

Tue. Oct 25, 2022

Room A | Regular session : S09. Statistical seismology and underlying physical processes

9:30 AM - 10:45 AM JST | 12:30 AM - 1:45 AM UTC | ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S09] AM-1

chairperson:Mamoru Nakamura(Ryukyu University), Kazuyoshi Nanjo(University of Shizuoka)

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

[S09-17] Is the low b -value in the rift-axis of the southern Okinawa Trough accurate?

*Mamoru NAKAMURA¹ (1. Faculty of Science, University of the Ryukyus)

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

[S09-18] b -value dependency on crustal strength inferred from precise focal mechanism data

*Satoshi MATSUMOTO¹, Yoshihisa Iio², Shinichi Sakai³, Aitaro Kato⁴ (1. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo, 4. Earthquake Research Institute, University of Tokyo)

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

[S09-19] Seismic radiated energy and source spectra of the regular and deep low-frequency earthquakes in and around the source area of the 2008 Iwate-Miyagi inland earthquake

*Masaki Orimo¹, Keisuke Yoshida¹, Toru Matsuzawa¹, Taka'aki Taira², Kentaro Emoto³, Akira Hasegawa¹ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, 2. Berkeley Seismological Laboratory, University of California, Berkeley, Berkeley, California, U.S.A., 3. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University)

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

[S09-20] Estimation of earthquake distribution and fault structure of normal fault earthquakes off Fukushima-Ibaraki using sP depth-phase

*Yoshiaki Matsumoto¹, Keisuke Yoshida¹, Genti Toyokuni¹, Toru Matsuzawa¹ (1. Tohoku University)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[S09-21] Static Coulomb stress transfer and seismicity rate change associated with the 2016 Kumamoto, Kyushu, Japan, earthquake

*Shinji TODA¹, Ross S. Stein² (1. IRIDeS, Tohoku University, 2. Temblor Inc.)

Room A | Regular session : S09. Statistical seismology and underlying physical processes

11:00 AM - 11:45 AM JST | 2:00 AM - 2:45 AM UTC | ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S09] AM-2

chairperson:Nana Yoshimitsu(Kyoto University)

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

[S09-22] What factors contribute to cut-off depth of crustal seismicity?

*Akiko TANAKA¹ (1. Geological Survey of Japan, AIST)

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

[S09-23] Evaluation of seismic activity characteristics at different depths through laboratory rock fracture experiments

*Nana YOSHIMITSU¹, Hironori KAWAKATA² (1. Kyoto Univ., 2. Ritsumeikan Univ.)

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

[S09-24] Verification of Seismic Gap by means of physical and statistical models

*Giuseppe Petrillo¹, Jiancang Zhuang¹, Eugenio Lippiello² (1. The Institute of Statistical Mathematics, 2. Università della Campania "Luigi Vanvitelli")

Room A | Regular session : S08. Earthquake physics

11:45 AM - 12:30 PM JST | 2:45 AM - 3:30 AM UTC | ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S08] AM-2

chairperson: Akiko TOH (Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo)

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

[S08-01] Seismicity and its implications for fluid movement in the northern and central Hikurangi subduction zone, New Zealand*Kazuya TATEIWA¹, Calum Chamberlain², Martha Savage², Tomomi Okada¹ (1. Tohoku University, 2. Victoria University of Wellington)

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

[S08-02] Fault valve action using ancient magma system caused the intense earthquake swarm in Northeast Noto peninsula, Japan*Keisuke YOSHIDA¹, Masaaki Uno², Toru Matsuzawa¹, Yohei Yukutake³, Yusuke Mukuhira⁴, Hiroshi Sato³, Takeyoshi Yoshida¹ (1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Graduate School of Environmental studies, Tohoku University, 3. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 4. Institute for Fluid Science, Tohoku University)

12:15 PM - 12:30 PM JST | 3:15 AM - 3:30 AM UTC

[S08-03] Source process of moderate earthquakes off the east of Izu Peninsula in 2006 and 2009 : Relationship to previous swarm activities*Yukako Tanaka¹, Takuji YAMADA¹ (1. Ibaraki University)

Room A | Regular session : S08. Earthquake physics

2:00 PM - 3:00 PM JST | 5:00 AM - 6:00 AM UTC | ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S08] PM-1

chairperson: Kazuya TATEIWA (Tohoku University), Keisuke Yoshida (Tohoku University)

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

[S08-04] Quantification of expansion rate of aftershock zone for M7-class earthquakes in Japan: Potential as differential stress meter*Yuta MITSUI¹, Yuya UTAGAWA² (1. Faculty of Science, Shizuoka University, 2. Formerly at Faculty of Science, Shizuoka University)

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

[S08-05] Stress Drop of Small Earthquakes in the Southeastern Kanto RegionKaho Hashimoto¹, *Takuji YAMADA¹ (1. Ibaraki University)

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

[S08-06] Stress drops of small earthquakes off the east coast of Ibaraki and Chiba Prefectures: Heterogeneity in frictional properties on the subducting Pacific Plate*Tsukasa Masuda¹, Takuji Yamada¹ (1. Ibaraki University)

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

[S08-07] Shear strength and fluid over-pressure in world subduction zones estimated from the earthquake energy budget*Nelson PULIDO¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

Room A | Regular session : S08. Earthquake physics

3:15 PM - 4:30 PM JST | 6:15 AM - 7:30 AM UTC | ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S08] PM-2

chairperson:Naofumi Aso(Tokyo Institute of Technology), Saeko Kita(Building research institute)

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

[S08-08] Nankai Trough Earthquakes Estimated from GIS-based Historical Documents in Mie Prefecture*Yoshiko YAMANAKA¹ (1. Nagoya Univ.)

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

[S08-09] Effects of long-term slow slip events on in-slab stresses in Bungo Channel, southwestern, Japan*Saeko KITA¹, Heidi Houston², Roland Burgmann³, Suguru Yabe⁴, Youichi Asano⁵, Takeshi Kimura⁵ (1. Building Research Institute, 2. USC, 3. UC Berkeley, 4. AIST, 5. NIED)

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

[S08-10] Single-station detection of seismic slow earthquakes using their broadband characteristics*Koki MASUDA¹, Satoshi Ide¹ (1. Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo)

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

[S08-11] Strongly scattering medium along slow earthquake fault zones, inferred by the new observations of short-duration tremors*Akiko TOH¹, Wu-Cheng Chi², Yann Capdeville³, Satoshi Ide¹ (1. Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, 2. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan, 3. Nantes Université, CNRS, France)

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

[S08-12] Direct Evidence of Strike-Slip Motion for Low-Frequency Earthquake near Parkfield*Naofumi Aso¹, Miki ASO², David R SHELLY³, Satoshi IDE⁴ (1. Tokyo Institute of Technology, 2. OYO RMS, 3. USGS, 4. University of Tokyo)

Room A | Regular session : S08. Earthquake physics

4:45 PM - 6:00 PM JST | 7:45 AM - 9:00 AM UTC | ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S08] PM-3

chairperson:Tatsuya Kubota(NIED), Suguru Yabe(AIST)

4:45 PM - 5:00 PM JST | 7:45 AM - 8:00 AM UTC

[S08-13] Synthetic tests of joint CMT analysis using translation and strain data*Suguru YABE¹, Kazutoshi Imanishi¹ (1. Geological Survey of Japan, AIST)

5:00 PM - 5:15 PM JST | 8:00 AM - 8:15 AM UTC

[S08-14] Feasibility of detecting pre-P gravity elastic strain signals from earthquakes*Kantaro KAWAI¹, Nobuki KAME¹, Shingo WATADA¹, Akito ARAYA¹ (1. ERI, UNIVERSITY OF TOKYO)

5:15 PM - 5:30 PM JST | 8:15 AM - 8:30 AM UTC

[S08-15] Validating the Method Estimating Fault Slip Angles by Using Regional 3D Stress Field with the Wallace-Bott Hypothesis –Application to the focal mechanism solutions of microearthquakes –*Takeo Ishibe^{1,2}, Toshiko Terakawa³, Akinori Hashima⁴, Masashi Mochizuki⁵, Ritsuko S. Matsu'ura¹ (1. Association for the Development of Earthquake Prediction (ADEP) , 2. ISM, 3. Nagoya University, 4. JAMSTEC, 5. NIED)

5:30 PM - 5:45 PM JST | 8:30 AM - 8:45 AM UTC

[S08-16] Stress field in the northwestern part of the South Island, New Zealand, and its relationship with faults of recent earthquakes (3)*Ayaka TAGAMI¹, Miu Matsuno¹, Tomomi Okada¹, Satoshi Matsumoto², Yuta Kawamura², Yoshihisa Iio³, Tadashi Sato¹, Satoshi Hirahara¹, Shuutoku Kimura¹, Stephen Bannister⁴, John Ristau⁴, Martha Savage⁵, Clifford Thurber⁶, Richard Sibson⁷ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University, 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 4. GNS Science, New Zealand, 5. Victoria University of Wellington, New Zealand, 6. University of Wisconsin - Madison, United States of America, 7. University of Otago, New Zealand)

5:45 PM - 6:00 PM JST | 8:45 AM - 9:00 AM UTC

[S08-17] Distribution of azimuths of aftershock faults in the Western Tottori region deduced by the dense seismic observations*Yoshihisa IIO¹, Manten seismic observation group², Manten seismic observation group in the Western Tottori region² (1. Kyoto University, 2. N/A)

Room A | Regular session : S09. Statistical seismology and underlying physical processes

📅 Tue. Oct 25, 2022 9:30 AM - 10:45 AM JST | Tue. Oct 25, 2022 12:30 AM - 1:45 AM UTC | 🏠 ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S09] AM-1

chairperson: Mamoru Nakamura (Ryukyu University), Kazuyoshi Nanjo (University of Shizuoka)

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

[S09-17] Is the low b -value in the rift-axis of the southern Okinawa Trough accurate?

*Mamoru NAKAMURA¹ (1. Faculty of Science, University of the Ryukyus)

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

[S09-18] b -value dependency on crustal strength inferred from precise focal mechanism data

*Satoshi MATSUMOTO¹, Yoshihisa Iio², Shinichi Sakai³, Aitaro Kato⁴ (1. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo, 4. Earthquake Research Institute, University of Tokyo)

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

[S09-19] Seismic radiated energy and source spectra of the regular and deep low-frequency earthquakes in and around the source area of the 2008 Iwate-Miyagi inland earthquake

*Masaki Orimo¹, Keisuke Yoshida¹, Toru Matsuzawa¹, Taka'aki Taira², Kentaro Emoto³, Akira Hasegawa¹ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, 2. Berkeley Seismological Laboratory, University of California, Berkeley, Berkeley, California, U.S.A., 3. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University)

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

[S09-20] Estimation of earthquake distribution and fault structure of normal fault earthquakes off Fukushima-Ibaraki using sP depth-phase

*Yoshiaki Matsumoto¹, Keisuke Yoshida¹, Genti Toyokuni¹, Toru Matsuzawa¹ (1. Tohoku University)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[S09-21] Static Coulomb stress transfer and seismicity rate change associated with the 2016 Kumamoto, Kyushu, Japan, earthquake

*Shinji TODA¹, Ross S. Stein² (1. IRIDeS, Tohoku University, 2. Temblor Inc.)

Is the low b -value in the rift-axis of the southern Okinawa Trough accurate?

*Mamoru NAKAMURA¹

1. Faculty of Science, University of the Ryukyus

南部沖縄トラフの中軸では、0.7以下の低い b 値が報告されている (Arai et al., 2021EPS)。このような低い b 値は、ダイク貫入による応力増加が影響していると解釈されている。しかし先行研究では、沖縄トラフ内におけるmagnitude completeness (M_c) の空間変動が考慮されていなかった。また南部沖縄トラフ付近では、気象庁の変位マグニチュード (M_D) より速度マグニチュード (M_V) の値が小さく決まる傾向がある。M4.0~5.0の地震で M_D 、 M_V 、および防災科学技術研究所F-Netのモーメントマグニチュード (M_w) を比較すると、 M_D は M_w より0.17大きく、 M_V は M_w より0.63小さい。つまり M_w を基準にすると、M4.0~5.0の地震に対して気象庁マグニチュード (M_J) として M_D が採用されればマグニチュードが0.17大きくなり、 M_V が採用されれば0.63小さくなる。結果としてM4.0~5.0の範囲の地震個数が見かけ上減少し、本来直線的であるはずのFrequency-Magnitude分布がこの範囲で下側に湾曲する。もし M_c が4.0付近であった場合、湾曲の影響で b 値を過小評価する可能性がある。しかし先行研究ではこの影響が補正されていない。そこでこれらを補正した上で、中南部沖縄トラフと琉球弧における b 値の空間変化を調べた。解析には2001年から2019年までの気象庁地震カタログを使用した。 M_c と b 値はZMAP7 (Wiemer, 2001SRL) を使用して計算した。計算は M_J を使用した場合と M_V を使用した場合の2種類で行った。

計算に M_V と M_J のどちらを使用した場合でも、中南部沖縄トラフ中軸付近の M_c は琉球弧での値 (1.0~2.0) と比べて高い値 (1.6~3.6) を示した。与那国リフトの東部では M_c が小さい (約1.4~2.2)。八重山リフトでは M_c が3.6に達する領域があった。宮古リフト (25.3°N, 125.3°E) では M_c が2.4~3.4であった。奄美大島西方では M_c は約2.0であった。各地の M_c は期間を通してほぼ一定であった。しかし、群発地震発生時に、その領域で M_c が増加した。宮古リフトでは2001年から2019年までの M_c が2.2~2.8であった。しかし2007年群発地震のときに M_c が3.3まで増加した。

b 値は M_V と M_J どちらを使用した場合でも八重山リフト西部を除いてほぼ同じ値を示した。 M_V による b 値は、南部沖縄トラフ中軸で0.7~1.2の範囲であった。与那国リフトの東部と八重山リフトの西部では b 値が0.7-0.9の範囲であった。しかし宮古リフトと八重山リフトの西側 (24.8°N, 122.5°E) は、 b 値がやや高い傾向があった (0.8~1.2)。奄美大島西方では b 値が0.8~1.2であった。

八重山リフト西部 (25.2°N, 124.0°E) での b 値は、使用するマグニチュードによって異なった。八重山リフトの西部では、 M_V と M_J どちらの場合でも M_c の値はほぼ同じ (3.3) であった。しかし、 M_J を用いた場合は b 値が0.4であるのに対し、 M_V を用いた場合の b 値は0.7であった。ここは2002年10月に発生した群発地震の領域である。 M_c が3.3と大きかったために、M4.0~5.0で生じるFrequency-Magnitude分布の湾曲の影響を受け、 b 値を過小評価した可能性がある。

全体的に、中南部沖縄トラフ中軸付近の平均的な b 値 (0.90~0.92) は、琉球弧の平均的な b 値 (0.83~0.84) とほぼ同じ値であった。このことは南部沖縄トラフ中軸の低い b 値分布は小さな M_c を用いたために生じた見かけ上のことであると考えられる。南部沖縄トラフ中軸の群発地震発生域では、それ以外の地域と比べて M_c が3.0以上である場所が多かった。南部沖縄トラフ中軸の群発地震発生域では定常状態のとき M_c が2.0であった。しかし群発地震活動時期 (数日間) の間だけ M_c が3.5以上に増加した。これは群発地震が活発化した際に地震の検知能力が短期的に低下していたことが原因である。中南部沖縄トラフ中軸部で b 値が低いことは、ダイク貫入による応力増加で生じる b 値低下だけでなく、それ以外の要因、例えば熱水活動による b 値増加の影響も含まれているかもしれないことを示している。

b-value dependency on crustal strength inferred from precise focal mechanism data

*Satoshi MATSUMOTO¹, Yoshihisa Iio², Shinichi Sakai³, Aitaro Kato⁴

1. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 3. Interfaculty Initiative in Information Studies, The University of Tokyo, 4. Earthquake Research Institute, University of Tokyo

地震発生数 n とマグニチュード M の関係はグーテンベルグ・リヒター則に従うことが知られている。 M 以上の地震の個数 N との関係は $\log_{10}(N) = a - bM$ として表されている。この b 値が時空間的に変化することが多く報告されている。特に、近年の地震観測網高度化に伴い、詳細な変化が求められてきた。特に、大地震前に b 値が減少することが報告されている（例えば、Nanjo et al, 2012）。岩石実験などにより b 値が差応力の上昇に伴い減少することや、テクトニック応力の違う領域での b 値の系統的な違いも報告されている。一方では b 値の違いを生み出すメカニズムについては詳しくはわかっていない。また、3次元的な広がりを持つ震源分布での b 値変化のメカニズムの検討はあまりされていない。そこで、本研究では詳細に決定された地震のメカニズム解を用いてこれらの考察を試みる。

2000年鳥取県西部地震震源域では本震発生直後の稠密観測や2017年の1000点観測（0.1満点地震観測）により、精度の高い発震機構解が得られている。本研究ではこれを用いた。 b 値の差応力や強度との関係を見るために、本研究では応力場と地震の断層面との関係を求めた。具体的には応力場に対応した単位モーメントを描き、その中での規格化せん断、法線応力を求め、これらの大きさごとにイベントを区分して b 値を推定した。応力場は震源域を空間ブロック（水平3x3x深さ2.5km）に分割して、それぞれ推定してもとめた。

b 値の推定は最尤法を用い、マグニチュードレンジは2000年が1.5–3、2017年が−0.3–2と設定した。規格化した差応力に対する b 値の変化は実験等で得られた逆相関（差応力が大きくなると b が小さくなる）のようを得られた。一方、規格化法線応力で見ると、 b 値は2000年が0付近で2017年が−0.6程度で最小となる。これらの結果から、 b 値はクーロン則に対して最適である断層面で大きい地震が起こりやすいことを示している。規格化応力でこのような傾向が見られたという意味は差応力の絶対値というよりむしろ断層強度に近いほど b 値が小さくなることを意味している。また、このような解釈が可能と考えた場合、2000年と2017年の規格化法線応力に対する最小 b 値の違いは摩擦係数の違いを反映していて、17年の時間経過で摩擦係数が回復したことを示唆している。

Seismic radiated energy and source spectra of the regular and deep low-frequency earthquakes in and around the source area of the 2008 Iwate-Miyagi inland earthquake

*Masaki Orimo¹, Keisuke Yoshida¹, Toru Matsuzawa¹, Taka'aki Taira², Kentaro Emoto³, Akira Hasegawa¹

1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, 2. Berkeley Seismological Laboratory, University of California, Berkeley, Berkeley, California, U.S.A., 3. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University

深部低周波地震は、通常地震とは異なる特徴を持つ地震である。同程度の規模の通常地震に比べて、地震波の卓越周波数が低く、特徴的な後続部を持つことが多い。深部低周波地震の地震波放射過程の詳細は、断層破壊が原因であると解明されている通常地震と比べるとよく分かっていない。従って、深部低周波地震と通常地震の地震波のエネルギーを定量化し、比較することが、深部低周波地震の地震波放射過程を解明するために重要である。本研究では、2008年岩手・宮城内陸地震震源域およびその周辺で発生した通常地震と深部低周波地震の震源スペクトルを推定し、規格化エネルギーを系統的に調べた。2008年岩手・宮城内陸地震震源域およびその周辺では、地震発生域でも低周波地震（浅部低周波地震）が発生していることが報告されている（Nakajima and Hasegawa, 2021）。本研究では、これらも解析対象に加えた。地震波の観測スペクトルを用いて震源スペクトルの推定を行う。観測波形は、震源から観測点まで伝播する間に、地震波減衰 Q^{-1} や観測点直下のサイト特性の影響を受けてしまう。震源スペクトルをより正確に推定するためには、これらの影響を取り除く必要がある。本研究では、地震波の後続波を利用したコーダ規格化法（Aki, 1982; Aki and Chouet, 1975）を利用して、地震波減衰 Q^{-1} およびサイト特性を推定した（Takahashi et al., 2005; Yoshida et al., 2017）。この結果、通常地震 1464 個、深部低周波地震 169 個、浅部低周波地震 52 個の震源スペクトルを推定することができた。Snoke (1987) の方法を利用して、規格化エネルギー e_R を推定した。通常地震の $\log_{10}e_R$ の平均値および標準偏差は、それぞれ -4.3、0.39 であり、先行研究（e.g., Kanamori and Brodsky, 2004）と調和的であった。深部低周波地震と浅部低周波地震の $\log_{10}e_R$ の平均値はそれぞれ、-6.9、と -5.5、であった（標準偏差は、それぞれ 0.43 と 0.50）。低周波地震の規格化エネルギーは、通常地震のそれと比較して、一桁から二桁程度小さかった。通常地震と低周波地震の地震波放射過程の違いを反映していると考えられる。通常地震の規格化エネルギーの空間分布には、特徴が見られた。規格化エネルギーが比較的小さい通常地震が、2008年岩手・宮城内陸地震震源域近傍の火山近傍で多く発生しており、浅部低周波地震とも近接した場所で発生する傾向が見られた。2008年岩手・宮城内陸地震震源域近傍の火山周辺は、間隙水圧比が比較的大きい地域である。高間隙水圧が、地震波放射に影響を与えていることを表しているのかもしれない。本研究では、解析対象域の地震波減衰 Q^{-1} が空間的に均質であると仮定した。しかし、深部低周波地震は通常地震よりも深部で発生するため、実際には、深部低周波地震の代表する Q^{-1} が通常地震と異なる可能性がある。深部低周波地震発生帯と上部地殻の地震波減衰 Q^{-1} の違いが解析に与える影響を評価するため、深さ 15 km を境界とした地震波減衰 Q^{-1} の二層構造を仮定した。その場合に得られた規格化エネルギーを、空間的に均質な Q^{-1} を仮定した場合の結果と比較したところ、 $\log_{10}e_R$ の平均値が、0.1 程度変化しただけで、顕著な違いは見られなかった。地震波減衰 Q^{-1} の空間的均質性の仮定が、通常地震と深部低周波地震の違いに与えた影響は限定的であると考えられる。

Estimation of earthquake distribution and fault structure of normal fault earthquakes off Fukushima-Ibaraki using sP depth-phase

*Yoshiaki Matsumoto¹, Keisuke Yoshida¹, Genti Toyokuni¹, Toru Matsuzawa¹

1. Tohoku University

2011年東北地方太平洋沖地震（以降、東北沖地震）の発生後、東北日本沖合陸側プレート内では、それ以前までほとんど観測されていなかった正断層型の地震が活発に発生している。東北沖地震は、東北日本沖合陸側プレートを東西に伸長させた。Hasegawa et al. (2012) は、Moment tensor インバージョンにより得られた震源位置とメカニズム解に基づき、東北沖地震が上盤側プレート内の応力場を東西圧縮状態から東西引張状態に逆転させた可能性を指摘している。

小地震の震源分布や断層方向の情報は、断層構造や応力状態を把握するための重要な情報源である。しかしながら、海域部で発生する地震については、地震観測網が基本的に陸側のみにしか分布しないことから、地震発生位置・断層構造についての高解像度の情報を得ることが難しい。たとえば、東北沖地震後に福島-茨城沖合で発生するようになった正断層型地震を気象庁一元化震源でみると、プレート境界に共役な断層に沿って発生しているようにも見える (Imanishi et al., 2012)。しかし、この震源分布の並びが、実際の断層構造を反映しているのか、それとも震源の深さ精度による見かけのものなのかの判断は難しい。2016年以降、東日本太平洋沖では、S-netデータを用いた震源深さの推定が可能になってきているが、それ以前の地震の深さの決定精度は低いままである。本研究では、東北日本沖合、特に東北沖地震後から正断層型地震が多発している福島-茨城沖で発生した地震を対象に、depth-phase として知られている sP 波 (e.g. Umino et al., 1995) を使用することで、震源の深さを高精度に推定し、上盤側プレート内で発生している正断層地震の断層構造を明らかにすることを目的とする。

最初に、福島-茨城沖合浅部で発生している地震の観測波形を目視により調べた。その結果、多くの地震に、直達P波と直達S波の間に到着する明瞭な波が存在することが分かった。その振幅は上下動成分に卓越し、震央距離の異なる観測点でみてもP波からの遅れ時間が同程度となっており、震源からの放射後に地表で反射して観測点に到達したsP波を表すと考えられる。F-netによるCMT解の情報に基づき、Zhu & Rivera (2002) のcodeを用いて各観測点の合成波形を計算してみると、観測波形と近い時間で合成波形にも反射波が表れていることが確かめられた。本研究では、これらのsP波を用いて、地震の震源の深さを拘束する。

福島-茨城沖で発生したF-netによるCMT解が求まっている3.2 Mw 5の1297イベントを対象に解析を行った。波形データとしては、S-net設置以前から使用可能な陸上データのみを使用した。各地震に対し、観測波形のsP波の到着時刻を最も良く説明する深さを求めた。具体的には、合成波形を計算する深さを変えながら、P波到達1s前からS波到達0.5s前までの時間窓におけるエンベロープ同士の相関値が最大となる深さを探索した。

得られた震源の深さは、気象庁一元化震源よりも10km程度浅くなる傾向を示した。F-netで決定されている地震のセントロイドの深さは、気象庁一元化震源よりも系統的に浅い傾向があったが、本研究で推定した震源深さは、F-netによる震源深さよりも系統的に深くなった。本研究で得られた震源深さの場合でも、気象庁一元化震源と同様に、正断層型地震が東側に傾斜して分布しており、この構造が、震源決定精度に由来するみかけのものでないことを示唆する。

Static Coulomb stress transfer and seismicity rate change associated with the 2016 Kumamoto, Kyushu, Japan, earthquake

*Shinji TODA¹, Ross S. Stein²

1. IRIDeS, Tohoku University, 2. Temblor Inc.

日奈久断層北端～布田川断層の活動による2016年熊本地震（M7.3）から6年が経過した。同地震では、地震直後から約30-40km長の震源断層沿いだけではなく、北東には阿蘇、九重地域、南西には熊本市、有明海南部、八代市、八代海など、オフフォルト（off-fault）域での余震活動が顕著に認められた。これらの一部は、本震直後の由布でのM5.7など動的応力変化で誘発（Yoshida, EPS, 2016）された中規模地震とそれらの余震活動もあるが、多くが熊本地震の本震による静的クーロン応力変化（ ΔCFF ）と対応することが当初から指摘されていた（Toda & Stein, Temblor, 2016）。本発表では、このような広義の余震活動について、本震後6年間という長期的視点から検討を加えるものである。特に、本震後短期では検出し難い地震活動度の低下と負の ΔCFF との対応や、余震活動の時間減衰などについて言及する。まず、熊本地震からの6年間を3年区切りで前半（2016/4/16-2019/4/15）と後半（2019/4/16-2022/4/15）に分け、余震活動の継続性の観点から後半の活動に注目した。その際に、最初の熊本地震（2016/4/14 M6.5）前の（2000/1/1-2016/4/14）を常時地震活動期間とみなし、熊本地震後の後半3年の活動度と比較した。その結果を図1bに示す。おおむね熊本地震の震源から北東の阿蘇周辺、南西の熊本市～八代市～八代海、宮崎県北西部（図1e）などでは、余震活動の長期化が明確である。これらは、東西走向の正断層と北東走向の右横ずれ断層の正の ΔCFF 解と調和的である。なお、地域的な大森-宇津則の余震減衰パラメータと常時地震活動を考慮して余震継続時間をマッピングした結果、これらのオフフォルト余震活動は20年以上にもおよぶことがわかった。数年以内に常時地震活動レベルに戻るオンフォルト余震と対照的である。一方で、熊本地震震源断層の北側と南側では広域で静穏化が認められる。ただし、本震に先行する期間に、局所的な本震一余震、群発地震活動があった場合、見かけの静穏化が検出されることもある。ここでは、静穏化地域の時系列（M0.5）を確認し、活動の低下が熊本地震に対応するかどうかを慎重に検討した。2つの例を図1c, dに示す。朝倉市-日田市周辺（図1c）では、2009年にM4.7とその余震活動があり、結果的に熊本地震後に極端な低下として強調されているが（図1b）、その活動を除いても熊本地震後に静穏化しているのは明確である。一方で、図1dは一見活動の低下が認められるが、静穏化開始には約半年の遅れがある。これは、従来から説明されているように、1) 本震の動的応力変化による中規模地震の誘発と関連の活動が数ヶ月以内に発生したこと、もしくは、2) レシーバ断層の多様性（Toda et al., Nature Geosci., 2013）による遅れ静穏化（delayed stress shadow）の可能性が考えられ興味深い。いずれにしても、熊本地震によるクーロン応力の正負と地震活動の活発化・静穏化はよく対応し、変化した地震活動は長期化している。

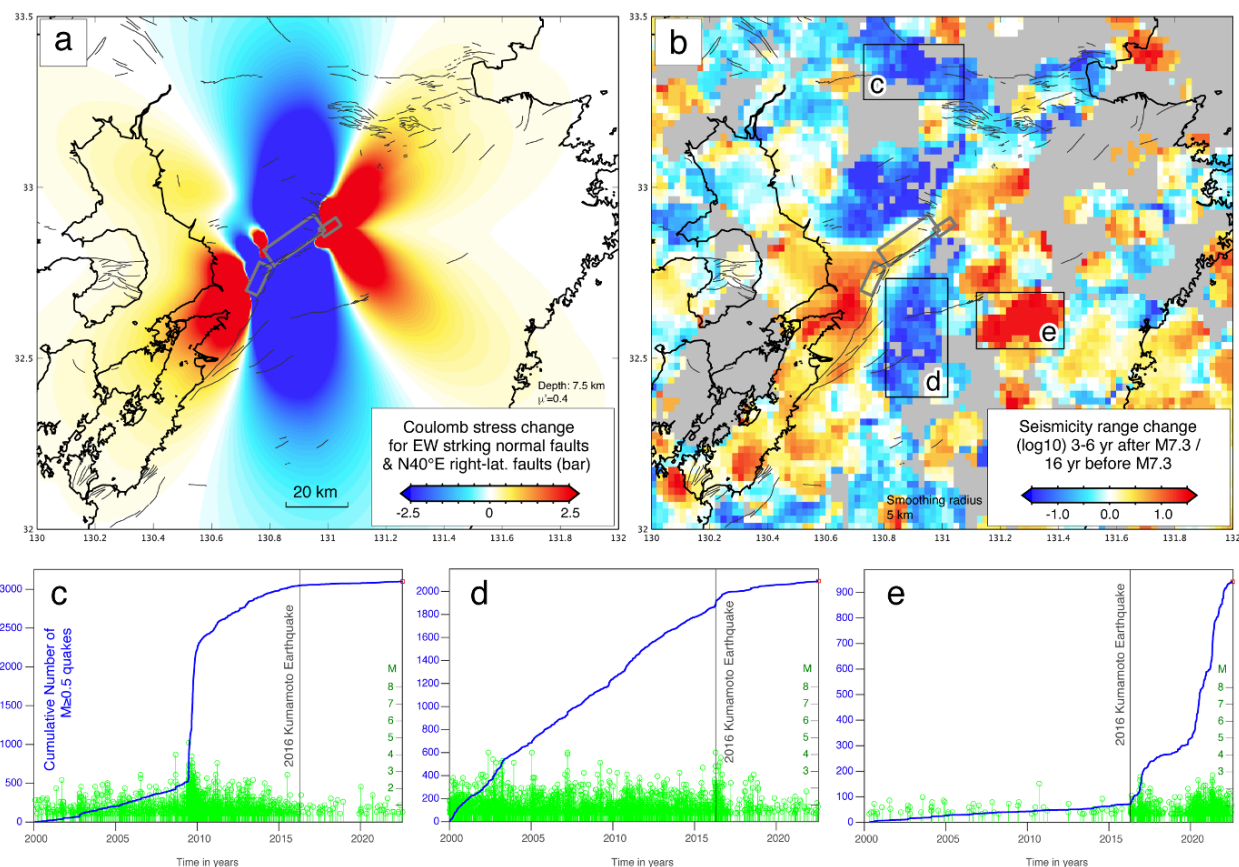


図1. 熊本地震による静的クーロン応力変化 (a) とその前後の地震活動度変化 (b) . 個々の小地域での地震活動応答時系列 (c-e) . 震源断層モデルには国土地理院 (2016) を用いた.

謝辞：地震活動の解析にあたっては気象庁一元化震源カタログ（暫定も含む）を使用した.

Room A | Regular session : S09. Statistical seismology and underlying physical processes

📅 Tue. Oct 25, 2022 11:00 AM - 11:45 AM JST | Tue. Oct 25, 2022 2:00 AM - 2:45 AM UTC | 🏢 ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S09] AM-2

chairperson:Nana Yoshimitsu(Kyoto University)

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

[S09-22] What factors contribute to cut-off depth of crustal seismicity?

*Akiko TANAKA¹ (1. Geological Survey of Japan, AIST)

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

[S09-23] Evaluation of seismic activity characteristics at different depths through laboratory rock fracture experiments

*Nana YOSHIMITSU¹, Hironori KAWAKATA² (1. Kyoto Univ., 2. Ritsumeikan Univ.)

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

[S09-24] Verification of Seismic Gap by means of physical and statistical models

*Giuseppe Petrillo¹, Jiancang Zhuang¹, Eugenio Lippiello² (1. The Institute of Statistical Mathematics, 2. Università della Campania "Luigi Vanvitelli")

What factors contribute to cut-off depth of crustal seismicity?

*Akiko TANAKA¹

1. Geological Survey of Japan, AIST

Heat flow data contribute to the imaging of the lithospheric thermal structure, which greatly influences tectonic and geological processes and constrains the strength of the lithosphere, the modes of deformation, and the depth distribution of earthquakes. To provide a more reliable estimation of the lithospheric thermal structure, some complementary approaches are possible.

One approach is to update and incorporate the existing thermal data. The compilation of global heat-flow data is currently under major revision by the International Heat Flow Commission (IHFC [<http://www.ihfc-iugg.org/>]) of the IASPEI/IUGG. The significant improvement over the former heat-flow database structure is the implementation of a parent-child system for heat-flow data determined at each location and an extended set of meta data fields, relevant to enable quality control, and supporting interoperability following FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable) and open data principles. We updated and incorporated the existing thermal data in and around Japan. A new version of the database “Thermal Data Collection in and around Japan”, which contains continuously updated heat flow and geothermal gradient data and adds thermal conductivity data in and around Japan, has been released in 2019 [https://www.gsj.jp/data/G01M/GSJ_MAP_TDCJ_2019.zip]. This provides an opportunity to revisit the thermal state of the lithosphere along with other geophysical/geochemical constraints.

Another approach is based on the complementary interpretation of different geophysical data sets. One of the promising indicators is the cut-off depth of shallow seismicity. Several studies have been conducted to assess the inverse correlation between the cut-off depth and heat flow since it has been attributed primarily to the temperature. Some abrupt fluctuations in seismogenic depth may be caused by changes in lithology affecting rheology [e.g., Magistrale 2002]. Relative contributions of heat flow and lithology to controlling the cut-off depth will be discussed.



Evaluation of seismic activity characteristics at different depths through laboratory rock fracture experiments

*Nana YOSHIMITSU¹, Hironori KAWAKATA²

1. Kyoto Univ., 2. Ritsumeikan Univ.

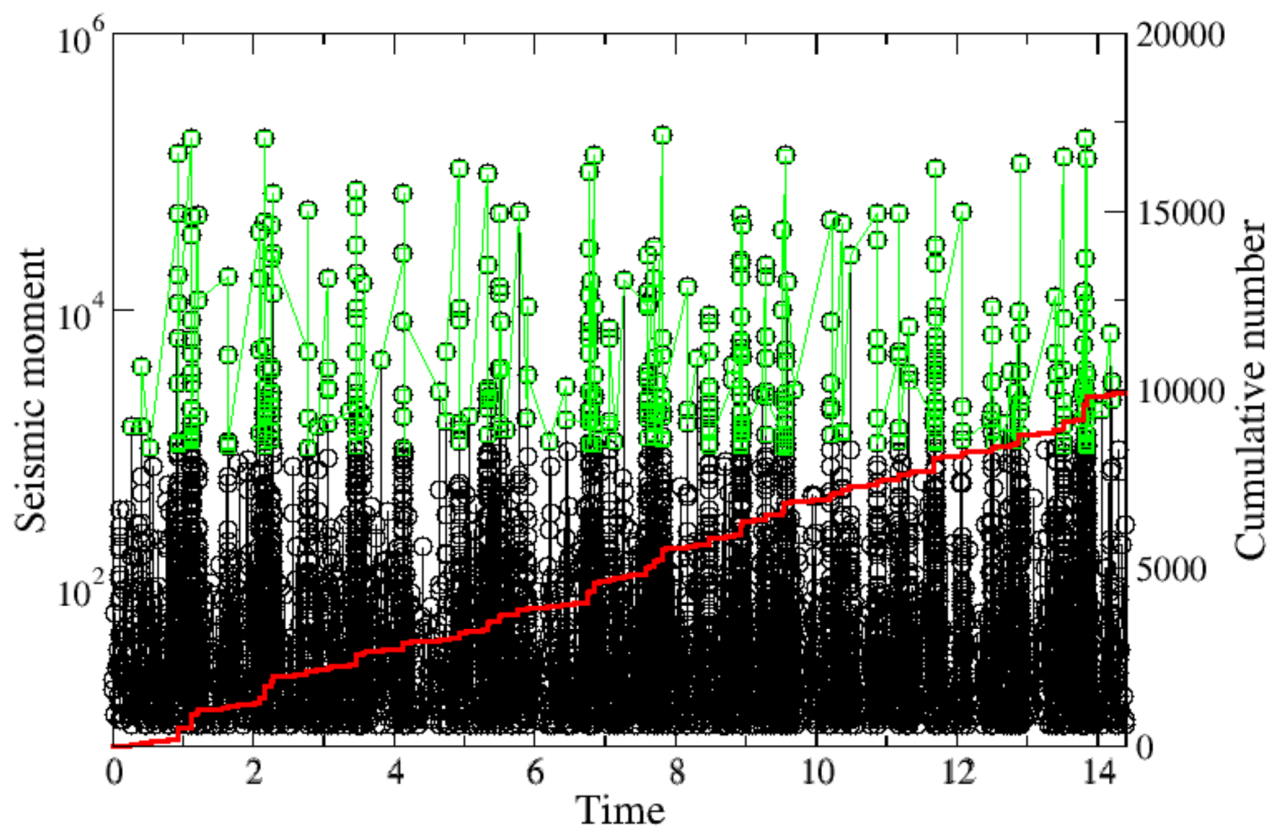
異なる深さ、つまり異なる応力環境において発生した地震が、どのような共通点や相違点を持つかは興味深い。近年は地震10 km以浅でも人間の工業活動の影響による地殻浅部における誘発地震の発生も増加しており、その活動特性の評価が重要となっている。本研究では、異なる封圧下における岩石の三軸圧縮破壊試験中に発生した微小破壊活動を比較することで、異なる深さにおける地震活動を観察する。岩石の圧縮試験中に発生する微小破壊はAcoustic Emission(AE)と呼ばれ、主破壊が発生する前の試料内で発生することから、その活動や波形情報は地殻の応力や不均質の状態を反映していると考えられる。我々は、10 MPaの封圧下におけるWesterly花崗岩の三軸圧縮試験を実施し、広帯域連続AE収録を実現するとともに(Yoshimitsu et al., 2014)、その後封圧50 MPa下における三軸圧縮試験にも成功した(Yoneda et al., 2017)。本発表ではこれらに加えて新たに封圧100 MPa下における実験を実施した。3つの実験には直径50 mm、高さ100 mmのWesterly花崗岩を利用した。室温条件下において目的封圧達成後に軸応力制御で強度の6割程度まで載荷した後、周変位制御による圧縮を数時間かけて実施し、破壊強度を迎えたのちにわずかに軸応力が低下したところで除荷した。実験中、試料側面に貼った8点(100 MPaの場合のみ7点)の広帯域センサ(富士セラミックス社製、100-2000 kHz)でAE波形を20 Mspsで連続収録した。得られた連続記録からAICにより次数選択したARモデルを用いて初動の立ち上がりと同定し、AE波形を切り出した。最小二乗法による震源決定を実施したところ、決定されたイベントは、10 MPaにおいて 6794、50 MPaにおいて約65000、100 MPaにおいて約70000であった。すべてのケースにおいて、イベント活動は圧縮開始直後には低調であり、AEはほとんど発生しなかった。その後、強度の80%程度まで圧縮が進むと地震活動は徐々に活発になり、最大強度を超えた後に急激にイベントの数が増える。AE活動の規模別頻度分布から推定したGutenberg-Richter則におけるb値は2程度の値を示した。これは一般的な自然地震活動から得られる1程度のb値に比べると大きく、群発地震や火山性地震においてみられる値に近い。10 MPa、50 MPaの両ケースにおいて、b値は最大強度に近づくとも0.3程度減少した。これらより、3つの異なる封圧下においてAEの発生数に違いはあるものの、その活動パターンは非常によく似ていることがわかった。実験試料内のAEは自然環境における前震に相当するものであり、最大強度に近づくまでほとんど活動が見られないという結果は、自然地震において本震のはるか前には活発な前震活動があまり見られないことが多いことと調和的である。いくつかの自然地震においては本研究で見られたのと同様の前震の活発化も見られているが(e.g., Jones and Molnar, 1979)、載荷レートが実験とは異なる可能性があり、直接的な比較には注意が必要である。本研究で取り扱った封圧10-100 MPaという圧力環境は、深さ1-3 km程度の地殻に相当する。したがって、本研究の結果は、浅部地殻において周辺岩盤の圧力は地震活動パターンに大きな影響を与えない可能性を示した。

Verification of Seismic Gap by means of physical and statistical models

*Giuseppe Petrillo¹, Jiancang Zhuang¹, Eugenio Lippiello²

1. The Institute of Statistical Mathematics, 2. Università della Campania "Luigi Vanvitelli"

Spring-block models are a striking example of how implementing the right physical laws in a model, even with few parameters, it is possible to reproduce the statistical features of earthquakes. In fact, in recent years, the introduction of an additional parameter that regulates the elastic rebound after a large earthquake has also allowed the optimal description of the statistical laws of aftershocks. In the seismological community, the estimate of the occurrence probability of the next big shock on the basis of the time delay from the last earthquake still represents a big challenge. In fact, the real catalogs still contain few seismic events, therefore appears difficult to test the so called “Seismic Gap Hypothesis” in a statistically relevant way with current historical data. Instead, extensive numerical simulations can be obtained with up-to-date realistic spring-block model and allow us to test the Gap Hypothesis. Our numerical results support recent findings which have shown that important insights can be obtained from the spatial organization of aftershocks and its relationship to the mainshock slip profile. In particular, we show that large earthquakes do not regularly repeat in time, but it is possible to achieve insights on the time until the next big shock from the percentage of aftershocks occurring inside the mainshock slip contour. Finally, it is possible to describe the physical model numerical catalogs with other statistical-based models by means of Likelihood Maximization procedure. The results of the optimization for the Stress Release, Triggering and Self Exciting Long Term Correcting models confirm that in addition to the triggering process, the charge and discharge of stress due to the succession of events also plays an important role in seismic prediction.



Room A | Regular session : S08. Earthquake physics

📅 Tue. Oct 25, 2022 11:45 AM - 12:30 PM JST | Tue. Oct 25, 2022 2:45 AM - 3:30 AM UTC | 🏢 ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S08] AM-2

chairperson: Akiko TOH (Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo)

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

[S08-01] Seismicity and its implications for fluid movement in the northern and central Hikurangi subduction zone, New Zealand

*Kazuya TATEIWA¹, Calum Chamberlain², Martha Savage², Tomomi Okada¹ (1. Tohoku University, 2. Victoria University of Wellington)

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

[S08-02] Fault valve action using ancient magma system caused the intense earthquake swarm in Northeast Noto peninsula, Japan

*Keisuke YOSHIDA¹, Masaaki Uno², Toru Matsuzawa¹, Yohei Yukutake³, Yusuke Mukuhira⁴, Hiroshi Sato³, Takeyoshi Yoshida¹ (1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Graduate School of Environmental studies, Tohoku University, 3. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 4. Institute for Fluid Science, Tohoku University)

12:15 PM - 12:30 PM JST | 3:15 AM - 3:30 AM UTC

[S08-03] Source process of moderate earthquakes off the east of Izu Peninsula in 2006 and 2009 : Relationship to previous swarm activities

*Yukako Tanaka¹, Takuji YAMADA¹ (1. Ibaraki University)

Seismicity and its implications for fluid movement in the northern and central Hikurangi subduction zone, New Zealand

*Kazuya TATEIWA¹, Calum Chamberlain², Martha Savage², Tomomi Okada¹

1. Tohoku University, 2. Victoria University of Wellington

Introduction

Beneath the North Island of New Zealand, the Pacific plate is subducting under the Australian plate along the Hikurangi Trough, forming the Hikurangi subduction zone. In the Hikurangi subduction zone, some recent studies suggest that fluid movement from the oceanic crust to the plate boundary or into the Australian plate impacts various seismic activities such as SSEs (slow slip events), tremors, and earthquake swarms. Tateiwa et al. (2022, JpGU) relocated earthquakes in the northern Hikurangi (37S–39.5S) and classified them into those occurring within the Australian plate (AUS), within the Pacific plate (PAC), or at the interplate (INT). They found that PAC, INT, and AUS earthquakes were active during the pre- and co-SSE period, co-SSE period, and post-SSE period, respectively, which indicates fluid movements before and after the SSE. In this study, we extend the study area to the central Hikurangi (39.5S–41S), classify earthquakes into AUS, INT, or PAC, and investigate the relationship between earthquakes and SSEs.

Data and Method

We selected all earthquakes in the GeoNet catalog of $M > 3$ occurring between 2003 and 2020 in the northern and central Hikurangi and shallower than 150 km for analysis. The number of earthquakes used was 7,616. Data from GeoNet broadband (HH) and short-period (EH) seismometers were used for the study. The classification into AUS, INT, and PAC mainly consists of the three steps: (1) classification based on the re-determined hypocenters by this study, (2) classification based on the focal mechanisms from the P-wave polarity, and (3) classification based on the cross-correlation of the waveforms. The number of earthquakes classified in each step was 3,269 in the first step, 260 in the second step, and 244 in the third step. To find the occurrence of SSEs, we used all GNSS stations by the GeoNet within the same region as used in the relocation analysis. We defined the occurrence timing of SSEs as the timing that the GNSS transient eastward displacement occurs based on linear function fitting. We also defined the 20-day period, from 30 to 10 days before the transient displacement appeared, as the pre-SSE period, from 10 days before to 10 days after the transient displacement as the co-SSE period, and from 10 to 30 days after the transient displacement as the post-SSE period.

Result and Discussion

PAC earthquakes were distributed widely, while AUS and INT were distributed locally. Many AUS earthquakes in the northern Hikurangi were where the extensional areal strain was observed (Dimitrova et al., 2016), indicating that the extension increases the permeability of the crust and makes it easy for fluid-related earthquakes to occur. INT earthquakes were at the periphery of the SSE source regions. In and around the shallow SSE source region, AUS earthquakes were active during the post-SSE period, INT earthquakes were active during the co-SSE period, and PAC earthquakes were slightly active during the pre- and co-SSE period. This is the same as in the Northern Hikurangi (Tateiwa et al., 2022, JpGU). This characteristic temporal relation with SSE dependent on earthquake location can be explained by fluid movement. That is, fluid movement from the oceanic crust to the plate boundary or upper plate, as proposed by Nishikawa et al. (2021), may have triggered SSEs, tremors, and AUS or INT earthquakes.

Fault valve action using ancient magma system caused the intense earthquake swarm in Northeast Noto peninsula, Japan

*Keisuke YOSHIDA¹, Masaaki Uno², Toru Matsuzawa¹, Yohei Yukutake³, Yusuke Mukuhira⁴, Hiroshi Sato³, Takeyoshi Yoshida¹

1. Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Graduate School of Environmental studies, Tohoku University, 3. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 4. Institute for Fluid Science, Tohoku University

日本列島能登半島北東部において、現在、非常に活発な群発地震活動が発生している。地殻内における群発地震の発生には、しばしば火山活動に関係する流体移動が関わっていることが示唆されているが、この地域は現在是非火山地域である。本研究では、この群発地震活動の発生原因を調べる目的で、震源の時空間変化と地震波反射面を調べた。

震源の再決定の結果、震源域にみられる4つの地震クラスターの各々において、地震の震源が多数の面構造を用いて深部から浅部へ移動していく特徴が見られた。この特徴は、注水時の誘発地震活動や流体に関する自然の群発地震活動 (e.g., Yoshida & Hasegawa, 2018) と酷似している。S波反射面は、この地震活動開始地点付近、震源域の中で局所的に深い場所に検出された。Nakajima & Hasegawa (2007) による地震波速度トモグラフィ結果によると、この反射面の直下にマントルに続くS波の低速度域が存在する。このS波低速度域が一連の活動を生じさせた流体の供給源になっていることを示唆する。

この地震活動開始地点付近の震源分布は、特徴的な環状構造を呈し、陥没カルデラを伴うマグマだまり直上に生じる環状岩脈に類似してみえる。現在、この地域には火山活動は見られない。しかしながら、中期中新世の日本海拡大期においては、この地域には活発な火山活動が生じている。また、この周辺では、現在も周辺に温泉が分布しており、高いヘリウム同位体比 ($3\text{He}/4\text{He}$) も観測されている (Umeda et al., 2009)。過去のカルデラ火山活動の際に形成され現在も高い含水量を維持し続けている固化したマグマだまりが震源域深部に存在している可能性が考えられる。もしくは、同じマグマ供給系を使用して、現在の沈み込みに関係したマグマ活動が地下で進行している可能性もあるかもしれない。中期中新世あるいはあるいは現在のマグマ活動により深部からもたらされた流体が、中期中新世以降の海成層に埋もれた陥没カルデラ深部の環状岩脈に関係した裂隙を用いて上昇することにより、一連の地震が発生しだしたことを表している可能性がある。

この地震活動中には、地震活動だけでは説明できない顕著な地殻変動が観測されており (Nishimura et al., 2022)、これが地震の発生原因となっている流体の供給とも関係している可能性が考えられる。例えば、地震活動域中心部には地震の空白域がみられるが、そこで流体圧増加に起因する非地震性すべりや断層開口が生じたことを表すのかもしれない。実際に、そのような地殻変動が、最近、箱根の群発地震活動についても報告されている (Yukutake et al., 2022)。本研究の結果は、現在では非火山地域となっている能登半島北東部においても、中新世のリフト活動に伴うカルデラ火山活動や、現在の沈み込みに伴うマグマ活動に関係する流体が、地震活動および地殻変動を生じさせていることを示唆する。

Source process of moderate earthquakes off the east of Izu Peninsula in 2006 and 2009 : Relationship to previous swarm activities

*Yukako Tanaka¹, Takuji YAMADA¹

1. Ibaraki University

1. 序論

伊豆半島の東方沖では、1970年代後半以降、地殻変動を伴う群発地震活動が繰り返し発生している(e.g. Hayashi and Morita, 2002; Ueno et al., 2012)。1989年には群発地震活動の活発化と共に海底噴火が発生し、地震活動と地下の火山性流体との関係が議論されている(e.g., Okada and Yamamoto, 1991; Tada and Hashimoto, 1991; Ukawa and Tsukahara, 1996)。本研究では、伊豆半島東方沖で発生した群発地震活動のうち、2006年に発生した4地震($3.9 \leq M_w \leq 5.6$)および2009年に発生した2地震($4.8 \leq M_w \leq 4.9$)について、経験的グリーン関数(EGF)を用いた複数時間窓の波形インバージョンを行い、震源時間関数に見られる特徴を解析するとともに、過去の地震活動域との位置関係を比較し、特徴の背景を考察した。

2. データと解析手法

同じ年の群発地震活動中に発生した複数の小地震($3.4 \leq M_w \leq 3.9$)の観測波形をEGFとして用い、震源時間関数の解析を行った。各年とも、解析対象地震とほぼ同じメカニズム解を持つ2地震の他に、解析対象地震と異なるメカニズム解を持つ地震をEGF地震として用いることで、結果の信頼性を確かめている。解析対象の6地震、およびEGFとして用いた7地震は、いずれも横ずれ断層型であった。解析には、防災科学技術研究所(NIED)のK-net強震計記録を用いた。加速度波形記録を積分して速度波形とした後、0.1-1.0 Hzのバンドパスフィルタをかけ、さらにS波を含む10秒間を切り出して解析に使用した。

解析には、0.05 秒ずつずらした40個の時間窓を用いた。EGF地震の震源時間関数は破壊継続時間0.2 秒の二等辺三角形で表せると仮定し、解析対象地震のモーメントがNIEDのCMT解の M_w 値に一致するとの条件下、解析対象地震の震源時間関数を求めた。

3. 結果と考察

解析から得た6地震の震源時間関数を図1に示す。以降、解析対象地震は、発生年の下2桁と規模の大きい順に振った番号を、その地震の名称とする。2006年に発生した地震について、EQ06-1($M_w 5.6$)は、破壊開始後0.2秒程度でモーメントレートが最大になった後、1秒程度尾を引くような破壊を起こしている。EQ06-2($M_w 4.5$)とEQ06-3($M_w 4.3$)は共に2回の破壊が見られ、EQ06-2は2回の破壊が同規模である一方で、EQ06-3は2回目の破壊が明らかに小さいという特徴がある。EQ06-4($M_w 3.9$)は破壊継続時間0.2秒程度の単一の破壊であった。また、2009年に発生した地震については、EQ09-1($M_w 4.9$)は大きな破壊を起こした後、小規模な破壊が連続して発生している。一方でEQ09-2($M_w 4.8$)では、主破壊後、0.2 秒程度の間隔を空けて、小規模な破壊が発生している。

結果から得られた震源過程の特徴の違いは、震源の空間分布に関連すると考えられる。EQ06-1, EQ06-2は少なくとも20年程度群発地震が発生していない領域で起こった地震である。一方、EQ06-3は1998年に発生した群発地震活動の震源域に近接している。このことから、以下のような推論が可能である。過去に破壊が起こった領域では、既に存在する強度の低い部分を、破壊が比較的スムーズに進展するのに対し、過去に破壊の起こっていない領域では、フレッシュな強度の高い部分を破壊が進展するため、複雑な破壊過程を示したのではなかろうか。すなわち、たとえばUmeda(1990)が本震と余震の破壊過程の相違について言及しているように、過去の地震活動による破碎の有無が、解析した地震の破壊過程の相違として見られたと考えられる。

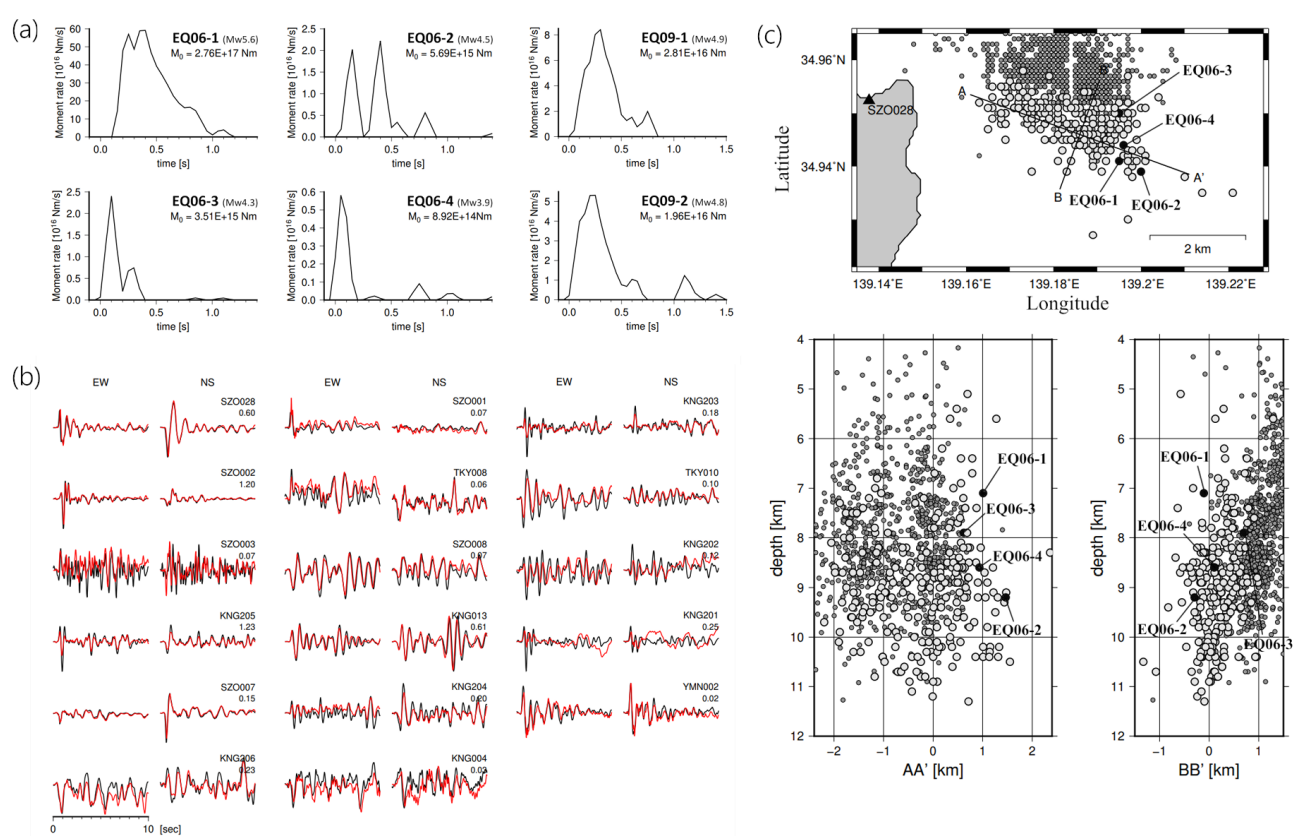


図1. (a) 解析対象の6地震の震源時間関数。縦軸はモーメントレート（単位： 10^{16} Nm/s）、横軸は時間（単位：秒）を表し、時刻ゼロは破壊開始時刻を表す。
(b) EQ06-3の観測波形（黒）と理論波形（赤）。(c) 2006年4月に発生した地震活動の震源分布。灰色小丸は1998年の群発地震の震源分布。

Room A | Regular session : S08. Earthquake physics

📅 Tue. Oct 25, 2022 2:00 PM - 3:00 PM JST | Tue. Oct 25, 2022 5:00 AM - 6:00 AM UTC | 🏠 ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S08] PM-1

chairperson: Kazuya TATEIWA (Tohoku University), Keisuke Yoshida (Tohoku University)

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

[S08-04] Quantification of expansion rate of aftershock zone for M7-class earthquakes in Japan: Potential as differential stress meter

*Yuta MITSUI¹, Yuya UTAGAWA² (1. Faculty of Science, Shizuoka University, 2. Formerly at Faculty of Science, Shizuoka University)

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

[S08-05] Stress Drop of Small Earthquakes in the Southeastern Kanto Region

Kaho Hashimoto¹, *Takuji YAMADA¹ (1. Ibaraki University)

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

[S08-06] Stress drops of small earthquakes off the east coast of Ibaraki and Chiba Prefectures: Heterogeneity in frictional properties on the subducting Pacific Plate

*Tsukasa Masuda¹, Takuji Yamada¹ (1. Ibaraki University)

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

[S08-07] **Shear strength and fluid over-pressure in world subduction zones estimated from the earthquake energy budget**

*Nelson PULIDO¹ (1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience)

Quantification of expansion rate of aftershock zone for M7-class earthquakes in Japan: Potential as differential stress meter

*Yuta MITSUI¹, Yuya UTAGAWA²

1. Faculty of Science, Shizuoka University, 2. Formerly at Faculty of Science, Shizuoka University

2004年パークフィールド地震(M6)や2010年バハ・カリフォルニア(エルマヨール・クカパ)地震(M7.2)では、本震からの経過時間の対数に比例する形で余震域拡大が生じた(Peng and Zhao, 2009; Ross et al., 2017)。背景にある物理メカニズムの候補として、本震の余効すべりによる余震誘発が考えられている。余効すべりの伝播について多くの理論的研究が行われている(e.g., Ariyoshi et al., 2019)一方で、余震域の拡大速度についての定量的理解は必ずしも進んでいない。そこで本研究では、日本国内で発生した複数の大地震を例として、余震域の拡大速度を比較・検討する。

気象庁の地震カタログデータに基づき、2000年以降のマグニチュード6.9-7.4の地震を本震とした上で、本震から100日以内に震源近傍で発生したマグニチュード3以上の地震を余震と定義した。ただし、震源決定精度が低いため余震数が(見かけ上)少なくなっているアウターライズ地震と、大々的な動的誘発現象が生じた2016年熊本地震(e.g., Uchide et al., 2016)、さらにマグニチュード8以上の巨大地震直後の地震は、研究対象の本震から除外した。余震域の拡大を評価するために、本震震源からの3次元的な距離を用いた。この3次元距離を縦軸、本震からの経過時間(対数)を横軸としたグラフ上で、余震域が広がる様子を確認できる。拡大速度についてデータからの自動推定を行うため、経過時間を時間窓に分割した上で、外れ値を除去し、各時間窓の中で本震震源から最も遠い点を回帰する、というアルゴリズムを開発した。

解析の結果、余震域の拡大速度(対数時間に対する)と、余震から推定したGutenberg-Richter則のb値との間に、-0.7を超える強い負の相関があることがわかった。一方、拡大速度と本震の深さや大きさとの間に相関はないこともわかった。既存の経験的關係(Scholz, 2015)と合わせ、余震域の拡大速度から差応力を推測する關係式(差応力計)を得た。この式は、差応力が高いほど余震域の拡大速度が大きいという点で、力学的に合理的と考えられる。さらに、拡大速度は、本震がプレート境界地震の場合に大きく、プレート内地震の場合には小さい、という傾向が見られた。このことは、プレート境界地震の余震域がプレート内地震の余震域よりも高い差応力環境下(本震後)にあることを示唆するが、プレート境界地震とプレート内地震との断層成熟度の違いなど他の要因の影響も考えられる。また、以上の結果は、拡大速度の自動推定結果に依存している。この自動推定アルゴリズムは簡易的なものであり、改善の余地が残っているため、この点についての議論も行う。

Stress Drop of Small Earthquakes in the Southeastern Kanto Region

*Kaho Hashimoto¹, Takuji YAMADA¹

1. Ibaraki University

1. 目的と解析対象地震

関東地方南東部では、南からフィリピン海プレートが沈み込み、さらにその下には東から太平洋プレートが沈み込んでいる。これに関連して複雑な地震活動が見られ、千葉市や旭市、古河市などに地震活動が密集した地域（以後、クラスターと称す）が存在する（図1a）。本研究では、2003年から2020年の間に関東地方南東部で発生した $4.0 \leq M_w \leq 5.0$ の311個の地震を対象に応力降下量解析を行い、クラスターごとの特徴や地震の深さとの関係を考察した。解析した地震の最大深度は112.5 kmである。

2. 解析手法

防災科学技術研究所の高感度地震観測網（Hi-net）の速度波形を利用し、Yamada *et al.* (2021) の手法を用いて解析を行った。手法の詳細は、以下の通りである。解析対象の $4.0 \leq M_w \leq 5.0$ の地震に最も近接する $M_w 3.5$ の地震波形をEGF波形とし、まず、解析対象地震の波形およびEGF波形それぞれのスペクトルを算出した。次に、解析地震波形のスペクトルをEGF波形のスペクトルで割ることにより（デコンボリューション）、地震波の経路の影響、観測点近傍の地盤の影響、地震計特性を除去して、解析地震とEGF地震の周波数領域における震源特性の比を求めた。さらに、Boatwright (1978) のオメガ2乗のスペクトル式を用いてコーナー周波数を推定した。最後に、破壊伝播速度をS波の90%と仮定して、Madariaga (1976) のモデルから、応力降下量の値を得た。

3. 結果と考察

図1(b)は、本研究で得られた応力降下量の解析結果である。まず、クラスター間の違いについて考察する。解析地震の密集域を、図1(b)中の四角い枠に対応する6区域に分け、区域間の応力降下量の差についてWelchのt検定（危険率5%）を行った。その結果、茨城県西部クラスター（赤）は、ほぼ同一深度で発生した旭市付近のクラスター（青）に比べて応力降下量が大きく、この差は統計的に有意であった。前者はToda *et al.* (2008) で存在が示唆された「関東フラグメント」もしくはフィリピン海プレート上面、後者は太平洋プレート上面で発生した地震と考えられる。応力降下量は主として剪断強度の大きさの指標となるため（Yamada *et al.*, 2021）、上記2地域における相違は、フィリピン海プレート上面の剪断強度が、太平洋プレート上面のそれに比べて大きいことを示唆していると考えられる。

次に、各クラスター内の応力降下量空間分布について検討した。茨城県西部のクラスター（図1bの赤枠内）では北端と南端部に近い地震、また千葉市付近のクラスター（橙）では、より深い地震ほど応力降下量が多い傾向が見られた。この傾向を定量的に調べるため、クラスター中央からの距離あるいは震源の深さの関数として、応力降下量を図示した（図2）。

茨城県西部のクラスターでは、クラスター中央からの距離が異なるドーナツ型領域内で発生した地震の応力降下量と個数から平均応力降下量を算出した。ドーナツ型領域の幅を1 kmに固定したまま、半径を0.5 kmずつ拡大して平均応力降下量の推移を調べた。千葉市周辺のクラスターでは、気象庁の震源の深さ決定精度を考慮して深さの幅4 kmの領域を設定し、下方に1 kmずつずらしながら平均応力降下量の推移を調べた。図2aに示した茨城県西部のクラスター（図2a）では、図1で見られる傾向どおり、クラスター辺縁部の地震ほど応力降下量が多いことがわかる。千葉市周辺（図2b）では、応力降下量は深さとともに増加していることがわかる。ただし、地震ごとの応力降下量値のばらつきが大きいことにも注意が必要である。クラスターの縁辺部では剪断強度が大きいためその外側で地震が発生しづらいと考えられ、これは本研究で得られた応力降下量の空間分布と矛盾しない。また、断層の垂直応力が深さの関数となることを考えると、応力降下量に深さ依存性があることは自然であるが、依存性の有無については様々な報告があり、議論の余地がある（たとえば、Abercrombie *et al.*, 2021）。今後は、応力降下量を深さで規格化した上で、深さ依存性やクラスター内

の応力降下量分布について詳細な検討を行う予定である。

参考文献

- ・ Abercrombie *et al.* (2021), <https://doi.org/10.1029/2021JB022314>
- ・ Boatwright (1978), <https://doi.org/10.1785/BSSA0680041117>
- ・ Madariaga (1976), <https://doi.org/10.1785/BSSA0660030639>
- ・ Toda *et al.* (2008), <https://doi.org/10.1038/ngeo318>
- ・ Yamada *et al.* (2021), <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01326-8>

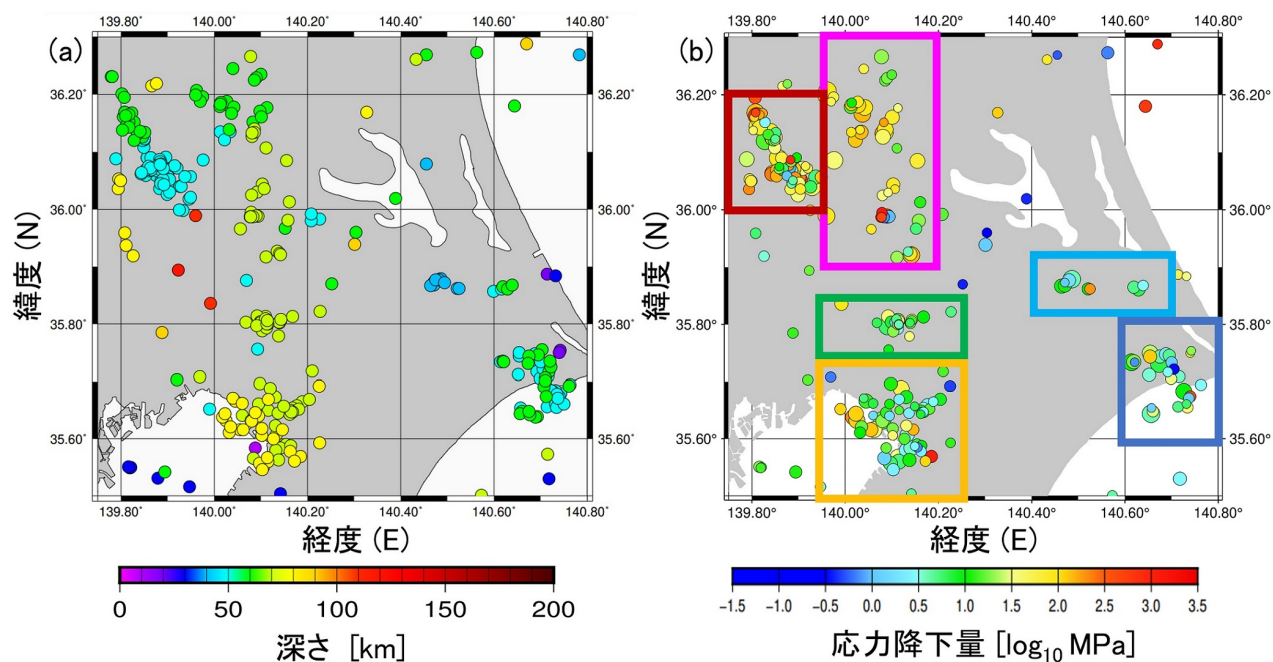


図 1. (a) 解析した地震の震央分布図。(b) 本研究で得られた応力降下量。図中の長方形はWelchのt検定や深さ依存性の議論に用いたクラスターに対応している。

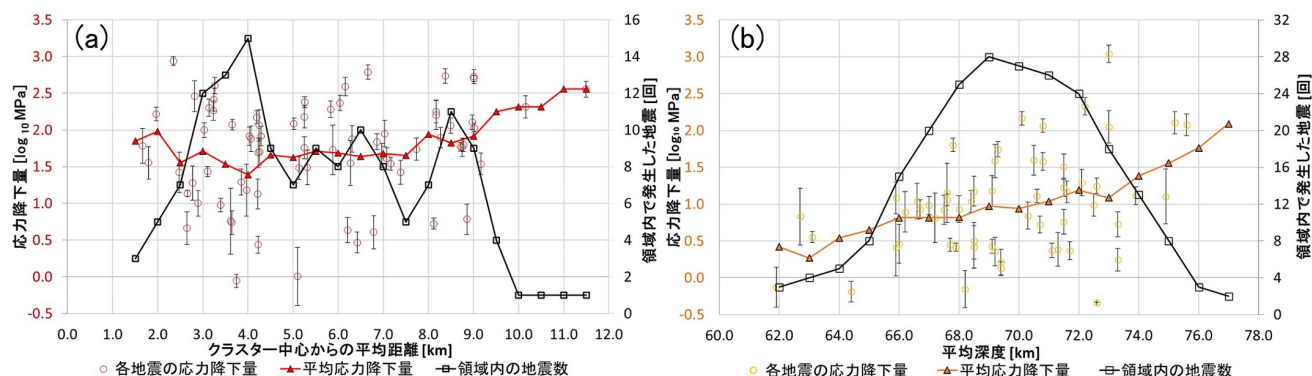


図2. (a) クラスター中心からの距離の関数として表した、茨城県西部クラスターの応力降下量。赤丸、赤実線、黒実線はそれぞれ、解析に用いた各地震の応力降下量、平均応力降下量、領域内で発生した地震の数を示す。(b) 震源の深さの関数として表した、千葉県周辺の地震の応力降下量。黄色丸、橙実線、黒実線は(a)の場合と類似して、解析に用いた各地震の応力降下量、平均応力降下量、領域内で発生した地震の数を示す。

Stress drops of small earthquakes off the east coast of Ibaraki and Chiba Prefectures: Heterogeneity in frictional properties on the subducting Pacific Plate

*Tsukasa Masuda¹, Takuji Yamada¹

1. Ibaraki University

1. はじめに

茨城県・千葉県東方沖では、太平洋プレートの沈み込みに伴う地震が定常的に多数発生しており、1677年にはマグニチュード (M) 8.0 以上であったと推定される延宝地震も発生している。本研究では、2003年1月から2019年12月に茨城県沖・千葉県東方沖で発生した小地震 ($4.0 \leq M_w \leq 5.0$) のうち、2. で説明するとおり、太平洋プレートの摩擦特性を反映していると考えられる地震について、応力降下量を解析した。

2. 解析対象地震と解析手法

2003年1月から2019年12月に茨城県沖・千葉県沖で発生した $4.0 \leq M_w \leq 5.0$ の地震のうち、太平洋プレート上面から ± 15 kmの深さの地震を対象とし、Hi-net (防災科学技術研究所)の速度波形記録を用いて、応力降下量を解析した。解析手法は、Yamada *et al.* (2021) と類似の手法を用いた。まず周波数領域において、各解析対象地震の速度波形を、それに最も震源の近い M_w 3.5の地震の観測波形 (以後、経験的グリーン関数と表記する) で除し、観測点ごとにスペクトル比を求めることにより、両地震の震源特性の比を取得した。次に、地震の震源スペクトルはオメガ2乗モデル (Boatwright, 1978) に従うと仮定し、スペクトル比から解析対象地震および経験的グリーン関数のコーナー周波数を求めた。そして、Madariaga (1976) の円形断層モデルに従って、コーナー周波数から解析対象地震の応力降下量を推定した。この操作を解析対象地震すべてについて実行した。

3. 結果および考察

緯度経度0.1度ごとに平滑化した応力降下量の解析結果を図1に示す。P波、S波ともに、千葉県沖に比べて、茨城県沖で応力降下量が多い傾向がみられた。また、結果を注意深く観察すると、その空間不均一性があることが分かる。さらに、2011年東北地方太平洋沖地震の大すべり域 (Iinuma *et al.* 2012) で発生した小地震は、大きな応力降下量を持つことも明らかとなった。これは、先行研究と調和的であり、小断層の応力降下量はその場の摩擦特性を反映し、応力降下量の大小関係が剪断強度のそれに対応しているという主張を支持する。図1中の領域Aはアスペリティとされる領域で、応力降下量が比較的大きい小地震が発生しており、一方、図1中の領域Bの海山がある領域では、応力降下量が小さい地震が発生している。これは、アスペリティの存在と応力降下量の値が対応していると考えられ、また、海山自身がアスペリティになるわけではないという Mochizuki *et al.* (2008)の考えと調和的である。さらに、図1中の領域Cは1667年延宝房総沖地震の震源域 (羽鳥, 1975) に相当し、領域C内での小地震の発生数が少ないこと、領域Cの西端では応力降下量が比較的小さい地震が発生していることが分かった。これは、領域Cおよびその周辺の剪断強度が小さいことを示唆していると考えられ、1667年延宝房総沖地震が津波地震であったと推定されていることと調和的である。

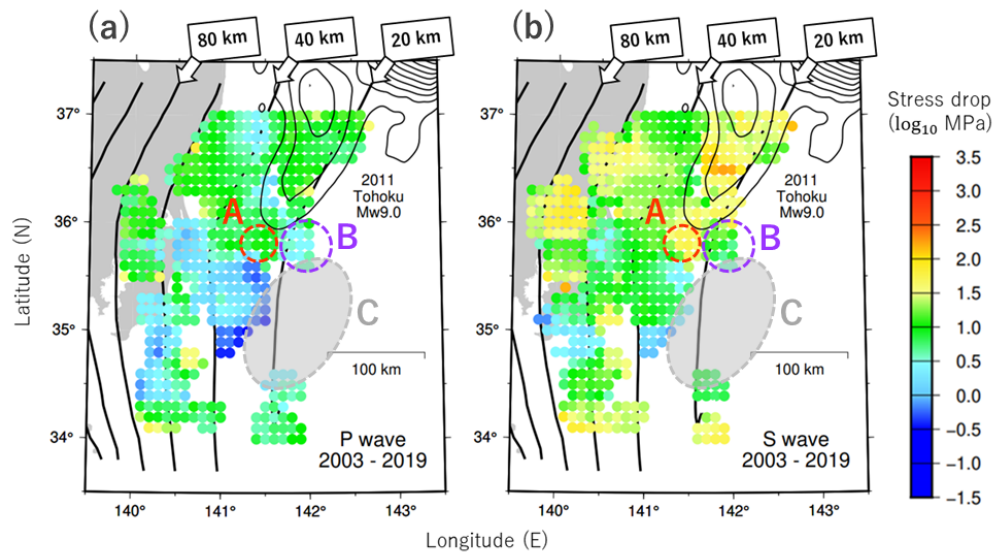


図 1. (a)P波, (b)S波から得られた応力降下量の空間分布. グリッドポイント間隔は緯度経度0.1度ごとである. 各グリッドポイントの値は, グリッドポイントから半径20 km以内の地震の応力降下量の平均値を示す. 黒のコンターは, 2011年東北地方太平洋沖地震のすべり分布を示し, その間隔は2 mごとである (Iinuma *et al.*, 2012). 太い黒線は, 沈み込む太平洋プレート上面の深度を表しており, 線間隔は20 kmである (Kita *et al.*, 2010; Nakajima and Hasegawa 2006; Nakajima *et al.* 2009). 図中のA, B, Cの詳細は本文参照のこと.

Shear strength and fluid over-pressure in world subduction zones estimated from the earthquake energy budget

*Nelson PULIDO¹

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

I estimated fault shear strength of global subduction zones based on calculations of the seismic energy budget during large earthquakes. Estimates of shear strength are based on the calculation of the total energy released during earthquake rupture, which is partitioned into radiated energy, fracture energy (G) and frictional (heat) energy. Radiated energy can be readily obtained from radiated seismic waveforms or using information of the source time function of earthquakes. Accurate estimates of fracture energy are more difficult to obtain, and for this purpose I use the Finite Width Slip Pulse dynamic rupture model, combined with information of the heterogeneous fault rupture process of large earthquakes (208 fault rupture models of the NEIC finite fault slip database, from 1990 to 2022, and $M_w > 7$). Estimates of G are largely influenced by the heterogeneous distribution of fault rupture velocity, rise time and slip of earthquakes across the fault plane. In a previous study (AGU, 2021) I showed that fracture energy is underestimated by a factor of 5 when estimations do not account for the heterogeneity in fault rupture process of large earthquakes, as typically assumed by the calculations based on the difference between average stress drop and the apparent stress of earthquakes (known as G'). Furthermore, recent studies also suggest that megathrust earthquakes experience an almost complete strength drop during fault rupture (i.e. 2011 Tohoku). If a strong dynamic weakening typically takes place during fault rupture of large earthquakes (substantial stress undershoot) then frictional energy can be neglected, and therefore average shear stress and shear strength can be obtained. Based on this assumption I calculated lower bound estimates of shear strength across subduction regions and oceanic lithosphere worldwide. My results indicate a severe fault strength weakening during all megathrust earthquake ruptures (with a global average around 4 MPa), notably tsunami earthquakes belonging to the weakest faults (around 1 MPa), implying that fluids are extremely over-pressured across the majority of subduction regions worldwide. By using my shear strength results, I obtained a global average of λ (the fluid pore pressure to lithostatic pressure ratio) of 0.98, for subduction megathrusts. In contrast, I showed that oceanic lithosphere at ridges, transform faults and fracture zones is 5 to 10 times stronger. This considerable difference indicates that fluid pressure plays a major role in controlling strength of earth's lithosphere. Furthermore, my estimations of average shear stress during fault rupture also enable the calculation of seismic efficiency. I obtained that average seismic efficiency for megathrust subduction earthquakes, is smaller than the average value for earthquakes in oceanic lithosphere.

Room A | Regular session : S08. Earthquake physics

🗓 Tue. Oct 25, 2022 3:15 PM - 4:30 PM JST | Tue. Oct 25, 2022 6:15 AM - 7:30 AM UTC | 🏢 ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S08] PM-2

chairperson: Naofumi Aso (Tokyo Institute of Technology), Saeko Kita (Building research institute)

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

[S08-08] Nankai Trough Earthquakes Estimated from GIS-based Historical Documents in Mie Prefecture

*Yoshiko YAMANAKA¹ (1. Nagoya Univ.)

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

[S08-09] Effects of long-term slow slip events on in-slab stresses in Bungo Channel, southwestern, Japan

*Saeko KITA¹, Heidi Houston², Roland Burgmann³, Suguru Yabe⁴, Youichi Asano⁵, Takeshi Kimura⁵ (1. Building Research Institute, 2. USC, 3. UC Berkeley, 4. AIST, 5. NIED)

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

[S08-10] Single-station detection of seismic slow earthquakes using their broadband characteristics

*Koki MASUDA¹, Satoshi Ide¹ (1. Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo)

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

[S08-11] Strongly scattering medium along slow earthquake fault zones, inferred by the new observations of short-duration tremors

*Akiko TOH¹, Wu-Cheng Chi², Yann Capdeville³, Satoshi Ide¹ (1. Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, 2. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan, 3. Nantes Université, CNRS, France)

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

[S08-12] Direct Evidence of Strike-Slip Motion for Low-Frequency Earthquake near Parkfield

*Naofumi Aso¹, Miki ASO², David R SHELLY³, Satoshi IDE⁴ (1. Tokyo Institute of Technology, 2. OYO RMS, 3. USGS, 4. University of Tokyo)

Nankai Trough Earthquakes Estimated from GIS-based Historical Documents in Mie Prefecture

*Yoshiko YAMANAKA¹

1. Nagoya Univ.

▼ はじめに

地震調査委員会長期評価報告書に掲載されている宝永地震の震度分布（H13度版は宇佐美他(1994); H25度版は松浦(2012)）をみると、たとえば高知の震度が震度6以上から震度5になっており、今後の地域防災を考える上で検証が必要と思われるが、どの史料から震度を判断したのかわからないためすぐには検証ができない。これまで刊行されている史料集の検索システムを構築してきた（山中, 2015, 2021）。これによって膨大な史料集からターゲットの地震の史料を取り出すことが可能になった。しかし現状ではそれらの史料がどこ被害を記述したものかわからないため、上記検証もかなりの時間を要する。

そこで、フリーのWEB-GISであるe-コミマップを用いて地方史や郷土資料、論文等の史料を整理することを試みた。

▼ e-コミマップの活用

史料に関する地名を調べるには、現在名称が残っていないことも多くかなりの時間を要する。現状では史料を使う研究者それぞれが同様の作業を行っており、非効率的である。そこでフリーのWEB-GISであるe-コミマップを用いて、場所を特定した史料を地図上に整理していく仕組みを考えた。e-コミマップはメンバー参加型で地図を作成でき、グループ内や外との情報共有が行えるWEBマッピングシステムである。

GISゆえ様々な地理空間情報を外部から呼び出し重ね合わせて統合して見ることができるため、史料を理解する上でも有益である。本研究では旧版地形図（明治期）をデジタル化したり、標高陰影図を作成し重ねて表示可能にした。そのほか国土数値情報や防災科技研によるJ-shisデータや産総研データなども併せて表示できる。昔の行政区分や旧版地形図で明治期に人が住んでいた場所などの情報は被害の大まかな場所の特定に大いに役立つ。

本システムでは、整理する項目を揺れ、津波、地殻変動・液状化、その他にわけてシンボルを変え、それぞれ史料名や史料内容、出典などを入力した。また地震毎に色を変えることで比較ができるようにした。

▼ 三重県への適用から震源域推定

手始めに三重県における明応地震、宝永地震、安政地震、昭和東南海地震について史料整理をしてみた。まだ入力途中で丁寧な考察はできていないが、いくつかの特徴が見えてきた。

安政東海地震では全般的に大きな津波被害を被っているが、これまでも指摘があるように（たとえば行谷・都司, 2005）南伊勢市東部では比較的被害が少ないことがわかる。また志摩半島の東側では最初に潮が大きく引いているのに対し、紀北以南では大きく引くことはなかったと言っている。さらに紀北以南での津波到来時刻を宝永と比較すると、宝永地震では揺れがおさまってから津波が来るまでに飯を炊くくらいの時間があつたが、安政地震ではすぐにやってきている。時間差はあるものの被害そのものは宝永、安政とも大きな被害がでており、これまでに推定された浸水高をみてもさほどの違いはない。このことから宝永の方が規模は大きかったことが想像される。昭和東南海地震でもこの地域には5~20分程度で津波がきている。これらことから、安政や昭和では少なくとも紀北以南に近いところに震源域があるが、宝永ではそこは滑っていないということができだろう。

もし現在求められているアスペリティが繰り返し滑っているという考え方(Yamanaka&Kikuchi,2004)に基づいてYokota et al. (2016)で求められたアスペリティ分布で考えてみる。昭和東南海地震の波形解析から（山中, 2006）滑ったアスペリティは彼らの求めた遠州灘と熊野灘の大きなアスペリティにあたる。安政東海でも紀北に津波を早くもたらせたアスペリティは図中の熊野灘のアスペリティの可能性がありますが、本当に安政と昭和で同じところが滑ったかどうかはもう少し情報の整理が必要である。

今後は和歌山県、愛知県、静岡県、高知県等の整理を進め、南海トラフ地震の震源過程について検討していく予定である。

Effects of long-term slow slip events on in-slab stresses in Bungo Channel, southwestern, Japan

*Saeko KITA¹, Heidi Houston², Roland Burgmann³, Suguru Yabe⁴, Youichi Asano⁵, Takeshi Kimura⁵

1. Building Research Institute, 2. USC, 3. UC Berkeley, 4. AIST, 5. NIED

In Kii peninsula, Kita et al. [2021] has reported that short-term slow slip events on the plate interface can change the stress field and seismicity within the subducting Philippine Sea plate, examining ~40 times slow slips events over 17 years. These results suggested that it is possible to indirectly monitor the reduction of locking on the plate boundary using time-space variations of in-slab seismicity. In the present study, we also examined relationships between in-slab events and shallow slow slip events (SSEs) in the Bungo channel, where there are in-slab earthquakes and long-term SSEs (L-SSEs) with recurrence time of ~7 years and ~1 year duration. We applied a stress-tensor inversion method to focal mechanisms of in-slab events for 19 years and examined time change of stress axis relative to the duration time of the three L-SSEs. In general, the Sigma 3 axes of inversion results strike in the east-west direction, whereas the Sigma 1 axes are close to vertical and parallel to the direction of plate motion of the subducting plate. During the period of one year just before the L-SSEs, the strike of the Sigma 1 of in-slab events rotated ~30 degrees clockwise direction and plunge of it rotate ~10 degrees becoming less vertical. Then, the plunge of the Sigma 1 rotated several degrees again becoming much less vertical and the strikes of it rotate back to the direction of the plate motion of the subducting plate after the initiation of the two L-SSEs. During the period of one year after the end of the L-SSEs, the plunge of the Sigma 1 rotated back to the initial position. Stress ratio R is generally ~0.5, but it become ~0.3 during the period of one year just after the end of the L-SSEs and become back to ~0.5 during the period of 1.5 years after it. The stress axis change in the southern portion of fault plane of the L-SSEs is generally larger than that in the northern portion of the fault plane of it. The stress ratio R before and after the L-SSEs is respectively ~0.8 and ~0.15 in the southern portion, whereas the ratio in the northern portion is almost constant (~0.5) before and after them. It suggests that the more stable sliding in the northern portion of the fault plane of the L-SSEs. These results suggest the potential of using in-slab events to anticipate the timing of the L-SSEs and to monitor ongoing reduction in locking of the plate boundary by aseismic slip.

Single-station detection of seismic slow earthquakes using their broadband characteristics

*Koki MASUDA¹, Satoshi Ide¹

1. Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo

地震性のスロー地震はそのシグナルの小ささからノイズレベルの小さい帯域での解析がよくなされており、1-10 Hzの帯域で観測されるものは低周波地震や微動と呼ばれ、0.01-0.05 Hzの帯域で観測されるものは超低周波地震と呼ばれてきた。これらの活動は時空間的に相関しており、超低周波地震から計算される地震モーメントレートと微動の帯域で計算される地震波エネルギーレートはほぼ常に比例している (Ide et al., 2008)。このような関係を満たすモデルとしてブラウン運動型のプロセスが考えられ、そのようなプロセスは0.01 Hzから10 Hzにおよぶ広帯域なシグナルを生み出す。実際、脈動が卓越する帯域である0.05-1 Hzをも含んだ広帯域な検出がなされており (e.g., Kaneko et al., 2018; Masuda et al., 2020)、このようなプロセスの存在を支持している。本研究ではスロー地震のこの性質を利用することで、スロー地震活動のモニタリングを一つの広帯域観測点で可能とするような手法の設計を行う。

ある観測点の広帯域地震計記録から、地震波エネルギーレートとして高周波成分 (2-8 Hz) の速度波形の二乗振幅を、地震モーメントレートとして低周波成分 (0.02-0.05 Hz) の変位波形を用いる。両者の相関係数を100秒の時間窓で10秒ごとに計算し、10000秒の移動平均をとる。この移動平均後の相関係数の時系列がある一定の閾値を超えた時間帯には広帯域なスロー地震のシグナルがあると見なす。

まず日本の広帯域地震観測網であるF-netの75観測点の18年分のデータに対して適用した。南海沈み込み帯の既に多くのスロー地震の検出がなされている場所に沿って、多数の検出があった観測点が並んだ。この空間的な相関はこの手法の有効性を示している。検出が期待されるものの検出できない観測点や、スロー地震活動があるとは考えられない場所で閾値を超える観測点もあるが、これらは放射パターンや気象の影響で説明できる。従って一定の注意のもとで、この手法は密な定常観測網が無いような場所にも適用できると考えられる。

Strongly scattering medium along slow earthquake fault zones, inferred by the new observations of short-duration tremors

*Akiko TOH¹, Wu-Cheng Chi², Yann Capdeville³, Satoshi Ide¹

1. Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, 2. Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, Taiwan, 3. Nantes Université, CNRS, France

プレート沈み込み帯の浅部では、普通地震とTremorの二種類の地震が発生することが知られており、それらは波形の特徴により分類される。Tremorは普通地震と比べて、シグナル継続時間が長く、10Hz以上の地震波エネルギーに枯渇し、シグナルの立ち上がりが不明瞭である(Obana & Kodaira, 2009)。これまで、Tremorと普通地震の違いは震源過程の違いにあると考えられてきた。それ故、Tremorの長いシグナル継続時間は、長い震源時間過程を反映すると考えられてきた(e.g. Shelly et al., 2007)。

本研究では、DONET1海底観測網により震源の直近で得られた地震計記録の中から、遠方では典型的な長いシグナル(> 10 s)を呈する一方で、直上では継続時間の短いシグナル(< 3 s)を呈するTremorを発見したことを報告する。これらを”short-duration tremor”と呼ぶ。これらの特徴は、従来考えられてきた長い震源時間過程では説明できず、短いシグナルが示唆する短い震源時間過程から、継続時間の長いシグナルが作り出されるメカニズムを新たに考える必要がある。

ここでは、震源周辺に水平方向に広がり、地震波散乱によりシグナル継続時間を伸ばすような異常構造を考える。このような構造があれば、震源直上と遠方で継続時間の短いシグナルと長いシグナルがそれぞれ見られるはずである。候補となりうる構造は無数にあるが、ここでは、その内側で超低速S波速度を持つ多数の小さな介在物が震源周辺に局在する構造を考えた。構造内に震源をおき弾性波シミュレーションを実施した結果、観測されるshort-durationの特徴を捉えた結果を得ることができた。

他方、近年海底掘削により、Tremor震源域には幅数100メートルの高間隙水圧帯がパッチ状に点在することが示された(Hirose et al., 2021)。本研究で示した地震波構造モデル中の介在物は、地質学的に観察された高間隙水圧帯に相当する可能性がある。更に、Tremorはスロー地震の一種であり、広帯域で観測される他のスロー地震(VLFEやSSE)と断層を共有すると考えられている(Sugioka et al., 2012; Araki et al., 2017)。そうであれば、本研究で示したTremor震源周辺の構造は、スロー地震断層の構造そのものである筈で、この構造はスロー地震の支配要因である可能性がある。

謝辞 解析には防災科学研究所のDONETデータを使用させていただきました。

Direct Evidence of Strike-Slip Motion for Low-Frequency Earthquake near Parkfield

*Naofumi Aso¹, Miki ASO², David R SHELLEY³, Satoshi IDE⁴

1. Tokyo Institute of Technology, 2. OYO RMS, 3. USGS, 4. University of Tokyo

サンアンドレアス断層に位置するパークフィールドは、地震研究が世界で最も盛んに行われてきた地域の一つである。将来の地震評価のためには、大きさは小さいものの頻繁に発生するスロー地震の知見を活かし、応力状態や断層形状を把握することが重要である。パークフィールドの深部低周波地震については、様々な活動の詳細が調べられてきたものの、微弱なシグナルであるが故に、断層運動の直接的証拠となる発震機構解は、未だに分かっていない。そこで我々は、Shelly(2017)により検出されている、100万以上の深部低周波地震に対して、新たな振幅評価手法を開発・適用することで、発震機構解の推定に取り組んだ。

発震機構解の推定には、地震計記録に含まれる地震波の振幅を正確に評価する必要がある。そこで、はじめに、同じファミリーのすべての地震の波形をスタックした。そして、スタック波形と観測波形を比較することにより、地震波振幅を評価した。最後に、地震の規模に依る影響を取り除き、成分（観測点三成分）およびフェーズ（P波とS波）ごとの相対振幅を得た。この相対的な振幅値は、ファミリーごとの発震機構解に依存する放射パターンとファミリーに依らない成分ごとの観測点補正值から構成されていると考えられる。我々は、一次元速度構造（Eberhart-Phillips, 2016）に対して波数積分法（Zhu and Rivera, 2002）で計算した理論波形と比較する形で、観測振幅を一番良く説明するような発震機構解をグリッドサーチにより求めた。

解析した88ファミリーのほとんどはサンアンドレアス断層での横ずれ運動と整合的である一方で、いくつかの相違も確認された（走向/傾斜/すべり角= $N35^{\circ}W \pm 35^{\circ} / 50-90^{\circ} / \pm 40^{\circ}$ ）。ブートストラップテストを行ったところ、いくつかのファミリーについては推定が良くないことが分かった一方で、ほとんどのファミリーについてはロバストな解であることが分かった。この信頼できる発震機構解について、震源の位置や地震の規模のほか、潮汐応答性など他の特徴量と比較を行った。

Room A | Regular session : S08. Earthquake physics

📅 Tue. Oct 25, 2022 4:45 PM - 6:00 PM JST | Tue. Oct 25, 2022 7:45 AM - 9:00 AM UTC | 🏢 ROOM A 1st floor (Kaderu Hall)

[S08] PM-3

chairperson: Tatsuya Kubota(NIED), Suguru Yabe(AIST)

4:45 PM - 5:00 PM JST | 7:45 AM - 8:00 AM UTC

[S08-13] Synthetic tests of joint CMT analysis using translation and strain data

*Suguru YABE¹, Kazutoshi Imanishi¹ (1. Geological Survey of Japan, AIST)

5:00 PM - 5:15 PM JST | 8:00 AM - 8:15 AM UTC

[S08-14] Feasibility of detecting pre-P gravity elastic strain signals from earthquakes

*Kantaro KAWAI¹, Nobuki KAME¹, Shingo WATADA¹, Akito ARAYA¹ (1. ERI, UNIVERSITY OF TOKYO)

5:15 PM - 5:30 PM JST | 8:15 AM - 8:30 AM UTC

[S08-15] Validating the Method Estimating Fault Slip Angles by Using Regional 3D Stress Field with the Wallace-Bott Hypothesis –Application to the focal mechanism solutions of microearthquakes –

*Takeo Ishibe^{1,2}, Toshiko Terakawa³, Akinori Hashima⁴, Masashi Mochizuki⁵, Ritsuko S. Matsu'ura¹ (1. Association for the Development of Earthquake Prediction (ADEP), 2. ISM, 3. Nagoya University, 4. JAMSTEC, 5. NIED)

5:30 PM - 5:45 PM JST | 8:30 AM - 8:45 AM UTC

[S08-16] Stress field in the northwestern part of the South Island, New Zealand, and its relationship with faults of recent earthquakes (3)

*Ayaka TAGAMI¹, Miu Matsuno¹, Tomomi Okada¹, Satoshi Matsumoto², Yuta Kawamura², Yoshihisa Iio³, Tadashi Sato¹, Satoshi Hirahara¹, Shuutoku Kimura¹, Stephen Bannister⁴, John Ristau⁴, Martha Savage⁵, Clifford Thurber⁶, Richard Sibson⁷ (1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University, 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 4. GNS Science, New Zealand, 5. Victoria University of Wellington, New Zealand, 6. University of Wisconsin - Madison, United States of America, 7. University of Otago, New Zealand)

5:45 PM - 6:00 PM JST | 8:45 AM - 9:00 AM UTC

[S08-17] Distribution of azimuths of aftershock faults in the Western Tottori region deduced by the dense seismic observations

*Yoshihisa IIO¹, Manten seismic observation group², Manten seismic observation group in the Western Tottori region² (1. Kyoto University, 2. N/A)

Synthetic tests of joint CMT analysis using translation and strain data

*Suguru YABE¹, Kazutoshi Imanishi¹

1. Geological Survey of Japan, AIST

近年盛んに研究されているスロー地震や誘発地震の分野では、地震の発生に流体が大きく関与していることが指摘されている。そのような場における地震発生では、純粋な断層運動だけでなく体積変化を伴うような変形が起こることが予想される。そのような震源域における変形は、地震のモーメントテンソルの非Double-Couple (DC)成分として表現することができる。しかし、モーメントテンソルの非DC成分には大きな推定誤差が含まれることが指摘されており、地震発生における流体の影響について理解を深めるためには、モーメントテンソルの推定精度向上が重要な課題である。本研究では、通常使われるF-netの並進成分に加えて、産業技術総合研究所が西南日本において展開する歪観測網で取得される地震動記録（歪地震動）をCentroid Moment Tensor (CMT) 解析に取り入れることで、どの程度モーメントテンソルの推定精度が向上するかを理論テストにより検討した。理論テストでは、観測ノイズと地下構造の不確実性がモーメントテンソル推定にどの程度影響するかを主に調べた。観測ノイズは実際の地震動記録のノイズスペクトルから作成した。地下構造の不確実性は、グリーン関数の作成に使用したF-netの構造をベースに1次元地下構造の層厚や地震波速度をランダムに変化させて作成した構造を用いてターゲット波形を作成し、それを元のF-netの構造で作成したグリーン関数を用いて解析することで調べた。その結果、2種類の地震動記録をジョイントすることで、非DC成分を含むモーメントテンソル推定精度の向上が確認された。さらに、2021年12月3日に発生した紀伊水道での M_w 5.1の地震の実データに対して、ジョイントCMT解析を実施し、F-netなどで推定されているモーメントテンソル解と比較しながら非DC成分の有無を検討した。

Feasibility of detecting pre-P gravity elastic strain signals from earthquakes

*Kantaro KAWAI¹, Nobuki KAME¹, Shingo WATADA¹, Akito ARAYA¹

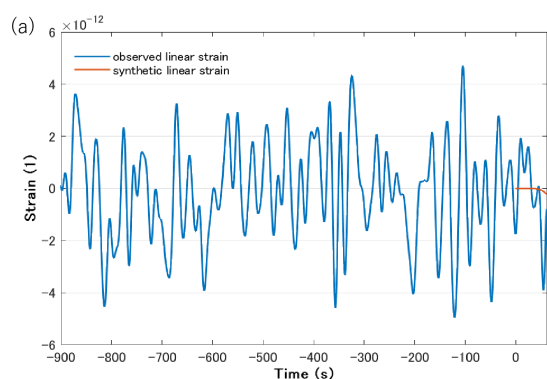
1. ERI, UNIVERSITY OF TOKYO

地震によって生じる重力場変動はP波より早くほぼ即時に観測点に伝わる。この重力変動の信号は広帯域地震計の加速度記録の中に検出されてきた (Vallée et al., 2017; Kimura et al., 2019; Vallée and Juhel, 2019)。P波到達前の重力場変動は加速度変化と同時に弾性歪み変形も引き起こす。本研究の目的は、このP波到着前に変化する弾性歪みの検出可能性について論じることである。

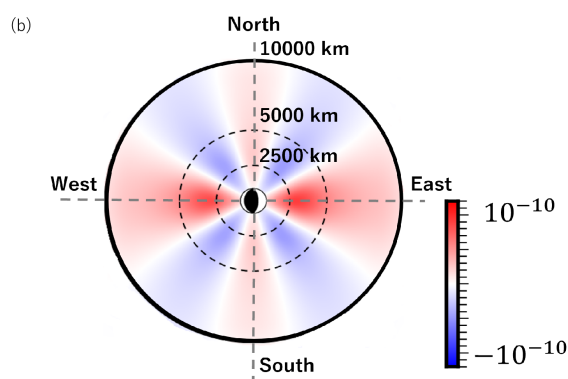
本研究では、観測データ解析と理論波形合成の2つのアプローチを行い、両者を比較する。データ解析には、地震研究所が神岡に設置した100 m 基線長レーザー歪計により記録された2011年M9東北沖地震のデータを用いて、パワースペクトル解析を行い観測地点の背景ノイズレベルの大きさを調べる。理論波形合成には Zhang et al. (2020)で提案された計算コードQSSP_PEGSを用いる。これはWang et al. (2017)の重力-弾性完全結合方程式に従う現実的な球対称地球モデルにおいて弾性・重力応答を計算するコードQSSPをP波前の重力・弾性応答を計算できるように拡張したものである。

解析の結果、従来のP波前重力信号解析で用いられた周波数バンド(帯域0.002-0.05 Hz)において歪みの背景ノイズ振幅は 10^{-12} 程度であった。一方、2011年東北沖地震に対して神岡観測点で理論的に予想される歪み振幅の大きさは 10^{-12} 程度であり、時間領域で実際の波形と比較すると全く信号は見えなかった(Fig. (a))。次に、東北地震クラスの巨大地震に対して様々な震源距離での理論波形を合成し、P波前に予想される歪レベルのコンターマップを作成した。すると、意外なことに震源距離が2000 km を超える範囲に 10^{-10} 程度のピークが現れることが分かった(Fig. (b))。この値は背景ノイズレベルと比較して50倍大きく、一点観測で十分に検出可能である。

P波到達前の重力場変動の計測可能性に関する既往研究は、地震計加速度センサーおよび重力勾配センサー (Torsion Bar Antennas) によるものがある。それぞれの理論信号のピークは、震源距離800km付近、および震央近傍であることが報告されている。一方、本研究の理論歪信号が震源距離2000 km を超える遠地でピークを持つ理由については、今後の検討課題である。なぜなら、歪み信号の距離減衰は単純な物理モデルからは重力勾配と同じになることが予想されるからである。現在、地震研究所はプロトタイプを遙かに超える1500 m 基線長のレーザー干渉計を稼働させている。今後、M9クラスの巨大地震が、本研究の理論的予測に従う震源距離で発生した場合には、歪計によるP波前重力変動の信号検出が期待できる。



(a) Comparison of the recorded strain and synthetic one calculated by the simulation method of Zhang et al. (2020).



(b) Synthesized pre-P elastic strain amplitude from a point source ($M=9$, dip=30 deg., strike=180 deg., rake=90 deg., $d=20$ km) located at the center of map.

Validating the Method Estimating Fault Slip Angles by Using Regional 3D Stress Field with the Wallace-Bott Hypothesis –Application to the focal mechanism solutions of microearthquakes –

*Takeo Ishibe^{1,2}, Toshiko Terakawa³, Akinori Hashima⁴, Masashi Mochizuki⁵, Ritsuko S. Matsu'ura¹

1. Association for the Development of Earthquake Prediction (ADEP), 2. ISM, 3. Nagoya University, 4. JAMSTEC, 5. NIED

活断層調査に基づき将来発生する地震の現実的な強震動・津波予測には、入力データとなる断層形状や断層すべり角（ずれの向き）、断層すべり量などが実際に発生する地震のそれらと乖離しない事が求められる。近年、すべり方向が断層面に働くトラクションの剪断成分の方向に一致するとの考え方（Wallace-Bott仮説）に基づき、活断層調査から得られた断層形状と地震データから推定された広域応力場の情報から断層すべり角が推定され、強震動・津波予測に活用されている（例えば、日本海における大規模地震に関する調査検討会, 2014；武田・他, 2014；Satake *et al.*, 2022）。しかしながら、上記手法の妥当性の検証ならびに精度（誤差）について、十分な検討が行われていなかった。また一般に、活断層で発生する固有地震規模の地震の平均再来間隔は数千年から数万年のオーダーと推定されており、10年程度の地震学データから推定された広域応力場を、長期間のテクトニックな応力場のプロキシとして用いる事ができるのか、検討する必要があった。

上記の背景から、Ishibe *et al.* (2020) ではその手始めとして、防災科学技術研究所によるF-netメカニズム解等を対象に、広域的三次元応力場を用いWallace-Bott仮説から断層すべり角を推定する手法の有効性の検証ならびにその精度に関する検討を行った。その結果、東北日本内陸において2011年東北地方太平洋沖地震後に活発化した群発的活動などでWallace-Bott仮説から推定されるすべり角と実際に発生した地震のすべり角の間に乖離がみられる地震もあったが、これら一部の地震を除き、推定されたすべり角とF-netメカニズム解におけるすべり角のミスフィット角は概ね30°以内に収まり整合的であった。また、地震調査研究推進本部によって評価されている活断層（帯）を対象に、変動地形学的に推定された断層のずれの向きと種類（型）と、広域的三次元応力場ならびにWallace-Bott仮説から推定される断層型が概ね整合的であることを確認した（石辺・他, 2020）。

近年、深層学習を用いた初動読み取りに基づく微小地震の発震機構解カタログが構築・公開された（Uchide, 2020）。そこで本研究では、より小規模の地震に対する検証ならびにその規模依存性の検討を目的として、Uchide (2020) によって推定された微小地震に対する発震機構解を対象に上記手法を適用した。カタログ期間は2005～2019年であり、F-netメカニズム解と同様に2011年東北地方太平洋沖地震の発生を跨ぐため、その前後の期間に分けて解析を行い、推定精度の高いランクAまたはBの発震機構解を用いた。

推定された発震機構解における断層すべり角と広域応力場からWallace-Bott仮説に基づき算出された断層すべり角とのミスフィット角を算出した結果、先行研究と同様に概ね30°以内に収まり整合的であった。ただし、紀伊半島南部から四国南部、宮崎県東部に沿った領域において比較的ミスフィット角が大きな領域が見られた。また2007年能登半島地震や2008年岩手・宮城内陸地震の余震活動に対しても広域応力場から算出される断層すべり角には乖離が見られた。前者は推定された三次元広域応力場が沈み込むプレートに伴う地震活動による影響を含む可能性が、後者は大地震発生に伴う応力変化の影響を含む可能性が考えられる。一方で、東北沖地震後の期間においてはF-netメカニズム解を用いた解析と同様に、その震源域ならびに近傍領域において顕著に大きなミスフィット角が見られたが、震源域から離れた西南日本などでは2016年熊本地震の震源域などを除き概ね調和的であった。微小地震に対する発震機構解を用いたミスフィット角は、F-netメカニズム解を用いたそれらと比べやや大きい傾向が見られ、また小規模地震に対する発震機構解ほどミスフィット角が大きい規模依存性を示す結果となった。一般に微小地震に対する発震機構解の精度は中～大規模地震に対するそれらと比べ低い傾向にあること、あるいは初動発震機構解とモーメントテンソル解の相違を反映している可能性を否定できないが、小規模地震はTerakawa and Matsu'ura (2010)で推定された三次元広域応力場の空間的

解像度よりも小スケールの応力不均質を反映して発生している可能性がある。本研究で得られた結果は、それぞれの規模（震源域のスケール長）の地震がどういった空間スケールの応力不均質を反映して発生しているのかについて、重要な示唆を与える可能性がある。

謝辞：本研究は、文部科学省による「地震調査研究推進本部の評価等支援事業」の一環として実施された。また、Uchide (2020) による発震機構解を使用させていただいた。ここに記して感謝いたします。

Stress field in the northwestern part of the South Island, New Zealand, and its relationship with faults of recent earthquakes (3)

*Ayaka TAGAMI¹, Miu Matsuno¹, Tomomi Okada¹, Satoshi Matsumoto², Yuta Kawamura², Yoshihisa Iio³, Tadashi Sato¹, Satoshi Hirahara¹, Shuutoku Kimura¹, Stephen Bannister⁴, John Ristau⁴, Martha Savage⁵, Clifford Thurber⁶, Richard Sibson⁷

1. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Science, Kyushu University, 3. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 4. GNS Science, New Zealand, 5. Victoria University of Wellington, New Zealand, 6. University of Wisconsin - Madison, United States of America, 7. University of Otago, New Zealand

目的

ニュージーランドでは北島から南島北部にかけてオーストラリアプレートに太平洋プレートが沈み、現在の南島北部ではおよそESE-WNW方向の圧縮応力場が分布する (Townend et al., 2012)。南島北西部では、タスマン海の形成とエメラルド海盆の形成に伴う引張応力場により発達した古い正断層が存在し、古い正断層 (高傾斜角面) が逆断層として活動する反転テクトニクスが、現在の東北日本と同様に確認されている (例えば Ghisetti et al., 2014)。

我々はこれまでにニュージーランド南島北西部で生じた二つの大規模地震 (1929年 Buller地震 Mw 7.3、1962年 Westport地震 Mw 5.6) を対象に応力場に対する断層のすべりやすさの検討を行った (田上・他, JpGU Meeting, 2022)。その結果、対象地域ではESE-WNW方向の圧縮応力場を確認した。また、60°未満の傾斜角を持つ東傾斜の面がすべりやすい傾向を示した。本研究では引き続き、2つの大規模地震 (1968年 Inangahua地震、1991年 Hawks Crag 地震) を対象に応力場に対するすべりやすさの検討を行なった。

データと手法

まず、対象領域における臨時観測点と定常観測点のデータを用いて応力場を推定した。次に、Anderson et al. (1993) で推定された大規模地震のメカニズム解の節面に対して、Slip Tendency法 (Morris et al., 1996) を用いて応力場に対する断層面のすべりやすさを評価した。

結果

1968年 Inangahua地震 (Mw 7.1)

2つの節面のうち、西傾斜の面が高いST値 (>0.7) を示し、応力場に対してすべりやすい傾向であった。Inangahua地震は西傾斜の断層面で活動したことが考えられている (Anderson et al., 1994) ことから、本研究で得られた傾向は実際の地震の断層面と整合的である。

1991年 Hawks Crag地震

前震 (Mw 5.8) と本震 (Mw 6.0) を対象にST値を算出した。結果、前震は低傾斜角の面が高いST値 (>0.7) を示したが、本震ではST値に大きな差はなかった。Ghisetti et al. (2014) では、本研究地域において低傾斜角の新しい断層が高傾斜角の断層の深部に発達していると示唆されている。このことから、応力場に対してすべりやすい低角傾斜面で前震のすべりが生じ、その後、本震は高角な面で活動したことが示唆される。

Introduction

In New Zealand, the Pacific plate is currently subducting below the Australian plate in the northern part of the South Island. Stress fields of ESE-WNW oriented compression are widely distributed in the northern part of South Island (Townend et al., 2012). Many old normal faults are widely distributed on the northwestern South Island. These old faults were developed due to the extensional stress fields associated with the formation of the Tasman Sea and the Emerald Basin (Ghisetti et al., 2014). As in northeastern Japan, a tectonic inversion in which old normal faults become reverse fault has been confirmed in this region (Sibson and Ghisetti, 2018).

Our previous studies focused on the two large to moderated-sized earthquakes (1929 Buller earthquake Mw 7.3 and 1962 Westport earthquake Mw 5.6) that occurred in South Island (Tagami et al., JpGU Meeting 2022). We confirmed that the eastward-dipping planes with a dip angle of less than are likely to slip. This study focused on two other large to moderate-sized earthquakes (the 1968 Inangahua earthquake and the 1991 Hawks Crag earthquake). We investigated the relationship between the fault planes of these earthquakes and the stress field.

Data and methods

First, we estimated the stress field using the focal mechanisms obtained by temporary and permanent stations (Okada et al., 2019; Matsuno et al., 2022) and the GeoNet moment tensor solutions. Then, using the Slip Tendency analysis method (Morris et al., 1996) we evaluated the likelihood of slip for both nodal planes of the focal mechanisms estimated by Anderson et al. (1993).

Results

1968 Inangahua earthquake (Mw 7.1)

The westward-dipping plane has a high ST value (>0.7) and is more likely to slip under the current stress field. Inangahua earthquake is considered to have occurred on the westward-dipping plane (Anderson et al., 1994). Our result is consistent with the previous study.

1991 Hawks Crag earthquake

We focused on foreshock (HC1, Mw 5.8) and an aftershock (HC2, Mw 6.0). In the case of HC1, the low dip angle plane has a high ST value (>0.7). In the case of HC2, both nodal planes have a similar ST value. In Ghisetti et al. (2014), new lower dip angle fault planes are developed in the deep part of the higher dip angle fault plane. Therefore, it is suggested that slip first occurred on the lower dip angle fault plane as the foreshock, and then slip with the high dip angle fault plane occurred as the aftershock.

References

- Anderson, H., Beanland, S., Buck, G., Darby, D., Downes, G., Haines, J., Jackson, J., Robinson, R., and Webb, T., 1994., *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 37, 59-86.
- Anderson, H., Webb, T., and Jackson, J., 1993, *Geophys. J. Int*, 115, 1032-1054.
- Ghisetti, F. C., and Sibson, R. H., 2006, *Journal of Structural Geology*, 28, 1994-2010.
- Ghisetti, F.C., Barnes, P. M., and Sibson, R. H., 2014, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 57(3), 271-294.
- Okada, T., Y. Iio, S. Matsumoto, et al., 2019, *Tectonophysics* 765, 172-186.
- Matsuno, M., Tagami, A., T. Okada, et al., 2022, *Tectonophysics* 835, 229390.
- Morris, A., Ferril, D. A., and Henderson, D. B., 1996, *Geology*, 24(3), 275-278.
- Sibson, R.H., Ghisetti, F.C., 2018, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 108, 1819-1836.
- Townend, J., Sherburn, S., Arnold, B. C., and Woods, L., 2012, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 353-354, 47-59.

Distribution of azimuths of aftershock faults in the Western Tottori region deduced by the dense seismic observations

*Yoshihisa IIO¹, Manten seismic observation group², Manten seismic observation group in the Western Tottori region²

1. Kyoto University, 2. N/A

1. はじめに

断層の走向・傾斜とすべり方向は、地震に関する基本的なパラメータであるが、小さな地震の断層については、メカニズム解の2つの節面から断層面を特定することが難しいため、断層の方位の分布についてはあまり調べられてこなかった。稠密地震観測により精度の良い応力場が得られた場合には、2つの節面におけるmisfit角(メカニズム解のすべり方向と面上の最大せん断応力の方向の差)から、断層面を特定することが可能である。鳥取県西部地震の余震域におけるデータから、断層面の方位分布の特徴を調べてみた。

2. 結果

2009年から島根・鳥取地域で行われている満点地震観測データ(50点、Iio et al., 2018)、2015年から鳥取県西部地域で行われている満点地震観測データ(81点、飯尾・他, 2017)、2000年鳥取県西部合同地震観測データ(Shibutani et al., 2005)と周辺の定常観測点のデータの中で手動読み取りされているものを用いて、応力場と断層の方位分布を推定した。応力逆解析の方法はIio et al.(2017)と同じくmisfitの二乗和を最小とするもので、各解析領域の大きさは水平・深さ方向とも基本は2kmであり、地震数が50個以下になるように、断層直交方向ではグリッドサイズを調整している。各解析領域内のメカニズム解の2つの節面について、推定された応力場によるmisfitを計算し、その差が小さい方の節面を断層面とした。ただし、2つの節面において同程度のmisfitを持つものは結構多く、misfitの差が、メカニズム解の誤差(複数解の分布範囲をKagan角から推定)を超えて大きいもののみを採用した。その結果、メカニズム解が精度よく決まった地震に関して、およそ半分の断層面を決定することができた。鳥取県西部地域では、余震の断層は基本的に鉛直の横ずれ型であるので、断層の走向の方位分布に着目した。余震分布の大局的な方向はN145°E程度であるが、この方向の断層は非常に少ないことが分かった。地震すべりが起こった領域(岩田・関口, 2002)における方位分布のピークはN120°Eくらいであり、余震分布とは20°ほど異なっている。このことは、Yukutake & Iio(2018)の結果と調和的である。一方、 σ_1 の方位分布のピークはN120°Eくらいであり、こちらとは一致している。最大主圧縮応力 σ_1 の方位に近い走向を持つ断層が多いということである。個々の断層とその点で推定された σ_1 とのなす角を調べると、特に大すべり域においては、その角度が25~55度であるものが非常に少ないことも分かった。本震すべりが及んでいないと推定される余震域北部においては、 σ_1 の方位から ± 40 度程度のところにピークを持つ方位分布となっており、この違いは顕著である。2000年の鳥取県西部地震の前に、震源付近でM5クラスの地震を含む群発地震が多数発生したが、そのメカニズム解はほぼ東西のP軸を持っていた(Shibutani et al., 2002)。つまり、群発地震の断層面の走向はN135°E程度であり、余震の断層の走向の方位分布はこの方向とも少し異なっている。一方、鳥取県西部地域においては、小断層の地質調査により、約千条の断層が記載されているが(Uchida et al., 2021)、これらの小断層の方位分布は、余震の断層の方位分布と良く一致していた。これらの観測結果の意味するところはよくわかっていないが、鳥取県西部地震の大すべり域で付近では、余震の発生域と地表において、小断層の方位分布がよく似ている。このことは、地表から地震発生域まで、断層の方位分布が同じであることを示唆している。地表から地震発生域まで一続きであるとする、通常は決して手に取ることができない、地震発生域の断層を地表で観察できることを示している。