

(1) 実施機関名：

産業技術総合研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）地質調査と実験に基づく震源断層物理モデルの提供

（英文）Construction of a seismic source fault model based on geological and experimental studies

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

(5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

イ. 内陸地震

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測（重点研究）

イ. 内陸地震の長期予測

(2) 地震発生確率の時間更新予測

ア. 地震発生の物理モデルに基づく予測と検証

(5) 本課題の5か年の到達目標：

内陸断層の深部、脆性-塑性遷移付近における応力・歪といった変形の不均質を削剥断層の地質調査により明らかにする。また、内部構造形成・発展と力学的挙動の関係を岩石変形実験により明らかにする。両者の成果を統合し、断層深部の変形不均質が破壊や摩擦といった断層挙動に及ぼす影響を明らかにする。これらの成果により震源断層の物理モデルの基礎を提供する。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

2024-2026年度：(1) 断層の走向方向の、変形条件・変形機構、運動像の三次元分布の解明。それに基づく三次元地質モデル構築し、断層面全体の不安定化と延性破壊との関係性を明らかにする。(2) 岩石、及びアナログ物質を用いた変形実験による構造形成と発展の解析。岩石については、変形の支配要因となる構成鉱物の粒径の発展について解明する。

2027-2028年度：三次元地質モデルに岩石変形実験による構造形成と発展の解析結果を組み込むことで、震源断層の物理モデルの基礎を提供する。

(7) 令和7年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

(1) 地質調査に基づく成果

昨年度に引き続き、内陸断層の最深部における破壊現象の空間分布の解明のため、削剥断層における地質調査と微細構造解析を行った。特に断層中心部での変形不均質のスケールが数100  $\mu\text{m}$  未満であることに注視し、Yeo et al. (2025) の破壊条件を満たす場所の空間分布をより高い空間解像度で検討した。その結果、破壊条件を満たす場所は断層中心部のウルトラマイロナイトと一致

し、Yeo et al. (2025) が試料スケールでの解析に基づいて示した塑性歪とキャビテーションの関係が、より巨視的なスケール（数 100 m 規模）においても成立することを確認した。ウルトラマイロナイトのうち最大のものは、走向方向に 1.2 km 以上にわたり分布するが、この構造はスケールの異なる複数の胴切断層に切断されることを明らかにした。

脆性領域における断層の固着過程の解明のため、地震断層沿いに産する方解石の化学分析、熱水変質鉱物の年代測定および近傍の岩脈の年代測定を実施した。その結果、方解石はマグマから供給された 100–300°C の高温の流体から析出したことが示唆された。また、熱水変質鉱物の年代は岩脈の年代よりも古く、近隣の火成作用とは直接的に関係しないことが分かった。昨年度までの成果と合わせると、方解石は断層に沿って地下からもたらされた周囲よりも高温の流体から析出し、断層を繰り返しシールしたことが明らかとなった。

## (2) 実験に基づく成果

飽和塩水に浸した塩・雲母混合物質は、常温・5 MPa の低温・低応力下でも、剪断すべり速度によっては脆性的にも流動的にも振る舞うことができることから、脆性–塑性遷移領域の断層岩アナログ物質として有用である。このアナログ物質を用いて、流動変形が卓越する条件（低すべり速度）で十分に流動変形組織を形成したのちに、すべり速度を上げて脆性的な挙動への移行を図ったときに、どのように亀裂の生成・連結が起きるのかを放射光 X 線を用いたその場観察により明らかにした。実験は大型放射光施設 SPring-8 にて実施した。ちょうど優勢となる変形が流動変形から脆性変形へと変化するすべり速度（1  $\mu\text{m/s}$ ）で、剪断の局所化がピストンとガウジ帯との境界付近で起こり始め、3  $\mu\text{m/s}$  のすべり速度では局所化した領域に亀裂が生じ、それ以上のすべり速度では亀裂面に剪断が集中することを明らかにした。

脆性–塑性遷移領域の断層変形の再現実験を目指し、第 2 次計画において斜長石多結晶集合体をセラミック分野の一般的技術により合成した。しかし、集合体は全く水を含まず、地殻下部の剪断帯のアナログ物質としては現実的ではなかった。本年度は材料粉をカプセル内に封入することで、水を含む斜長石多結晶集合体を合成することに成功した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

多くの内陸大地震が発生する地震発生層最深部で形成された断層帯に沿って、1 km 程度の範囲において、強い塑性変形によるキャビテーションと延性破壊が発生している可能性を見出した。このことは、塑性変形とキャビテーションが、地震発生層最深部における破壊開始に重要な役割を担っていることを示唆する。今後、この現象が断層面全体の不安定化に与える影響や発する観測可能な信号を解明することで、地震時に断層から出る強い地震波の予測、脆性–塑性遷移領域での塑性変形の特性を考慮した新たな地震発生の物理モデルを提唱し、災害の軽減に大きく貢献するものと考えられる。アナログ実験からは、ゆっくりと流動変形している断層岩を急に速い速度ですべらせようとする、ある速度以降では剪断は亀裂面のごく薄層に局所化することを明らかにした。その場観察は断層すべりの不安定性と局所化への発展に関する明確なモデルを提供でき、内陸大地震の発生域である脆性–塑性遷移領域での地震発生過程の解明に貢献すると考えられる。

## (8) 令和 7 年度の成果に関連の深いもので、令和 7 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Yeo, T., N. Shigematsu, S. R. Wallis, K. Kobayashi, C. Zhang, and K. Ujiie, 2025, Evolution of nanocavities to ductile fractures in crustal-scale faults at the base of the seismogenic zone, *J. Geophys. Res.*, 130, e2024JB029868, doi:10.1029/2024JB029868., 査読有, 謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

Shigematsu, N., T. Yeo, S. R. Wallis, K. Oohashi, T. Katori, K. Kobayashi, T. Sumita, A. Miyakawa, K. Ujiie, and C. Zhang, 2025, 地震発生層最下部における断層内部構造, クリープキャビテーション, 延性破壊, 日本地球惑星科学連合 2025 年大会, SSS10-22.

高橋美紀, 2025, Runaway slip in a fault rock analog under shear stress-constrained conditions,

日本地球惑星科学連合2025年大会, SCG54-11.

大橋聖和・小林健太, 2025, 2000年鳥取県西部地震余震域に分布する含方解石カタクレサイトと非ダブルカップル型地震, 日本地球惑星科学連合2025年大会, SSS10-P14.

高橋美紀, 2025, 放射光 X 線オペランド剪断実験による, 流動から破壊への移行, 防災科学技術研究所シンポジウム 実験的アプローチで拓く地震断層力学の新展開 -大型岩石摩擦実験は何をもたらすか?-, 2025年10月31日.

(9) 令和7年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(10) 令和8年度実施計画の概要:

(1) 内陸断層の最深部の構造を明らかにするため調査を進めている削剥断層では、単一の延性破壊面の空間規模を明らかにするとともに、集合体としての幾何形状を明らかにする。また、断層中心部（ウルトラマイロナイト）の塑性変形が近傍の破壊現象（胴切り断層やマイロナイト面構造の乱れ）に及ぼす影響を検討する。(2) 地震後の断層の固着過程に関しては、方解石を沈殿させた流体の圧力に関する情報を得て、断層強度に対する水圧の影響を明らかにする。(3) アナログ物質を用いた変形実験では、引き続き実験による構造形成と発展の解析をおこなう。具体的には、剪断応力を一定に保った環境で、流動変形から亀裂の生成と連結を経て断層が自発的に加速するさまを、放射光を用いて観察する。地質調査と変形実験で得られた成果（すなわち、「塑性変形→キャビテーション→破壊の発展→固着」）をあわせ、脆性-塑性遷移領域における断層の固着と破壊に基づく地震発生の物理モデルの提唱を目指す。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

重松紀生（活断層・火山研究部門）、高橋美紀（活断層・火山研究部門）、大橋聖和（活断層・火山研究部門）、宮川歩夢（地質情報研究部門）、住田達哉（地質情報研究部門）  
他機関との共同研究の有無：無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門  
電話：050-3522-3594  
e-mail：k-oohashi@aist.go.jp  
URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：大橋聖和  
所属：活断層・火山研究部門