

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23244099

研究課題名(和文)沈み込み地震発生分岐断層の断層メカニズムとその進化

研究課題名(英文)Fault mechanism and evolution of the seismogenic splay fault in subduction zone

研究代表者

木村 学(Kimura, Gaku)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80153188

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 39,100,000円

研究成果の概要(和文)：沈み込み帯の化石分岐断層である延岡衝上断層について断層破碎帯を含めて、掘削を実施、断層試料の分析と孔内検層を実施した。目的は地震発生を伴う断層メカニズムの解明と断層帯の形成進化過程の解明である。

結果、断層のガウジ起源のカタクレーサイトを中心として、弾性波速度、間隙率、比抵抗などにおいて系統的变化のあることが明らかとなった。

また、微小断層、クラックの分布から求めた断層すべりの応力場は、地震性すべり前後で応力の変化することを示唆した。地震発生前後のマクロスケールから微小スケールに至るメカニズムと物性・状態変化が断層そのものから明瞭に示唆される結果を得た。

研究成果の概要(英文)：Scientific Drilling was conducted to reveal the fault mechanism and evolution of the seismogenic splay fault in subduction zone. Target fault is the Nobeoka Thrust in Kyushu, which is a fossilized splay fault. Core analysis recovered by drilling and bore-hole logging was operated.

The result presents that the physical properties of elastic wave velocity, porosity, and electric resistivity clearly show a systematic variation around the fault core of cataclasite originated from fault gouge and surrounding damaged zone.

Micro cracks and faults with slicken-sided fault surface present ancient stress field in terms of inversion method of fault analysis. The result clearly suggests that the stress field changed from reverse fault regime to normal fault regime. This change in stress field might be related to the dynamic change before and after the seismogenic thrust.

研究分野：テクトニクス、構造地質学

キーワード：固体地球物理学 地震 大深度地下 地球変動予測 地質学

1. 研究開始当初の背景

(1) 地震学の飛躍的進歩：ゆっくり地震の発見は本格的な地震予測へつながらず現象として注目されているが、ゆっくり地震の理解のためには、その断層メカニズムの解明が最大の焦点である。

(2) 実験岩石力学の飛躍的進歩：地震における固着すべりの理論は、低速での岩石摩擦実験によって作られ、速度弱体化が固着すべりの重要な要素とされた。しかし、高速摩擦実験技術の進歩は、低速での古典的摩擦構成則だけでは地震は理解できないことを示しており、すべり速度に依存する断層面の動的な温度圧力変化や相転移、化学反応が重要であることが認識されるようになった。

(3) 掘削科学・野外地質学の飛躍的進歩：地震断層の詳細観察の実現により、間隙水の熱圧化などの現象が起きたことが明らかにされ、また南海トラフでも、分岐断層や前縁衝上断層において断層面での摩擦発熱現象が発見され、浅い領域での高速すべりが推定されるようになった。地震断層の多様性を決める因子に関して詳細な研究が進展中である。地震学、実験岩石力学、掘削科学・野外地質学のそれぞれにおける近年の進歩をふまえて、沈み込み帯における断層メカニズムについて新たな描像を得ることが必要とされている。

2. 研究の目的

沈み込み帯における地震の観測・実験・理論研究の急進展をふまえ、その一層の飛躍をはかるためのツボというべき断層メカニズムの理解が本研究計画の目的である。特にプレート境界から分岐する断層で起きる、ゆっくり地震から巨大地震までの多様なすべりメカニズムの解明をする。

3. 研究の方法

(1) 延岡衝上断層および、その上下に位置するカタクレーサイト帯・ダメージ帯全体の掘削によって、それらのコア試料の採集、および掘削孔の物理検層を実施する。

(2) 得られたコアの変形破壊組織解析を行う。また、

(3) すべり面を構成するカタクレーサイトおよびその周囲の岩石について、水理特性、熱物性、摩擦特性、弾性波速度を測定する。さらに、

(4) 断層岩とその周囲、および裂か充填鉱物脈の鉱物学的・化学的分析を行い、すべりとそれに伴う動的化学反応を推定するとともに、化学反応速度論・反応・流動モデル解析を行う。それらを総合して、

(5) ゆっくり地震から巨大地震発生を含め、それらに伴う化学反応を盛り込んだ断層帯の力学モデル、および断層帯発達モデルを構築する。

4. 研究成果

(1) 断層帯の岩相区分：断層上盤は、主に

ファイライトから構成されるが、砂岩の含有量に変化が見られる。断層下盤は、変形した泥岩、砂岩、凝灰岩から構成され、層準による岩相の変化が顕著である。その岩相の変化に基づいて区分した。下盤全体は断層帯内部と想定される。

(2) 孔壁が層イメージに基づいて、断層の方位を分析した。また、それを基に回収コアの肉眼的断層観察方位の回転補正を実施。断層の分類に基づく方位卓越性についてデータを整理した。

(3) 断層の上盤、下盤、断層コアにおいて間隙率、比抵抗、弾性波速度、に顕著な違いがあることが判明、下盤は更にいくつも断層破砕帯からなることも明らかとなった。それらから断層に伴うダメージを定量的に取り扱うことに成功した。

(4) 掘削した250mの延岡衝上に6条の顕著な局所化した箇所が認められるが、その変形組織と物性を比較した。その結果、断層コア、角礫帯、剪断断層帯、そしてその外の非変形帯と区分できること、それらは間隙率、非抵抗、弾性波速度、などの物性値と対応する共通の特徴を持つことが明らかとなった。また、断層コアにおいては間隙率が下がるにも関わらず非抵抗が下がることなど一般的に考えられている関係とは逆になっていることが明らかとなった。断層変形による組織の変化が関連していると思われる。掘削コアに認められる断層系を用いて、逆解法によって応力場の解析を行った。その結果、これらの断層系はいずれも延岡衝上断層の活動によって形成されたものであると推定された。ただし、最大圧縮主応力は延岡衝上断層に対してかなり高角度である。このことは延岡衝上断層が小さな有効強度しか持たない断層であることを示している。

境界断層面の摩擦特性を理解するために様々な微小スケールの観察・分析を実施した。延岡衝上断層の断層面のナノスケール構造と化学組成の測定を行った。その結果、光沢を持つ断層面はサブミクロンレベルの平滑さを持ち、ナノ粒子で構成されていることがわかった。またこの断層最表面に炭素が濃集していることが明らかとなった。この結果は断層の動的弱体化過程の理解を深めることに貢献できる。

延岡衝上断層の断層コアの特性を理解するために含水条件でカオリナイト、セリサイト、サポナイトの粉碎実験を行い、昨年度までの乾式条件での実験と比較した。カオリナイト、セリサイトについては湿式条件では乾式条件に比べて数倍以上の時間を要したが非晶質化したのに対して、サポナイトは湿式条件では長時間粉碎しても非晶質化が進まなかった。粘土鉱物による相違は、摩擦特性などを考える場合に重要ではないかと考えられる。

(5) コアに観察されるすべての断層について、すべりのデータをまとめ、逆解法によって、断層形成時の応力場の推定を行った。そ

の結果、4つの応力場が検出された。それらは2つにグループ化され、古いものは南北圧縮、南北伸張、新しいものは東西圧縮と東西伸張であった。前者は、これまでの地上露頭の研究で検出されていた南北方向のすべりと一致する。また新しいものは東西すべりの観察と一致する。それぞれのグループは、最大と最小の主応力への入れ替えで説明ができ、それは延岡衝上断層に沿っての地震性すべりと後の応力解放に伴う伸張場の成立であった可能性がある(論文まとめ中)。

すべり面には光沢が顕著であり、分析の結果炭素の濃集が顕著であることが判明した。炭素の濃集は、すべりに対し潤滑作用があるとの最近の実験結果と調和的である(論文まとめ中)。

また掘削孔、コア試料の物性の解析より、断層からの距離に依存したダメージの程度が電気伝導度と間隙率の相関で定量的に捉えられる可能性のあることが明らかとなった(国際誌に公開済み: Hamahashi et al., 2015)。

断層ガウジでは、イライト結晶度が下がっており、地震性すべりによる温度上昇から期待されることと逆の相関があることも明らかとなった。これは、粘土鉱物系の粉砕によって起こっていることも示唆された(国際誌に公開済み: Fukuchi et al., 2015)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

Kameda, J., Shimizu, M., Ujiie, K., Hirose, T., Ikari, M., Mori, J., Oohashi, K. and Kimura, G., Pelagic smectite as an important factor in tsunamigenic slip along the Japan Trench, *Geology*, 査読有, 43, 2015, 155-158, doi:10.1130/G35948.1.

Hamahashi, M., Hamada, Y., Yamaguchi, A., Kimura, G., Fukuchi, R., Saito, S., Kameda, J., Kitamura, Y., Fujimoto, K. and Hashimoto, Y., Multiple damage zone structure of an exhumed seismogenic megasplay fault in a subduction zone - a study from the Nobeoka Thrust Drilling Project, *Earth, Planets and Space*, 査読有, 67, 2015, doi: 10.1186/s40623-015-0186-2.

Fukuchi, R., Fujimoto, K., Kameda, J., Hamahashi, M., Yamaguchi, A., Kimura, G., Hamada, Y., Hashimoto, Y., Kitamura, Y. and Saito, S., Changes in illite crystallinity within an ancient tectonic boundary thrust caused by thermal, mechanical, and hydrothermal effects: an example from the Nobeoka Thrust, southwest Japan, *Earth,*

Planets and Space, 査読有, 66, 2014, doi:10.1186/1880-5981-66-116.

Kimura, G., Hashimoto, Y., Kitamura, Y., Yamaguchi, A. and Koge, H., Middle Miocene swift migration of the TTT triple junction and rapid crustal growth in southwest Japan- A review, *Tectonics*, 査読有, 33, 2014, 1-20, doi:10.1002/2014TC003531.

Hashimoto, Y., Eida, M. and Ueda, Y., Changes in paleostress state along a subduction zone preserved in an on-land accretionary complex, the Yokonami Melange, in the Cretaceous Shimanto Belt, Kochi, southwest Japan, *Tectonics*, 査読有, 33, 2014, 2045-2058, doi:10.1002/2013TC003487.

Kimura, G., Hamahashi, M., Okamoto, S., Yamaguchi, A., Kameda, J., Raimbourg, H., Hamada, Y., Yamaguchi, H. and Shibata, T., Hanging wall deformation of a seismogenic megasplay fault in an accretionary prism: The Nobeoka Thrust in southwestern Japan, *Journal of Structural Geology*, 査読有, 52, 2013, 136-147, doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.jsg.2013.03.015.

[学会発表](計15件)

Kawasaki R., Hamahashi, M., Hashimoto, Y., Otsubo, M., Yamaguchi, A., Kitamura, Y., Kameda, J., Hamada, Y., Fukuchi R., Kimura, G., Paleostress analysis of a subduction zone megasplay fault -An example from the Nobeoka Thrust, Japan, AGU Fall Meeting, 2014年12月19日, サンフランシスコ(アメリカ)

Kimura, G., Hashimoto, Y., Kitamura, Y., Yamaguchi, A., Hamahashi, M., Koge, H., Morita, S., Upper Plate Geology Controls the Rupture Area Segmentation of Subduction Zone Earthquake -A Case Study of the Nankai Trough, AGU Fall Meeting, 2014年12月18日, サンフランシスコ(アメリカ)

浜橋 真理, 川崎 令詞, 濱田 洋平, 谷川 亘, 齋藤 実篤, 橋本 善孝, 木村 学, プレート沈み込み帯分岐断層の岩石物性と変形様式 - 九州四万十帯延岡衝上断層掘削コア・検層統合解析の再検討, 日本地質学会第121年学術大会鹿児島大会, 2014年9月13日, 鹿児島大学(鹿児島県鹿児島市)

川崎 令詞, 浜橋 真理, 橋本 善孝, 大坪 誠, 山口 飛鳥, 北村 有迅, 亀田 純, 濱田 洋平, 福地 里菜, 木村 学, プレート沈み込み帯巨大分岐断層の古応力解析: 延岡衝上断層の例, 日本地

質学会第 121 年学術大会鹿児島大会, 2014 年 9 月 13 日, 鹿児島大学 (鹿児島県鹿児島市)

Hashimoto, Y., Geological signature of slow slip in on-land accretionary complex using vitrinite reflectance, Workshop on Slow Earthquakes, 2014 年 9 月 8 日, 京都大学 (京都府京都市)

Kimura, G., Hashimoto, Y., Kitamura, Y., Yamaguchi, A., Koge, H., Middle Miocene swift migration of the TTT triple junction and rapid crustal growth in SW Japan, AOGS 11th Annual Meeting, 2014 年 8 月 1 日, ホテルロイトン札幌 (北海道札幌市)

木村 学, 橋本 善孝, 北村 有迅, 山口 飛鳥, 高下 裕章, 中期中新世における TTT 三重会合部の移動と西南日本地殻の急成長, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 2014 年 4 月 30 日, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)

浜橋 真理, 川崎 令詞, 福地 里菜, 斎藤 実篤, 橋本 善孝, 濱田 洋平, 北村 有迅, 山口 飛鳥, 木村 学, 沈み込み帯化石分岐断層における multiple damage zone system について, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 2014 年 4 月 29 日, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)

川崎 令詞, 浜橋 真理, 福地 里菜, 橋本 善孝, 山口 飛鳥, 亀田 純, 濱田 洋平, 北村 有迅, 大坪 誠, 木村 学, プレート沈み込み帯分岐断層の古応力解析: 延岡衝上断層の例, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 2014 年 4 月 29 日, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)

木村 学, 橋本 善孝, 北村 有迅, 山口 飛鳥, 濱橋 真理, 高下 裕章, 森田 澄人, 上盤プレートの地質と沈み込み帯地震破壊領域のセグメント形成 - 南海トラフの例 -, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 2014 年 4 月 28 日, パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)

Hamahashi, M., Saito, S., Kimura, G., Yamaguchi, A., Fukuchi, R., Kameda, J., Hamada, Y., Fujimoto, K., Hashimoto, Y., Hina, S., Eida, M. and Kitamura, Y., Contrasts in physical properties between the hanging wall and footwall of an exhumed seismogenic megasplay fault in a subduction zone, AGU Fall Meeting, 2013 年 12 月 11 日, サンフランシスコ (アメリカ)

木村 学, 斎藤 実篤, 山口 飛鳥, 亀田 純, 浜橋 真理, 福地 里菜, 柴田 美緒, 濱田 洋平, 橋本 善孝, 藤本 光一郎, 比名 祥子, 北村 有迅, 巨大地震の物理化学岩石流体相互作用と破壊伝播 - 露出した化石地震発生プレート境界断層から学ぶ -, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 4 月 28 日, 幕張

メッセ (千葉県千葉市)

福地 里菜, 藤本 光一郎, 浜橋 真理, 山口 飛鳥, 木村 学, 亀田 純, 濱田 洋平, 比名 祥子, 橋本 善孝, 柴田 美緒, 北村 有迅, 斎藤 実篤, 水落 幸広, 長谷 和則, 明石 孝行, 延岡衝上断層を貫くボーリングコアのイライト結晶度の変化, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 4 月 28 日, 幕張メッセ (千葉県千葉市)

橋本 善孝, 阿部 翔吾, 田野 宏季, 斎藤 実篤, 山口 飛鳥, 亀田 純, 浜橋 真理, 福地 里菜, 濱田 洋平, 柴田 美緒, 藤本 光一郎, 北村 有迅, 木村 学, アウト・オブ・シークエンス・スラストにおける岩石物性: 九州四万十帯延岡衝上断層, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 4 月 21 日, 幕張メッセ (千葉県千葉市)

Kimura, G., Hamahashi, M., Yamaguchi, A., Saito, S., Fukuchi, R., Kameda, J., Hamada, Y., Fujimoto, K., Hashimoto, Y., Hina, S., Eida, M. and Kitamura, Y., A comparison of the modern seismogenic Nankai mega-splay fault and the exhumed ancient mega-splay fault, the Nobeoka thrust, AGU Fall Meeting, 2012 年 12 月 4 日, サンフランシスコ (アメリカ)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織
(1) 研究代表者
木村 学 (KIMURA, Gaku)

東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：80153188

(2)研究分担者

橋本 善孝 (HASHIMOTO, Yoshitaka)
高知大学・自然科学系・准教授
研究者番号：40346698

(3)連携研究者

()

研究者番号：