

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18340155

研究課題名（和文） 付加体形成のダイナミクスと沈み込み帯地震発生断層解剖

研究課題名（英文） Dynamics of accretionary prism and seismogenic fault in subduction zone

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

研究成果の概要：

海溝型地震発生のメカニズムと、それに関連した付加体形成・発展のダイナミクスを解くことを目的とし、陸上部に分布する付加体—四万十帯の延岡衝上断層および四国牟岐地方のメランジュの地質学的、構造地質学的、地球化学的研究を実施した。その結果、プレート境界断層に沿って、動的水・岩石作用が進行し、多様な地震断層が形成されていることが判明した。地震性すべりに伴う摩擦発熱は、間隙水の熱圧化を引き起こし、それが断層帯の破壊・すべり・伝搬過程に重要な役割を果たす事が明らかとなった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	10,200,000	3,060,000	13,260,000
2007年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	15,100,000	4,530,000	19,630,000

研究分野：構造地質学・プレートテクトニクス

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：地殻・マントル、地球化学、地球観測、地球変動予測、地質学

1. 研究開始当初の背景

プレート沈み込み帯地震発生過程の理解は、地球ダイナミクス研究の上で最も難問の1つであるとともに、人類社会に甚大な被害を及ぼす過程でもある。それらの研究はそれまでもっぱら遠地からの地球物理学的観測によって実施されて来た。しかし、その理解に達するためには地質学的・物質科学的（化

学的）の理解なくしては到達し得ない。そのような背景から、陸上部に露出する化石プレート境界断層を対象とした物質科学的研究を主眼に、それらを包含する付加体のダイナミクスとの関連の研究が求められていた。

2. 研究の目的

海溝型地震発生のメカニズムと、それに関連した付加体形成・発展のダイナミクスを解くことを目的とした。

3. 研究の方法

この目的の達成のために、本研究では3つの方法をとった。

(1) 南海トラフ付加体のマクロな形態解析、地震発生巨大分岐断層およびプレート境界断層反射面の反射特性の空間分布解析。

(2) 陸上四万十付加体北帯/南帯境界断層(延岡衝上断層)の物性解析と断層岩、破碎帯の解析。特に流体と断層の破壊発生・拡大伝播過程の解明。

(3) メランジュ断層岩における流体と脆性変形の発生・拡大過程の解明、特に動的化学反応と破壊過程の解明。

4. 研究成果

(1) 九州、延岡衝上断層の詳細な解析を行った。この断層は地質帯を分ける断層であり、海蝕台に破碎帯が露出する。その分析から明瞭なシュードタキライトが発見された。またこの破碎帯には数百条を数える直線的で数ミリ程度のガウジを持つ断層、大量のクラックを埋める炭酸塩、ケイ酸塩の鉱物脈などが発達することが明らかとなった。水・メタン流体包有物から温度圧力の推定を行った。その結果、この断層は地下10数キロ程度の深度温度には200から300程度の深さで活動したものであることが判明した。この深度は、現在のプレート境界地震発生帯あるいは付加体を切る順序外断層(out-of-sequence thrust)の深部であることとなる。

(2) 発見されたシュードタキライトの詳細な解析にもとづいて、付加体中の地震断層の形成過程を明らかにした。プレートの沈み込み帯に発達する地震断層は陸上部に見られるシュードタキライトと異なり、大規模に水が還流する条件下で形成されている。その結果、摩擦により、まず水の熱圧化が起こり、次いでその圧力によって水圧破碎が進行する。その破碎の結果、圧力が解放され、断層にそって有効摩擦が復活する。そして、最終的には摩擦溶解に至ったことが判明した。このような過程はこれまで報告されたことがなかった。水が大量に介在する沈み込み帯や付加体では重要な地震断層過程であろうと推定される。

(3) 延岡衝上断層の下盤について詳細な構造解析を行った。その結果、100mにおよぶ

断層破碎帯は中心部から下に向かって拡大していることが判明した。これは、これまでに報告されている断層帯一般の特徴とは異なり、すべりや破壊の結果、断層が強化されなければ起こりえない。その硬化の原因については、クラックへの鉱物の沈殿が重要な役割を果たしていると推定されるに至った。また、クラックの幾何学的配列は系統的であり、それらが一連のすべりにもなう、複合面構造を形成していることも明らかとなった。上記の沈殿に貢献しているのはリーデルシアと引張クラックであることも明らかとなった。

(4) 四国徳島県牟岐地方に発達する四万十帯のメランジュとその周辺を画する断層(南阿波断層と命名)について、詳細な調査、および断層等の分析を行った。その結果、新たなU-Pb年代決定法による詳細な付加過程の復元、鉱物脈中に発達する水・メタン流体包有物を用いた詳細な熱構造と岩石・水反応の時系列、それらの事件と地震断層の活動との時間空間的關係などが明らかとなり、沈み込みプレート境界における数キロから10キロ程度の深さの断層活動を描き出した。

(5) 鉱物脈および断層帯構造岩石の化学的特徴はこの断層の活動に伴う水・岩石反応が、移流を伴う開放系において、短期間で進行した可能性を強く示唆した。(2)付加体の鉱物脈について安定同位体分析を行った。その結果、メランジュ中の鉱物は、母岩との同位体平衡が成り立つ環境下で沈殿し、その水は母岩を構成する含水鉱物からの脱水によることが判明した。しかし、一方メランジュをユニットに区分する断層沿いに見られる大量の鉱物脈の酸素同位体の特徴は異なっており、その起源はより高温部からの移流によることが判明した。

以上の結果、本研究の目的であった、付加体形成とダイナミクスと地震発生帯の関連を解く初期の目的は達成された。南海トラフ地震発生分岐断層の反射特性の研究は共同研究によって実現し、延岡衝上断層の物性と比較し、アナログの議論の成立を確認した。

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22件)

1. Hashimoto, Y., A. Nikaizo and G. Kimura, A geochemical estimation of fluid flux and permeability for a fault zone in Mugi mélange, the Cretaceous Shimanto Belt, SW Japan, *J. Struct. Geol.*, **31**, 208-214, 2009. 査読有.

2. Kimura, G., Y. Kitamura, A. Yamaguchi and H. Raimbourg, Links among mountain building, surface erosion, and growth of an accretionary prism in a subduction zone- An example from southwest Japan, *GSA Special Paper*, **436**, 391-403, 2008, 査読有.
3. Shibata, T., Y. Orihashi, G. Kimura and Y. Hashimoto, Underplating of mélange evidenced by the depositional ages: U-Pb dating of zircons from the Shimanto accretionary complex, southwest Japan, *Island Arc*, **17**, 376-393, 2008, 査読有.
4. Orihashi, Y., S. Nakai and T. Hirata, U-Pb age determinations for seven standard zircons by ICP-Mass Spectrometry coupled with frequency quintupled Nd-YAG (= 213 nm) laser ablation system: Comparison with LA-ICP-MS zircon analyses with a NIST glass reference material, *Resource Geol.*, **58**, 2, 145-167, 2008, 査読有.
5. 朴 進午, 鶴 哲郎, 野 徹雄, 瀧澤 薫, 佐藤 壮, 金田義行, 紀伊半島南東沖南海トラフでの高分解能3次元反射法地震探査と重合前深度マイグレーション処理, *物理探査*, **61**, 231-241, 2008, 査読有.
6. Nakanishi, A. S. Kodaira, S. Miura, A. Ito, T. Sato, J. O. Park, Y. Kido, and Y. Kaneda, Detailed structural image around splay fault branching in the Nankai subduction seismogenic zone: Results from a high-density ocean-bottom seismic survey, *J. Geophys. Res.*, **113**, B03105, doi:10.1029/2007JB004974, 2008, 査読有.
7. Matsumoto, T., Y. Orihashi, J. Matsuda and K. Yamamoto, Argon isotope ratio of the plume-source deduced from high-resolution stepwise crushing extraction, *Geochem. J.*, **42**, 39-49, 2008, 査読有.
8. Ujiie, K., A. Yamaguchi, G. Kimura and S. Toh, Fluidization of granular material in a subduction thrust at seismogenic depths, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **259**, 307-318, doi: 10.1016/j.epsl.2007.04.049, 2007, 査読有.
9. Okamoto, S., G. Kimura, A. Yamaguchi, H. Yamaguchi and Y. Kusaba, Generation Depth of the Pseudotachylyte from an Out-of-Sequence Thrust in Accretionary Prism – Geothermobarometric Evidence, *Sci. Drill. Spec. Issue*, **1**, 47-50, 2007, 査読有.
10. Kawabata, K., H. Tanaka and G. Kimura, Mass transfer and pressure solution in deformed shale of accretionary complex: Examples from the Shimanto Belt, southwestern Japan, *J. Struct. Geol.*, **29**, 697-711, 2007, 査読有.
11. Kimura, G., Y. Kitamura, Y. Hashimoto, A. Yamaguchi, T. Shibata, K. Ujiie, and S. Okamoto, Transition of accretionary wedge structures around the up-dip limit of the seismogenic subduction zone, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **255**, 471-484, 2007, 査読有.
12. Nishio, Y., S. Nakai, T. Ishii, Y. Sano, Isotope systematics of Li, Sr, Nd, and volatiles in Indian Ocean MORBs of the Rodrigues Triple Junction: constraints on the origin of the DUPAL anomaly, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **71**, 745-759, 2007, 査読有.
13. Tang, H. F., C. Q. Liu, S. Nakai, Y. Orihashi, Geochemistry of eclogites from the Dabie-Sulu terrane, eastern China: New insights into protoliths and trace element behaviour during UHP metamorphism. *Lithos*, **95**, 441-457, 2007, 査読有.
14. 新正裕尚, 折橋裕二, 和田穰隆, 角井朝昭, 中井俊一, 紀伊半島中生珪長質火成岩類の全岩組成の広域的变化, *地質学雑誌*, **113**, 310-325, 2007, 査読有.
15. Hoshino, M., M. Kimata, Y. Arakawa, M. Shimizu, and S. Nakai, Allantite-(Ce) as an indicator of the origin of granitic rocks in Japan: importance of Sr-Nd isotopic and chemical composition, *The Canadian Mineralogist*, **45**, 1329-1336, 2007, 査読有.
16. 折橋裕二・岩野英樹・平田岳史・檀原徹・新正裕尚, 西南日本外帯, 熊野酸性岩類に含まれる赤色・無色・灰濁色ジルコンのU-Pb年代および微量元素組成と珪長質マグマ成因, *地質学雑誌*, **113**, 7, 366-383, 2007, 査読有.
17. Honda, S., M. Morishige and Y. Orihashi, Sinking hot anomaly trapped at the 410 km discontinuity near the Honshu subduction zone, Japan, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **261**, 565-577, 2007, 査読有.
18. Okamoto, S., G. Kimura, S. Takizawa and H. Yamaguchi, Earthquake fault rock indicating a coupled lubrication mechanism, *eEarth*, **1**, 23-28, 2006, 査読有.
19. Hashimoto, Y., T. Nakaya, M. Ito and G. Kimura, Tectonolitic sandstone prior to the onset of seismogenic subduction zone: Evidence from tectonic mélange of the Shimanto Belt, Japan, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **7**, Q06013, doi:10.1029/2005GC001062, 2006, 査読有.
20. 氏家恒太郎, 山口飛鳥, 木村 学, 久光敏夫, 平 朝彦, プレート境界断層が海溝から地震発生深度にかけて発達する際の流体挙動, *地学雑誌*, **115**, 353-366, 2006 査読有.
21. Nunoura, T., H. Oida, T. Toki, Ashi, J., K. Takai and K. Horikoshi, Quantification of mcrA by quantitative fluorescent PCR in

sediments from methane seep of the Nankai Trough, *FEMS Microbiol. Ecol.*, **57**, 149-157, 2006, 査読有.

22. Kodaira, S., T. Hori, A., Ito, S. Miura, G. Fujie, J. Park, T. Baba, H. Sakaguchi and Y. Kaneda, A. cause of rupture segmentation and synchronization in the Nankai trough revealed by seismic imaging and numerical simulation, *J. Geophys. Res.*, **111**, B09301, doi:10.1029/2005JB004030, 2006, 査読有.

[学会発表](計29件)

1. Kimura, G., Transition of accretionary wedge structures around the up-dip limit of the seismogenic subduction zone, AGU Fall Meeting, 08.12.15, San Francisco.
2. 小林今日子, 沈み込み帯におけるチャート層の続成・脱水と変形の関係-美濃帯犬山地域より-, 日本地質学会, 08.9.20, 秋田大学.
3. Hojo, A., Deformation and diagenesis of sandstones in underthrust sediments -An example from the Mugi Melange, Shikoku, Japan-, 日本地球惑星科学連合大会, 08.5.29, 幕張メッセ.
4. Raimbourg, H., Horizontal compression versus vertical loading in accretionary prisms, the example of Nobeoka, Kyushu, Japan, 日本地球惑星科学連合大会, 08.5.25, 幕張メッセ.
5. Raimbourg, H., Horizontal compression versus vertical loading in accretionary prisms, the example of Nobeoka, Kyushu, Japan, 日本地球惑星科学連合大会, 08.5.25, 幕張メッセ.
6. Yamaguchi, A., Microtextural and microchemical features of mineral veins in subduction thrusts, Kyushu, Japan, 日本地球惑星科学連合大会, 08.5.25, 幕張メッセ.
7. 小林今日子, 美濃帯犬山地域の白色チャート層からみるチャート層の続成・変形, 日本地球惑星科学連合大会, 08.5.25, 幕張メッセ.
8. Raimbourg, H., Deformation kinematics within deep levels of accretionary prisms, the example of Nobeoka, Kyushu, Japan, EGU, 08.04.14, Vienna.
9. 小林今日子, チャート層の変形に続性・脱水が及ぼす効果-美濃帯犬山地域の白色チャートに注目して-, 日本地質学会, 07.9.11, 北海道大学.
10. 草葉陽子, 九州四万十帯・延岡衝上断層下盤剪断帯の発達史, 日本地質学会, 07.9.10, 北海道大学.
11. Hojo, A., Cataclastic flow in sandstone of mélangé in accretionary complex, 日本地質学会, 07.9.10, 北海道大学.
12. Yamaguchi, A., Fluid conduit system along the Nobeoka Thrust, Shimanto Belt: derived from Carbon and Oxygen isotopic compositions of carbonate veins, 日本地質学会, 07.9.10, 北海道大学.
13. Kimura, G., Geology of seismogenic fault in subduction zone, ICDP Workshop, 07.8.21, 名古屋大学.
14. Okamoto, S., Slip mechanism of a major out-of-sequence-thrust in an accretionary complex, 日本地球惑星科学連合大会, 07.5.19, 幕張メッセ.
15. Yamaguchi, A., Isotopic compositions of carbonate veins around the Nobeoka Thrust: implication for fluid flow system along a mega-splay fault, 日本地球惑星科学連合大会, 07.5.19, 幕張メッセ.
16. Kimura, G., Slip Partition on Seismogenic Out-of-Sequence Thrust: an Example From the Nobeoka Thrust, the Shimanto Belt, Kyushu, Japan, AGU Fall Meeting, 06.12.11, San Francisco.
17. Kimura, G., Links among mountain building; surface erosion, and growth of an accretionary prism in a subduction zone, ERAS International Workshop, 06.9.19, 高知大学.
18. 草葉陽子, 九州四万十帯・延岡衝上断層下盤剪断帯の鉱物脈の微細構造, 日本地質学会, 06.9.17, 高知大学.
19. 北村有迅, 沈み込みに伴う砂岩の変化, 日本地質学会, 06.9.17, 高知大学.
20. 柴田伊廣, 島弧火山活動と付加体形成のリンク, 日本地質学会, 06.9.17, 高知大学.
21. 氏家恒太郎, 沈み込みプレート境界における地震時の流体挙動, 日本地質学会, 06.9.17, 高知大学.
22. 岡本伸也, 断層地震性すべりに伴った流体温度変化の抽出~四万十付加体延岡衝上断層からのアプローチ, 日本地質学会, 06.9.17, 高知大学.
23. 山口飛鳥, 沈み込みプレート境界における流体の起源と地震サイクル, 日本地質学会, 06.9.17, 高知大学.
24. 木村 学, 沈み込みプレート境界断層岩として、テクトニックメランジュを見直す, 日本地質学会, 06.9.17, 高知大学.
25. Shibata, T., Intermittent underplating -Detection by LA-ICPMS U-Pb dating for zircons to the Shimanto accretionary complex, Japan-, 日本地球惑星科学連合大会, 06.5.16, 幕張メッセ.
26. Yamaguchi, A., The origin of syntectonic veins in accretionary complex and its implication for fluid behavior of seismogenic zone, 日本地球惑星科学連合大会, 06.5.15, 幕張メッセ.
27. Kitamura, Y., Deformation history of underthrusting sediments - Implication from tectonic melange in the Shimanto belt, 日本地

- 球惑星科学連合大会, 06.5.15, 幕張メッセ.
28. Ujii, K., Dynamic interactions between fluid and earthquake faulting in the subduction thrust, 日本地球惑星科学連合大会, 06.5.15, 幕張メッセ.
29. Kimura, G., Mountain building processes of Japan - present and past, European Geosciences Union General Assembly, 06.4.4, Vienna.

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：8 0 1 5 3 1 8 8

(2)研究分担者

中井 俊一 (NAKAI SHUNICHI)
東京大学・地震研究所・准教授
研究者番号：5 0 1 8 8 8 6 9
芦 寿一郎 (ASHI JYUICHIRO)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授
研究者番号：4 0 2 5 1 4 0 9
朴 進午・東京大学・海洋研究所・准教授
研究者番号：7 0 3 5 9 1 9 9
折橋 裕二 (ORIHASHI YUJI)
東京大学・地震研究所・助教
研究者番号：7 0 3 1 3 0 4 6
橋本 善孝 (HASHIMOTO YOSHITAKA)
高知大学・理学部・准教授
研究者番号：4 0 3 4 6 6 9 8
* (研究分担者5名については、平成20年度は連携研究者となっている)

(3)連携研究者