

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.5 March 2026



## INDEX

- 2 各班研究紹介
- 14 公募研究紹介
- 18 新規メンバー紹介
- 19 イベント紹介
  - 押しかけワークショップ
- 20 国際合同研究集会2025
- 22 若手・ダイバーシティーTFより
- 23 海外参加者レポート / AOGS
- 24 若手研究者海外派遣
- 26 合宿 / 講演会
- 27 プチスポット掘削
- 28 報告





## 世界最大の岩石摩擦試験機で再現する 複雑な断層破壊過程

山下 太 (防災科学技術研究所 地震津波発生基礎研究部門)



これまで防災科学技術研究所（以下、防災科研）では自然界で発生する複雑な断層破壊過程やその初期過程の背景にある物理を理解するため、通常より大型の岩石試料を用いた摩擦実験を実施し、再現したそれらの過程を詳細に観察する実験研究を進めて来ました。その結果、模擬断層面の不均質性によって初期過程や付随して発生する前震の活動様式が大きく異なることや（Yamashita et al., 2021）、前震活動とそれを引き起こすスロースリップのすべり速度との関係（Yamashita et al., 2022）等を明らかにしました。これらの研究で使用された第1、第2世代大型試験機は、どちらもメートル規模の岩石試料を使用可能で、模擬断層長はそれぞれ1.5mと4mです。しかし、震源核形成を経て断層破壊域が急拡大し始めたところで破壊先端が断層端に達してしまうため、高速な破壊伝播の過程を観察することは困難で、また、いったん破壊が始まると模擬断層面全体がすべるまで止まることはありませんでした。さらに、破壊が始まる場所は基本的に岩石試料の形状と荷重の載荷条件に依存し、破壊開始場所を制御することは出来ませんでした。

そこで防災科研はさらに大型の第三世代岩石摩擦試験機の開発に取り組み、それが2023年に完成しました（図1）。試験機フレーム内の大きな黒い直方体が積み重ねられた岩石試料ペアで、模擬断層面の大きさは長さ6m、幅0.5mと、公開されているものの中では世界最大です。上側試料とフレームの間に設置された6本の油圧ジャッキにより垂直荷重を載荷し、フレーム西側に設置された油圧ジャッキで下側試料端面を載荷して断層面へせん断荷重を加えていくと、断層がすべっては止まるスティックスリップが発生します。断層沿いにはひずみゲージと変位計を多数設置しており、局所的な応力と断層変位がモニターされています。

これらのデータを用い、スティックスリップイベント発生時に断層がどのように破壊したかを確認すると、単純なせん断載荷実験では、断層東端から破壊が突然始まり西側へ伝播するイベントがほとんどで、震源核形成も観察されませんでした。そこでせん断荷重をイベントが発生する直前の臨界状態まで載荷し、最も西に位置する垂直載荷ジャッキの荷重を少し下げたところ、イベントが発生しました。データを確認すると、除荷し



図1：第三世代大型岩石摩擦試験機の外観。図面右側が東。

たジャッキ周辺で震源核が形成され、その後、高速の破壊伝播に移行している様子が確認できました（図2a）。これは垂直荷重を下げたことで断層面の有効法線応力が減少してすべりが励起されたもので、力学的には断層面に高圧の流体が流入したことと同等です。

次に中央部の垂直載荷ジャッキの荷重を下げてイベントを複数回引き起こした後、せん断荷重を臨界近くに戻して再び最も西の垂直載荷ジャッキ荷重を下げたところ、最初のイベントと同様にその周辺で震源核が形成されたものの、途中で破壊が停止し、断層の東側部分はすべりませんでした（図2b）。このイベント前の局所的な応力状態を確認すると、中央部で起こしたイベントにより低下した断層面上のせん断応力が、せん断荷重を再載荷しても断層東側では十分に回復せず、破壊の進展に必要なひずみエネルギーが不足していたことが分かりました。このことは、断層全体に加わっている荷重や破壊開始点が同じであっても断層面上の応力分布によって発生するイベント様式や規模が異なることを示す良い例であると思われます。今後、様々な条件での実験を重ねて断層破壊が止まる定量的な条件の解明を目指す予定です。

### 引用文献

Yamashita, F. et al. (2021) Nat. Comm., 12, 4302.

Yamashita, F. et al. (2022) J. Geophys. Res., 127, e2021JB023336.

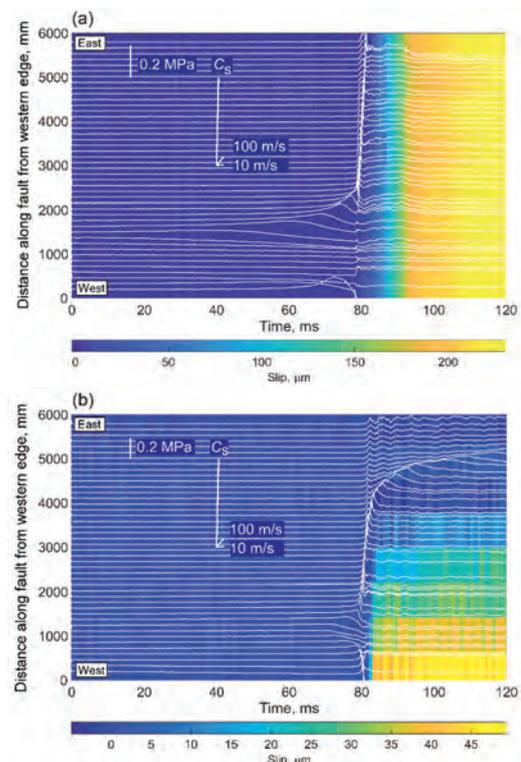


図2：局所的な垂直荷重の除荷によって引き起こされた断層破壊の様子を示す局所応力変化及び断層変位。(a)断層全域が破壊した例。(b)途中で破壊が停止し断層東側がすべらなかつた例。



# 乾燥砂層の沈み込みウェッジにおける荷重サイクルと変形の関係

藤内 智士・小田 和佳 (高知大学 理工学部)



プレート収束帯で作られる沈み込みウェッジの先端部では、水平方向の短縮を示す複数の衝上断層が発達しているのが一般的です。この構造は、浅部スロー地震を含む地殻変動や物質循環に大きく影響すると思われていますが、天然の沈み込みウェッジでは衝上断層が形成していく周期が数万～十万年とされ、その過程を連続的に観測することは難しいといった課題があります。そこで代わりに、乾燥砂を用いた室内実験から調べる方法があります（例えば、Dotare et al., 2016 ; Ritter et al., 2018）。著者らも乾燥砂層のウェッジ形成実験を行い、同期取得した荷重データとデジタル画像相関法（Digital Image Correlation method: DIC）による解析結果を比較することで、沈み込みウェッジ先端部で起こる変形サイクルを詳細に理解することを目指しています。

私達の研究では、プラスチックシートを敷いたアクリル容器（幅118mm、長さ693mm、高さ158mm）に豊浦珪砂（径100-300 $\mu$ m）を自由落下により厚さ20mmで敷き詰め、シートを水平に0.125mm/sの速さで250mm引いて砂層を固定壁に押し付けることで沈み込みウェッジを作成しました。変形の様子は2台のデジタルカメラを用いて側方と上方から1秒間隔で連続撮影し、同時に、ロードセルを用いてシートを引っ張る際の水平荷重も記録しました。

実験では、複数の衝上断層ができていながらウェッジが大きくなる様子が見られました（図1）。このとき荷重は、大局的に見るとウェッジの増大とともに大きくなりつつ、時おり減少する特徴的な周期が認められました。この荷重の増減とウェッジの変形の関係を探るために、一つの周期をステージI、II、III、IVの4つの期間に分けました（図2）。

ステージIは荷重が一定あるいは緩やかに増大する期間で、変形に注目すると新規の衝上断層が形成された直後にあたります。また、歪み解析の結果からステージIでは、一世代前の衝上

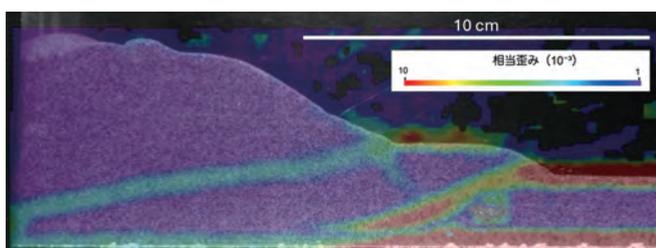


図1：実験で作成したウェッジの内部変形の様子。色は一定期間（シート変位量0.125 mm分）での相当歪みを示す。複数の衝上断層が変位しているのがわかる。

断層の変位はそれまでよりも速度が減少するものの持続していることがわかりました。続くステージIIは荷重の増大が急になる期間で、このとき一世代前の衝上断層はほとんど変位しなくなりました。

その後、荷重は増大から減少に転じます。減少する期間は、上昇する期間と比べると短いのですが、詳しく見ると減少が2段階で起こっており、前半の期間をステージIIIとしました。この期間では、それまで変位していた衝上断層の前方にわずかな歪みが生じる様子が確認できました。これは、Dotare et al. (2016)が報告したweak shear bandと呼ばれる新規の衝上断層が形成する直前にできる変形領域に対応するものだと考えています。ステージIIIから始まる荷重の減少は一旦緩やかになり、その後再び急激になります。この2段階目の減少が起こる期間をステージIVとしました。歪み解析からは、ステージIVの開始時にweak shear bandの領域内から新たな衝上断層が形成される様子が確認されました。

このように本研究では荷重と変形の対応関係が見えてきました。今後、初期条件が荷重や変形に与える影響を系統的に調べていくことで、天然に見られる多様な沈み込みウェッジの形成過程や、そこで起こる変動パターンについても理解が進むと期待しています。

## 引用文献

Dotare et al. (2016) Tectonophysics, 684, 148-156.  
Ritter et al. (2018) Tectonophysics, 722, 400-409.

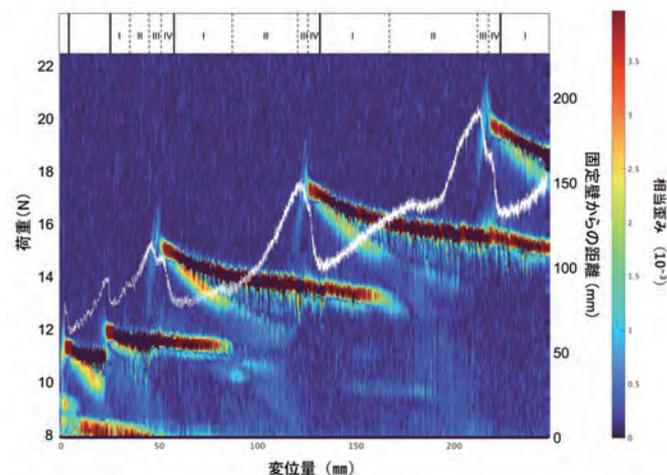


図2：ウェッジ成長時の荷重と変形の関係。白線は荷重、色は砂層を上方から見たときの相当歪み分布を、それぞれ示す。相当歪みが大きい場所は剪断帯（衝上断層）や斜面崩壊により大きく変位している場所を示す。



## 南海トラフ域における地震波速度の時間変化とプレート固着分布

利根川 貴志 (海洋研究開発機構 海域地震火山部門)



南海トラフ域では、これまでプレート境界断層を震源とする巨大地震が発生してきました。その巨大地震震源域の深部側ではスロー地震が発生していることが陸域の観測からわかっています。さらに震源域の浅部側でもスロー地震が発生していることが陸域の観測からわかっていますが、近年の海域観測網の充実により、その分布や特徴の理解も深まりつつあります。これらの発生メカニズムを明らかにするためには、プレート境界の固着分布や上盤側の応力状態を調べるのが有効的です。本課題では、上盤側の地震波速度を長期間モニタリングしたのですが、それが付加体内部の流体の増減に対応しており、間接的に上盤側の応力状態を示唆している可能性を示しました。

南海トラフ域では、地震・津波観測監視システム(以下、DONET: Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis)と呼ばれる観測網が2011年から展開されています(図1a)(Aoi et al. 2020)。その海底地震計の上下動成分のノイズ記録に地震波干渉法と呼ばれる手法を適用し、2観測点間を伝播する波動場の検出を行いました。本課題では、その2点間を伝播する表面波の散乱波に着目し、その散乱波の振幅や到達時間が長期的にどのように変化するかを調べました。この手法は、もし2観測点の周囲の地震波速度が時間的に変化していたら、散乱波の振幅や到達時刻も変化する、という動機に基づいています。

結果では、熊野灘の先端部で長期的に速度が上昇している様子を捉えることに成功しました(図1b)。また、上昇具合は小さいで

すが、熊野灘の陸側、紀伊水道の陸寄りでも速度が上昇していることがわかりました(図1a)。一方で、四国沖や紀伊水道、紀伊半島のトラフ寄りではそのような上昇は見られませんでした。

南から沈み込むフィリピン海プレートによって南海トラフより北側の付加体が沈み込み方向に圧縮場となっていると考えられますが、それによって付加体浅部から流体が海水中に抜け、結果的に地震波速度が上昇しているのではないかと解釈しています。また、速度が上昇している場所に地域差がある理由として、プレートの固着分布が起因していると考えられます。実際に、プレートの固着強度が強い場所で上盤プレートが下に引きずり込まれ、そのときの応力場の変化を計算してみたところ、固着強度の強い領域の上で圧縮場になることがわかりました。つまり、この結果は、地震波速度をモニタリングすることで、プレート境界の固着状態を間接的にモニタリングできる可能性を示唆したことになります。

また、特に興味深いのは、熊野灘のトラフ寄りで速度が長期的に上昇していることが本研究で明らかになったのですが、実は2022~2025年初期まではその上昇は止まっていた。また、その後、再度上昇を開始したこともわかっています。これが何を示唆しているのかは、今後のさらなるモニタリングで明らかになることが期待されます。

### 引用文献

Aoi et al. (2020) Earth, Planets and Space, 72,126

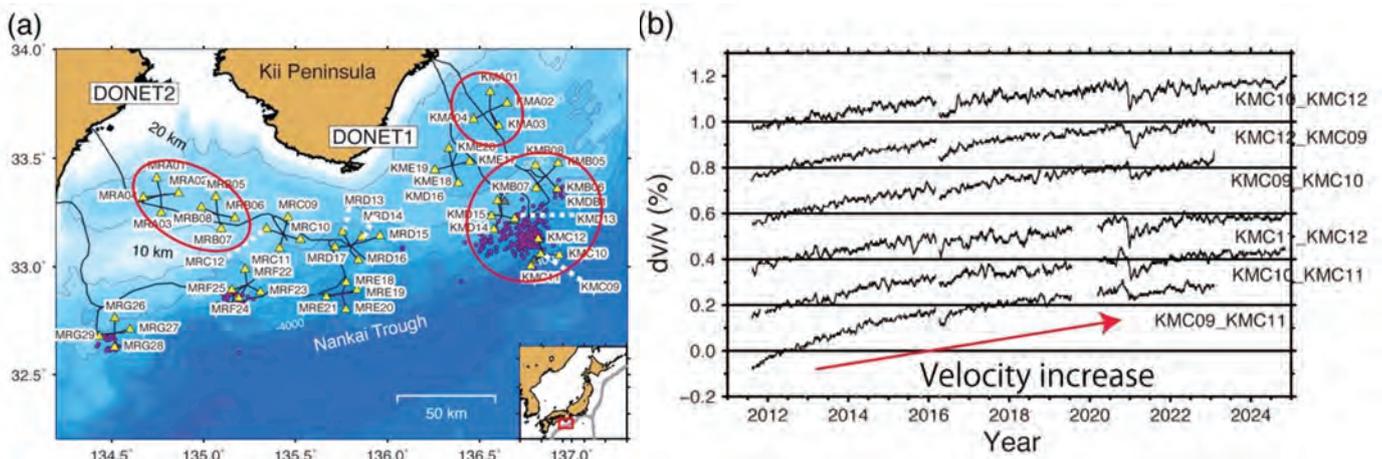


図1: (a) DONET観測点の位置 (黄色三角)。赤丸は地震波速度の上昇が見られた領域。紫丸は先行研究による微動分布。(b) KMCノードの6観測点ペアの地震波速度。



## 地震発生帯の下限温度は何度？

ウォリス サイモン (東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻)



この問いは、「Fast Earthquake」から「Slow Earthquake」への遷移を支配するプロセスを理解するうえで、重要な鍵となります。

脆性変形から延性変形への遷移は、岩石の種類、流体の有無、ひずみ速度など、さまざまな要因に依存します。しかし大陸地殻では、これは主に温度によって支配されており、おおそ石英の塑性変形が始まる約300°Cに対応します。

沈み込み帯でも同様の温度でこの力学的変化が起きると考える研究が多いですが、制約はまだ少なく、不確実性が大きいです。沈み込み帯の岩石は大陸地殻とは異なり、流体を多く含み、ひずみ速度もはるかに大きいので、岩石の変形の仕組みは大陸より複雑である可能性があります。

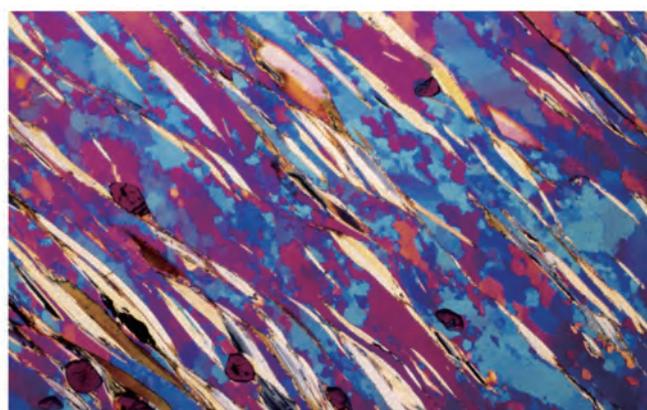
沈み込み帯境界における温度は、熱モデルを用いて推定することができます。しかし、こうしたモデルの結果は数百度の差が出ることもあります。その大きな原因の一つが、「せん断熱」をどのようにモデルに取り込むか、あるいは無視するかという点です。

最近の2つの研究は、古い沈み込み帯の岩石記録および現在活動中の東北日本沈み込み帯の熱流量データを解析し、せん断熱が重要であることを示しています。これらの結果によると、地震発生層の下限温度は500~600°Cに達し、従来考えられていたよりもは

るかに高いと予測されます。

Ishii & Wallis(2020)は、変成岩のP-T経路(圧力-温度履歴)を用いて、せん断熱を推定する手法の有効性を示しています。せん断熱は、沈み込み境界の浅部(摩擦が支配的な領域)で集中して発生し、その結果、変成条件は低いP/Tを示します。岩石がこの摩擦熱発生領域を通過した後は、より高いP/T勾配の経路をたどることになります。Ishii & Wallis(2020)は、こうした岩石データと数値モデルを組み合わせ、三波川帯における脆性-延性遷移温度が約500°Cであったと推定しました。

一方、現在の沈み込み帯における地表熱流量の観測によって、沈み込み境界における温度を推定することができます。しかし、熱流量データはばらつきが大きく、定量的な評価が難しいのが一般的です。東北日本では、世界のプレート収束境界の中でも最も精度の高い熱流量データ群が得られています。この地域では、地球化学データも充実しており、地殻上部の放射性元素の崩壊による熱寄与も見積もることができます。Englandら(2025)は、これらのデータを用いて、地震発生層の下限温度を $660 \pm 220$ °Cと算出しました。これら二つの研究は、Slow Earthquakeが高変成度の岩石でも発生しうることを示唆しています。



図：三波川変成帯の高変成部に分布する泥質片岩。(左) 50 cmスケールのシアバンド。(右) ミクロスケールのシアバンドと石英の選択配向(写真の横幅~3.5 mm)



## ヒクランギ沈み込み帯での多様な断層すべり発生メカニズムの解明

望月 公廣 (東京大学地震研究所)



ニュージーランド北島東方沖のヒクランギ・トラフでは、太平洋プレートがオーストラリア・プレート下に年約5 cmで沈み込んでいます。沈み込みに伴い、通常の地震活動に加えてスロースリップ・イベント(SSE)やテクトニック微動など、プレート境界面における多様な断層すべりが発生しています。陸域のGNSS地殻変動観測からは、ヒクランギ・トラフ沿いのプレート間固着分布が推定されており、北島中部において固着強度が急激に変化していることが示されています。すなわち、南側ではプレート境界の深さ20 kmまで強い固着が認められる一方、北側では約9 kmまでに限られることが明らかになっています。

ヒクランギ沈み込み帯全域で固着域下端に沿ってSSEが発生しており、北側では約2年周期で2~3週間程度継続するSSEが、一方、南側では約5年周期で約1ヶ月継続するSSEが発生しています。とくに沈み込み帯北部では、プレート境界極浅部においてSSEが高頻度で発生しています。さらに、反射法地震探査や電磁気探査・観測によって海山の沈み込みを含む地下構造が高解像度で把握されています。そのため、多様な断層すべりの発生環境を検討する上で格好のフィールドと認識され、これまでも国際的な共同研究が精力的に進められてきました。一方、固着分布が急変する中部では、この変化の成因と断層すべり様式との関係を明らかにするための研究が進められています。

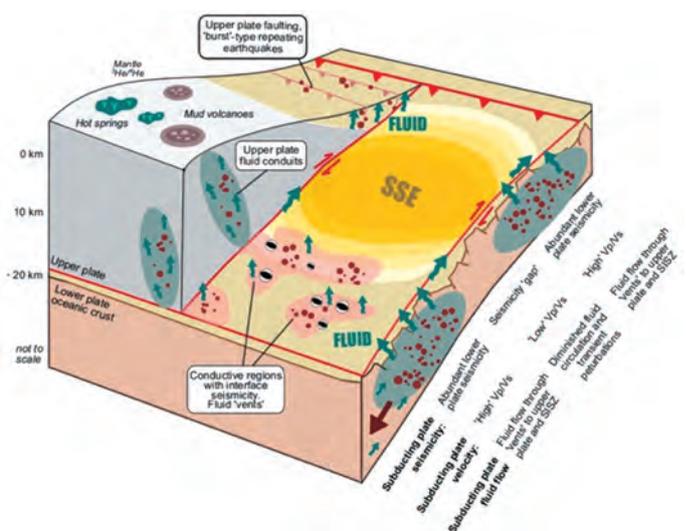
これまでヒクランギ沈み込み帯北部で実施してきた繰り返し海域地震・地殻変動観測では、観測網直下で発生したSSEを直接とらえました。その結果、SSEに伴う断層すべりが海山を回避するようにトラフ軸近傍のプレート境界極浅部にまで達することを示しました(Wallace et al., 2016)。また、SSE終息期からテクトニック微動や群発的な相似地震の活動が始まり、約3週間継続することから、これらの断層すべり運動には流体の移動が関与している可能性が示唆されました(Shaddock and Schwartz, 2019)。実際、地震波トモグラフィ解析からは、流体が豊富と解釈される高Vp/Vs領域が、沈み込んだ海山より深部、かつSSEで大きくすべるプレート境界直下の海洋地殻内に存在していることが明らかにされています(Mochizuki et al., 2021)。また、海洋地殻内の地震はSSE前には正断層型と横ずれ型が混在するのに対し、SSE後には正断層型地震が優勢となります。このことは、SSE前にはプレート境界のシールによって流体が海洋地殻内に蓄積し多様

な断層面がすべるのに対し、SSE発生とともにシールが破壊されて流体が放出され、正断層のみがすべるようになる解釈されま(断層-バルブ・モデル; Warren-Smith et al., 2019)。

沈み込み帯中部における固着分布急変域でも、観測網直下で発生したSSEの観測に成功しました。この観測例では、SSEは固着分布が急変する領域の北側に限って発生し、それに付随する地震やテクトニック微動が固着分布の境界に沿って北側に偏在することがわかりました。すなわち、これらの多様な断層すべりと固着強度とは良い相関関係にあり、プレート境界の形状や、流体分布に代表される境界周辺の物性構造を把握することで、断層すべり特性を規定する要因の解明につながると考えられます。このように、断層すべりと物性構造の時空間変化を総合的に把握することにより、断層すべり発生メカニズムの解明が期待され、今後、こうした観測と解析をさらなる詳細な検証を進めていきます。

### 引用文献

- Mochizuki, K. et al. (2021) Earth Planet. Sci. Lett., Doi:10.1016/j.epsl.2021.116887.  
 Shaddock, H. & Schwartz, S. (2019) Geology, 47, 415-418.  
 Wallace, L.M. et al. (2016) Science, 352, 701-704.  
 Warren-Smith, E. et al. (2019) Nat. Geosci., 12, 475-481.

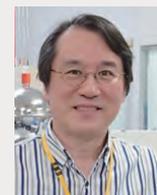


図：ヒクランギ沈み込み帯北部における流体、SSE、および地震活動の関係の概念モデル。



# スロー地震発生帯における 流体岩石化学相互作用の研究

石川 剛志 (海洋研究開発機構 高知コア研究所)



流体と岩石の相互作用は高間隙水圧帯の形成も含め、スロー地震発生に大きな影響を及ぼしていると広く考えられています。しかしながら、そのような流体が沈み込む海洋プレート(スラブ)のどの部分を起源とし、どのような化学組成を持ち、どのようにスロー地震発生帯まで輸送されているのか、また、流体と岩石の間の化学反応が岩石の強度低下にどのように影響を与えているのか等については不明な点が多く、解明が待たれています。私は、流体や岩石に残されている流体岩石相互作用の化学的痕跡を読み解くことで、上記のような課題へのアプローチを行っています。特に、350°C以上の高温領域で発生するとされる深部スロー地震の場合、流体と岩石の間の化学反応が活発であることが期待されるので、流体で移動しやすい元素や同位体を用いた解析が有効と考えられます。

最近の研究で、西南日本の有馬温泉などで湧出する特徴的な塩水(有馬型流体)の起源は、沈み込むスラブから放出され上昇してきたスラブ流体ではないかと考えられるようになってきました(たとえばKusuda et al., 2014)。私たちが紀伊半島東部の深部湧水のリチウム同位体比などを分析した研究では、そのような有馬型類似の流体の一部が深部スロー地震発生帯にも根ざしている可能性が示されました(Umam et al., 2022)。

では、有馬型のような塩水組成の流体が本当に深部スロー地震発生帯に存在しているのでしょうか？もしそうであるとすれば、そのような流体と岩石との相互作用は深部スロー地震発生にどのような役割を果たしているのでしょうか？そのような問いに答えるため、私たちは、かつて沈み込みプレート境界の深部スロー地震発生帯を構成していたと考えられる一連の岩石について、微量元素や同位体の分析を用いた研究を行っています。研究試料として現在用いているのは、四万十付加体・槇峰メランジュや長崎西彼杵変成岩・西樫山メランジュにおける泥質岩-苦鉄質岩境界部(図1A)で、そこでは、流体と泥質岩との反応が非地震性滑りや微動の発生に関係したと考えられています(Ujiie et al., 2022)。反応帯ではナトリウムに富む斜長石(アルバイト)が大量に生じており、塩水組成の流体の関与が示唆されます。これらの試料を分析すると、反応帯では流体で移動しやすい元素の濃度や同位体比が元の泥質岩に比べて大きく変化しているのが観察されました。図1Bは、仮想的な有馬型流体と泥質岩が350°Cで反応した場合、反応の進行とともに流体で移動しやすい元素群の濃度

が岩石中でどのように変化するかを計算したモデルの一例です。これらのモデル値と実際の反応帯の岩石の分析値を比較することにより、岩石と反応した流体の化学組成や反応時の流体と岩石の量比、流体の移動に関する情報が得られます。また、反応帯の岩石のストロンチウム同位体比などから、流体が沈み込むスラブ内の堆積岩起源なのか、それとも玄武岩質海洋地殻起源なのかを同定できます。このような研究を進めることにより、深部スロー地震発生帯で生じている流体岩石相互作用の実像とそれが果たす役割に迫ることができるのではないかと考えています。

### 引用文献

Kusuda et al. (2014) Earth Planet Space, 66, 119.  
 Ujiie et al. (2022) Geochem. Geophys. Geosystems, 23, e2022G C010569.  
 Umam et al. (2022) Geochem. J., 56, e8-e17.

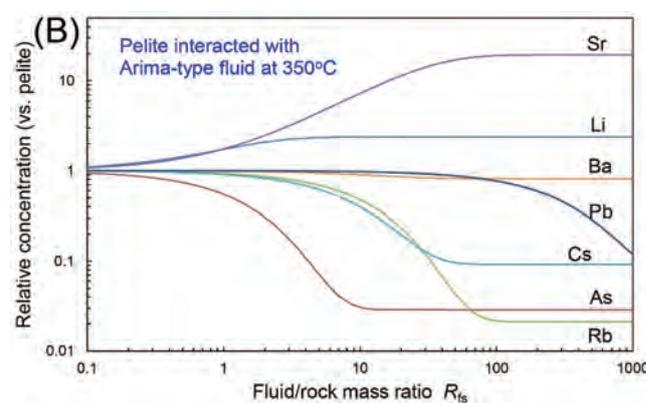


図1：(A)槇峰メランジュの泥質岩(Metapelite)とドレライト(Metadolerite)の境界に発達する反応帯(Reaction zone)。(B)仮想的な有馬型流体と泥質岩が350°Cで反応させた場合の岩石中の元素濃度変化のモデル計算の一例。縦軸は元の泥質岩の元素濃度を1とした値。横軸は反応時の流体/岩石比。



## 超深海域での長期広帯域海底地震観測の実現

塩原 肇 (東京大学 地震研究所)



海域地震観測の技術開発では、観測周波数帯域、観測期間、観測可能エリア、信号強度などを多面的に拡大することを進めており、その一つが超深海域(6000m以深)用の海底地震計の開発です。海底全体の98%をカバーできる6000mまでの水深に対して、超深海域用海底地震計(UDOBS)はニッチな存在に聞こえますが、日本海溝では超深海域が数百kmの幅で海溝軸に沿って存在しており、大地震が発生する海陸プレート境界域の直上で観測することは重要です。

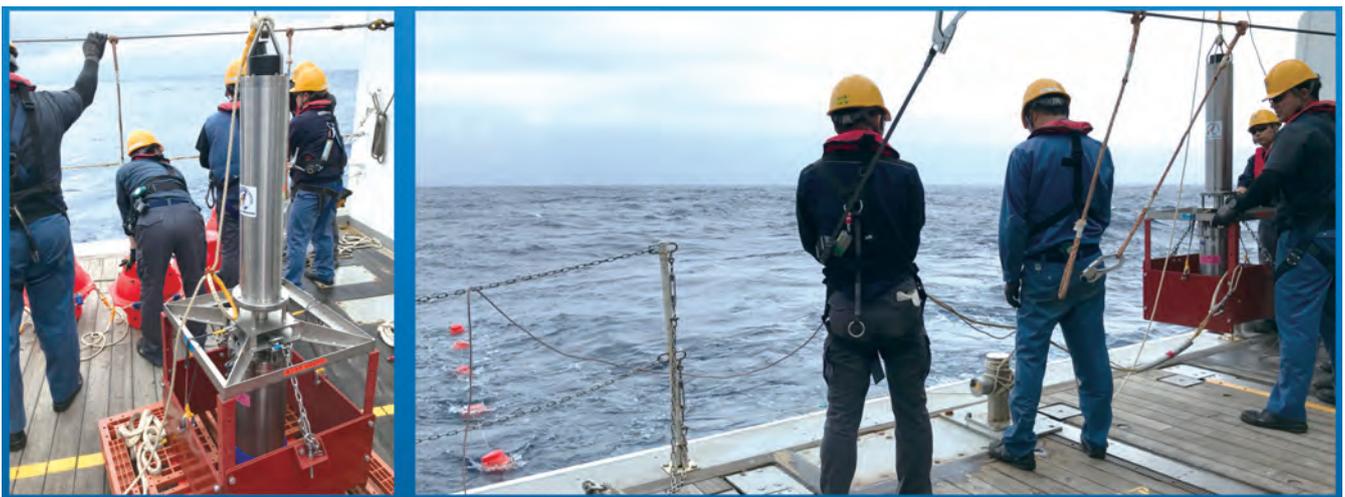
1989年頃から続くUDOBS開発では、設計や部品に起因するトラブルに何度か遭遇しました。最近では、2013年4月に房総半島沖の水深9200mの三重会合点で、1年程度の長期観測を目的とした新設計のUDOBS(NUDOBS)での観測を試みました。このNUDOBS(15Hzセンサーを搭載)には、高圧下でのトラブルの原因となりうる樹脂モールドされた水中ケーブルと錘切り離し部を用いず、機械式音響トランスポンダによって2段階で引き込まれるピンが、システム全体の設置・観測・回収の状態を制御しています。しかし、このNUDOBSの観測開始は正常な応答を確認しても、2014年4月の回収時には応答がありませんでした。大水深ゆえ、海底から機器を回収しての原因究明が出来ませんが、水深9200mでの高圧により、引き込まれるピンが意図せずに内部へ押し込まれた可能性が推測されました。その対策として、2017年に開発した自律型の自己埋設型センサー方式BBOBSであるNX-2G

(Shiobara et al., IUGG, 2019)において、同様のシステム制御機構を内包しており、引き込まれるピンの駆動機構を、ショウジロックギア(外力では絶対に動かないブレーキ機構を内蔵)を採用して改良しました。

2021年に前述のNUDOBSを元にし、現在の固体地球科学的目的に適する広帯域センサーを搭載した改良型(UDBBOBS)の開発を再開しました。このセンサーは最新設計の高精度加速度センサー(203POD-60、Silicon Audio社製)で、軽量・小型・低消費電力、かつ傾斜状態でも動作可能であることから、超深海用耐圧容器の狭い内容積での搭載に適しており、周波数範囲の下限は約0.01Hzで、内部ノイズレベルは、他社の小型速度型センサーと同等です。センサーの傾斜値は別途搭載するMEMS加速度傾斜計で計測し、後処理により上下・水平動へ変換します。本システム全体は先のNUDOBSよりも若干コンパクトとなっています。2024年9月に、通常型のBBOBSなどとの長期比較試験観測を熊野灘で開始し、2025年11月に回収します。2026年には実際に超深海域での試験運用を予定しています。

### 引用文献

Shiobara, H., Ito, A., Sugioka, H., & Shinohara, M. (2019). New Era of Ocean Bottom Broadband Seismology with Penetrator System of the Autonomous BBOBS-NX (NX-2G). 27th IUGG General Assembly, S05a, IUGG19-0453.



写真：2024年9月に熊野灘で実施したUDBBOBSの投入風景。金属筒の上部は機構の動作を制御する音響トランスポンダで、下部に地震観測の機能があります。両者は海底で分離し、回収用浮力体（オレンジ色のガラス球）などの海中での振動が伝わらない構造としてあります。



# 光通信技術を利用した小型重力計観測網で 地下の流体移動を捉える

新谷 昌人 (東京大学 地震研究所)



地下深い岩盤の状態を直接見ることはできないので、様々な観測機器を用いて観測が行われています。地震計やGNSSは主に地表の地面の動きを精密に観測し、そのデータを元に地下の岩盤がどのように破壊され変形しているかを推測します。これらの機器は地上に多数設置されていますので、地震が起こったときにその近傍の観測点のデータを比較的すぐに利用することができます。一方、重力計を使った観測も行われています。地球の万有引力で私たちは常に地球の中心に向かう重力を感じますが、精密に重力を測ると地下の物質の移動を捉えることができます。物質移動に伴う引力の変化は遠隔力として途中の地盤の状態の影響を受けずに地下の物質の量や密度を直接観測することができます。ただ、重力の変化はとても小さく、大きめの変化が生じた場合でも地上の重力の1億分の1くらいです。それを捉えるためには精密なレーザーが組み込まれた高価な重力計が使われるため、観測点が圧倒的に少ない状況です。たとえば、能登半島で起こっている地震活動も地下の流体移動が関与していると推測されていますが、重力観測は臨時に少数の場所で行われました (Tanaka et al., 2025)。そこで、本研究は時空間的に継ぎ目の無い「マルチスケール」の重力観測をめざして、光通信分野の研究者と共同で、多数の観測点に展開し連続観測できる小型重力計の開発を行っています。

開発している重力計は重力の値そのものを正確に測れる絶対重力計と呼ばれるもので、真空容器の中で鏡を落下させ、その動きをレーザーで計測することにより得られた鏡の加速度から重力値が計算されます。レーザー光の波長が計測の基準となるため、精密に波長安定化されたレーザーを用いた従来の重力計は室温程度の温度でないと動作できず、観測点毎にエアコン等の環境整備が必要でした。私たちが開発している小型重力計は、通信分野で広く使われている長距離伝送できる赤外線レーザーを光ファイバーで別の場所から伝送して重力計に導入するため、重力計自体の小型化や温度条件の軽減ができます (Araya et al., 2020)。さらにレーザーを複数の観測点で共用することで

コストを下げた多数の観測点に展開できます。通信用レーザーの波長安定化は同じB01班の分担者である東北大学の葛西氏、吉田氏が成功していました (Kasai et al., 2016)。お二人と共同で通信分野の技術をさらに利用して、多数の重力計を観測地域に配置しリアルタイムに面的に重力変化を把握できるシステムを目指した開発をしています。光通信分野の技術は急速に進展しており、その手法やデバイスを利用できることが大きな利点です。たとえば、従来の計測用の赤い光のレーザーでは困難な光ファイバーによる長距離伝送、光の増幅、高速の信号変調と受光、既設光ファイバー網の利用、などです。

実験室で重力計に通信用レーザー光を導入して重力測定を実施しました (図1)。この実験では重力計の複数の検出信号を時間分割し、1本の光ファイバーで効率的に伝送できることが確認できました (図2)。この実証結果に基づき、次の段階では複数の重力計による観測所での試験観測を行います。重力観測を点から面に展開することで地下流体の移動を直接検出し、Slow-to-Fastの遷移過程の実態解明へ向けた新たな観測データの取得を目指します。

## 引用文献

- Tanaka, Y. et al. (2025) Earth Planets Space, 77:32.
- Araya, A. et al. (2020) Doi:10.1007/1345\_2020\_107.
- Kasai, K. et al. (2016) Opt. Express 24, 2737-2748.

## B01班分担者



葛西 恵介  
(東北大学電気通信研究所)



吉田 真人  
(東北大学大学院工学研究科)

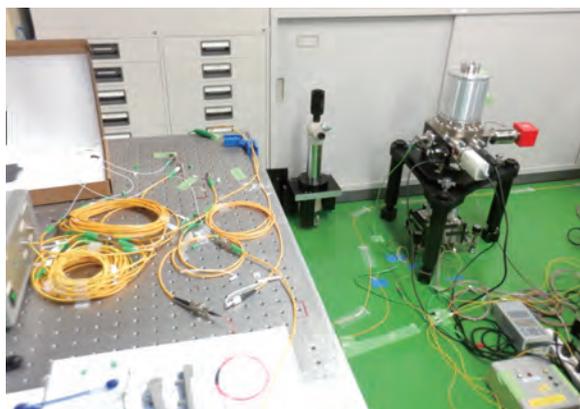


図1：通信用レーザー光を導入した重力測定。左の黄色い線が光ファイバーで、右の重力計に光源を導入しています。

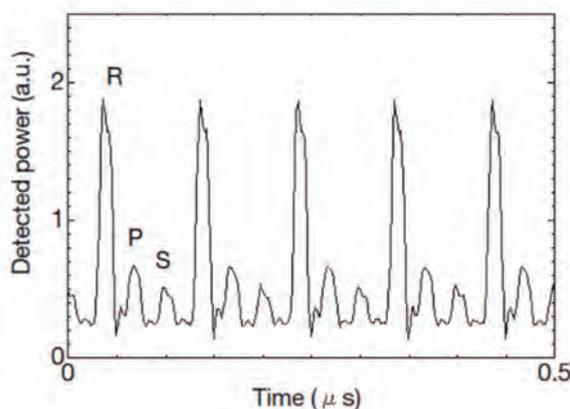


図2：従来3本の光ファイバーで伝送されていた3つの信号 (R,P,S)の時間分割による合波。



## S-netと機械学習で見出された 東北日本太平洋沖の地震帯

内田 直希 (東京大学 地震研究所)



令和6年(2024年)能登半島地震や米国における石油・ガス生産に伴う地震の例が示すように、地下へ水が流入し、間隙流体圧が上昇すると、断層の強度を弱め、地震を誘発することが知られています。一方、間隙流体圧がさらに上昇し、断層強度がさらに低下すると、断層は急激にすべることができず、ゆっくりとしたすべり(スロー地震)を起こし、高速なすべりである地震を発生させるべくすることも考えられます。このようにスロー地震・ファスト地震ともに地下に存在する流体(水)がその発生に大きな役割を果たしていることが考えられます。

今回ご紹介する研究は、本学術変革領域研究の前身の新学術領域研究「スロー地震学」の若手研究者海外派遣でアメリカに派遣された鈴木林太郎さん(東北大学大学院生)ら(写真1)と共同で行われたもので、元々は新たに海域に構築された海底地震観測網(S-net)を用いて多くの繰り返し地震を検出するための地震カタログの構築として始めました。まず、S-net観測点を含む長期地震観測データを効率的に処理し、地震の分布を得るために、波形の自動読み取りを行う深層学習モデルの開発を行いました。具体的には、人間が読み取ったP波・S波の読み取り時刻を、PhaseNetと呼ばれる深層学習の仕組みで学習させ、東北日本の震源決定に適した波形読み取りモデルを作成しました。このモデルを2016-2020年に594観測点で得られた90TBのデジタル波形に適用することにより、587,585個の地震の震源情報を得ました。この地震カタログは、沖合において、同時期の気象庁の震源カタログの6倍程度の多くの地震を含むとともに、沖合での地震の深さの精度が飛躍的に向上しています。こうして得られた震源カタログを内田を中心に解釈したところ、北海道・青森・岩手・宮城・福島

県の太平洋沿岸海域～関東地方下において、深さ約35-75kmのプレートから鉛直上方に伸びる活発な地震活動が存在することが明らかになりました(Suzuki et al., 2025, 図1)。

「前弧地震帯」と名付けたこの地震活動のうち、一番深い、沈み込む太平洋プレートの地殻内の地震活動の原因として、プレートが地下深部に沈み込み、高温高压になることにより、岩石に含まれる水が、岩石から分離(脱水)して、断層をすべりやすくすることが考えられます。プレートから分離した水は、まず、その直上のプレート境界断層の間隙流体圧を大きく上昇させ、比較的強度が弱いプレート境界断層をさらに弱くし、ゆっくりとしたすべりを誘発していると考えられます。本来目的としていた繰り返し地震もこの地震帯領域に多く分布しており、上昇する水が固着を弱めているという考えと調和的です。弱い固着による普段からのゆっくりとしたすべりは、東北地方太平洋沖地震などの大規模なプレート境界地震のすべりがプレート境界深部へ拡大することを抑制していると考えられます。一方、さらに浅部まで移動した水は、比較的強度が高い断層の間隙流体圧を上昇させ、浅い地震を誘発していると考えられます(Suzuki et al., 2025, 図1)。

本研究により、前弧域において沈み込むプレートから上昇する水が、プレート境界の巨大地震のすべりの拡大抑制や、浅い地震の活動の分布に関与している可能性が高いことがわかりました。本研究に対する本学術変革領域研究の厚いサポートに感謝するとともに、新たに発見された地震帯を核として断層すべりの多様性の理解を一層深めていきたいと考えています。

### 引用文献

Suzuki, R. et al. (2025) Science., 389, 190-194.

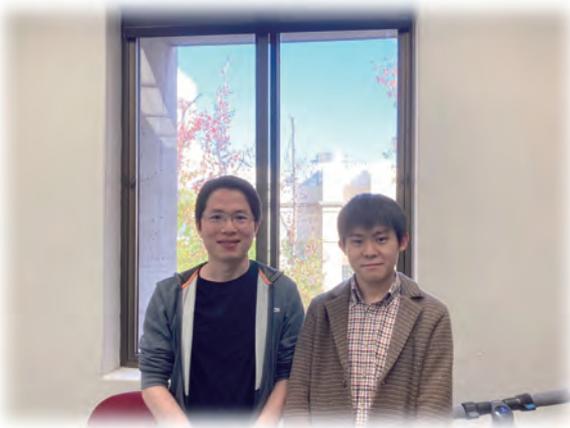


写真1：カリフォルニア工科大学にて共同研究者のZhu氏(左：研究に用いたPhaseNet開発者)と鈴木氏(右) (2021年度若手研究者海外派遣報告から転載)。

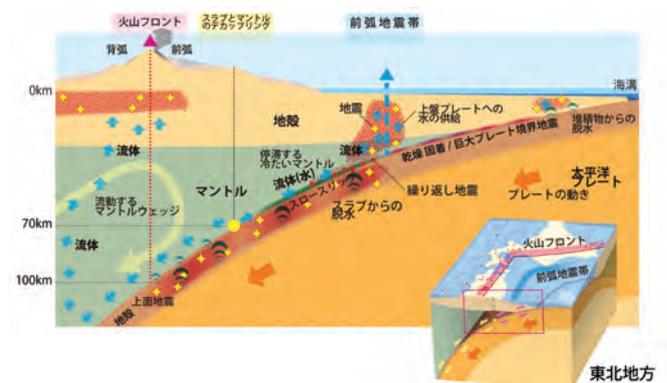


図1：前弧地震帯と水の移動に関する模式図。



# AI活用で迫る海域スロー地震の全貌

寒河江 皓大・内出 崇彦 (産業技術総合研究所 地質調査総合センター)



スロー地震の一種であるテクトニック微動（以下、微動）は、プレート境界におけるひずみの蓄積と解放の過程を理解するうえで重要な現象と考えられています。これまで微動の検出には、地震波形同士の類似性を評価する手法が広く用いられてきました。しかし、日本海溝のように通常の地震活動が活発な地域では、地震と微動を正確に区別して検出することが難しいという課題がありました。さらに、海底の堆積層によって波形が複雑化することも、微動の検出を困難にする要因となっていました。そこで私たちは、海域で発生する微動活動を網羅的に捉えることを目指し、機械学習（AIの一分野）を活用した高感度な微動検出の解析フローを開発してきたので、その成果についてご紹介します。

私たちが開発した解析フロー(Sagae et al., 2025)は、3つの技術から構成されています(図1)。本稿ではそのうち、(1)通常の地震と微動の地震波形を分類する方法、および(2)微動を検出した観測点群を抽出する方法の2つを紹介します。

まず(1)の地震波形分類には、AIモデルDiET(Discriminator for Earthquake and Tremor)を開発しました。本モデルは、地震波形の周波数成分の時間変化を表現するスペクトログラムを入力特徴として学習し、観測点ごとに地震波形の分類を行うものです。先行研究においても、スペクトログラムを学習したAIモデルの有効性が示されています(Nakano et al., 2019; Takahashi et al., 2021)。本研究では、これらの知見を踏まえて手法を拡張しました。具体的には、より広帯域の周波数成分を学習対象とし、さらに日本海溝の全150観測点のデータを用いて学習を行うことで、モデルの汎化性能を大幅に向上させた点が特徴です。その結果、97%以上の精度で地震波形を分類し、観測点

ごとの効率的な微動検出を実現しました。

次に、微動検出の信頼性をさらに高めるためには、近接する複数の観測点で微動を検出したという情報が不可欠です。そこで(2)微動を検出した観測点群を抽出する方法GrASP(Graph-based Associator with Signal Probability)を新たに開発しました。GrASPでは、グラフ理論に基づくクラスタリング手法であるスペクトルクラスタリングを実装しています。グラフ理論を導入することで、観測点間の位置関係を考慮したネットワーク構造を構築でき、微動を検出した観測点群を自動的に抽出することが可能となります。この手法により、複数地点で同時に微動が発生した場合でも、それに対応した観測点群を抽出し、震源決定へと結び付けることができるようになりました。

本解析フローを2016年8月から2024年8月までの8年間分の地震波形ビックデータに適用した結果、従来手法(Nishikawa et al., 2023)と比較して約7倍多くの微動の検出に成功しました(図2)。その中には、新たに微動活動が確認された場所や期間も含まれています。これにより、測地的に検出されたスローリップイベントと同期した微動活動の空間的・時間的な振舞いが明らかとなりました。これらの成果は、スロー地震の活動様式や、通常の地震との相互関係を理解するうえで重要な知見を提供するものです。

現在、私たちは本解析フローを日本海溝以外の海域観測網へ適用し、より広域的なスロー地震活動の包括的把握を目指しています。今後の研究のさらなる発展にもご期待ください。

## 引用文献

Nakano, M. et al. (2019) Seismol. Res. Lett., 90, 530–538.  
 Nishikawa, T. et al. (2023) Prog. Earth Planet. Sci., 10(1), 1–51.  
 Sagae, K. et al. (2025) J. Geophys. Res., 130, e2025JB031348.  
 Takahashi, H. et al. (2021) Earth Planets and Space, 73(1), 186.

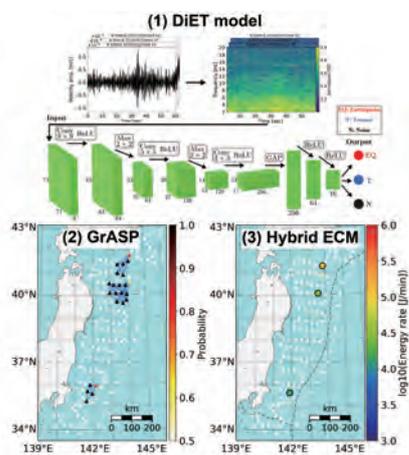


図1：本研究で開発した微動検出の解析フロー。(1)地震・微動・ノイズへの信号分類(DiET)、(2)微動を検出した観測点群の抽出(GrASP)、(3)微動の震源決定の3段階で構成される。

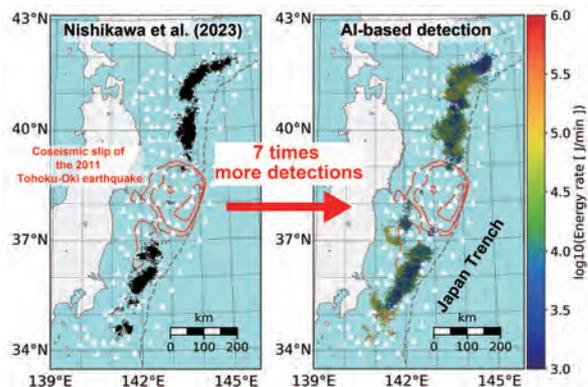


図2：AIを活用することで増加したテクトニック微動の検出数。点は微動の震央位置を示し、色は微動のエネルギー(対数表記)を示す。



## 関東地震と房総スロースリップイベントの数値モデリング

松澤 孝紀 (防災科学技術研究所 巨大地震変災害研究領域)



関東地域に沈み込むフィリピン海プレートと陸側プレートの境界では、巨大地震が200~300年程度の間隔で繰り返し発生しています。また房総沖ではスロースリップイベント(以下、SSE)が2~8年程度の間隔で繰り返し発生しています。こうした巨大地震としては、1702年の元禄関東地震や1923年の大正関東地震が有名ですが、元禄関東地震では三浦半島付近から安房沖で、大正関東地震では三浦半島から小田原付近で、それぞれ大きな地震すべりが発生したと考えられています。また、その規模はそれぞれMw7.8~8.2、Mw8.1~8.5と推定されています(Satake, 2023)。以下では前者および後者のタイプの地震を、それぞれ大正型地震および元禄型地震と呼びます。

当班のメンバーの研究(Saito & Noda, 2023)により、GNSS記録から関東地域の応力蓄積レートが直接推定されました(図1(a))。大地震やSSE発生の数値シミュレーションを実際の地域に適用する場合には、パラメータ分布の与え方が問題となりますが、この研究はそこに新たな手がかりを与えてくれるものとなりました。

大地震とSSEの数値モデリングにおいては、我々のこれまでの研究(Matsuzawa et al., 2013)と同様に、カットオフ速度を考慮したすべり速度・状態依存摩擦則を仮定し、プレート境界の形状に基づいて設定した約73,000個の要素上でのすべり速度と状態変数の時間発展を計算しました。この摩擦則のパラメータaとbの差(a-b)が正の場合は安定すべりが起きやすく、(a-b)が負の場合は逆に不安定なすべりが起きやすくなります。ここではSaito & Noda (2023)の結果の応力蓄積レートをもとに(a-b)が負の領域を設定し(図1(b))、大地震とSSEの再現を試みました。また房総SSEを再現するため、同領域で低い有効法線応力を仮定しました。さらに、元禄型地震の発生間隔は地質学的な調査(Komori et al., 2013)から、1300~2000年程度と見積もられており、大正型地震より発生間隔が長いことから、元禄型地震を特徴づけている安房沖で高い有効法線応力の領域を仮定しました。

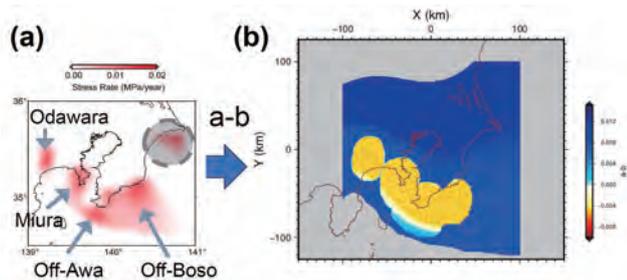


図1: (a) Saito & Noda (2023)により推定された応力蓄積レート。(b) (a)に基づいて設定したすべり速度・状態依存摩擦則のa-bの値の分布。

こうして設定したモデルでは、房総沖でスロースリップイベントが概ね6~8年間隔で繰り返すとともに(図2(b))、大正型地震が200~300年間隔、元禄型地震が1000~1500年間隔で発生しました(図2(a))。大正型および元禄型地震の規模は、それぞれMw8.0~8.1およびMw8.5~8.6となり、実際の関東地震の特徴と整合的な挙動が再現されました。興味深い点としては、応力蓄積過程を反映して、応力蓄積レートの高い領域が地震サイクル間に狭まっていく傾向がみられました(図2(d))。またSSEの発生間隔については、大地震の発生直後は短くなり、地震サイクルの半ばで長く、地震サイクル後半で若干短くなるような挙動もみられました(図2(b))。これは周囲の固着状況の変化を反映していると考えられます。本モデルからの予測結果は、長期の地殻変動観測により検証可能なものです。また応力蓄積レートの時空間変化は摩擦パラメータの分布と密接に関係しますので、予測と観測の比較から、プレート境界の摩擦特性の情報が得られることも期待されます。今後も観測と比較可能となるような予測を通じてモデルの検証を進め、現象の理解を深めるとともに、より現実的な地震発生のモデリングや予測につなげたいと考えています。

### 引用文献

- Komori, J. et al. (2021) *Quaternary Sci. Rev.* 272, 107217.  
 Saito, T. & Noda, A. (2023) *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 113, 1842-1855.  
 Satake, K. (2023) *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 113, 1826-1841.

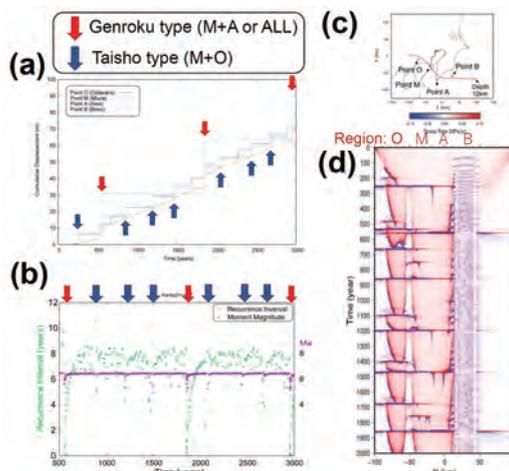


図2: (a)小田原(紫線)、三浦半島(緑線)、安房沖(水色線)、房総沖(橙線)における累積変位量。(b)房総SSEの発生間隔(緑)およびMw(紫)。(c) (a)に示した各点の位置。赤線は(d)に示したパラメータの位置を示す。(d) 深さ12kmにおける応力蓄積レートの時空間変化。



# 繰り返し地震を予測する更新過程モデルの高度化

野村 俊一 (早稲田大学 大学院会計研究科)



同じ領域で繰り返し発生するスロー地震やファスト地震には、発生間隔に一定の規則性が見られることが知られています。このような「繰り返し地震」に対しては、前の地震から次の地震までの発生間隔の確率分布を推定し、次の発生時期を確率的に予測する更新過程モデルが広く用いられています。政府の地震調査研究推進本部でも、国内の主要な活断層や海溝域の繰り返し地震に更新過程を適合させ、将来数十年間における発生確率を評価しています。

主要な地震では発生間隔が数十年から数百年に及ぶため、予測の妥当性を検証するには長期の観測が必要です。一方で、比較的小規模な繰り返し地震は短い間隔(数か月～数年)で発生するため、更新過程モデルの予測性能を検証する実験的な研究が行われてきました(Okada et al., 2012)。本記事では、私が取り組んできた更新過程の拡張による繰り返し地震予測の高度化に関する2つの研究を紹介します。

## 1. 巨大地震後の非正常更新過程モデル

図1に示す釜石沖の繰り返し地震では、2011年の東北地方太平洋沖地震(黄色縦線)以降、発生間隔が急激に短縮し、その後徐々に回復する傾向が見られます。従来の更新過程はこのような発生間隔の時間変化(非正常性)を表現できません。そこで、野村・田中(2021)は余震活動の時間減衰を表す大森・宇津則を用いた時間変換を考案し、変換後の発生系列に更新過程を適用

することで非正常な再来挙動を表現できるモデルを構築しました。このモデルは地震予知連絡会を通じて気象庁気象研究所により東北沖の繰り返し地震の予測に利用され、将来に向けた予測実験が継続されています。

## 2. 潮汐を考慮したスロー地震の再来予測

Ide & Nomura(2022)は西南日本におけるテクトニック微動(スロー地震)の再来特性を詳細に解析し、地点ごとの発生間隔の分布を「長期成分(数週間～数か月)」と「短期成分(数時間～数日)」の2成分に分離して推定しました。加えて、潮汐による応力変化が微動の発生確率に影響を及ぼすことを定量的に示し、更新過程に潮汐応答を組み込んだ予測モデルを開発しました(図2)。

以上の2つの研究は、更新過程に非正常性や外力応答を組み込むことで、繰り返し地震の発生予測をより高度化することを目指しており、今後はより多様な地域・スケールの繰り返し地震への応用が期待されます。

## 引用文献

Ide, S. & Nomura, S. (2022) Progress in Earth and Planetary Science, 9, 67.  
 Okada, M. et al. (2012) Earth, Planets, and Space, 64, 703-715.  
 野村俊一・田中昌之(2021) 統計数理, 69(2), 239-254.

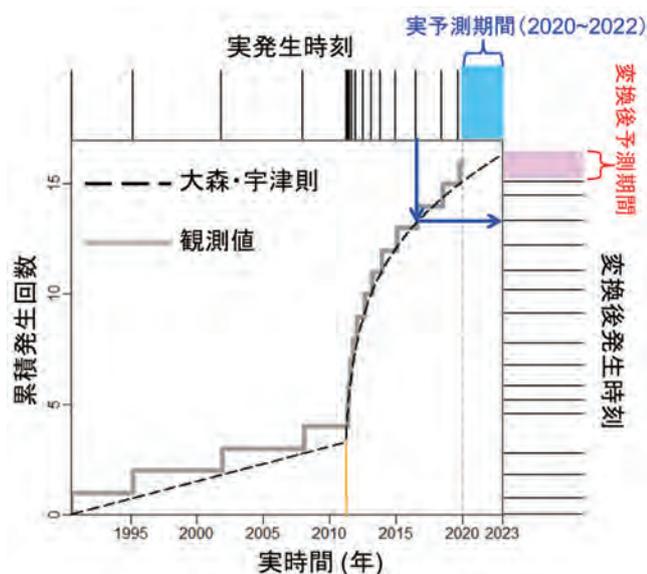


図1: 釜石沖の繰り返し地震の累積発生回数と大森・宇津則を適合させた推定曲線。グラフ上部の実発生時刻を推定曲線で時間変換し右部に示している。

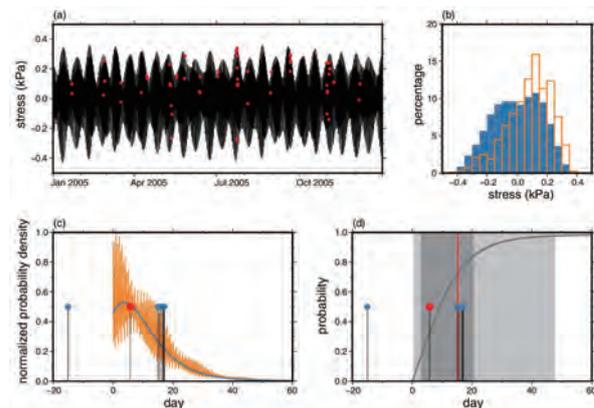


図2: ある地点の微動に対する潮汐応力の影響評価 (Ide & Nomura, 2022)。a: 潮汐応力レベルの推移(黒線)と微動発生時刻(赤点)。b: 微動発生時点(オレンジ)と全時点(青)における潮汐応力レベルのヒストグラム。c: 潮汐応力効果有り(オレンジ)および無し(青)の更新過程モデルで予測した次の微動発生時刻の確率密度関数。d: ある時刻から次の微動発生時刻の累積分布関数と95%(薄灰色)および68%(濃灰色)予測区間。

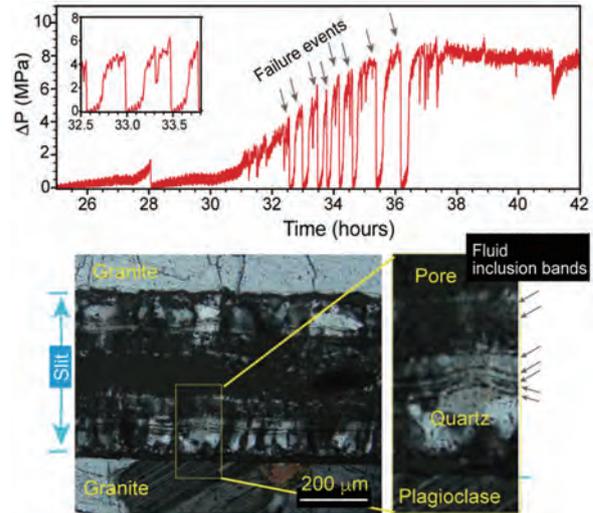
公募研究A01

## 人工石英脈が記録するシリカ析出による流体圧振動

岡本 敦 (東北大学 大学院環境科学研究科)

地震発生サイクルを流体圧変動と結びつけた「断層バルブモデル」は、これまで広く受け入れられてきました。地震発生帯に存在する石英脈には、包有物が縞状に配列する組織や、成長累帯構造の縞模様などが観察され、地震による破壊と閉塞の繰り返しを示していると解釈されてきました。しかし、実際に石英脈の組織と流体圧変動を結びつけることは非常に困難です。本研究では、高濃度のシリカ水溶液を花崗岩の亀裂に一定流量で流通させ、シリカ析出で亀裂を閉塞させる、「人工石英脈」作成実験を行いました。実験期間の途中から上流と下流の差圧がつき始め、興味深いことに、差圧がゆっくりと上昇しては急激に減少する振動が発生しました。シリカ析出物は、上流から下流に向かって、アモルファスシリカ、核形成した石英粒子、基盤からの石英の成長と系統的に変化しますが、アモルファスシリカ+核形成した石英粒子が混在した部分が最も空隙率が小さく、効果的にシールされていました。さらに、その少し下流で観察される石英粒子は、複数の流体包有物の配列構造(バンド)が観察されました。これらの証拠は、弱いシール層の形成と破壊が繰り返す、断層バルブ挙動を初めて実験室で再現したものとと言えます。本研究の条件は、高温地殻に流体が流入して引

き起こされる群発地震などで、シリカの粒子の形成、運搬が重要な役割をしている可能性を示唆しています。



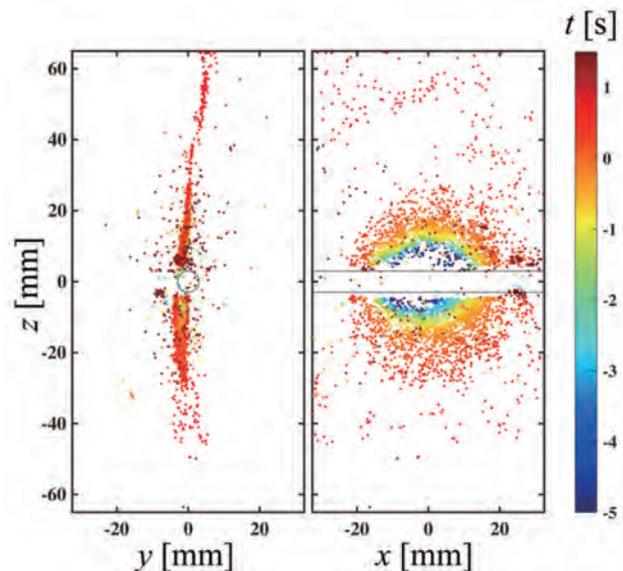
図：シリカ析出実験により生じた流体圧振動(上)と石英結晶中の流体包有物バンド(下)。

公募研究A01

## 流体圧入実験で探るSlow/Fast地震の発生過程

直井 誠 (北海道大学 大学院理学研究院)

Slow地震発生に重要な役割を果たすと考えられている流体と破壊の相互作用を調べるため、岩石に流体を圧入する室内実験でアコースティック・エミッション(AE)センサによって微小破壊を測定し、深層学習を用いた解析でカタログ作成、震源メカニズム推定を行い、破壊の詳細な様子を描き出します。扱いが難しいAEセンサの記録については、これまで開発した手法で周波数応答や感度を丁寧に補正し、破壊の震源特性の推定と、規模の割に低周波が卓越するイベント(Slowイベントの候補)の探索を行います。深層学習による到来時刻読取りと検出、テンプレート・マッチング技術を併用してイベント数を大幅に拡充し、高品質カタログでその活動を高分解能で描き出すとともに、薄片観察で評価できる流体侵入域と合わせて流体圧入で生じた破壊のメカニズムとその成長過程を解明します。また、本研究で大量のデータ処理に活用している深層学習のノウハウを自然地震のデータ解析にも応用することを試みます。



図：頁岩供試体を用いた実験で得られたAEイベントの震源分布(Naoi et al., 2025の図を改変)。

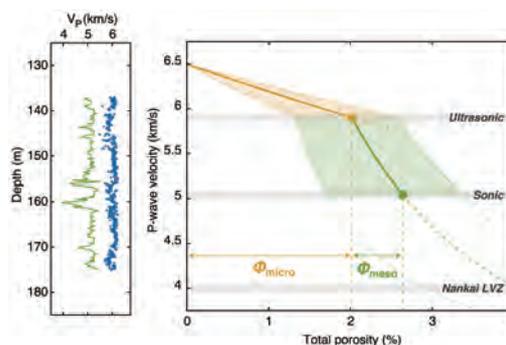
公募研究A02

## 沈み込み帯の地震波速度と流体移動のスケール依存性

赤松 祐哉 (海洋研究開発機構 海域地震火山部門)

沈み込み帯で起こるスロー地震や巨大地震は岩石内部の流体(間隙水)移動と密接に関係していることが様々な研究から明らかになっています。間隙水は岩石の弾性的性質を大きく変化させるため、地震波速度の観測結果から間接的に流体の量や状態を推定することが可能です。しかし、沈み込み帯のような天然の地質構造体には数 $\mu\text{m}$ から数mに及ぶ様々な大きさの空隙(亀裂)が存在しています。そのため、観測される地震波速度から流体の情報を定量的に推定するためには、どのスケールの空隙が地震波速度や地震発生に影響しているのかを特定する必要があります。そこで本研究は、高知県須崎市の四万十帯・横浪メランジュの西方延長から採取された陸上掘削コア試料を用いて実験室での地震波速度測定を行い、その結果を実験試料よりも大きいスケールの構造を反映する掘削孔検層速度データと比較することで、観測スケールの違いによる値の変化を調べました。その結果、孔内検層で得られる地震波速度は実験室で測定される値よりも1km/sほど低いことがわかりました。これは、実験試料よりも大きい(メソスケール)亀裂が沈み込み帯の地震波速度に影響していることを示唆します。さらに、メソ

ケールの亀裂は岩石の浸透率を劇的に増加させ流体を効率的に移動させることができるため、流体移動を伴う地震活動とも関連している可能性があります。以上の結果から、地震活動を引き起こす流体の振る舞いを地震波速度の観測結果から推定するためには、このようなメソスケールの構造を理解する必要があることが明らかになりました。



図：(左) 実験室で測定したP波速度(青色)と検層データ(緑色)の比較。検層データは実験値よりも1km/sほど低い傾向を示す。(右) 理論モデルから推定される空隙率とP波速度の関係。検層(Sonic)データを説明するためには、メソスケールの空隙率を導入する必要がある。

公募研究A02

## 深部スロー地震発生域における断層バルブ挙動の地質学的実体

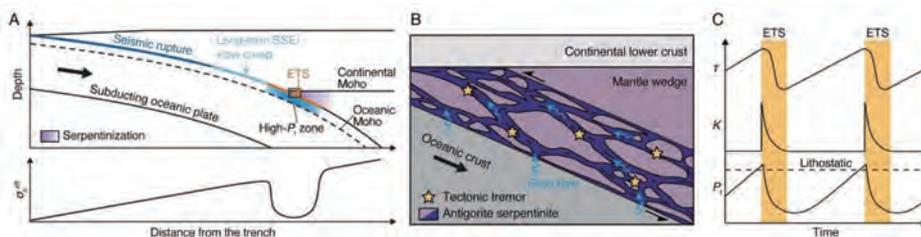
平内 健一 (静岡大学 理学部 地球科学科)

沈み込み帯のマントルウェッジ先端部では、高い間隙流体圧を受けた剪断帯内で、tectonic tremor & slipと呼ばれる深部スロー地震が繰り返し発生していると考えられています(図A)。私は、この剪断帯内部でどのようにしてETSが起きるのかを明らかにするため、高温高压岩石変形実験と野外地質調査を組み合わせる研究を行っています。

ETS発生域に相当する温度圧力条件下で行った蛇紋岩試料の変形実験の結果、著しく高い流体圧下では、試料全体に引張破壊および引張・剪断破壊が多数発達するfault-fracture mesh構造がされることがわかりました(図B)。このような構造の形成がETS発生そのものに対応している可能性

があります。さらに、ETS発生域に相当する深度で形成されたマントルウェッジ蛇紋岩の野外調査からは、破壊面が新たな蛇紋石の析出により閉鎖されるまでの時間が、ETSの繰り返し間隔を決めている可能性が示されました(図C)。

このような破壊と鉱物析出の繰り返しは「断層バルブ挙動」と呼ばれ、ETS発生域における地震波速度の時間変化を説明する手がかりとして注目されています。これらの成果は、ETS発生域における断層バルブ挙動の地質学的実体を示すものであり、蛇紋岩だけでなく結晶片岩などのスラブ物質中にも同様の構造が認められることから、ETSの普遍的な発生メカニズムを示している可能性があります。



図：深部スロー地震(ETS)発生時における前弧マントルウェッジ剪断帯内での断層バルブ挙動の模式図(Hirauchi et al., 2025)。(A) 沈み込み帯の概念的な断面図。図中の四角枠はETS発生域内における蛇紋岩剪断帯の位置を示し、(B)に拡大図を示す。(C) ETSサイクルに伴う断層帯の剪断応力( $\tau$ )、浸透率( $K$ )、間隙流体圧( $P_f$ )の時間変化。

公募研究A02

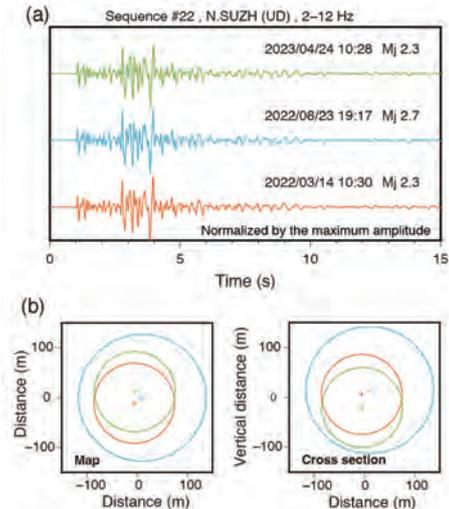
## 能登半島群発地震における繰り返し地震の検出

中島 淳一 (東京科学大学 理学院)

「繰り返し地震」とは、断層面上での非地震性すべりによって孤立したアスペリティが繰り返し破壊することで発生する地震です。繰り返し地震の規模と発生間隔から断層面上での非地震性すべりを見積もることができるため、クリップメーターとして使われます。本研究では、能登半島群発地震における非地震性すべりの時間発展の解明を目的に繰り返し地震の検出を行いました。

繰り返し地震の同定は波形の相似性と震源域の重なりが重要です。この2つの条件が満たされて初めて「同じアスペリティの繰り返し破壊」と解釈できるためです。本研究では、波形相似性の評価には7観測点以上で相関係数0.95かつ2観測点以上で0.98以上という先行研究よりも厳しい条件を用いました。また震源域の重複度の評価もより厳しくしました。その結果、解析した1929個の地震(2020~2023年:M $\geq$ 2)のうち33系列68地震が繰り返し地震と判定されました。相関係数を計算する際の周波数帯域や震源域の重なりを評価する際の応力降下量などの判定条件をより厳しくしても、68地震の約半分はなお繰り返し地震と判定されることも確認しました。つまり、能登半島群発地震震源域で繰り返し地震が発生しているのはほぼ間違いないと

考えられます。今後は検出された繰り返し地震を用いて、群発地震震源域の非地震性すべりの時空間発展を議論する予定です。



図：(a) 繰り返し地震の波形例 (互いの相関係数0.99以上) と (b) 震源の重なり (応力降下量3MPaを仮定)

公募研究A03

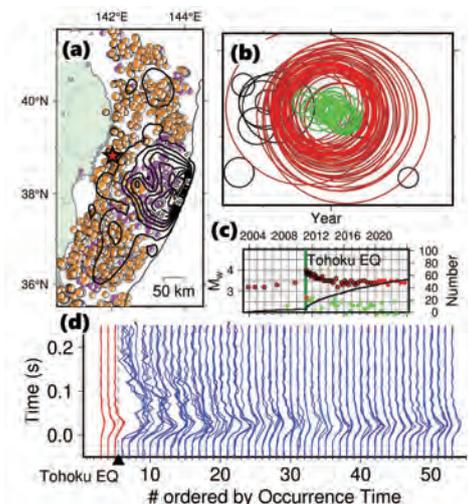
## 繰り返し地震の解像による地震成長過程の支配要因の解明

吉田 圭佑 (東北大学 理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター)

2011年東北沖地震後、日本海溝沿いプレート境界では、これまで地震が見られなかった領域で繰り返し地震が出現したり、既存の繰り返し地震の規模が変化するなどの現象が報告されています。これらの観測は、ゆっくりとした滑りがどのように加速して地震性すべりに至るのか、その滑りがどこまで拡大し、どのように停止するかを考える上で重要な手がかりとなります。本研究では、繰り返し地震の破壊過程の解像を通じて、地震破壊の成長過程を支配する要因を解明することを目指しています。

このために、マグニチュードにばらつきを示す特異な繰り返し地震系列を抽出し(図aの星)、その詳細を調べました。最初に、破壊域を高精度に再決定したところ、より大きな地震すべり域の内部に、より小さなすべり域が内包される階層構造が確認されました(図b)。各地震のモーメント・マグニチュード(Mw)からは、東北沖地震直後にMwが増大し、時間とともに平常水準へ戻る傾向が見られました(図c)。各地震の震源時間関数を推定した結果、東北沖地震後約1年間は、平時の破壊域に加えて隣接領域へも破壊が及んでいたことが分かりました(図d)。これらの明瞭な時間変化は、地震破壊の停止しやすさが、東北沖地震後の余効すべりに伴う載荷速度変化に強く影響されたことを示唆します。

今後の課題は、背景載荷速度が停止条件に作用する具体的な物理過程を明らかにすることです。



図：解析対象の繰り返し地震とその特徴。(a)地図上の位置(赤星)。等値線は2011年東北沖地震のすべり分布。橙色・紫色の記号は、それぞれ東北沖地震の前後に発生した地震。(b)震源域の拡大図。(c)モーメント・マグニチュード(Mw)の時間変化。(d)各地震の震源時間関数。

公募研究B01

## 分布型音響センシングによる地震・スロー地震の震源解析

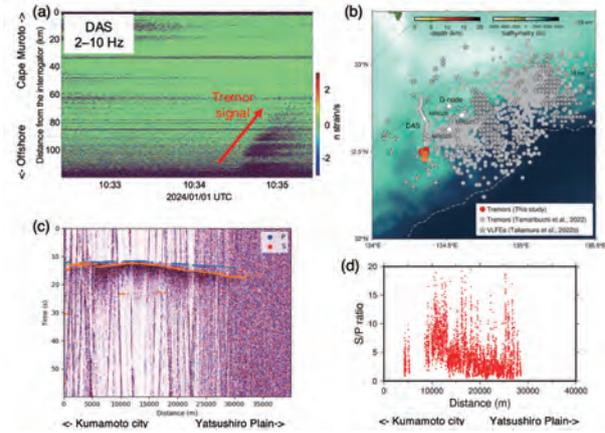
馬場 慧 (九州大学 大学院理学研究院)

分布型音響センシング(DAS)は、光ファイバーケーブルに沿って歪の変化を計測する技術で、通常の地震計ネットワークでは難しい高密度な地震観測を可能にするため、近年注目されています。特に、地震計の設置にコストがかかる海域や、浅部の構造が重要な火山周辺では、DASの果たす役割は大きいと考えられます。

南海トラフ巨大地震発生領域とスロー地震発生領域が隣接している四国の室戸岬沖では、DASによる連続観測が行われています。2024年1月1日に発生した能登半島地震の3時間後には、室戸岬沖で発生した小規模な浅部微動活動をDASで観測することができました。これらの微動は、能登半島地震による過渡的な応力変化の影響で発生したと考えており、DASは大地震後の地震・スロー地震活動をモニタリングするにも有用と考えています(Baba et al., 2025)。

また、九州大学では、2023年に熊本県の布田川・日奈久断層帯でDAS観測を行い、M1-2クラスの地震のシグナルが記録されています(Hamanaka & Emoto, 2024)。これらの地震について、深層学習モデルによるP波・S波の読み取りや、DASの振幅情報を使った発震機構解の推定を行い、DAS

データを使った断層帯の地震活動のモニタリングができればと考えています。



図：室戸沖 DAS で観測された浅部微動と熊本 DAS で観測された通常の地震。(a) 室戸沖 DAS で観測された浅部微動の歪速度時空間分布。(b) 能登半島地震後に DAS で観測された浅部微動の分布。(c) PhaseNet-DAS (Zhu et al., 2023) でピックされた熊本 DAS の M1.4 の通常の地震。(d) 熊本 DAS で観測された M1.8 の通常の地震の S 波と P 波の振幅比の分布。

公募研究B03

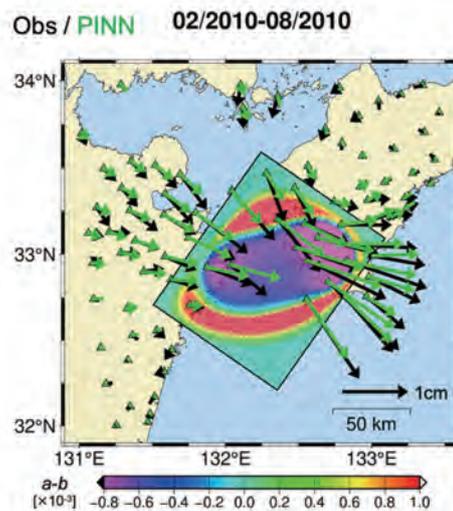
## 物理深層学習を用いた摩擦特性空間分布の推定

加納 将行 (京都大学 防災研究所)

Fast地震やSlow地震は摩擦に支配された断層すべり現象として理解されています。従来の観測では、Fast地震とSlow地震の発生域が空間的に異なる場所で分布していることや、地域ごとに異なるスロースリップの挙動が見られることから、沈み込むプレート上に摩擦特性の空間的不均質が存在することが示唆されてきました。しかし、実験室で得られた摩擦則に基づいて摩擦特性の空間分布を定量的に評価した研究は少ないのが現状です。

本研究では、GNSSで得られた地殻変動データとデータ同化手法を用いて摩擦特性の空間分布を推定しました。特に、物理法則を組み込んだ機械学習手法である物理深層学習(Physics-Informed Neural Networks, PINN)を利用し、従来の方法では困難だった高次元の逆問題を、少ない事前制約で解くことに挑戦しました。対象としたのは2010年に西南日本の豊後水道で観測されたスロースリップです。その結果、四国南西部に摩擦特性の不均質が存在し、そこからすべりが始まって西方へ伝播したことが明らかになりました。また、推定された断層すべりは、強い制約を課す従来型のデータ同化では再現できない地表変位の時空間パターンを再現しました。この成果は、PINNを用いた物理に基づく逆解析の有効性を示すものであり、断層の物理的理解や將

来的な断層すべり予測の発展につながる可能性を示しています。



図：物理深層学習により推定された摩擦特性 (a-b) の空間分布。緑三角は使用した GNSS 観測点を表す。

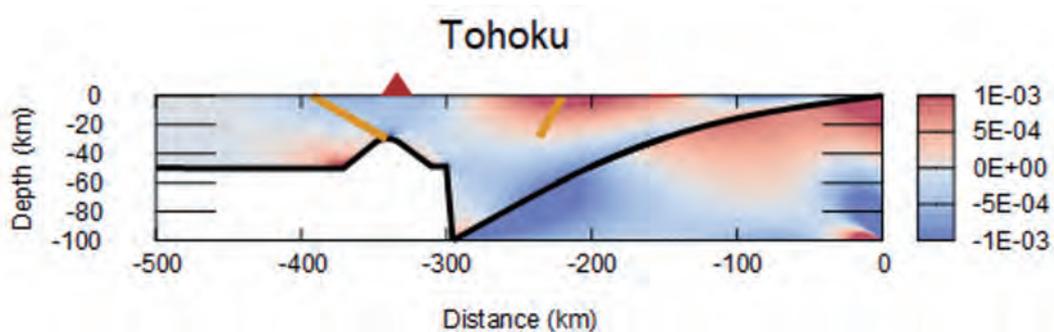
公募研究B03

## 島弧海溝結合系における地震発生過程の物理モデル

安藤 亮輔 (東京大学 大学院理学系研究科)

日本のような島弧海溝系において、地震を起こす原動力はプレートの沈み込み運動ということはよく知られています。ところが、島弧内陸部に応力が蓄積する物理機構、さらに海溝型地震と内陸型地震の時空間的な相互作用の機構は、よく分かっていませんでした。一方、最近の理論研究で、断層面の曲率の効果により断層周辺に特徴的な応力変化のパターンが生じることが明らかにされました。本課題では、東北地方と九州地方を対象として沈み込みプレート境界の実際の形状を考慮した2次元モデルを構築し、まずプレート境界と内陸部に応力が蓄積される過程を詳細に解析しました。その結果、実際のプレート形状を考慮することにより、よく知られた東北地方の前弧側に生じる正断層応力場

と背弧側の逆断層応力場(図)、九州地方に生じる正断層応力場が再現されることが分かりました。さらに、内陸部にも摩擦則に従う断層面を仮定し、プレート境界と内陸断層で地震が起こる時空間パターンを調べました。その結果、内陸の正断層地震は、海溝型地震の直後に発生しやすく、逆に逆断層地震は、海溝型地震の前に発生しやすいことが分かりました。これは、プレート境界の固着と滑りが形成する内陸応力場の特徴的な時空間変化の影響だと理解できます。このように、プレート境界面形状の曲率の効果という比較的単純な要因で、応力場と地震発生の多様な現象が理解できるのは意義深いことと言えるでしょう。



図：プレートの形状と応力速度の分布 (MPa/年)。暖色は正断層(引張)、寒色系は逆断層(圧縮)の応力場を示す。赤三角と橙線は東北地方の火山と内陸断層の位置。

## 新メンバー紹介

■ NL vol. 4発行後に加わっていただいたメンバーをご紹介します。



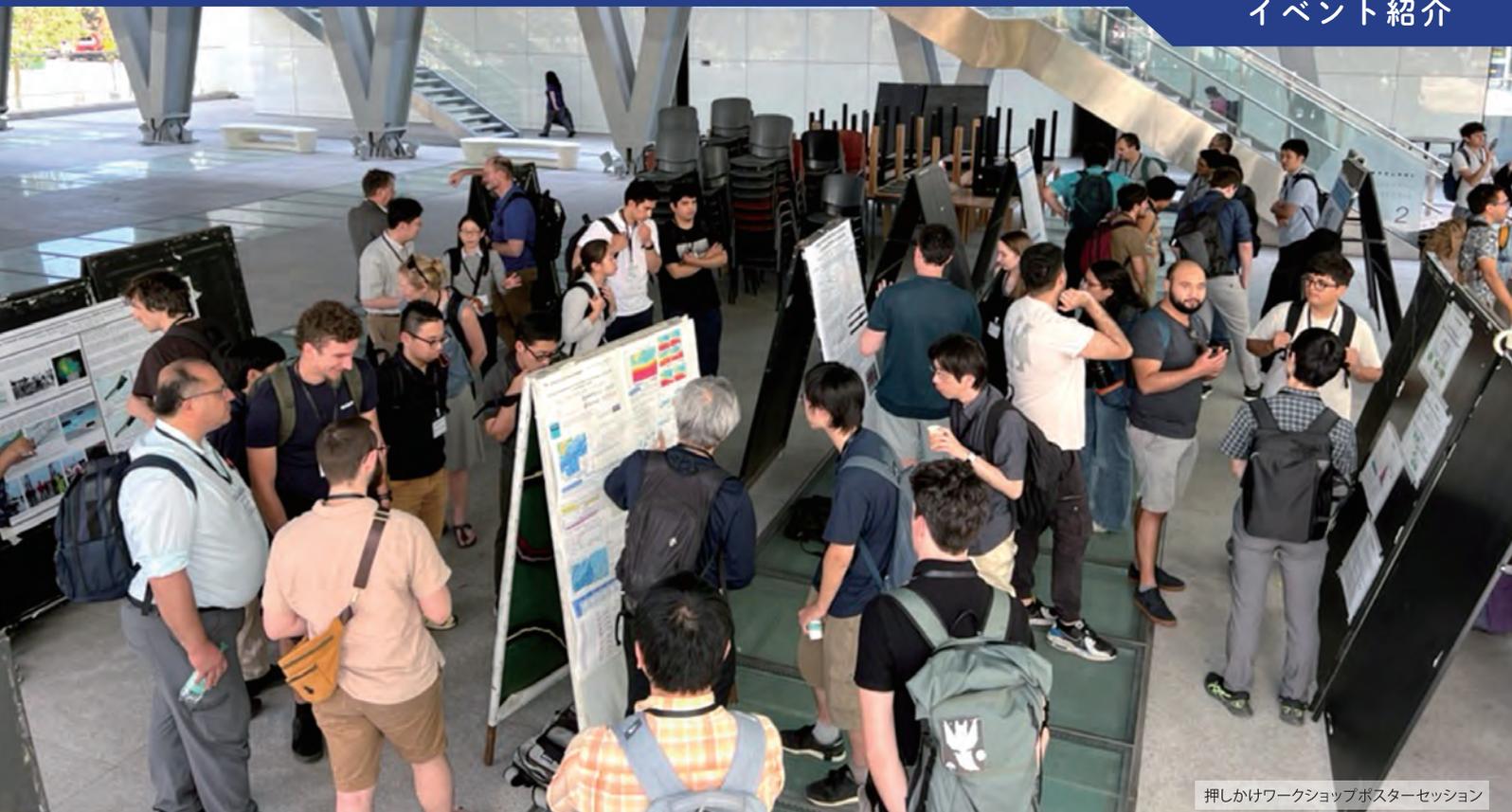
### 柴田 律也

防災科学技術研究所地震津波複合災害研究部門・特別研究員

専門：地震学

キーワード：震源過程解析、地震活動解析

B03班 協力者



押しかけワークショップポスターセッション

## チリ押しかけワークショップ：スロー地震とねじり鎌の出会い

京都大学 防災研究所 伊藤 喜宏

2025年1月13日と14日、チリ・サンティアゴ市のチリ大学で「押しかけワークショップ International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes in Chile」を開催しました！

このワークショップは、アメリカの研究プログラム SZ4D の国際共同研究サブグループ SZnet が主催する "Ocean Floor Observational Technology Workshop" (1月15・16日) と連携して実施されました。名前のとおり、日本から研究者が“押しかけ”て、日本からの21名を含む100名以上が参加。会場は終始、活気と熱気に包まれました。

発表は口頭45件、ポスター9件と大盛況。チリでの研究はもちろん、アラスカ、カナダ、アメリカ、メキシコ、ペルーの事例も紹介され、会場からは質問や意見が飛び交いました。国際色豊かな議論に笑いも交じり、参加者にとって忘れられない学びの場になりました。

続いて開催された "Ocean Floor Observational Technology Workshop" では、日本が誇る海底観測技術や最新の成果が披露され、海外の研究者たちから大きな注目を浴びました。特に Breakout session では日本人研究者の積極的な発言が目立ち、国際舞台での存在感をしっかりと示す場面となりました。

ワークショップ前には、11日・12日の2日間で巡検も実施。11日はサン・ラモン断層のトレンチ調査を見学。チリの研究者が日本の「ねじり鎌」を使って作業していたのが印象的で、「お土産に持っていこうかな」という声も聞かれました。12日はマイボ川沿いの河岸段丘を訪れ、エル・カブレイオからサン・ホセ火山を眺めました。山頂は雲に隠れていましたが、氷河地形を望む30分の

トレッキングは爽快で、自然の中での交流も深まりました。

今回のワークショップと巡検は、研究成果を共有するだけでなく、参加者同士の距離をぐっと縮める貴重な機会になりました。国際連携を大切にしながら、Slow-to-Fast地震学をますます盛り上げていきましょう！ご参加いただいた皆さま、本当にありがとうございました。



サン・ホセ火山へのトレッキング



## International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2025

東京大学 大学院理学系研究科 井出 哲

今年も国際研究集会、International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2025を、高知市文化プラザかろぼーとにて9月24日から26日に開催しました。オンサイトの参加者数名199名、そのうち海外からの参加者は44名でした。今回はハイブリッド開催で、オンラインでは海外からの7名を含む31名が参加しました。会場でハイブリッド映像を見ていた方も相当いたようです。3日間に26件の口頭発表と169件のポスター発表、その他1日目夕方には懇親会、また3日目にはグループ討論が行われました。

今年は以下のSpecial Topicを設定、一日ごとに2件の基調講演と4件の口頭発表を行いました。

- ・ Cutting-Edge Approaches to Measurement and Data Analysis
- ・ Data-constrained numerical modeling and model-informed observations
- ・ Environment and generation processes of slow and fast phenomena

初日のCutting-Edge Approachesは現在最先端のデータ解析や観測についてのセッションです。AIデータ解析や新しいイベント検出法、確率予測手法、新しいファイバー計測やKAGURAでの観測などについて講演がありました。二日目のData-constrained numerical modelingは、様々な動的断層す

べりモデルについての研究や、空隙流体の測定やその断層破壊プロセスにおける役割についての研究が紹介されました。三日目のEnvironment and generation processesでは、地質学的な地震発生帯の観察や、微小スケールで断層バルブが形成される実験、さらに地震学的な流体の証拠や高解像度の地下構造探査結果などの報告がありました。

ポスター発表は2日に分けて、さらに午前午後でコアタイムを分けて行いました。会場がやや小さかったこともあり、ポスター会場における議論の熱気は例年以上にあったと思います。もっとも参加者数に比べて会場が小さかったことは反省点でもあります。そもそも参加登録段階で定員に達したために、領域の研究分担者でさえも参加できない方がいたことは大変申し訳ありませんでした。一方で、部屋の狭小対策として準備したサテライト会場では、スライドが良く見え、さらに常時コーヒーを飲み雑談しながら講演が聞けるということで、想像以上に好評でした。新しい集会運営方法を見つけたような気がしました。

今回の集会は、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、高知県からも支援をいただきました。JAMSTECの濱田洋平さんをはじめLOCの方々、参加者、関係者の皆様に感謝いたします。



## Slow to Fast Earthquake International Workshop 高知2025 プレ地質巡検報告

高知大学 橋本 善孝

2025年9月23日、四万十帯の地質を対象としたプレ地質巡検を実施しました。本巡検は、翌日の「Slow to Fast Earthquake International Workshop」に先立ち、参加者に日本の付加体地質の実例を現地で理解してもらうことを目的として企画されたものです。案内は筆者と博士課程の細川貴弘・内田泰蔵両氏、山口飛鳥氏が担当し、国内外から約75名の研究者が参加しました。午前には高知県横浪半島で白亜系四万十帯の代表的メランジュを観察し、砂岩・黒色泥岩ブロックが剪断された頁岩基質中に取り込まれた構造や、流体包有物温度・応力解析に基づく沈み込み帯地震発生帯での応力サイクルや流体移動について活発な議論が行われました。北縁断層ではカタクレサイト帯と主要すべり面の関係を観察しました。午後は中土佐町久礼地域に移動し、高温領域に属する久礼メランジュを見学しました。メランジュ南方の温度ギャップと後期のアウト・オブ・シーケンス断層活動が説明され、アンダープレATINGや鉱物脈の観察を通じて複雑な熱・変形史を議論しました。巡検の終盤には久礼八幡宮、大正市場や津波避難タワーを訪れ、地域の防災文化と科学の連携について意見を交わしました。本巡検は四万十帯の構造発達史を現地で学ぶ貴重な機会となり、参加者間の国際的連携を深める契機となりました。



久礼メランジュの露頭で熱心な観察や活発な議論が行われている様子

## 三波川帯巡検の報告

東北大学 大学院環境科学研究科 岡本 敦

国際研究集会2025の翌日に、三波川変成帯の四国中央部別子地域において日帰りの巡検を行いました。参加者は68名で、天候が心配されたが、当日は、気持ちの良い秋の気候の中、予定通りのスムーズな巡検を行うことができました。

Stop1は、緑色片岩相に対応する緑泥石帯の露頭で、泥質片岩の片理に沿って発達する石英脈と、それを高角に切る石英脈が高密度に分布する様子を観察しました。初めて高压変成岩を見る参加者も多く、地震発生帯の最深部で起こる流体活動について興味をもたれていました。Stop2は、洞山川沿いのざくろ石帯高温部に産するマンタルウェッジ起源の蛇紋岩体でした。レンズ状の蛇紋岩ブロックとマトリックス部分からなる、高温型蛇紋岩の変形構造について活発な議論が行われました。また、蛇紋岩体と泥質片岩の境界には滑石、角閃石、緑泥石を含む反応帯が発達しており、マンタルウェッジ近傍での元素移動や交代反応による変形の局在化を見ることができました。Stop3では、エクロジイト相を経験した苦鉄質片麻岩の転石を観察し、試料採取をしました。沈み込み帯の深部50 km以上から上昇してきた岩石を実際に手に取って、多くの参加者が大きなざくろ石を含む試料を採取して

満足していました。以上、沈み込み帯のプレート境界に沿って岩石-流体相互作用が作り出す様々な不均質構造が観察できた充実した巡検でした。



富郷蛇紋岩体でのドローン写真



## Slow-to-Fast地震学プロジェクト 若手研究者交流イベント(2025)

東北大学 災害科学国際研究所  
岡田 悠太郎

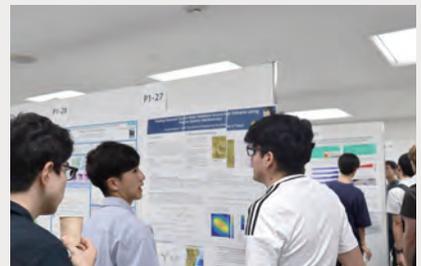
Slow-to-Fast地震学プロジェクトでは、学生を含む若手研究者間の交流を促進するためのイベントを定期的で開催しています。日本地球惑星科学連合2025年度連合大会では、2024年度に引き続き、若手研究者キャリア相談イベントを開催しました。2025年度は、「本プロジェクトの関連分野には、学部・修士学生が数多く在籍している一方で、博士課程在籍者は数が少ない」という点に着目し、大学生や大学院修士課程学生を主な対象とした博士課程に関する座談会を企画しました。開催に際して、専門分野、所属大学、性別等の観点で多様な属性の、博士課程に在籍する話題提供者をお招きし、様々な境遇の参加者にとって有益な会にすることを心がけました。イベントには大学生から大学院博士課程在籍者まで幅

広い層の学生が参加し、話題提供者達の話に真剣に耳を傾け、積極的に質問をするなど、座談会は大いに盛り上がりました。

International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2025では、若手研究者にお互いの研究を知ってもらい、広く交流を持つことを目的とした研究交流イベントを開催しました。本イベントは希望者にポスターを掲示していただき、およそ45件のポスターを囲んで、賑やかな雰囲気の中で、2時間近くにわたって活発な研究議論が行われました。分野の垣根を超えた自由な気風の中で積極的な交流が行われ、若手研究者だけでなくSlow-to-Fast地震学にとっても意義深いイベントになりました。



若手研究者キャリア相談イベントの様子



研究交流イベントの様子

## Slow-to-fast地震学カフェ (交流イベント、セミナー)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

今年度の領域内交流イベント「Slow-to-Fast地震学 カフェ」は、2025年6月に第6回、8月下旬に第7回と第8回、9月に第9回が開催されました。第6回は20~40代の研究者が集まるオンライン茶話会形式で、PD期、子育て期の夏休み対応、米国の動向等が話題になりました。第7回はマサチューセッツ工科大学の土山 絢子氏には、コロンビアの稍深発深さの群発地震の発生機構についてお話し頂きました。第8回は東北大学の吉田 圭佑氏に「2011年東北沖地震後の非地震-地震遷移により出現した繰り返し地震の連鎖破壊とM7地震の破壊開始」というタイトルでM9東北地震後のプレート境界での破壊過程の多様性や階層性についてお話し頂き、今後の領域研究の方向性の議論も行われました。第9回は、Tianhaozhe Sun氏(カナダ地質調査所)には東北沖地震後の地殻変動データに基づくリソスフェア・アセノスフェア境界に関する研究について、Yijian Zhou氏(カリフォルニア工科大学)には、東アナトリア断層帯における特異な繰り返し地震活動や、2023年トルコ・シリア地震で誘発された主断

層から離れた断層における非地震性すべりに関する研究についてお話し頂きました。今年度で本プロジェクトは終了しますが、これまでの取り組みがスロー地震やファスト地震の研究活動のさらなる振興につながることを切に願っています。



第8回slow-to-fast地震学カフェでの開催の様子



## Activity report: The Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2025 in Kochi and Chile-Japan Academic Forum 2025 in Kyoto

University of Chile  
José González-Alfaro

My visit to Japan through the Slow-to-Fast Earthquake Workshop and the Chile-Japan Academic Forum significantly advanced my postdoctoral research on the Puerto Aldea Fault by integrating field observations of exhumed subduction rocks, real-time feedback on microseismicity and Quaternary deformation from international experts, and broader interdisciplinary insights into subduction hazards and disaster preparedness. The field trips in the Shimanto and Sanbagawa belts provided direct analogs for understud-

ied Chilean mélanges, while presentations and discussions refined my ongoing manuscript and sparked potential collaborations on GPS modeling, slow-slip processes, and multi-hazard risk assessment. Overall, these activities strengthened Chile-Japan scientific ties, enriched my understanding of slow-to-fast earthquake mechanics, and positioned me to contribute meaningfully to future bilateral projects in seismology and subduction-zone geology.



Underplated basalts.



## AOGS2025への参加

東京大学 地震研究所  
加藤 愛太郎

2025年7月27日から8月1日にかけて、シンガポールの Marina Bay Sands 内にある Sands Expo & Convention Centre にて、AOGS2025が開催されました。会場はシンガポール中心部に位置し、遠くにマーライオンの姿を望むことができる立地でした。本領域からは、「Science of Slow-to-fast Earthquake」というセッションを主催しました(写真)。セッションでは、8月1日午前に口頭発表16件、7月30日午後ポスター発表11件が行われ、約20名の関係研究者が参加しました。発表では、Slow地震、プレート境界の固着状態、地震活動などに関する最新の研究成果が紹介されました。いずれの発表後にも活発な質疑応答と議論が交わされ、口頭セッション後にはランチ会も開催され、研究交流をさらに深める場となりました。AOGS全体として見ると、固体地球科学セッションの発表数は他の分野に比べてまだ少なく、今後さらに発展の余地があると感じられました。次回の AOGS2026は、2026年8月上旬に福岡で開催され

る予定です。本領域では引き続き、Slow地震とFast地震に関するセッションを立ち上げています。まだAOGSに参加されたことのない方も、ぜひこの機会にご参加を検討ください。



「Science of Slow-to-fast Earthquake」セッション中の様子(AOGS2025)



## フィレンツェ大学とハレ大学での共同研究

高知大学 大学院 総合人間自然科学研究科

細川 貴弘  
内田 泰蔵

2024年10月から約3週間、私たちは、イタリアのフィレンツェ大学とドイツのハレ大学で滞在研究を行う機会をいただき、それぞれの目的に応じて研究を行いました。また、ハレ大学ではgeodynamics groupのセミナーにてそれぞれ発表を行いました。今回の滞在期間中には、イタリアのピオンビーノ沿岸に露出するLigurian unitsや、ドイツのザーレ川近傍に露出する古生代の火成岩及び堆積岩などの露頭へ巡検に行く機会がありました。鉱物脈などの変形構造を観察し、ヨーロッパの複雑なテクトニクスについて議論しました。

細川：フィレンツェ大学では、私はPaola Vannucchi教授とJason P. Morgan博士、同時期に滞在していたGuanzhi Wang氏(南方科技大学)のもとで数値モデリングについて学び、断層帯から地質学的に制約された値を数値モデルに反映させる方法について議論しました。ハレ大学では、Michael Stipp教授、Rüdiger Kilian博士のもとで、研究対象としている四万十帯牟岐メランジュなどに発達する沈み込みプレート境界の断層岩の薄片試料に対し、SEM-CL(走査型電子顕微鏡カソードルミネセンス)を用いて微細構造観察を行いました。このSEM-CLを用いることで、光学顕微鏡など他の手法では観察できない、石英や方解石などに発達するマイクロフラクチャー、鉱物の成長履歴などのデータを取得できました。今後は、得られたデータの画像処理を行い、地震サイクル間の動的な流体-岩石相互作用を反映した、脆性破壊と治癒のサイクルを明らかにしていく予定です。



イタリア・Piombinoの露頭写真



ハレ大学Geodynamics講座のゼミでの筆者(内田)の発表風景

内田：フィレンツェ大学にて、Chiara Montemagni博士およびPaola Vannucchi教授と、共同研究に関する打ち合わせを行いました。本研究では、シュードタキライトに記録された高速すべりの痕跡から地震ダイナミクスを理解することを目的としています。特に、岩石磁気学的手法を用いた、摩擦発熱の痕跡や変形機構の解明を目指しています。また、Alpine Paleomagnetic Laboratoryを訪問し、トリノ大学のClaudio Robustelli Test博士と断層岩の岩石磁気学的研究について意見交換を行いました。特に、断層岩のレオロジー特性が磁気ファブリックにどのように反映されるかについて、議論を深めました。

今回の滞在研究では、それぞれ新たな共同研究を立ち上げることができました。今回得た経験を今後の研究に活かしていきたいと思っています。最後に、今回の海外派遣を支援してくださった、SF地震学関係者の皆様、事務局の皆様には深く御礼を申し上げます。

## 海外研究滞在による日本海溝掘削航海後研究の推進

鳴門教育大学 学校教育研究科  
福地 里菜

2025年7月24日～8月16日の約3週間、イギリスのエジンバラのヘリオットワット大学にて在外研究を行いました(写真1・2)。受け入れはIODP第405次航海で同じ堆積学者として乗船したAmy Gough氏で、日本海溝掘削の地震断層に関わる乗船後研究を発展させることを目的としていました。滞在中は、普段は掘削試料の観察・記載・議論・執筆に取り組むとともに、同航海に参加したUisdean Nicholson氏、フランス・ロレーヌ大学のMarianne Conin氏、ダラム大学(現・カーディフ大学)のRebecca Robertson氏、バルセロナ地球科学研究センターのMaria Jose Jurado氏(オンライン参加)らとミニワークショップを開催しました。鉱物量解析・陽イオン交換容量分析・酸素同位体な



写真1: Heriot-Watt Universityキャンパス入口



写真2: ミニワークショップ参加者と撮影

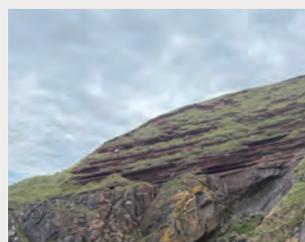


写真3: Siccar pointの不整合



写真4: White sands beachの石灰岩の中の窪み(樹根跡)

どのデータを互いに提示しながら、堆積物に含まれる流体やガスの挙動や、その起源としての粘土鉱物や玄武岩の役割に焦点を当て、断層帯における流体の分布と挙動について議論しました。データの突合により、共同研究および論文作成の方向性がより明確になりました。

また、大学メンバーとともにスコットランド東部の地質巡検に参加し、Siccar Pointでは「ハットンの不整合」、Barns Ness周辺では石炭紀の層序を観察しました(写真3・4)。

短期間ながら、議論と野外観察を通して研究を深めるとともに、今後の国際共同研究の基盤を築く有意義な滞在となりました。今回の機会を支援いただいた皆さまに深く感謝申し上げます。

## フランス・オルレアン大学での研究滞在報告

産総研地質調査総合センター 地質情報研究部門  
志村 侑亮

2025年5月29日から7月30日までの約2か月間、フランスのオルレアン大学にて在外研究を実施しました。本在外研究は、陸上付加体の構造解析やプレート境界物質の高温高压変形実験を専門とする同大学Hugues Raimbourg氏の受け入れによるもので、今回の滞在を機に共同研究を開始しました。

Raimbourg氏は、JpGU2025のSlow-to-Fast地震学セッションでの招待講演のため来日していました。そこで本在外研究に先立ち、Raimbourg氏・東大気海洋研の山口飛鳥氏と共同で、紀伊半島の三波川帯や四万十帯、およびその中の断層を対象とした調査を実施しました。オルレアン大学では、調査で採取した断層岩を対象に電子顕微鏡での微細変形組織観察、電子プローブマイクロアナライザーやカソードルミネッセンス像での化学組成マッピングを行いました。私はこれまで、メソスケールからマクロスケール(数m～十数km)の地質構造を対象とすることが多かったため、より小さいスケール(数mm以下)の微細組織観察をどのように読み取るのか、どこに着目すべきかなどを学ぶことができました。また、Raimbourg氏はスケッチを取ることを積極的に推奨し、スケッチを取ることでミクロスケールの組

織を俯瞰的に観れるとともに、より大きなスケールとの結びつきも見えてくることを知りました。このような断層解析方法をいちから学ぶことができ私にとって非常に実りのあるものでした。

今回の在外研究では、大学院生時代のようにがむしゃらに一つの研究テーマに取り組むことができ、大変有意義でした。得られた成果を公表できるよう、今後もRaimbourg氏と議論していくとともに、今後の継続的な共同研究も目指したいと思います。



電子顕微鏡を用いた断層岩の観察

## 合同温泉合宿「弘前03」

京都大学 大学院理学研究科 地球惑星科学専攻  
金子 善宏

A03班とB03班ではこれまでそれぞれ班ごとの研究集会を開催してきましたが、今回新たな試みとして、班間の議論や連携・交流を深めることを目的に合同研究集会を企画しました。集会名「弘前03」は、両班がいずれも「03班」であることに由来します。研究集会は2025年2月6日から9日にかけて、青森県平川市の南田温泉ホテルアップルランドにて三泊四日の合宿形式で開催されました。参加者は総勢44名にのぼり、42件の口頭発表が行われました。そのうち21名が学生であり、会場は終始活気にあふれていました。観測・観察を中心とする研究を進めるA03班と、モデリングを主とするB03班の集会ということで、研究アプローチの違いを踏まえ、発表には十分な質疑応答の時間を設けたところ、互いの研究内容を理解し合う良い機会となりました。さらに合宿形式であったことから、セッション後の食事や温泉、ロビーでの交流も盛んに行われ、非常に濃密な集会となりました。会が進むにつれて学生からの質問も増え、じっくりと議論できる合宿形式の利点が存分に発揮されたと感じます。アプローチの異なる両班でしたが、「実世界への適用」という共通課題を

意識しながら活発に意見・情報交換を行うことができ、大きな収穫となりました。また、若手研究者同士の交流も盛んであり、こうした場が将来新たな研究につながる契機となることも期待されます。



南田温泉ホテルアップルランド前での集合写真

## 講演会

### 南紀熊野ジオパークセンター講演会

和歌山県立南紀熊野ジオパークセンター  
本郷 宙軌

A02班では「南紀熊野ジオパークとの協働」として講演会を開催しており、今回で3回目となりました。今回も本州最南端の潮岬に位置する南紀熊野ジオパークセンターを会場に、2025年1月14日にA02班の山口飛鳥さんが、「震源域の海底の変動」という題目で講演を行いました。講演では研究航海の重要性に始まり、南海トラフ地震発生帯の掘削調査の成果や地域住民にとって身近な「潮岬海底谷」の地質と地形、令和6年能登半島地震で発生した海底の断層の様子などが紹介されました。参加者にとっては普段見ることが出来ない研究船や海底下の様子について写真と動画で見ることができ、貴重な講演会となりました。質疑応答の時間では、スロー地震後に巨大地震が発生することを予測できるのかなどの活発な問いがあり、本領域の関心度の高さや今後の研究への期待を垣間見ることが出来ました。

開催形態：対面形式での開催（手話通訳・要約筆記あり）  
共催：南紀熊野ジオパークセンターおよびSlow-to-Fast地震学



講演会の様子

# J-Petit

東北沖プチスポット探査

## 謎の火山活動「プチスポット」に挑む！IODP<sup>3</sup> Expedition 502 研究航海

生命環産業技術総合研究所 地質調査総合センター  
宮川 歩夢

2025年秋、国際海洋科学掘削計画（IODP<sup>3</sup>）のExpedition 502が、日本海溝の外側隆起帯で実施されます。ここは、太平洋プレートが沈み込む直前の海底で、通常よりもはるかに薄い堆積物層が広がる場所です。この薄い堆積層の原因として、近年注目されているのが「プチスポット」と呼ばれる小規模な火山活動です。プチスポットは、プレートが沈み込む際の曲がり（フレクチャー）によって、深部マントルからアルカリ性で二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）に富んだ玄武岩質マグマが噴出する現象です。2000年代に発見されたばかりの新しいタイプの火山活動で、従来のプレート境界やホットスポットとは異なるメカニズムで生じます。

Expedition 502の最大の目的は、このプチスポット火山活動が、地下でどのように分布・存在するのかを、実際に掘削して確かめることです。もし広く大量に分布していれば、地震や火山活動、さらには地球規模の化学循環（特に炭素循環）に大きな影響を与えている可能性があります。たとえば、2011年東北地方太平洋沖地震の震源域では、堆積物の厚さの違いが地震の発生や津波の規模に関係していたことが指摘されています。プチスポット由来の玄武岩が堆積層に入り込むことで、地震の発生メカニズムや滑りの伝播に影響を及ぼす可能性があります。また、プチスポット火山はCO<sub>2</sub>の放出量が多く、地球の炭素循環や大気組成にも無視できない役割を果たしているかもしれません。これまで「小規模で限定的」と考えられてきたプチスポットですが、もしその分布や活動量が過小評価されていた



仙台港でのちきゅう

とすれば、地球の進化史や気候変動の理解にも新たな視点をもたらすかもしれません。

今回の掘削は、新たな国際海洋科学掘削計画の枠組みIODP<sup>3</sup>発足後、初めての「ちきゅう」を用いた掘削航海として、宮城県仙台港を拠点に約1か月間かけて実施されます。研究チームは、堆積物とその下の玄武岩を直接採取し、年代測定や化学分析、物理特性の測定など多角的な調査を行います。本領域からも共同首席研究者・乗船研究者が複数参加し、プチスポット火山活動の実態や、地震・火山・地球化学サイクルへの影響を総合的に解明することを目指しています。

### SF 地震学ニュースレター vol.5 編集後記

早いもので、SF地震学ニュースレターも最終号となりました。私は今年も「ちきゅう」乗船（IODP<sup>3</sup> Expedition 502）のため、編集作業に十分に貢献できず、汗顔の至りです。上の宮川さんの記事にもありますように、第502次航海にはSF地震学のメンバーが多数乗船して皆さん大活躍されていました。また本航海に限らず、SF地震学の発足当初には学生であったメンバーが、現在では若手の主要メンバーとして各方面で活躍しています。新たな学生も加わり、

地球惑星科学関連の各学会において学生優秀発表賞を受賞しています。このような人材育成と人的ネットワークの形成もSF地震学の大きな成果の一つであり、本領域が終了後もますます発展していくものと期待されます。

最後になりましたが、これまでSF地震学ニュースレターの執筆・編集にお力添えいただいた皆様、ならびに読者の皆様に、心より御礼申し上げます。（山口）

## 受賞

### 令和7年度文部科学大臣表彰若手科学者賞

吉田圭佑 (A03班 公募研究代表者 東北大学)

### 第6回 地球惑星科学振興西田賞

北佐枝子 (A02班 研究分担者 建築研究所)

金子善宏 (B03班 研究分担者 京都大学)

### 2025年度日本地震学会若手学術奨励賞

伊東優治 (B01班 研究協力者 東京大学)

佐藤大祐 (B03班 研究協力者 海洋研究開発機構)

### 2025年度日本地震学会論文賞

武村俊介 (B02班 研究分担者 東京大学)

・濱田洋平 (A01班 研究代表者 海洋研究開発機構)

・奥田花也 (A01/A02班 公募研究代表者 海洋研究開発機構)

・岡田悠太郎 (B02班 研究協力者 東北大学)

・悪原岳 (A02班 公募研究代表者 東京大学)

・野田朱美 (B03班 研究協力者 気象庁)

・利根川貴志 (A02班 研究分担者 海洋研究開発機構)

直井誠 (A01班 公募研究代表者 北海道大学)

### Top Viewed Article, Geophysical Research Letters

加藤愛太郎 (B02班 研究代表者 東京大学)

吉田圭佑 (A03班 公募研究代表者 東北大学)

### Top Viewed Article, Journal of Geophysical Research: Solid Earth

吉田圭佑 (A03班 公募研究代表者 東北大学)

### Earth, Planets and Space, Highlighted Article 2024

久保久彦 (B02班 研究協力者 防災科学技術研究所)

・直井誠 (A01班 公募研究代表者 北海道大学)

・加納将行 (B03班 公募研究代表者 東北大学)

### AGU Editor's highlight

武村俊介 (B02班 研究分担者 東京大学)

伊東優治 (B03班 公募研究代表者 東北大学)

### 2024 Editor's Citation for Excellence in Refereeing, JGR: Solid Earth, AGU

吉田圭佑 (A03班 公募研究代表者 東北大学)

### GJI Outstanding reviewers 2024

武村俊介 (B02班 研究分担者 東京大学)

吉田圭佑 (A03班 公募研究代表者 東北大学)

### Earth, Planets and Space, Excellent Reviewers

直井誠 (A01班 公募研究代表者 北海道大学)

伊東優治 (B01班 研究協力者 東京大学)

### 測地学会瀬戸賞(研究スタートアップ)

吉住優憧 (B01班 学生 東京大学)

### 測地学会瀬戸賞(出版支援)

吉住優憧 (B01班 学生 東京大学) / 菊地祐次 (B02班 学生 静岡大学)

### 日本地球惑星科学連合2025年大会学生優秀発表賞

秋柴愛斗 (A02班 学生 高知大学) / 矢野誠也 (B03班 学生 東京大学)

中小路一真 (B01班 学生 東京大学) / 西沢貴志 (B02班 学生 京都大学)

乗杉玲壽 (B03班 学生 京都大学) / 榎本倫太郎 (B03班 学生 京都大学)

### 日本地質学会第132年学術大会学生優秀発表賞

多久和風花 (A02班 学生 東京大学) / 高橋慧 (A02班 学生 東京大学)

八木寿々歌 (A01班 学生 広島大学) / 山崎悠翔 (A03班 学生 筑波大学)

駒木野照太 (A03班 学生 筑波大学) / 窪田虎太郎 (A02班 学生 筑波大学)

戸田涼斗 (A02班 学生 東北大学/東京大学)

## 出版物

井出哲 (領域代表 東京大学)

『地震学』 講談社

青木陽介 (B01班 研究分担者 東京大学)

『地球の測り方 宇宙から見る「水の惑星」のすがた』 講談社

有吉慶介 (B01班 研究協力者 海洋研究開発機構)

『地震と津波 (1) (専門家たちが語る防災意識を高める本)』 岩崎書店

山口飛鳥 (A02班 東京大学 研究代表者)

『アジアの活変動帯』 東京大学出版会

## 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

### JpGU-AGU Joint Meeting 2026

日程：2026年5月24日(日)～29日(金)

会場：幕張メッセ+オンライン

### 第88回藤原セミナースロー地震による地震科学の再構築

日程：2026年9月16日(水)～18日(金)・巡検 19日(土)

会場：グランドホテルニュー王子(北海道苫小牧市)



【表紙写真】

(左)国際合同研究会@高知の集合写真

(右上)AOGS2025の写真

(右下)押しかけワークショップ@チリの集合写真

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.5 2026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・齋藤 竜彦・渡邊 倫子・利根川 奈美