

C会場 | 一般セッション：S06. 地殻構造

2020年10月29日(木) 13:00 ~ 14:15 | C会場

[S06]PM-1

座長: 藤江 剛(海洋研究開発機構)

13:00 ~ 13:15

[S06-01] 千島海溝南部アウターライズ震源断層マッピング

○小平 秀一¹、野 徹雄¹、藤江 剛¹、尾鼻 浩一郎¹、中村 恭之¹、三浦 誠一¹、今井 健太郎¹、馬場 俊孝²、近貞 直孝³、谷岡 勇市郎⁴ (1. 海洋研究開発機構、2. 徳島大学、3. 防災科学技術研究所、4. 北海道大学)

13:15 ~ 13:30

[S06-02] 稠密OBSアレイによる北海道根室沖千島海溝沈み込み帯の地殻構造

東 龍介¹、小平 秀一²、日野 亮太¹、藤江 剛²、尾鼻 浩一郎²、富田 史章²、○太田 雄策¹ (1. 東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター、2. 海洋研究開発機構)

13:30 ~ 13:45

[S06-03] S-netデータによる東日本前弧域の不均質構造と地震発生機構

○趙 大鵬¹、Hua Y.¹、豊国 源知¹、Yu Z.¹ (1. 東北大学)

13:45 ~ 14:00

[S06-04] 日本海と沿岸の震源断層モデル

○佐藤 比呂志¹、石山 達也¹、野 徹夫²、小平 秀一²、加藤 直子¹、Claringbould Johan、松原 誠³、橋間 昭徳¹、石川 正弘⁴、佐藤 壯⁵ (1. 東京大学地震研究所、2. 海洋研究開発機構、3. 防災科学技術研究所、4. 横浜国立大学、5. 気象庁札幌管区気象台)

14:00 ~ 14:15

[S06-05] 近畿地方中北部における高解像度の走時トモグラフィー解析

○加藤 慎也¹、飯尾 能久²、中島 淳一³、片尾 浩²、澤田 麻沙代²、富阪 和秀² (1. 京都大学理学研究科地球惑星科学専攻、2. 京都大学防災研究所附属地震予知研究センター、3. 東京工業大学理学院地球惑星科学系)

千島海溝南部アウターライズ震源断層マッピング Mapping outer rise faults in the southern Kuril Trench

*小平 秀一¹、野 徹雄¹、藤江 剛¹、尾鼻 浩一郎¹、中村 恭之¹、三浦 誠一¹、今井 健太郎¹、馬場 俊孝²、近貞 直孝³、谷岡 勇市郎⁴

*Shuichi Kodaira¹, Tetsuo No¹, Gou Fujie¹, Koichiro Obana¹, Yasuyuki Nakamura¹, Seiichi Miura¹, Kentaro Imai¹, Toshitaka Baba², Naotaka Chikasada³, Yuichiro Tanioka⁴

1. 海洋研究開発機構、2. 徳島大学、3. 防災科学技術研究所、4. 北海道大学

1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2. Tokushima University, 3. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 4. Hokkaido University

プレート境界浅部巨大地震発生後に海溝海側斜面（アウターライズ）の海洋プレート内で地震活動が活発化することは過去の観測事例から指摘されており、1933年昭和三陸地震や2007年千島海溝地震のように海洋プレート内でM8クラスの巨大正断層地震が発生した事例もある。本研究の対象領域である千島海溝南部では今後30年以内にプレート境界巨大地震（M7.8-8.5）が発生する確率は80%程度と見積もられているが、海溝海側の領域では過去の地震に関する情報がほとんどなく地震・津波の発生評価が行われていない。そこで我々はアウターライズ地震震源断層マッピングとその情報に基づく津波評価に関するプロジェクトを開始した。震源断層マッピングに向けては、先行研究で作成した日本海溝アウターライズ断層マップと統合するため、先行研究と同様なデータ（詳細海底地形データ、地震探査データ、地震活動データ）、同様な基準に基づいて断層パラメータを決定する。これまでに詳細海底地形のコンパイル、及び根室一釧路沖において約20km間隔で設定された海溝に直交する4本の測線で反射法地震探査データを取得し処理を進めた。データ取得にはJAMSTEC深海調査研究船「かいれい」に搭載された大容量エアガン(5850-7800 cu. inch)・長大ストリーマーケーブル（チャンネル数444 ch., チャンネル間隔12.5m）を用いた。反射法探査の結果からは海洋地殻基盤を切る明瞭な正断層群が確認でき、それらの断層は海溝軸から約40km付近から顕著になる。また、ほぼすべての断層が南東傾斜（海側に傾斜）であり海洋地殻基盤はhalf-graben構造を形成している。先行研究の日本海溝アウターライズでは東・西落ち双方の傾斜を持つ断層からなる断層系が発達しhorst-graben構造を形成していた。この断層形態の違いは、海洋地殻生成時の断層が再活動している千島海溝と、プレートの折れ曲がりにより海溝付近で形成された新しい断層が活動している日本海溝での断層形成過程の違いに規定されている可能性がある。今後、釧路一襟裳沖で新たな地震探査データを取得し、日本海溝アウターライズ断層系との形態や活動の違いにも着目しながら、千島海溝南部アウターライズ断層の走向、傾斜、断層の落差・長さ等の断層パラメータを求めるとともに、アウターライズ断層の発生過程について考察していく。

稠密OBSアレイによる北海道根室沖千島海溝沈み込み帯の地殻構造 Crustal structure in the Kuril Trench subduction zone off Hokkaido, Japan, by a dense linear OBS-array seismic survey

東 龍介¹、小平 秀一²、日野 亮太¹、藤江 剛²、尾鼻 浩一郎²、富田 史章²、*太田 雄策¹
Ryosuke Azuma¹, Shuichi Kodaira², Ryota Hino¹, Go Fujie², Koichiro Obana², Fumiaki Tomita²,
*Yusaku Ohta¹

1. 東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター、2. 海洋研究開発機構

1. RCPEVE, Graduate School of Science, Tohoku University, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

日本・千島海溝沈み込み帯は太平洋プレートの沈み込にかかわって地震・火山が活発に活動する領域である。両海溝域での地殻構造探査により、沈み込み直前に形成されるプレート曲がり断層の発達によって含水化が大きく進んでいる可能性が指摘され、火山活動に必要な水の地球内部への輸送過程が理解されつつあるが、こうした含水化の状態は陸側プレート下まで連続的に把握できていないのが現状である。一方、地震発生に着目すると、2011年東北沖地震の巨大津波の要因となった'slip to the trench'には海溝すぐ陸側の構造が関係することが、反射法探査から明らかとなりつつある。日本海溝に隣接する千島海溝ではプレート境界巨大地震の発生が今後30年以内に非常に高い確率で予測され、東北沖地震に類似して'slip to the trench'を起こす可能性がある。海溝周辺の地震学的構造の理解はこれらの固体地球現象の理解のために非常に重要であるが、日本・千島海溝とも、海底地震計（OBS）の耐圧水深の制約のために先行研究で詳しく把握されていない。本研究は巨大地震発生前の根室沖千島海溝域の構造探査を通して、東北沖地震震源域での知見をもとにプレート境界周辺構造と浅部すべりの関係を議論するとともに、太平洋プレートの沈み込み過程の理解を深めることを目的とする。本観測では大水深の海溝軸に設置可能な超深海OBSを導入し、同区間の構造イメージの分解能向上を図った。

構造探査は2019年に海洋研究開発機構の「かいいい」KR19-07航海および「よこすか」YK19-12航海により実施された。アウターライズ域から海溝軸を跨ぎ千島前弧斜面上部に至る全長208 kmの測線沿いにOBS 80台を約2 km間隔で設置し、総容量7,800 cu.in.のエアガンアレイを200 m毎に発震した。屈折法と同時に、マルチチャンネル・ハイドロフォンストリーマー（全長5.5 km、444 ch）を曳航してMCS反射法探査も行った。海溝より陸側では別途、50 m発震でも探査を行った。全てのOBSで震央距離70~200 kmにわたる連続的なP波初動が観測され、44,261個の読み取り値を得た。後続には、見かけ速度から堆積層基盤、プレート境界付近、海洋モホ面の反射波と思われる相が観測された。

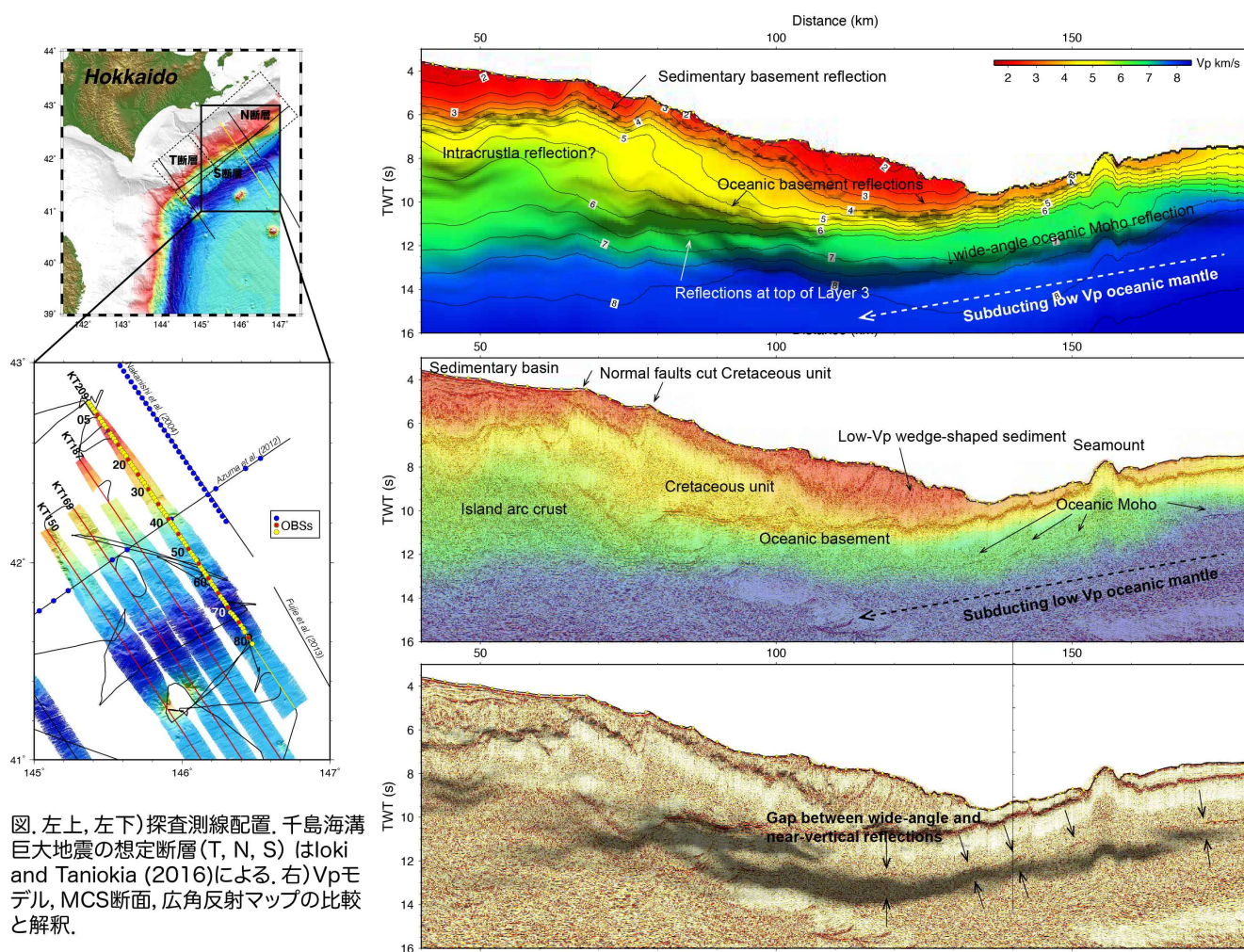
本研究ではP波速度（Vp）モデルの推定に初動走時インバージョン（Fujie et al., 2013）を用い、初期モデルの依存性をモンテカルロ法（例えば、Korenaga et al., 2000）によって評価する。ここでは500個の初期モデルを生成してインバージョンを行い、 $\chi^2 < 1.1$ （RMS走時残差~60 ms未満）を満たした492個の平均を最終モデルとした。最終モデルの標準偏差分布および分解能テストから、海溝陸側では深さ25 km、海溝海側では深さ20 km以浅で良く解像できたといえる。さらに、走時マッピング法（TMM, Fujie et al., 2006）によって反射波分布を推定した。

先行研究（Nakanishi et al., 2004; Fujie et al., 2018）を参照し最終モデルを解釈すると、陸側斜面上部の最浅部に斜面上部から海溝軸にかけて鉛直速度勾配の大きい低Vpの堆積物（2~4 km/s）が分布し、海溝から30 kmの範囲では太平洋プレート上にウェッジ状に分布する。堆積層の下に勾配の小さい白亜紀層（4~5.5 km/s）と島弧地殻（5.5~6.5 km/s）が分布する。白亜紀層上部には凸形状の特徴があり、MCS断面で確認できる陸側傾斜の正断層面の分布と一致した。前弧斜面に発達した正断層は、強いプレート境界間固着のために

陸側プレート下底が浸食され沈降していることを示唆し (von Huene et al., 1994), 探査海域が1973年根室沖地震の破壊域にあることと矛盾しない. 同じく固着域である東北沖地震震源域にも正断層が存在する

(Kodaira et al., 2017) 点で共通する. 今後, ウェッジ状堆積物の幅やプレート境界周辺の反射構造も含めて東北沖大すべり域と比較をすすめ, 根室沖が'slip to the trench'を起こしうる場であるか考察する.

沈み込む太平洋プレートについて, Vp分布とモホ面反射との間に興味深い関係性を見出した. 堆積層基盤反射面の下に大きな速度勾配を持つ海洋地殻第2層 (4.5–6.5 km/s), その下に勾配が小さく高Vp (6.5–7.5 km/s) の海洋地殻第3層がそれぞれイメージされた. MCS断面に基づくと海溝直下のモホ面下のマントルVpは約7.5 km/sで, 千島海溝の沖側遠方のマントル (~8.6 km/s, Kodaira et al., 2014) より有意に低速度である. すなわち, 沈み込み前に含水化したマントルがそのまま島弧下に沈み込んでいる様子が捉えられた. 一方で, TMMによるモホ面がMCSモホ面 비해往復走時で0.5秒ほど系統的に深い. この差はモホ面下数キロメートルまで達している蛇紋岩化深さ範囲 (Fujie et al., 2018) とほぼ等しいことから, ひとつの解釈として, マントル最上部の蛇紋岩化により地殻–マントル間に厚みのあるモホ面遷移層 (笠原・他, 2008) が形成されたことを示している可能性がある.



S-netデータによる東日本前弧域の不均質構造と地震発生機構 3-D structure and seismogenesis in the East Japan forearc derived from S-net data

*趙 大鵬¹、Hua Y.¹、豊国 源知¹、Yu Z.¹

*Dapeng Zhao¹, Y. Hua¹, G. Toyokuni¹, Z. Yu¹

1. 東北大学

1. Tohoku University

So far we have used the Kiban network data of suboceanic events relocated with sP depth phases to study the 3-D P and S wave velocity structure of the source zone of the 2011 Mw 9.0 Tohoku-oki earthquake (Zhao et al., 2011; Huang & Zhao, 2013; Liu & Zhao, 2018). Significant structural heterogeneities are revealed in the Tohoku megathrust zone, which are correlated with the distribution and rupture processes of the large megathrust earthquakes ($M > 7.0$). However, the structure near the Japan Trench is still not very clear. Recently, we study the 3-D velocity structure of the entire forearc region off Eastern Japan using data recorded by both the permanent OBS network (S-net) and the Kiban seismic network on the land area (Hua & Zhao et al., 2020; Yu & Zhao, 2020). We used a large number of arrival-time data of local earthquakes during June 2002 to December 2018 recorded at 480 permanent stations of the Kiban seismic network and 120 OBS stations of the S-net. To conduct tomographic imaging of the East Japan arc, we selected many well-located local events that occurred beneath the Kiban seismic network and many suboceanic events that were recorded and located by the S-net. From the high-quality vertical-component seismograms recorded by the S-net, we picked P-wave arrival times generated by the local offshore events. The picking accuracy of the arrival times is estimated to be 0.05-0.15 s. Only arrival times of the events with well-located hypocenters (uncertainty < 3 km) are used in the tomographic inversion. The tomographic method of Zhao et al. (1992, 2011) is used to determine a high-resolution 3-D velocity model of the East Japan forearc. The well-determined geometries of the Conrad and Moho discontinuities and the upper boundary of the subducting Pacific slab are considered in the velocity model. The general pattern of the obtained tomographic model is similar to that of previous models (Zhao et al., 2011; Liu and Zhao, 2018), but our new model reveals a low-velocity (low-V) anomaly near the Japan Trench off Miyagi and Sanriku. The mainshock hypocenter of the great 2011 Tohoku-oki earthquake is located at the boundary between a down-dip high-velocity anomaly and the up-dip low-V anomaly. The slow anomaly at the shallow depths near the Japan Trench may reflect low-rigidity materials that are close to the free surface, resulting in large slips, weak high-frequency radiation, and the high tsunami on March 11, 2011. Our new tomographic model can explain not only the large slips near the trench but also weak high-frequency radiation from the shallow rupture areas.

References

- Hua, Y., D. Zhao, G. Toyokuni, Y. Xu (2020). Tomography of the source zone of the great 2011 Tohoku earthquake. *Nature Communications* 11, 1163.
- Huang, Z., D. Zhao (2013). Mechanism of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0) and tsunami: Insight from seismic tomography. *J. Asian Earth Sci.* 70, 160-168.
- Liu, X., D. Zhao (2018). Upper and lower plate controls on the great 2011 Tohoku-oki earthquake. *Science Advances* 4, eaat4396.
- Yu, Z., D. Zhao (2020). Seismic evidence for water transportation in the forearc off Northern Japan. *J. Geophys. Res.* 125, e2019JB018600.

Zhao, D., Z. Huang, N. Umino, A. Hasegawa, H. Kanamori (2011). Structural heterogeneity in the megathrust zone and mechanism of the 2011 Tohoku-oki earthquake (Mw 9.0). *Geophys. Res. Lett.* 38, L17308.

日本海と沿岸の震源断層モデル

Seismogenic source fault models in and around the Sea of Japan

*佐藤 比呂志¹、石山 達也¹、野 徹夫²、小平 秀一²、加藤 直子¹、Claringbould Johan、松原 誠³、橋間 昭徳¹、石川 正弘⁴、佐藤 壯⁵

*Hiroshi Sato¹, Tatsuya Ishiyama¹, Testuo No², Kodaira Shuichi², Naoko Kato¹, Johan S Claringbould, Makoto Matsubara³, Akinori Hashima¹, Masahiro Ishikawa⁴, Takeshi Sato⁵

1. 東京大学地震研究所、2. 海洋研究開発機構、3. 防災科学技術研究所、4. 横浜国立大学、5. 気象庁札幌管区气象台

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 4. Yokohama National University, 5. Sapporo Regional Headquarters, JMA

とくに2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波災害以降、日本海沿岸での津波災害についても着目されるようになった。どの程度の規模の津波が発生するのかという点については、資料の不足から不明な点が多く残されていた。2013年から開始された文部科学省の「日本海地震・津波調査プロジェクト」では、反射法地震探査を基軸とした地殻構造探査により、波源・震源断層モデルを構築し、津波・強震動を評価するという方法で検討を重ねてきた。ここでは、8カ年のプロジェクトによって得られた震源断層の矩形モデルと、それらの地殻構造上の特徴について述べる。

反射法地震探査データについては、海洋研究開発機構の長大ストリーマーと大容量エアガンにより取得し、沿岸については地震研が二船式を交えて、2-4 kmのストリーマーや1950 cu.inchのエアガンにより取得した。また、海陸統合測線として海底地震計と陸上の受振システムを展開し、エアガン・パイプロサイスの共通受振を行った。こうして得られた速度構造のデータは、石油公団などの既存の反射法地震探査データと合わせて、地殻・地質構造を理解する上で重要な資料となった。

震源断層の形状は、日本海形成時のテクトニクスと大きな関連を有している。日本海形成時に海洋地殻が形成された日本海盆と大和海盆、そして大陸地殻内のリフト帯の存在が弾性波速度構造の点から明らかになったことは大きな成果である。大陸地殻の伸展によるネッキングと海洋地殻を構成する苦鉄質岩の上昇により、大陸地殻との境界部には、リフトの外側に傾斜した緩傾斜の境界面が形成される。この面がその後の短縮変形場で逆断層となり、大規模な震源断層となる。1983年日本海中部地震はこうした地震の例である（No et al., 2014, EPSL）。日本海の拡大は、複数のリフト軸の活動によって達成され、とくに北日本の日本海側では秋田-山形堆積盆地や新潟-北部フォッサ堆積盆地、富山トラフ（Ishiyama et al., 2017, Tectonophys.）などにリフト構造が分布する。北日本では関東平野北西や鬼怒川低地帯など、分布が広範である。これらのリフト軸は帯状の周辺よりも高いP波速度を示す中・下部地殻を構成し、また地殻上部では厚い堆積層の分布により全体としては大陸地殻の薄化を示す。リフト軸と大陸地殻の境界には物質境界に起源をもつ低角度の震源断層が形成され、2007年中越沖地震はこうした地震の例である。また、大陸地殻内のリフト帯では地殻強度の低下により、褶曲断層帯が形成されている。リフト帯の縁辺以外の通常の伸展された大陸地殻部では、ハーフグラabenが普遍的に形成され、多くの震源断層は中角度の逆断層となっている。日本海東縁-北日本の日本海沿岸では、反時計回りの回転をとまなう日本海の拡大により、リフト期に形成された正断層群が、その後大きな横ずれ成分を示さない逆断層となり、断層のセグメントは伸張変形時の横断断層によって規制されている。

西南日本沖の日本海南部では、西南日本弧の時計回りの回転にともなって広く伸展された大陸地殻が分布し、西南日本弧と平行な正断層群が形成された。東北日本と大きく異なるのは、南海トラフでの熱い四国海盆の沈み込みが開始する6Ma程度まで、強い南北方向からの短縮変形を受けたことである。6Ma以降もNNW-SSE方向の圧縮応力は継続し、ほぼ垂直な同方向の断層を生み出した。その後、1Ma以降はフィリピン海プレートの運動方向の変化により、西南日本弧と平行な断層群は横ずれ断層として再活動しているが、日本

海東縁に比べ再活動している断層の数は圧倒的に少ない。

震源断層の矩形モデルの構築に当たっては、音波探査などによって確認されている海底活断層の情報を重視し、その他、海底地形のパターンやより深部の情報により伏在断層を抽出した。断層の下限は、基本的にはHi-netなどの観測網により求められD90に従ったが（松原ほか, 2020地震学会）、海域部分では観測網が未整備であるため、陸域の自然地震トモグラフィにもとづく推定構成岩石のレオロジーも考慮して推定した。大陸地殻内のリフトでは伸展された大陸地殻部分に比べ、苦鉄質岩が進入した領域ではD90が深く、こうした値を断層モデルにも反映させている。また断層のすべり角については、断層の姿勢をもとに、Terakawa & Matsu'ura (2010)の応力テンソルから求めている。とくに日本海南部では過去に応力場が大きく転換したために、すべり角の扱いが重要である。これらの震源断層モデルは、津波・強震動予測のみならず、測地データに基づく広域的な上盤プレートの三次元モデルでの応力状態の予測と合わせて、上盤プレート内地震の発生予測についても貢献するものである。

近畿地方中北部における高解像度の走時トモグラフィー解析 High-resolution tomography analysis in north-central Kinki region

*加藤 慎也¹、飯尾 能久²、中島 淳一³、片尾 浩²、澤田 麻沙代²、富阪 和秀²

*Shinya Katoh¹, Yoshihisa Iio², Junichi Nakajima³, Hiroshi Katao², Masayo Sawada², Kazuhide Tomisaka²

1. 京都大学理学研究科地球惑星科学専攻、2. 京都大学防災研究所附属地震予知研究センター、3. 東京工業大学理学院地球惑星科学系

1. Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, 2. DISASTER PREVENTION RESEARCH INSTITUTE KYOTO UNIVERSITY Research Center For Earthquake Prediction, 3. Dept. of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology

近畿地方中北部は微小地震活動が活発な地域である。この微小地震活動は特定の断層帯に沿って生じず面的に広がる活動であるということが知られているが、その成因は明らかになっていない。また、この微小地震活動が生じている直下の下部地殻には地震波低速度の薄い層である顕著なS波反射面の存在が明らかになっている(片尾. (1994), 加藤・他. (2019))。この地震波低速度のS波反射面の成因として流体の関与が指摘されていることから、この微小地震活動も流体の関与が考えられる。そこで、本研究ではこの微小地震が生じている近畿地方中北部の上部地殻における地震波速度構造を求め等価アスペクト比モデル(Takei. (2002))から流体量を推定し、特徴的な微小地震活動の成因を明らかにすることを目的として解析を行った。

近畿地方中北部には観測点間隔約5 kmの稠密地震観測網(満点システム; 三浦・他. (2000))が展開されている。本研究では、この稠密地震観測網とHi-netなどによる定常観測網で2009年から2013年の間に収録された地震波形を用いて、Zhao et al. (1992)による速度トモグラフィー解析を行った。

従来の定常観測網を用いたトモグラフィー解析のグリッド間隔は、その観測点間隔である約20 kmに制限されてしまうが、本研究では観測点間隔約5 kmの稠密地震観測網によるデータも用いることでグリッド間隔を5 kmに設定することができる。そのため、本研究ではトモグラフィー解析を行うときのグリッド間隔を水平方向5 km、鉛直方向2 kmに設定し、先行研究よりも高解像度で近畿地方中北部の地震波速度構造を求めた。

本発表では、高解像度で求めた地震波速度構造から等価アスペクト比モデルを用いて詳細な流体量を推定した結果を紹介し、微小地震活動の成因について議論する。