

令和3~7年度 文部科学省 科学研究費助成事業 学術変革領域研究(A)



NEWSLETTER

Vol.4 March 2025



INDEX

- 2 特集:能登半島地震
- 6 各班研究紹介
- 12 公募研究紹介
- 17 新規メンバー紹介
- 18 イベント紹介
 - 国際合同研究集会2024
- 20 若手・ダイバーシティ-TFより
- 22 押しかけワークショップ in メキシコ
- 23 コルシカ島サマースクール
- 24 若手研究者海外派遣
- 26 合宿/講演会
- 27 JTRACK
- 28 報告





地殻流体の移動と2024年能登半島地震

A03 国際比較班

吉田 圭佑 (東北大学 大学院理学研究科)



能登半島北東部では2020年末から地震活動度が急増していました。先行研究により、この活動の際に微小地震が複雑な断層群を經由して深部から浅部へ移動していたことや、地震の影響だけでは説明できない規模の地表変位が生じていたことが明らかにされていました。これらの観測事実に基づき、地殻深部にあった流体が浅部側へと移動する過程でこの地震群が誘発された可能性が指摘されていました。群発地震の発生した断層群よりも更に浅部側には既知の活断層（珠洲沖セグメント）が存在していたことから、この活断層で更なる大地震が誘発されることも危惧されていました。その中で、2024年1月1日M7.6能登半島地震（以降、本震）は発生しました。

私たちは、本震の発生過程、特に直前まで続いた地震群との関係を明らかにする目的で、本震・余震・直前の前駆的活動・群発地震の発生場所を高精度に推定し、その時空間的特徴を調べました。その結果は、本震の破壊開始や前駆的地震群が、既知の活断層よりも深い異なる断層（以降、珠洲伏在断層）で発生したことを示しました（図1）。この断層上では2021年から微小地震の発生と移動が起こっており、2022年6月のM5.4地震と2023年5月のM6.5地震も、微小地震移動のそれぞれ西端と北端で発生しました（図2a, c, d）。今回の本震も更なる微小地震移動の西端で開始したようにみえます。更に、微小地震が複雑に入り組む小断層群を經由して、本震破壊開始点の直下にまで上昇してきていたこともわかりました（図1f-k）。珠洲伏在断層や深部の小断層群を經由して接近してきた流体やそれに誘発された（非）地震性すべりが、本震の引き金になった可能性が考えられます。

本震時には、その破壊が開始した珠洲伏在断層に加えて、活動が懸念されていた活断層セグメントを含む複数の断層でも大すべりが発生し、その結果 M7.6規模の大地震に至ったと考えられます。地震時には破壊開始点から約8km西側の領域で大隆起が生じましたが（図2a, b）、このことは本震が破壊初期にこの領域直下で大すべりを生じさせた可能性を示しています。この隆起域は1729年に発生したM6.6～6.9の地震時の隆起域のすぐ東側に位置しており、本震が約300年前の地震時に壊れ残った領域を破壊した可能性が考えられます。本震が開始した珠洲伏在断層は、深部側で輪島沖セグメントと接続しているようにもみえ、そこで大すべりが本震破壊の更なる東西への進展への契機となった可能性があります。

地殻流体とそれに誘発される（非）地震性滑りや変形が中小規模の地震を引き起こすことは広く知られてきていましたが、今回の能登半島地震は、地殻流体がM7.5規模の大地震の引き金にもなり得ることを示しました。大すべりを起こすポテンシャルを持つ断層セグメントにおいて、実際にすべりが誘発されるかどうかの検討のためには、その場での応力・摩擦強度、その差等の情報が重要と考えられますが、現状、それらを直接測定することは困難です。一方、能登半島地震のように前駆的活動を豊富に有する事例を詳細に調べることで、微小地震や地殻変動に基づき、大すべりの準備・誘発過程や、臨界期に近づいた発生場の理解を進展させることができる可能性があり、今後の研究の進展が待たれます。

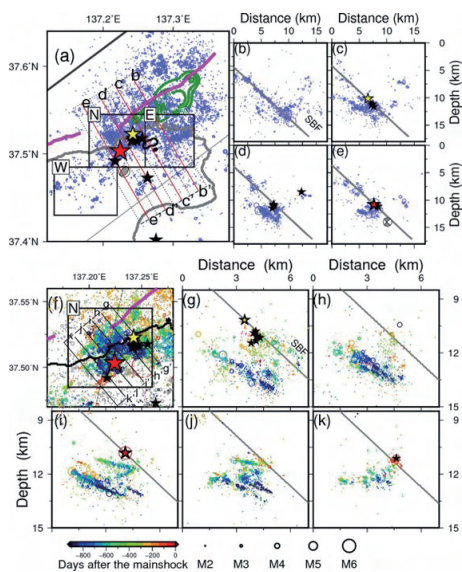


図1：本震震源付近の地震分布 (Yoshida et al., 2024, GRL). (a)-(e) 青丸は本震前300日以内の地震。赤と黄色の星はそれぞれ本震と直前の前震の震源を表す。黒い星は本震から1日以内の地震。グレーのビーチボールは非地震すべりの点震源近似を表す。(a)地図表示。(b)-(e)断面図表示。(f)-(k) 本震震源付近の地震の時空間分布。カラースケールにより各地震の発生時刻を示す。(f) 地図表示。(g)-(k)は断面図表示。

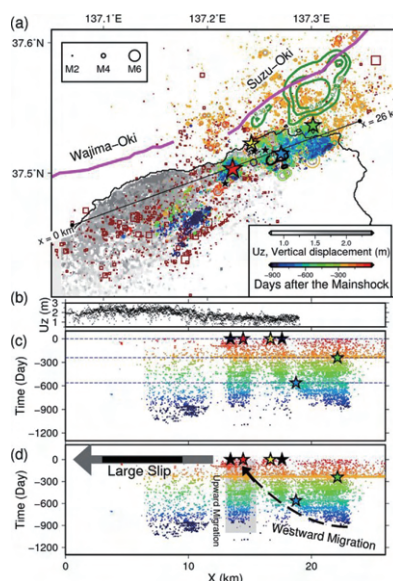


図2：珠洲伏在断層（SBF）上の地震移動と地震時準鉛直変位 (Yoshida et al., 2024, GRL). (a) 丸印は本震前のSBF上の地震の震源を示し、色はカラースケールに従った発生時刻を表す。暗赤色の四角は余震を表す。背景色は本震の地震時準鉛直変位を示し、カラースケールに従っている。緑と黒のコンターは、2023年M6.5地震と2022年M5.4地震のすべり分布を表す。赤、緑、シアン、黄、黒の星印は、それぞれ本震、2023年M6.5地震、2022年M5.4地震、本震の直前前震、本震1日以内の他の前震の震源を表す。(b) x軸から1km以内の地震時準鉛直変位。(c)と(d) SBF沿いのx軸方向の地震移動。(d)には解釈が示されている。



断層バルブモデル挙動の地震学的証拠

B02 情報科学班

加藤 愛太郎 (東京大学 地震研究所)



石川県能登半島地方では、2020年12月から群発地震活動が活発化し始め、2022年6月にM5.4の地震が、2023年5月にM6.5の地震が、2024年1月にはM7.6の地震が発生しました。地震活動や地殻変動データ、比抵抗構造解析から、群発地震活動には深部流体の関与が指摘されています(e.g., Amezawa et al. 2022; Nakajima 2022; Nishimura et al. 2023)。本研究では、2023年M6.5の地震の発生と流体との関連性を明らかにするために、連続地震波形記録に対して、機械学習による地震波走時の読み取り(Zhu & Beroza, 2019)と波形相関法を用いた相対震源決定法を適用することで震源を高精度に決定し、その震源を用いたプレートマッチング法(e.g., Kato et al. 2013)を連続波形記録へ適用し、より包括的な地震カタログの構築を行いました(Kato 2024)。

2023年M6.5の震源断層は南東に約45度で傾斜する断層面であり、深部で2022年M5.4の震源断層と一部重複します。M6.5の震源断層の浅部延長部は既知の活断層トレース(2024年M7.6の地震で活動)に一致せず、地下の伏在断層がずれ動いたと考えられます。

M6.5と最大余震M5.9の地震発生直後に、南東傾斜の断層面に沿って深部から浅部にかけての余震域の拡大が見られました(図1)。拡大速度は時速約20kmと、沈み込み帯で見られる深部低周波地震の高速移動現象(Kato & Nakagawa 2020)と同じオーダーです。

本解析結果から、震源域下部に溜まっていた深部流体が、破碎して隙間のできた断層を移動することで高速な余震域の拡大を引き起こした可能性が考えられます。このような余震域の拡大は、Sibson (1992)によって提案された断層バルブモデルで説明できます。地震発生前には、地震発生層の下端に形成されたシールにより周囲の岩石よりも軽い流体が堰き止められ、断層下部には高压流体が溜まっていると考えられます。断層の破壊すべりにより、断層下端のシールが壊れるとともに、断層周辺では岩石の破碎が生じることで隙間やクラックが形成され、流体の通り道が一時的に増え、深部に溜まっていた高压流体が断層破碎帯沿いに急激に上昇した可能性が考えられます(図2)。

引用文献

- Amezawa et al. (2022) *Geophys. Res. Lett.*, 50(8), e2022GL102670.
- Nakajima (2022) *Earth Planets and Space* 74(1), 160.
- Nishimura et al. (2023) *Sci. Rep.*, 13(1), 8381.
- Zhu and Beroza (2019) *Geophys. J. Int.*, 216(1), 261–273.
- Kato et al. (2013) *Geophys. Res. Lett.*, 40, 3572–3578
- Kato (2024) *Geophys. Res. Lett.*, 51, e2023GL106444
- Kato and Nakagawa (2020) *Earth Planets and Space*, 72(1), 128.
- Sibson (1992) *Tectonophysics*, 211, 283–293.

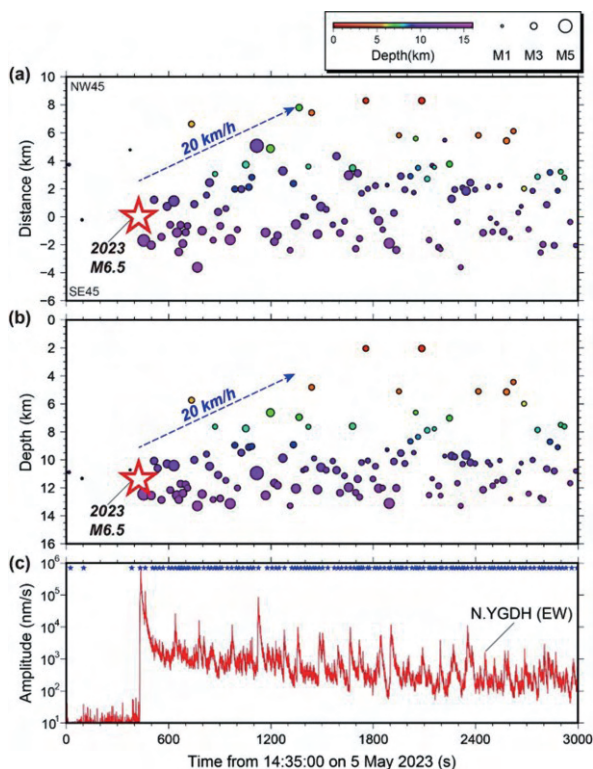


図1: M6.5の地震発生直後の地震活動の時空間発展図。(a)北西-南東方向の距離と時間の関係、(b)深さと時間の関係。

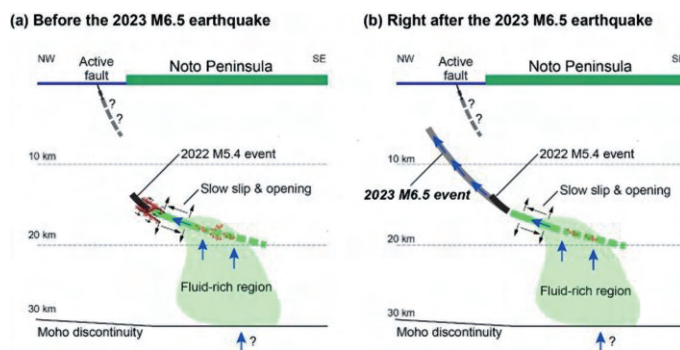


図2: 2023年M6.5の地震前後における断層バルブモデル挙動(青い矢印: 流体移動を示す)と地殻活動に関する概念図。Nishimura et al. (2023)を参照。



重力観測から見えてきた能登半島地震に伴う流体移動

B01 新技術観測班

田中 愛幸 (東京大学 大学院理学系研究科)



能登半島北東部では2020年末ごろから群発地震が活発化し、2023年5月にはM6.5、2024年1月にはM7.6の大地震が発生しました。群発地震の震源域付近には、地殻流体が豊富に存在することが様々な観測で分かっています。また、それらの大地震の発生に、地下から移動してきた流体が関わっていたことが指摘されています。

流体の移動を定量的に把握する手段の1つが地殻変動観測です。GNSSで一定期間に生じた地表の隆起や水平変位を観測します。流体が移動した際に地表でどのような変形が生じるかは弾性論で計算できるため、GNSSの観測結果と計算結果が一致するような流体移動の場所や量を推定することができます。ただし、この方法で分かるのは、流体が移動したとされる場所の幾何学的な体積変化です。膨らんだ部分の中身が空洞か、水か、マグマなのかは分かりません。

私たちは重力の時間変化を精密に観測することで、本当に物質が移動したことを示そうとしています。流体移動による微小な地表重力の変化を捉えるため、10億分の1Gの桁まで測定できる絶対重力計を用います。連続観測には不向きですが運搬が可能です。この絶対重力計と、精度は劣るものの野外でも測定できる小型の相対重力計とを組み合わせ、奥能登で数回にわたり観測を実施してきました。同様の観測手法は、火山地域のマグマ移動を推定するのにも用いられます。

重力観測の結果、2023年5月、2024年1月の地震前後で有意な重力変化が生じていることが明らかになりました。図1に5月の地震の結果を示します。精度の高い絶対重力計で観測を行っていた観測点(SZHK)の真下で地震すべりが発生しました。震源断層上で重力データが取得できるのは稀なことで、M6クラスの地震

で40 μ Galを超えるような大きな絶対重力の変化を検出できたのはおそらく世界で初めてです。観測結果は、GNSSで観測した観測点の高さの変化とよい一致が見られます。

それでは地下における質量移動はどうでしょうか？高さの変化による重力変化は、GNSSの観測結果を用いて理論的に見積もれます。これを観測結果から引き去ることで地下の質量移動の寄与を見積もります。高さの寄与と観測結果とに有意な差が生じたのはSZHKのみですが、約10 μ Galの負の重力異常が検出されました。地下の流体が観測点に近づくと、地殻がより軽い水に置き換わることで負の重力異常が生じます。地震時の衝撃により断層周辺の亀裂の透水性が上がり、そこを通過して浅部へ流体が移動したとすると、負の異常を解釈できます。この重力異常を説明する流体量は、GNSSデータから推定された、5月の地震より前に断層深部に溜まっていた量の1割ほどであることが判明しました。

1月の地震では、SZHKとNTWTでより大きな負の重力異常が生じたことが分かり、同様の考えで結果が説明できそうです。興味深いのは、上の珠洲市北部や輪島では、震源より深い領域に加えて、浅い領域にも流体の存在を示す地震波速度異常が観測されていることです。地下10数kmに溜まっている流体が大地震の発生とともに浅部へ移動するというプロセスは、ひょっとすると過去から繰り返してきたのかもしれませんが。

最後に、地殻変動データを提供いただいた金沢大・京大防災研・国土地理院および観測に協力してくださった珠洲市、能登町、輪島市のみなさまに感謝いたします。

引用文献

Nishimura et al. (2023) Scientific Reports, 13, 8381.

Tanaka, Y. et al. (2024) Earth Planets Space, submitted.

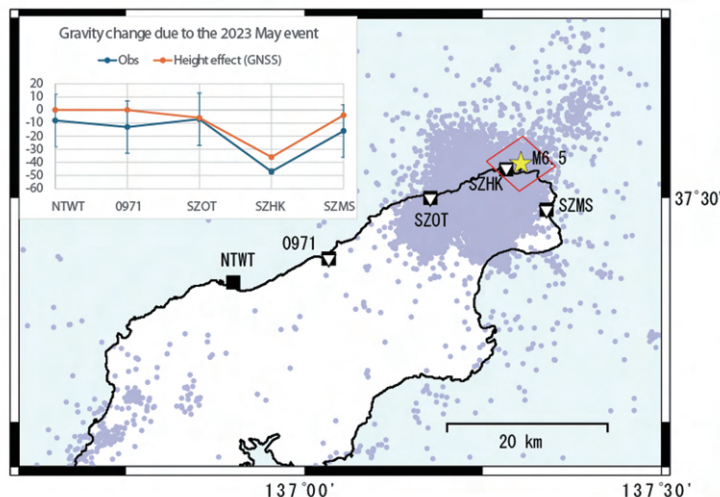


図1: 2023年5月の地震により生じた重力変化。単位は μ Gal=10⁻⁸ ms⁻²。重力観測は2023年3月と5月に実施された。グラフは測定結果の差を示す。SZHKは絶対重力測定のため誤差が小さい。



令和6年能登半島地震により形成された海底地震断層

A02 構造解剖班

山口 飛鳥 (東京大学 大気海洋研究所)



海域活断層における地震時の断層運動は、海岸の隆起・沈降や津波の発生をもたらします。令和6年能登半島地震では、能登半島北部で最大4mに及ぶ海岸の隆起が生じました。海上保安庁による測深データからは海域活断層に沿った地形変動が示唆されました。これらを生じた海底の地震断層調査のため、私たちは、2024年3月4日～16日に学術研究船「白鳳丸」により行われたKH-24-E1緊急航海において、水中ドローン(小型ROV)による断層調査を行いました。その結果、能登半島北部沿岸の2か所(珠洲岬北西沖、輪島北西沖)において、令和6年能登半島地震に伴って形成された地震断層と考えられる海底の段差を2024年3月11日に確認しました(Yamaguchi et al., 2024 JpGU)。

珠洲岬北西沖で見つかった断層露頭(図1)は、海底に露出する岩盤(砂泥質の堆積岩)中に発見されました。この露頭は、産業技術総合研究所による反射法探査(井上・岡村, 2010)から推定された海底活断層(珠洲沖セグメント)よりも南東側に位置し、北東-南西走向に40m以上連続します。比高は約50cm程度とみられ、北西側が高く、上部が下部よりも張り出した逆断層センスのずれを示しており、張り出した上盤からの崩落物も認められます。断層面には鏡肌および縦ずれ成分の卓越する条線が認められます。断層面および崩落物の破断面は風化を受けておらず、藻や底生生物が付着していないことから、この断層は観察の数か月以内に形成されたも

のであり、令和6年能登半島地震に関連する逆断層すべりによって形成された海底地震断層(主断層に対する副次的なバックラスト)であると考えられます。

輪島北西沖では、海底活断層(猿山沖セグメント; 井上・岡村, 2010)のトレース上に東北東-西南西走向の段差が確認されました(図2)。段差の比高は1m未満で、北側が深く南側が浅くなっています。段差の表面には礫や貝殻片などが露出しており、周囲の海底の表面に広く見られる褐色の被膜が乱されていることから、ごく最近に擾乱を受けたと推定されます。これらの産状と段差の位置とを考慮すると、この段差は断層変位に伴う撓曲崖であり、令和6年能登半島地震に関連する断層の変位で表面が崩壊したものと考えられます。

今回水中ドローンによる調査を行った3か所のうち2か所で、令和6年能登半島地震によるものである可能性のある海底面の段差が見つかりました。このことは、能登半島北部沿岸の広い範囲において、地震時の断層すべりが海底面に達したことを示唆します。

引用文献

井上卓彦・岡村行信(2010) 能登半島北部周辺20万分の1海域地質図及び説明書。



図1：珠洲岬北西沖の調査点における海底の段差（地震断層崖）を斜め上から見た画像。

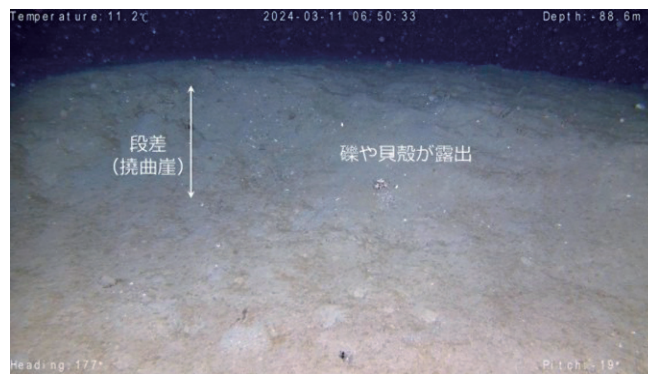


図2：輪島北西沖の調査点における段差（撓曲崖）を正面から見た画像。段差の表面には礫や貝殻が露出する。



マイクロ粘土鉱物のレオロジー特性

A01 実験物理班

波多野 恭弘 (大阪大学 大学院理学研究科)



2011年3月の東北地方太平洋沖地震では沈み込み帯浅部で大きなすべりが発生しましたが、その後の掘削調査により60%~80%程度のスメクタイト組成を持つ粘土質な断層帯が発見されています [Kameda et al., 2015]。このように粘土質な断層の強度とすべり安定性を理解するために、粘土鉱物のレオロジー特性が室内実験を中心に調べられてきました。

その一方で、室内実験や掘削調査からの知見をよりマイクロな観点から補うために、物理モデルに基づいたシミュレーション研究は有用です。そこで我々は、個別の粘土粒子を構成要素とする一種の分子動力学シミュレーションを用いて粘土鉱物の示す特異なレオロジーのマイクロな起源を研究しています。粘土鉱物粒子は複雑な形状と相互作用を持つことが知られていますが、ここでは粒子形状を円盤状の楕円体とした上で、水中イオンの静電的影響を実効的にモデル化した粒子間相互作用ポテンシャルを採用しています。その上で適当な初期緩和過程を経て剪断変形をかけることで、粘土モデルのレオロジーと微視的構造を調べることができます。

我々はまず一定剪断率のもとで定常状態を実現し、剪断率 $\dot{\gamma}$ や法線応力 σ_n に対する剪断応力 τ の依存性を調べました。調べた全てのパラメータ範囲内で、このモデルはHerschel-Bulkley型のレオロジー、 $\tau = \tau_0 + A\dot{\gamma}^\alpha$ を示すことが分かりました(ここで τ_0 、 A 、 α はいずれも正の定数)。すなわち、この粘土鉱物モデルの摩擦力は速度強化型(速度に対して正の依存性)ということ。「動的降伏応力」と呼ばれる定数 τ_0 は法線応力にほぼ比例して増大することも発見しています。指数 α は0から1の範囲にある非整数ですが、法線応力に対して減少します。指数 α が小さいと低速における摩擦力の速度強化度合いが強まるため、この結果は法線応力が高いほど安定性が増すことも示唆しています。

空間構造については、高いひずみ速度で剪断変形が均一にかかる一方、低いひずみ速度では剪断が局在化することが分かりました(シアバンド形成)。低いひずみ速度でのシアバンド発達は、各種先行研究における実験で見られている傾向に一致しています。中間的な速度においては、法線応力を上げるとシアバンドが形成されることも分かりました。

静止状態においては、円盤状粒子は引力相互作用によって積層構造を形成します。剪断をかける前の初期状態で発達した積層構造は剪断によって壊されますが、その破壊過程には比較的大きなひずみ(およそ150%程度)を必要とすることが分かりました。緩和のために必要なこのひずみ量は、初期状態からのすべり弱化的にかかるひずみ量と概ね一致します。

剪断を停止して系を静止させると、円盤状粒子の積層構造が静止時間とともに対数的に回復することも発見しました(図1)。こ

の構造回復過程にはある程度の空隙が必要なので、一定圧力条件下よりは一定体積条件下でより顕著になります。すべり弱化和積層構造の破壊が対応することをあわせ考えると、この積層構造の時間回復挙動は粘土鉱物における摩擦回復過程と密接に関係していることが予想されます。一定の静止時間の後に再び剪断をかける、いわゆるslide-hold-slideテストを実施すればこの積層構造回復挙動を摩擦の回復に直接結びつけることができるのですが、これは多少の技術的困難により現時点では実施できていません。この回復挙動のより精密な議論は今後の課題です。

粒子シミュレーションによって上記のような新たな発見がありましたが、これらは全てマイクロスケールでの挙動であることには十分留意する必要があります。特に、地質学的観察や実験室で観察されているような μm から mm スケールでの構造形成(葉状化やリーデルシアなど)は粘土断層の摩擦強度に大きな影響を与えるはずですが、そのような構造形成過程は粒子シミュレーションでは論じることができません。そのような影響を加味して総合的に粘土質断層の強度特性を論じるためには、マイクロからマクロに至るさまざまなスケールでの知見を総合しなければならないでしょう。

以上の結果の詳細はLin & Hatano(2024)にまとめられています。

引用文献

- Kameda, J. et al. (2015) *Geology*, 43(2), 155–158.
- Lin, Z. - Y., & Hatano, T. (2024) *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 129(9), e2024JB028850.

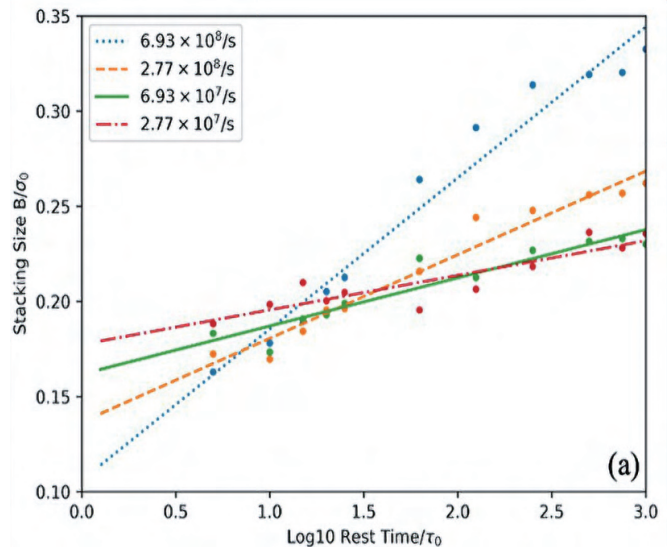


図1: 粘土粒子の積層構造サイズが時間とともに対数的に回復していく様子。異なるシンボルは剪断時のひずみ率に対応している。最も速く剪断をかけていた系だけ回復が早い、それ以外のものの回復挙動はほぼ同じである。



先進的探査・モニタリング・モデリング技術による地震の時空間的特徴の研究

A02 構造解剖班

辻 健 (東京大学 大学院工学系研究科)



私は、地震学に工学的なアプローチを取り入れ、地震が発生する場所の特徴化や、発生するタイミングを理解することを試みています。ここでは、その取り組みの一環として実施している(1)先端的な探査技術で南海トラフの断層帯をイメージングしてスロー地震の分布を特徴化した研究、(2)断層周辺の動態をモニタリングする研究、(3)断層の進化過程をモデリングすることを目指した研究を紹介します。

(1)イメージング:石油やガスの探査・開発では、地震探査データの解析技術が進展しており、断層などの地質構造のイメージング技術に加えて、弾性波速度を高精度で推定してガスの分布や間隙水圧を評価する技術も発達しています。図1aは、南海トラフの熊野海盆で得られた高解像度のP波速度分布を示しています。弾性波速度が低い場所はメタンガスの多い領域と推定されます。また、そのガス層の下にはプレート境界断層から分岐する大きな断層が存在し、ガスが断層に沿って上昇していることが明らかになりました。さらに、同様の解析により、プレート境界断層の下側には高い間隙水圧を持つ領域があることも判明しました(図1b)。この間隙水圧が高い領域の厚さをマッピングしたところ、その厚さが厚い場所にスロー地震が多く発生していることや、厚さの変化が顕著な場所でスロー地震が集中して発生していることも確認されました(図1c)。つまりスロー地震は、物理探査で明らかになった構造(高間隙水圧領域)に影響を受けていることが分かりました。

(2)モニタリング:地下の可視化や特徴化する技術に加えて、最近では光ファイバセンシング技術などのセンサ技術や計算環境の進展により、地殻内部の変化をモニタリングする試みも進んでいます。図1dはDONETで記録された微動データを用いて、南海トラフの付加体内部における弾性波速度の変化をモニタリングした結果です。地震が発生すると弾性波速度が低下することが示されており、これは地震によって堆積物内部の間隙水圧が上昇することが原因の一つと考えられます。さらに興味深い点は、地震などのイベントを除けば、長期的には弾性波速度が上昇していることです(図1dの黒矢印)。これはプレートの沈み込みに伴う歪みの蓄積を反映していると考えられ、精密なモニタリングによってプレート境界断層周辺の歪みの蓄積とその解放プロセスを把握できる可能性が示唆されています。現在、学生がこの課題に取り組んでおり、地震との関係など、興味深い成果が得られています。

(3)モデリング:モニタリング技術によって得られる情報が増えるにつれ、それを解釈する手法も重要になってきます。そこで

我々は、岩石のデジタル化とその内部の流体挙動や弾性的特性をモデリングする手法「デジタル岩石物理」の開発に取り組んできました。これにより、弾性波速度の変化から、流体挙動などの変化を解釈することが可能となります。この手法は当初は二酸化炭素の回収・地中貯留(CCS)といったプロジェクトを目的に開発していましたが、断層を含む亀裂系への応用や地震学にも貢献できると考えています。さらに最近では、分子スケールの数値シミュレーションを用いて流体の界面や鉱物化反応を計算し、その結果を岩石スケールのデジタルモデルにアップスケールする研究も進めています(図1e)。これにより、亀裂内部での二次鉱物の形成や、それに伴う水理学的・弾性的特性の変化をモデリングすることができ、モニタリングデータを定量的に解釈できるようになると思います。我々は、このアプローチを「デジタル岩石物理化学」と呼び、そのスキームの確立を目指しています。

ここでは、工学的な手法が地震学にも利用できることを示しましたが、一方で工学分野では理学的な知識が求められています。たとえば、CCSや地熱開発では誘発地震が課題となっており、その解決には理学的な知見が重要な役割を果たします。今後も、私は工学と理学的境界を越えて、地震などの謎に挑んでいきたいと考えています。

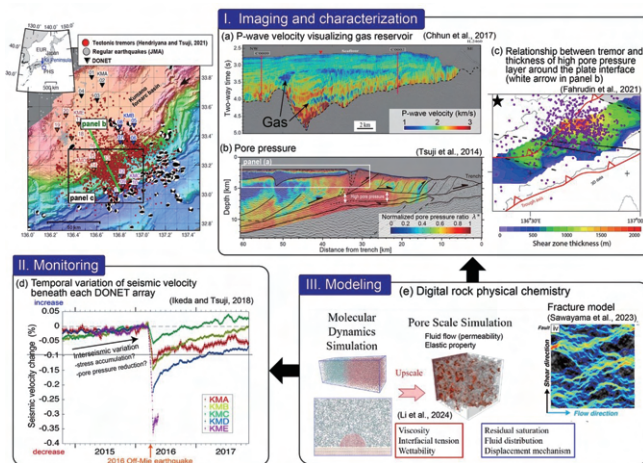


図1:南海トラフの地震の位置とタイミングを特徴化するためのイメージング、モニタリング、モデリングの研究。(a)熊野海盆のP波速度。場所はパネル(b)の白枠に対応する。(b)間隙水圧の分布。場所は地図上の緑線に対応する。(c)スロー地震と間隙水圧の高い場所の厚さの関係。(d)モニタリングで明らかになったDONET直下の弾性波速度の時間変化。5つのDONETアレイ毎に速度変化を表している。(e)デジタル岩石物理化学によるイメージング、モニタリングデータの定量的解釈に向けた試み。



沈み込み帯剪断帯に見られる石英脈濃集帯は スロー地震の痕跡か？

A03 国際比較班

矢部 優 (産業技術総合研究所 地質調査総合センター) 氏家 恒太郎 (筑波大学 生命環境系)



地震学的にスロー地震震源域の地下構造を推定した研究によると、スロー地震の震源域では高圧間隙流体が多量に存在していると推定されています(e.g., Shelly et al., 2006)。高温・高圧の流体にはシリカが溶解することができ、スロー地震の発生によって断層の透水性が上がり間隙流体の圧力が低下すると石英脈として析出している可能性があります(Audet and Bürgmann, 2014)。実際、地質学的研究によって、過去に沈み込み帯深部の剪断帯に位置していた地層において、石英脈が濃集している様子が観察され、高間隙流体圧下での剪断変形の特徴からスロー地震の痕跡ではないかと提案されています(e.g., Ujiie et al., 2018)。そこで我々は、現在実際に観測されるスロー地震の地震波を石英脈濃集帯によって説明できるのかを検討しました。

露頭で観察される石英脈濃集帯は数十-数百m程度の厚さがあり、露出状況から数km程度の広がりを持っていてもおかしくないと考えられています(Ujiie et al., 2024)。そのような石英脈濃集帯の中には1m四方程度の大きさの石英脈が無数に存在しています(図1)。一つ一つの石英脈の変位量は0.1mm程度と小さいものです。ここでは、これらの小さな石英脈が次々と連鎖的に破壊することで微動の地震波が放出される様子を、個々の破壊によって放出される地震波のモデリングと、スロー地震の特徴である拡散的な破壊伝播によるモデリングを組み合わせることでモデル化しました。その結果、石英脈濃集帯から放出されるシグナルの大きさは、実際に観測されるシグナルの大きさと整合的であることが分かり、石英脈濃集帯がスロー地震の痕跡であるという仮説をさらに補強する結果を得ました。

本研究が題材とした石英脈濃集帯は、沈み込み帯地震発生帯下

限付近からマントルウェッジより上部側にかけて存在するものです。しかし、スロー地震は沈み込み帯深部だけでなく、沈み込み帯浅部やトランスフォーム断層、衝突帯、内陸断層など、様々な環境に存在します。様々な沈み込み帯環境で発生するスロー地震の特徴には共通性が見られる(Takemura et al., 2024)ため、その発生メカニズムは特定のテクトニクス環境に依存したものではないことが予想されています。今回のモデル化において重要なことは、「石英脈濃集帯が存在すること」ではなく、「微小クラックのネットワーク構造が存在すること」とそのスケール感であり、本モデルはスロー地震一般に適用できると我々は考えています。マントルウェッジよりさらに深部の沈み込み帯剪断帯にも鉱物脈のネットワークが存在します(Okamoto et al., 2021)。また、沈み込み帯浅部においては、石英脈濃集帯と同程度のスケールの帯水層(空隙のネットワーク)の存在が推定されています(Hirose et al., 2021)。これらのことから、剪断帯において、スロー地震に対応する微小クラックのネットワーク構造が普遍的に存在するのではないかと考えています。

引用文献

- Audet, P., and Bürgmann, R. (2014) *Nature* 510, 389-392.
 Hirose, T., et al. (2021) *J. Geophys. Res.*, 126, e2021JB021831.
 Okamoto, A., et al. (2021) *Commun Earth Environ* 2, 151.
 Shelly, D. R., et al. (2006) *Nature*, 442, 188-191.
 Takemura, S., et al. (2024) *J. Geophys. Res.*, 129, e2024JB029168.
 Ujiie, K., et al. (2018) *Geophys. Res. Lett.*, 45, 5371-5379.
 Ujiie, K., et al. (2024) *J. Geophys. Res.*, 129, e2023JB027901.



図1：石英脈濃集帯の露頭写真。



海底測地のための新しい海面プラットフォーム

B01 新技術観測班

横田 裕輔 (東京大学 生産技術研究所)



1980年代にスクリプス海洋研究所のF. Spiessは、いくつかの海底測地技術を提案しました(例: Spiess, 1985)。そのうちの一つ、GNSS (Global Navigation Satellite System)-音響測距結合方式(GNSS-A)と呼ばれる手法は1990年以降の活発な研究(図1)により、海底の地殻変動をセンチメートル精度で観測することができるレベルに到達しました。この観測技術は、地震による地殻変動、東北沖地震の巨大な余効変動、南海トラフのすべり欠損分布と浅部スロースリップイベントを検出するなど、この10年で海底下のプレート境界のSlow & Fast地震の理解に不可欠なものとなりました(Fujita et al., 2006, Sato et al., 2011, Watanabe et al., 2014, Yokota et al., 2016, Tomita et al., 2017, Yokota & Ishikawa, 2020, Brooks et al., 2023)。近年では、水槽実験や電気回路依存性調査、信号分析によって機器依存性の解明も進み、水平のみならず1cm/year以下の長期的な微小上下動も検出できるようになっています(Yokota et al., 2024)。

この観測の最大のボトルネックは海洋工学的な部分にあります。この観測では、海面のプラットフォームがハイレートGNSSによって常時、自己位置を計測し、同時に海底に事前に設置した音響局と音響測距も行い、それらを結合することで海底の精密な位置を求めています。この海面プラットフォームには従来、船舶が用いられてきましたが、コストなどの拘束によって隔月以下の観測頻度しか達成できていません。係留ブイや自航式ブイも用いられていますが、強流域での観測が容易でなく、また緊急対応に難があります。このように海面プラットフォームには大きな開発要素が残されています。

私たちは、次世代の海面プラットフォームの一つの選択肢として、海面着水型のUnmanned Aerial Vehicle (UAV)による観測技術の研究を進めています(Yokota et al., 2023)。UAVは海面の自走能力も有しており、“飛行できる自航式ブイ”として取り扱うこ

とができるため、上述の海洋工学的課題を解決しうるものです。一方で、飛行するため、重量・空間的な拘束があり、装置のサイズ、配置、温度対策などの開発要素があります。また海洋音響分野としても扱ったことのない機体であるため、海面プラットフォーム側のマルチパス、ソナードームの構築など、海洋音響的な研究要素があります。私たちは水槽試験、海域試験を通して、多くの課題に対応しており、初年度の実験ではメートル精度しか実現していなかった観測精度が船舶と同様のセンチメートル精度に到達したことが確認されています(図2)。

この観測技術は未成熟であり、工学的に解決すべき課題を残しています。たとえば、レーダーのような高重量の装備がない状況で上空から海面環境を把握し着水する仕組みや、十分な視界を確保できない海面上のUAVから海面と風浪の環境を同時に把握し離水する仕組みの開発が今後の課題として挙げられます。後者については、UAVのみならず自航式ブイなどへも応用が可能です。こういった海面の自動観測技術は、今後、海洋計測・監視などの多くの海洋観測工学にも応用される可能性があり、本研究課題は、固体地球科学にとどまらず、広くinterdisciplinaryな工学的発展を拓く研究と言えます。

UAVに限らず、Wave Gliderや新型の自航式ブイの開発など、船舶の“次”の世代を担う海洋観測プラットフォームの研究は近年、ようやく進みつつあります。海底測地学は、それぞれの特徴ある技術のコラボレーションによって、より正確な海底下プレート間の状態監視の実現を目指しています。

引用文献

Spiess, F. (1985) IEEE TGRS, GE-23, 4, 502-510.
 Fujita, M. et al. (2006) Earth Planet. Space, 58, 265-275.
 Sato, M. et al. (2011) Science, 332, 1395.
 Watanabe, S. et al. (2014) Geophys. Res. Lett., 41, 5789-5796.
 Yokota, Y. et al. (2016) Nature, 534, 374-379.
 Tomita, F. et al. (2017) Sci. Adv., 3, e1700113.
 Yokota, Y. & Ishikawa, T. (2020) Sci. Adv., 6, eaay5786.
 Brooks, B. et al. (2023) Sci. Adv., 9, eadf9299.
 Yokota, Y. et al. (2024) Earth Planet. Space, 76, 97.
 Yokota, Y. et al. (2023) Sci. Rep., 202313, 4105.

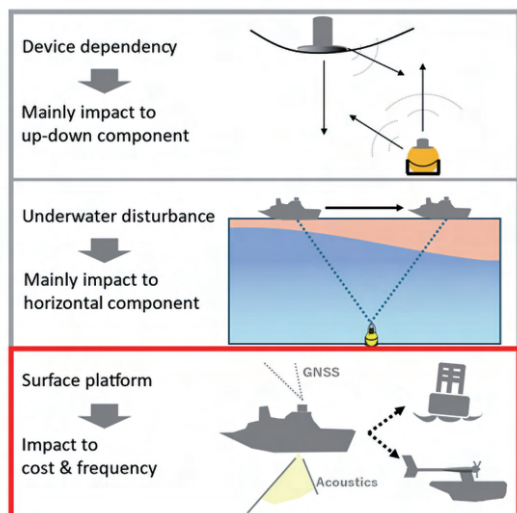


図1: GNSS-A観測の課題。

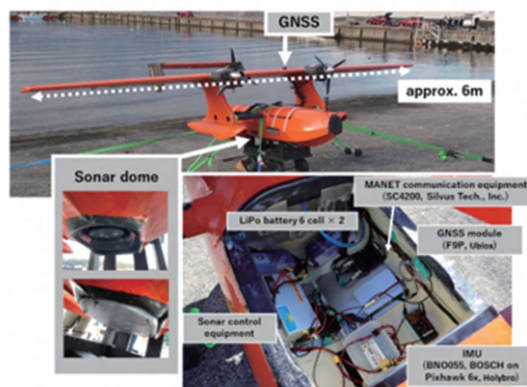


図2: GNSS-A観測を行うためのUAV。



教師なし学習を用いた連続波形記録からのテクトニック微動の自動分類

B02 情報科学班

小寺 祐貴 (気象庁 気象研究所)



地震計の連続波形記録には、自然地震、人為的活動、機器ノイズといった様々な波形が記録されています。連続波形記録を自動的に分類することができれば、地震計周辺の地球物理的現象の理解や、リアルタイム処理で用いる観測機器の品質管理などにつながると期待されます。私達は、様々な観測環境下に設置された地震計に適用可能となるよう、テンプレートやデータベースを事前に必要としない、教師なし学習による連続波形記録の自動分類手法の開発を行っています。本記事では、テクトニック微動の分類を目的として本手法を適用した研究について紹介します。

教師なし学習による自動分類手法は(1)特徴抽出、(2)周波数領域でのクラスタリング、(3)時間領域でのクラスタリング、の3つの処理に分かれます(図1)。(1)の特徴抽出では、ランニングスペクトルを特徴量として採用しています。4秒窓でランニングスペクトルを0.1秒ごとに計算し、10段階の周波数帯域に分けたフィルタバンクに通すことで、10次元ベクトルに変換します。(2)の周波数領域でのクラスタリングでは、データ圧縮を行います。周波数空間上において、データ母集団から代表点を2000点選び、各データを最近傍の代表点に所属させることでクラスタリングを行います。代表点はデータ母集団からのランダムサンプリングで決定しますが、データ不均衡(定常ノイズのデータ数が最多)の影響を抑えるため、データ同士の距離に基づきデータをいくつかのグループに分けた上で、それぞれのグループから代表点のサンプリングを行う工夫をしています。(3)の時間領域でのクラスタリングでは、時間的な近接性をもとにクラスタリングを行います。マルコフ連鎖を仮定した遷移行列をもとにカーネル主成分分析を行った後、Ward法による階層クラスタリングを行います。最

終的には、デンドログラムを最大高さの1/4でカットした結果を分類結果として出力します。

本手法をテクトニック微動が含まれる海底地震計の連続波形記録に適用し、テクトニック微動がどの程度抽出可能かを検証しました(図2)。同記録は、2004年紀伊半島沖地震の余震観測用に展開された臨時の海底地震計で観測されたもの(山崎・他、2008)であり、余震の地震波形のほか、浅部テクトニック微動の波形も記録されています(Tamaribuchi et al., 2019)。5観測点それぞれで1週間分の連続波形記録に対して手法を適用したところ、どの観測点においてもテクトニック微動がバックグラウンドノイズや余震とは異なるクラスに分類されることを確認しました。また、人の手によって作成されたテクトニック微動のカatalogと比較したところ、87%の検出率でテクトニック微動を識別できていることが分かりました。この結果は、周波数と時間的な特徴をうまく組み合わせることで、テンプレートといったデータベースが事前に無くても、テクトニック微動を自動的に検出できることを示しています。一方で、本手法では地震のコーダ部をテクトニック微動と混同するといった事例も見られました。今後は分類精度を向上させるため、特徴量の更なる見直しなどを行いながら手法の改良を進めていく予定です。

引用文献

- 山崎・他(2008) 気象研究所研究報告, 59, 65-82.
- Tamaribuchi et al. (2019) Geophys. Res. Lett., 46(23), 13737-13745.

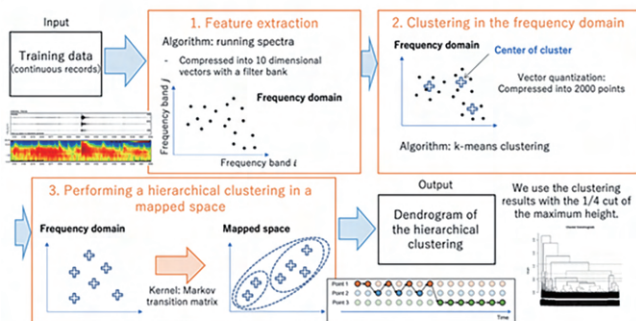


図1: 提案手法の概要。(1)特徴抽出、(2)周波数領域でのクラスタリング、(3)時間領域でのクラスタリング、の3つの処理に分かれている。

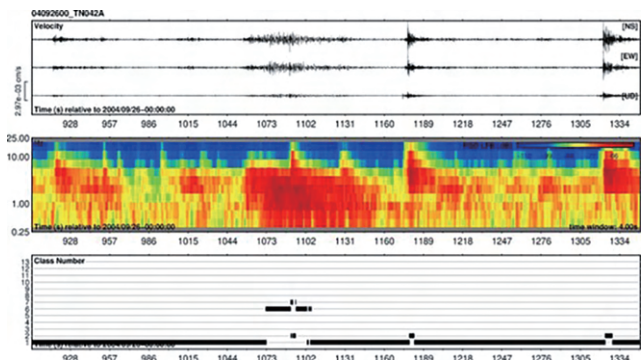


図2: テクトニック微動が含まれる海底地震計の連続波形記録に適用した例。上は加速度波形、真ん中はランニングスペクトル、下はクラス分類結果を表す。テクトニック微動はクラス6に分類されている。



2011年東北地方太平洋沖地震直前の地殻変動の検証

B03 モデル予測班

廣瀬 仁 (神戸大学 都市安全研究センター)



巨大地震発生直前のスロースリップ（先駆すべり）を測地学的手段（例えば、測地測量、ひずみ計、GNSSなど）で捉えようとする試みは古くから行われてきています。それを地震発生前に検知できれば、直前予測に有用と考えられるためです。また地震の始まりのプロセスを知るためにも重要な観測事例になると考えられます。しかしながら、巨大地震発生の数日前・数時間前などの短期的な時間スケールにおいて、信頼性の高い先駆すべりの観測事例はほとんどありません。

最近、Bletery & Nocquet (2023; 以下BN23と表記) はハイレートGNSS（通常のGNSS測位では1日間のデータから1つの座標を求めています、それに比べて短い時間間隔で座標を求める手法です;彼らが用いたのは5分間隔）データの重み付きスタッキング解析により、2011年東北地方太平洋沖地震の本震発生約2時間前から、震源付近での加速的な先駆すべりがあったと解釈できる地殻変動を見出したと報告しました(図1A)。一方、Bradley & Hubbard (2023) は、同じハイレートGNSSデータを用い、GNSS特有のノイズ（共通モード誤差）を低減するデータ処理を施した後にBN23と同じスタッキング解析を行うと、BN23が報告したような本震直前の加速的な変動は見られなくなったという検証結果を報告しました(図1B)。

我々はBN23が主張するような本震直前の地殻変動の有無を、防災科学技術研究所Hi-netによる傾斜記録を用いて調査しました(Hirose et al., 2024)。この目的は、GNSSデータに特有のノイズの影響を受けていない、GNSSとは独立したデータセットを用いてBN23と同様なデータ解析を行い、BN23で主張されているような地殻変動が見られるかどうかを検証することです。

事前に潮汐成分を除去した傾斜記録にBN23のスタッキング手法を適用した結果が図2です。3月9日11:45(図2に表示した期間の直前)に最大前震(M7.3)が発生しており、それ以降活発に

なった前震による震動がスパイク的な変化として表れているのが目立ちます。しかしながら、それら以外に顕著な変化は見当たらず、特にBN23が主張するような本震発生2時間前からの加速的な変動は見られません。

もっとも、図2で見られないことをもって本震の先駆すべりは無かった、と結論付けることはできません。その理由は、観測データには必ずノイズが含まれており、そのノイズ以下の大きさの信号は、あったとしても検知することができないためです。そこで、図2Bに示した（前震活動が活発化する前の期間の）データのノイズレベルを評価したところ $5.0 \times 10^{18} \text{Nm}$ でした。一方、BN23が示した加速度的な変動の大きさは地震モーメントに換算すると $2.9 \times 10^{19} \text{Nm}$ ですので、このノイズレベルを超えており、そのような先駆すべりがあればこの傾斜スタッキング結果に記録されているはずだということが分かりました。

これらのことから、本研究の結果は、Bradley & Hubbard (2023)が指摘するように、BN23の本震直前の加速的な変動はGNSSデータに含まれるノイズの可能性が高いということをサポートする結果です。またそうであっても東北地方太平洋沖地震直前の先駆すべりの存在自体を否定することはできませんが、それがあったとしても、その規模は上記のノイズレベル以下でなくてはならない、という意味で、先駆すべりの上限の大きさを制約したという意義があります。

引用文献

Bletery, Q. & Nocquet, J.-M. (2023) *Science*, 381, 297-301.
 Bradley, K., & Hubbard, J. (2023) *Earthquake Insights*, doi:10.62481/310cc439
 Hirose, H. et al. (2024) *Geophys. Res. Lett.*, 51, doi:10.1029/2024GL109384

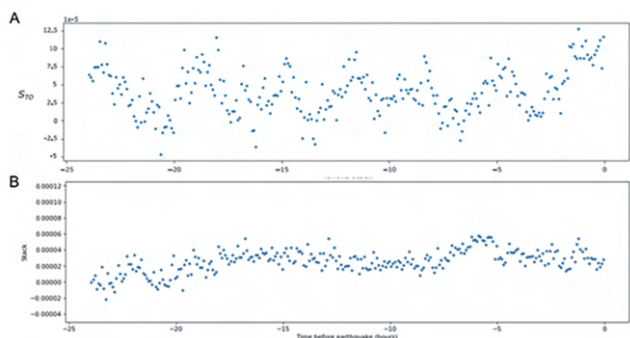


図1：本震発生前24時間のGNSSデータに対するスタッキング処理の結果。(A) Bletery & Nocquet (2023) による結果。(B) Bradley & Hubbard (2023) による結果。

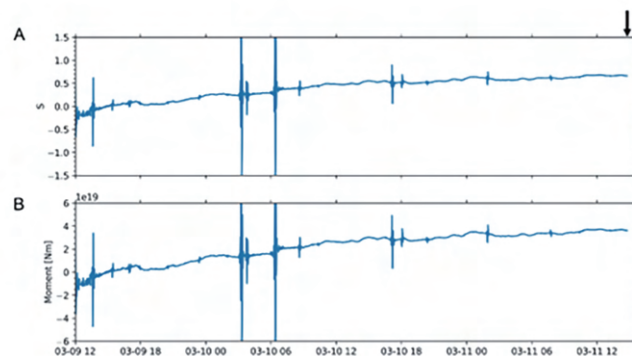


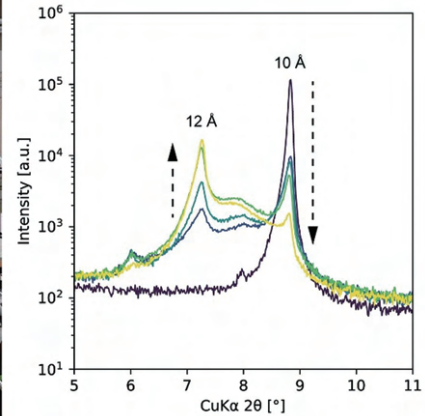
図2：本震発生前約51時間の傾斜記録に対するスタッキング処理の結果 (Hirose et al., 2024)。図上部の矢印は本震発生時を示す。(A) 指標S(t)。(B) 指標S(t)を震源での地震モーメントに換算したものの。

公募研究A01

物質変化に伴う変形特性変化の解明に向けた流体岩石反応実験

奥田 花也 (海洋研究開発機構 高知コア研究所)

スロー地震や巨大地震を発生させる沈み込むプレート境界では、流体と岩石が反応することによる物質変化が起こり、それに伴って岩石の変形特性が変化していきます。この物質変化と変形特性の変化が沈み込み帯の地震活動の深度変化に対応する可能性が指摘されており、これまでの研究では、物質変化前後の純物質をそれぞれ別個に用いて物質変化と変形特性の変化の関連が調べられてきました。しかし、天然に産する岩石を観察してみると、物質変化の様式によって粒径や物質の混合状態などが複雑に変化しており、単純に物質変化前後の純物質を用いても天然でおこる物質変化の状況が再現できていません。本研究では、流体岩石反応実験を行い、天然で実際におきている物質変化を再現します。そのうえで変形実験を行うことで、物質変化と変形特性の変化の関連と沈み込み帯の地震活動の支配要因に迫りたいと考えています。これまでのところ、沈み込み帯の浅部のスロー地震域から巨大地震発生帯への遷移に関係する可能性がある、粘土鉱物や斜長石の変質過程に着目して研究を進めています。



図：(左) 流体岩石反応実験に使用する攪拌式水熱反応容器（東北大学設置）。(右) 化学的処理による粘土鉱物の変質実験結果。変質に伴い結晶構造が変化する様子が見られる。

公募研究A01

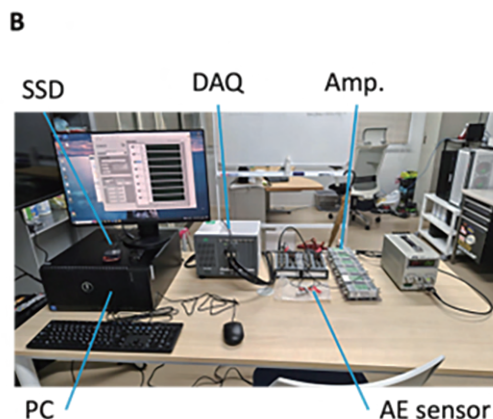
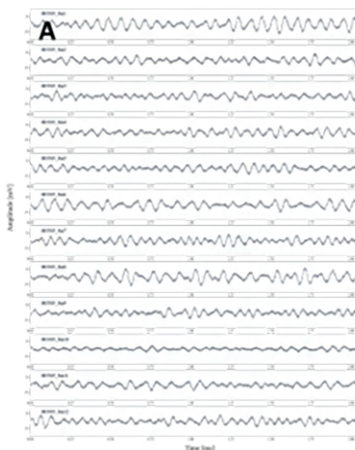
間隙水圧とSlow地震の関連性解明のための室内岩石実験の完遂

椋平 祐輔 (東北大学 流体科学研究所)

近年、地下に注水を行う資源工学分野でもSlow地震に類似した現象が多く観測されており、より明示的に流体の関与が明らかになってきています。我々は60cm立方体の大型岩石試験片に注水機構を設けた実験装置を用いて誘発地震の研究を行っています。この装置では、注入した間隙水圧を断層面に閉じ込めることが可能であり、実際の地下に近い間隙水圧の分布を再現していると考えています。

本研究では、これまで断層面直下の溝に設置した歪みゲ

ージにより、Fast地震に相当する断層滑りの前に、注水点付近からせん断歪みが徐々に解放されていることを発見しました。さらに、AEの連続収録が可能な収録装置を導入して、注水に伴い発生するAEや、Slow地震に関連する弾性波を網羅的に計測することを目指しています。歪みや間隙水圧の分布と共に、室内実験スケールでのSlow地震からFast地震へのトランジションの挙動を包括的に明らかにする予定です。



図：A 実験中に取得された低周波が卓越した振動。Slow地震に相当する滑りに伴い放出されている可能性がある。B:導入した連続AE計測システム。2MHz、18bit、16chで1hの計測が可能になった。

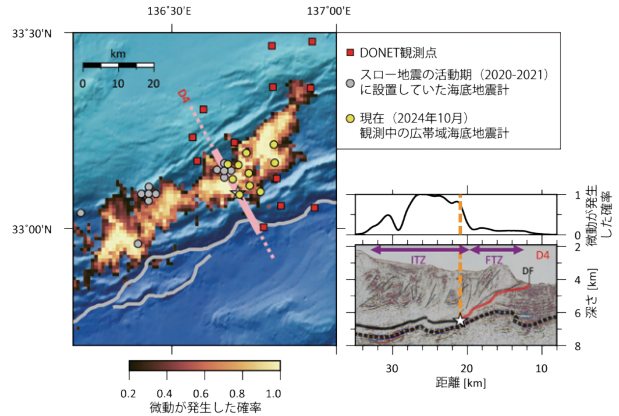
公募研究A02

浅部テクトニック微動の活動に影響を及ぼす地質構造の解明

悪原 岳 (東京大学 地震研究所)

スロー地震の一種であるテクトニック微動は、地震波形記録上に微弱なシグナルとして検出されます。そのシグナルが非常に弱いため、発生場所を正確に特定するのは難しく、地質構造との対応関係も十分に解明されていません。紀伊半島南東沖の熊野灘では、海底ケーブル式地震観測網(DONET)が約10年間稼働しており、スロー地震の活動パターンが大まかに把握されています。また、この地域では構造探査も積極的に進められており、地下構造の高解像度なイメージングが行われています。このような理由から、熊野灘はスロー地震の発生環境を調査するための絶好のフィールドとなっています。

私たちの研究グループでは、2019年から熊野灘に自己浮上型海底地震計を密に設置し、およそ5年ごとに繰り返し発生する大規模なスロー地震活動の待ち受け観測をしています。このデータをもとに、テクトニック微動の高精度震源決定、3次元地震波(とくにS波)速度構造の推定を行い、テクトニック微動の発生や活動パターンに影響を及ぼす地質構造の解明を目指しています。



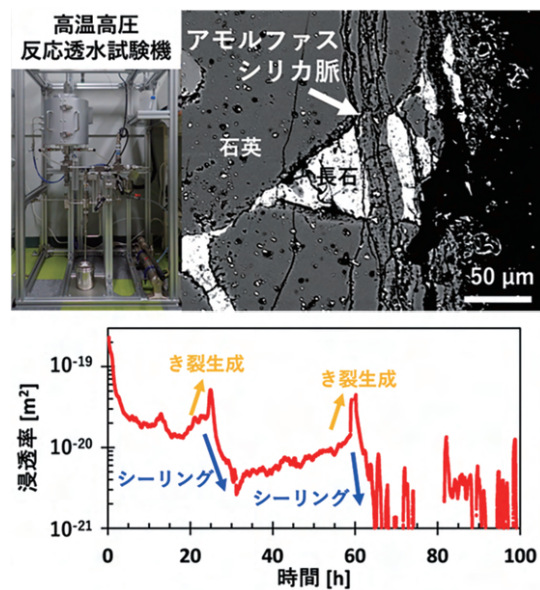
図：2020年12月に熊野灘で活発化したテクトニック微動および地震観測点(左)。テクトニック微動と地質構造の対応(右)。

公募研究A02

クラックシール実験によるSlow-to-Fast地震発生領域のシリカシーリング過程と時間スケールの解明

宇野 正起 (東北大学 大学院環境科学研究科)

シリカによる断層帯のシーリングは、流体圧上昇の主要なメカニズムと考えられており、シリカシーリングはプレート境界のSlow地震や微小地震の再来周期を規定する重要なプロセスと考えられています。しかしながら、高温高压下におけるシリカシーリングを実験的に捉えた例は無く、その素過程と時間スケールはよくわかっていないのが現状です。本研究では、高温高压条件下で岩石に流体を「流す」独自の流通式反応実験によりSlow-to-Fast地震発生域の温度条件でシリカシーリングに挑戦します。破碎された岩石に対して反応透水試験をおこなった予察的な実験からは、極めて高い流体圧勾配の元では、わずか数日程度で浸透率が2-3桁減少し、流体圧が振動しながらシリカ脈が繰り返し形成することがわかってきました(図)。これらの実験と天然のシリカシーリング脈(石英脈)を比較・解析することで、Slow-to-Fast地震発生帯における断層帯シーリング過程とシーリング時間に迫ります。



図：高温高压反応透水試験機と予察的な実験で生成したシリカ脈。反射電子像からは複数のシリカ脈が生成している様子がわかる。浸透率のモニタリングからは2回のシリカシーリングと浸透率上昇が認められ、き裂生成とシリカ沈殿によるシリカ脈の形成に対応していると考えられる。

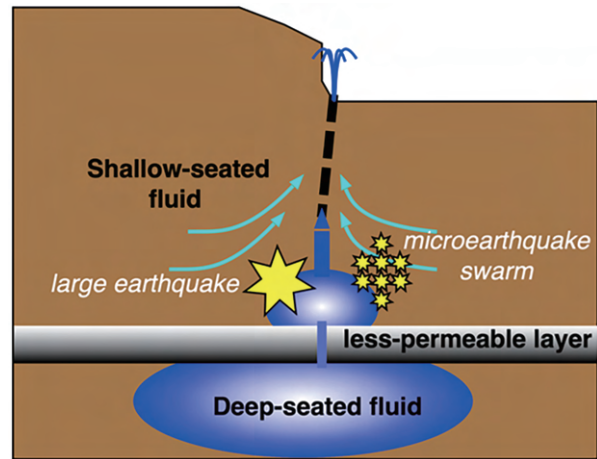
公募研究A02

地震発生に関わる地殻流体の同位体地球化学研究

西尾 嘉朗 (高知大学 総合科学系)

群発地震や巨大地震に関わる地下の流体については起源や動きなど多くのことは不明のままです。地震波速度構造や電気比抵抗構造といった地球物理学的知見は地下深部の流体の分布を私達に視覚的に示してくれますが、流体の起源部や移動といった流体密度が低い領域の調査には不得手でした。そこで、温泉水等の地下水試料の地球化学的知見を併せて用いることで群発地震や巨大地震に関わった地下の流体の起源や動きをより高度にせまることが期待できます。しかし、地表で採取する地下水試料には雨水等の地表水や海水が含まれています。水の水素や酸素の同位体比のような地下水研究で伝統的に用いられてきた指標は地表水や海水の混入の影響を強く受けます。本研究計画で用いるリチウム(Li)の同位体指標は他の地球化学ツールに比べて地表水混入の影響を受けにくいので、地下の流体の起源や動きに関してより高度な知見を私達に提供してくれます。このLiを含む複数元素の同位体指標を用いて地下深部に由来する流体が地震発生に関与した可能性が指摘されている能登半島の温泉水の起源を探ります。さらに四国中央構造線

付近の地下水試料の時系列観測結果を周辺の地震活動と比較することで、地震活動に関与する地下の流体の起源や動きを明らかにします。



図：地下水の複数同位体から地震発生に関与する深部流体環境を探るとりくみ

公募研究A02

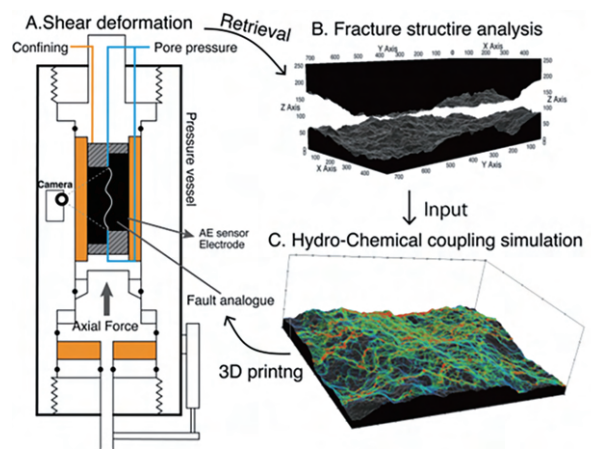
高間隙水圧帯の実態: せん断試験と数値解析による連成アプローチ

澤山 和貴 (京都大学 大学院理学研究科)

様々な観測から、スロー地震発生域と高間隙水圧帯が関連している可能性が議論されています。例えば、過去に高間隙水圧を経験した痕跡は石英脈から、現在の地下の水圧は地震波速度によってそれぞれ推定されています。これらの実態を明らかにするためには、両者の関係性を理解する必要があります。本研究では、室内せん断試験と数値解析を組み合わせた連成スキームを構築することで、高間隙水圧帯の実態とその観測可能性に迫ることを目的としました。実験室では石英脈の成長を追うことが時間的に難しい一方、数値解析では破砕帯の進展を精緻にシミュレートすることは困難です。本スキームでは、破砕帯の進展は実験室で行い(図A)、その構造をインプットした数値解析により時間スケールを加速させます(図B)。析出反応を計算した結果から3Dプリンタ試料を作製し(図C)、さらに断層すべり実験を繰り返します(図A)。これらのプロセスにおける物性値の変化を計測し、地質学的観察結果と地球物理観測を橋渡しするようなアウトプットを目指します。

これまでの予察的な数値解析から、粗い断層面では溶解/沈殿反応が加速すること、溶解と沈殿に応じて浸透率・地震波速度・電気比抵抗がそれぞれ異なる挙動を示すことが明

らかとなりました。今後は年度内に完成する予定の室内せん断試験機を用いた実験と組み合わせることで、これらと断層強度との関係についても迫っていく予定です。



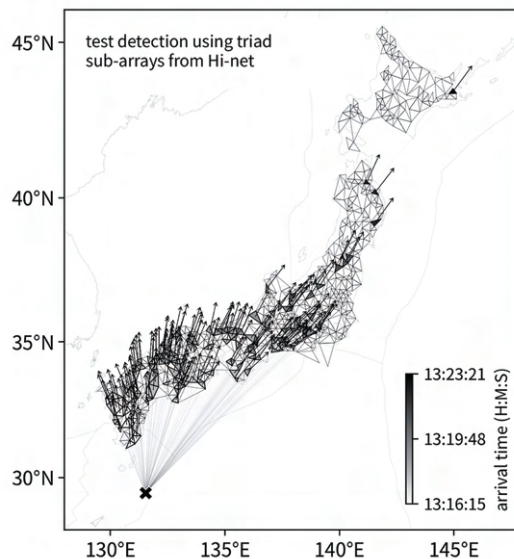
図：本研究で構築するせん断試験と数値解析の連成スキームの概略図。

公募研究A03

「あたり」をつけないデータ駆動型の震源検出・震源過程解析

奥脇 亮 (筑波大学)

ときには数日かけてゆっくりとエネルギーを解放する Slow地震と、たったの数秒で膨大なエネルギーを解放する Fast地震、その2つのモードに対して、それぞれの発生を支配するプロセスが個別に明らかにされつつあります。しかし、とくに Slow地震発生プロセスに関する議論は、沈み込み帯など特定の発生場に限定され、検出手法をはじめとする観測限界に依存している可能性を排除できません。一方で近年、Slow地震検出とは全く異なるアプローチにより、地震波形データの大部分を占めるノイズから、低気圧の通過に伴って海底で発生する微動や地すべりなど、様々な環境で、地震波形ノイズに隠れた非地震性震源の存在が指摘され始めています。そこで本研究課題は、日本や世界の稠密な地震観測網を使って、震源のタイプや発生場に「あたり」をつけず、Slow地震に関する事前情報を用いないデータ駆動型の震源検出・震源過程解析を行います。発生場や既知のメカニズムに縛られることの無いアプローチで震源を解析し、その国際比較を行うことで、SlowからFastへと至るすべり運動の統一的理解を目指します。



図：Hi-net 高感度加速度計データを用いた検出デザイン（三組アレイ）と、既存のカタログに記載のない未知の震源のテスト検出例。×印が検出した震源の位置、矢印は波の到来方向、三組アレイの色は波の到達時刻。

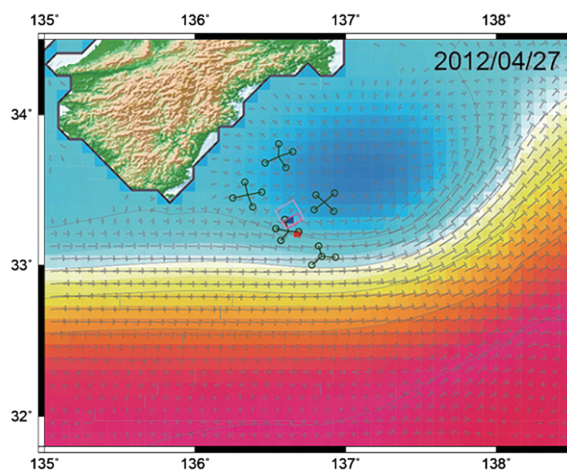
公募研究B01

機器特性・環境擾乱にも耐えられる海底圧力データ解析手法の開発

有吉 慶介 (海洋研究開発機構 海域地震火山部門)

南海トラフ(熊野灘)で観測されている孔内間隙圧は、陸域観測網では捉えることが困難な浅部の歪解放過程:スローリップイベント(SSE)をリアルタイムで検出できる数少ないデータとなっています。一方で、間隙圧は孔内・孔口・海底(DONET:地震・津波観測監視システム)に設置された水晶振動式水圧計から計測するため、(a) 外部擾乱、(b) 機器特性ドリフト、(c) 地震動、の影響を受け、時にはSSEの断層モデル推定が困難となる場合があります。本研究は、これらノイズに対して、(a) 海洋モデルJCOPEを用いた定量評価、(b) 室内環境実験、(c) 広帯域地震計との比較検証、の解析を国際協力の元で要因説明と軽減化を図ります。

今年度の成果として、(a)JCOPEの再解析データと海底・孔内の水圧計データを比較することにより、SSEの多様性が黒潮蛇行に伴う海洋擾乱によって励起された可能性を示しました(図を参照)。この成果はテキサス大学オースティン校との共同研究の一環となっています。今後も国際共同研究を深化させる予定です。



図：JCOPEから算出された海面高度異常(カラー:[実際の海面高度]-[平均海面高度])と流速(矢印)の空間分布。ピンクの濃淡は2012年2月から発生したSSEの断層モデル(Ariyoshi et al., 2024)。丸はDONET海底圧力計、青と赤の四角は孔内観測点を示します。黒潮蛇行の反流に伴う低気圧性循環の発達により、海面高度が4月下旬まで低下し、それによって海底圧力の単調減少が継続しました。これに伴って摩擦力が低下し、SSEの発生規模の割には長期間継続していた可能性を指摘しました。

公募研究B02

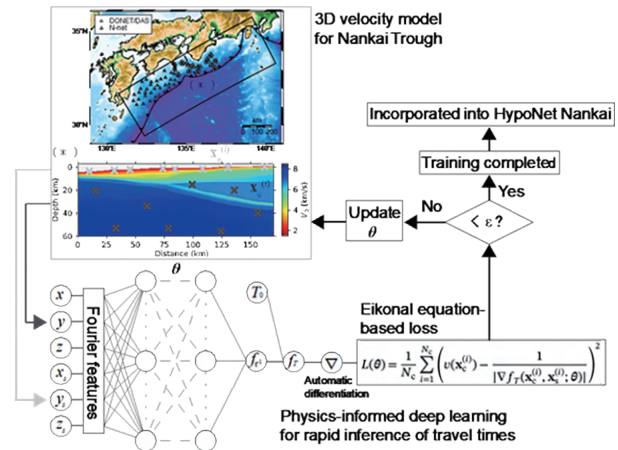
物理情報深層学習に基づく南海トラフ域での高速震源決定ツール開発

縣 亮一郎 (海洋研究開発機構 海域地震火山部門)

巨大地震の発生が予測される南海トラフ域において正確な震源決定解析を行うことは、地震ハザード予測と地震現象の科学的理解向上の観点から重要です。震源決定の精度向上のために必要となるのが、震源から地球表面の観測点までの地震波到達時間(走時)の正確な計算です。走時の正確な計算のためには、沈み込み帯下の3次元的不均質な地震波速度構造を計算に反映させる必要があります。しかし必要な計算コストと労力の大きさから、より簡便な計算で可能な単純化された速度構造による震源決定が広く行われています。

本研究では、物理情報深層学習(physics-informed neural network, PINN)という機械学習手法を用い、南海トラフ域の3次元速度構造を反映させた高速かつ手軽な走時計算・震源決定ツール「HypoNet Nankai」の開発を進めています。HypoNet Nankaiは、モデル化対象領域内のそれぞれ地下と地球表面の任意の場所に位置する震源と観測点の間の走時を、南海トラフ域速度構造向けに学習した深層学習モデルを内蔵します。この学習には教師データは必要なく、アイコナル方程式の記述する走時に関する物理法則がPINNにより組み込まれています。学習にはある程度の計算資源を要しますが、使用時は小規模計算環境で瞬時に任意

の震源・観測点間の走時を出力可能であり、高速かつ手軽な震源決定を実現します。



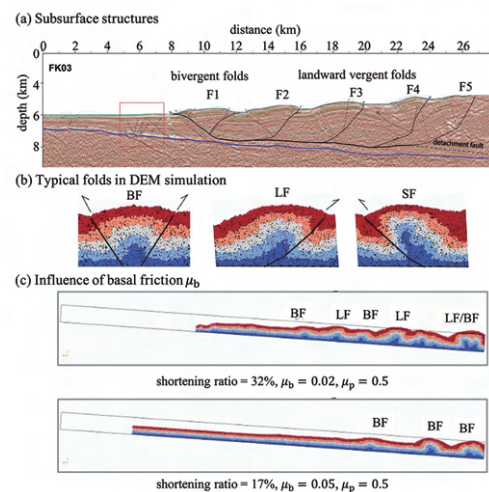
図：HypoNet Nankaiの内蔵する走時深層学習モデルの概念図。震源・観測点ペアに対して走時を予測する深層学習モデルを構成する。3次元速度構造モデルから震源・観測点ペアのサンプルを生成し、各ペアに対する走時予測値に対する支配方程式(アイコナル方程式)の残差を評価する。残差の二乗和などにより構成される損失関数が十分に小さくなるまで、深層学習モデルを訓練する。

公募研究B03

沈み込み帯の断層の傾斜方向を制御するものは何か？ - 数値サンドボックス実験から洞察を得る

Jian Chen (海洋研究開発機構 数理科学・先端技術研究開発センター)


スマトラ島やカスカディア沈み込み帯などの付加体は複雑な変形構造を示し、海側に傾斜する衝上断層が浅い地震の破壊と関連していることがよくあります。科学的に興味があるのは、これらの断層の傾斜パターンを決定する主要な制御要因です。この研究では、離散要素法(DEM)を使用して実際に観測された衝上断層を再現し、沈み込みプロセスをシミュレートする数値サンドボックスモデルを作成します。私たちは、付加体のウェッジ形状(バックストップと傾斜角)、堆積物の特性(摩擦コントラスト、転がり抵抗)、間隙流体の潤滑などのパラメータを体系的に変化させることにより、これらの要因が断層の傾斜方向(フェルゲンツ)にどのように影響するかを解明することを目指しています。DEMシミュレーションを使用したアプローチでは、転がり抵抗と流体潤滑という新しい機能も導入されています。これらのひずみの局在化と断層の傾斜方向に対する影響は、まだ十分に理解されていません。この研究は、シミュレーション結果と地質学的観測を統合することにより、付加体ウェッジの傾斜パターンの重要な制御について新たな洞察を提供し、沈み込み帯プロセスのより深い理解に貢献することを目的としています。



図：(a) 中央スマトラ沈み込み帯の未破壊帯の地下構造。ウェッジの先端にある分岐褶曲と陸側の褶曲は、地震の破壊が浅い深さまで伝播した場合、将来の津波発生に寄与する可能性がある。(b) 数値サンドボックス実験で観察された典型的な褶曲: BF, LF, SFはそれぞれ、両方向、陸側、海側の傾斜(フェルゲンツ)を表します。(c) 粒子間摩擦 μ_p が一定の場合の変形構造に底部の摩擦 μ_b が及ぼす影響。この研究では、ウェッジの形状や流体潤滑など、他の制御要因の影響をさらに調査します。

■ NL vol. 3発行後に加わっていただいたメンバーをご紹介します。

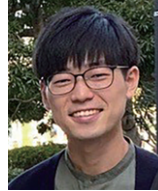
A02班 公募研究代表者



中島 淳一
東京科学大学理学院・教授

専門：地震学
沈み込み帯の地震テクトニクス、
地震波トモグラフィ


A02班 公募研究代表者



赤松 祐哉
海洋研究開発機構海域地震火山部門・研究員

専門：岩石物性
キーワード：クラック、流体移動、地震波速度


A02班 公募研究代表者



西尾 嘉朗
高知大学総合科学系・准教授

専門：地殻流体科学、同位体地球化学
キーワード：地球内物質循環、地殻深部流体、
地下水


A03班 協力者



Bogdan Enescu
京都大学大学院理学系研究科・准教授

専門：地震学
キーワード：地震活動、誘発地震、地殻構造


A03班 公募研究代表者



奥脇 亮
筑波大学・助教

専門：地震学
キーワード：震源過程解析


A03班 公募研究代表者



吉田 圭佑
東北大学大学院理学研究科・准教授

専門：地震学
キーワード：地震発生機構、地殻応力、流体


A03班 協力者



Isaiás Bañales
京都大学防災研究所・特定研究員

専門：ベイズ統計学、確率シミュレーション
キーワード：MCMC、減衰則、ETAS モデル、
ニューラルネットワーク


A03班 協力者



Thomas Yeo
筑波大学理工情報生命学術院・常勤研究員

専門：構造地質学、テクトニクス
キーワード：地殻変動、延性変形、破砕


B01班 公募研究代表者



有吉 慶介
海洋研究開発機構海域地震火山部門・主任研究員

専門：地震学
キーワード：海底地殻変動、すべり伝播過程の
理論解析、海洋擾乱


B01班 協力者



伊東 優治
東京大学地震研究所・助教

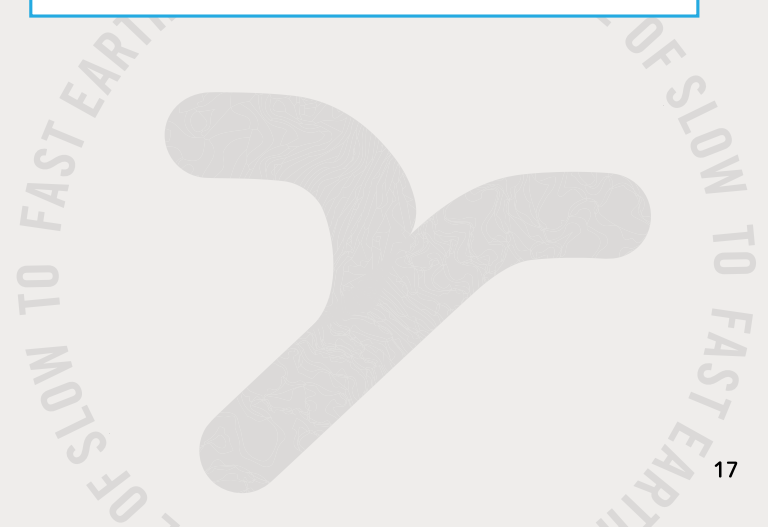
専門：地殻変動論
キーワード：GNSS、スロー地震、地震サイクル

B01班 公募研究代表者



馬場 慧
海洋研究開発機構海域地震火山部門・ポスドク
トラル研究員

専門：スロー地震学、海域地震学
キーワード：スロー地震、海域地震観測、
分布型音響センシング (DAS)





International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2024(別府集会)

東京大学 大学院理学系研究科 井出 哲

本年度の国際研究集会、International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2024を、別府市ビーコンプラザにて9月17日から19日に開催しました。集會に先立ちプレ巡検や若手イベント、集會後にはポスト巡検も行われ、盛りだくさんの1週間でした。

今回は、前計画スロー地震学の2019年の仙台集會以来、5年ぶりの完全オンサイトの集會でした。国内外から多くのご参加をいただき、参加者総数は205名と、過去最大のイベントとなりました。今年のSpecial Topicはプログラム順に以下の3つでした。

- The 2024 M7.6 Noto earthquake and seismic swarm
- Induced or controlled earthquakes, -What determines the initiation of slow and fast earthquakes? -
- Fault rheology of plate boundary at laboratory, outcrop, and geophysical exploration scales

初日のトピック、能登半島地震は言うまでもなく日本にとって重要な地震です。国内の研究の最前線の紹介だけでなく、近年特に研究が進んでいるイタリアの地震と比較して議論できました。二日目、Induced earthquakeでは、誘発地震現象に関わるVein、Clayや水などの物質についての観察、実験、理論的な研究成果が紹介されました。最終日は実験室と天然をつなぐという観点で様々な沈み込み帯についての研究成果が紹介されました。その他、合計32件の口頭発表がありました。

ポスター発表は153件でした。大変盛況な議論が繰り広げられた一方で、議論の時間が足りないという感想も多数いただきました。少々編成の工夫が必要だと考えています。2日目のブレイクアウトセッションでは6件のテーマに分かれて議論を行いました。深い議論や結論に至るにはやや時間が短かったですが、ネットワーキングのき

かけや、研究分野の抱える問題点について共有するのには役立ったようです。

初日のパーティも盛況でした。さらに今回開催地に選んだ別府市の街としての規模は参加者間の交流を深めるためにも良かったようです。通りのあちこちで参加者同士が出会い、意気投合して盛り上がるという場面が繰り広げられました。海外の参加者はもちろん、日本人にとっても魅力的な街でした。

今回の集會は、東京大学地震研究所、京都大学防災研究所の共同研究との共催事業として実施し、別府市や大分県からも支援をいただきました。京都大学の伊藤喜宏さん、澤山和貴さんをはじめLOCの方々、参加者、関係者の皆様に感謝いたします。



2024年研究集会プレ巡検 — 霧と湯煙の由布院

京都大学 防災研究所 伊藤 喜宏

別府で開催された2024年SF地震学国際研究集会の前日(9月16日)にプレ巡検を実施し、湯布院周辺の断層と地形を見学しました。当日の朝の天気はあいにくの雨模様でしたが昼頃から天気も回復し、結果として研究集会の大成功を予感させる実りの多い巡検となりました。55名が参加した今回の巡検では、最初のSTOPで霧に包まれた蛇越展望台を訪れました。ここでは好天時に見える絶景の風景を想像しながら、この地域のテクトニクスや2016年熊本地震後の湯布院付近の地震活動について議論をしました。2つ目のSTOPでは湯の坪街道を訪問しました。各々がショッピングや昼食を楽しんだり、温泉を堪能したりしつつ参加者同士が交流を深めることができました。最後のSTOPの湯布院岳正面登山道口では青空下で記念撮影をした後、周囲の散策を行いました。本格的な巡検(ちょっと危ないところをいっぱい歩く)を期待されていた方は、ここで有り余る体力のうち、ほんの少しを解消していただけたと思います。翌日からの研究集会に向けて、本巡検は良いアイスブレイクとなったのではないのでしょうか？



由布岳前の記念撮影(これでも晴れています)

2024年研究集会ポスト巡検:沈み込み帯のSlow地震・Fast地震の化石

東京大学 大気海洋研究所 山口 飛鳥

2024年9月20日・21日に、別府集会のポスト巡検として宮崎県延岡市を訪れ、四万十帯に見られる沈み込み帯のSlow地震やFast地震の記録を見学しました。Stop1「延岡市直海の槇峰メランジュ」では、テクトニックメランジュの延性変形や、主応力軸の入れ替わりを記録した鉞物脈、変成作用を受けた玄武岩につい

て、活発な議論が交わされました。Stop2「延岡市下阿蘇の北川層群」では、変成作用によって形成された面構造が層理面(地層の堆積面)に重複している様子を観察し、砂岩を多く含む付加体の堆積環境や変形についても、議論が盛り上がりました。初日の夜に行われた懇親会には参加者53名全員が参加し、宮崎の郷土料理



Stop2での参加者集合写真

や焼酎を楽しみながら、親睦が深まりました。Stop3「延岡市東海の延岡衝上断層」では、断層コースと安全コースの2つに分かれて見学しました。断層コースでは、断層露頭の直上から急な崖を下り、延岡衝上断層の断層コアやシュードタキライト、上盤・下盤のダメージゾーンを観察しました。安全コースでは、脆性変形が顕著な断層下盤のメランジュを観察しました。立場や年齢、性別、国籍、専門分野の異なる多様な参加者たちが、露頭で活発に議論を交わす姿が印象的でした。



Slow-to-Fast地震学プロジェクト若手研究者交流イベントの紹介

東京大学 地震研究所
伊東 優治

Slow-to-fast地震学プロジェクトでは、大規模な集会に際して、学生や若手研究者の交流を促進するためのイベントを開催しています。本年度は2件のイベントを実施しました。1件目は、5月末の日本地球惑星科学連合大会の会期中に開催したキャリア相談イベントです。このイベントでは、修士課程や博士課程の学生や、博士号取得後のポスドク研究員が、それぞれのキャリア段階における進路や研究に関する悩みを周囲と共有し、少し先のキャリア段階にいる「先輩」研究者とざっくばらんに相談できる機会を提供しました。当領域に参画する研究者の中から「先輩」相談員を選定する際には、多様なキャリアパスを経てきた研究者を集めることを念頭に置くだけでなく、ダイバーシティにも配慮しました。相談員として参加したのは、浜橋真理博士(海外でのポスドク経験者、現・山口大学講師)、雨澤勇太博士(地方大学での博士取得者、現・東京科学大学助教)、増田滉己博士(博士号取得後に一般企業へ就職)、細野日向子氏(修士号取得後に産業総合技術研究所へ就職)の4名です。当日は、学部生からポスドクトラル研究員まで幅広いキャリアステージにわたる約30名の参加者が集まり、各々の興味に基づいた様々な内容の意見交換が行われました。



5月末開催のキャリア相談イベント

2件目は、9月中旬に当領域主催の国際ワークショップ「International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2024」の開始前日に実施した、若手研究者のみを対象としたポスターセッションです。約70人名の参加者のうち、希望者がワークショップ本番で発表予定のポスターを展示し、白熱した議論が展開されました。ワークショップ本番ではポスター発表を割り当てられて

いないにもかかわらずポスターを持参した参加者も見られるなどあり、モチベーションの高い集まりとなりました。また、国際ワークショップの開始前日に実施したという背景もあり、久しぶりに再会した研究者同士が国際的に旧交を温めている場面も多くみられ、大いに盛り上がったイベントとなりました。ワークショップの開始前日に、学生や若手研究者だけのリラックスした雰囲気での交流することで、ワークショップ本番への良いアイスブレイクになりました。また、率直な議論や意見交換ができたことで地震学や固体地球科学の将来を担う研究者同士の絆を深める良い機会となりました。



9月中旬開催の若手研究者のみのポスターセッション



Slow-to-fast地震学カフェ（交流イベント）開催報告

建築研究所 国際地震工学センター
（若手・ダイバーシティ推進企画タスクフォース）
北 佐枝子

昨年度の後半より若手・ダイバーシティ推進企画が関わる領域内イベントの実施は、ハイブリッド形式が主体となってきました。2024年2月より「Slow-to-Fast地震学カフェ」と称した領域内交流イベントが計4回実施されました。第1回カフェイベントは東京大学大気海洋研究所にて2月に開催し、前半は能登半島地震に関する情報共有・議論を目的とした研究発表セミナー（ハイブリッド形式）、後半はブレイクアウトセッション「大地震の（前）後に何をしたいか、何をすべきか」（対面形式のみ）をテーマとした議論を行いました。臆することなく議論に積極的な若手・学生さんが多いのが印象的でした。第2回カフェイベントは、京都大学吉田キャンパスにてハイブリッド形式にて8月中旬に開催されました。前半では京都大学理学研究科の金子善宏氏による研究セミナー（題目：大気や宇宙に伝播する地震波を計算する）と、海外でもキャリアを積まれた金子氏ご自身へのQ&Aが実施されました。後半は日向灘の地震や南海トラフ地震臨時情報等に関する情報共有・議論の時間とし、2024年8月8日の日向灘の地震の発生を受けて急遽実施する運びとなりました。日向灘はA02班等の複数の領域研究者による海洋底下の研究成果が出されている重点研究地域でもあり、大地震後に発生した余震活動とスロー地震活動の空間分布について議論や意見交換が活発に行われました。第3回カフェイベントはダイバーシティ推進のため

の茶話会とし、東京大学地震研究所の経営・運営側スタッフにもご参加いただき、8月下旬にオンラインで開催されました。在宅勤務制度の活用法、育児だけでなく介護も視野に入れたダイバーシティ推進、単身赴任の乗り越え方、育休中の職場一時復帰制度等、所属機関間や海外との事情の違いも含めた情報交換等が行われました。第4回カフェは連携セミナーとして、イギリス・インペリアル・カレッジ・ロンドンの大学院生Amy Woodward氏が講演者の海洋技術開発機構の研究セミナーに参加する形式で、第5回カフェも同様にてカナダ地質調査所のKelin Wang博士による東大地震研金曜セミナーに参加する形式で9月に実施されました。

また、2024年の1月からは本領域に係る海外研究者と領域内の若手・中堅研究者の希望者との間での「1on1研究議論イベント」もオンライン形式にて実施されました。海外からの講師として、仏国Université Grenoble AlpesのAnne Socquet教授（専門：測地学）、同国Ecole Normale SupérieureのAlex Schubnel教授（専門：地震学および岩石力学）、米国University of Southern CaliforniaのHeidi Houston教授（専門：地震学）をお呼びし、のべ8回実施されました。当タスクフォースによるイベント内容は、構成員より寄せられた声を反映しながら試行錯誤で今後も進めてまいります。



第一回slow-to-fast地震学カフェでのブレイクアウトセッションの開催風景

メキシコ押しかけワークショップ ―標高2300mの庭園と4000mの観測所―

京都大学 防災研究所
伊藤 喜宏

2024年2月26日と27日にメキシコ市のメキシコ国立自治大学において、押しかけワークショップ、「International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes in Mexico」を開催しました。今回の押しかけワークショップは、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測計画(第2次)」の中の「南海トラフ沿いの巨大地震」総合研究グループと共同でワークショップを実施しました。二日間でSlow-to-Fast地震学に関連した最新の研究に加えて、地震・津波災害の軽減に向けた両国の取り組みに関する研究が両国より紹介されました。日本からの参加者22名を含む68名の参加者から口頭発表32件とポスター発表26件の研究が発表されて、綺麗な庭園を目の前にして、朝から夕方まで熱心な議論が続きました。

ワークショップ終了後の二日間でメキシコ市およびその周辺の火山の巡検がメキシコ国立自治大学地球物理学研究所のMariana Patricia Jácome Paz博士の案内の下、実施されました。巡検初日の28日はメキシコ市内の

単成火山、Xitle火山とメキシコ国立防災センター(CE-NAPRED)を訪問しました。二日目となる29日は、メキシコ市から南東に70kmほど離れたPopocatepetl火山(標高5426メートル)の周辺の路頭と火口から5kmほど北に位置する火山観測の施設(標高約4000メートル)を見学しました。ワークショップと巡検を通じて日本とメキシコ両国の研究者・学生が、各領域で行っている最新の研究や技術開発について紹介しつつ、交流を深めました。

今回のワークショップの様子をメキシコ国立自治大学がYouTubeで公開しています。こちらをご覧ください。

YouTubeチャンネル < Instituto de Geofísica, UNAM >
<https://www.youtube.com/watch?v=wTHh-4SfsGY>



噴火するPopocatepetl火山(標高5426メートル)を背にして記念撮影



コルシカ・サマースクールへの参加

東京大学 地震研究所
加藤 愛太郎

2024年10月14日から18日にかけて、フランス・コルシカ島のカルジェーズにあるthe Institut des Etudes Scientifiquesにて、サマースクールが開催されました。私を含めた計6名(金子 善宏・大久保 蔵馬・佐藤 大祐・Mindaleva Diana・柴田 律也・乗杉 玲壽(敬称略))の本領域関係者が参加しました。今回のスクールのテーマは、「EARTHQUAKES: nucleation, triggering, rupture, and relationships to aseismic processes – 4th edition」でして、同じテーマでの開催は約3年ぶりとなりました(前回は2021年に実施)。世界の16ヶ国から計90名が集う国際色豊かなスクールとなりました(25の国籍)。

初日～2日目にかけては「the complete slip spectrum」、2日目～3日目にかけては「earthquake nucleation and triggering」、4日目は「the earthquake cycle」、最終日は「natural and induced hazards」と、観測・理論・実験

の様々な側面から本領域とも関連の深い研究トピックについての講義・研究発表と、それに引き続き活発な質疑応答・議論が行われました。また、初日から4日目の夕方には、参加者によるポスターセッションが屋外で開催され、夜遅くまで熱心な議論が続きました。さらに、各日の午後の前半の時間帯には、解析手法・数値シミュレーション手法の実践的なチュートリアルや、海を見ながらのグループディスカッション、アクティビティなどが行われ、参加者間の交流が深まる良い機会となりました。地震科学に関する最先端の知見を得ることができるとともに、各分野の第一線で活躍する研究者とじっくりと議論することができ、とても有意義な時間を過ごすことができました。自分の視野を広げるまともないチャンスですので、まだ参加されたことがない人は、是非、今後のコルシカ・スクールへの参加をご検討ください。



会場(the Institut des Etudes Scientifiques)での集合写真

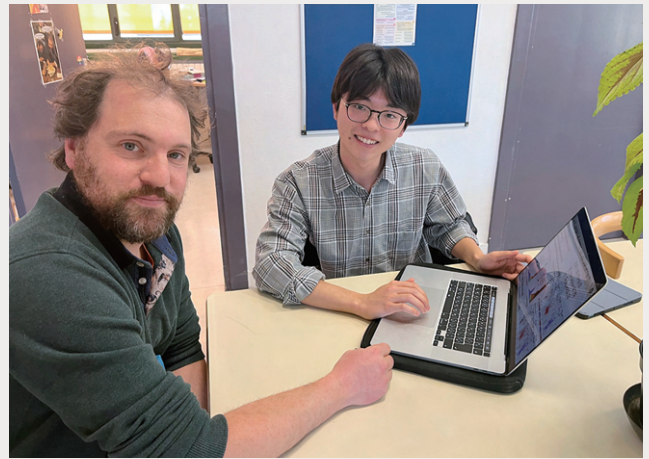


パリ高等師範学校(仏)での共同研究

東北大学 大学院理学研究科
中川 亮

私は2023年6月から2ヶ月間、フランスのパリ高等師範学校にてRomain Jolivet教授のもとで共同研究に取り組みました。テーマは四国西部のGNSS変位からプレート境界の短期SSEを検出する深層学習手法を構築するというものです。ハイパーパラメータの設定等の工夫やS/N比を向上させるためのデータ前処理が不要である深層学習を活用し、SSE検出手順の簡素化と高精度化を狙いとしています。Jolivet教授のグループでは別種の地殻変動観測技術であるInSAR時系列データからミリメートル規模の変動を抽出する手法を構築されており、そのノウハウから空間分布のみを推定する現在進行中のスキームに留まらず、複数GNSS観測点時系列データから時空間的に短期的SSEを検出する手法のアイデアまで議論することができました。現在はモデルの細やかなチューニングや仮説検証を経て構築の方針が固まり、どのような場合に既存のインバージョン手法を上回る推定精度を

現できるのかを丁寧に検証している状況です。本手法を確立させた後は四国西部での時空間的な短期的SSE検出、そして最終的には四国西部以外でも適用可能な検出手法を構築したいと考えています。



グルノーブルアルプス大学での在外研究

京都大学 防災研究所
上田 拓

2024年5月18日から7月7日までグルノーブルアルプス大学に滞在し、Anne Socquet教授と共同研究を行いました。

グルノーブルでは「ヨーロッパのGNSSデータから推定された水平速度を用いてひずみ速度場を推定する研

究」と「フランスのGNSS観測点分布と地殻変動を想定した合成データに対して複数のひずみ速度場推定手法を適用・比較するベンチマークテストへの参加」を行いました。日本と大きく異なるテクトニクス環境であるヨーロッパを新たな研究対象とすることで、ひずみ速度場の推定手法についての知見を深めることができました。今後も継続して共同研究を進めていく予定です。

滞在中は上記の研究の他に、短期滞在されていたカリフォルニア大学バークレー校のRoland Bürgmann教授との議論やシャンペリーのサヴォワ・モンブラン大学に訪問してDavid Marsan教授との議論を通じて複数の研究者と繋がりを持つことができました。

今回の在外研究をご支援いただいたSF地震学関係者の方々、事務局の皆様にご心より感謝申し上げます。今回の経験を今後の研究に積極的に活かしていければと思っております。



Anne Socquet教授(右)と筆者



米国学術機関での共同研究と調査

東京大学 大学院農学生命科学研究科
Chengrui Chang

私はSFプロジェクトからの支援で、2024年1月から3月まで米国の学術機関を訪問することができました。この間、研究室での研究、科学的な議論、コラボレーションを通じて貴重な経験を積みました。

カリフォルニア大学サンタクルーズ校では、Emily Brodsky教授の地震学研究室に参加して、粒状せん断流摩擦を研究しました。Emily、Huiyun、Willを含むサポートチームは、定量的かつ論理的なスキルで私にインスピレーションを与えてくれました。朝の「seismo coffee」セッション、研究室での作業、昼食のディスカッションにより、刺激的な共同研究の雰囲気が生まれました。毎週のセミナーはアイデアの交換を促進し、キャンパスの自然の美しさにリラックスすることもできました。

3月に私は、Bill Schulz博士が主催するコロラド州ゴールデンのUSGS地滑りプログラムを訪問しました。私はBillの専門知識の指導を受けて、スラムグリオンの地滑りを調査する機会に恵まれました。私たちはモニタ

リングデータを取得し、運動学モデルを議論し、断層システムを調査して、自然界のせん断システムについての洞察を得ました。

この充実した渡航により、地震と地滑りについての理解が深まり、研究を進めるための知識が得られました。



朝のseismo coffeeでの議論

カリフォルニア大学バークレー校での共同研究

京都大学 防災研究所
Yanhan Chen

2024年6月26日から9月9日まで、カリフォルニア大学バークレー校で海外研究を行いました。私は、Weiqiang Zhu教授のグループで、深層学習と低周波地震（LFE）を組み合わせることに重点を置きました。南海、カスカディ



ア、ニュージーランド、パークフィールド、アラスカ、メキシコなどの主要な沈み込み帯からLFEカタログを収集することにより、包括的なLFEモデルのトレーニングを試みました。LFEは通常の地震とは異なるためLFEデータセットの選択とラベル付けに多大な時間と労力を費やしました。これにより、大量のさまざまなネットワーク波形データを処理するプログラミング能力も向上しました。

滞在中、バークレー地震研究所の地震学者、平貴昭さんの所に立ち寄りました。Roland Bürgmann教授とも何度か話し合いました。彼は、グレーロ地震ギャップ研究と将来の研究計画についてアクティブ・テクトニクス会議でプレゼンテーションするよう私を招待してくれました。

この海外での経験は私の視野を広げてくれました。数々の地震学者との議論を通じて、積極的な対話と共同研究の重要性を実感しました。

富山温泉合宿2024 — 金太郎温泉とカレー

京都大学 防災研究所
伊藤 喜宏

富山県黒部市にある「ふれあい交流館 あこや〜の」で合宿形式のセミナーを、2024年2月8日から10日までの日程で開催しました。参加者は25名で、A03班以外からもA02班やB01班からの参加に加えて学部4年生を含む多くの方に参加いただきました。セミナーには多くの留学生にも参加いただき、一部の発表は英語で行われました。京都大学の西沢貴志さんと野末陽平さんには招待講演者として本セミナーに参加いただき、世界の沈み込み帯の多様性に関する話題や歪速度場の新たな逆解析手法、さらには2024年1月1日に発生した能登の現地調査の結果などの情報をそれぞれ提供していただきました。観測、実験及びモデル計算などの様々な視点の発表を通じて、最新のSlowとFast地震の研究成果が共有されました。今回利用した「ふれあい交流館 あこや〜の」は、皆様が小学生の頃に宿泊訓練として利用したような、どこか懐かしい感じの宿泊施設です。昼食も提供され、学校給食を思い出させるカレーが提供されました。宿泊用の部屋は大部屋に2段ベッドがあったり、広い畳の部屋であったりと、

セミナー室以外でも参加者が近い距離で議論できる環境でした。また、近くの温泉施設を利用したお風呂巡検(浴室にある大量の変成岩を前にした議論)や、近くのスーパーで食材や飲み物を買って楽しんだ懇親会など、セミナー以外の場でも合宿形式ならではの交流を楽しむことができました。



“ふれあい交流館あこや〜の”の玄関で集合写真

講演会

南紀熊野ジオパークセンター講演会

東京大学 大気海洋研究所
山口 飛鳥

A02班では「南紀熊野ジオパークとの協働」を、領域発足以来続けています。その一環として、2024年1月15日に、紀伊半島の最南端・潮岬に位置する串本町の南紀熊野ジオパークセンターにて、恒例の南紀熊野ジオパークセンター講演会(第7回)が開催されました。昨年はA02班の北佐枝子さんが講師を務めましたが、今回は井出哲領域代表が講師を担当し、「地震の予測とスロー地震」というタイトルで、地震の基礎から最新の研究内容までをまとめた1時間半の講演を行いました。講演後には活発な質疑応答が行われました。講演に際しては手話通訳や要約筆記のサポートも行われ(写真)、南海トラフ地震に備えた啓発情報の周知に幅広く配慮する自治体の姿勢を知ることができました。講演会の開催にあたり、ご調整・ご尽力いただきました皆様に深く御礼申し上げます。講演会の様子は当日夕方のNHKニュース

で紹介されたほか、地元紙3紙にも掲載されました。開催形態：対面形式での開催(手話通訳・要約筆記あり) 共催：和歌山県立南紀熊野ジオパークセンター および Slow-to-Fast地震学



井出領域代表による南紀熊野ジオパークセンターでの講演会 (2024年1月15日開催)

JTRACK 再び震源域掘削

筑波大学 生命環境系
氏家 恒太郎

JTRACK (Tracking Tsunamigenic Slip Across the Japan Trench)は、2024年9月6日から12月20日にかけて、国際深海科学掘削計画第405次航海として地球深部探査船「ちきゅう」により実施されるプロジェクトです。掘削対象地域は、2011年東北地方太平洋沖地震で最も大きくすべった宮城県沖日本海溝沈み込み帯です。同地域では2012年に統合国際深掘削計画第343次航海JFAST (Japan Trench Fast Drilling Project)として同じく「ちきゅう」により掘削が実施され、プレート境界断層から地質試料を採取し、地震時の摩擦熱を捉えることに成功しました。これにより、地震時のプレート境界断層浅部の摩擦が非常に低かったため、巨大すべりが引き起こされたことが明らかになりました。しかし、この巨大すべりが、プレート境界浅部

での応力蓄積によるものなのか、それとも深部からの地震破壊伝播に連動して発生したのか、良く分かっていません。JTRACKでは掘削同時検層、地質試料の採取、長期孔内温度計の設置を行い、(1)地震後13年経過した段階でのプレート境界断層浅部周辺の応力の蓄積状態と地震直後からの応力場変化、(2)前縁プリズム、プレート境界断層、沈み込むプレートの構造、物性、摩擦・水理特



JTRACK出航直前のちきゅう

性、(3)沈み込む前と後での物質、構造、物性、摩擦・水理特性の変化を検討します。(1)~(3)の情報を得ることで、巨大すべりを支配する要因を解明し、プレート沈み込み帯における巨大地震・巨大津波災害に関する新たな知見を提示することを目指しています。本領域関係者も共同首席研究者や研究者としてJTRACKに参画しています。

SF 地震学ニュースレター vol.4 編集後記

今回のNL4号、私には編集後記を書く資格がありません。と申しますのも、全ての編集作業・会議出席を陸にいる方々にお任せして、JTRACK乗船研究者の一員として「ちきゅう」に2か月間乗船しているからです。先日、最後のコアの記載を終え、現在は掘削地点ごとの記載のまとめ(サイトレポート)執筆に追われています。

本航海では、雨上がりに水平線下まで伸びる立派な虹を見る機会が複数ありました。虹という思い出すのは、子供の頃に国語の授業で読んだ「虹の足」という詩(作者:吉野弘)です。虹の足の中に

村がすっぽり入っているが、村人たちにはその虹は見えない、転じて、幸福というのは他人からは見えても自分では見えないものだ、というような内容です。人間、美しい虹に見とれることもあるし、虹の中にいることに気付かないこともあるでしょう。ただ、大気中に雨粒がある状態で太陽の反対側に発生するという条件さえ知っていれば、虹を見ることのできる確率は上がります。少しの知識をもとに、積極的に虹を見つけに行きたいものです。(山口)

受賞

トリノ科学アカデミーの通信会員に選出

Wallis R・Simon (A02班 研究分担者 東京大学)

2023年度日本地震学会 若手学術奨励賞

西川友章 (B02班 公募研究代表者 京都大学)

2023年度日本地震学会 論文賞

西川友章 (B02班 公募研究代表者 京都大学)

・井出哲 (領域代表 東京大学)ほか

竹尾明子 (B02班 研究分担者 東京大学)ほか

日本地質学会第130年学術大会 学生優秀発表賞 ※Vol. 31に未掲載のもの

阿部日誉里 (A02班 学生 高知大学 大学院理工学専攻)

木村太星 (A02班 学生 高知大学 大学院理工学専攻)

日本地下水学会 若手地下水研究助成奨励賞

秋柴愛斗 (A02班 学生 高知大学)

第23回日本地質学会四国支部講演会 優秀講演賞(口頭発表)

Zandvakili Zahra (A02班 学生 高知大学)

日本地球惑星科学連合2024年大会 学生優秀発表賞

乗杉玲壽 (A01班 学生 京都大学 大学院理学研究科)

内田泰蔵 (A02班 学生 高知大学 大学院総合人間自然科学研究科)

日本粘土学会 若手研究者優秀発表賞

奥田花也 (A01班 公募研究代表者 海洋研究開発機構)

日本地質学会 柵山雅則賞

奥田花也 (A01班 公募研究代表者 海洋研究開発機構)

日本地質学会 H. E. ナウマン賞

岡本敦 (A01班 公募研究代表者 東北大学)

日本地質学会 小藤文次郎賞

岡本敦 (A01班 公募研究代表者 東北大学)

AGU Mineral and Rock Physics Graduate Research Award

奥田花也 (A01班 公募研究代表者 海洋研究開発機構)

AGU's Outstanding Reviewer Award 2023

野田朱美 (B03 班研究協力者 気象庁)

2024年度日本地震学会 若手学術奨励賞

縣亮一郎 (B02班 公募研究代表者 海洋研究開発機構)

小寺祐貴 (B02班 研究分担者 気象研究所)

2024年度日本地震学会技術開発賞

山下太 (A01班 研究分担者 防災科学技術研究所)ほか

荒木英一郎 (B01班 研究分担者 海洋研究開発機構)ほか

第32回日本測地学会 坪井賞

三井雄太 (B02班 研究分担者 静岡大学)

日本測地学会第142回講演会 学生による講演会優秀発表

下妻康平 (A03班 学生 筑波大学)

新井璃子 (B02班 学生 静岡大学)

大館未来 (B02班 学生 東北大学)

日本地質学会第131年学術大会 学生優秀発表賞

宮副真夢 (A01班 学生 京都大学)

藤原秀平 (A01班 学生 東北大学)

沖野峻也 (A01班 学生 東北大学)

松野哲士 (A02班 学生 東北大学)

戸田涼斗 (A02班 学生 東北大学)

野村夏希 (A01班 学生 高知大学)

小山雪乃丞 (A02班 学生 東京大学)

山崎悠翔 (A03班 学生 筑波大学)

日本地震学会2024年度秋季大会 学生優秀発表賞

乗杉玲壽 (A01班 学生 京都大学)

大柳修慧 (A03班 学生 京都大学)

大館未来 (B02班 学生 東北大学)

日本鉱物科学会2024年年会 研究発表優秀賞

戸田賢太郎 (A01班 学生 東北大学)

松野哲士 (A02班 学生 東北大学)

星田昌慶 (A02班 学生 東北大学)

リーフレット紹介

スロー地震とファスト地震の比較などを分かりやすく伝えるリーフレットについて、これまでに日本語版、英語版、スペイン語版を作成しています。印刷したものは事務局にありますので必要な方はお知らせください。また、PDF版をウェブサイトにて公開しています。

公式 SNS の紹介

XやFacebookなどをSNSを通じて、Slow-to-Fast地震学関連のイベントやセミナーなどの告知・報告などを、Slow-to-Fast地震学関係者のみならず、一般の皆さんに向けて日々発信しています。Slow-to-Fast地震学関係者で発信したい情報がありましたら、事務局 (sfeq-post-group[at]g.ecc.u-tokyo.ac.jp) までご連絡ください。写真の提供も大歓迎です。



Website



Facebook



X



イベント予定

Japan Geoscience Union Meeting 2025

日程: 2025年5月25日(日)~30日(金)

会場: 幕張メッセ+オンライン

Slow-to-Fast地震学国際合同研究集会2025

日程: 2025年9月24日(水)~26日(金)

会場: 高知市文化プラザかるぼーと(高知県高知市)



【表紙写真】

(左)国際合同研究集会@大分府の集合写真

(右上)研究集会後の延岡巡検での議論

(右下)押しかけワークショップ@メキシコの集合写真

令和3~7年度 文部科学省 科学研究費助成事業 学術変革領域研究(A)



SLOW TO FAST 地震学

ニュースレター Vol.4 2025年3月発行

発行・お問い合わせ Slow-to-Fast 地震学事務局

<https://slow-to-fast-eq.org>



編集: Slow-to-Fast地震学 ニュースレター編集委員会
山口 飛鳥・竹尾 明子・北 佐枝子・濱田 洋平・大坪 誠・矢部 優
横田 裕輔・三井 雄太・齊藤 竜彦・渡邊 倫子・利根川 奈美