

セッション口頭発表 | T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

📅 2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 📍 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

◆ ハイライト講演

8:45 ~ 9:15

[T5-O-1]

[招待講演] IODP Expedition 405 JTRACKの成果

*氏家 恒太郎¹、小平 秀一²、Conin Marianne³、Fulton Patrick⁴、Kirkpatrick Jamie⁵、Regalla Christine⁶、奥津 なつみ²、前田 玲奈²、Toczko Sean²、江口 暢久²、IODP第405次航海 乗船研究者一同 (1. 筑波大学、2. 海洋研究開発機構、3. ロレーヌ大学、4. コーネル大学、5. ネバダ大学リノ校、6. 北アリゾナ大学)

◆ 学生優秀発表賞エントリー ◆ ECS

9:15 ~ 9:30

[T5-O-2]

IODP Exp. 405 JTRACK掘削地点の放散虫化石層序：日本海溝近傍の前縁プリズムおよび沈み込む海洋プレートについて

*萩野 穰¹、岩井 雅夫²、CONIN Marianne³、FULTON Patrick⁴、KIRKPATRICK Jamie⁵、小平 秀一⁶、REGALLA Christine⁷、氏家 恒太郎⁸、江口 暢久⁶、前田 玲奈⁶、奥津 なつみ⁶、TOCZKO Sean⁶、IODP Exp.405 乗船研究者一同 (1. 山形大学 大学院理工学研究科、2. 高知大学 海洋コア国際研究所、3. ロレーヌ大学、4. コーネル大学、5. ネバダ州立大学リノ校、6. 海洋研究開発機構、7. ノーザンアリゾナ大学、8. 筑波大学)

9:30 ~ 9:45

[T5-O-3]

IODP Exp.405JTRACK掘削孔の珪藻化石層序：2011年東北沖地震浅部破壊領域の先端プリズム構造

*岩井 雅夫¹、萩野 穰²、IODP Exp.405 乗船研究者一同³ (1. 高知大学 海洋コア国際研究所、2. 山形大学、3. https://www.jamstec.go.jp/chikyu/e/exp405/crew_all.html)

9:45 ~ 10:00

[T5-O-4]

日本海溝に沈み込む太平洋プレート上のチャートと玄武岩：IODP第405次航海の新知見

*山口 飛鳥¹、Bellanova Piero²、Brunet Morgane³、Chang Yu-Chun⁴、Pizer Charlotte⁵、福地 里菜⁶、Gough Amy⁷、Nicholson Uisdean⁷、奥田 花也⁴、Conin Marianne⁸、Kirkpatrick Jamie⁹、小平 秀一⁴、Fulton Patrick¹⁰、Regalla Christine¹¹、氏家 恒太郎¹²、前田 玲奈⁴、奥津 なつみ⁴、IODP第405次航海 乗船研究者 (1. 東京大学大気海洋研究所、2. RWTH Aachen Univ.、3. IFREMER、4. 海洋研究開発機構、5. Univ. Innsbruck、6. 鳴門教育大学、7. Heriot-Watt Univ.、8. Univ. Lorraine、9. Univ. Nevada, Reno、10. Cornell Univ.、11. Northern Arizona Univ.、12. 筑波大学)

10:00 ~ 10:15

[T5-O-5]

浅部沈み込み帯における巨大地震後の断層帯の強度回復過程
ーJTRACK・JFASTの水理特性に関する掘削データの比較ー

*細野 日向子^{1,2}、濱田 洋平³、奥田 花也³、大坪 誠¹、谷川 亘³、廣瀬 丈洋^{3,2}、Conin Marianne⁴、Fulton Patrick⁵、Kirkpatrick Jamie⁶、小平 秀一³、Regalla Christine⁷、氏家 恒太郎⁸、江口 暢久³、前田 玲奈³、奥津 なつみ³、Sean Toczko³ (1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所、2. 広島大学、3.

国立研究開発法人海洋研究開発機構、4. ロレーヌ大学、5. コーネル大学、6. ネバダ大学、7. ノーザンアリゾナ大学、8. 筑波大学)

◆ 学生優秀発表賞エントリー ◆ ECS

10:15 ~ 10:30

[T5-O-6]

微細構造観察に基づく地震サイクル間の動的な岩石-流体間反応：白亜系四万十帯牟岐メランジュ・南阿波断層

*細川 貴弘¹、橋本 善孝¹、Rüdiger KILIAN²、Michael STIPP² (1. 高知大学、2. Martin Luther University Halle-Wittenberg)

◆ 学生優秀発表賞エントリー ◆ ECS

10:30 ~ 10:45

[T5-O-7]

海山沈み込み・付加に伴うプレート境界断層の変形：美濃帯舟伏山ユニットの例

*多久和 風花¹、山口 飛鳥¹、大坪 誠²、志村 侑亮²、奥田 花也³ (1. 東京大学大気海洋研究所、2. 産業技術総合研究所地質調査総合センター、3. 海洋研究開発機構)

10:45 ~ 11:00

[3oral201-13-8add]

休憩

11:00 ~ 11:15

[T5-O-8]

物性不均質ジオメトリが規定する応力・歪み分布の時空間変化とスケーリング

*橋本 善孝¹ (1. 高知大学)

◆ 学生優秀発表賞エントリー

11:15 ~ 11:30

[T5-O-9]

沈み込み帯震源域における地殻の弾性率分布と地震発生帯への影響

*高 慎一郎¹、濱田 洋平²、奥田 花也²、田村 芳彦²、坂口 有人¹ (1. 山口大学大学院創成科学研究科、2. 海洋研究開発機構)

◆ ECS

11:30 ~ 11:45

[T5-O-10]

地震発生帯の岩石の弾性的性質：スケール依存性および地震発生プロセスへの影響

*奥田 花也¹、赤松 祐哉¹、北村 真奈美²、澤井 みち代³ (1. 海洋研究開発機構、2. 産業技術総合研究所、3. 千葉大学)

11:45 ~ 12:00

[T5-O-11]

断層沿いの短時間発熱による硫黄の減少とその行方

*山本 由弦¹、小林 唯乃¹、福山 繭子²、Bowden Stephen³、濱田 洋平⁴、三村 匠海²、千代延 俊² (1. 神戸大学、2. 秋田大学、3. アバディーン大学、4. 海洋研究開発機構)

12:00 ~ 12:15

[T5-O-12]

四国沖外縁隆起帯のネオテクトニクス

*芦 寿一郎¹、照井 孝之介² (1. 東京大学、2. ENEOS Xplora)

12:15 ~ 12:30

[T5-O-13]

日向灘の地形的・熱学的特徴 —KS-21-08およびKS-25-03航海報告—

*木下 正高¹、土岐 知弘²、橋本 善孝³、濱田 洋平⁴、KS-21-08 航海研究者¹、KS-25-03 航海研究者¹ (1. 東京大学地震研究所、2. 琉球大学理学部、3. 高知大学教育研究部、4. 海洋研究開発機構)

セッション口頭発表 | T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

📅 2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 📍 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

◆ ハイライト講演

8:45 ~ 9:15

[T5-O-1] [招待講演] IODP Expedition 405 JTRACKの成果

*氏家 恒太郎¹、小平 秀一²、Conin Marianne³、Fulton Patrick⁴、Kirkpatrick Jamie⁵、Regalla Christine⁶、奥津 なつみ²、前田 玲奈²、Toczko Sean²、江口 暢久²、IODP第405次航海 乗船研究者一同 (1. 筑波大学、2. 海洋研究開発機構、3. ロレーヌ大学、4. コーネル大学、5. ネバダ大学リノ校、6. 北アリゾナ大学)

【ハイライト講演】 IODP第405次航海「JTRACK」は、昨年9月から12月にかけて東北地方太平洋沖地震震源域で実施されました。地震後13年を経た応力状態や沈み込み帯の断層構造を解明することが主な目的です。コア採取と検層を実施し、断層を貫く掘削孔に温度計を設置して水理学構造解明に挑みました。本講演では、この最新掘削で得られた成果を速報として紹介し、巨大地震発生要因の理解に新たな視点を提供します。他にも関連する講演が複数あります。 [※ハイライト講演とは...](#)

キーワード：東北地方太平洋沖地震、日本海溝沈み込み帯、国際深海科学掘削計画

国際深海科学掘削計画 (IODP) 第405次航海Tracking Tsunamigenic Slip Across the Japan Trench (JTRACK)は、IODP最後の航海として2024年9月6日から12月20日にかけて宮城県沖日本海溝沈み込み帯で実施された。JTRACKは、2012年に実施された第343次航海Japan Trench Fast Drilling Project (JFAST)以来12年ぶりの2011年東北地方太平洋沖地震震源域掘削である。JFASTでは、掘削孔内での温度計測によりプレート境界断層から摩擦熱をとらえることに成功し、掘削コア試料の採取によりプレート境界断層はスメクタイトを大量に含んだ遠洋性粘土で構成され、地震時の摩擦が約0.1と低かったため巨大すべりを引き起こしたことを明らかにした(Chester et al., 2013; Fulton et al., 2013; Kameda et al., 2015; Ujiie et al., 2013)。また、掘削同時検層により、地震時の断層における摩擦低下に伴い、逆断層応力場から正断層応力場に変化したことも明らかにした(Lin et al., 2013)。しかしJFASTでは、沈み込み帯における掘削コアの回収区間が限定されており、沈み込み帯で変形を受ける前のレファレンス物質も採取していなかった。そこでJTRACKでは、JFASTと同じ掘削地点および沈み込む前の太平洋プレート上の地点において、海底面から海洋地殻最上部までの掘削コア試料の連続採取と掘削同時検層を実施した。また、プレート境界断層を貫通した掘削孔内に温度計を新たに設置した。JTRACKの科学目標は (1) 地震後13年経過した段階での応力状態の解明、(2) プレート境界断層上盤の前縁プリズム、プレート境界断層、下盤の沈み込む堆積物・海洋地殻の組成や構造の全貌解明、(3) プレート境界断層および前縁プリズムにおける水理学的構造の解明である。JTRACK実施の結果、科学目標 (1) と (2) を達成するために必要なデータおよび掘削試料を採取することに成功した。また、掘削孔内への温度計設置により、(3) を検討することが可能となった。本講演ではJTRACKで明らかになった主な成果について紹介する。

引用文献

Chester et al., 2013, Science 342, 1208–1211, doi:10.1026/science.1243719

Fulton et al., 2013, Science 342, 1214–1217, doi:10.1026/science.1243641

Kameda et al., 2015, *Geology* 43, 155–158, doi:10.1130/G35948.1

Lin et al., 2013, *Science* 339, 687–690, doi:10.1026/science.1229379

Ujiie et al., 2013, *Science* 342, 1211–1214, doi:10.1026/science.1243485

セッション口頭発表 | T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

◆ 学生優秀発表賞エントリー ◆ ECS

9:15 ~ 9:30

[T5-O-2] IODP Exp. 405 JTRACK掘削地点の放散虫化石層序：日本海溝近傍の前縁プリズムおよび沈み込む海洋プレートについて

*萩野 穰¹、岩井 雅夫²、CONIN Marianne³、FULTON Patrick⁴、KIRKPATRICK Jamie⁵、小平 秀一⁶、REGALLA Christine⁷、氏家 恒太郎⁸、江口 暢久⁶、前田 玲奈⁶、奥津 なつみ⁶、TOCZKO Sean⁶、IODP Exp.405 乗船研究者一同 (1. 山形大学 大学院理工学研究科、2. 高知大学 海洋コア国際研究所、3. ロレーヌ大学、4. コーネル大学、5. ネバダ州立大学リノ校、6. 海洋研究開発機構、7. ノーザンアリゾナ大学、8. 筑波大学)

キーワード：国際深海科学掘削計画、2011年東北沖地震、放散虫、生層序、日本海溝

国際深海科学掘削計画 (IODP) 第405次航海 (JTRACK) は、日本海溝巨大地震および津波発生過程の時空間変化の追跡を目的とし、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震の震源域周辺を掘削する航海であり、JAMSTECの地球深部探査船「ちきゅう」を用いて、2024年9月から12月にかけて、宮城県沖の日本海溝周辺で実施された。JTRACKでは、2012年に実施されたIODP 第343次航海 (JFAST) の掘削地点 (C0019地点) と、日本海溝に沈み込む太平洋プレート側 (C0026地点) の2地点で掘削を行った (Kodaira et al., 2023)。筆頭著者は航海後半の約2ヶ月間乗船し、船上で放散虫化石分析にあたり、航海前半に採取された試料については下船後に分析したので、その結果について報告する。なお、これらの結果は珪藻化石分析結果とおおむね整合的である。

JFASTで得られた試料の微化石分析によって、プレート境界断層直上に厚さ120–150 mほどの鮮新世—更新世の堆積物が存在すること、プレート境界断層下部に、後期中新世の堆積物が年代の逆転を伴って存在することが明らかになっている (Iwai et al., 2025)。しかし、JFASTでは前縁プリズム上部の大部分は掘り飛ばされてしまったため、詳細な構造については未解明であった。JTRACKでは、C0019地点の複数孔で掘削を行い、5つの孔 (J孔, K孔, L孔, M孔, P孔) から、ほぼ連続的な試料の回収に成功した。

C0019地点の堆積物は、後期中新世、鮮新世、更新世の年代を示す放散虫化石を含んでいることが明らかになった。とくに、L孔およびM孔 (0–107.485 mbsf) では、そのほとんどが第四系の堆積物からなる。放散虫化石層序から、~210 mbsf, ~610 mbsf, ~826 mbsfに年代ギャップが認定された。J孔最下部 (~829 mbsf) およびK孔最下部 (~873 mbsf) はともにチャートからなり、白亜紀と考えられる放散虫が含まれていた。またCCD以深にもかかわらず、M孔から採取された試料の一部 (~43.1 mbsf, ~81.8 mbsf) からは有孔虫化石が産出した。

C0026地点では、放散虫化石層序から、半遠洋性泥質堆積物が前期中新世から第四紀にかけて連続的に堆積したことが示唆された。B孔のコア20Kから25K (~244 mbsfから~266.2 mbsf) にかけての約20 mほどの区間では年代指標となる放散虫化石が全く産出せず、年代制約に至らなかった。B孔のコア26K (~267 mbsf) 以深の遠洋性粘土の年代は放散虫化石

から、白亜紀またはそれ以前であることが示唆された。また、B孔のコア20K以深については、豊富に産出するイクチオリスを用いることで、年代決定できる可能性がある。

文献：

Iwai, M., et al., 2025, *Island Arc*. doi:10.1111/iar.70009

Kodaira, S., et al., 2023, *International Ocean Discovery Program*.

doi:10.14379/iodp.sp.405.2023

セッション口頭発表 | T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

9:30 ~ 9:45

[T5-O-3] IODP Exp.405JTRACK掘削孔の珪藻化石層序：2011年東北沖地震浅部破壊領域の先端プリズム構造*岩井 雅夫¹、萩野 穰²、IODP Exp.405 乗船研究者一同³ (1. 高知大学 海洋コア国際研究所、2. 山形大学、3. https://www.jamstec.go.jp/chikyuu/e/exp405/crew_all.html)

キーワード：日本海溝、2011年東北沖地震、珪藻、生層序、Site C0019、Site C0026

国際深海科学掘削計画 (IODP) Exp.405JTRACK航海 (2024年9月~12月) は、日本海溝巨大地震・津波発生過程の時空間変化の追跡を目的に、2011年東北沖地震 (Mw 9.0、2011年3月11日) プレート境界末端部付近Site C0019ならびに近傍アウターライズSite C0026の2地点で掘削が実施された (Kodaira et al., 2023)。筆頭著者は前半2ヶ月は乗船し、後半2ヶ月は陸上で珪藻化石分析にあたったので、その結果について報告する。

地震発生直後に実施されたIODP Exp.343 Hole C0019Eで得られた試料の微化石分析では、プレート境界断層直上に、130-150mほどの鮮新世-更新世堆積物が存在すること、プレート境界断層下部には、後期中新世の堆積物が逆転を繰り返し存在することが明らかにされた (Iwai et al., 2025, Island Arc) が、先端プリズムの全容についてはコア回収率が悪く未解明であった。Exp.405後継では複数孔の掘削により、ほぼ連続した堆積物が回収され、その全容が明らかになった。すなわち、先端プリズムC0019の堆積物は更新世、鮮新世、および後期中新世の年代を示す珪藻が含まれるユニットから形成され、珪藻化石層序から、~210 mbsf、~610 mbsf、に主要逆断層を、~826 mbsf にプレート境界断層帯が認定された。プリズム直上の鮮新世-更新世堆積物 (610-826mbsf) はHole 343-C0019Eと厚さこそ多少異なるものの、再確認された。Hole 405-C0019Mの第四系にはところどころ石灰室微化石が検出され、炭酸塩補償深度 (CCD) が浅より堆積物が供給され、溶解することなく埋没したことが示唆された。またHole 405-C0019M、Jで掘削された堆積物は固まり状のブロックと変形が激しいマトリックスや高角度の層裏面等が確認されており、さまざまなスケールの地滑り堆積物 (MTD) や褶曲、小スラスト断層によるプリズム堆積物の厚層化などがくり返されていたことが推察された。プレート境界断層の下部は、Hole 405-C0019Jでは直接白亜紀のチャートに、C0019Kでは30mを超える遠洋堆積物が残っており、わずか数10mの区間で様相が異なることから、沈み込んだ地塁の微細地形の凹凸が影響していたことが示唆された。

一方インプットサイトのSite 405-C0026では、珪藻化石層序から、更新世と鮮新世の平均堆積速度は 33 m/m.y.であったのに対し、上部中新世の平均堆積速度は 5-15 m/m.y.と低く、下部中新世の堆積速度は 2 m/m.y.未満であった。C0026B-20K 以深の遠洋性褐色粘土から、珪藻が検出されることはなかった。

References:

Kodaira et al., 2023, IODP Exp.405 Scientific Prospectus.
http://publications.iodp.org/scientific_prospectus/405/;
 Iwai et al., 2025. Island Arc. <https://doi.org/10.1111/iar.70009>

セッション口頭発表 | T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

9:45 ~ 10:00

[T5-O-4] 日本海溝に沈み込む太平洋プレート上のチャートと玄武岩：IODP第405次航海の新知見

*山口 飛鳥¹、Bellanova Piero²、Brunet Morgane³、Chang Yu-Chun⁴、Pizer Charlotte⁵、福地里菜⁶、Gough Amy⁷、Nicholson Uisdean⁷、奥田 花也⁴、Conin Marianne⁸、Kirkpatrick Jamie⁹、小平 秀一⁴、Fulton Patrick¹⁰、Regalla Christine¹¹、氏家 恒太郎¹²、前田 玲奈⁴、奥津 なつみ⁴、IODP第405次航海 乗船研究者 (1. 東京大学大気海洋研究所、2. RWTH Aachen Univ.、3. IFREMER、4. 海洋研究開発機構、5. Univ. Innsbruck、6. 鳴門教育大学、7. Heriot-Watt Univ.、8. Univ. Lorraine、9. Univ. Nevada, Reno、10. Cornell Univ.、11. Northern Arizona Univ.、12. 筑波大学)

キーワード：日本海溝、掘削、IODP第405次航海、チャート、玄武岩

沈み込む海洋プレートの最上部は、海洋地殻を構成する玄武岩の上にチャートなどの遠洋性物質が堆積し、その上に海溝充填堆積物が重なる。このような層序は陸上付加体の研究からもよく知られており、海洋プレート層序、または海洋底層序と呼ばれている (Matsuda and Isozaki, 1991, Tectonicsなど)。しかし、海溝軸付近において海洋プレートを玄武岩基盤に達するまで掘削した例は少なく、海溝において実際に沈み込んでいる海洋プレートの岩相や続成作用の実態については不明な点が多い。2024年9月-12月に実施されたIODP第405次航海では、宮城沖日本海溝において、海溝海側斜面のC0026地点およびその西側に位置する海溝陸側斜面先端のC0019地点で掘削が行われた。本講演では、これらの地点から得られた太平洋プレート上のチャートおよび玄武岩の岩相的特徴について報告する。

海溝海側斜面の掘削孔C0026Bでは海底下290 mまで掘削が行われた。この地点の岩相は、上位から順に、オリーブ黒色の珪質ガラス質泥、オリーブ灰色の珪質ガラス質泥、灰黄褐色の珪質泥、黒褐色の粘土、色調縞をもつ粘土およびチャートから構成される。244 mbsf (海底下深度) 以深からは黒褐色粘土が産出し、278.6 mbsf 以深では、黒褐色粘土は黒色・暗褐色・褐色・橙色・薄黄色などの色調縞をもつ粘土へと漸移する。さらに深部では、この縞状粘土中に薄黄色のポーセラナイトや、薄黄色から暗赤色の塊状チャートが産出する。船上XRD分析の結果、ポーセラナイトはクリストバライトに富み、チャートは石英に富むことが判明した。粘土とポーセラナイト、ポーセラナイトとチャートはそれぞれcmスケール以下の縞模様を呈しながら漸移しており、色調縞粘土がシリカ続成に伴ってポーセラナイトやチャートへと変化しつつあることを示唆している。同様の岩相は、海溝陸側斜面の掘削孔C0019J (826 mbsf 以深)、および掘削孔C0019K (870.6 m 以深) でも、デコルマ直下から回収されたコアにおいて観察された。

海溝陸側斜面の掘削孔C0019Pでは、玄武岩の最表層にあたる930-946.6 mbsfからコアが回収された。玄武岩類は枕状溶岩、塊状溶岩、ドレライトからなり、枕状溶岩の枕の間には、褐色の結晶質インターピロー石灰岩が産出する。玄武岩類の斑晶は斜長石および単斜輝石からなり、緑色の粘土鉱物、沸石、橙色の鉄水酸化物による変質が認められる。さらに939.1-940.5 mbsfでは、赤褐色から暗赤色を呈する層状の石灰岩、チャート、珪質泥岩からなる堆

積岩が玄武岩中に挟在する。玄武岩と石灰岩の境界 (939.1 mbsf) では、上位の玄武岩側に急冷縁が認められ、下位の石灰岩も接触変成を受けていることから、両者の貫入関係が示唆される。堆積岩における石灰岩とチャートの共存は、これらの堆積物が炭酸塩補償深度 (CCD) 以浅の遠洋環境で堆積したことを示しており、そこに玄武岩が貫入していることは、中央海嶺近傍での石灰岩・チャート・珪質泥岩の堆積と玄武岩質マグマの噴出が繰り返された可能性を示唆する。

JTRACKの成果は、これまで不明な点が多かった海溝軸付近における太平洋プレートの実態を明らかにする重要な知見を提供する。今後、チャートおよび玄武岩の鉱物学的・地球化学的解析、物理検層データとの比較、反射断面との対比などを進めていく予定である。

文献：Matsuda, T. and Isozaki, Y. (1991) *Tectonics*, 10, 475-499.

セッション口頭発表 | T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

10:00 ~ 10:15

**[T5-O-5] 浅部沈み込み帯における巨大地震後の断層帯の強度回復過程
—JTRACK・JFASTの水理特性に関する掘削データの比較—**

*細野 日向子^{1,2}、濱田 洋平³、奥田 花也³、大坪 誠¹、谷川 亘³、廣瀬 丈洋^{3,2}、Conin Marianne⁴、Fulton Patrick⁵、Kirkpatrick Jamie⁶、小平 秀一³、Regalla Christine⁷、氏家 恒太郎⁸、江口 暢久³、前田 玲奈³、奥津 なつみ³、Sean Toczko³ (1. 国立研究開発法人産業技術総合研究所、2. 広島大学、3. 国立研究開発法人海洋研究開発機構、4. ロレーヌ大学、5. コーネル大学、6. ネバダ大学、7. ノーザンアリゾナ大学、8. 筑波大学)

キーワード：JTRACK、透水テンソル

地震の発生に伴い、震源断層の断層強度は大きく低下するが、すべりが停止した後、時間の経過とともに断層強度は回復（ヒーリング）する（e.g., Dieterich, 1972）。しかし、沈み込み帯で発生する海溝型巨大地震に伴う断層の強度回復が実際にどのように進行するのか、その実態は依然として明らかになっていない。自然界の内陸地震断層の調査では、断層面だけでなくより広範囲にわたる断層ダメージゾーンにおいて亀裂の閉口に伴う浸透率の低下が、地震後の断層面の強度回復と関連付けられている（e.g., Xue et al., 2013; Kitagawa & Kano, 2016）。そこで本研究では、2011年の東北地方太平洋沖地震（以下、東北沖地震）に着目し、プレート境界断層周辺の浸透率の時間変化を解析することで、海溝型巨大地震後の断層帯の強度回復過程の理解を試みた。東北沖地震ののち、国際深海科学掘削計画

(IODP) により2012年にJFAST、2024年にJTRACKが東北沖地震の最大すべりを起こした地点で実施された。本研究では、2つの航海で実施された掘削同時検層によって得られた孔壁の比抵抗画像から亀裂などの浸透率の高い構造を抽出し、透水テンソル理論を適用して3次元の浸透率（透水テンソル）を算出した。さらに、掘削孔深度方向に連続して得られた透水テンソルの時間変化に基づき、沈み込み帯浅部において、どの深度でどの向きの浸透率がどの程度変化したのかを評価した。2012年と2024年の平均透水テンソルの深度プロファイルと比較したところ、海底下100~700 mの範囲では、浸透率に大きな変化は認められず、深度方向にも顕著な変化は見られなかった。一方で、プレート境界断層直上に相当する海底下700~800 mの領域では、2024年における浸透率が2012年と比較して約4分の1に低下していた。この浸透率の低下は、地震時に開口したプレート境界断層のダメージゾーンに位置する亀裂がプレートの沈み込みに伴う応力の変化により徐々に閉塞した結果と考えられる。すなわち、700~800 mの深度域がプレート境界断層における地震間の運動によって歪みを蓄積する深度として機能する可能性が示唆される。

引用文献

Dieterich, J. H. (1972). Time - dependent friction in rocks. *Journal of Geophysical Research*, 77(20), 3690-3697.

Kitagawa, Y., & Kano, Y. (2016). Changes in permeability of the Nojima fault damage zone inferred from repeated water injection experiments. *Earth, Planets and Space*, 68, 1-9.

Xue, L., Li, H. B., Brodsky, E. E., Xu, Z. Q., Kano, Y., Wang, H., ... & Huang, Y. (2013).

Continuous permeability measurements record healing inside the Wenchuan earthquake fault zone. Science, 340(6140), 1555-1559.

セッション口頭発表 | T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

◆ 学生優秀発表賞エントリー ◆ ECS

10:15 ~ 10:30

[T5-O-6] 微細構造観察に基づく地震サイクル間の動的な岩石-流体間反応：白亜系四万十帯牟岐メランジュ・南阿波断層*細川 貴弘¹、橋本 善孝¹、Rüdiger KILIAN²、Michael STIPP² (1. 高知大学、2. Martin Luther University Halle-Wittenberg)

キーワード：四万十帯、微細構造、岩石-流体間反応、ウルトラカタクレサイト、カソードルミネッセンス

沈み込みプレート境界において流体は、変形及び物質の再分配に大きな役割を果たすと考えられる (e.g., Fisher et al., 2021)。変形と石英のセメンテーションは、流体圧と断層強度に大きな影響を与える。そのため、過去の沈み込み帯における岩石-流体間反応を研究することは重要である。これまで、走査型電子顕微鏡-カソードルミネッセンス (SEM-CL) を用いて、岩石-流体間反応について研究されてきた (e.g., Knipe and Lloyd, 1994)。CL像は、他の手法では観察できない微細構造や微量元素 (Ti, Alなど) の変化を検出でき、石英脈の複雑な形成履歴の復元に広く利用されてきた (e.g., Götze, 2012)。本研究では、白亜紀四万十帯の牟岐メランジュの北縁断層である南阿波断層のウルトラカタクレサイトの微細構造を観察することで、地震サイクル間の岩石-流体間反応を明らかにする。

牟岐メランジュは、主に砂岩ブロックと頁岩マトリックスからなり、少量の玄武岩、チャート、凝灰岩、赤色頁岩を伴う構造的メランジュである。牟岐メランジュの最北端には、主に整然とした砂岩層からなる日和佐層との境界をなす南阿波断層があり、これは沈み込みプレート境界のルーフスラストと解釈されている。断層帯は、厚さ約1-2 mの葉状カタクレサイトと、薄い (最大数 mm) ウルトラカタクレサイトから構成される。また、この断層帯では、カタクレサイト内からシュードタキライトが発見されている (e.g., Kitamura et al., 2005)。

本研究では、厚さ0.1~0.2 mmのウルトラカタクレサイト層を含む断層岩を、光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡-カソードルミネッセンス (SEM-CL) を用いて分析した。ウルトラカタクレサイトは、細粒で淘汰の悪い碎屑物で構成されている。ウルトラカタクレサイト内及び近傍の石英粒子には微小亀裂、水圧破碎、伸長亀裂、成長帯を示すCLパターンが観察された。BSE像や偏光顕微鏡像で単一粒子に見える領域は、中程度から高いCL強度の石英粒子の集合体であり、低いCL強度の石英マトリックスに囲まれている。微小亀裂内の石英セメントも低いCL強度を示し、脆性変形による粒径の減少と微小亀裂の形成が石英の沈殿を伴っていることを示唆する。一方、水圧破碎や伸長亀裂内の石英セメントは高いCL強度を示し、急速な成長に伴う微量元素の取り込みと一致する (e.g., Landtwing and Pettke, 2005)。これらの特徴は、地震性すべりに伴う静岩圧を超える流体圧と、それに続く急減圧や移流による石英の急速な沈殿によって説明できる。

これらの観察結果は、ウルトラカタクレサイトが脆性破壊と石英のセメンテーションのサ

イクルを記録しており、地震サイクル中の動的な岩石-流体間反応を反映していることを示唆している。これらのプロセスは、断層強度の回復、そして地震発生間隔に影響を与える可能性がある。

引用文献

Fisher et al., 2021, *Geosphere*, 17(6), 1686–1703.

Knipe and Lloyd, 1994, *Pure and Applied Geophysics*, 143(1), 229-254.

Götze, 2012, *Microscopy and microanalysis*, 18(6), 1270-1284.

Kitamura et al., 2005, *Tectonics*, 24(5).

Landtwing and Pettke, 2005, *American Mineralogist*, 90(1), 122-131.

📅 2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 🏢 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

◆ 学生優秀発表賞エントリー ◆ ECS

10:30 ~ 10:45

[T5-O-7] 海山沈み込み・付加に伴うプレート境界断層の変形：美濃帯舟伏山ユニットの例

*多久和 風花¹、山口 飛鳥¹、大坪 誠²、志村 侑亮²、奥田 花也³ (1. 東京大学大気海洋研究所、2. 産業技術総合研究所地質調査総合センター、3. 海洋研究開発機構)

キーワード：沈み込み帯、海山、美濃帯

海山の沈み込みは沈み込み型プレート境界における地震発生プロセスに大きな影響を与える。これまでの測地学・地震学的観測では、沈み込むプレートの表面形状が平滑な領域ではプレート間のカップリングが強くなり大地震が発生しやすい一方で、凹凸のある領域では、プレート間のカップリングが弱くなりクリープやスロー地震が促進されることが示されている (Wang & Bilek, 2014)。数値モデル研究では、沈み込む海山が上盤プレートの塑性変形を引き起こし、複雑な亀裂ネットワークを形成して流体の動きを促進するモデルが提案されている (Sun et al., 2020; Chesley et al., 2021)。しかし、地球物理学的観測や数値モデリングに比べ地質学的な研究はまだ限られており、海山沈み込み・付加に伴う変成・変形プロセスや応力分布、それらが地震に与える影響については未解明の部分が多い。

そこで本研究は、岐阜県根尾地域に分布する美濃帯舟伏山ユニット (脇田, 1991) に着目した。本ユニットは海洋プレート内火成活動で形成された玄武岩とそれに伴う石灰岩を含んでおり (Ichiyama et al., 2008; Sano, 1988)、沈み込んだ海山の付加によって形成されたとみなされる。我々は、特に、玄武岩が卓越し、付加した海山本体に相当すると考えられる根尾川流域水鳥谷支流のヌクミ谷に着目し、ルートマップやスケッチを作成した。カタクレーサイトの試料から研磨片・薄片を作成し、 μ XRFで化学組成マッピングを行った。また、小断層 (Yamaji, 2000; Yamaji et al., 2006) および鉱物脈の方位データ (Yamaji and Sato, 2011; Yamaji, 2016) を用いて応力逆解析を実施した。

ヌクミ谷では、厚さ約1.3 kmの玄武岩が川沿いや林道沿いに連続して露出していた。泥岩基質中の炭質物に対するラマン分光分析の結果、最高被熱温度は約270°Cと推定された。連続した玄武岩の基底部には、チャート、石灰岩、玄武岩、泥岩が複雑に変形した厚さ48 mの剪断帯が存在した。この剪断帯では、チャートと石灰岩のブロックは比較的変形が弱い一方、玄武岩は顕著な変形を受け、泥岩と互層する面状カタクレーサイトを形成していた。玄武岩ブロック内部も強く破碎されている部分が確認された。研磨片および薄片の μ XRF観察の結果、変形機構は圧力溶解と脆性破壊がともに起こっていると考えられる。これらの結果から、海山付加時の変形は巨視的には玄武岩と泥岩の境界に局所化するものの、その内部では変形は分散すること、メートル以下のスケールでは玄武岩および泥岩内部で剪断歪が大きく、チャートおよび石灰岩では比較的小さいことが明らかとなった。

また、応力逆解析の結果、予察的には、小断層は応力比が大きい、すなわち最大主応力 (σ_1) と中間主応力 (σ_2) が近い応力場のもとで形成された一方、鉱物脈は応力比が小さい、すなわち中間主応力 (σ_2) と最小主応力 (σ_3) が近い応力場のもとで形成された可能性が高いことが判明した。今後、小断層・鉱物脈の測定数を増やすとともに、切断関係から応力場とその変遷についても検討する予定である。

文献

- Chesley et al. (2021) *Nature*, 595, 255–260.
Ichiyama et al. (2008) *Lithos*, 100, 127–146.
Sano (1988) *J. Geol. Soc. Japan*, 94, 963–976.
Sun et al. (2020) *Nat. Geosci.*, 13, 249–255.
脇田(1991) 1/5万地質図幅「谷汲」
Wang & Bilek (2014) *Tectonophysics*, 610, 1–24.
Yamaji (2000) *J. Struct. Geol.*, 22, 441–452.
Yamaji (2016) *Island Arc*, 25, 72–83.
Yamaji et al. (2006) *J. Struct. Geol.*, 28, 980–990.
Yamaji & Sato (2011) *J. Struct. Geol.*, 33, 1148–1157.

📅 2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 🏢 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

11:00 ~ 11:15

[T5-O-8] 物性不均質ジオメトリが規定する応力・歪み分布の時空間変化とスケーリング

*橋本 善孝¹ (1. 高知大学)

キーワード：メランジュ、ラフネス、レオロジー

はじめに断層帯の変形様式は、応力状態や物性条件だけでなく、不均質なジオメトリの影響も大きく受ける。特に、断層面の凹凸や、高粘性ブロックが低粘性の基質中に配置された構造は、応力集中や歪みの局在化を誘発し、剪断帯の形成やすべり様式の空間的不均一性に寄与することが近年注目されている。このような構造的凹凸や物性境界は、地震時および準静的な変形過程のいずれにおいても、局所的な力学環境を変化させる可能性があるが、その具体的な役割はまだ十分に解明されていない。本研究では、基質中に存在するブロック構造や断層の凹凸といったジオメトリが応力場および歪み分布に与える影響を整理し、断層変形様式におけるジオメトリ主導のダイナミクスを検討する。不均質ジオメトリが制約するすべりの時空間変化スロー地震と沈み込みプレート境界の構造との関連性は、これまでに多くの研究で報告されている。たとえば、日向灘では沈み込む海山周辺に微動が分布していること (Yamashita et al., 2021, EPS)、南海トラフ浅部においてデコルマ形状と超低周波地震との空間的対応関係がみられること (Hashimoto et al., 2022, Scientific Reports) などが挙げられる。これらの結果は、スロー地震の発生が単なる摩擦特性の違いによるものではなく、プレート境界面およびその周辺の構造的不均質——すなわち海山、凹凸、デコルマ形状といったジオメトリ——によって空間的に制御されていることを示唆している。また、構造的メランジュ中に観察されるブロック内部の引張クラックや小断層の形成も、不均質構造が有するレオロジカル挙動の時空間的变化を反映していると考えられる (Fagereng and Sibson, 2010, Geology; Hashimoto and Yamano, 2014, EPS)。応力・歪み速度の構造依存と変形モード有限要素法を用いたBlock-in-Matrix型のレオロジーモデルは、このような物性不均質構造に依存する変形様式のダイナミクスについて新たな知見を提供している。このモデルでは、安定な粘性変形と局所的な剪断変形の間、スロー地震に類似した中間的な変形状態が存在し、その発現は粘性比および境界条件の変形速度に依存することが示された。また、応力および歪み速度の集中は物性境界に生じ、局所化の前後における応力・歪みの再分布において構造が重要な役割を果たすことが明らかとなった。すなわち、応力が局所的に集中して粘性が低下すると、その領域に歪みが集中し、全体として応力と歪みの場が再構成される。この再配分の様式は、構造的不均質——すなわちジオメトリ——に強く依存している。さらに、これらの変形様式の転移は、境界条件速度と剪断帯厚さの比によって支配されるスケールレスな挙動として特徴づけられる。スケーリングと構造の階層性天然の断層帯に存在する不均質構造は、単一スケールで生じるものではなく、しばしばフラクタルな階層性を有している。たとえば断層面の凹凸は、一定のハースト指数に従うパワースペクトルで表現されることから、セルフアフィンな性質を持つとされる (Candela et al., 2011, BSSA)。また、脆性破砕によって生成された粒子の累積頻度もフラクタル分布を示すことが知られている (Otsuki, 1998, GRL)。こうした階層的ジオメトリの存在は、スケールに依存しない局所化メカニズムと本質的に整合的であり、ミリメートルからキロメートルに至る多様な不均質ス

ケールにわたって、共通の変形集中プロセスが繰り返されることを意味する。すなわち、ジオメトリのスケーリング構造こそが、断層帯における時空間的なすべり様式の統一的理解を可能にする鍵である。たとえば、シュードタキライトを含む断層帯が構造的メランジュの北縁に位置する例は、物性不均質構造によって変形が空間的に制約されている一例と解釈される。まとめ本研究は、断層帯における変形様式が単なる物性の違いによってではなく、それらの空間的配置——すなわちジオメトリとスケーリング構造——によって動的に規定されることを、多スケールの観察および数値モデルを通じて示した。断層面の凹凸や高粘性ブロックなどの構造的不均質は、応力や歪み速度の集中帯を形成し、すべり挙動の時空間的な変化を支配する。また、これらの不均質構造はしばしば階層的かつフラクタルな特徴を持ち、変形の局所化をスケールに依存せず引き起こす。本研究の知見は、地震発生帯におけるすべり様式の多様性に対する物理的理解を深化させる枠組みを提供するものである。

📅 2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 🏢 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

◆ 学生優秀発表賞エントリー

11:15 ~ 11:30

[T5-O-9] 沈み込み帯震源域における地殻の弾性率分布と地震発生帯への影響

*高 慎一郎¹、濱田 洋平²、奥田 花也²、田村 芳彦²、坂口 有人¹ (1. 山口大学大学院創成科学研究科、2. 海洋研究開発機構)

キーワード：四万十帯、地震発生帯、沈み込み帯、三軸圧縮試験、弾性率

地震は断層の摩擦すべりによって発生し、その挙動はすべり面の速度弱化特性とシステム全体の弾性特性によって決められる (Dieterich, 1978)。従来、ある一定より深い領域が地震発生帯であり、それより浅部は未固結堆積物が速度強化特性を示すため、安定すべりが生じるとされてきた (Scholz, 1998; Ikari et al., 2007)。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震では、非地震性としてされていた浅部領域でも大規模な地震性すべりが発生した (Ide et al., 2011)。また、岩石の高速剪断試験により、様々な種類の岩石がその組成に関係なく速度強化することが明らかとなった (Di Toro et al., 2011)。これらは速度弱化特性の有無だけでは地震発生帯の範囲を一義的に定義できない可能性を示唆する。そのため地震の周期や断層の変位量に影響を与える地殻の弾性特性についても、定量的に評価する必要がある。西南日本の四万十帯は南海トラフ付加体の陸上延長であり、過去の震源深度の岩石が露出している。それは古地温約110~320℃までの地質体であり、南海トラフにおける地震発生帯の温度領域と大きく重なる (Hyndman and Wang, 1995)。本研究では四国・九州の四万十帯に分布する岩石に加え、マリアナ島弧の海洋底の岩石に対し、封圧下で圧縮試験を行う。過去の沈み込み帯震源域を構成していた岩石の弾性率を定量的に評価し、地殻の弾性特性が沈み込み帯震源域の範囲を制限する可能性について検討する。本研究は震源域の物性構造に対する新たな制約を与えるものであり、沈み込み帯における地震発生メカニズムの理解に役立つことが期待される。

沈み込み帯の上盤を構成する堆積岩として砂岩と泥岩を、古地温約110~140℃の四国東部日和佐地域から7試料、古地温約150~250℃の四国中西部地域から13試料、古地温約320℃の九州東部延岡地域から5試料採取した。下盤の海洋地殻を構成する岩石として、四国中西部地域および九州東部延岡地域から3試料、マリアナ島弧の海洋底露頭から2試料を用いた。変位計で変形を測定し、簡易補正で弾性率を算出したが、発表では詳細補正した値を用いる。四国中西部・九州東部の堆積岩の弾性率は、 55.12 ± 5.26 GPaの範囲に集中した。これらの岩石は、地震発生深度の上限から下限に相当する深度のものであるが、弾性率は古地温に関係なくほぼ一定であった。一方、日和佐地域に分布する古地温約110℃の岩石の弾性率は42.76 GPa前後であり、他より顕著に低い値であった。海洋地殻の岩石として、マリアナ島弧の玄武岩質安山岩の弾性率は54 GPa以上であり、四国中西部や九州東部の四万十帯に分布する玄武岩も54~74 GPaであった。下盤を構成する岩石の弾性率は、上盤の堆積岩よりも同等またはそれ以上の高い値を示した。

沈み込み帯においては上盤と下盤で異なる弾性構造を持つと考えられる。下盤の海洋地殻の玄武岩は、沈み込む前から54~58 GPaの高い弾性率を示し、沈み込んだ後も地温210℃付近で約54 GPa、さらに深い領域ではより高い弾性率を示すが、一貫して高い値である。一方、上盤では浅部の未固結堆積物の弾性率はおそらく極めて低い。これが温度にして約110℃付

近で約43 GPaになり、地温約150°C付近で約55 GPaに到達して、地震発生帯である約150～320°Cの間ではこの高い弾性率が一定のまま保たれる。

上盤と下盤が非対称な弾性構造を成し、プレート境界が固着していた場合、下盤が一定速度で沈み込むと、浅部では弾性率の小さい上盤が選択的に歪む。ただし上盤浅部の弾性率は小さいため応力レベルはあまり上がらない。地温150°C以上の深部になると、上盤の弾性率が下盤と同等に高くなるため、両方の岩盤が大きく歪み、かつ高い応力レベルになると予想される。たとえ浅部からプレート境界が固着し始めたとしても、上盤の弾性率が上昇する地温150°C以上にならないと大地震は起こせないと考えられる。以上より、地殻を構成する岩石の弾性特性の分布は、沈み込み帯における地震発生帯の範囲を決定づける要因となり得ることが示唆される。

Dieterich, J. 1978, Rock friction and Earthquake Prediction. Giulio Di Toro et al. 2011, Nature, **471**, 494-498. Hyndman, R. D. and Wang K. 1995, J Geophys Res, **100**, B8, 15373-15392. Ide, S. et al. 2011, Science, **332**, 1426-1429. Ikari M. J. et al. 2007, J Geophys Res, **112**, B06423. Scholz, C. 1998, Nature, **391** 37-42.

📅 2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 🏢 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

◆ ECS

11:30 ~ 11:45

[T5-O-10] 地震発生帯の岩石の弾性的性質：スケール依存性および地震発生プロセスへの影響

*奥田 花也¹、赤松 祐哉¹、北村 真奈美²、澤井 みち代³ (1. 海洋研究開発機構、2. 産業技術総合研究所、3. 千葉大学)

キーワード：四万十帯、コア、弾性波速度、スケール、地震

岩石の弾性的性質は地震発生プロセスを司るパラメータの一つである。弾性的性質は地震波速度から推定することができ、kmスケールでは1 Hzほどの低周波での地震波構造探査によって、cmスケールでは1 MHzほどの高周波の超音波によって、大構造や岩石サンプルの地震波速度の測定が行われてきた。とくに沈み込み帯においては、岩石サンプルの地震波速度の情報を用いて、断層強度に直接的に影響を及ぼす間隙水圧の推定が行われている。しかし異なる周波数での地震波速度は、空隙を移動する流体の効果によって含水条件では変化し、cmからkmまでの大きく異なるスケールを比較する場合には注意が必要である。

深海掘削では到達できない地震発生帯深度における岩石の弾性的性質とその解釈についてより理解を深めるため、本研究では高知県須崎市の四万十帯において、地震発生帯深度を経験したと解釈されている横浪メランジュの西方延長から採取された600 mにおよぶ陸上掘削コアを用い、その弾性的性質を測定した。まず浅部から深部までの全体をカバーするようにcmスケールの30サンプルを採取し、空隙率と乾燥・湿潤条件での1 MHzのP波およびS波速度を測定した。湿潤条件でのP波速度は5-6 km/s、空隙率は4%以下であった。これらのデータをDifferential Effective Medium theory (DEM)と比較することで、地震発生帯を構成する岩石のcmスケールでの弾性的性質は、代表的なアスペクト比が0.01程度の空隙で説明できることを明らかにした[1]。

次に600 mのコアから岩相の連続性の良い3か所を選択し、合計約130 mにわたって5 cm間隔で乾燥条件での1 MHzのP波速度を測定した。そして得られたP波速度を、上記で明らかにしたcmスケールでの空隙構造をもとに、DEMを用いて低周波極限における湿潤条件でのP波速度に変換した。この変換されたP波速度を、同じ深度でkHzオーダーの周波数によって坑内で計測されたmスケールのP波速度と比較すると、坑内計測のものが変換されたP波速度より1 km/sほど遅かった。この差はcmスケールのサンプルには含まれない、より大きなスケールの空隙構造、すなわちmスケールの亀裂の存在によってP波速度が下がったことを意味している[2]。

一般にkmスケールの大きな構造で見られる低いP波速度は異常間隙水圧と関連付けられることが多い。しかしmスケールの亀裂が空隙率にして数%入るだけでP波速度は急激に下がることがDEMから予想される。実際、上記のcmスケールとmスケールにおけるP波速度の差は、1%以下の空隙率に相当する亀裂の存在によって説明される。このような亀裂は高い透水性をもつため、異常間隙水圧をむしろ解消する方向に働く。よってこれまで地震波構造探査で見られる低P波速度領域は異常間隙水圧に相当するのではなく、大きな亀裂が多く存在する場所とも解釈することができる[2]。

ではこれらの弾性的性質は地震発生プロセスにどう影響するだろうか。cmスケールのサン

ブルの弾性波速度から岩石のcmスケールでの剪断剛性率を計算し、そこから速度状態依存摩擦構成則から導かれる、地震の核形成のための臨界核サイズを求めると、3から38 cmの破壊から地震が始まることが明らかになった。もし異常間隙水圧がある場合にはこのサイズは数mまで大きくなりうる。このサイズは剪断剛性率（すなわちS波速度の2乗）に比例し、大きな亀裂がある場合には小さくなる。しかしmスケールの亀裂が少量存在することで弾性的性質は大きく変化するため、地震の核形成に伴って徐々に大きくなる亀裂に対して、変形に伴って臨界核サイズが動的に変化し、それに応じて断層すべりの加速および破壊の進展が加減速される可能性がある[1]。

[1] H. Okuda, Y. Akamatsu, M. Kitamura, M. Sawai (2025). Elastic properties of rocks from the seismogenic zone and minimum fault size to nucleate megathrust earthquakes. *Prog. Earth Planet. Sci.* 12, 47. doi: 10.1186/s40645-025-00723-5

[2] Y. Akamatsu, H. Okuda, M. Kitamura, M. Sawai (2025). Mesoscale fractures control the scale dependences of seismic velocity and fluid flow in subduction zones. *Tectonophysics*. 896, 230606. doi: 10.1016/j.tecto.2024.230606

セッション口頭発表 | T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

11:45 ~ 12:00

[T5-O-11] 断層沿いの短時間発熱による硫黄の減少とその行方*山本 由弦¹、小林 唯乃¹、福山 繭子²、Bowden Stephen³、濱田 洋平⁴、三村 匠海²、千代延 俊²
(1. 神戸大学、2. 秋田大学、3. アバディーン大学、4. 海洋研究開発機構)

キーワード：地震、シュードタキライト、黄鉄鉱

地質学が貢献する地震防災・減災に向けて、ある断層が引き起こす地震の最大ポテンシャルを評価することが重要である。そのためには、過去の事象を記録している地震断層からも動力学パラメータを抽出することが求められる。近年注目されているのが、「断層に記録された温度異常」である。断層の摩擦発熱は、断層のすべり速度と量を示す。しかしながら、過去に活動した地震断層から発熱量を正確に抽出することは困難であり、短時間温度上昇を正確に記録する温度指標の確立と検証が求められている。本研究は、堆積物中に主に黄鉄鉱として存在する硫黄が、短時間被熱によって減少する様子を室内実験および天然の火成岩貫入と断層から確認したので、報告する。室内実験は、秋田県に分布する女川層1箇所と千葉県房総半島に分布する保田層群3箇所の泥質岩を加熱し、その試料中に含まれる硫黄全量を分析した。分析は、フランスVinci Technologies社製のRockEval7-Sと秋田大学のLeco社製628CHNSを使用した。実験は、銅管に窒素ガスとともに粉末試料を封入したものと銅の皿に粉末試料を置いたものをマッフル炉で加熱した。前者はpyrolysis（熱分解）、後者がOxidation（酸化）に相当する。加熱は、1）温度を300℃に固定して被熱時間を 10^3 、 10^4 、 10^5 、 10^6 秒に変化させた実験と、2）被熱時間を 10^3 秒固定して温度を200、300、400、500、600℃に変化させた実験を実施した。結果、4種類いずれの試料でもpyrolysis、Oxidationともに400℃以上で硫黄が明瞭に減少した（600℃で約30%にまで減少）。また300℃に固定して被熱時間を変化させた実験では、pyrolysisでは 10^5 秒以上で明瞭な減少が見られたが（ 10^6 秒で約40-60%にまで減少）、Oxidationでは変化が見られなかった。詳しく見ると、無酸素下の500-550℃付近で見られる硫黄の分解反応が明瞭に減少していることから、これらの変化は黄鉄鉱の熱分解によるものと判断される。酸素は黄鉄鉱の熱分解を妨げる働きがあるため、Oxidationで変化が認められないのはこれを反映していると考えられる。天然地質体への適用として、短時間発熱イベントを経験したであろう次の2つの例に注目した。①山梨県南部に分布する上部中新統の富士川層群において、小規模な閃緑岩脈（幅<1.5 m）周辺の泥質岩、それに②房総半島の中中部・上部中新統付加体の境界断層でOut-of-sequence thrustとして認定されている石堂断層である。それぞれイベント時に期待される被熱時間は、数十万秒（数日）、数秒であり、温度異常値は<400℃、約1000℃である。①は、5枚の泥質岩単層を設定し、岩脈の伸びに対して直交方向に距離を測定しつつ連続的にサンプリングを行った。その結果硫黄量は、岩脈から離れたところでは若干の変動が認められるものの、岩脈近傍では例外なく極端に減少しゼロになった。また、岩脈とのコンタクト部分で若干の上昇が見られることも注目に値する。②は、秋田大学が所有しているBruker社製のマイクロXRFスキャナーM4 TORNADOを使用し、断層岩周辺の元素マッピングを実施した。その結果、シュードタキライトが認められる断層のコア部分では硫黄と鉄がイメージングされない一方で周辺の破碎・流動化部分と上盤側の保田層群のクラックに沿って特徴的に

両元素が分布していた。これらは、瞬間的に高温になった断層のコア部分で黄鉄鉱が急速に分解し、周辺の破碎帯およびクラックを通じて移動していったことを示す。断層を構成している岩石が多孔質であることから断層運動時にサーマルプレッシャリゼーションが起こったことが期待され、破碎帯とクラックに明瞭に硫黄と鉄が分布することから、これらの元素が高温流体に沿って断層コア外に運び去られた可能性が高い。①で確認された岩脈コンタクト部分の硫黄異常も、同様の可能性が考えられる。なお、すでに報告されている短時間被熱によるケロジェンからのS₂およびS₄CO₂の減少について、今回の実験と計測でも再現性が認められた、発表では、これらを含めて短時間地質温度計の可能性についても現状を報告する。

セッション口頭発表 | T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

12:00 ~ 12:15

[T5-O-12] 四国沖外縁隆起帯のネオテクトニクス*芦 寿一郎¹、照井 孝之介² (1. 東京大学、2. ENEOS Xplora)

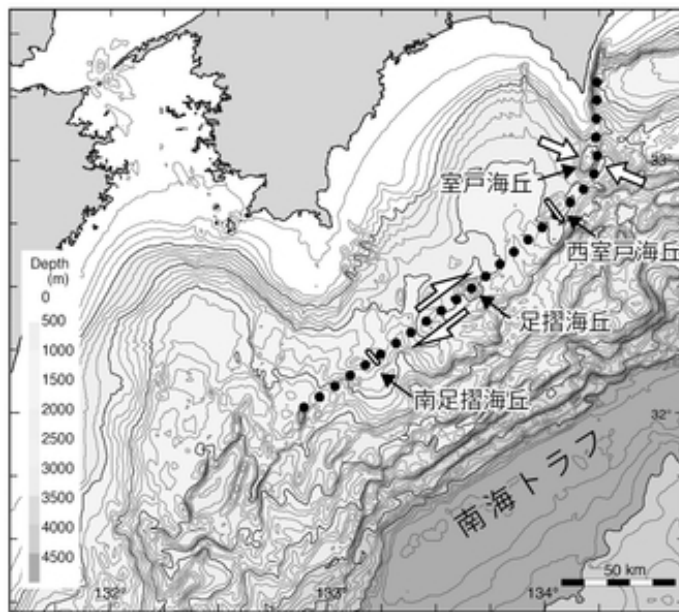
キーワード：南海トラフ、活断層、活褶曲、横ずれ断層

室戸岬から足摺岬沖には海丘が断続的に配列し外縁隆起帯を形成している(図)。音波探査記録では、室戸岬から南に伸びる背斜構造は東落ちの断層群で切られた東翼と緩やかに傾斜した西翼からなる(岡村, 1990, 地質雑など)。Matsu'ura (2015, Geomorphology) は段丘年代より隆起速度の見積もりを行い、室戸岬およびその南方海域に南北走向・西傾斜の断層による断層関連褶曲の存在を推定した。栗田・杉山(1989, 地震)は、南海トラフの各前弧域に逆L字型の隆起帯が発達しているとし、それらがプレートの斜め沈み込みに伴う右横ずれ逆断層運動で形成されたとしている。一方、前空(2001, 地学雑誌)は室戸岬周辺の段丘の高度から隆起の履歴を調べ、残留隆起の大半は陸に近い断層の千年オーダーの間隔の活動による可能性を指摘した。本研究では海域の地形および地下構造から四国沖外縁隆起帯の発達に関する情報を得ることを目的とした。用いたデータはJAMSTECより提供を受けた海底地形データと反射法地震探査データ、および白鳳丸KH-15-2, KH-16-5次航海において深海曳航式サブボトムプロファイラー(SBP)で得られた海底浅部地下断面である。

室戸岬南方の室戸海丘から足摺岬沖には北東-南西方向に長さ約130 km、幅約20 kmの範囲に海丘が多数認められる。いずれも北東-南西方向に伸びた形状をしている。これらの海丘群を含めて海底地形には北西-南東方向の直線的なリニアメントが認められる。足摺海底谷がこのうちの1本のリニアメントを横断する地点では、海底谷の東側斜面は直線的であるのに対して、西側斜面は下流側において谷底が拡張している。また、リニアメントを境とした段差の下流側にはリニアメントと同じ方向に並んだplunge pool(滝壺)が発達し、リニアメントに沿った右横ずれによる海底谷の流路の変遷を示唆する(照井・芦, 2024, 地質学会要旨)。室戸海丘南西の西室戸海丘と足摺岬南方約70 kmの無名の海丘(南足摺海丘と仮称)では、深海曳航式SBP探査の浅部地下構造断面において海底面まで達する高角の断層が認められる(Ashi et al., 2018, JpGU abstract)。西室戸海丘の小堆積盆では深部ほど北西への傾斜の増加が見られ、傾動の累積を示す堆積構造が確認できる。南足摺海丘では、高角の断層と撓曲に挟まれたホルスト状の地形が捉えられフラワー構造と解釈される。外縁隆起帯を横断する複数の反射法地震探査断面においては、これらの構造の深部への連続が確認できる。

以上の外縁隆起帯付近に認められる構造の、1) 海底地形の凹凸によらず直線的なリニアメント、2) 海底谷の右ずれを示唆するリニアメントを境とした谷底の非対称な拡張、3) フラワー構造を伴う海底面に達する断層とそれらに対応するリニアメントから、これらのリニアメントは高角の右横ずれ成分を持った活断層によるものであると解釈できる。リニアメントが左ステップのところには高まりが分布し、右横ずれの圧縮変形によるものと説明できる。外縁隆起帯は室戸海丘において北東-南西方向から南北方向へ走向が急変しており、足摺岬沖から北西方向へ連続する外縁隆起帯に沿った右横ずれ変形は、室戸海丘から室戸岬にかけて圧縮をもたらす。室戸岬における前空(2001)の研究を考慮すると、室戸岬の残留隆

起に関わる主なイベントは、プレート境界型地震によるものではなく外縁隆起帯付近の千年オーダーの間隔の断層活動によるものと考えられる。



四国沖南海トラフ海域の海底地形

外縁隆起帯（黒点線）沿いにリニアメントと海丘が多数分布する。白抜き線はSBPの測線を示す。

セッション口頭発表 | T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

2025年9月16日(火) 8:45 ~ 12:30 口頭第2会場(E107)

[3oral201-13] T5 [トピック] 沈み込み帯・陸上付加体

座長:奥田 花也(海洋研究開発機構)、細野 日向子(国立研究開発法人産業技術総合研究所)、細川 貴弘(高知大学)

12:15 ~ 12:30

[T5-O-13] 日向灘の地形的・熱学的特徴 —KS-21-08およびKS-25-03航海報告*木下 正高¹、土岐 知弘²、橋本 善孝³、濱田 洋平⁴、KS-21-08 航海研究者¹、KS-25-03 航海研究者¹
(1. 東京大学地震研究所、2. 琉球大学理学部、3. 高知大学教育研究部、4. 海洋研究開発機構)

キーワード：日向灘、熱流量、海山沈み込み、スロー地震

海山の沈み込みと上盤堆積物の相互作用により、両者とその境界面付近の応力場や有効強度は擾乱を受ける。それは巨大地震発生条件をmodifyし、おそらくは固着を弱めるであろう(Wang and Bilek, 2011など)。M8超の巨大地震発生が懸念される南海トラフの西端、日向灘周辺ではこれまでM8級の地震は発生していない。日向灘には、四国海盆と西フィリピン海盆の境界をなす、九州-パラオ海嶺(KPR)が沈み込んでいる。KPRとして沈み込んだ海山の周囲でスロー地震(微動・超低周波地震=VLFE・スロースリップ=SSEを総称)が時折発生し、震源位置が数十 km/day 程度で移動することが知られている。スロー地震の発生原因の一つが間隙水圧異常と提案されている(Takemura et al., 2023EPS; Ozawa et al., 2024JGR)。地下の流体(圧)異常を検出するためには、地震波解析から低速度層を検出し、かつ、科学掘削によりその場の間隙水圧を計測することが必要である。また上盤破碎帯などがあると、高压の流体が破碎帯をつたって海底に湧出する可能性がある。日向灘での反射法地震探査断面の解析により、BSR深度から熱流量が推定されている(Kinoshita et al., 2021 AGU)。海山の周辺では熱流量が40mW/m²を下回る低熱流量であり、特にLeading edgeでは20mW/m²という超低熱流量が得られている。ただしこれらはBSR深度(海底下数百m)での熱流量であり、海底付近の局所的な水の流れや堆積等の擾乱は反映されないはずである。2021年8月(KS-21-18航海)および2025年4月(KS-25-3航海)に、日向灘での熱流量測定・コア採取・地形調査を行った(図)。プローブによる熱流量測定により33個の温度勾配が得られた。別途ピストンコアから得られた熱伝導率を用いて熱流量値を得ることができた。また沈み込んだ海山周辺の詳細な地形・表層構造が明らかになってきた。これまでに得られている反射法地震探査データから、日向灘沖で沈み込んだKPR(九州パラオ海嶺)上面の形状がある程度明らかになってきた。それを用いて海山上面でのSlip tendency (Ts)を推定し、前弧にあるToi smtのほぼ下にあるKPRの縁にそってTsが大きいことが示された(Kinoshita et al., 2025JpGU)。その場所のうち、特に北側(沈み込む前方側)でTremorなどが頻発している。地形およびSBPを精査した結果、Toi smtとその北側は、NNE-SSW走向のリッジやBasinが卓越している。おそらくは(海山沈み込みとは独立な)前弧付加体形成に伴うfrontal / imbricate thrustsであろうと推測する。そのような構造に対して、Toi smtの陸側(NW側)の地形がたかまっており、リッジが陸側にやや曲げられているように見える。SBPの記録と地形から、Toi smtの西の表層が圧縮性の構造が見て取れる。一方、海山のE~SE斜面には円弧滑りや地すべりと思われる地形が多数見受けられる。海山のNW側の地震構造でも逆断層的な構造がみえており、海山の沈み込みに伴う変形場が海底地形にも表れていると推測する。なお、海山の北(31°25'-30'N)にある深海谷は、おそらく既存の断層性高まりを浸食していると考えられる。海底での熱流量計測の結果、限られた点数ながら、基本的には30-60 mW/m²程度の低熱流量が観測された。一方、Toi smtの陸側、NE-SW方向に

沿って、70 mW/m²を超える高熱流量が存在することが分かった。特に海山NEの海底谷において、300mW/m²を超える高い熱流量が観測されたのは特筆すべきである。低熱流量は、BSRから推定された値とほぼ整合的である。海洋地殻基盤（あるいはKPR）の形成年代）が古いことが一因と考えられる。一方、Toi smt陸側の高熱流量はBSRからの推定値とは整合しない。その原因としては、地形効果や堆積・浸食効果がありうるが、海山沈み込みによる周囲の応力異常・水理擾乱に起因する流体循環、特に地下の断層破碎帯を通じた局所的な流体上昇の可能性があるが、今回はコア試料の間隙水化学分析から特に流体上昇を示す証拠は得られていない。本発表では、このほかコア試料のCTや物性、記載などについても提示する予定である。なお本研究は科研費（基盤S、24H00020、2024-2028）による。また東京大学大気海洋研究所の共同利用公募航海により実現した。感謝いたします。

