

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03737

研究課題名(和文)粘土鉱物の脱水反応によるプレート境界断層浅部での大規模滑りの可能性

研究課題名(英文) Potential of large slip at the shallow portion of plate-boundary fault: Effect of dehydration of clay minerals

研究代表者

廣野 哲朗 (Hirono, Tetsuro)

大阪大学・理学研究科・准教授

研究者番号：70371713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：統合国際深海掘削計画における地球深部探査船「ちきゅう」の研究航海で得られた断層掘削試料を用いて、断層の鉱物組成と各種物理特性(摩擦係数、透水率、熱重量変化など)を分析し、海溝付近の断層のすべり量を解析した。まず東日本大震災を引き起こした日本海溝のプレート境界断層の試料を分析・解析した結果、同震災で観測されたすべり量とほぼ同じ、約80 mの巨大すべりが再現され、本解析手法の有効性を確認した。その解析方法で南海トラフの断層試料を解析した結果、海溝付近のすべり量は約30-50 m程度になる可能性が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Near-trench slip during large earthquakes is an important factor in the generation of destructive tsunamis. The amplitude of the slip is related not only to stress drop and dynamic mechanisms but also to properties of the fault rocks. Here, we constrain the near-trench slip potential of the plate-boundary fault of the Japan Trench and the megasplay fault of the Nankai Trough by integrating laboratory-derived properties of actual fault samples and dynamic rupture simulations. The Nankai Trough fault materials are sandy and have higher permeability and porosity than the clayey materials of the Japan Trench. However, dynamic weakening by thermal pressurization is greater at the Nankai Trough, because of the higher friction and higher interstitial fluid content. Dynamic earthquake rupture simulations reproduced the large slip near the trench observed in the 2011 Tohoku-oki earthquake and suggest that a Nankai Trough earthquake has a strong potential to produce a much larger slip.

研究分野：地震断層学

キーワード：南海地震

### 1. 研究開始当初の背景

地震・津波が人間社会に与える影響は計り知れないほど大きく、地震多発国の日本のみならず、変動帯で活動する人類にとって、地震を理解するという事は共通の要求である。しかし、一言で地震の理解と言っても、その発生プロセスは震源核の形成、動的破壊の開始、広域への破壊伝播、地震波放出、地殻変動(津波発生)などと非常に複雑である。なかでも、広域への破壊伝播において滑りが浅部に達し、断層が大規模に滑る現象が生じると、人間社会に甚大な被害をもたらす。2011年東北地方太平洋沖地震では、プレート境界の地下24 kmで発生した破壊が海溝底まで伝播し、かつ50-80 mもの滑りが生じた。この滑りは海底面を大きく隆起させ、波高10 m以上、最大遡上高40 m以上という巨大津波を発生、未曾有の被害をもたらした原因であろう。そのため、複雑な地震現象の中でも、断層の大規模滑りの発生原因の解明は喫緊の最重要課題である。

海溝底付近のプレート境界断層の滑りに関し、従来までは、堆積物が未固結の状態にあるため、ほとんど固着していないと考えられていた。しかし、2011年の浅部での大規模滑りに対し、深部のプレート境界の滑りに誘発された過剰滑りが浅部で生じたという説、さらに、プレート境界断層ではサーマルプレッショナライゼーション(断層の摩擦発熱によって間隙流体が加熱、加圧され、有効垂直応力が低下し、断層の剪断抵抗を低下させる現象)が機能し、そこでの剪断強度を大幅に低下させ、大変位を引き起こしたという説などが提案されている。

### 2. 研究の目的

断層の主要構成要素は粘土鉱物であり、この鉱物は結晶内にH<sub>2</sub>OおよびOH基を含む。そのため、この鉱物から放出される水はサーマルプレッショナライゼーションの効果を劇的にアシストする可能性がある。一方で、2012年4-5月に実施された日本海溝プレート境界断層の掘削研究(Japan Trench Fast Drilling Project: J-FAST)では、断層試料の回収に成功した。その断層試料の粉末X線回折分析を実施した。その結果、断層には粘土鉱物の一種であるスメクタイトが70 wt%以上も含まれることが明らかになった。スメクタイトはイライトと比較して、より多くのH<sub>2</sub>Oを含むため、この粘土鉱物の存在が2011年東北地方太平洋沖地震時のプレート境界断層の大規模滑りに大きな影響を与えた可能性がある。

そこで、本研究では、プレート境界断層における粘土鉱物の脱水に着目し、放出される水が断層の滑り挙動にどのような影響を与えるのか、与えたのかについて、その定量的評価を目的とした。

### 3. 研究の方法

2011年東北地方太平洋沖地震のプレート境界断層浅部の大規模滑りにおける、粘土鉱物の脱水反応の影響を解明するためには、第一段階として、その断層に含まれる各粘土鉱物(スメクタイト、イライト、カオリナイト、クロライト等)の絶対量比(鉱物組成)、結晶構造、含水量、OH基の化学状態などの精査が必要である。また、今後発生が予想されている次の東海-東南海-南海地震で、プレート境界断層深部から派生する巨大分岐断層(1944年東南海地震の震源断層と推測)が、同様に大規模滑りを発生させるかどうか評価するためには、同断層における上記の情報把握が必要である。そこで、J-FASTで採取された日本海溝のプレート境界断層および南海トラフ地震発生帯掘削(IODP第316次航海)で採取された高角逆断層の試料において、以下の一連の分析を実施した。

- ・粉末X線回折法とRockJockプログラムを用いた鉱物組成の定量分析
- ・熱重量-示唆熱走査熱量同時測定装置を用いた含水量計測
- ・顕微赤外分光光度計を用いた粘土鉱物中の層間水と構造水の定量分析
- ・熱分解-ガスクロマトグラフ質量分析計(を用いた熱分解特性の評価)
- ・レーザーフラッシュ熱分析装置を用いた熱物性(比熱容量・熱拡散係数)の計測
- ・水理特性(透水係数・貯留係数)と摩擦係数の計測

次に、断層試料の分析・計測を通して得られた物性値を用いて、サーマルプレッショナライゼーションを組み込んだ断層滑りの数値シミュレーションおよびプレート境界断層全体の滑り発展の動力学解析シミュレーションを実施した。

### 4. 研究成果

日本海溝の断層と南海トラフの断層の試料の各種物理特性(摩擦係数、透水率、熱重量変化など)の測定、および地震時の断層のすべり挙動の数値解析の結果、日本海溝の断層では低い透水率により、南海トラフの断層では、高い摩擦係数に伴う高い温度上昇により、サーマルプレッショナライゼーションが機能し、剪断応力が大きく減少することが明らかになった。

さらに、このような数値解析を日本海溝および南海トラフの断層にて海底下1-10 kmの条件で1 kmごとに実施、各深度における地震時の剪断応力の変化を定量的に評価し、動力学解析シミュレーションを実施することによって、海溝付近の断層のすべり量の定量的な評価に世界で初めて成功した。

日本海溝のプレート境界断層では、2011年東北地方太平洋沖地震で観測された大きさと同じ程度の約80 mの巨大すべりが再現された。さらに、南海トラフのプレート境界断層および巨大分岐断層での解析の結果、海溝付近のすべり量は約30-50 m程度になる可能

性が判明した。これは、かつて南海トラフ地震によって生じた巨大津波の高さから推定されるすべり量と整合しており、本解析が正しいことを表している。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 11 件)

Kaneki, S., and Hirono, T., 2018, Kinetic effect of heating rate on the thermal maturity of carbonaceous material as an indicator of frictional heat during earthquakes. *Earth, Planets and Space*, 70:92, 査読有り。

Mukoyoshi, H., Kaneki, S., and Hirono, T., 2018, Slip parameters on major thrusts at a convergent plate boundary: Regional heterogeneity of potential slip distance at the shallow portion of the subducting plate. *Earth, Planets and Space*, 70:36, 査読有り。

Kaneki, S., Ichiba, T., and Hirono, T., 2018, Mechanochemical effect on maturation of carbonaceous material: Implications for thermal maturity as a proxy for temperature in estimation of coseismic slip parameters. *Geophysical Research Letters*, 45, doi:10.1002/2017GL076791, 査読有り。

Hirono, T. and Ishikawa, T., 2018, Tectono-seismic characteristics of faults in the shallow portion of an accretionary prism. *Tectonophysics*, 724-725, 179-194, doi:10.1016/j.tecto.2018.01.014, 査読有り。

Hirono, T., Asayama, S., Kaneki, S., and Ito, A., 2016, Preservation of amorphous ultrafine material: A proposed proxy for slip during recent earthquakes on active faults. *Scientific Reports*, 6, 36536, doi:10.1038/srep28184, 査読有り。

Kato, N. and Hirono, T., 2016, Heterogeneity in friction strength of an active fault by incorporation of fragments of the surrounding host rock. *Earth, Planets and Space*, 68:134, 査読有り。

Kaneki, S., Hirono, T., Mukoyoshi, H., Sampei Y., and Ikehara, M., 2016, Organochemical characteristics of carbonaceous materials as indicators of frictional heating on an ancient plate-subduction fault. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 17, doi:10.1002/2016GC006368, 査読有り。

Hirono, T., Tsuda, K., Tanikawa, W., Ampuero, J. P., Shibazaki, B., Kinoshita, M., and Mori, J., 2016, Near-trench slip potential of megaquakes evaluated from

fault properties and conditions.

*Scientific Reports*, 6, 28184, doi:10.1038/srep28184, 査読有り。

Kaneki, S. and Hirono, T., 2016, Blackening of fault gouge by comminution and pyrolysis of carbonaceous materials during earthquake slip. *Tectonophysics*, 160-170, 677-678, doi:10.1016/j.tecto.2016.03.039, 査読有り。

Tanikawa, W., Ishikawa, T., Honda, G., Hirono, T., and Tadai, O., 2015, Trace element anomaly in fault rock induced by coseismic hydrothermal reactions reproduced in laboratory friction experiments. *Geophysical Research Letters*, 42, doi:10.1002/2015GL063195, 査読有り。

Hirono, T., Maekawa, Y., and Yabuta, H., 2015, Investigation of the records of earthquake slip in carbonaceous materials from the Taiwan Chelungpu fault by means of infrared and Raman spectroscopies. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 16, doi:10.1002/2014GC005622, 査読有り。

[学会発表](計 13 件)

Ogawa, T., Ishikawa, T., Kaneki, S., and Hirono, T., Geochemical anomaly in ancient subduction boundary fault: Trench-parallel heterogeneity in slip behavior caused by variation of mineral composition, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, 2017 年。

Kaneki, S., and Hirono, T., Importance of weak minerals on earthquake mechanics, AGU Fall Meeting 2017, New Orleans, 2017 年。

福家朱莉・金木俊也・市場達矢・廣野哲朗・大橋聖和, 火山砕屑性堆積物の摩擦すべり挙動の実験的検証, 日本地震学会 2017 年度秋季大会, かごしま県民交流センター, 2017 年。

金木俊也・廣野哲朗, 地震時の巨大滑りにおける断層中の弱い鉱物の役割, 日本地震学会 2017 年度秋季大会, かごしま県民交流センター, 2017 年。

金木俊也・廣野哲朗, 地震時の摩擦発熱に伴う炭質物の熱熟成反応における昇温速度の影響の実験的検証, 日本地球惑星科学連合連合大会 2017 年大会, 幕張メッセ, 2017 年。

市場達矢・金木俊也・廣野哲朗・大橋聖和, 地震時の断層における炭質物熱熟成へのメカノケミカル効果の実験的検証, 日本地球惑星科学連合連合大会 2017 年大会, 幕張メッセ, 2017 年。

小川丈彰・加藤尚希・土野池直哉・朝山暁・金木俊也・廣野哲朗, 和歌山県日高川

層群に発達する過去のプレート境界断層の構造地質学的・鉱物学的特徴，日本地球惑星科学連合連合大会 2016 年大会，幕張メッセ，2016 年．

金木俊也・廣野哲朗・土野池直哉・近藤忠，地震性断層滑りに伴う炭質物の有機化学的变化：昇温速度の影響の実験的考察，日本地震学会 2016 年度秋季大会，名古屋国際会議場，2016 年．

金木俊也・廣野哲朗・向吉秀樹・三瓶良和・池原実，炭質物の元素組成・分光分析による南海トラフ巨大分岐断層の摩擦発熱履歴の推定，日本地球惑星科学連合連合大会 2016 年大会，幕張メッセ，2016 年．

小川丈彰・加藤尚希・廣野哲朗，紀伊半島四万十帯 日高川層群に発達するプレート境界断層における鉱物・化学組成について．日本地震学会 2015 年度秋季大会，神戸国際会議場，2015 年．

金木俊也・廣野哲朗・向吉秀樹・三瓶良和・池原実，炭質物の元素組成から検出された南海トラフ巨大分岐断層の地震性すべりの痕跡．日本地震学会 2015 年度秋季大会，神戸国際会議場，2015 年．

金木俊也・廣野哲朗，炭質物の熱分解による断層ガウジ黒色化．日本地球惑星化学連合大会 2015 年大会，幕張メッセ，2015 年．

廣野哲朗・藪田ひかる，赤外・ラマン分光および熱分解 GC/MS を用いた断層中の炭質物変化の検出，日本地球惑星化学連合大会 2015 年大会，幕張メッセ，2015 年．

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

[http://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2016/20160620\\_1](http://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2016/20160620_1)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

廣野 哲朗 (HIRONO, Tetsuro)

大阪大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：70371713

### (2) 連携研究者

芝崎 文一郎 (SHIBAZAKI, Bunichiro)

独立行政法人建築研究所・国際地震工学センター・上席研究員

研究者番号：20344012

津田 健一 (TSUDA, Kenichi)

清水建設株式会社技術研究所・原子力技術センター・研究員

研究者番号：60470324

谷川 亘 (TANIKAWA, Wataru)

独立行政法人海洋研究開発機構・高知コア研究所・研究員

研究者番号：70435840