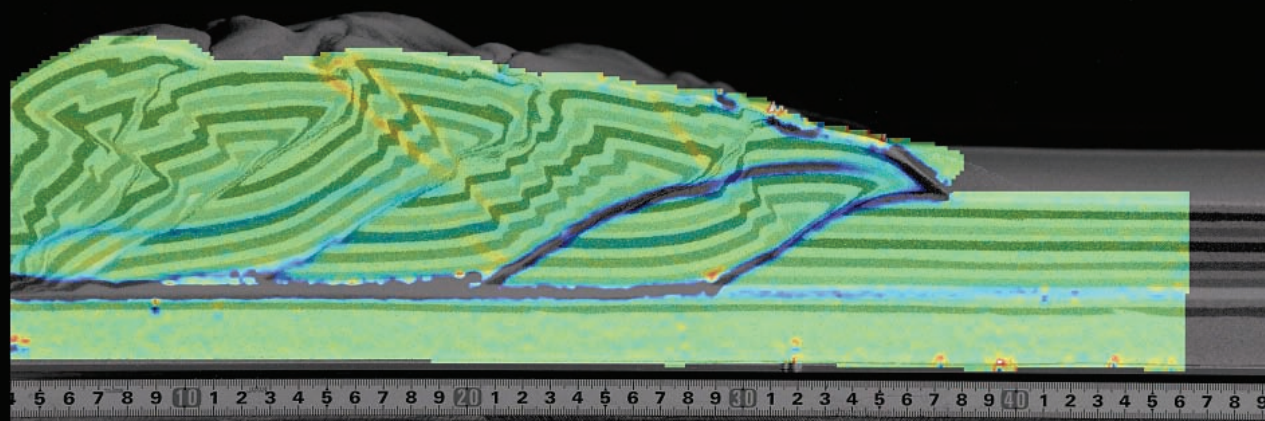


新学術領域研究 超深度掘削が拓く海溝型巨大地震の新しい描像



## ■ CONTENTS

領域代表者挨拶	1	研究成果報告	2-7	活動報告	14
南海掘削現状	1	トピックス	8-13		

## 今こそ、本領域研究の力を集中しましょう。

領域代表 木村 学

2011年、3月11日、午後2時46分。東北地方太平洋沖地震が発生し、未曾有の東日本大震災が勃発しました。無念にも命を落とされた方々のご冥福をお祈りし、被災された方々へ改めてお見舞い申し上げます。

近代科学が成立して以来、日本列島に隣接する沈み込み帯で経験したことのないMw9.0の超巨大地震でした。私たちの領域が目標としている「海溝型巨大地震の理解・解明」と直結する大地震が起ったのです。私たちの研究の地域的対象は南海トラフですが、今回の超巨大地震は、破壊が海溝まで及び、最も深刻な津波を引き起こしました。また、この地震後に余震が継続し、多くの誘発された地震が陸上部の活断層をも動かしております。多くの現象が、これまでの海溝型地震に対する見方を変え、文字通りのパラダイムの変化が起きつつあります。そして南海トラフで発生が予想されている南海地震への警戒と研究進展の必要性が飛躍的に高まっております。

本領域に参画する研究者の多くの方々が、直接・間接的に今回の日本海溝で発生した地震に関する研究を推進しております。それらを一層推進するとともに、本研究の対象である「南海トラフ地震」へ集約して行くことが今後益々重要となります。

5月地球惑星科学連合大会では、文部科学省委託の運動性地震プロジェクトと連携し、ユニオンセッションを開催します。ユニオンセッションは、国際セッションとして開催しますが、レギュラーセッションとしても継続します。全体で170セッションほど開かれる連合大会で、主催するセッションは最大規模となりました。それは、緊急に開かれることとなった東北地方日本海沖地震関連のセッションとともに、本年度大会の最大のハイライトの一つとなることは間違いありません。夏には、C02班が中心となり、台湾で開かれるアジアオセアニア地球科学会においてシンポジウムを主催し、また、A01, A02班が進める地震時の海底

面変動に関連した海底地すべりの国際シンポジウムが京都で開かれます。秋には、恒例の日本地質学会、地震学会、そしてアメリカ地球物理学連合などで私たちの成果を積極的に公表する予定です。更に年度末の2012年3月には世界から関連する研究者を集め



て、高知にて本領域の前半期の成果を中心に三泊四日の日程で国際シンポジウムを計画しております。

本領域の研究成果を積極的に社会へ還元し、海溝型地震、津波に関わる国民の科学リテラシー抜本強化のためにも、積極的なアウトリーチ活動を展開する予定です。市民講演会、サイエンスカフェ、理科教員研修、大学・研究所公開プログラムなどへ積極的に参加する予定です。そのために、さまざまな企画への一般からの講師依頼のためのチャンネルをホームページに作成しました。本領域分担研究者の皆様のご協力をお願いする次第です。

本領域発足からの1年半の間に大きく研究は前進し、それらの成果は本ニュースのそれぞれの計画研究のページで紹介、またすでに多くの論文として公表されております。

本年は第三年度に入りますが、「海溝型巨大地震の理解・解明」を掲げる本領域は、一層集中して研究を飛躍させることが極めて重要です。地球深部探査船「ちきゅう」は、残念ながら八戸港でダメージを受け、また国際統合深海掘削計画（IODP）による南海掘削予定が、当初計画より若干の遅れを生ずるなど少々の困難がありますが、本領域が推進する6つの計画研究を有機的に連携させることによって目標達成は可能と考えております。研究分担者、連携研究者、研究協力者、および本研究に参画している院生、学生の皆様の一層の奮闘をお願いする次第です。

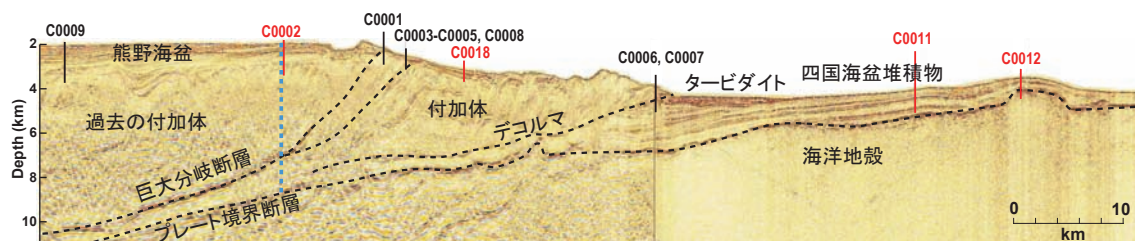
### 南海掘削の現状

地球深部探査船「ちきゅう」による南海トラフ地震発生帯掘削が2007年から開始され、これまでに紀伊半島沖の東南海地震震源域浅部の13地点で掘削が行われました。

2010年度には3航海が実施されました。第326次航海は、NanTroSEIZEの最終目標である、巨大地震断層の固着域（海底7km）に到達するためのライザー掘削の基礎部分として、872.5mまでの掘削と整備を完了しました。引き続き第332航海では、同じC0002地点浅部の間隙圧や地殻変動・地震活動を監視するための孔内観測所を設置しました。第333航海では、分岐断層下盤の大規模地滑り堆積物の採取と、四国海盆

堆積層のコア採取・熱流量計測等を実施しました。沈み込む前から固着域に至る表層・付加体堆積層・基盤岩からの情報が、約19Maから現在に至るまで得られたことになりました。

今後は、第2・第3の孔内観測所の設置と、断層固着域への到達を目指すばかりです。東北地方太平洋沖地震の影響は無視できないでしょうが、現時点ではKANAMEの最終年度である2013年までにこれら目標を達成すべく、PMTでは検討を進めています。また設置済の孔内観測所を、現在急ピッチで設置が進められている地震・津波観測監視システムDONETに接続する作業も予定されています。（NanTroSEIZE 代表研究者 木下 正高）



これまでに掘削された地点。2010年度に掘削された地点を赤線で示した。

## 研究成果報告

### 研究項目 A：大局的構造と海底面変動の理解

#### A01：巨大地震断層の3次元高精度構造と物性の解明

##### 1. 長距離オフセットVSP調査

2009年に行われた長距離オフセットVSP調査の成果が上がりつつあるとともに、その孔や周辺で取得された地震探査や検層データとの総合的な解析が行われている。また、将来予定されている大深度ライザー掘削孔においては、掘削計画のために分岐断層とプレート境界の深度精度向上は不可欠である。掘削後の孔内深部には多数の受振器を配置することによって、分岐断層やプレート境界の構造や物性を詳細に調べることができる。これらを遂行するために最適な調査の準備を行っている。

##### 2. 天然ガス生成の数値シミュレーション

熊野海盆のIODP掘削サイトC0009では、Wood contentに相関して集積した天然ガスが確認された。ガスのin-situ起源の可能性を検証することを目的に、石油地質学的見地による数値シミュレーションを実施した。その結果、同層準の有機堆積層は天然ガスを生成するには未熟性であることが分かった。ガスの集積には、表層付近で生成した微生物起源ガスがハイドレート化によって海中への漏出を逃れ、深部まで埋没した可能性が考えられる。

##### 3. 陸上地震断層の弾性波速度測定

NantroSEIZE Stage 1堆積物の速度物性が被覆堆積物と付加堆積物で異なるのは、間隙サイズの淘汰度の違いと、ナノスケールの繊維状のセメントの量の違いによるものであることが明らかになった。また、陸上付加体における過去の地震断層に境される弾性波速度分布を有効圧下で測定し、反射断面から推定されるインピーダンスと比較することで、デコルマ面上の異常流体圧比が約0.5~0.8になることを導いた。

##### 4. 沈み込みインプット掘削試料の分析

沈み込みインプット掘削 (IODP Expedition 322) で得られた試料の鉱物分析や年代測定を進めており、四国海盆に供給された火山物質の起源 (伊豆小笠原弧/西南日本弧) が推定された。火山岩の特性や周辺の地質構造から、樫野崎海丘の構造発達史の大枠が明らかになりつつある。また、インプット玄武岩の特性から地震発生帯深部での物理化学的、水理学的、力学的挙動を予測するため、玄武岩の分析も進行中である。

##### 5. 分岐断層付近の反射振幅計算

熊野沖で得られた3次元反射データには沈み込む海洋プレート上面から付加体を切って海底近傍まで延びる分岐断層が反射面としてイメージされている。反射面の特性から分岐断層近傍の岩石物性の不均質性を抽出することを目的として、分岐断層付近の反射イベントの振幅(エンベロープ)を計算した(図1)。熊野海盆下における振幅分布を図に示す。反射振幅が弱い場所が線上に分布する様子が見られ分岐断層近傍の岩石物性に不均質があることが示唆される。分岐断層の上位および下位の構造(他の断層など)による影響である可能性も考えられる。

##### 6. 紀伊半島沖巨大分岐断層の発見

過去の2次元反射法地震探査データの再解釈の結果、1946年南海地震の震源域において、プレート境界断層から上方へ発達する巨大分岐断層を新たに発見した。この巨大分岐断層の海底延長部では急斜面が認められ、明瞭な構造線を形成している。この構造線は、1944年東南海地震の震源域から1946年南海地震の震源域までほぼ連続的に発達し、両震源域で連動した巨大地震(例えば、1707年宝永地震)の発生を示唆する。

##### 7. 分岐断層の3次元形態解釈

分岐断層の3次元形態に関する解釈作業を3次元反射データを用いて行った結果(図2)、データが取得された領域内においては、東側地域と西側地域で断層形態・曲率などが異なること、断層先端部が凹状の異常形態となることなどが明らかになった。これは、東側地域と西側地域で分岐断層の形成履歴が異なることを示唆している。海底地すべりの分布が東側地域のみで観察されることから、東側地域と西側地域で分岐断層の活動性も異なることが示唆される。

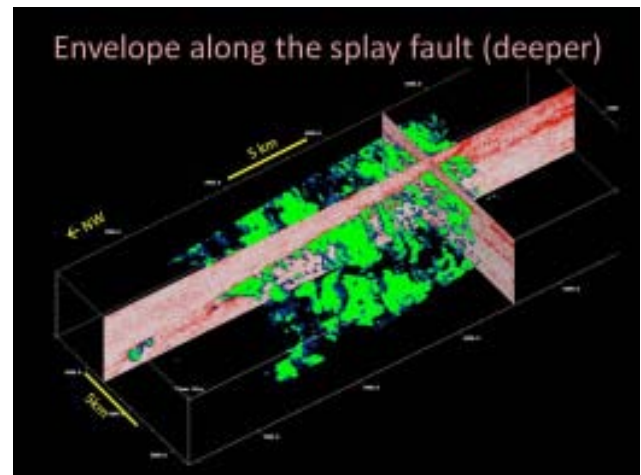


図1 巨大分岐断層に沿った反射波振幅分布

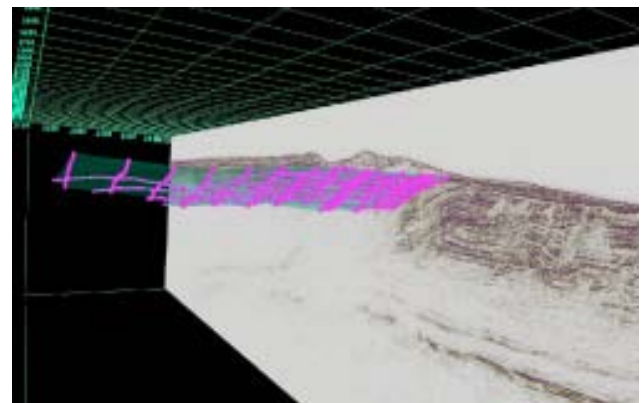


図2 巨大分岐断層の3次元形態

**A02：高精度変動地形・地質調査による巨大地震断層の活動履歴の解明**

**1. 白鳳丸KH-10-3次航海－地質地球物理総合調査**

平成22年7月29日から8月25日に熊野沖の南海トラフにおいて深海底サンプル採取システム（NSS）を用いたピンポイント採泥、浅部地下構造探査と機器設置を行った。今回新たに導入したサブボトムプロファイラーによって巨大分岐断層が海底面より少なくとも10m程度の深度にまで達していることが明らかとなった。その他、2004年の紀伊半島南東沖地震時の観測と今回の観測の比較により、地震にともなうメタン湧出現象、海底付近での懸濁層の発達を確認した。以下に高密度採泥と熱流量調査の成果を紹介する。

**1-1. 高密度採泥によるマッドブレッチャの分布**

東南海地震（1944年）の震源領域には巨大分岐断層が発達している。断層近傍の上盤と下盤からピストンコアによって稠密に試料を採取しX線CTによる観察を行った。その結果、IODP Exp 316で発見されたと同様のマッドブレッチャ（破碎された未固結堆積層）が断層近傍で認められた（図1a）。ブレッチャは断層上盤のうち、断層近傍でのみ見出され（図1b、c）、断層運動に伴う強震動で形成されたと推測される。ブレッチャの年代と堆積物強度から古地震の規模と再来周期の復元が期待される。

**1-2. 分岐断層付近における熱流量測定**

湧水活動の解明を目的として分岐断層が海底面に達する付近で熱流量分布の高密度測定を進めている。本航海では断層近傍で周囲よりも有意に高い熱流量値が得られ、断層面に沿った流体上昇が推定された。また、湧水活動の時間変動を捉えるため、NSSを用いて海底面の状況を観察しながら、2台の自己浮上式温度計測装置を断層の近傍に設置し、現在長期計測を行っている。

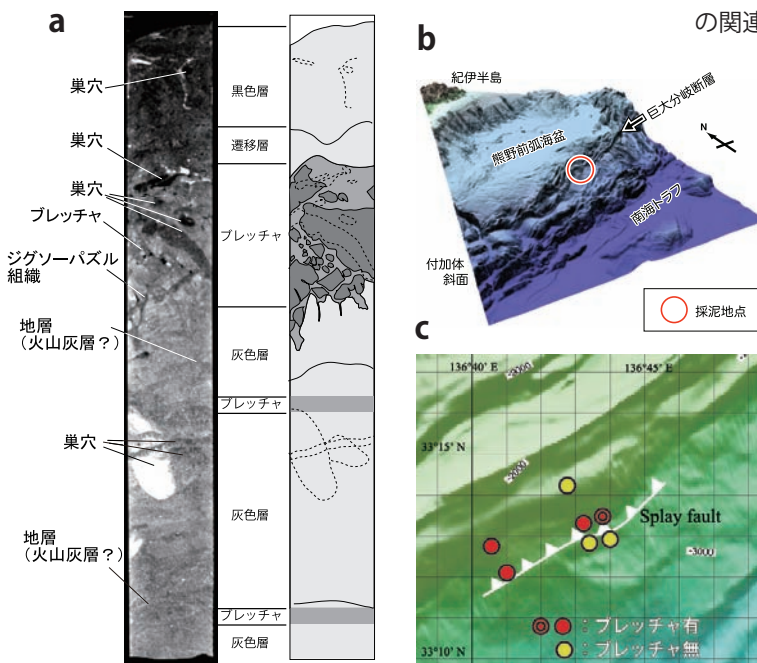


図1 ブレッチャの分布 (b、c) とコアに見られるブレッチャ (a)

**2. 檜野崎海丘周辺に発達する巨大海洋性地殻内断層**

紀伊半島沖の反射法地震探査データを解析した結果、海洋性地殻内部にモホ面にまで達する巨大断層が存在することが明らかとなった（図2）。この逆断層の活動は檜野崎海丘を隆起させ、さらに2004年紀伊半島南東沖地震（M7.4）と関係していることが分かってきた。今後、断層の三次元構造の抽出により、断層形成の原因と断層変位がプレート境界断層に与える影響を調べる。

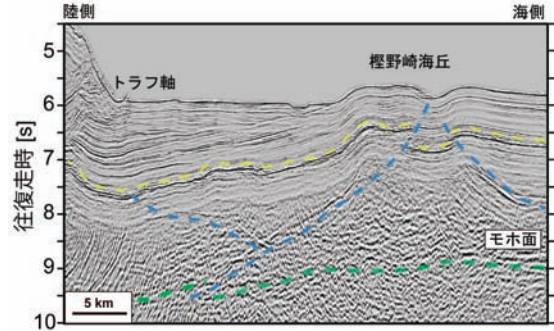


図2 モホ面に達する巨大海洋性地殻内断層 (Tsuji et al. 2009. GRLに加筆)

**3. 東海スラスト近傍の千枚岩の露出とその意義**

天竜海底谷沿いの付加体の潜水調査により東海スラスト下盤から千枚岩を採取した。この岩石は変形が著しく部分的にスレート劈開が見られ、イライト結晶度による最大被熱は200℃を超える。一方、周辺の岩石の炭化物の石炭度は約90℃の最大被熱を示す。また、千枚岩からは46万年よりも新しい放散虫化石が産出したが、その周囲の岩石からは中新世を示唆する石灰質ナノ化石も同時に産している。これらの最大被熱と地温勾配とから、千枚岩は海底下4-5 km以上の地震発生帯近傍から上昇してきたと推測され、断層運動だけでなく海山沈み込みに伴う地すべりとの関連が示唆される（図3）。

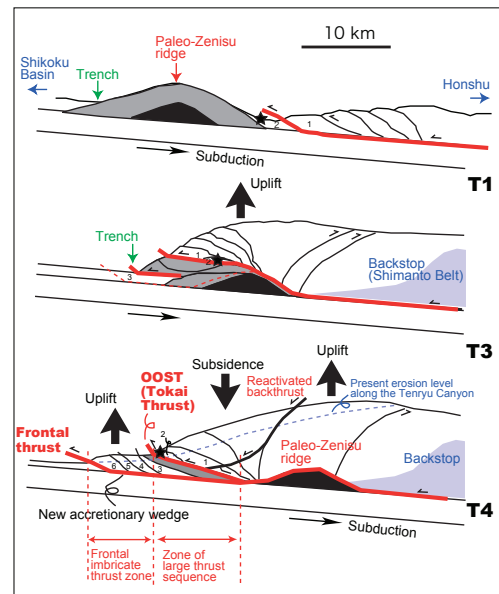


図3 深部物質の上昇モデル (Kawamura et al. in press, Series of Modern Approaches in Solid Earth Sciences, Springerを改変)

## 研究項目 B：断層の物質と力学的・水理学的性質の理解

### B01：巨大地震断層の力学的・水理学的特性の解明

#### 1. 付加体泥岩の微細構造、力学的・水理学的特性

南海トラフ付加体浅部から採取された泥岩試料の微細構造観察と破壊・摩擦・透水実験を行った結果、付加体の泥岩にはタービダイト起源の泥岩と半遠洋性泥岩の2種類あり、両者の微細構造および力学的・水理学的性質が以下に述べるように大きく異なることが明らかとなった。従って、両者を母岩とする付加体内部の断層の挙動にも大きな相違が予想される。

1) タービダイト起源の泥岩は石英や長石などの碎屑粒子に富み、淘汰が悪く孔隙が多く、一方半遠洋性泥岩は石英や長石などの碎屑粒子に乏しく、スメクタイトなどの粘土鉱物に富み、細粒均質で孔隙が少ない（図1）。

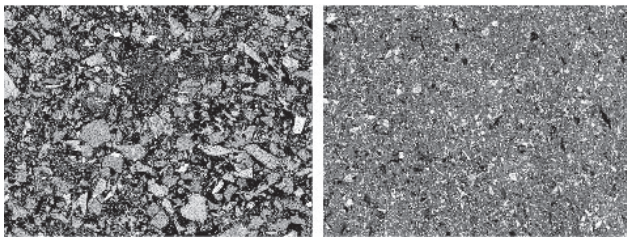


図1 タービダイト起源の泥岩(a)と半遠洋性泥岩(b)の電子顕微鏡写真。

2) 室温、試料原位置の圧力・間隙圧に相当する封圧36~38 MPa、間隙圧28~29 MPa、変位速度10  $\mu\text{m/s}$ で破壊実験を行った結果、タービダイト起源の泥岩試料は破壊強度が約20 MPaと比較的大きく急激な応力降下を伴って破壊したが、半遠洋性泥岩試料は破壊強度が14.5 MPaと比較的小さくゆっくりとした応力降下が起こった（図2）。また、同一条件で透水実験を行った結果、タービダイト起源の泥岩の浸透率は $2.3 \times 10^{-19} \text{ m}^2$ と比較的大きく、一方半遠洋性泥岩の浸透率は $2.9 \times 10^{-20} \text{ m}^2$ と小さかった。

3) 室温、垂直応力5 MPa、含水条件において、変位速度26  $\mu\text{m/s}$  ~ 1.3 m/sの回転剪断実験を行った結果、2.6 mm/s以下の低~中変位速度では、タービダイト起源と考えられる泥岩試料は摩擦強度が比較的大きく（摩擦係数0.4~0.5）速度弱化的挙動を示すのに対し、半遠洋性泥岩と考えられる試料は摩擦強度が比較的小さく（摩擦係数約0.3~0.4）速度強化的挙動を示した（図3）。両者は実験後の微細構造も対照的である（トピックス参照）。一方26 mm/s以上の高変位速度では、両者の摩擦強度に有意な差がなくなり、両者とも顕著な速度弱化的挙動を示した（図3）。

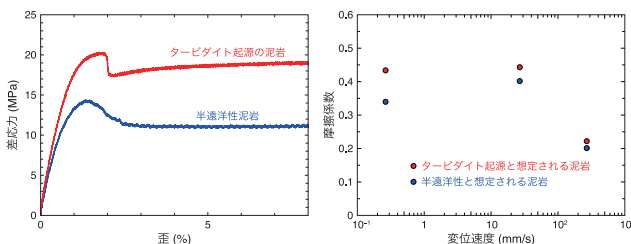


図2 2種類の泥岩試料の差応力一歪曲線。実験条件は本文参照。

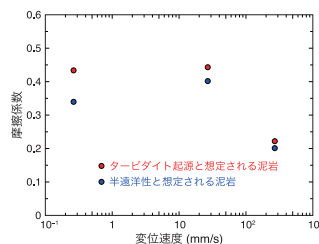


図3 2種類の泥岩試料の摩擦係数の変位速度依存性。実験条件は本文参照。

4) 室温、垂直応力1.5 MPa、含水条件において変位速度1 cm/sで回転剪断実験を行って摩擦強度と圧密量を計測し、剪断実験前後で透水実験を行った結果、3)と同様に、タービダイト起源と考えられる泥岩試料は摩擦強度と圧密量が比較的大きく、半遠洋性泥岩と考えられる試料は摩擦強度と圧密量が比較的小さかった（図4）。いずれの試料も摩擦実験後は浸透率が低下が認められたが、タービダイト起源と考えられる泥岩試料の方が浸透率の低下が大きかった。摩擦実験後の浸透率の低下量は、圧密量とよく対応している。

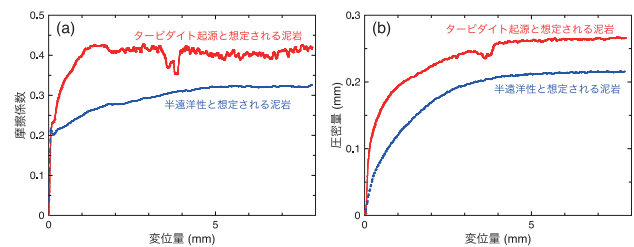


図4 2種類の泥岩試料の摩擦係数(a)と圧密量(b)の変化。実験条件は本文参照。

#### 2. 付加体浅部における破壊伝播の加速度依存性

南海トラフ付加体浅部から採取された泥岩試料を使用して、室温、垂直応力1.0 MPa、含水条件において、変位速度を0.1 mm/sから1.3 m/sまで異なる加速度で加速させた結果、加速度が大きいほど最大摩擦強度とすべり硬化距離が大きくなり（図5）、摩擦バリアが大きくなることが明らかとなった。この結果は、地震性破壊伝播の加速度が小さいと摩擦バリアが小さいため付加体浅部内を破壊が伝播しやすく、加速度が大きいと摩擦バリアが大きいため付加体浅部で破壊が伝播しにくいことを意味している。

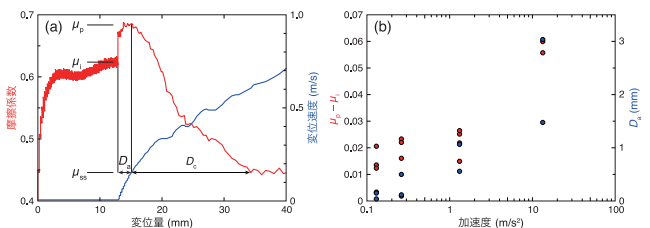


図5 (a) 変位速度を0.1 mm/sから13 m/s<sup>2</sup>で加速させた場合の、摩擦係数と変位速度の変化。実験条件は本文参照。μ<sub>i</sub>: 加速前の摩擦係数、μ<sub>p</sub>: 加速後の最大摩擦係数、μ<sub>ss</sub>: 加速後の定常すべり時の摩擦係数、D<sub>s</sub>: すべり硬化距離、D<sub>c</sub>: すべり軟化距離。(b)  $\mu_p - \mu_i$ およびD<sub>s</sub>の加速度による変化。

#### 3. 脆性-塑性遷移領域における断層構成則の定式化

岩塩の脆性-塑性遷移領域における剪断変形実験を行い、脆性-塑性遷移領域における断層構成則の定式化を試みた（トピックス参照）。この実験では10秒程度の長周期の固着すべりも確認されており、沈み込み帯深部の低周波~超低周波地震との関連性が注目される。また、得られた構成則から、沈み込み帯沿いの地震発生帯下限付近の断層の挙動を再現できる可能性がある。

**B02：巨大地震断層の物質科学的研究による  
すべりメカニズムの解明**

1. 南海トラフ地震発生帯掘削Stage1およびStage2によって得られた掘削試料・データの総合的な解析をすすめ、以下の成果が得られた。①分岐断層すべり面の化学分析・熱分析を行い、地震時の摩擦発熱による温度上昇量を推定した(A02班と共同)。②摩擦実験試料の組織観察と天然の断層岩の組織とを比較し、摩擦特性と断層岩組織の進化過程を明らかにした(B01班と共同)。③掘削結果および三次元地震探査の結果を総合し、分岐断層の進化過程を解明した(A01班と共同)。④海溝外側の掘削地点における堆積物および基盤玄武岩の分析を行い、海溝の物質が地震発生帯の脱水反応に果たす役割を推定した。

2. 陸上部に露出する化石断層帯を対象として、破壊すべり時の物理化学的プロセスの推定を行った。研究対象は、①房総半島(分岐断層浅部)、②四国牟岐メランジュ(地震発生帯上限)、③四国久礼地域(地震発生帯)、④四国興津メランジュ(地震発生帯)、⑤九州延岡地域(地震発生帯深部)である。これらはいずれも、過去の沈み込み帯内部で形成された化石断層であり、地震発生帯の温度圧力領域の全てをカバーする。陸上アナログの研究を進めることにより、今後、超深度掘削によって得られる予定の断層岩研究の準備が整いつつある。

**ホットピック**

**(1) 南海掘削Stage 2 Exp. 322 およびExp. 333の成果**

南海トラフ地震発生帯掘削ステージ2のExp. 322 Exp. 333において、南海トラフ沈み込み帯へ持ち込まれる堆積物や基盤岩の特徴を明らかにするために、インプットサイト(C0011, C0012)の掘削が行われた。船上でのコア解析により、堆積物の変成・物性変化が特定の層準で起っていることが確認された。またC0012地点では海底地すべりが大規模に起っていることが発見された。玄武岩層の性質がどのように変化し、地震発生帯物質として準備されていくのかは重要であり、海洋底変質により生成されたサポナイトが地震発生帯で脱水し(図1)、プレート境界の有効強度を下げ、破壊開始や破壊域伝搬に寄与する可能性を検討中である。

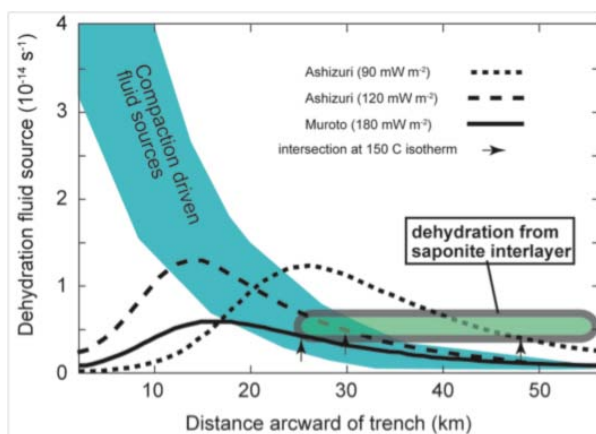


図1 南海トラフ地震発生帯で想定される海洋地殻上部のサポナイトからの流体排出量。深部では堆積物の圧密やイライトースメクタイト相転移反応(黒実線・点線)からの排出より優勢と考えられる。

**(2) 房総半島に発達する断層の化学分析：巨大分岐断層のアナログ (Hamada et al., 2011)**

南海トラフ地震発生帯の高角逆断層(スプレー断層)の陸上アナログとして房総半島新第三系付加体に発達する断層を対象とし、断層岩および母岩の顕微鏡観察や化学分析を行った。ICP質量分析装置を用いた微量元素測定の結果、断層岩においてLi, Rb, Csの顕著な減少とSrの増加が検出された。この元素移動は地震時に摩擦発熱によって加熱された高温流体と断層岩との相互作用の結果であると考えられ(Ishikawa et al., 2008; Nature geoscience)、この反応を満たす温度を見積もった結果、350°C以上の高温が必要であることがわかった(図2)。以上の分析結果をもとに、地震時の滑り速度と滑り距離についての数値解析を行ったところ、摩擦係数や上載圧などのパラメータに幅を与えても、この断層が350°C以上の温度に達するためには、高速(~1 m/s)で数メートルの滑りが必要であることが示唆された。また、四万十付加体久礼地域においても、摩擦熔融の関与する流体岩石相互作用が明らかにされた(Honda et al., 2011)。

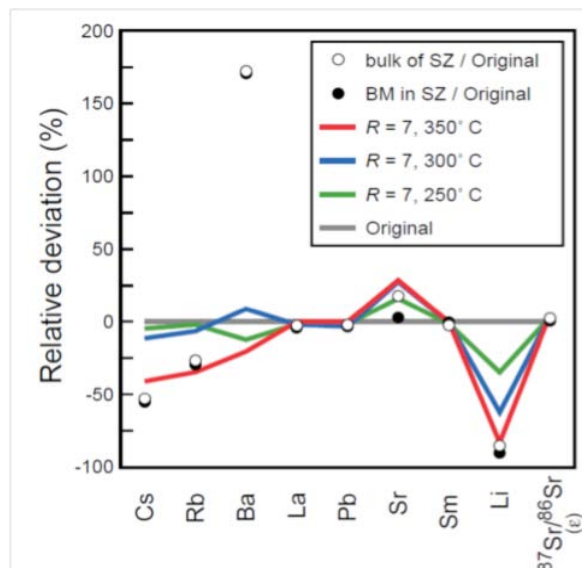


図2 断層岩の微量元素分析結果

## 研究項目 C：地震準備・発生過程のモデル構築と検証

### C01：孔内実験・計測による地震準備過程の状態・物性の現場把握

C01班では、現場状態の把握に向けた観測機器や手法の開発・検討を継続するとともに、これまでの南海掘削で得られた結果を再解析した。

#### 現場応力測定装置の開発

地層中の応力場を高精度で求めることは、掘削孔という厳しい条件下では容易でない。現場測定法としては水圧破碎法が有効であるが、計測システムが堅く（コンプライアンスが小さく）岩石が柔らかいほど地層中の応力場が高精度で求められる。このために、短時間で効率的に計測でき、コンプライアンスの小さいシステムの開発を行っている。本成果に基づき、IODPでの計測ツールとして開発を継続するための予備研究費が認められた（H.Itoほか）。

#### 熊野海盆（C0009）での応力場解析

C0009サイトのライザー孔で、孔壁比抵抗イメージ（FMI）検層・速度検層・水圧破碎法（MDT）・コア計測により、応力場を推定するための様々な実験が行われた。FMI検層により、掘削時の水平差応力に応じて孔径がShminの方向に拡大する現象（ブレイクアウト）が検出された。同時に計測された孔径と併せてC0009で推定されたSHMAXの方向は、プレート運動の方向に一致していることが分かった（図1）。

速度検層解析から、S波速度が異方性を持つことが示され、その原因として応力に起因する異方性が卓越することが示唆された（H. Ito et al., 2010AGU）。今後は、コア試料のS波速度を実測して、クラックモデルを作成する。

水圧破碎法では、亀裂閉口圧のみからShminを推定し、回収されたコアが水平差応力に依存して不均質に拡張することを利用してSHMAXを推定した（T. Ito et al., 2010AGU）。海底下深度900mではShmin~SHMAX < Sv（垂直応力）である一方、深度1500mではShmin << SHMAXであることが分かった。これは、1300m以深のみにブレイクアウトが発達している（水平差応力が大きい）ことと整合的である。

一方、回収されたコア試料について、非弾性ひずみ回復法（ASR）を用いて、主応力3成分を推定した（Lin et al., 2010 AGU）。その結果、SHMAXの方位はブレイクアウトや孔径からの推定と一致した。ただし応力絶対値には手法によるばらつきがあり、今後継続して検討する。

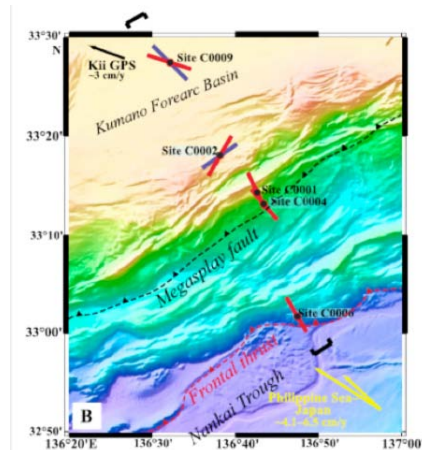


図1 南海掘削サイトの応力場（Lin et al., 2010）。（左）

図2 付加体斜面のImbricate thrust zoneで検出されたBSR（△印）。断層帯（矢印）を境にして右（海）側でBSRが深くなっていることが分かる（Kinoshita et al., submitted）。（右）

#### 断層帯周辺の透水構造推定

複雑な構造を持つ断層帯の水理構造把握の準備として、神岡鉦山に掘削を行い、断層面を挟んで現場浸透率を測定し、母岩に比べて2-3桁高い透水率が得られた（加納・伊藤）。一方、間隙水圧（水位）モニタリングから潮汐等の自然の岩盤変形への応答を抽出することにより、断層帯等での水理応答特性の時間変化を検出できる。断層帯の水理応答特性は、透水層（断層）の幅や周囲の(低)透水率のコントラストに依存することが、モデル解析から予測された。神岡鉦山孔での現場水理試験とその後の水位観測のデータに適用し、断層の透水構造を得るためには、断層帯に加えて母岩の透水性を調べることも重要であることを明らかにした（加納）。

コアスケールでの透水率を推定するためにCTスキャンデータを活用することを検討しており、その一環として反射法探査ソフトを用いたX-CTコアイメージ解析のソフト開発と解析を行った（真田・伊藤）。また封圧下での測定手法の予備的な開発を進めている（渡邊・伊藤）。

#### BSR深度から推定した付加体斜面の熱流量

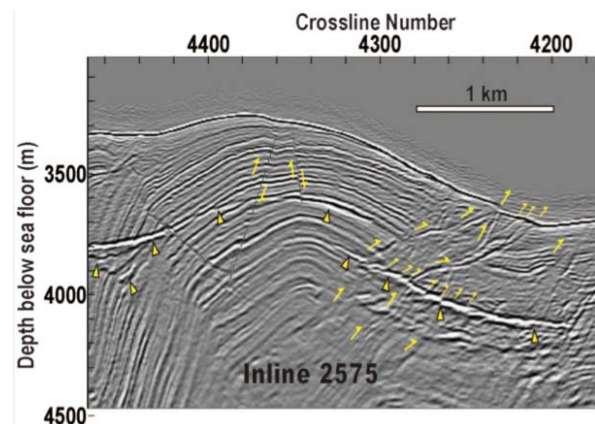
3D地震探査データと掘削データから、付加体前弧のImbricate thrust zoneでの熱流量分布を明らかにした（Kinoshita et al., 2010AGU）。その基礎となったBSR深度が、断層をはさんで上盤で有意に浅くなっていること、断層を挟んで不連続になっていることから、断層がごく最近まで活動していることなどを提案した（図2）。

#### 熊野海盆の温度検層解析

C0009サイトで得られた温度検層データから地層温度を推定した（加納・伊藤）。その結果、各地層で温度勾配が異なることが判明した。特にUnit IIIでのガスの影響の可能性を検討している。

#### 海底観測網を利用した能動監視観測

地震準備過程において、断層帯の特性が変化する可能性が考えられる。信号の伝達特性を精密に測定するために、孔内に発振源を置き、海底観測網を利用した能動監視観測の可能性を検討し（山岡・荒木）。火山において能動監視の実現可能性を検討する手法を確立した。エネルギー収支と励起される実体波振幅の見積から、本システムは次年度も継続して検討する価値があることが分かった。



## C02：海溝型巨大地震の準備・発生過程のモデル構築

C02班では継続して(A) 沈み込み帯浅部の付加体形成と低速変形、(B) 地震の動的破壊伝播とプレート境界面形状、(C) 地震準備過程を含む地震サイクル、の3つの領域について研究を進めている。宮古島における研究班ミーティングや実験班との合同ワークショップでの議論を通じて連携研究を進めている。

### A. 沈み込み帯浅部の付加体形成と低速変形

沈み込み帯における長期間の付加体形成過程を2次元粒子モデルを用いた数値実験で研究した。その結果により付加体内に形成される逆断層群とその下に形成されるデコルマとの力学的な関係が、従来考えられていたものと逆の場合があることがわかった。すなわち、従来はデコルマ形成の結果、その上が水平短縮場になって逆断層群が形成されると考えられていたが、逆断層群の形成にともなう主応力軸の回転によって、付加体内部にデコルマが形成されることがわかった。現在これを3次元計算に拡張するための準備を始めている。

現在のプレートの沈み込みとプレート境界の固着に伴い生じる付加体内部の応力場の空間変化を南海トラフ（熊野灘）を具体的対象地域とした有限要素法により推定した。プレート境界の固着と地震時のすべりによって、外縁隆起帯よりも海側の付加体内部に顕著な水平方向の収縮場が形成されることが分かった。これは、巨大地震時に生成された圧縮性の応力場が、現在も発生する沈み込み帯浅部での超低周波地震の起震応力場を形成している可能性を示す。

超低周波地震の活動については2次元準動的シミュレーションでのモデル化を行っている。紀伊半島沖及び十勝沖を対象に、最近の付加体物質を用いた摩擦実験結果を考慮してシミュレーションを行った。その結果、安定領域と不安定領域が混在し、間隙圧が高く有効圧が小さい場合に、数年間隔で発生する超低周波地震活動を再現することができた。さらに大地震発生後は、浅部の安定領域における余効すべりにより、活動が活発化することが示された。

超低周波地震、深部微動、スロースリップなどのゆっくり地震のうち深部で発生するものについて、その特徴を数値モデルで表現し南海とカスケードの沈み込み帯で活動時定数を定量的に比較することが可能となった。南海沈み込み帯の中でも四国西部では特徴的時定数が長いことがわかった（図1）。また効率的な深部微動決定手法を開発し四国西部の微動活動に適用、微動の線上配列が2方向に向いていること、微動の性質が短距離で変化していることを確認した。また脆性-塑性混合不均質を考慮してゆっくり地震モデルの解析を行った（p7トピックス参照）。

### B. 地震の動的破壊伝播とプレート境界面形状

天然で観察される断層の微細構造は非常に多様である。従来研究を進めてきた動的断層分岐モデルの数値計算をより複雑多様な天然断層と系統的に比較できるように、パラメタスペースを広げた数値計算を実行中である。天然の断層岩での微小亀裂の配列性を調べるために、解析班と共同でマイクロフォーカスCTを用いた測定を行った。

南海沈み込み帯で特に重要と考えられる分岐断層の破壊について有限要素法による2次元数値計算コードの整備が完了し、自由表面、媒質不均質、断層分岐を全て取り入れた数値計算が可能になった。数多くのシミュレーションを通じて特に自由表面の存在が分岐断層の破壊条件にとって非常に重要であること、および初期応力条件によっては分岐断層が主断層より先に破壊し、主断層の破壊伝播をコントロールする可能性もあることを示した。

フィリピン海プレートの形状について、近畿地方と中国・四国地方との間に断裂があるということが地震活動やレシーバー関数の解析から明らかになった（p13トピックス参照）。今後のモデリングに取り入れる必要がある。

### C. 地震準備過程を含む地震サイクル

西南日本の第四紀の隆起量データをコンパイルし、隆起速度に変換した。このデータを用いて、フィリピン海プレートの沈み込みに加えて、地表の剝削による温度場の影響を考慮し、地殻熱流量を計算した。その結果、Hi-netの地殻熱流量データと同様、空間的に短波長の地殻熱流量分布を再現することに成功した。また、Hi-netの高い地殻熱流量を説明するため、プレート上面に摩擦熱を導入してテスト計算を行い、間隙水圧比を下げることによって、地殻熱流量が上昇することを示した。

応力変化の地震発生時刻への非線形応答に基づいたDieterichの地震活動度の定量的物理モデルを、従来の欠陥がすべて解決された修正摩擦則を用いて作りなおし、発生頻度の解析的な表現が得ることができた。余震活動等の観測を実験室でえられた摩擦則のパラメタ値で説明することは難しいことが従来から指摘されていたが、複数の摩擦則の修正点の影響が打ち消しあった結果、修正された摩擦則を用いてもこの問題は解決されないことが明らかになった。

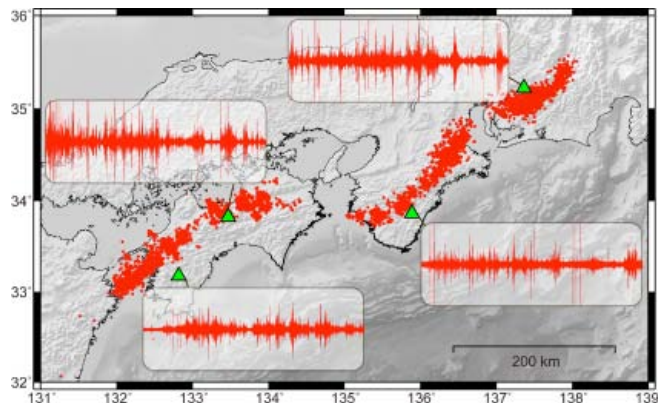


図1 東海、紀伊半島、四国東部・西部での1日の微動の様子。四国西部が特に継続時間が長いことがわかる。



## メランジュ帯北縁断層の弾性波速度ギャップと異常間隙圧推定

橋本 善孝 高知大学 教育研究部

白亜系四十万帯・牟岐メランジュ北縁断層において、上盤（砂岩主体のコヒーレント相）および下盤（泥岩主体の牟岐メランジュ）の弾性波速度の測定を行った。牟岐メランジュ北縁断層はシュードタキライトを伴う過去の沈み込みプレート境界地震断層である。上盤・下盤ともに断層からおおよそ500mの範囲において、5個ずつサンプルを測定した。

弾性波の測定は流体圧をコントロールした有効圧下で行い、5MPaから65MPaまで5MPa間隔で変化させた。500kHzのS波トランスデューサーを用いた。このトランスデューサーは微弱なP波も出すため、P波とS波の同時測定が可能である。面構造に垂直な方向に円柱試料を成型したものをを用いた。

測定の結果、上盤の砂岩のP波速度およびS波速度は5試料の平均でそれぞれ約4.5 km/sから5.0 km/sへ、約2.2 km/sから2.6 km/sへ、有効圧に応じて増加した。下盤の泥岩（メランジュ）では5試料の平均でP波速度は約4.2 km/sから4.6 km/sへ、S波速度は約2.0 km/sから2.3 km/sへ、有効圧に応じて増加した。上盤が下盤よりも弾性波速度が速いという逆転現象が見られた。

AVO（Amplitude Variation with Offset）解析を用いて、本結果と室戸沖反射断面における負の極性を持ったデコルマ面（朴その他、2001）（海溝軸から40-45km）の反射係数を比較し、メランジュ中の異常間隙水圧を推定した（図1）。牟岐メランジュの測定結果か

らは上盤を静水圧とし、下盤の流体圧を変化させて、反射係数を見積もった。

その結果、下盤のメランジュ帯の異常間隙流体圧は最大で約50MPa、最低で約15MPa、上記の5km範囲平均で約40MPa程度（異常間隙圧比 0.62）であると推定される。

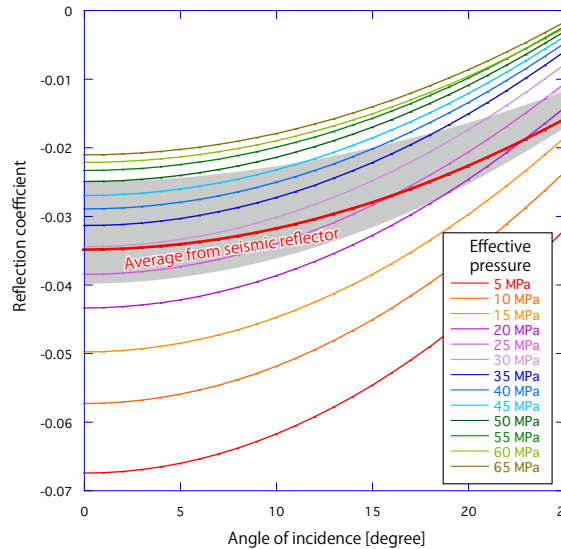


図1 入射角に依存した反射係数を用いた牟岐メランジュ北縁断層試料と室戸沖デコルマの地震反射面の対比。細い線は牟岐メランジュ北縁断層試料から推定された値で、メランジュ帯の有効圧ごとに示す。グレーのハッチは室戸沖地震波断面から得られた、可能性のある最大範囲、赤線は海溝軸から40-45km範囲の平均値を示す。

## Walkaround VSP から推定された地震波異方性：断層周辺の応力モニタリングへ向けた試み

辻 健 京都大学 大学院工学研究科

IODP Exp.319では、熊野海盆の中心部に位置する掘削孔C0009において、二船式VSP探査を実施した（図1）。ここではWalkaround VSP探査で得られたデータから地震波異方性を計算し、応力場を推定した結果を紹介する。熊野海盆の直下には南海地震の震源域が存在し、その周辺の応力状態を調べることは重要と考えられる。

Walkaround VSP探査では、海底下907~1135 mの範囲に16レベルの3成分地震計アレイを設置し、その掘削孔を中心とした半径3.5 kmの円周上でエアガンによる発振を行った。P波速度異方性を推定した結果、発震点が孔井に対して135° および315° 方向にあるときにP波速度は速くなり、それと直交する（速度の遅い）方向に比べて約110m/sの速度差があった。またP波の振幅が最大になる方向や、S波偏向異方性の主軸も、P波速度の速い方向とほぼ一致した。これらの異方性情報を応力測定の結果（Lin et al., 2010, GRL）と比較すると、我々が求めた弾性波異方性は最大水平応力方向と整合的であることが分かった（図2）。

掘削孔周辺が静水圧状態であると仮定すると、速度検層で得られたP波速度の鉛直勾配から、P波速度と鉛直有効応力の関係を推定することができる。この関

係を水平方向の速度変化にも適用できるとすれば、Walkaround VSPから推定されたP波速度差から、水平差応力の大きさを約2.2 MPaと見積もることができる。水圧破碎実験からVSPの受震点以浅での最小水平応力と鉛直応力の差は数MPa程度であることが推定されていることから、水平最大応力と鉛直応力は同程度であることが分かった。

これらの結果から、地震探査を継続的に実施し、異方性情報の時間変化を推定すれば、地震断層の応力をモニタリングできることが示された。

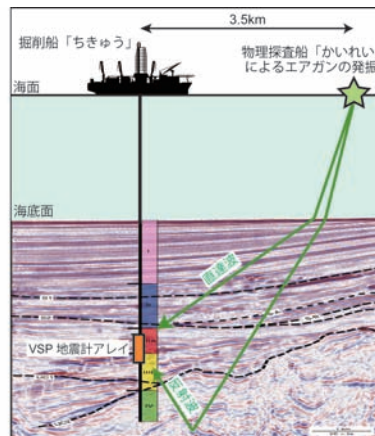


図1 Walkaround VSPの模式図。発振点を緑星印で、VSP受振器を橙色で示す。

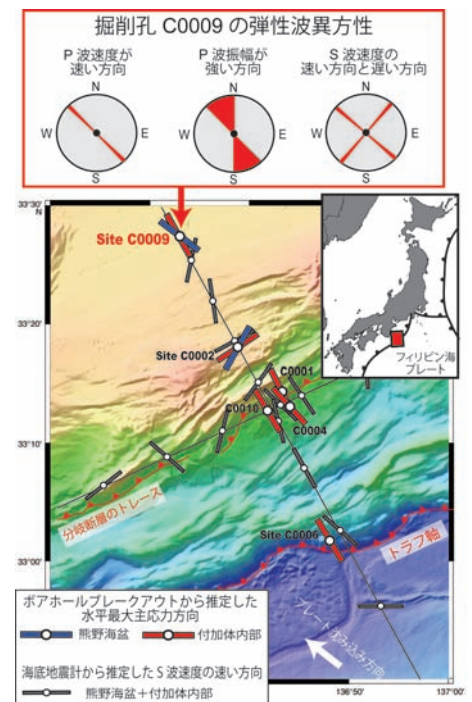


図2 掘削孔C0009で実施されたWalkaround VSP探査によって推定された弾性波異方性（図上）。ポアホールブレイクアウトから推定された水平最大主応力方向（Lin et al., 2010, GRL）と、海底地震計のデータによって推定されたS波速度が速い方向（Tsuji et al., 2011, Geophysics）と整合的である。

## 日本海溝の巨大海底地すべりの痕跡

川村 喜一郎<sup>1</sup>・佐々木 智之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>公益財団法人深田地質研究所

<sup>2</sup>海洋技術開発株式会社

海底地すべりは、直接的、間接的に人類の脅威となる自然災害を引き起こす。海底ケーブルを切断しインターネット社会を寸断させるばかりでなく、津波の波源となり得る自然現象である。そして何より恐ろしいのは、海の奥底で誰にも気づかれることなく発生する点にある。

海底地すべりによる人間社会への被害の実例は多い。1946年4月1日に発生したアリユーション地震では、地震波から求められたマグニチュードが $M_s = 7.1$ であったのに対し、津波から求められたマグニチュードが $M_t = 9.3$ と、地震規模と津波規模とがかけ離れていた。さらに、新しい海底地すべり地形が後の調査で明らかになり、この津波は巨大海底地すべりによって引き起こされた可能性がFryer et al. (2004; Marine Geology)に

よって指摘されている。近年、台湾では、2006年のピンタン地震によって引き起こされた海底地すべりなどによって多くの海底ケーブルが切断されたことがHsu (2008; Terr. Atmos. Ocean. Sci.)で指摘されている。このほかにも数多くの実例が報告されている。

そのような海底地すべりの痕跡は、日本周辺の海底に数多く見られ、我々は「海底地盤変動学」として、その発生メカニズムや進行プロセスについて研究している。日本周辺の海底地すべりは、地震と関係して発生することが指摘されており、地震後の調査では海底から巻き上げられた堆積物による濁りも観察されている。そのような地震誘発型の海底地すべりを調べることにより、日本周辺での地震の歴史を明らかにすることができる可

能性がある。このような意味でも、海底地盤変動学は、日本の海洋ジオハザードの防災、減災の観点から重要な研究分野であることがわかる。

日本海溝の海溝陸側斜面には、多数の凹地が存在する。その中には円弧状や馬蹄形の形態を有して、海底地すべりによる斜面の崩壊に起因すると考えられる構造があり、最大幅が数十kmに達するものもある。このような過去の海底地すべりで生じたとみられる地形には、滑り残っていると解釈できるものがあり、将来、内部やその周辺が再活動する可能性もある(図1)。このような「まだ滑りきっていないように見える地形」が地震によってどのように変動するのか、そしてその変動は予測可能なものか、「海底地盤変動学」の課題は多い。

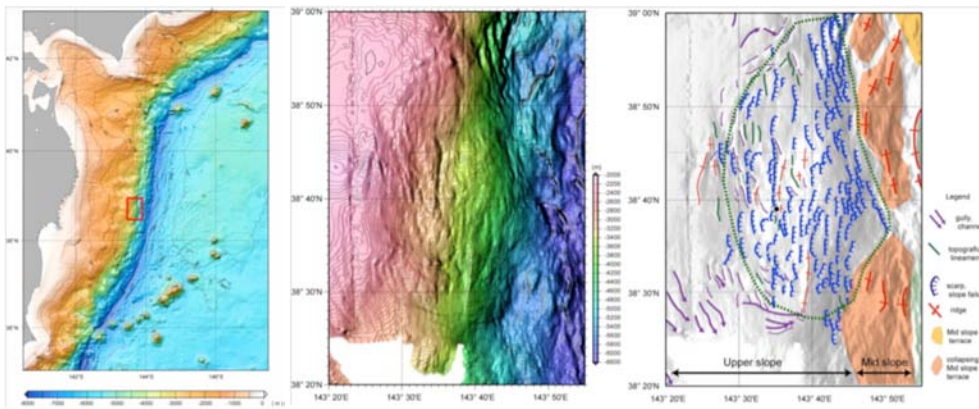


図1 日本海溝の海底地形とその解釈(佐々木, 2003; 博士論文原図)。中央は左の拡大図: 図版中心付近に海底地すべりのような地形が見られる。右は中央の解釈図: 緑破線で囲まれた領域が海底地すべりと考えられる領域で、その内部には青線で示す多くの崖地形が見られる。

## 中新世における四国海盆の半遠洋性堆積速度

成瀬 元 千葉大学 大学院理学研究科

中新世における西南日本島弧発達史には未解明な点が多い。これまでの研究から、日本海拡大・フィリピン海プレートの沈み込み開始・南海トラフ付加体の形成開始が中期中新世(~15Ma)に集中していることは明らかになっている。しかしながら、中期中新世から後期中新世にかけて(15-10Ma)の堆積岩はすべて侵食作用によって陸域から失われているため、この時期の西南日本の地史に関する地質記録はほとんど残されていない。

そのため、我々は南海トラフの沖合に位置する四国海盆堆積物の層序・堆積相を調査し、そこから西南日本島弧地史に関する何らかのシグナルを読み取ることを試みた(図1)。

結果として、四国海盆では中期中新世後期に半遠洋性泥岩の堆積速度が突然変化していることが明らかになった。半遠洋性泥岩は深海盆へほぼ一定の速度で堆積することが一般的だが、四国海盆では、11Maを境として半遠洋性堆積速度が半減している(図2)。この現象は、IODP Sites C0011 & C0012を初めとして、これまで四国海盆で掘削されたすべてのDSDP&ODPサイトで検出され

た。すなわち、この時期には四国海盆全域への堆積物供給速度が半減したということがわかる。

この四国海盆における突然の堆積速度変化は、西南日本島弧における何らかのテクトニックイベントに対応している可能性がある。後期中新世(11Ma)は、熊野酸性岩を初めとする西南日本島弧の異常な前弧火成活動が終息した時期に近い。また、フィッシュントラック熱年代

学は西南日本の付加体が後期中新世に急激に上昇した可能性を示唆している。これらの西南日本前弧域におけるテクトニックイベントの終息は、火山岩・付加体の剝削作用の減少をもたらしたはずである。今後、四国海盆の層序は、これまで謎であった西南日本島弧のテクトニックイベントの検出へ向けて重要な研究対象となるだろう。

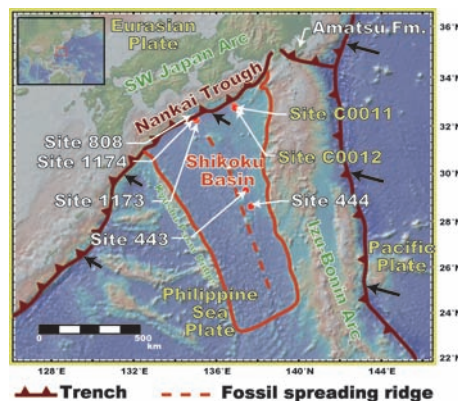


図1 四国海盆と既存DSDP, ODP, IODP掘削サイトの位置。

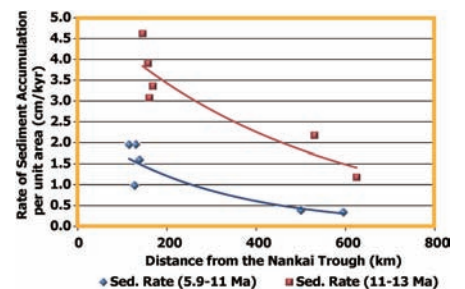


図2 四国海盆における半遠洋性泥堆積速度の時空間変化。各地点の古位置はKimura et al. (2005, GSA Bull.)に基づいて復元した。南海トラフから遠ざかると半遠洋性堆積速度は減少する。さらに、どのサイトでも、11-13Maの平均堆積速度と比較して5.9-11Maの堆積速度はおおよそ半減している。

分岐断層物質の摩擦速度依存性と変形組織

堤 昭人 京都大学大学院理学系研究科

我々は、紀伊半島沖南海トラフ付加体中に発達する巨大分岐断層 (splay fault) 浅部から採取された断層物質 (IODP\_EXP316\_Site C0004, Hole D) について、幅広いすべり速度条件における摩擦の性質を明らかにすることを目的とした摩擦実験をおこなっている。この研究では、特にすべり速度が 1 m/s を超えるような高速に達する手前の条件 (~100 mm/s) における分岐断層物質の摩擦の性質を明らかにしたい。これまでの実験によって、南海掘削で得られた粘土質断層試料中には、有効垂直応力 < 5MPa、総

断層すべり量 ~500 mm、含水条件下において、低速から数 10 mm/s のすべり速度で摩擦が正の速度依存性を示す試料と負の速度依存性を示す試料の存在することが明らかになってきた。実験後の断層試料の解析にもとづいて、摩擦が負の速度依存性を示す試料の特徴も抽出されつつある。例えば、正の速度依存性を示す試料には、一様に分散した剪断変形組織が発達するのに対して、負の速度依存性を示す試料においては、断層に平行に近い剪断面が多数発達する様子が認められる (図 1)。

南海トラフのような、付加体形成を伴う沈み込み帯に発達する断層の摩擦の性質は、比較的浅い領域については、正の速度依存性 (velocity strengthening) を示すものと考えられてきた。すなわち、付加体浅部の断層は非地震性の性質を示すものであろうととらえられていたのである。今回の実験で明らかになってきた分岐断層物質の摩擦の性質は、付加体浅部における断層の不安定すべりの発生機構を議論する上で重要である。

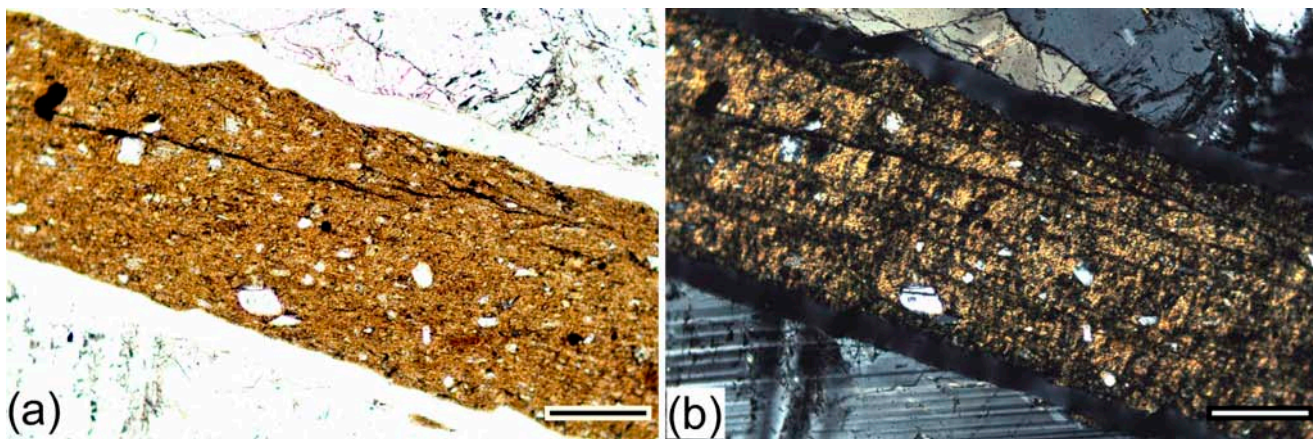


図1 0.03-30 mm/s のすべり速度において、すべり速度急変前後における定常摩擦の値が負の速度依存性を示す分岐断層試料の摩擦実験後の薄片写真。スケールは0.2 mm。(a): オープンニコル、(b): 直交ニコル。

岩塩の剪断変形実験に基づく脆性 - 延性遷移領域における断層構成則の定式化

野田 博之 カリフォルニア工科大学

岩石変形は、比較的浅部・高速では摩擦の性質 (剪断抵抗は垂直応力にほぼ比例、脆性変形) を示し、比較的深部・低速では流動的性質 (剪断抵抗は垂直応力にほぼ依存しない、延性変形) を示す。近年、観測網の発達により多様な断層運動 (スロースリップイベント、非火山性微動、低周波地震等) が明らかになり、また地質学的研究からはシュドタキライトとマイロナイトの変形の繰り返し証の証拠が発見されている。断層の個性 (内陸断層、沈み込み帯プレート境界の違い) に関する議論は必要であるが、地震発生の下限以深の挙動を理解する為には、延性領域及び脆性・延性遷移領域における断層構成則の定式化が重要であると考えられる。

脆性領域での構成則に関しては、既に数種類の速度・状態依存摩擦構成則が提唱されているが、延性領域にある断層に対して同様の構成則が確立されておらず、延性遷移領域の構成則を研究する上でのエンドメンバー

が理解されていない状態であった。本研究では岩塩を用いた延性領域での 2 軸剪断変形試験 (図 1 中挿入図) を行い、試験機の載荷点速度をステップ状に変化させる事により、延性領域での構成則 (剪断抵抗の変化を記述する微分方程式) の定式化を行った。

本研究で用いられた実験条件において、延性領域の定常剪断抵抗はべき乗則

で良く説明できる (図 1)。歪速度の急変時には剪断抵抗が急変するが、その変化は定常状態におけるべき乗則で予言されるよりも少ない。その後、一定の剪断歪を特徴的なスケールとして剪断抵抗が定常状態に向けて漸近する。

以上の様な延性領域における構成則に基づき、今後、室内実験、ひいては天然の断層での遷移領域の構成則の研究が進展する事が期待される。

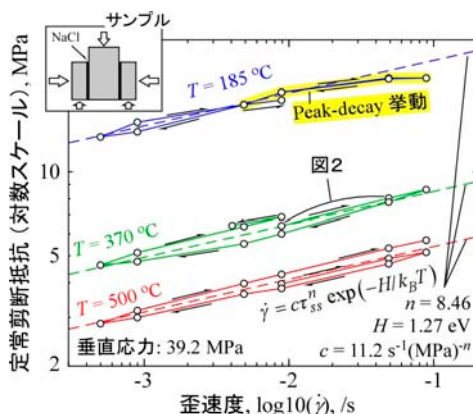


図1 岩塩の定常剪断抵抗

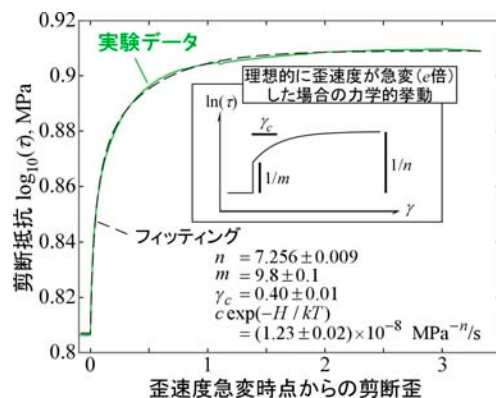
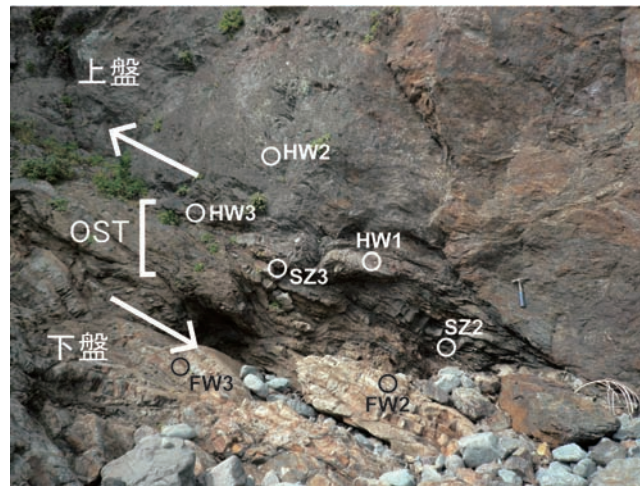
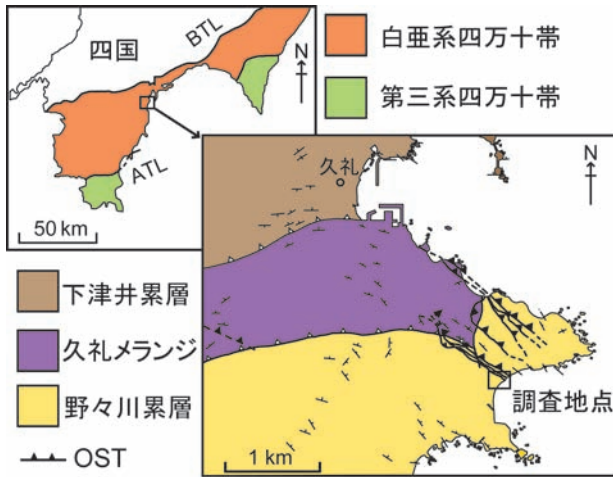


図2 歪速度急変時の剪断抵抗の変化

## 地震時高温・高圧下における岩石 - 水作用

廣野 哲朗 大阪大学大学院理学研究科

巨大地震断層の滑りメカニズムの解明にあたり、断層が記憶している温度情報は重要な情報である。そこで、南海トラフの巨大分岐断層の陸上アナログとして、四国白亜系付加地質体が発達する分岐断層（図下）を対象に微量元素・同位体分析を実施し、その断層が350度以上の高温流体の発生および摩擦溶解を履歴していることを明らかにした。さらに、地震時の高温・高圧下における岩石-水作用を実証的に精査するために水熱合成装置（最大温度1000℃、最大封圧200MPa）を新規に導入し、その立ち上げを実施した（図右）。



## 地震に伴う酸化還元状態の変化を示すアンケライト脈

山口 飛鳥 東京大学大学院理学系研究科

NanTroSEIZE Stage3で掘削予定の南海トラフ熊野沖分岐断層の陸上アナログと考えられているのが、宮崎県の四万十帯延岡衝上断層である。ここでは、海岸沿いの海食台に全面露頭が広がり、厚さ100mを超える剪断帯がほとんど完全な形で観察可能である（Kondo et al., 2005）。ほか、付加体で3例目のシュードタキライトが発見されている（Okamoto et al., 2006）。延岡衝上断層の剪断帯を特徴づけるのは、母岩の角礫を多く含む茶褐色の鉱物脈である（図1）。剪断割れ目を充填するこの脈は、炭酸塩鉱物の一種であるアンケライト  $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$  からなり、四国四万十帯興津メランジのシュードタキライト産出断層などでもその存在が知られていた（Ikesawa et al., 2003）が、その成因は謎のままであった。筆者らは、このアンケライト脈の詳細な元素マッピングおよび微量元素分析を行い、結晶成長とともに2価のFeが減少すること、および強い正のEu異常を持つことを明らかにした。周囲の開口割れ目を充填する鉱物脈は通常の方解石からなっており、Fe組成累帯構造・Eu正異常ともに見られない

ことから、このアンケライト脈は、断層すべり時に流体が一時的に強還元的になり、その後徐々に酸化的環境に戻っていく過程で形成されたことを示唆している（図2）。流体が断層すべり時に還元されるメカニズムにはいくつかの可能性があるが、Kita et al. (1982) や Kameda et al. (2003) の岩石実験で示されたように、地震に伴う岩石の破壊表面積の急増をもたらすラジカル反応による水素発生が機能しているのかもしれない。詳細は Yamaguchi et al. (2011) を参照されたい。

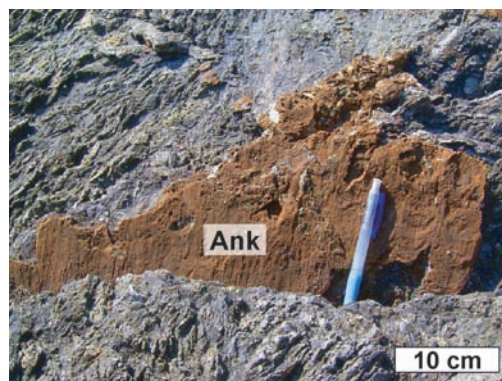


図1 延岡衝上断層下盤剪断帯におけるアンケライト脈の代表的産状

延岡市は全国トップクラスの日照時間数を誇り、露頭観察も雨に濡れることが少ない。芋焼酎に地鶏もも焼き、チキン南蛮、そして甘めの醤油で食べる地魚が美味。

文献：Ikesawa et al. (2003) *Geology* 31, 637-640; Kameda et al. (2003) *Geophys. Res. Lett.* 30, 2063; Kita et al. (1982) *J. Geophys. Res.* 87, 10789-10795; Kondo et al. (2005) *Tectonics* 24, TC6008; Okamoto et al. (2006) *e-Earth* 1, 23-28; Yamaguchi et al. (2011) *Earth Planet. Sci. Lett.* 302, 369-377.

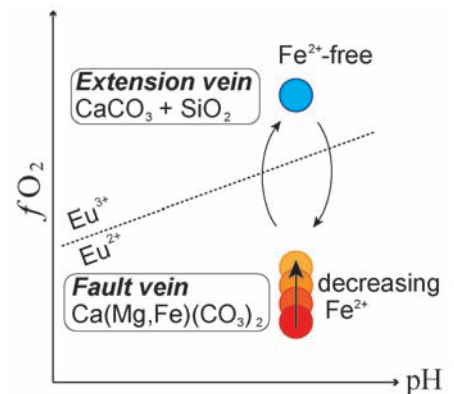


図2 剪断割れ目を充填する脈が還元的条件で沈殿したことを示す模式図

## 南海トラフにおける長期孔内観測システムの展開

荒木 英一郎<sup>1</sup>・木村 俊則<sup>2</sup>・北田 数也<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト

<sup>2</sup> 海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域

南海トラフ熊野灘では、100-150年の間隔でプレート境界型のマグニチュード8クラスの巨大地震が繰り返し発生している。この巨大地震の発生メカニズムを理解するためには、震源域付近で進行している地震準備過程における応力・間隙水圧・温度等の物性の変動・状態を長期間にわたり精度よく把握することが重要であるが、通常の陸上・海底面での観測では、観測対象からの距離、あるいは測定環境等の問題があり、震源域の変動を直接反映した高精度の観測データを得ることは難しい。そこで、我々はより観測対象に近く、安定した環境での長期間観測の実現に向けて、震源域付近の海底下に孔を掘削後、震源断層近傍の地殻変動、孔内原位置の間隙水圧、温度変化等を測定する各種センサーを孔内に設置し、それらの観測データを連続的に取得するための「長期孔内観測システム」の開発・設置を進めている。

2010年10～12月に実施されたIODP332次航海では、地球深部探査船「ちきゅう」により海底下約1kmまで掘削されたC0002孔(図1)内に南海トラフでは初となる長期孔内観測地点の設置に成功した(図2)。設置した長期孔内観測地点は体積歪計・傾斜計・広帯域地震計・強震

計・間隙水圧計・温度計アレイ等のセンサーで構成されている。これらのセンサーは、広帯域、高ダイナミックレンジの測定性能を持つと同時に、設置時の強潮流下でのVIV(Vortex Induced Vibration)による強振動環境にも耐えられるよう、耐振動構造を取り入れて開発を実施した

ものである。今後、計3地点の孔内観測地点を震源域をまたぐように展開、海底ケーブル観測網に接続し、南海トラフの海底面に設置が進んでいる海底地震・津波観測ネットワーク(DONET)とあわせて、リアルタイムの監視・観測体勢を整えていく予定である。

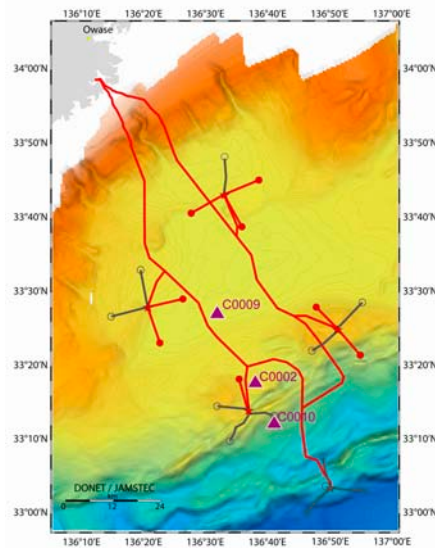


図1 DONET観測網(赤線)と孔内観測点(三角)

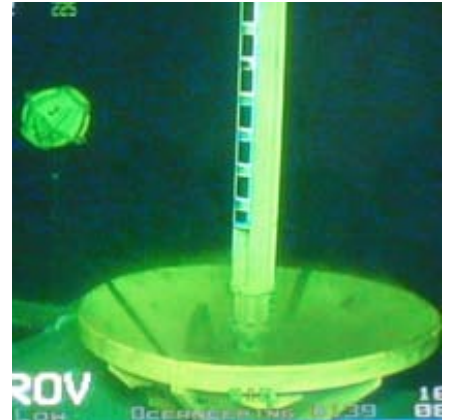


図2 孔内センサー設置作業状況

## Stress variation in the vicinity of active faults

Hung-Yu Wu

KANAME Post-doc researcher at IFREE/JMASTEC

My research so far has been focused on the stress analysis in Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project (TCDP). The marked changes in the breakout orientation, which we observed from image logs, show the local stress anomaly in the vicinity of the fault. Using the dislocation model we built for Chelungpu fault, the stress state before and after the earthquake can be estimated and compared with the logging data.

In the NanTroSEIZE project, I would like to focus on the stress analysis in the vicinity of the subduction zone faults through logging data analyses. Evaluation of logging data, such as velocity, density, gamma ray and S-wave splitting, enables us to estimate physical properties of sedimentary formation, which provides necessary information on the stress analysis. The plan will start in illustrating the stress profile in each borehole in the Kumano basin using these physical properties collected from borehole logging. The advantage of this method is that in-situ logging data can be directly applied to estimate the local stress state near the fault zone (Fig. 1).

This method can be applied to carry out the stress variations in the deeper part, with careful investigation of 3D seismic reflection data. These constraints help us to infer the shear stress drop along the whole fault plane.

The comprehensive data sets in NanTroSEIZE drilling projects can constrain and solve the puzzle of physical properties and stress state in the vicinity of the active fault in the Nankai Trough region.

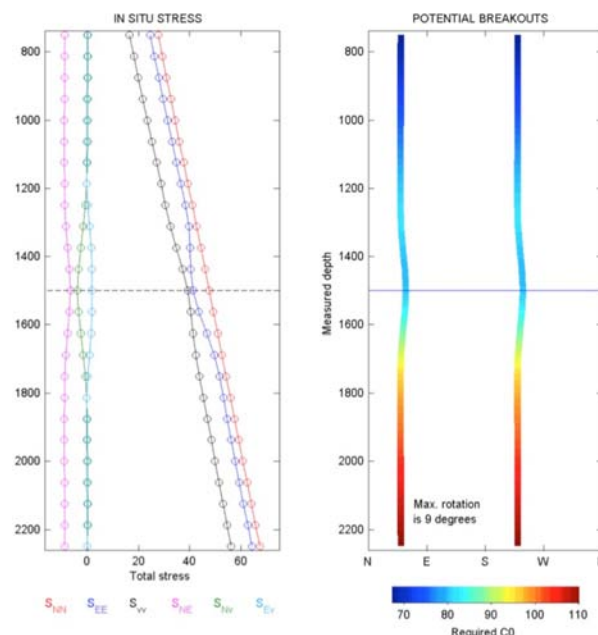


Fig 1. Breakout dislocation simulation for the possible initial horizontal principal stress before the fault rupture at 1500m depth (blue and dashed lines). (Left) Stress tensor after the fault slip. (Right) Simulated breakout rotation amount due to the stress disturbances.

## フィリピン海プレートは裂けている

井出 哲 東京大学 大学院理学系研究科

日本列島の下に沈み込んでいるフィリピン海プレートはどんな形をしているか？この長年の問題に対し、最近の観測の進歩は、その激しく変形した形を徐々に明らかにしてきた。今回我々はフィリピン海プレート周辺の地震や低周波地震の震源位置とメカニズム解、および防災科学技術研究所高感度地震観測網を利用して詳細に決定されたレシーバー関数をよく観察し、近畿地方と中国・四国地方の間でプレートが断裂しているという結論にたどり着いた（参考文献参照）。過去500万年くらいのプレート運動方向の変化と断裂線の存在を仮定してプレートの弾性変形を考えると、現在のように激しく変形したフィリピン海プレートの形状がほぼ説明できる。またこの断裂線は近畿地方西部に顕著な地下水中のヘリウム同位体比の異常とも対応し、この線に沿った地下深部からの流体の上昇を示唆する。従ってプレート変形に対応した火山フロントの移動履歴とこの断裂線によって地下流体が効率よく上昇する範囲が推定できる。そしてこの範囲は1995年の兵庫県南部地震をはじめとする内陸の地震活動が特によく起きている地域を表す。内陸地震のリスク評価には、これら

上昇する地下流体を考慮する必要があり、海溝型巨大地震の震源モデルにこのプレート形状を取り込むことも重要である。またこの断裂は大阪湾の沈降など最近数百万年の地形形成にも関与している可能性が高い。このように断裂したフィ

リピン海プレートの形状は西日本の地震・テクトニクスを考える上で今後重要になる可能性が高い。

参考文献：Ide, Shiomi, Mochizuki, Tonegawa, & Kimura, Geophys. Res. Lett., 2010.

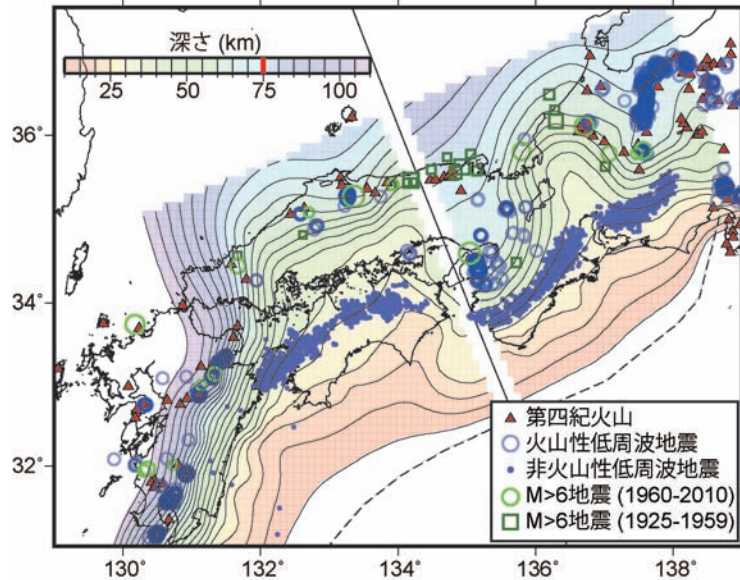


図1 裂けているフィリピン海プレートと地震および火山の分布

## ゆっくり地震とふつうの地震の微妙な関係

安藤 亮輔 産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター

南海トラフ沈み込み帯などでは、浅部（概ね10km以浅）と浅部（概ね30km前後）ではゆっくり地震が発生しており、その中間の深さではふつうの（高速の）地震が発生している。筆者は、そのような発生様式の違いが、どのような断層の物理特性に由来しているのかを、シミュレーションなどを用い研究している。

断層面の摩擦や流動の特性は、面上で不均質分布すると考えられている。特に、低周波微動がスロースリップに同期する観測事実は、スルーと比較的速く滑る脆性領域とダラダラとゆっくり滑る塑性領域が混在していることを示唆している。我々はこのような

「脆性・塑性混合型」不均質構造の定量的違いが、両者の違いを作ると予想している。

この不均質構造は、塑性的背景領域に脆性的パッチが分布している点がある（図1）。このパッチの分布に依存して、破壊の仕方が変化することが数値計算で確認された。図2は、時刻Tで断層が破壊し滑る様子を示す。パッチの間隔が(a)で広く(b)で狭く設定してあるが、(a)の方が破壊の伝わる速度が遅い。速度や、滑り量の分布にも違いがあり、それぞれ、ゆっくり、ふつうの

地震の特徴を再現している（参考文献参照）。不均質構造は、大地震の発生する深さ領域にも存在している。観測と物理モデルの比較検討を進め、地震の多様性の実体に迫りたい。

参考文献：Ando, Nakata, & Hori, Geophys. Res. Lett., 2010; Nakata, Ando, Hori & Ide, J. of Geophys. Res. (submitted), 2010.



図1 プレート境界断層面の模式図

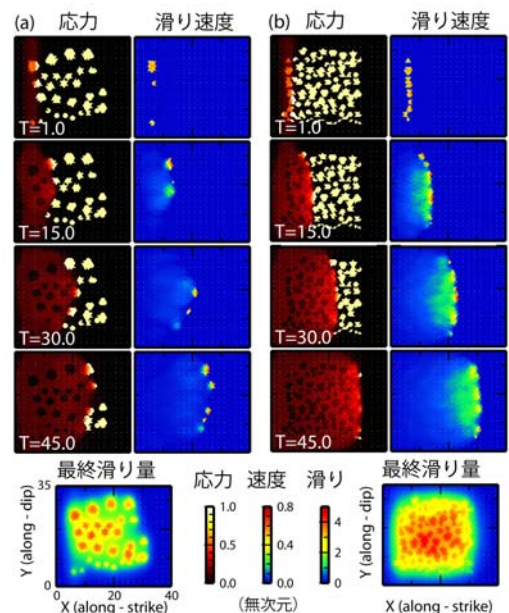


図2 破壊伝播の様子（時間変化）



平成22年度研究集会にて

## 活動報告

### 昨年度後半の活動

- 2010年9月18日～20日(富山大学)  
日本地質学会第117年学術大会  
- 2010年富山大会
- 2010年9月26日～28日(沖縄・宮古島)  
C02班研究集会
- 2010年10月22日(プレス発表)  
統合国際深海掘削計画(IODP)第332次  
研究航海の開始について  
～南海トラフ地震発生帯掘削計画ステ  
ージ2 ライザーレス掘削による長期孔内  
観測装置の設置～
- 2010年10月27日～29日(広島国際会  
議場)  
日本地震学会2010年秋季大会
- 2010年11月1日～2日(東京大学大気  
海洋研究所)  
南海トラフ海溝型巨大地震の新しい  
描像-大局的構造と海底面変動の理解  
(A01、A02班合同集会)
- 2010年12月13日～17日(アメリカ・サン  
フランシスコ)  
AGU 2010 Fall Meeting
- 2010年12月13日(プレス発表)  
インプットサイト掘削-2および熱流量の  
測定～(IODP)第332次研究航海の終了  
について  
～長期孔内観測装置の設置に成功～
- 2010年12月13日(プレス発表)  
統合国際深海掘削計画(IODP)第333次  
研究航海の開始について～南海トラフ  
地震発生帯掘削計画ステージ2
- 2011年1月(プレス発表)  
統合国際深海掘削計画(IODP)第333次  
研究航海の終了について  
～南海トラフ地震発生帯掘削計画ステ  
ージ2インプットサイト掘削-2および熱  
流量の測定～
- 2011年3月(沖縄)  
KANAME 平成22年度研究集会

### これからの活動予定

- 2011年5月22日～27日(千葉・幕張)  
日本地球惑星科学連合2011年大会
- 2011年5月22日～27日(千葉・幕張)  
新学術領域研究「超深度海溝掘削  
(KANAME)」展示ブース
- 2011年8月8日～12日(台北)  
Asia Oceania Geoscience Society 8th  
Annual Meeting
- 2011年8月  
C02班台湾巡検
- 2011年9月9日～11日(茨城大学)  
日本地質学会第118年学術大会・日本鉱  
物科学会合同学術大会(水戸大会)
- 2011年10月12日～14日(静岡・グラン  
シップ)  
日本地震学会2011年度秋季大会
- 2011年10月24日～26日(京都大学)  
第5回国際海底地すべりシンポジウム  
(5th International Symposium on  
Submarine Mass Movements and  
Their Consequences: ISSMMTC-5)
- 2011年12月5日～9日(アメリカ・サンフ  
ランシスコ)  
AGU 2010 Fall Meeting
- 2012年3月6日～9日(高知)  
KANAME国際研究集会および巡検

IGCP the 5th International Symposium

Submarine Mass Movements and  
Their Consequences京都  
KYOTO参加登録受け付け中：<http://www.landslide.jp/>

## 研究集会開催報告 2011年3月7日～8日、沖縄

去る2011年3月7日～8日の2日間、新学術領域研究「超深度海溝掘削」の平成22年度研究集会が沖縄で開催され、70名の研究者・大学院生が参加する盛大な研究集会となりました。

集会では、6つの計画研究班の分担者・連携研究者による43件の最新の研究成果についての口頭発表が行われ、活発な議論が展開されました。また、両日とも約2時間のポスターセッションを設け、研究分担者・連携研究者以外の大学院生や若手研究者らによる21件のポスター発表が行われました。総合討論では今年度

の研究成果の総括と今後の研究方針を確認し、領域代表者の挨拶により閉会となりました。

研究集会の前日の3月6日には、約50名が参加して沖縄北部の四万十付加体の地質巡検を行いました。氏家恒太郎氏の案内のもと、巡検に馴染みのない研究者もダイナミックな露頭に圧倒され、付加体地質の理解を深めました。また露頭を前に断層周辺の変形構造について活発な議論が行われました。



### 表紙写真説明

#### ■ 上段

簡単なモデル実験を行うことで、プレート沈み込みに伴って形成される付加体を再現することができる。最近、デジタル画像解析技術が進化したことによって、実験で形成された個々の断層について、どの部分がいつどのように活動するのか、可視化できるようになった。それによると、断層活動は想像以上に複雑で、複数の断層が相互に影響しながら活動することで、全体としての付加体構造を作っている。解析結果の寒色部分は右ずれ方向、暖色部分は左ずれ方向のせん断運動で、写真撮影時にはこれらが断層として活動中であったことを示している。

写真：山田 泰広（京都大学）

#### ■ 下段

沖縄本島四万十付加体に発達する褶曲・スラスト（左図）と曲げスリップ・曲げ剪断作用により形成された褶曲（右図）。これらの地質構造は、プレート沈み込みに伴って海溝を充填していたタービダイト層がはぎ取られて陸側プレートに付加した際に形成されたものである。沖縄本島北東部に分布する始新統嘉陽層には、反射法地震探査断面や付加体アナログ実験で認められるような褶曲やスラストが海岸沿いに好露出しており、付加体断面を直に観察することができる。

写真：氏家 恒太郎（筑波大学）

## 「市民講座、中高校の特別授業、サイエンスカフェ等へ講師を派遣します」

本KANAMEプロジェクトでは、市民講座、中高校の特別授業、各種講演会、サイエンスカフェ等に研究メンバーを派遣して海溝型巨大地震の解説と最新の研究成果の紹介を行います。対象は、一般の方、中高校生、大学生・大学院生と幅広く対応いたします。講師派遣は無料です。申し込みは以下のサイトからお願いします。

■ URL: <http://www-solid.eps.su.u-tokyo.ac.jp/nantro~/>

#### ■ 領域代表者

木村 学  
東京大学大学院理学系研究科  
地球惑星科学専攻  
〒113-0033  
東京都文京区本郷7-3-1 理学部1号館  
Tel 03-5841-4510 Fax 03-5841-8378  
E-mail: gaku@eps.s.u-tokyo.ac.jp

#### ■ 新学術領域「KANAME」事務局

齋藤 実篤  
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  
〒237-0061  
神奈川県横須賀市夏島町2-15  
Tel 046-867-9330 Fax 046-867-9315  
E-mail: nantro-kaken-info@jamstec.go.jp

平成23年5月発行