限がかなり小さく抑えられた。そのため、予測が実際の揺れを著しく過大評価することのある程度防ぐことができた。また、比較的小さい揺れには飽和の影響が及ばないため、震源から離れた観測点での予測結果は従来法と大きく変わらなかった。ただし、飽和の影響を考慮してもなお、系統的な過大評価を完全に除くことはできなかった。その原因としては、特に x_c については観測点に依存すると考えられ、一律に 2000cm/s^2 を指定することが適切でないことや、計測のナイキスト周波数よりも高い周波数帯にエネルギーのピークを持つようなM1程度以下の地震について、今回検討したのとは異なるタイプの非線形効果が生じている影響などが考えられる。

謝辞：本研究は科研費基盤C（課題番号21K03686）および情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト（STAR-E、課題番号JPJ010217）の支援を受けています。

Autocorrelation analysis of site amplification factor from the spectral inversion method of strong-motion data: principle and method

*Hiroshi TAKENAKA¹, Tomotsugu WATANABE¹, Akihiro MINAKATA¹

1. Department of Earth Sciences, Okayama University

強震動地震学や地震工学の分野では、複数観測点・複数イベントの強震記録からスペクトルインバージョン法を用いて、震源スペクトル・伝播経路特性・サイト増幅特性が振幅スペクトルの形で分離抽出することが多くの地域で行われてきた（例えば、川瀬・松尾 (2004)）。そのサイト増幅特性は観測点下の地震基盤から地表までの地盤のS波の鉛直平面波入射応答と等価（正確には、その2分の1）と解釈されて、その振幅スペクトルから地盤速度構造の推定に活用されている。本研究では、視点を変えて、サイト増幅特性のパワースペクトルを逆フーリエ変換した、謂わばサイト増幅特性の自己相関関数に着目した構造解析法を提案する。

地震基盤から地表までの地盤の鉛直平面波入射応答の自己相関関数は、Claerbout (1968) (SH波については Sherbaum (1987) や Nakahara (2006)) の Kunitz-Claerbout 式によって地表（自由表面）による多重反射を含む（地表震源地表受信の因果性及び反因果性の）反射プロファイルの疑似記録と解釈することができる。Kunitz-Claerbout 式による疑似反射プロファイルの推定は、個々のイベント個々の観測点の記録に個別に利用できるスペクトル・ホワイトニングの手法を利用することでも実装可能であり、現在広く利用されている（例えば、Chimoto & Yamanaka (2019)）。

以下、S波平面波鉛直入射の理論波形を用いたデータの処理例を示す。

Fig. 1(a)は、地震基盤 ($V_s=3.2$ km/s) の上に2層地盤（厚さ30 m, $V_s=0.3$ km/sの浅部地盤と厚さ970 m, $V_s=1$ km/sの深部地盤）が載った地下構造モデルに下から単位振幅の平面波が入射した場合の地表での理論波形から計算した自己相関関数である。用いた周波数帯域は0~20 Hzである。その振幅スペクトルが、実際の強震記録のスペクトルインバージョンから得られたサイト増幅特性の（振幅）スペクトルに対応する。この関数の横軸（時間 t ）正の部分が（地表多重反射を含む）疑似反射プロファイルに当たる。Fig. 1(b)は(a)に地表生成多重反射波を消去する処理を施して得た、「自由表面がない」場合の反射プロファイルプロファイル（黒の実線）である。そこに、比較のために別途「自由表面がない」構造モデルの反射係数から理論的に求めた反射プロファイル（赤の破線）も重ねている。両者は完全に一致しており、処理法が正しいことを示している。原理的には、「自由表面がない」場合の仮想記録（透過波）の自己相関関数もサイト増幅特性の振幅スペクトルから求めることができる（Fig. 1(c)）。

本発表では、サイト増幅特性に自己相関解析法を適用するための原理と処理方法に焦点を当てた発表を行う。実データを用いた検証については、別に南方・他 (本大会) で発表する。

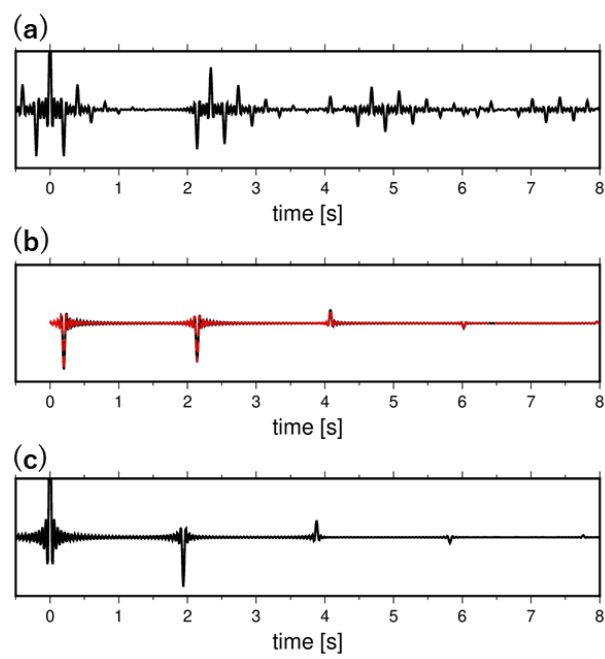


Fig. 1

Room C | Regular session : S01. Theory and analysis method

📅 Wed. Oct 23, 2024 10:45 AM - 12:15 PM JST | Wed. Oct 23, 2024 1:45 AM - 3:15 AM UTC | 🏢 Room C
Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S01] AM-2

chairperson:Kiwamu Nishida(ERI, the university of Tokyo), Tomoya Takano(Hirosaki University)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[S01-07] Coherence based detection of very long-period seismic signals from northern Canada.

*Tomoya TAKANO¹, Piero Poli² (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. University of Padova)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[S01-08] Anisotropic tomography of East Japan: Effect of 3-D anisotropic ray tracing

*Ryo Tsunashima¹, Dapeng Zhao¹, Genti Toyokuni¹ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[S01-09] Detailed P-wave velocity structure of the uppermost crust off Sanriku, Japan using DAS, OBS and controlled seismic sources.

*Shun FUKUSHIMA¹, Masanao SHINOHARA², Tomoaki Yamada², Ryota Hino¹, Ryosuke Azuma¹, Yoshihiro Ito³, Yusuke Yamashita³ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[S01-10] Ocean gravity wave excited by the 2022 eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai Volcano: the excitation mechanism

*Kiwamu NISHIDA¹, Mie Ichihara¹, Tatsuya Kubota², Takashi Tonegawa³ (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC))

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[S01-11] Using tsunami-source data in estimating fault rupture area for the Nankai-trough megathrust earthquake

*Hisahiko KUBO¹, Suzuki Wataru¹, Tatsuya Kubota¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[S01-12] Improvement in centroid moment tensor analysis for offshore earthquake by using ocean-influenced Rayleigh wave

*Lina Yamaya¹, Hisahiko Kubo¹, Tatsuhiko Saito¹, Shunsuke Takemura², Katsuhiko Shiomi¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

Coherence based detection of very long-period seismic signals from northern Canada.

*Tomoya TAKANO¹, Piero Poli²

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. University of Padova

連続地震波形記録を解析することで、地球内部や表層での物理過程に関連する信号を特定することができる。波形を特定し地震カタログを作ることで、震源過程や地球内部構造等に制約を与えることができる。従来、比較的短周期の実体波の解析により地震は検出されカタログ化されているが、これまで特定されていない新しい信号を検出することは困難である。一方、25秒以上の長周期の波形に着目して、グローバルな地震観測網を伝播する表面波を解析することで、従来の地震カタログにないイベントが検出されるようになった。特に、グリーンランドや南極大陸での氷河の崩壊に伴う長周期波形が観測されている。しかしながら、これらの先行研究の手法は、ギニア湾で発生する周期26秒にピークを持つ単色微動のような、時間領域で表面波振幅が明瞭でないイベントに対しては適用することができない。そこで本研究では、広帯域地震観測網の連続波形記録のコヒーレンス解析により、長時間継続するような長周期の微動を検出する手法を提案する。

本研究では、2003年から2021年までのF-net観測点全点で記録された地震波形記録の上下動成分を解析した。まず、1 Hzにリサンプルしたのち600秒のハイパスフィルターを適用し、連続波形を1200秒ごとに区切り1bit化を適用した。この前処理を行った波形に対して全観測点ペアでコヒーレンスを計算し平均した。さらに、2時間の時間窓ごとにコヒーレンスを平均した。本手法でのイベント検出の一例として2014年1月24日に観測されたイベントについて紹介する。2014年1月24日の12時から18時にかけて周期約40秒に高いコヒーレンスが観測された。グローバルな地震カタログにはこの時間帯に対応する地震はなく、日本以外の稠密観測網のコヒーレンス解析においても同一の時間帯に高いコヒーレンスが観測された。この信号の発生場所を調べるために、グローバルな地震観測点での同時時間帯の連続波形記録の相互相関関数を計算し、その最大振幅の経過時間を解析した。その結果、この信号はカナダ北部のフィヨルド周辺で発生していることがわかった。また、F-netでのこの信号のクロススペクトルをリファレンスにして、短時間窓ごとのクロススペクトルとの相関係数を計算したところ、同様なイベントが複数回生じていることがわかった。本手法により、従来の長周期の表面波解析では検知されないような長時間にわたって継続する長周期の微動を検知できる可能性が示唆された。

Anisotropic tomography of East Japan: Effect of 3-D anisotropic ray tracing

*Ryo Tsunashima¹, Dapeng Zhao¹, Genti Toyokuni¹

1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University

地震波トモグラフィーは、地球内部の3次元構造不均質を解明する最も有効な手段の一つである(e.g., Zhao, 2015). 地震波異方性とは、地震波の伝播・偏光方向によってその伝播速度が変化する現象であり、地球内部のダイナミクスを反映すると考えられている(e.g., Zhao et al., 2023). トモグラフィーの手法に異方性を取り入れることで3次元異方性分布を推定することができる。一方で、トモグラフィー解析における3次元波線追跡では等方性速度のみを考慮することが多く、波線追跡における異方性の影響がどの程度なのか調べた研究は少ない。

本研究では、東日本沈み込み帯を対象として3次元P波方位異方性トモグラフィー解析(Wang & Zhao, 2008, 2013)をおこない、3次元波線追跡では方位異方性を考慮した。方位異方性を考慮した波線は等方性速度のみを考慮した波線からある程度屈曲することがわかっている(Tsunashima et al., 2024, submitted). 使用した観測データは、東日本およびその周辺において発生した近地地震の到着時刻であり、気象庁一元化検測値データから選択した。2019年から2023年までに発生した地震のうち、マグニチュードは1.5以上のものを選んだ。その後、Azuma et al. (2019)により推定されたS-netの地下の堆積層の厚さからP波の到着時刻を補正し、1次元速度モデルにより震源再決定をおこなった。震源が均質に分布するように震源を選択し、海域で発生した浅い地震は取り除いた。その結果、1,441個の観測点において11,811個の地震が選択され、316,965個のP波初動データが得られた。なお、解析ではコンラッド面とモホ面、そして沈み込む太平洋スラブ上面の形状(Zhao et al., 2022)を考慮し、太平洋スラブは4%の高速度領域とした。

まず地殻(深さ10 km, 25 km)において、陸域では等方性速度構造と速い速度の方向(fast-velocity direction, FVD)の分布は局所的だった。次にマントルウェッジ(深さ>40 km)において、火山フロントと背弧領域で低速度異常と海溝直交方向のFVD、北海道地方と関東地方の深さ80 km付近において扇形のFVDが見られた。この扇形のFVDはプレートの沈み込みと衝突にともなう3次元のマントル流を反映していると考えられる(e.g., Niu et al., 2016). そして太平洋スラブ内は、全体的に高速度領域でFVDの分布は複雑であり、スラブが横方向に変形している領域では海溝平行方向のFVDが見られた。これらの特徴は先行研究と調和的である(e.g., Jia & Zhao, 2023). また、上記で求めたモデルと等方性速度のみを考慮した波線追跡で求めたモデルとの比較では、この2つのモデルの間に差はほとんど見られず、等方性速度や方位異方性の振幅の差は最大で0.6%程度、FVDの角度の差は最大で6°程度であった。これは方位異方性を考慮した3次元波線追跡がトモグラフィーに与える影響が小さいことを意味する。

謝辞

本研究では、気象庁・文部科学省が協力してデータを処理した結果を使用した気象庁一元化情報を用いている。一元化データには、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、防災科学技術研究所、産業技術総合研究所、国土地理院、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所、横浜市、海洋研究開発機構および気象庁により提供された地震波形データが使用されている。

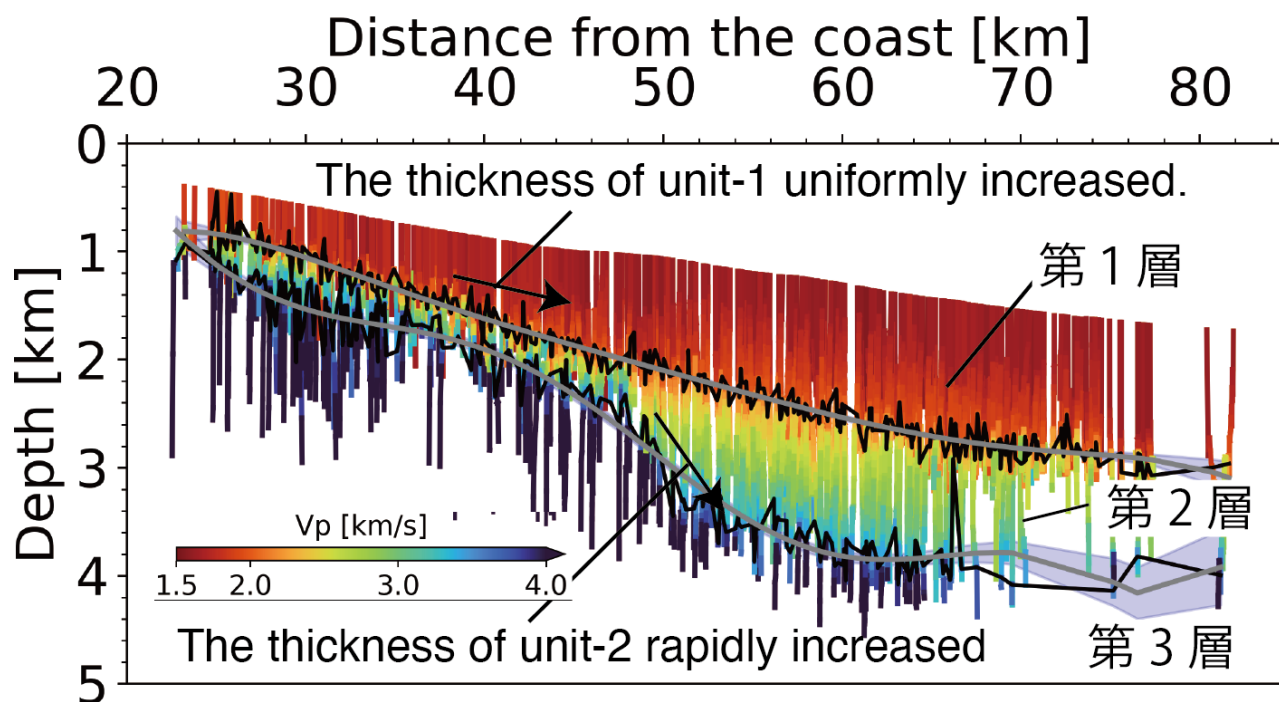
Detailed P-wave velocity structure of the uppermost crust off Sanriku, Japan using DAS, OBS and controlled seismic sources.

*Shun FUKUSHIMA¹, Masanao SHINOHARA², Tomoaki Yamada², Ryota Hino¹, Ryosuke Azuma¹, Yoshihiro Ito³, Yusuke Yamashita³

1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

海域におけるP波速度構造は、制御地震探査および屈折法により推定されてきた。推定されるP波速度構造の水平分解能は受信点と発信点を結ぶ波線数によって決まる。そのため、観測点数を増やすことで、高い水平分解能でP波速度構造を推定できると考えられる。しかし、これまでの制御地震探査では、設置コストの高い海底地震計を受信点に使用することが一般的であり、その設置間隔は稠密な場合でも数km程度に限定される。その一方で、近年、Distributed Acoustic Sensing（以下 DAS）が地球科学分野に応用されるようになり、光ファイバをセンサとして、海域でも歪みを数m間隔で数十km以上の連続長距離観測が行えるようになった。このDASの観測点間隔は、海底地震計のそれと比較して稠密であり、DASデータに対して制御地震探査および屈折法を適用することにより、これまでとは格段に空間分解能が高いP波速度構造を推定できると考えられる。また、DASの観測点間隔はハイドロフォンストリーマーと同程度であるが、DASの各受信点は海底に固定されており、オフセット距離が長い地震動記録を解析に使用することができる。そのため、DASデータは浅部から深部までのP波速度構造の高分解能推定へ適していると考えられる。また、海面と比較して、海底の方が、一般的にノイズが小さいことから、SN比が比較的に良い記録が得られると期待される（Jones 1999）。そこで、本研究では、岩手県三陸沖に敷設された光ケーブル式海底地震・津波観測システムを利用したDAS観測記録を用いて、ケーブル下の最上部地殻の詳細な地震波構造を推定した。まず、2020年に行われた制御地震探査DAS・海底地震計(OBS)データを用いてP波速度構造を推定した。制御震源にはエアガン4基を使用し、発震間隔は約100m、DASの観測点間距離は約5mである。P波速度構造はTau-sum inversion法 (e.g. Shinohara et al. 1994) により推定した。DAS記録とOBSに対して共通受信点記録を作成し、それぞれ距離-時間領域から τ (intercept time)- p (ray parameter) 領域への変換を行った。DAS記録については、超稠密であることを利用して、隣接する51受信点のDAS記録を重合して τ - p 領域変換を行い、1次元P波速度構造を求めた。また、DASデータは長い区間に渡って、連続的に収録されていることから、約250m間隔に1次元P波速度構造を推定し、それらを配置することで、測線下の二次元P波速度構造を作成した。受震点にOBSを用いた場合は、OBS直下の1次元構造に限定されるが、DASは長距離に渡って、観測点密度が飛躍的に高いため、空間的に連続した1次元速度構造を推定することにより、2次元構造を求めることができる（添付図1）。推定されたP波速度構造は、P波速度とその深さ方向の勾配が異なる3層からなっており、各層目のP波速度の平均値は、それぞれ、1.73 2.30, 4.40 km/sであり、各層の境界の深さは、それぞれ、2 km以浅、2 -5 kmである。稠密なDASデータを使用したことにより、顕著なP波速度構造の水平不均質が明らかにすることができた。例えば、第1層と第2層の速度不連続面は、深さ2.0 km程度から3.0 kmに水平距離50 -55 kmで急増することが把握された。さらに、本研究では、得られた2次元速度構造とシングルチャンネルハイドロフォンストリーマーから得られた反射断面との比較を行なった。その結果、速度境界の水平方向の不均質構造と反射断面における連続する反射点との間に良い整合性があることがわかった。反射法では、水平分解能が高い反射断面を得ることが可能であるが、精度の高いP波速度を得ることができない。その一方で、稠密なDASデータを用いた屈折法であれば、精度の高いP波速度構造を反射断面と同程度の水平分解能で推定できる。また、近年、常時微動表面波解析をDASデータに適用することで、海域における堆積層・最上部地殻のS波速度構造を高分解能が実現している (e.g., Fukushima et al. 2022)。この手法と本研究で提案するDASデータを用いた制御地震探査と組み合わせることで、P波速度とS波速度の比である V_p/V_s の分布を数km以下の水平分解能で把握することができる。この V_p/V_s は空隙率や間隙流体圧の推定へ重要なパラメータであるため (e.g., Dvorkin et al. 1999)、今後、断層特性の評価などをはじめとする様々な研究分野への

応用が期待できる.



(図1) 本研究では, P波速度 (2.0 km/s と 3.5 km/s) とその深さ方向の勾配から層境界を定義した. 黒線がそれぞれの速度境界の深さを示す. 灰色の線は速度境界に対して多項式フィッティングにより得られた曲線.

Ocean gravity wave excited by the 2022 eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai Volcano: the excitation mechanism

*Kiwamu NISHIDA¹, Mie Ichihara¹, Tatsuya Kubota², Takashi Tonegawa³

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 3. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

2022年1月15日、海底火山であるフンガ火山で大規模な噴火が発生した。噴煙は中間圏までに達し、顕著な大気Lamb波を励起した。大気Lamb波は海面変動を引き起こし、特異な津波として観測された。このような大気波動と津波のカップリング現象は、1883年クラカタウ噴火時にも観測されたが、現代的な観測によって捉えられたことは初めての事であった。また、今回の2022年フンガ火山の噴火に伴う振動現象を理解する上で、大気波動と津波、地球自由振動など、多圏にわたるカップリングが重要な役割を果たしている事が分かってきた。

噴火を理解する上で、噴火の推移を推定することは重要である。火山近傍で地震・空振観測記録があれば理想的であるが、海洋島での観測は限られているのが現状である。例えば遠地の空振観測による噴火推移の推定もなされているが、伝播の複雑性が定量的な議論の妨げとなっている。今回の噴火では、特に長周期帯域(<10mHz)では、多圏にわたるカップリングが波動の伝播を複雑にしており、噴火の推移の推定の障壁になっている。今回海、洋外部重力波の短周期成分(0.015-0.05Hz)を解析する事に成功した。津波と異なり位相速度が100m/s以下と遅いため、大気とのカップリングの効果は弱いため、単純なモデリングが可能である。本研究では、海洋外部重力波の解析から噴火の推移を制約する事を目的とする。

本研究では、S-netの水圧計を11観測点を解析した。これらの観測点では0.015-0.05Hzの周波数帯域で正の分散性をもつ海洋外部重力波を記録していた。0.015Hzでは噴火からおおよそ2日後、0.04Hzではおおよそ5日後に到来を確認出来た。S-net波形記録をモデリングしたところ、15~40mHzの周波数帯域で、おおよそ1E10N程度の大きさのランダムな鉛直方向のシングルフォースで説明出来る事が分かった。励起は4:00UTCに始まり、4:30UTC頃に最大に達した。励起は徐々に減衰したが、半日程続いた。8時40分(UTC)には、最大のサブイベントを観測した。

推定されたシングルフォースの大きさは、地震波よりも3桁程小さい。これは、山頂上部の海水の吹き飛ばされていた事を示唆している。さらに、6-15mHz帯の津波もOSWの約2時間後に励起されることがわかった。この観測は、火口への海水の流入時にこの周波数帯域の津波が遅れて励起された事を示唆している。5mHzより長周期の津波は噴火時に励起されており、これは海水が吹き飛ばされた直後、噴煙と海水の境界が外側に向かって200秒程度の時定数で押し広げられたことを示唆している。この場合、津波の励起は初期波高で与えるよりは、湧き出しとして与えた方が物理的に自然であろう。

Using tsunami-source data in estimating fault rupture area for the Nankai-trough megathrust earthquake

*Hisahiko KUBO¹, Suzuki Wataru¹, Tatsuya Kubota¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

大地震発生直後に断層破壊領域を推定することは、地震動や津波などによる地震被害の推定や、その後の地震活動の推移予測において欠かせない。特に近い将来の発生が危惧される南海トラフ巨大地震においては、地震発生後のできるだけ早い段階で想定破壊領域のどの部分が割れ残っているのかを即座に把握することが社会的に求められている（内閣府 2019）。陸域のGNSSデータを用いた地震発生直後の断層破壊領域推定に関しては研究およびシステム化が進んでおり、日本国内では国土地理院によってREGARD (Kawamoto et al. 2016, 2017) が運用されている。しかしながらGNSSデータは海域で発生する地震における断層すべりの分解能に課題があり、GNSSデータだけで推定された海域地震の断層破壊領域が実際から大きくずれることがあることが指摘されている（Kawamoto et al. 2017; Kubo et al. 2023）。この課題に対する有力なアプローチの一つとして海域の地殻変動データの活用が挙げられる。海域地殻変動データにもいくつか種類があるが、本研究では津波波源データに着目する。津波波源データは、津波波形記録から逆推定された震源域直上の海底における鉛直変位の空間分布である。Kubo et al. (2023)ではM7級地殻内イベント（2016年福島県沖地震、Mw7.0）における断層破壊領域推定での津波波源活用の有用性を示した。本研究はもう一回り規模が大きいM8級イベントでの津波波源の活用を検証するため、南海トラフでの巨大地震を想定した理論テストを行った。理論テストの入力諸元にはNoda et al. (2021)による南海トラフ域における断層破壊シナリオを用いた。彼女らは、陸海の測地データから推定した南海トラフ沿いのプレート境界上における剪断応力蓄積速度の空間分布に基づき、その剪断応力が150年間蓄積した場合の破壊シナリオをM7.9~8.6の計10パターン提案している。これらのシナリオに基づいて、全国1次地下構造モデル（Koketsu et al. 2012）のフィリピン海プレート上の断層すべりで構成される入力震源モデルを構築した。そして同入力で生じる地殻変動およびそれによる津波を津波シミュレータTNS（三好・他 2019）によって計算した。この津波計算においては、海底地殻変動の鉛直変位だけでなく、海底地形傾斜による海底地殻変動の水平変位の寄与（Tanioka and Satake, 1996）も考慮している。さらに防災科研DONETにおける60分間の津波波形データから、初期津波波源を逆推定した（Tsushima et al. 2012; Kubota et al. 2018）。この津波波源データから、均質なすべりを持つ矩形型の断層面をKubo et al. (2023)に基づいて推定する。矩形断層の断層上端中心の緯度・経度・深さ、走向・傾斜・すべり角、断層長さ・断層幅、断層すべりといった未知パラメータを、MCMC法を用いたベイズ推定によって求めた。予備的な解析結果からは、津波波源データを用いることで入力に近い矩形断層モデルを推定できることが分かった。ただし入力した断層破壊領域が津波観測網の外に位置するときは、津波波源の推定精度が低下するために、断層破壊領域の推定が難しくなることも分かった。GNSSデータのみを用いた理論テストも行ったところ、M~8の4シナリオでは断層破壊領域の走向方向の広がりをとらえることができたが、海溝付近つまり陸域から遠い領域の推定精度が悪くなる傾向が見られた。またM~8.5の6シナリオでは推定された断層破壊領域が入力から乖離するケースも見られた。これらの結果からM8級プレート境界型地震の断層破壊領域の推定においても津波波源データが有用であると言える。また津波波源推定の高精度化にあたっては複数の海域観測網で取得された観測データを統合的に解析することが有効だと考えられる。今回の理論テストでは地震発生から60分間の津波波形データを用いているが、この時間を短くした場合の推定精度については今後の検討事項である。なお大地震発生直後の断層破壊の領域推定方法として、断層すべりを推定する領域をプレート境界上でのみに固定するアプローチもある（Kawamoto et al. 2017）。従来はGNSSデータを用いてきたが、本研究で取り上げたように津波波源も活用することで震源像の高解像度化が期待される。

Improvement in centroid moment tensor analysis for offshore earthquake by using ocean-influenced Rayleigh wave

*Lina Yamaya¹, Hisahiko Kubo¹, Tatsuhiko Saito¹, Shunsuke Takemura², Katsuhiko Shiomi¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

海域で発生する地震のdip角や震源深さを高精度に決定することは、震源メカニズム解析や津波予測等の観点で重要である。しかし、約30 km以浅で発生した地震のセントロイド・モーメントテンソル（CMT）解推定においては、dip slip成分の決定精度が低く、これらの成分が支配的な地震では深さの決定精度が低下することが広く知られている（e.g., Dziewonski et al., 1981）。

近年、海水層を考慮した3次元地震波速度構造を用いた波形計算が可能になり、地震波伝播における海水層の影響が詳細に調べられてきた（e.g., Nakamura et al., 2012）。また、海水層が4 km以上の深さを持つ地域で発生する地震では、レイリー波の基本モードに続くocean-influenced Rayleigh wave（海が存在により発生する後続のレイリー波）が、陸域観測網の観測波形に記録されていることが確認された（e.g., Noguchi et al., 2016）。Ocean-influenced Rayleigh waveは、浅い地震で特に顕著であることが知られている。そこで本研究では、海域で発生した地震におけるCMT解析の高精度化を目指し、東北地方太平洋沖のアウトャーライズ域を対象に、ocean-influenced Rayleigh waveが海域で発生した地震のCMT解析に与える影響を調べた。

まず、ocean-influenced Rayleigh waveのCMT解析への感度を評価した。3次元地震波速度構造モデル（Koketsu et al., 2012）を用いて、最小のS波速度を1.0 km/sと設定した構造モデルを作成した。そこに、海水層（P波速度1.5 km/s）を仮定し、差分法を用いた地震波伝播シミュレーション（Maeda et al., 2017）を用いてF-net観測点における理論波形を計算した。地表及び海底面より浅い領域に空気層を設定した（海水層を取り除いた）モデルについても同様に計算を行い、海水層の有無の影響を検討した。その結果、ocean-influenced Rayleigh waveは、①Radial成分よりも鉛直成分に卓越し、②浅い地震ほど振幅が増大し、③ $M_{xx} \cdot M_{yy}$ 成分よりも $M_{xz} \cdot M_{yz} \cdot M_{zz}$ 成分に対する感度が高いことがわかった。また、ocean-influenced Rayleigh waveの振幅は、周期14–50秒のバンドパスフィルタを適用した場合に卓越し、より長周期の場合に減少することを確認した。

次に、理論波形を使用した試験的なCMT解析を実施した。その結果、海水層を含むモデルを使用した場合は、 $M_{xz} \cdot M_{yz} \cdot M_{zz}$ 成分に対して、深さの推定誤差（variance reductionが最大値の90%以上となる範囲）が減少することを確認した。約20 km以浅で発生した地震については、海水層を含むモデルを用いた場合の深さの推定誤差は約10 kmである一方で、海水層を取り除いたモデルを使用した場合は約20 kmであった。約20 km以深で発生した地震については、海水層を含むモデルを使用した場合のみ、セントロイド位置が浅い解のvariance reductionが低く、それらを積極的に棄却できることがわかった。

さらに、2017年10月6日（JST）に発生した M_w 6.1（F-net MT解による）の地震を対象として、実データへの適用可能性を評価した。F-net広帯域地震計から得られた観測波形に周期14–50秒のバンドパスフィルタを適用し、CMT解析に用いた。グリーン関数の計算には、理論波形計算と同様の3次元地震波速度構造モデルを使用した。また、セントロイド位置及び時刻の推定にはグリッドサーチ法を用い、各々のセントロイドで求めたモーメントテンソル解に基づく理論波形と観測波形の残差が最小となる解を求めた（Yamaya et al., 2024）。CMT解析の結果、最適解の深さは18 kmとなり、直上に展開された海底地震計の臨時観測を用いた推定結果（Obana et al., 2023）と良く一致した。深さ方向の推定誤差は8 kmであった。得られた発震機構解は正断層型であった。

最後に、ocean-influenced Rayleigh waveのCMT解析への影響を調べるために、海水層を取り除いたモデルを用いたCMT解析を行った。その結果、最適解の深さは32 kmとなり、深さ方向の推定誤差は55 kmに増加した。また、得られた発震機構解は横ずれ型となり、先の解と異なった。さらに、variance reductionは先の場合よりも低下した。これらの結果から、海水層を含むモデルを使用し、ocean-influenced Rayleigh waveを活用したCMT解析を行うことで、CMT解推定の精度が向上することを確認した。本手法を用いて海域で発生した

地震のCMT解を高精度に推定することで、それらの地震への理解が一層深まることが期待される。

本研究は、JSPS科研費JP22K20388及びJP21H05205、文部科学省の情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト（STAR-Eプロジェクト）JPJ010217、東京大学地震研究所共同利用（2024-S-A101）の助成を受けた。防災科学技術研究所のF-netデータ（<https://doi.org/10.17598/NIED.0005>）を使用した。

Room C | Regular session : S01. Theory and analysis method

📅 Wed. Oct 23, 2024 1:30 PM - 2:00 PM JST | Wed. Oct 23, 2024 4:30 AM - 5:00 AM UTC | 🏢 Room C
Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S01] PM-1

chairperson:Yukitoshi Fukahata(DPRI, Kyoto University)

1:30 PM - 1:45 PM JST | 4:30 AM - 4:45 AM UTC

[S01-13] Where have all the isotropic components gone?

*Hitoshi KAWAKATSU^{1,2} (1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica)

1:45 PM - 2:00 PM JST | 4:45 AM - 5:00 AM UTC

[S01-14] A Small Note on the Errors in Fault Slip Inversion

*Yukitoshi FUKAHATA¹ (1. Kyoto University)

Where have all the isotropic components gone?

*Hitoshi KAWAKATSU^{1,2}

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica

As the earth's lithosphere that hosts earthquakes consists of seismically anisotropic fabrics, the seismic moment tensors naturally possess the isotropic components in addition to the deviatoric non-double couple components (Aki and Richards, 1980; Kawasaki and Tanimoto, 1981). The "zero-trace" constraint in the moment tensor inversion, often employed by the standard catalogues, such as GCMT, USGS, etc., has obscured this problem of the isotropic component. Kawakatsu (2023, **SSJ**; 2024, **BSSA**, in press) showed how the isotropic component might be converted to the vertical CLVD component in the GCMT solutions of shallow earthquakes to infer the anisotropic structure (VTI) of the lithosphere. Whether or not such an approach is applicable to deeper earthquakes in the subducting lithosphere seems to be a natural extension as the previous research on this problem did not consider the consequence of the presence of the isotropic component carefully. Vavrycuk (2004), in his pioneering work to connect NDCs to the Tonga deep slab anisotropy, confirmed that his model did not produce significant isotropic components in the moment tensors, indicating his approach is internally consistent; on the other hand, such care is absent in the work of Li, Zheng et al. (2018) who reported the presence of huge anisotropy (~25% anisotropy of S-wave in TTI) in the subducting lithosphere of the globe. Some of the models may produce >20% isotropic NDCs in moment tensors, which appears inconsistent with the relatively small (<10%) isotropic components of full-moment tensor inversion results for deep earthquakes (Kawakatsu, 1991, 1996). A preliminary modeling of events in the Tonga slab, employing the methodology developed by Kawakatsu (2024) but still assuming that GCMT solutions represent the deviatoric part of the full moment tensors as done in the previous research, indicates much weaker anisotropy may explain the NDCs of the reported moment tensors. However, until the issue where the isotropic components reside in GCMT solutions is fully resolved, the answer might be blowing in the wind.

A Small Note on the Errors in Fault Slip Inversion

*Yukitoshi FUKAHATA¹

1. Kyoto University

インバージョン解析では、誤差の取り扱いが本質的に重要である。特に、データ間で誤差が相関を持つときに、その効果を適切に取り入れないと、解が大きく歪められる（例えば、Fukahata & Wright, 2008, GJI; Yagi & Fukahata, 2008, 2011, GJI）。それでは、誤差は実際にどのような相関を持つのだろうか。この問題に答えるためには、誤差の成因に遡って考える必要がある。もう15年も前の連合大会で考察した結果を発表したが（深畑・八木, 2009, JpGU）、現在インバージョン解析の教科書を執筆中であり（松浦・深畑, 「地球物理データの逆解析：理論と応用」、東大出版、執筆中）、この問題について改めて考えた。

誤差の成因に遡って考える必要があると述べたように、誤差がどのような項から成るかは個別の問題によって異なる。つまり、誤差の取り扱いの本質は、一般論ではなく具体論にある。本稿では、断層すべりインバージョンを例に取り上げる。

断層すべりインバージョンでは、地表（あるいは地中）での観測変位（あるいは速度や加速度）から、断層面上でのすべり（あるいはすべり速度）分布を推定する。断層面上のすべりと地表の変位とはグリーン関数を介して結ばれる。この問題をインバージョン解析として定式化するにあたり、どこに誤差が入り込むだろうか。

まず、誤差を定義するにあたっては、「真値」というものを考える必要がある。観測値も含め「真値」は一般に不可知であるが、概念としては存在する。この「真値」からのずれとして「誤差」を考える。その誤差として、(1)モデル化に伴う誤差、(2)グリーン関数に係わる誤差、(3)観測に係わる誤差、の3つに大きく分類できると私は考えている。以下、それぞれの誤差の中身を見てみよう。

(1)モデル化に伴う誤差は、狭義には離散化誤差と呼ばれるものである。すべり分布は一般に極めて大きな自由度を持つが、インバージョン解析によって推定するために通常有限個のパラメタでその分布を表現する、即ちすべり分布を有限個のパラメタでモデル化する。このモデル化に際して、真値と推定するすべり分布との間に、不可避免的にずれが生じる。これは通常「離散化誤差」と呼ばれ、グリーン関数により誤差伝播するという特徴を持っている（Yagi & Fukahata, 2008）。しかし、もう少しよく考えてみると、実は仮定した断層面と真の断層面とが一般には一致しないことにも気付く。つまり、一般には、断層面の違いも含めて、モデル化に際して誤差が生じている。

(2)グリーン関数に係わる誤差としてすぐに思い浮かぶのは、(2-1)「構造に起因する誤差」である。真の構造とグリーン関数の導出において仮定した構造とは一般に異なる。そのためこの誤差が生じる。しかし、グリーン関数に係わる誤差は、構造の誤差に留まらない。グリーン関数は一般に、断層面の位置と向きにも依存するので、(2-2)「断層面の位置の誤差」、(2-3)「断層面の向きの誤差」、も一般に生じる。なお、グリーン関数の誤差は、推定する断層すべりとの積の形で観測データと結び付けられるため、この誤差を取り入れるとインバージョン解析は一般に非線形になる（Yagi & Fukahata, 2011）。

(3)観測に係わる誤差、としてこれまたすぐに思い付くのは、(3-1)「観測誤差」である。これは、どれだけ力を尽くしても、観測変位は真の変位に一般には一致しないことから生じる。しかし、通常の「観測誤差」に加えて、(3-2)「非シグナルノイズ」とでも呼べる誤差がある。断層すべりインバージョン解析において、観測変位からすべり分布を推定するが、観測変位には、例えば潮汐など、断層すべり以外の寄与も一般に含まれる。この「非シグナルノイズ」の寄与は、例えばプレート間カップリングなど、非地震時変動の解析において特に重要となる。更に、真の観測点位置、真の観測時刻を知らないために生じる、(3-3)「観測点の位置の誤差」、(3-4)「観測点の計時誤差」、も一般に存在する。「観測点の計時誤差」は地震観測においてかつては非常に重要だったが、現在ではGPSの登場によって問題にならないレベルとなっている。

実際にインバージョン解析を行うにあたり、ここで挙げた各誤差項について、全てを取り入れる必要はなく、また現実的でもないが、どの項を無視しているかは意識しておいた方が良くだろう。より良いインバージョン解析に向けて本発表がその一助となれば幸いである。

Room C | Regular session : S14. Earthquake prediction and forecast

📅 Wed. Oct 23, 2024 2:00 PM - 3:00 PM JST | Wed. Oct 23, 2024 5:00 AM - 6:00 AM UTC | 🏢 Room C
Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S14] PM-1

chairperson: Jiancang Zhuang (The Institute of Statistical Mathematics, Research Organization of Information and Systems)

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[S14-01] Comments on a bias of the Geometrical Mean Likelihood Estimate for the BPT distribution shape parameter

*Masajiro IMOTO¹, Nobuyuki MORIKAWA¹, Hiroyuki FUJIWARA¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[S14-02] Quantification of earthquake Predictability and detailing of entropy-based scores for evaluating earthquake forecast

*Jiancang ZHUANG^{1,2} (1. The Institute of Statistical Mathematics, 2. Graduate Institute for Advanced Studies, SOKENDAI)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[S14-03] Estimating the number of inland earthquakes using machine learning

*Tomoyuki Fujita¹, Hiroaki Takahashi², Ohzono Mako² (1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[S14-04] Predicting Earthquakes with Hierarchical Neural Network Models

*MATHEUS HENRIQUE JUNQUEIRA SALDANHA¹, YOSHITO HIRATA² (1. Degree Programs in Systems and Information Engineering, Graduate School of Science and Technology, University of Tsukuba, 2. Institute of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba)

Comments on a bias of the Geometrical Mean Likelihood Estimate for the BPT distribution shape parameter

*Masajiro IMOTO¹, Nobuyuki MORIKAWA¹, Hiroyuki FUJIWARA¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

はじめに

古地震時系列に対するBrownian Passage Time (BPT) 分布モデル更新過程解析において、尤度幾何平均推定値を用いた地震発生確率の算出を我々は提案している。ここで、尤度幾何平均推定値は発生年不確定な時系列において想定できる地震間隔を全て用いたモデルパラメータの推定である。尤度幾何平均推定値に基づく地震発生確率（尤度幾何平均確率）は、不確定期間から地震発生年を無作為に抽出して作成された無作為抽出時系列による地震発生確率の平均値（抽出列平均確率）をよく近似する [井元・他 (地震, 2024)]。この近似において、標本数の影響に注目する。BPT分布でばらつきを表すパラメータ（ばらつき）について、Nomura *et al.* (2011) は小標本では真の値に比べ最尤推定値が偏ることを報告している。尤度幾何平均推定値は極めて多数の時間間隔を用いて最尤法で決定されている。これに対して、上の近似例では無作為抽出時系列の標本数は3個である。標本数の差に起因するばらつきパラメータ偏りの差は、上の近似に影響すると考えられる。本稿では、尤度幾何平均推定値ばらつきパラメータの偏りについて検討する。

偏りの原因

小標本におけるBPT分布モデル最尤推定値のばらつきについて、Nomura *et al.* (2011) は式 (1) (表1) を導いている。ここで、左辺は真のばらつき値で右辺は最尤推定値、 n は地震間隔数である。この補正について次の様に考察できる。ばらつきの最尤推定値は、式 (2a) (表1) あるいは (2b) (表1) で与えられる。ここで t_i は第 i 番目の地震間隔である。式 (2a) 右辺第1項は地震間隔平均値と地震間隔逆数平均値との積となっている。両者の平均値を求める際に同じ組合せの地震間隔を用いているので、相加平均と相乗平均の関係から1以上となり、全ての地震間隔が等しい場合を除いて右辺は正となる。式 (2a) を展開した式 (2b) では、 n^2 個の t_i/t_j のうち n 個は $i=j$ で1となって寄与は0となる。 $i=j$ 以外の $n(n-1)$ 個は $t_i/t_j + t_j/t_i$ を組とする $n(n-1)/2$ 組の和となり、各組は常に2を越えるため正の寄与がある。 $n(n-1)$ 個分の寄与を n^2 個の寄与として平均するため求める値が $(n-1)/n$ 倍されてしまう。BPT分布のばらつきが0で無い場合には式 (2b) で $t_i=t_j$ となるのは皆無（極めて稀）のはずであるが、式 (2b) には稀な例が標本数だけ含まれてしまう。

尤度幾何平均推定値の平均間隔とばらつきについて解析解が導かれている [井元・他(地震, 2023)]。そこでは、式 (2a) の t_i と $1/t_j$ の代わりに式 (3) (4) (表1) で表される i 番目地震間隔の平均値と j 番目地震間隔逆数の平均値が用いられる。これらの平均値を用いて、尤度幾何平均推定値の平均間隔とばらつきは式 (5) (表1) で表される。式 (5) に含まれる t_i の平均と逆数の平均との積は、同一地震として複数の発生年があるので1より大きな値となり、ばらつきの算出に寄与する。この点が、地震発生年が確定している場合と異なっている。その寄与の大きさは不確定期間の長さに関係するため、一般的な補正式として表現することは出来ない。このため、式 (2a) から寄与の分を予め減じておくことで、式 (1) と同様の補正式として式 (6) (表1) を得る。ここで下付文字Cにより補正後の値を区別する。

実例

六甲・淡路島断層帯淡路島西岸区間について、ばらつき値補正の効果を調べる。図1aにおいて、期間200年の条件付き確率の推移を尤度幾何平均確率（赤線）と抽出列平均確率（青線）とで比較する。図1bで、地震間隔積算分布を尤度幾何平均推定値（赤線）と抽出時系列の平均（青線）で比較する。この図において両者がよく一致しており、図1aの両確率の乖離も僅かである。図2aは補正済みばらつき値を用いた条件付確率の比較を示す。図1aに比べ、乖離が小さい。図2bにおいて、尤度幾何平均確率と抽出列平均確率の乖離を補正の前で比較する（細線：補正前、太線：補正後）。補正により両者の乖離が小さくなっていることが分かる。

(1)	$\alpha = \sqrt{\frac{n}{n-1}} \hat{\alpha}$
(2)	$(2a) \quad \widehat{\alpha^2} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n t_i \sum_{j=1}^n \frac{1}{t_j} - 1 \quad (2b) \quad \widehat{\alpha^2} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{t_i}{t_j} - 1 \right)$
(3)	$\bar{t}_i = \int_{a_i}^{b_i} \int_{a_{i+1}}^{b_{i+1}} (s_{i+1} - s_i) \Psi_i(s_i) \Psi_{i+1}(s_{i+1}) ds_{i+1} ds_i$
(4)	$\frac{\bar{1}}{t_j} = \int_{a_j}^{b_j} \int_{a_{j+1}}^{b_{j+1}} \frac{1}{s_{j+1} - s_j} \Psi_j(s_j) \Psi_{j+1}(s_{j+1}) ds_{j+1} ds_j$
(5)	$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{t}_i \quad \widehat{\alpha^2} = \hat{\mu} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{\bar{1}}{t_j} \right\} - 1$
(6)	$\widehat{\alpha^2}_c = \left\{ \widehat{\alpha^2} - \frac{1}{m^2} \sum_{i=1}^n \left(\bar{t}_i \frac{\bar{1}}{t_i} - 1 \right) \right\} \frac{n}{n-1}$

表 1 式一覧

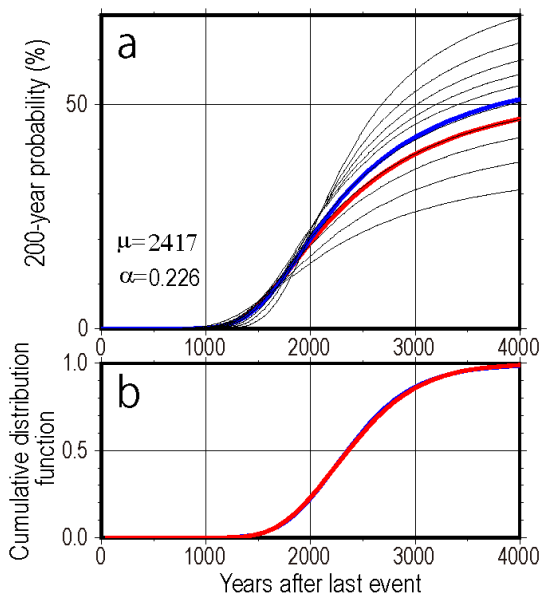


図 1 a：淡路島西岸区間の 200 年条件付確率の図、尤度幾何平均確率（赤線）と抽出列平均確率（青線）、b：尤度幾何平均推定値による分布関数（赤線）と無作為抽出時系列分布関数(10000 件)平均（青線）。

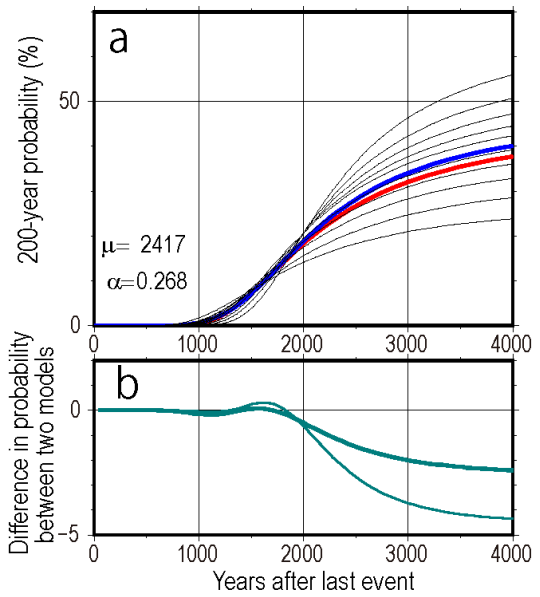


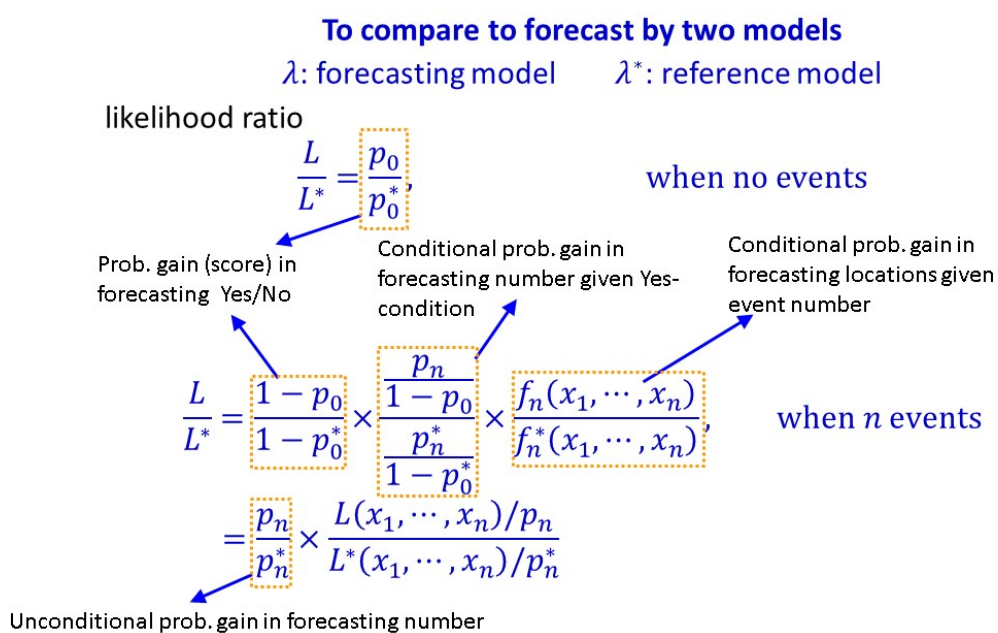
図 2 a：図 1a と同じ、但し、ばらつき値を補正、b：尤度幾何平均確率と抽出列平均確率の乖離、細線：ばらつき値補正前、太線：補正後。

Quantification of earthquake Predictability and detailing of entropy-based scores for evaluating earthquake forecast

*Jiancang ZHUANG^{1,2}

1. The Institute of Statistical Mathematics, 2. Graduate Institute for Advanced Studies, SOKENDAI

In earthquake forecasting, there is a significant gap between complete randomness and complete deterministic. This presentation begins by discussing how to quantify predictability and outlining the current state of earthquake predictability from an information-theoretic perspective. It then explores scoring criteria based on information entropy, referencing the scoring methods used by the CSEP testing center, specifically by introducing the marginal score and conditional score. The report illustrates how these scores are calculated and what quantitative relationships are between them.



Estimating the number of inland earthquakes using machine learning

*Tomoyuki Fujita¹, Hiroaki Takahashi², Ohzono Mako²

1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Hokkaido University

内陸で発生する地震の長期評価として、地震本部が行っている主要活断層の地質調査等に基づくもの、GNSS観測による地殻ひずみ速度を用いたもの(Nishimura, 2022)、ETASモデルを用いたもの(Ogata, 2022)、地殻ひずみ速度と地震活動を用いたもの(Mazotti et al., 2011)などの開発が進んでいる。本研究では、内陸地震が複数のパラメータの分岐条件のもとに発生しているとの仮定に立ち、機械学習の手法として決定木を用いたアンサンブル学習であるランダムフォレストを用いて内陸地震の地震発生確率を推定することを検討した。日本列島を適当な大きさのグリッドに分割してグリッド内の各種特徴量(パラメータ)をリスト化した後、目的変数の推定を試みる。はじめは、特徴量のうち最大マグニチュード(M)のような適当なパラメータを目的変数とした教師あり学習を行って予測モデルの性能評価と改善を試行する。北海道を除く日本のグリッドを学習させたモデルを用いて、北海道のある一定期間の地震発生数の推定を行った。特徴量として、以下のパラメータを用いた；1)各グリッドの活断層の有無；2)GR則のa,b値；3)深さ10kmのP波、S波速度；4)最大M；5)面積ひずみ速度、最大せん断ひずみ速度。2)において、本研究では1997年以降の気象庁一元化地震カタログを利用する。注意することとして、地震活動には、前回の地震の余震活動が含まれている可能性があり、また群発的な活動を示す指標が必要となる。5)について、日本列島の地殻ひずみ速度は海溝での固着による弾性変形が卓越しているため空間的なハイパスフィルタを用いて短波長成分の利用を検討する。2)4)については震源位置の観測誤差の影響を考慮し、また地震数が少ない際のa,b値の推定が不安定になることを防ぐため周囲8グリッドを含む9グリッドのデータを用いて導出した。また、すべての特徴量において、特徴量が欠損しているグリッドについては周囲のグリッドのデータから最近傍法を用いて補間を行った。決定木の数、各木の深さ、特徴量の数などのハイパーパラメータについてはグリッドサーチにより決定した。さらに、結果についてどの特徴量が結果に大きく寄与したかを調査するため、ジニ不純度の減少量を求めその合計値から重要度を計算した。さらに、回帰モデルの精度評価として決定係数を用い評価した。本研究では、北海道全域にあたる226のグリッドにおいて、上記の特徴量を用いてそれぞれ地震発生数の推定を行った。結果として、十勝地域や道北地域の地震数が多いエリアでの推定数が大きくなっており、オホーツク海沿岸部や根室付近など地震数が少ないエリアについても推定値が小さくなる傾向がみられた。最も結果に寄与していたパラメータはGR則のa値、次点で最大Mであった。一方で、決定係数は0.19となり、用いた特徴量の傾向は推定結果に影響すると考えられるものの精度にはまだ問題があることが示された。今後は推定した地震数から支配的なパラメータを推定するとともに、マグニチュード5以上の地震の発生確率の推定を行う。また、評価手法について、推定の正誤判定の誤差の許容範囲の調整も行うことで、モデルの予測精度をより正しく評価できるよう検討する。

Predicting Earthquakes with Hierarchical Neural Network Models

*MATHEUS HENRIQUE JUNQUEIRA SALDANHA¹, YOSHITO HIRATA²

1. Degree Programs in Systems and Information Engineering, Graduate School of Science and Technology, University of Tsukuba, 2. Institute of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

INTRODUCTION

Earthquakes continue to cause numerous deaths and financial losses throughout the years, and it is unlikely that the scientific community will find a solution to this problem in the near future. Forecasting earthquakes is our best bet to prevent the loss of lives, as it enables the evacuation of potentially affected areas in advance. Yet, this has proven remarkably difficult to achieve, despite many years of effort by the scientific community. With the sharp rise of machine learning and artificial intelligence over the past decade, it is increasingly important to leverage the power of such technologies to improve earthquake forecasting, and in this study, we investigate the use of neural networks (NNs) for such purpose.

BACKGROUND

There are many attempts to use NNs in this field [1,4,3], but with a tendency to repeatedly add additional layers of neurons. The theory says that this makes it increasingly difficult for the NNs to learn, due to the increase on its Vapnik-Chervonenkis (VC) dimension [7]. We thus argue that a careful selection of features and a parsimonious choice of NN architecture can yield more reliable results, easier interpretation of the importance of each feature, and an overall better understanding of the resulting forecasting model obtained after training the network.

METHODS

In this study, we focus on predicting the maximum magnitude on each day, following recent work [5,6]. We then report the results of our prediction framework, which is founded in two main novel ideas (Fig. 1):

1. calculation of seismicity indicator features over multiple lengths of time-windows; and

2. separating the first layer of the NN in subnetworks, each dedicated to processing one particular time-window length.

The seismicity indicators that we calculate over a time-window of length N days are:

- T -value: the time spanned by all earthquakes above a certain threshold.
- Mean magnitude.
- Rate of the squared root of seismic energy released.
- Time since the first earthquake above a certain magnitude threshold k .
- Slope b and intercept a of the Gutenberg–Richter (GR) law fitted to the events in the time-window.
- Sum of square errors of the magnitudes to the ideal line of the GR law.
- Magnitude deficit: the difference between the expected maximum magnitude and the observed maximum magnitude.
- Coefficient of variation of inter-event times after removing earthquakes with magnitude below a certain threshold k .

To make a prediction, we calculate the seismicity indicators

above for time-windows of size 7, 15, 30, 60, 90, and 180 days (see Fig. 1). A naive approach would feed them all to a fully connected multi-layer NN. This forces the network to look at all the features simultaneously, whereas we believe it is more fruitful to let it look at the features of each time window separately.

In our hierarchical model, features of the time-window of length N are fed to their own exclusive NN, and only then the output of these subnetworks is fed to a fully-connected layer of simple neuron units, and a final layer yields a prediction for the earthquake magnitude in the following day.

RESULTS

We have applied the proposed model to earthquake catalogs of New Zealand, Japan (Fig. 1) and the Balkans, and found that an average improvement of 17.1% in forecasting accuracy is achieved when compared to the naive selection of NN, and of 24.5% when compared to radial basis functions. Our results seem to be comparable to those in the literature, while using a NN model that has fewer layers and at least one order of magnitude less trainable parameters, which makes our model theoretically more reliable. Since our model is in its early stages, there are still many points that can be improved, which is all the more promising.

REFERENCES

- [1] G. A. Cortés, F. M. Álvarez, A. M. Esteban, and J. Reyes. Knowledge-Based Systems, 2016.
- [2] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville. MIT press, 2016.
- [3] A. Panakkat and H. Adeli. International journal of neural systems, 2007.
- [4] J. Reyes, A. M. Esteban, and F. M. Álvarez. Applied Soft Computing, 2013.
- [5] M. H. J. Saldanha and Y. Hirata. Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, 2022.
- [6] M. H. J. Saldanha and Y. Hirata. Journal of Physics: Complexity, 2024.
- [7] V. N. Vapnik. John Wiley and Sons, 1998.

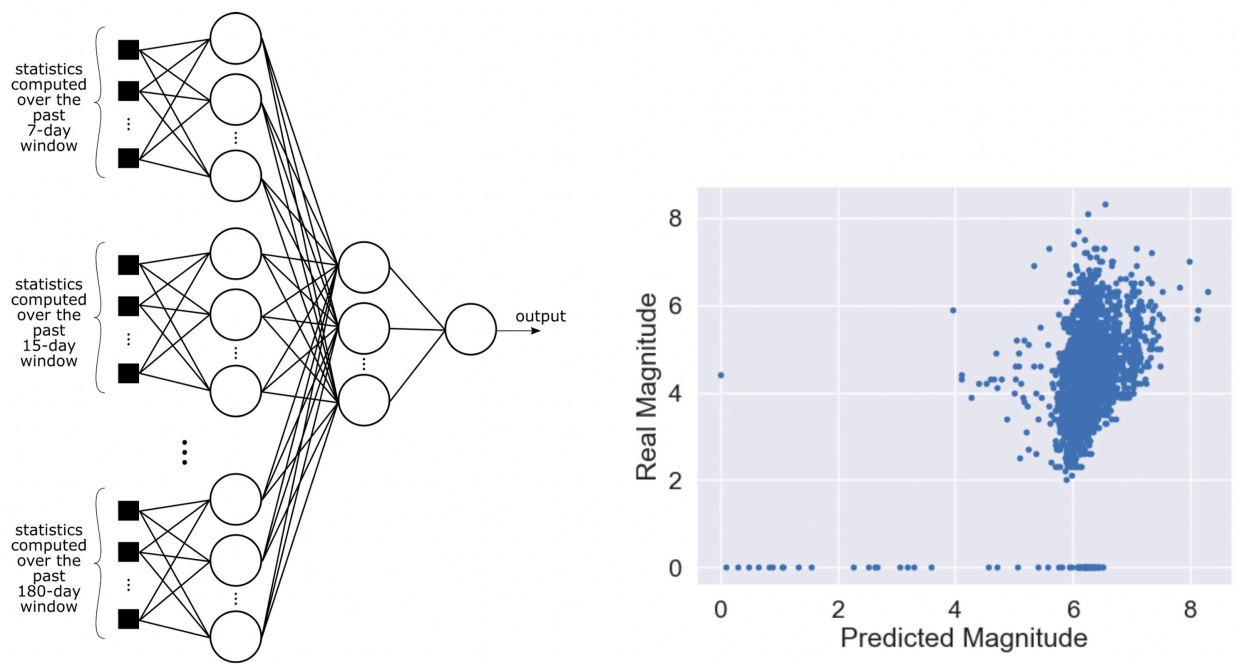


Figure 1. (left) Hierarchical neural network architecture, showing how features calculated for the time window of length N days are fed to their exclusive neural subnetwork, which are then connected to a fully-connected layer of neurons. (right) Prediction results for next-day maximum magnitudes in Japan, displaying a correlation of 0.35.

Room C | Regular session : S14. Earthquake prediction and forecast

📅 Wed. Oct 23, 2024 3:15 PM - 4:45 PM JST | Wed. Oct 23, 2024 6:15 AM - 7:45 AM UTC | 🏢 Room C
Medium-sized Conference room 302 (3F)

[S14] PM-2

chairperson: Masashi KAMOGAWA, Kiwamu Nishida (ERI, the university of Tokyo)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[S14-05] Can the preseismic D-region electron density increase reported by the DEMETER satellite be regarded as a seismic precursor?

*Masashi KAMOGAWA¹, Masahiko YAMAZAKI², Tetsuya KODAMA³, Toshiyasu NAGAO¹ (1. Natural Disaster Research Section (NaDiR), Global Center for Asian and Regional Research, University of Shizuoka, 2. Department of Aerospace Engineering, College of Science and Technology, Nihon University, 3. Japan Aerospace Exploration Agency)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[S14-06] Is a Massive Sardine Die-Off and Beaching Event in Japan an Earthquake Precursor?

*Yoshiaki ORIHARA¹ (1. Faculty of Education, Tokyo Gakugei University)

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[S14-07] Unnoticed Strong Seismic Vertical Shock Waves - Part 2 -

- A proposal to predict right before quakes by radio noise observation (2/2) -

*Hiroshi MAEHARA¹ (1. Geosystem Research Institute)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[S14-08] Capturing the Precursor Phenomena of a Giant Earthquake

*kimio uchino¹ (1. himawarinowa.lab)

4:15 PM - 4:30 PM JST | 7:15 AM - 7:30 AM UTC

[S14-09] Catfish predicted the earthquake.

*Yutaka Naoi¹ (1. None)

4:30 PM - 4:45 PM JST | 7:30 AM - 7:45 AM UTC

[S14-10] Challenge to earthquake prediction

*Takanobu HARA¹ (1. kagakugiken)

Can the preseismic D-region electron density increase reported by the DEMETER satellite be regarded as a seismic precursor?

*Masashi KAMOGAWA¹, Masahiko YAMAZAKI², Tetsuya KODAMA³, Toshiyasu NAGAO¹

1. Natural Disaster Research Section (NaDiR), Global Center for Asian and Regional Research, University of Shizuoka,
2. Department of Aerospace Engineering, College of Science and Technology, Nihon University, 3. Japan Aerospace
Exploration Agency

地球電磁気現象の地震先行現象研究のなかで最も事例数が多く、最もロバストな統計的評価がなされているものは、2004年～2010年に運用されたDEMETER衛星によって検知されたVLF電場強度減少現象である(Nemec et al., GRL, 2008; Nemec et al., JGR, 2009; Pisa et al., JGR, 2013)。先行研究によれば地震に先行する夜間VLF帯電場強度減少現象が $M \geq 4.8$ の地震、震央距離が500 km以内、地震発生前4時間前に発生すると言われている。また、この現象はD領域の電子密度上昇によって引き起こされているとみられ、岩石圏—大気圏—電離圏結合(LAI coupling)の観点から(Kamogawa, Eos, 2005)発生機構が提案されている(Harrison et al., JASTP, 2010)。本研究では、この現象の真偽を明確にするために、再評価を行った。まず、先行研究で指摘される問題点であった統計的ゆらぎの起因による見かけの強度減少でないことを、解析手法の修正により示した。次に、人工的な地震カタログを用いて、この強度減少の発生頻度を調べたところ 4σ のレベルとなる極稀な強度減少現象であることが示した。さらに、衛星直下の活発な雷活動においてもD領域電子密度上昇起因の類似した強度減少が見られるが、ワシントン大のWWLLN落雷カタログを用いて、この先行的な現象が見られるときの雷活動を調べたところ特に活発な雷活動との相関は見られなかった。したがって、雷活動起因による強度減少ではないことがわかった。以上の解析を踏まえて、本追解析では、地震先行現象を否定する結果は得られず、今後、本先行現象の真偽を探る研究を推進する必要性が明確になった。また本発表では、DEMETER衛星の事実上の後続衛星であり現在DEMETER運用期間と同じ6年間の運用がなされている中国CSES衛星で得られた成果との比較を行う。

Is a Massive Sardine Die-Off and Beaching Event in Japan an Earthquake Precursor?

*Yoshiaki ORIHARA¹

1. Faculty of Education, Tokyo Gakugei University

2024年1月1日、能登半島でマグニチュード7.6、最大震度7の地震が発生した（気象庁, 2024）。前月の12月7日には北海道函館市に大量のイワシやサバの死骸が漂着し（朝日新聞, 2023a）、同月13日には北海道江差町にも死骸を含むイワシが漂着した（読賣新聞, 2023）。さらに、同13日には三重県志摩市でもイワシの大量死が見つかっている（朝日新聞, 2023b）。こうしたイワシの大量死・大量漂着が、2024年能登半島地震の前兆だったのではないかと、SNSや一部週刊誌で話題になった。

大地震が発生し、その前にいつもと違う出来事（異常現象）が起きると、それが大地震の前兆だったのではないかと、と両者を結びつけて考える人がいる。しかし、同様の異常現象は過去にも起きていた場合が多々ある。例えば、鯨類が集団で海岸に打ち上げられるマス・ストランディングは、2011年東北地方太平洋沖地震の7日前に茨城県の鹿島灘に面した海岸で発生しているが、同じ海岸では、それ以前にも複数のマス・ストランディングが記録されている。そして、その後に東北地方や関東地方で大地震はなかった（織原・野田, 2015）。さらに、2015年4月10日には、2011年3月4日の54頭の約3倍となる156頭のマス・ストランディングが、茨城県銚田市の海岸で発生している。しかし、その後に2011年東北地方太平洋沖地震のような巨大地震は発生しなかった。また、ボラの大量死についても、地震の前兆ではないかといわれることがあるが、大地震との関連性を見出すことはできなかった（織原, 2022）。

本発表では、新聞記事等から拾い上げたイワシの大量死・大量漂着と、最大震度6弱以上の地震との関連性を統計的に検証した結果を示す。今回の調査でイワシの大量死・大量漂着は、1944年4月千葉県のイベントまで遡ることができた。しかし、それ以降は1981年4月新潟県まで37年間報告を見つけることができなかった。その後も、1991年、2001年、2009年と報告は飛び飛びだった。2012年からは本年2024年まで、毎年イワシの大量死・大量漂着が報告されている。

謝辞：本研究は東京大学地震研究所共同利用(2024- KOB003)の援助を受けました。

Unnoticed Strong Seismic Vertical Shock Waves - Part 2 -

- A proposal to predict right before quakes by radio noise observation (2/2) -

*Hiroshi MAEHARA¹

1. Geosystem Research Institute

1. はじめに

地震鉛直衝撃波の存在とその被害は、これまで無いことにされているため、その状況を是正すべく、土木学会関西支部の調査研究委員会の活動と成果報告書を踏まえ、その広報・啓発活動を東日本大震災の翌年から、年次発表会等を利用して行っています。一昨年に日本列島では大地殻変動が続いていることに気付き、原発の安全性の確認が必要なことの警鐘を、急遽数回発表しました。その活動に合わせるかのように、能登半島地震が今年の元日に起き甚大な被害が生じました。前篇では、大地殻変動の状況から見た教訓を述べ、地震直前予知の実用化は、地震鉛直衝撃波を観測するにも必要で、ラジオの騒音観測の研究を提案しました。本篇では、地殻変動状況と原発の危険性を再確認し、地震直前予知の実用化について一つの展開案を述べます。

2. 大地殻変動の状況と原発の安全性への警鐘

図1a,cは東日本太平洋沖地震の前後で日本列島の地殻変動の様相が一変したことを表し、その状態は図2に示す巨大地震での1年間の地殻変動形態とも異なります。図2の広範囲の変動が、図3に示す二重破線付近を軸として収められた形が図1cの変動状態で、現在もこの変動形態が続いています。図3はその5年間分の変動状況を表し、破線の軸の南北で方向が異なる渦変動A,Bを伴っています。図3の渦Bの変動で、房総半島から長野県北部にかけての◇部分の地塊は行き場がない状態です。図4は中部から東北地方の10年間の変動を表し、青印は原発の位置です。図5は宮城県と福島県沖で、'22,'23年にはM7級の地震が4件連発し、その後M6, M5級が、場所を少し変えて起きています。防衛省仕様の艦船は船底下10m程で爆発する魚雷等への対策が、地震鉛直衝撃波の対策を兼ねていますが、原発はその対策がなく大変危険な状態です。

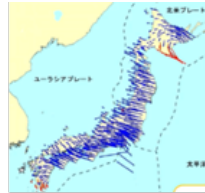
図6a,bは能登半島地震で、図3の◇部分の地塊が北に動いたことを表し、図6cは一か月間の地盤変動図です。幅200kmを超す地塊が北西側に収めらる変動を表しているが、能登半島北辺の断層群は西南西への動きを伴う逆断層の変動（震源断層変動）をしました。図6cの地盤変動形態がこの震源断層変動を起こさせたのです。その一連の動きが図4や3の変動状況下で起きました。断層変動の根本は地殻変動なので、原発の耐震性を決める地震の規模は、見かけの断層長さだけでは決め難く、原発の耐震安全性には疑義が伴います。

3. 地震直前予知にラジオ騒音観測の提案と一つの展開案

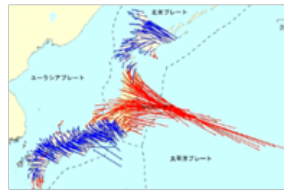
能登半島の北端部では群発地震が発生しており以前から大地震の発生が危惧されていました。このように大地震の発生が危惧される地域では、地震の発生時期と場所を特定する観測法を実用化する必要があります。

それには、兵庫県南部地震の時に電波の雑音を広範囲に観測した経験を生かす提案をします。その中のラジオ雑音の受信例を3点抜粋して次頁の下段に記します。文献1)には長距離トラックの高橋運転手の体験が詳しく載せてあり、要点を抜粋して略記します。文献2)には多数の体験例があり、その内の2例を転記します。中波帯でのラジオの騒音観測は、何処でも誰でもでき、現在ではその情報交換と共有が容易にできる時代です。雷の空震と区別するアンテナの入手が現在困難なようですが、解決されるべき課題です。

ともあれ、このような簡単な観測法が、なぜ今まで本格的な研究の対象にされなかったのか不思議です。体験例の(2)と(3)では受信周波数に不一致の部分がありますが、雑音の強弱と受信場所の分布を、地震発生の一週間程前から判別でき得ることを表しています。こうした騒音分布の観測経験を市民レベルで共有すれば、避難のあり方も当事者で判断することも可能になり、地震防災には大変有効な手法として期待されます。



震災前、東北地方は東西に約3cm/年縮む
(a) 1997.4~2010.10



11年後、東北地方は東西に年間数cmの伸び、継続
(c) 1997.4~2022.4 (b省略)

図1 日本列島の地殻変動の変化 [国土地理院]



NHK カクエイク. 2012.4.2
東日本太平洋沖地震
図2 一年間の地盤変動

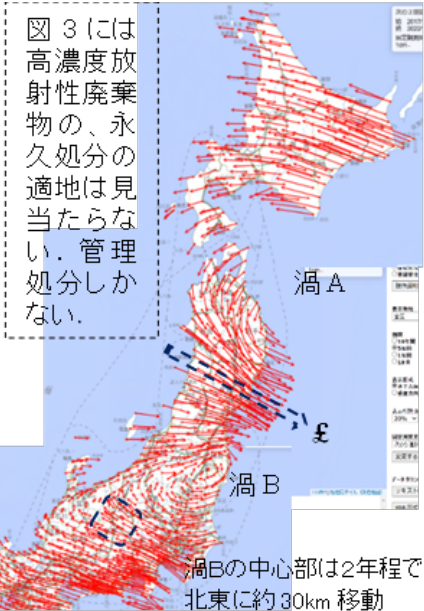
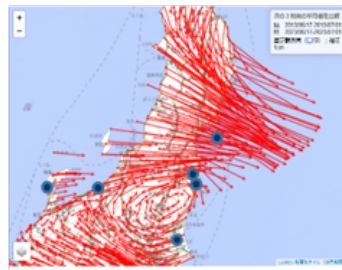


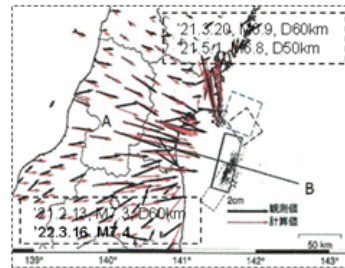
図3には高濃度放射性廃棄物の、永久処分の適地は見当たらない。管理処分しかない。

渦Bの中心部は2年程で北東に約30km移動



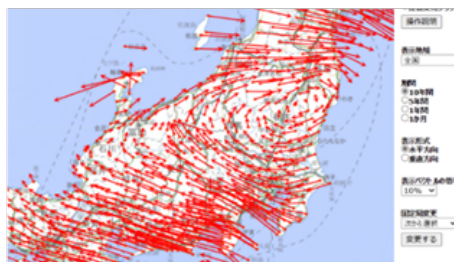
印は原発位置、ベクトル表示率20%
(10年間, 2022.11迄)

図4 日本北東部の地殻変動

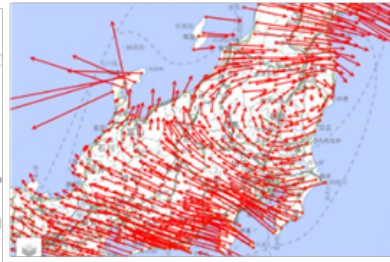


[国土地理院の図に加筆編集]
'21, '22年にM7級の大地震が4件連続
図5 福島-宮城県沖の地震

2017.11~2022.11, ベクトル表示率20%。
(5年間) 国土地理院の図に加筆編集
図3 東日本の地殻変動状況



10年間, ベクトル表示率10%
(a) 地震直後の週末



10年間, ベクトル表示率10%, 図1の◇部の土塊が北に移動



ベクトル表示率50%, 広範囲が移動
(c) 地震後約一ヶ月間の地盤変動

図6 2024 能登半島地震後の地殻変動図(3種類) [国土地理院]

★ラジオ雑音の体験証言の抜粋3例

- (1) 高橋運転手[長距離トラック]の例：眠気防止を兼ね当地の中波放送を聞くのが常(今回はラジオ関西 558kHz)。国道2号を東進、加古川付近を過ぎる頃、騒音の混入に気付く。明石市を過ぎる頃、ノイズレベルが放送波に近くなり、非常に耳障りになった。受信可能な5局を試したところ、550kHz~1.6MHz 迄全ての局で同様のノイズが混入。元の局に戻し、5時20分頃、垂水区に入ったとたん、強烈なノイズを受信、ボリュームを絞りと前と同程度のノイズレベルで走行。他の局に切り替えてみたが全ての局で放送内容は聞き取れない状況。JR 兵庫駅付近で放送内容が判明するも、兵庫区に入ると同程度に戻った。その後、東灘区を通過する頃一層レベルが上がり、高架橋崩壊部分を通過直後の5時46分、激烈な振動にハンドルを取られ、左右に振り回され、夢中で急停止し、安全を確かめに車外に出た。15~20分後車に戻るとラジオが地震発生を告げていた。即ちノイズは消えていた。
[文献1]より抜粋整理、福山一名古屋に運送中]
- (2) 神戸市須磨区の男性の例：あるラジオ番組を10年間かかさず聞いています。2週間前には聞こえないくらいのノイズが入っていました。3日後に聞くとクリアになっていました。今まで、こんなことはありません。生駒の方からの発信で須磨ニュータウンで受信しています。[文献2]より、毎日放送 1179kHz]
- (3) 宇治市の男性の例：今年1月6日ごろからラジオの朝日放送にノイズが入り始めた。最初は多少聞きづらい程度だったが10日ぐらいから異常に大きいブーンという妨害電波のような音に変わった。(他のダイヤルはノイズ入らず) 耳障りでラジオの音はほとんど聞き取れずこわれたかな、と感じるほどだった。地震後は全くノイズは入らない。[文献2]より、朝日放送 1008kHz]

参考文献

- 1) 力武常次:地震予知 - 発展と展望 -, 日本専門図書出版, p248-249, 平成13年1月。
- 2) 弘海原清:阪神淡路大震災 前兆証言 1519, 東京出版, p250-257, 1995年9月。

Capturing the Precursor Phenomena of a Giant Earthquake

*kimio uchino¹

1. himawarinowa.lab

1, はじめに2024年8月8日16時43分(JST)の宮崎県日向灘で発生したマグニチュード7.1の大地震の前兆と思われる現象を発見した。鹿児島県山川観測所の8月8日午前7時30分(JST)にイオノゾンドのデータから、磁気嵐による地球型平行板コンデンサーの出現の後、蓄電していた平板コンデンサーから放電、直後に大地震が発生していたことを見出すことに成功した。2, 太陽フレアから巨大地震発生まで太陽フレアが巨大なエネルギー放射する。①太陽から放射されたX線、極端紫外線は地球磁力線を透過し、大気上部の大気を電離しながら吸収される。②北向きの太陽磁場は、地球磁力線に宇宙に跳ねのけられてしまうが、南向きの太陽磁場は、地球磁力線と磁気リコネクションを起こし、地球磁場に取り込まれる。③電離圏上部に取り込まれた荷電粒子は地球磁場を活性化し、磁気嵐までも起こす。④極部まで侵入してオーロラを発光させる。⑤リングカレント(赤道環電流)は、地球磁気圏に補足された荷電粒子によってつくられた電流である。⑥プロトンなどの高エネルギー放射線粒子の影響は、衛星破壊や太陽パネルの出力低下など大きな被害をもたらす。⑦活性化された地球磁力線に巻き付く磁気嵐は、Es層、F層のみならずD層上部にまで強力な水平磁気嵐の層を形成する。⑧磁気嵐は地殻との間に電離した分子などの絶縁大気を挟みながら、地球平行板コンデンサーを形成しながら蓄電する。3、巨大地震発生の直前現象を捉える① 8月2日13時55分にM7.4のLDEフレアが発生する。② 8月2日13時30分に日本各地にデリンジャー現象を引き起こす。③ 8月4日12時頃緩始型地磁気嵐を発生する。(柿岡磁気観測所&GOES衛星観測) ④ 8月8日7時30分JSTに地殻と大気圏上空、電離圏に15MHzから25Hzを超える 高い周波数の地球平行板コンデンサー型の磁気嵐を重層的に発生させる。(鹿児島県山川電波観測所観測) ⑤ 16時30分には、高エネルギー化した電子の放電が一斉にみられ、地殻の自由電子の不安定化から、部分的なプレートのズレなどを引き起こし、16時43分に宮崎県日向灘にM7.1の大地震発生に至る。4、まとめ平板コンデンサーを電場に置くと、平板の金属内部(コンデンサーモデル図B)で自由電子の移動が起こり、金属内で電場が相殺されなくなり、金属の表面に自由電子を帯電する。誘電体(コンデンサーモデル図C)に誘電分極が起こり、周囲の電圧が変化すると、自由電子がB→C→A(コンデンサーモデル図A)への放電が起こる。同様に、太陽フレアに端を発したX線や極端紫外線が地球磁場を超えて大気上部までスポット的に達すると、D層、E層の大気との分離とともに電子密度が極端に高まり、デリンジャー現象を生じさせる。さらに太陽風プラズマが到達すると、磁気嵐を発生させる。この地磁気擾乱が長時間続くと電子の高エネルギー化を起こし、あたかも平行コンデンサーの平板金属のように電子の周波数を増大させながら広範囲にエネルギーを蓄電させていく。磁気嵐層を上部平板、地球の地殻層を下部平板、間に一部電離した大気を誘電体として挟みながら、地球平行板コンデンサーは電場変位による電磁誘導が起こり、誘電体の大気は誘電分極を起こし、電気的に分極していく。電子の振動数の増加や継続する磁気嵐によってエネルギーは限界までストックされていく。地球平行板コンデンサーのおかれた磁場環境が大きく変化する(日本の中緯度エリアの北向き磁場から南向き磁場に変化をするなど)と、一斉に下部平板である地殻から上部平板の磁気嵐層に電子の流れが発生し、放電現象を引き起こす。これがトリガーとなって歪の解放やプレート移動などが起こり、巨大地震の発生へと繋がっていく。絶縁体である大気などに電圧がかかることで、気体の絶縁破壊が生じて電子の放電が起こるのである。複数の高周波数の平行な磁気嵐の層が発生すると、直列のコンデンサー連結と同じ原理が働き、規模の大きい放電が起こるので地殻がより不安定化して巨大地震の発生や火山噴火へと繋がるのである。[参考文献] a)宇宙天気予報「国立研究開発法人情報通信研究機構」NICTのウェブサイト(<https://www.nict.go.jp>) b)国土交通省「気象庁」(JMA: Japan Meteorological Agency)ウェブサイト(<https://www.jma.go.jp>) c)アメリカ海洋庁「NOAA」ウェブサイト(<https://www.noaa.gov>)

Catfish predicted the earthquake.

*Yutaka Naoi¹

1. None

ナマズは地震を予知していた
直井 裕

1 はじめに

2022年8月にテレビを観ていたら、「ナマズは地震を予知しない」と放送していた。根拠として表1をあげ、ナマズが動いたのは150回でそのうち、地震が発生し予知したととれるのが10回だったからだ。これでは少な過ぎるのではないかと指摘していた。しかしこの表は χ^2 テストの一部なので、 χ^2 テストを行えば何かが分かるのではないかと思い実施してみた。

2 調査方法

表1のデータは神奈川県淡水魚増殖試験場が1979年から1985年までの6年間(2191日)ナマズの動きと地震の発生状況を観察したものです。表1を χ^2 テストができるように修復し表2を作成した。ナマズが動いたのは150回で、そのうち地震が発生したのは10回で、地震が発生しなかったのは140回であった。一方ナマズが動いていないのは2041回で、そのうち地震が発生したのは14回で、地震が発生しなかったのは2027回であった。 χ^2 テストを実施したところ、精密法では $\chi^2=46.133$ となり、近似法では $X^2=46.133$ となった。自由度 $= (2-1)(2-1) = 1$ なので、 $\chi^2(5\%) = 3.84$ である。 X^2 テストの結果がより大きいので帰無仮説は棄却され、ナマズが動いた結果と、ナマズが動いていない結果には有意差があった。よってナマズは地震を予知していたと言える。表3から表8は近似法を表し、図1は精密法を表している。

3 まとめ

X^2 テストの結果は高度に有意差があったことから、ナマズは地震を予知していたと言える。しかし、この結果は表1の結果のみに言えることです。再現性については、実験が1回だけなので地震予知については、はっきり言うことは困難です。このような実験を多数行えば、ナマズと地震の関係もはっきりし、地震予知に利用できるのではないかと考えています。神奈川県淡水魚増殖試験場の実験は大成功であった。

χ²テストの近似法

表1、地震とナマズの動き

	ナマズの動きある	ナマズの動きなし
震度 3以上の回数	10	14
震度 3未満の回数	140	

表2、6年間の地震とナマズの動き

	ナマズの動きある	ナマズの動きなし	合計
震度 3以上の回数	10	14	24
震度 3未満の回数	140	2027	2167
合計	150	2041	2191

表3 実測値

	ナマズの動きある	ナマズの動きなし	合計
震度 3以上の回数	10	14	24
震度 3未満の回数	140	2027	2167
合計	150	2041	2191

表4 期待値

	ナマズの動きある	ナマズの動きなし	合計
震度 3以上の回数	1.643085349	22.35691465	24
震度 3未満の回数	148.3569147	2018.643085	2167
合計	150	2041	2191

表5 実測値 - 期待値

	ナマズの動きある	ナマズの動きなし	
震度 3以上の回数	8.356914651	-8.356914651	
震度 3未満の回数	-8.356914651	8.356914651	

表6 表5 * 表5

	ナマズの動きある	ナマズの動きなし	
震度 3以上の回数	69.8380248	69.8380248	
震度 3未満の回数	69.8380248	68.89	

表7 表6 / 期待値

	ナマズの動きある	ナマズの動きなし	合計
震度 3以上の回数	42.50419646	3.1237773	45.62797376
震度 3未満の回数	0.470743293	0.034126885	0.504870177
合計	42.97493975	3.157904185	46.13284394
χ ² テスト=46.133			

表8 χ²テスト入力

	ナマズの動きある	ナマズの動きなし	合計
震度 3以上の回数	a	b	a+b
震度 3未満の回数	c	d	c+d
合計	a+c	b+d	a+b+c+d

図1 直接計算法(精密法)

$$\chi^2 = (ad - bc)(ad - bc)(a + b + c + d) / ((a + b)(c + d)(a + c)(b + d))$$
$$\chi^2 = (10 \times 2027 - 14 \times 140)(10 \times 2027 - 14 \times 140) \times (10 + 14 + 140 + 2027) / ((10 + 14)(140 + 2041)(10 + 140)(14 + 2027))$$
$$\chi^2 = 46.133$$

Challenge to earthquake prediction

*Takanobu HARA¹

1. kagakugiken

地震予見に対する前兆現象の理論（仮説）

（はじめに）

現在、地震予知については、いつ（日時）・どこで（場所）・どのような（規模）の地震が発生するのか予測できないので、『地震は予知できない』のが定説となっております。また、地震発生については、前兆現象がないので地震は予知できないものとされております。本当に、前兆現象は存在しないのだろうか？見逃されているのではないだろうか。次に、仮説を加味して検証してみたいと思います。

（地震予知に対する仮説からの挑戦）

私は、地震予知の条件は満たさない（観測機器を有しない）ので、いつ・どこで・どの程度の地震が発生するのか？の定説に従った地震予知は不可能です。しかしながら、気象庁のデーター整理（Google画面）（深度約10km単位）のデーターより、M5以上の地震発生日の予見に挑戦してきました。防災上の観点からは、発生日の予見できれば地震観測機器を設置している研究所において予知は可能となるのではないだろうかとの期待を抱きながら、私の研究成果を発表致します。また、防災上の観点からは、M5以上の地震発生日が予見できれば地震予知が可能になると信じて調査してきました。現在では、M5以上・深度5以上の地震発生日の予見に挑戦しております。（予見の仮説理論について）

予見は、長期予見と短期予見で仮説に基づいて構成しました。長期予見については、宇宙の営み（月と地球と太陽の周回軌道）即ち、月食と日食を起点した引力変化や地磁気の変化等から予見しております。短期予見については、地震の発生機構より予見しております。予見根拠となる仮説は、深度40kmの地震については断層等のひずみによる地震であり、将来的にはM5以上の地震に発展する可能性を秘めている深度と考えられます。深度30kmの地震についてはひずみの蓄積が限界に達した際に発生する地震であり、その後M5以上の地震が発生する可能性は極めて高い傾向にあります。深度20kmの地震は地震エネルギーの解放深度と仮定して検証してみると、地震の収束局面若しくは地震エネルギーの蓄積の解放過程において発生しております。深度20kmの地震が発生すれば、地震によるひずみエネルギーが放出される。深度20kmの地震が連続して発生すれば、相当に地震エネルギーが蓄積された状態を除いては大きな地震発生とはならないといえます。即ち、逆に言えば、深度20km以外の地震が何日も続いたり、地震が発生しない日は地震エネルギーが蓄積されている状況を示唆するものと解釈致します。

（地震予見の総合判断となる知見について）

1. 長期予見について

- ①月食からの月の朔望はどうなっているのか？
- ②月食からの月の周回軌道及び日食からの太陽の周回軌道はどうなっているのか？
- ③太陽コロナの爆発や地磁気の変化についての考察

2. 短期予見について

- ①深度20kmの地震の発生状況（地震エネルギーの蓄積）
- ②地震エネルギーの蓄積状況の把握（日最大Mの推移）
- ③日最大M3.9以下（地震エネルギーの解放）からの推移
（M5以上の地震の見逃しは極めて低い）

（日最大M5以下で推移していた地震の推移がM3以下、特にM2.5近辺まで低下した場合は、M5以上となる確率は高く、地震発生深度の推移を合わせ判断すれば地震エネルギーが考慮できる。）

3. 総合判定

長期予見日と短期予見の地震発生深度と、日最大Mの推移を加味して判断すれば、M5以上・深度5以上の地震は予見可能となる。

（南海トラフ地震臨時情報（巨大地震注意））の検証

私の仮説に基づいて。日向灘の地震を検証すると、4月17日 23時14分に発生した豊後水道の震度6弱・深度50km・M6.6の地震は、4月25日まで9日間（実質6月5日まで）発生したが、エネルギー放出層である深度20kmの地震は発生しなかった。その後、日向灘の地震が見られたことから懸念していたところ、8月8日14時43分に日向灘において、震度6弱・震度30km・M7.1の地震が発生し、南海トラフ地震臨時情報（巨大地震情報（巨大地震注意））が発表された。日向灘地震は深度20kmの地震が3日間連続計7回（合計8回）発生し収束しました。

ちなみに、長期予見では、8月は4日（震度5以上・M5以上）・13日（震度5以下・M5以上？）・20日（震度5以上・M5以上）の地震を予見しております。4日の地震が8日になったのは、3日にフィリピン付近の地震M7.0の地震発生と4日の地震が日最大M4.6・5日M2.9・6日3.3・7日M2.8（地震1回）で、地震エネルギーが蓄積されていたものと判断されます。

（今後、理論的に研究する課題）

1. 長期予見は、月及び太陽の周回軌道を8日として設定することにより長期予見は可能となったが、論拠不明です。
2. 今後の地震発生確率を、深度40kmと30kmの地震について、計算式を適用すれば確率精度が高まると思われます。
3. M5以上の地震発生前には、同じ震源地の地震が複数回発生するのでM5以上の地震の発生が予見できることと、地震発生時間の把握ができれば、防災上の価値は至高のものとなると思われます。

以上、私の12年間調査分析し、仮説を重ね検証してきた理論です。ご検証戴ければ幸甚でございます。宜しくお願い致します