

機関番号：82706

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21740363

研究課題名 (和文) 沈み込み帯の深度 2-3 km 領域における変形と物質進化プロセスの解明

研究課題名 (英文) Deformation and processes of physical evolution of sediments in 2-3 km burial depth at subduction zone

研究代表者

山本 由弦 (YAMAMOTO YUZURU)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域・研究員

研究者番号：10435753

研究成果の概要 (和文)：

本研究は、深度 2-4 km 領域においてプレート境界の変形がそれまでのファッコイと呼ばれる泥質岩の破碎変形から強い Block-in-matrix の変形様式に変化すること、それに伴って粘土鉱物がスメクタイトからイライトに遷移していること、間隙率の減少、強い粒子の定向配列を見いだした。これらは断層面に摩擦係数と粘着力の増加をもたらし、結果として歪み硬化をもたらしていることが明らかになった。

研究成果の概要 (英文)：

Change in deformation styles and the related transition from smectite to illite within the aseismic-seismic transition zone (2-4 km below the seafloor) in a subduction zone were analyzed by studying an onland accretionary complex that was previously buried to a depth of just 2-4 km. Such strain hardening associated with the clay mineral transition and decrease in porosity is the primary mechanism of thickening of the décollement and/or mélange zone, and represents a fundamental mechanical/chemical change in the properties of sediments immediately before entering the seismogenic zone.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：テクトニクス, 付加体, 地震

1. 研究開始当初の背景

近年、プレート沈み込み帯の巨大地震発生メカニズムを理解するためには、断層の物質

科学的情報を欠くことができないと広く考えられるようになった。統合国際深海掘削計画 (IODP) では、南海トラフ、コスタリカ、

関東沖といった地震発生帯の掘削研究が計画・実施されつつあり、また、アラスカのコディアック付加体や本邦四万十付加体といった過去の沈み込み帯の陸上露頭では、地震発生帯の陸上アナログとして、構造解析、化学分析、力学試験を基に、断層の変形-物性-流体相互作用の研究が盛んに行われている。しかし、IODPは深度1 km程度の掘削にとどまり、陸上付加体は深度4-5 kmより深い部分しか見つかっておらず、中間深度の2-3 km領域の研究が欠落していた。この領域は、海溝堆積物の脱水、間隙率の急激な減少、粘土鉱物のスメクタイト-イライト遷移や長石のアルサイト化等の主要な初期続成作用が集中している場所であり、海溝堆積物が震源物質へと進化するプロセスを理解する鍵を握っていると考えられたが、この領域はミッシングリンクとなっていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、本深度領域における堆積物の変形と物性変化の相関について確立することである。特に、この領域ではテクトニックメランジュ（過去のプレート境界断層岩）形成の初期過程が見られるが、その変形様式の詳細な検討と、それに伴う動的な物質科学変化（含水比・剪断強度などの物理特性および粘土鉱物組成などの化学特性）を定量し、本領域の変形-物性-流体相互作用を明らかにする。

3. 研究の方法

沈み込み帯の深度2-3 km領域の変形と物性、化学情報を保存している房総半島中部の保田付加体を対象に、そのマイクロ・マクロ構造解析、化学組成分析、力学試験を実施した。(1) 変形構造の詳細な解析と、(2) 変形に伴う物性変化および粘土鉱物組成変化について定量化を行う。また(3) 定量化された断層岩/母岩の粘土鉱物組成を再現した試料を準備し、力学試験を行う。

現地構造解析

沈み込み帯浅部と深部をそれぞれ特徴づける④ファッコイ構造と⑤メランジュについて、両者の変形記載、空間分布と変位量の見積もり、それに切断関係の詳細を現地地質調査から行う。断層岩試料と整然層試料を定方位で採取し、実験室にて変形構造解析と物性測定を行う。また、帯磁率異方性を用いた粒子配列異方性、間隙率・間隙径の物性測定を行い、両者の変形による物性変化を抽出する。

粘土鉱物組成変化の定量

④、⑤2種類の変形岩と母岩について、粘土鉱物組成の検討を行う。特に、ここでは粘土鉱物組成の定量化を行う。断層岩中に混入している微小な母岩クラストの影響を避けるために前項の研磨片からマイクロドリル

で粉末試料を作成し、微量試料測定用の無反射石英板を用いてX線回折(XRD)鉱物分析を行う。粉末試料中の粘土鉱物総量と粘土鉱物間の組成比について定量し、各試料の粘土鉱物量および組成を定量化する。

4. 研究成果

沈み込み帯の深度2-3 km領域までの変形を連続的に保存している保田付加体の構造解析の結果、付加に関連している④ファッコイ構造と⑤メランジュの2つの変形が見いだされた(図1)。前者は、数cm径に破断された泥質岩で構成されており、破断面に厚さ数ミクロンの粘土鉱物の定向配列が見られるが、そのほかの部分はランダム組織を持っている。後者は、Block-in-matrix組織を示し、S-C構造と粘土鉱物の強い定向配列が特徴である。前者は南海で回収された沈み込み帯の1 km付近のプレート境界断層の変形組織と類似し、後者は陸域に分布する過去のプレート境界断層の化石であるメランジュによく似ている。後者は前者を切って発達していること、保田付加体の最大埋没深度が2-3 km程度と見積もられること、そして構造の対応から、前者が付加過程初期(深度1 km付近)、後者が深度2-3 km程度のプレート境界で起こる変形に相当すると考えられる。

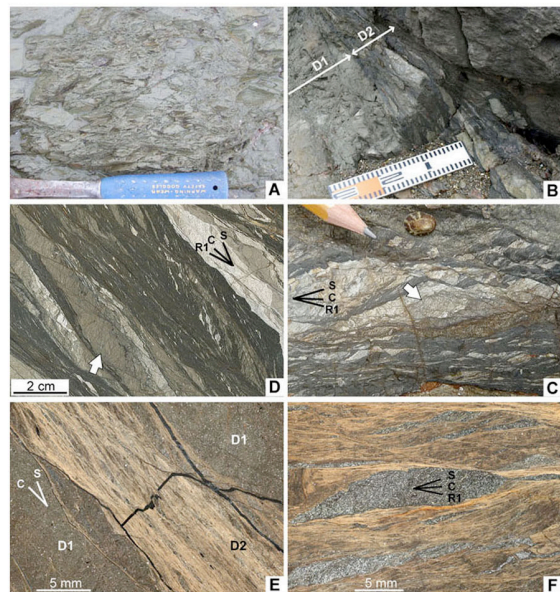


図1. 保田付加体における断層写真。(A)最初期の変形であるファッコイ構造。泥質岩が数cm径に破断されている。(B)ファッコイ(D1)とメランジュタイプ変形(D2)の切断関係。

(C, D)メランジュタイプ変形構造。S-C構造が強く発達しているほか、クラストがジグソーパズル状に破断されている。(E, F)メランジュタイプ変形の顕微鏡写真(クロスニコル)。金色の部分には、粘土鉱物が定向配列していることを示す。

バルクおよび分離した粘土鉱物の定方位試料について X 線回折 (XRD) を行い、粘土鉱物組成の定量化を行った。その結果、⑥メランジュの内部および母岩ともにほぼ同じ粘土鉱物量が確認された (断層内部 48-55%, 母岩 44-59%)。一方粘土鉱物組成は、断層内部は 36-48% のイライト、0-6% のスメクタイト量だったのに対し、母岩はそれぞれ 11-23%, 25-40% と両者の大きな違いが明らかになった。

スメクタイトは摩擦係数が非常に小さい「すべりやすい」粘土鉱物である。これが断層運動により選択的に消失すること、さらに断層内の間隙率が 7-8% 低下し、粘着力が増加することは、断層が硬化していることを示している。一般に陸上に発達する活断層は、

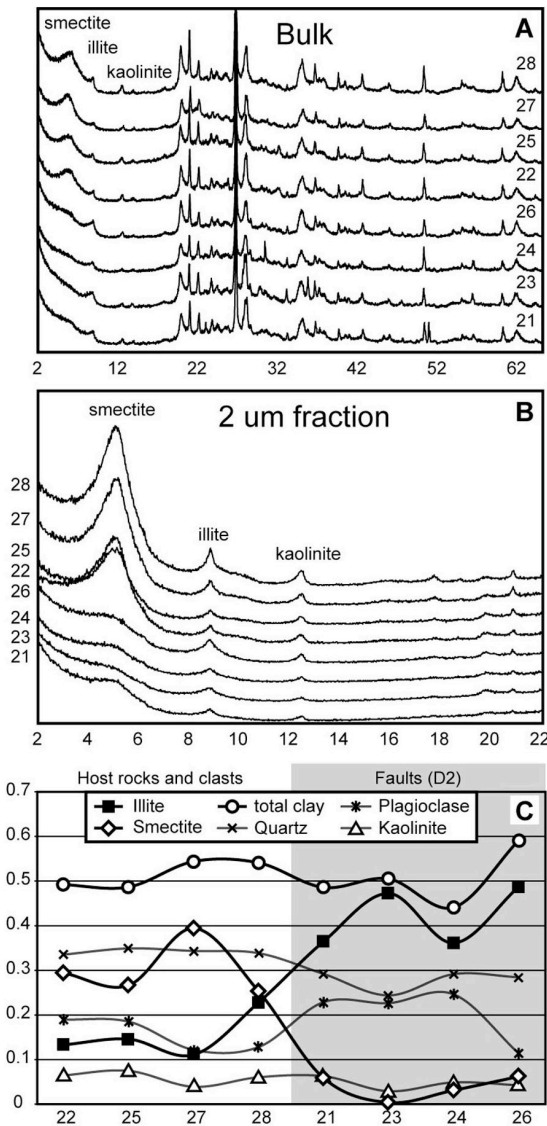


図 2. XRD 計測結果. バルク測定 (A), 2 ミクロン粒子の定方位測定 (B), 鉱物組成の重量パーセント (C). 粘土鉱物の総量が断層の内外で変わらないのに対し、断層内部ではスメクタイトの急減、イライトの急増が認められる。

変質によりスメクタイトやタルクなど弱い鉱物が晶出し、さらにダイラタンシーによって間隙率が上昇するため、断層が周辺の母岩よりも弱い。本研究によって明らかになった断層の硬化は、これらと正反対の結果である。

本研究から明らかになった、沈み込み帯の深度 2-3 km における変形と物質進化は、沈み込み帯のダイナミクスに大きな影響を与えている。まず、断層運動により断層が硬化するために、次の変形は断層の再活動という形ではなく、周辺のスメクタイトが残存している、圧密が進んでいない弱い母岩で発生する。結果として断層帯は厚くなっていくことが考えられる。これは、陸上で見られる過去のプレート境界断層と考えられるメランジュ

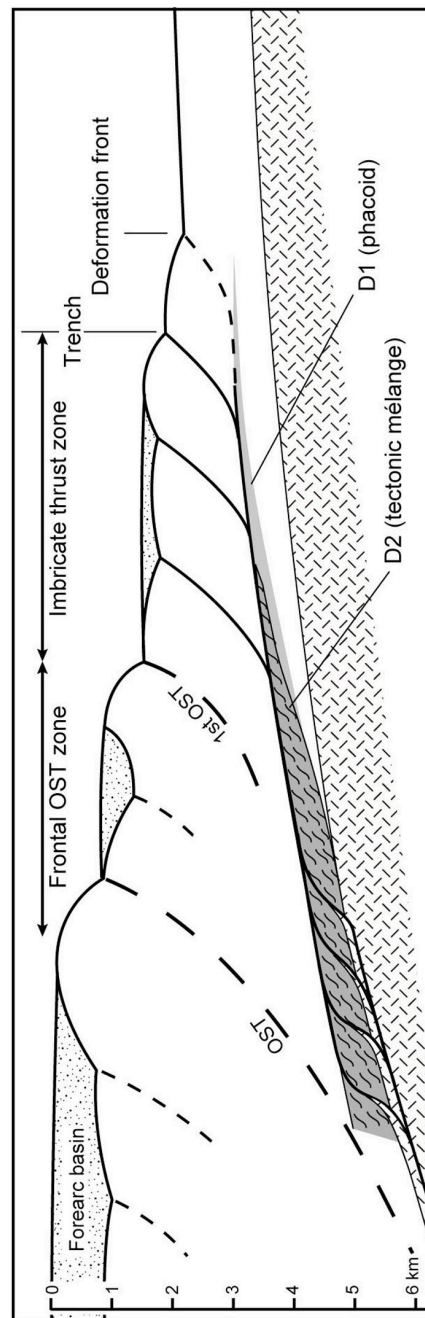


図 3. 沈み込み帯プレート境界における変形様式変遷のモデル図. D1, D2 がそれぞれ対象としたメランジュ. D2 変形により断層が硬化し、厚いメランジュの強度増加によって付加体は OST などの形状変化が発生する。

ユが、厚さ数 km に達していることと矛盾しない。未解決の問題であったメランジュ厚化プロセスの一因となっていると考えられる。

さらに、近年のモデル実験によると、プレート境界断層の摩擦（強度）が沈み込みとともに増加していくことによって OST (Out of Sequence Thrust) が発生することが確認されている。OST は、沈み込み帯に形成される付加体の形状を規制する主要因であり、巨大地震の破壊を海底表層に伝播し津波を発生させることが知られている。今回確認された深度 2-3 km における断層の硬化（強度増加）は、OST 発生の主要因であると考えられる。

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 7 件）

① Yamamoto, Y., Tonogai, K., and Anma, R., Fabric-based criteria to distinguish tectonic from sedimentary mélanges in the Shimanto accretionary complex, Yakushima Island, SW Japan. *Tectonophysics*, TECTO07522, in press. 査読有.

② Yamamoto, Y., and Sawyer, D., E., Systematic variation of fabric and physical properties in mass transfer deposits in the Ursa region, Northern Gulf of Mexico. In Yamada, Y., et al. (eds) Submarine Mass Movements and Their Consequences. Advances in Natural and Technological Hazards Research Series, Springer, in press. 査読有.

③ Yamamoto, Y., Yamada, Y., Yamashita, Y., Chiyonobu, S., Shibata, T., and Hojo, M., Systematic development of submarine slope failures at subduction margins: fossil record of accretion-related slope failure in the Miocene Hota Accretionary Complex, Central Japan. In Yamada, Y., et al. (eds) Submarine Mass Movements and Their Consequences. Advances in Natural and Technological Hazards Research Series, Springer, in press. 査読有.

④ Yamada, Y., Yamashita, Y. and Yamamoto, Y., 2010. Submarine landslides at subduction

margins: insight from physical models. *Tectonophysics*, **484**, 156-167. 査読有.

⑤ Kameda, J., Yamamoto, Y., and Kimura, G., 2010. Smectite swelling in the Miura-Boso accretionary prism: Possible cause for incipient décollement zone formation. *Tectonophysics*, **494**, 75-84. 査読有.

⑥ 山本由弦, 2010. 三浦・房総半島の海底地すべり堆積物の産状と区分. 月刊地球, 号外 61, 136-145. 査読無.

⑦ Yamamoto, Y., Nidaira, M., Ohta, Y. and Ogawa, Y., 2009. Formation of chaotic rock-units during primary accretion processes: examples from the Miura-Boso accretionary complex, Central Japan. *Island Arc*, **18**, 496-512. 査読有.

〔学会発表〕（計 14 件）

① Yamamoto, Y., Three-dimensional stress orientation in the basement basalt at the subduction input site, Nankai Subduction Zone, using anelastic strain recovery (ASR) data, IODP NanTroSEIZE Site C0012. AGU, San Francisco, USA, December 14, 2010.

② Yamamoto, Y., Formation processes of chaotic rock-units during primary accretion processes: Liquefaction and mass transport deposits in the Miura Boso Accretionary prism, central Japan. GSA Tectonic crossroads Conference, Ankara, Turkey, October 8, 2010.

③ Yamamoto, Y., Onland accretionary wedge in the Miura and Boso peninsulas, central Japan: one of the best analogs of modern subduction-accretion system. GSA Tectonic crossroads Conference, Ankara, Turkey, October 8, 2010.

④ Yamamoto, Y., Thickening of tectonic mélanges due to clay-mineral transition in 2-4 km depth in subduction zone: Hota accretionary

complex, central Japan. GSA Tectonic crossroads Conference, Ankara, Turkey, October 5, 2010.

⑤山本由弦, 南海および陸上の付加体をつなげる三浦・房総半島の付加体・被覆層システム, 地質学会 117 大会, 富山, 2010 年 9 月 19 日.

⑥Yamamoto, Y., Décollement zone thickening due to clay-mineral transition in 2-4 km buried subduction zone: Hota accretionary complex, central Japan. WPGM, Taipei, Taiwan, June 23, 2010.

⑦山本由弦, 沈み込み帯の深度 2-4 km における堆積物変形と粘土鉱物組成変化: 房総半島中部中新統保田層群. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 2010 年 5 月 25 日.

⑧ Yamamoto, Y., Fabric variation and primary heterogeneity of subduction input, off Kii Peninsula: Preliminary results from IODP Expedition 322. JPGU Meeting, Makuhari, Japan, May 23, 2010.

⑨山本由弦, 房総半島保田層群にみられる沈み込み帯深度 2-4 km の変形と粘土鉱物組成変化: -C0004 との比較-. KANAME 研究集会, 熊本, 2010 年 3 月 8 日.

⑩Yamamoto, Y., Deformation characteristics and associated clay-mineral variation in 2-3 km buried Hota accretionary complex, central Japan. AGU, San Francisco, USA, December 15, 2009.

⑪ Yamamoto, Y., Earthquake-induced submarine sliding in the Pleistocene trench-slope-basin sediment, central Japan: comparative study between geological and physical model. IGCP511, Austin, USA, November 9, 2009.

⑫Yamamoto, Y., Comparative study of geological and physical model of earthquake-induced submarine sliding in the

Pleistocene trench-slope-basin sediment, central Japan. GSK Meeting, Jeju, Korea, October 30, 2009.

⑬ 山本由弦, 沈み込み帯における断続的な海底地すべりの発達様式: 地質とモデル実験の比較. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 2009 年 5 月 19 日.

⑭ 山本由弦, 関東アスペリティプロジェクトにおける地質・テクトニクス的な展望. 日本地球惑星科学連合大会, 幕張, 2009 年 5 月 19 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 由弦 (YAMAMOTO YUZURU)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域・研究員

研究者番号: 10435753