



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	公募研究成果報告	8-11	国際研究集会	14-16
南海掘削現状	1	トピック	12	招待講演概要	
研究成果報告	2-7	国際研究集会報告	12	活動報告	17

緒言

領域代表 木村 学

昨年度は、東北地方太平洋沖地震の余震が続く中で、多くの研究が実施されました。本領域でも、この巨大地震・津波に関わる研究は、目的と大きく一致すると判断し、新たな研究対象として位置づけ取り組んできました。また、国際統合深海掘削計画 (IODP)においては、日本海溝の地震津波発生域に直接掘削を施し、そのすべりメカニズムの解明をめざす緊急プログラム (J-FAST)が、今まさに実施中です。本領域に参加する研究者の多くが乗船研究者として参加、その解明に取り組んでおります。



9月に実施された本領域中間評価では、「期待以上の成果が挙げている」と高い評価を受ける事ができました。参加していただいている研究者の皆様の方の努力の結果と感謝申し上げますと同時に、本領域研究を支援、協力いただいている多くの皆様に深謝申し上げます。

2月末から3月はじめに高知にて実施したKANAME国際研究集会には世界中から多くの研究者に参加していただき、熱い議論が交わされました。再開を約束し、それまでに多くの前進を果たそうと成功のうちに散会しました。

本年度、IODPは、更に、コスタリカ沖中米海溝、そして南海トラフにおいても地震・津波発生メカニズムの解明をめざして掘削が実施されます。いわば沈み込み帯掘削年ともいえる体制となっております。南海トラフにおいては、いよいよプレート境界断層掘削をめざして、ライザー掘削が本格的に開始されます。これらにも本領域に参加する多くの研究者が乗船することになっております。本領域は、残すところ2年となり、いよいよ領域の目的を達成するための最大の山場となります。

私たちは、本領域の目的達成に向けて全力を尽くす所存です。皆様の引き続きご協力とご支援をお願いする次第です。

南海掘削の現状 2012年4月現在

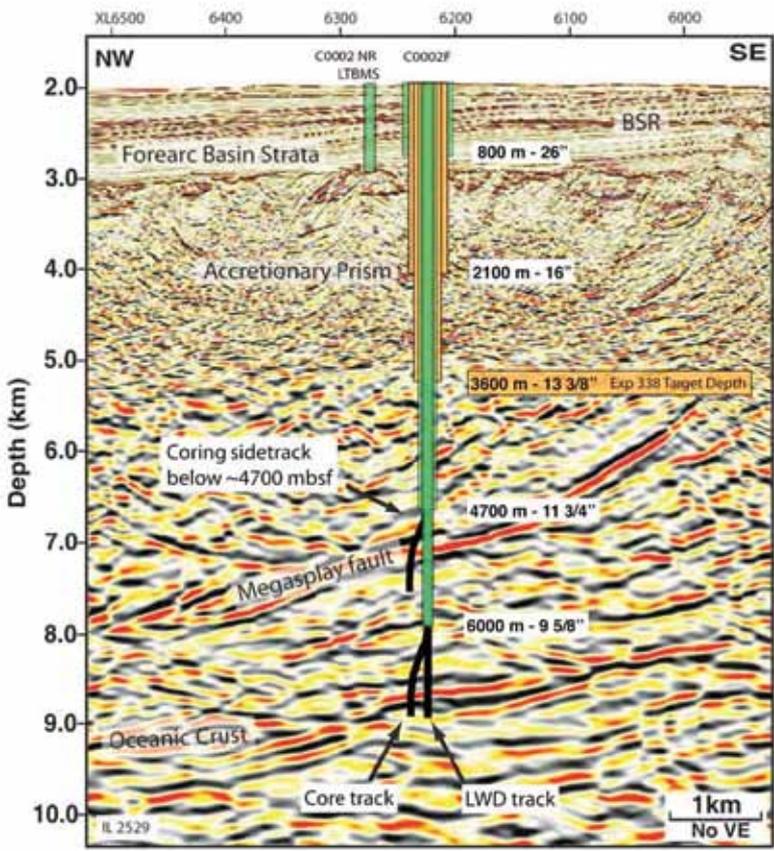
地球深部探査船「ちきゅう」による南海トラフ地震発生帯掘削が2007年から開始され、これまで熊野海盆から断層浅部、四国海盆まで13地点で掘削が行われています。昨年度は3.11東北地方太平洋沖地震による「ちきゅう」スラスト脱落事故のために、南海掘削は行われず、今年度以降に延期されました。

一方、2010年度に熊野海盆南端のC0002地点の孔内に設置された、第一孔内観測所の完成に向けて、無人潜水船によりデータ取得装置・バッテリーを搬送しました。その際に試験的に接続した結果、すべてのセンサーは良好な状態であることが確認できました。今年度中にはDONETケーブルへの接続を視野に入れて準備を進めています。

今年度は、9月下旬から2013年1月まで100日強、「ちきゅう」によるライザー掘削が予定されています。4名の首席研究者のうち1名は総括班の金川さんです。C0002地点のライザー孔は現在約900mまで孔が完成しており、今回は3600mまで掘り進める予定です。孔内検層・泥水検層・カッティングスを連続して取得し、スポットでコア試料を採取する予定です。

来年度は引き続きライザー掘削を継続、海底下5000mの地震発生断層(分岐断層)に到達する予定です。

(文責：KANAME総括班 木下正高)



IODP Expedition 338 fact sheetより

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. 東北地方太平洋沖地震源域の反射法地震探査

東北地方太平洋沖地震の震源域(宮城沖)における反射法地震探査を実施した。海底地形調査等の結果から東北地震ではプレート境界に沿って断層滑りが海溝軸直近まで達したことが示唆されているが、このことと反射断面に見られる構造の特徴は整合的である。さらに、宮城沖の海溝軸部近傍において高分解能反射法地震探査を実施し、海溝軸直近においては海洋プレート上の堆積物が逆断層によって変形している様子が確認された(図1)。これらのデータはIODPによる東北地震断層緊急掘削の掘削候補地点選定に貢献した。

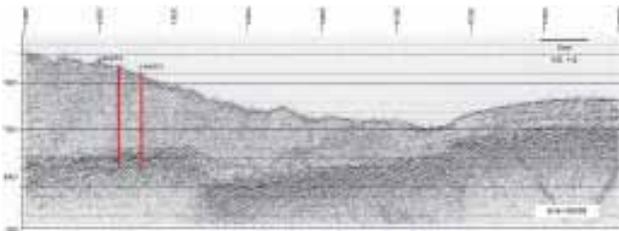


図1 宮城沖日本海溝の反射法地震探査断面図

2. 熊野海盆の地質構造解析

南海古期付加体の挙動を求めべく、熊野海盆の地質構造解析を実施した(図2)。その結果、顕著な広域不整合(>1 Ma)を境に、それ以降、周辺の造構運動とともに急激な堆積が進行し、泥火山の活動が始まったことが分かった。また同時期には、海側から伝搬する古期付加体のブロック運動があった。さらに、数十万年前を境にして、熊野海盆はほとんど変形しておらず、外縁隆起帯の発達休止とともに、熊野海盆は現在静穏期である可能性が示された。

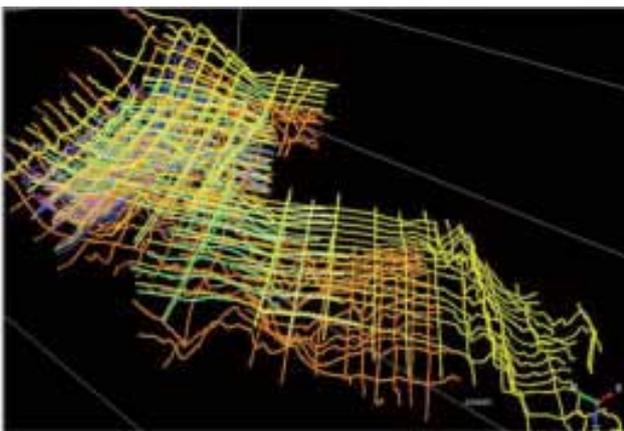


図2 二次元地震探査記録のVoxel化による三次元的構造解釈図

3. 弾性波速度とビトリナイト反射率の相関

高知県白亜系四十万帯西土佐湾における地図スケールの弾性波速度の分布を検討し、先行研究によるビトリナイト反射率(およそ150~230°Cの範囲)との相関を検討したところ、砂岩は相関がなく、泥岩は強く相関した。これは地震発生帯浅部において、砂岩と泥岩の続成過程がまったく異なることを示しており、物性のコントラストが岩相に強く依存していることを示唆する。

4. 分岐断層の三次元曲率分布解析

分岐断層の三次元形態から詳細な走向傾斜パターンと曲率分布を解析し(図3)、断層帯上限層準と下限層準を追跡することで断層帯の厚さ分布を得た。さらに断層帯上限層準での三次元アコースティック・インピーダンス(AI)分布を算出した。これらは、解析領域内での分岐断層が複雑な三次元形態を示すこと、東側地域で厚さが増すこと、東側地域で低AI領域が見られることなどを示している。この成果は東側地域での断層活動性が高いことと整合的である。

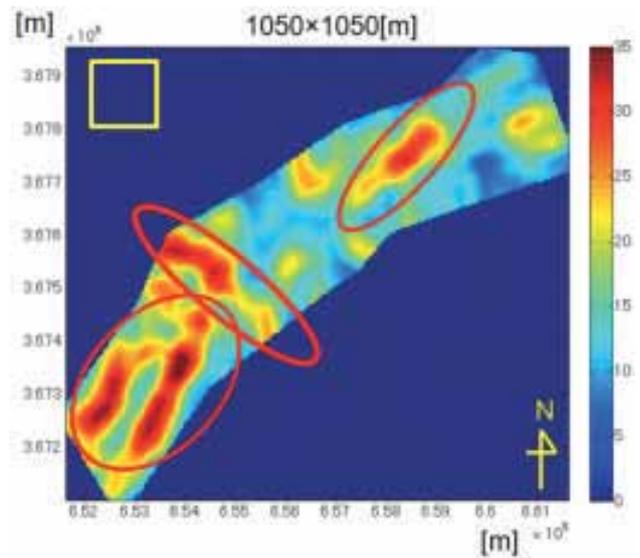


図3 断層帯上限層準での曲率分布(三箇所の曲率異常)

5. 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によって得られたコア試料の分析データを統合し、紀伊半島沖の四国海盆に分布する火山物質の供給源を特定した。14 Ma以降に熊野酸性岩類からの火山物質の供給が、7-8 Maには伊豆小笠原背弧域もしくは伊豆衝突帯からの火山物質の供給が開始したことが判明した。榎野崎海丘を構成する玄武岩の特徴、その上位に堆積する地層の年代、反射波断面の解釈から、中新世以降の榎野崎海丘の隆起過程が復元された。比較研究としてコスタリカ沖の掘削航海に参加し、検層データの解析によって浸食型沈み込み帯の応力状態に関して新知見を得た。

6. 南海トラフ非地震性すべり面の挙動

南海トラフで沈み込む堆積物と非地震性すべり面(デコルマ)形成の関連性を解明するため、南海トラフで広域的に取得された既存の反射法地震探査データを対象に再解釈を行った。その結果、3種類のタービダイト層が新たに確認され、火山灰層や火山碎屑物層と共にこれらの堆積物の沈み込みがデコルマの形成に関与していることが明らかになった。また、南海トラフに沿ったデコルマの反射極性が負と正の繰り返しを示しており、デコルマの形成に流体移動が密接に関係していることが示唆される。

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. 熊野沖の熱流量分布と流体湧出による高熱流量

熊野沖において通常の熱流量測定と長期温度計測の結果、およびBSR深度から求めた熱流量分布（図1）に基づいて、プレート境界面の摩擦発熱量を推定した（Hamamoto et al., 2011）。また、分岐断層による断層崖周辺では、前年に引き続き高密度の熱流量測定を行った（図1）。海底地形の影響により、崖の上側に比べて下側で相対的に高い値が得られたが、崖の基部では特に高い熱流量が測定された。崖の基部では湧水活動を示唆する生物群集が観察されており、局所的な高熱流量は断層に沿った流体湧出によるとみられる。

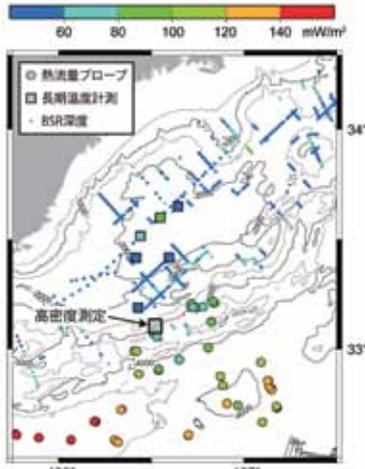


図1 熊野沖の熱流量分布と高密度測定を実施した地域

2. 表層堆積物の間隙率変化と強度の獲得

海底地すべりによる津波防災のためには斜面の安定性を評価する必要がある。一般に海底堆積物は表層より深度方向に強度が増すが、必ずしも間隙率の低下によらないことが熊野沖の様々な地点の堆積物の間隙率と剪断強度のデータから明らかになった。図2は剪断強度と間隙率に対応する比抵抗データをプロットしたもので、斜面域の値（B）はその他（A）に比べて間隙率の減少に対する剪断強度の増加の割合が小さい。これは間隙率の低下と堆積物の剪断強度が一義的に決まらないことを意味する。図2の□と■は堆積物の組織を破壊する再構成試験前後の値である。赤線Cは堆積物の間隙率低下に伴う剪断強度の増加を示し、これより高い値は粘土鉱物など微細な組織の発達による剪断強度の増加によるものと解釈される。斜面の堆積物が他より剪断強度が低いのは、定常的な剪断応力もしくは剪断すべりによって組織発達が阻害されているためであるとみられる。固結メカニズムの解明には、より詳細な組織観察などが必要であるが、本データは堆積物強度が環境により多様であり、斜面安定性評価のためには実際の観測データの蓄積が必須であることを示している。

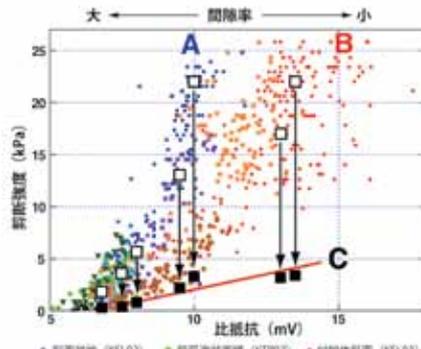


図2 剪断強度と間隙率の関係。間隙率は比抵抗（図では船上測定値のまま表示）から推定したもので、値が大きくなるほど間隙率が小さい。赤系統（B）は斜面の堆積物。青系統（A）はそれ以外の堆積物。黒四角は両系統の堆積物の再構成試験の結果を示す。再構成試験により剪断強度は急低下し（矢印）、堆積環境に関係なく同じトレンド（C）となる。

3. 2011年東北地震／津波で形成されたタービダイト

海域の地震による海底斜面の崩壊や土砂輸送によりタービダイトが堆積する。タービダイトの堆積年代を決定することで過去の地震発生を推定することができる。しかし、形成されるタービダイトは場所によって多様であり、地震毎にどのようなタービダイトがどこに形成されたかを理解することが重要である。2011年東北地方太平洋沖地震後の海底調査から広範囲でのタービダイトの堆積が明らかとなった。仙台沖の試料では地震動により変形した堆積層の上にタービダイトが堆積している（図3）。タービダイト砂層は2層認められ、複数回の土砂輸送の存在を示唆する。

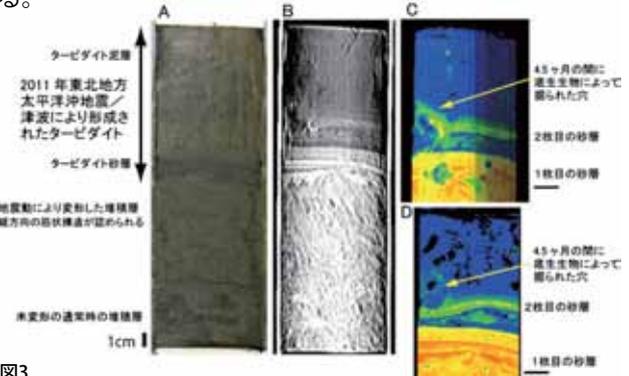


図3 仙台沖の表層堆積物試料の断面写真(A)、X線CT透過画像(B)、三次元X線CT画像(C)とそれから再構築した断面画像(D)。地震動により変形した堆積物を削ってタービダイトが堆積している。タービダイト砂層は2枚存在し2回の混濁流の発生を示す。また、2枚目の砂層は底生生物の巣穴によって一部が乱されており、試料採取の7月30日には底生生物が戻ったことを示す。

4. 日本海溝陸側斜面先端の変形

東北地方太平洋沖地震の発生をうけて地震前に取得された海溝陸側斜面の反射法地震探査記録を再解析した結果（Tsuji et al., 2011）、陸側に緩傾斜した複数の反射面とともに高角度で陸側に傾斜した明瞭な正断層の存在が明らかとなった（図4）。巨大な津波の発生や地震の記録から陸側斜面先端部が沖側に大きく変動した可能性が推定できる。また、場所により大規模な海底地すべりを伴い（Kawamura et al., 2011）、構造はより複雑となっている。

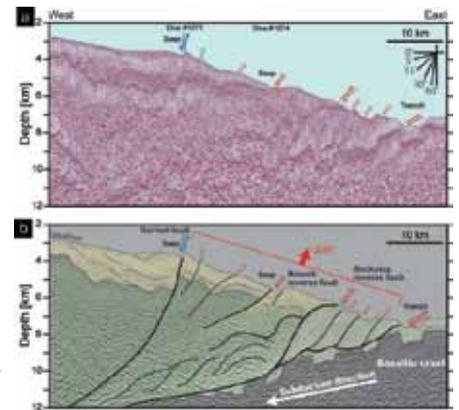


図4 三陸沖日本海溝の反射法地震探査断面とその解釈図（Tsuji et al., 2011）

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. 付加体浅部泥質堆積物試料の低速摩擦特性

掘削地点 C0002 の海底下約1000 mから採取された、タービダイト起源の泥質堆積物 (C0002/B/65R/2) と半遠洋性泥質堆積物 (C0002/B/51R/6) の2試料について、室温、原位置圧力・間隙圧に相当する封圧 36~38 MPa、間隙圧 28~29 MPaの条件の下で、軸方向の変位速度を0.1, 1, 10 $\mu\text{m/s}$ の間でステップ状に変化させて三軸摩擦実験を行った。その結果、タービダイト起源の泥質堆積物試料は摩擦強度が大きく(摩擦係数約0.53)、摩擦強度がほぼ一定の定常すべりの挙動を示し、一方半遠洋性泥質堆積物試料は摩擦強度が小さく(摩擦係数約0.25)すべり軟化の挙動を示した(図1)。両試料ともに変位速度の増加に伴い摩擦強度が増加する速度強化の挙動を示す(図1)が、半遠洋性泥質堆積物試料の方がより顕著な速度強化の挙動を示すことが明らかとなった。両試料のこのような摩擦挙動の違いは、タービダイト起源の泥質堆積物試料が石英・長石の碎屑粒子に富み、一方半遠洋性泥質堆積物が粘土鉱物粒子に富むという、両試料の鉱物構成の相違を反映している。

2. 前縁衝上断層帯試料の中速摩擦特性

掘削地点C0007の前縁衝上断層帯より採取された4試料について、垂直応力1 MPa、含水条件下において、変位速度 25~250 $\mu\text{m/s}$ で変位量 > 150 mmの回転剪断摩擦実験を行い、定常状態における摩擦強度の変位速度依存性を調べた。その結果、全試料が摩擦強度が小さく(摩擦係数約0.2~0.27)速度強化の挙動を示すことが明らかになった(図2)。掘削地点C0004の巨大分岐断層帯試料でも、この速度範囲で速度強化の挙動を示す試料の摩擦強度はほぼ同じであった(Tsutsumi et al., 2011, GRL)。

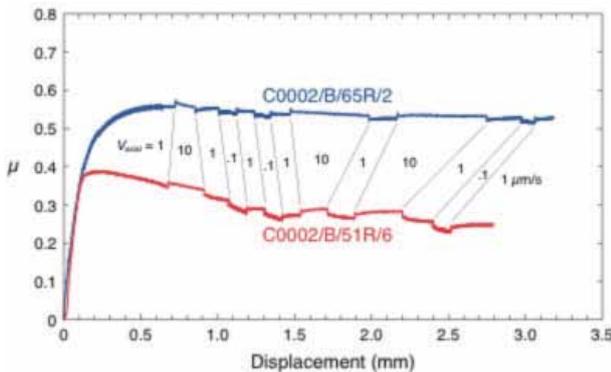


図1 掘削地点C0002から採取された泥質堆積物2試料の摩擦係数-変位量曲線。実験条件は本文参照。

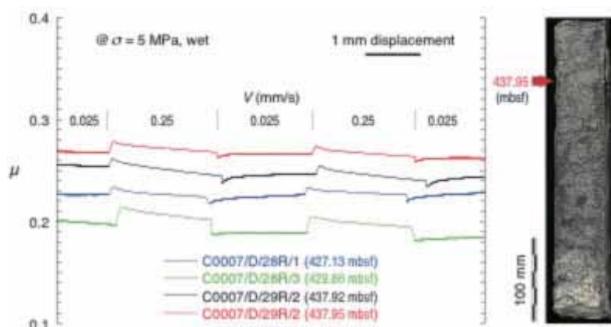


図2 掘削地点C0007の前縁衝上断層帯から採取された試料の、摩擦係数の変位速度依存性。実験条件は本文参照。

3. 加速度の違いによる摩擦の変位速度依存性

掘削地点C0004の泥質堆積物試料を垂直応力 1 MPa、含水条件で回転剪断摩擦実験を行い、変位速度 0.13 mm/sから異なる加速度 (0.13~13 m/s^2) で変位速度を加速させた。加速度が大きいと (>1.3 m/s^2)、変位速度の増加とともに顕著な摩擦のバリア(速度強化)が現れた(図3)。動的な強度低下が起こり始める臨界すべり速度(矢印)も、加速度の上昇とともに大きくなる傾向が認められる

(図3)。この摩擦バリアを乗り越えない限り、大地震に至ることはない。断層の加速度・速度履歴が、沈み込み帯深部で発生した地震性すべりが海底面まで伝播するかどうかを決定する要因の一つである可能性がある。

4. 断層変位による透水性の変化

掘削地点C0004の分岐断層帯と掘削地点C0007の前縁衝上断層帯の試料を用いて、垂直応力 1 MPa、変位速度 0.013, 1.05 m/s の摩擦実験前後の透水係数の変化を測定した。含水条件下では摩擦実験後、断層ガウジの透水係数は減少し、変位速度が小さい場合に透水係数が大きく減少した(図4)。逆に無水条件下では摩擦実験後、断層ガウジの透水係数は増加し、変位速度が大きい場合に透水係数が大きく増加した(図4)。含水条件下では、変位速度が小さいとガウジの細粒化と圧密によって透水性が低下するのに対し、変位速度が大きいと熱加圧によって間隙水圧が増大して圧密が妨げられるため、透水性があまり低下しないと考えられる。一方、無水条件下では間隙の熱膨張によって透水性が増大し、変位速度が大きい場合には熱膨張が大きいためさらに透水性が増大するものと考えられる。

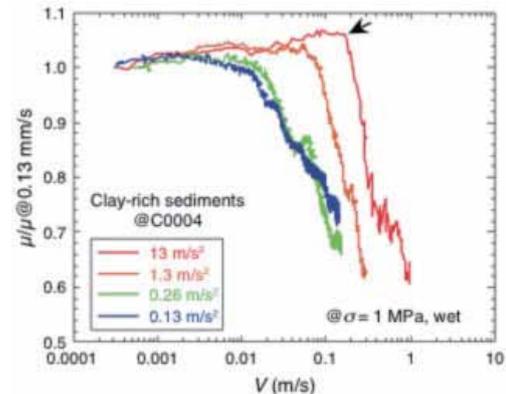


図3 掘削地点C0004の泥質堆積物試料の、加速度による摩擦係数の変位速度依存性の相違。実験条件は本文参照。

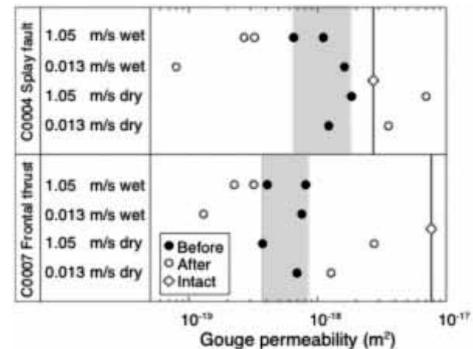


図4 掘削地点C0004とC0007の断層帯試料の、摩擦実験前後の透水係数変化。実験条件は本文参照。

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

目的：断層の変形組織、鉱物学・化学的分析を通して、すべりに伴う諸反応を明らかにし、すべりのメカニズムと破壊伝搬、エネルギー散逸過程を解明する。

1. プレート境界における脱水反応研究

海洋プレート上面の続成作用・脱水作用とプレート境界域の力学的性質や地震発生との関連性に注目して研究を行った。地震発生帯の広い範囲において海洋地殻基盤岩が重要な断層帯構成物質と考えられる。掘削コア試料や陸上付加体中の玄武岩の鉱物分析から、基盤岩中の粘土鉱物の続成作用が地震発生領域における主要な水源となりうることはじめて明らかとなった。また、日本海溝のような古いプレートが沈み込み、かつ冷たい沈み込み帯では、遠洋性堆積物中のシリカ鉱物の続成作用が、地震発生帯上限拘束、および浅部津波発生領域形成において決定的な役割を果たしていることが明らかとなった（図1）。

2. 化石地震断層研究

（化石分岐断層／延岡衝上断層）掘削によって約250mの断層帯が物性データと共に99.8%回収された。上盤と下盤の物性、破壊機構の明瞭なコントラストが明らかとなった。今後、南海分岐断層、プレート境界断層掘削実施に際し、重要な先行試料となると期待される。

（化石分岐断層／久礼メランジュ）四万十付加体久礼地域の化石断層帯は地震時に滑り面で摩擦融解が起こったことが既知である。この断層岩の微量元素組成・同位体組成を

測定、粘土鉱物が選択的に融ける非平衡融解が起こったこと、さらに、それに先行して350℃以上の高温流体-岩石相互作用が生じたことが明らかとなった。

（化石プレート境界断層／興津メランジュ）四万十付加体の興津メランジュ直上断層について、ジルコンFT法を用いた綿密な熱年代分析を行った。その結果、上盤側の断層近傍20m以内では明瞭な加熱帯が断層に沿って広く見いだされ、断層運動に伴って高温の熱水が流れたことが強く示唆される(図2)。

（九州の四万十付加体/玄武岩起源の断層）厚さ1cmに及ぶ粉碎物の流動化の証拠（注入構造と粉碎物の混合化）と厚さ1 mmのウルトラカタクレサイト,そこから伸びるモード1クラックを発見した。モード1クラックの方位は正断層センスの破壊伝播方向を示唆している。

3. 浅部分岐断層および浅部前縁スラストの津波発生性評価

南海トラフ掘削によって得られている、浅部分岐断層および浅部前縁スラストの熱履歴データ、熱物性、水理物性データを基に、シミュレーションを施し、津波発生性を検証した。ただし、前縁スラストに関しては緩傾斜のため、急傾斜断層との連動が必要との結果が得られた。

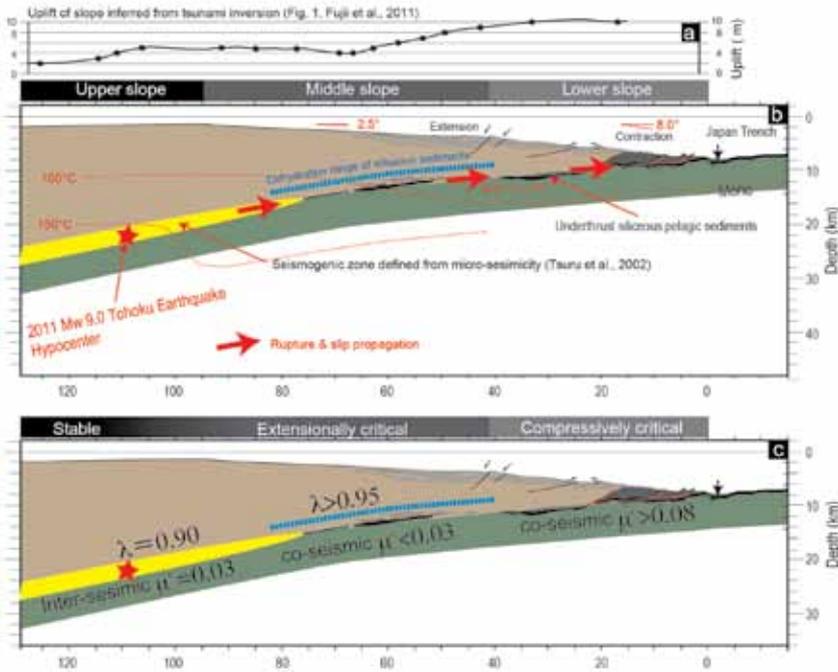


図1 東北地方太平洋沖地震発生域における、ウェッジ形状、温度構造、シリカ・粘土堆積物から見積もった有効摩擦係数と間隙水圧比 (Kimura et al., EPSL in press)

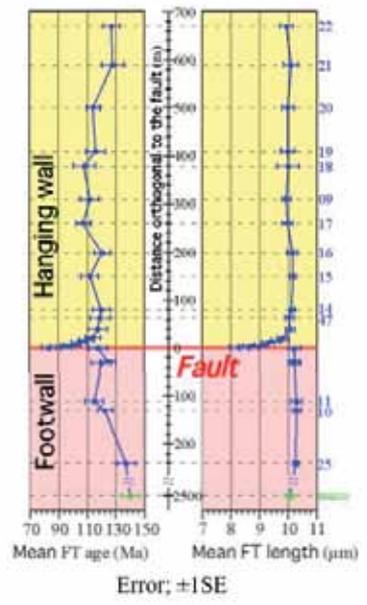


図2 興津メランジュシュードタキライトに伴う熱的記録 (フィッシュトラック長の減少) (Tagami et al., 2012)

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

1. 3.11東北地方太平洋沖地震発生以前の応力場

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震は、海溝型巨大地震として、プレート圧縮による応力場が解放されたと考えられている。ということは、地震の前にはプレート運動による圧縮応力が作用していたはずである。1999年に実施されたODP掘削時に得られた孔内検層データから、当時の水平最大圧縮方位を求めたところ、地震の空白域では圧縮方位がプレート収束方位とほぼ一致することを見出した。3.11地震後の余震がほぼ正断層であることから、この地震時に応力場が劇的に変化したことが示唆された (Lin et al., 2011)。

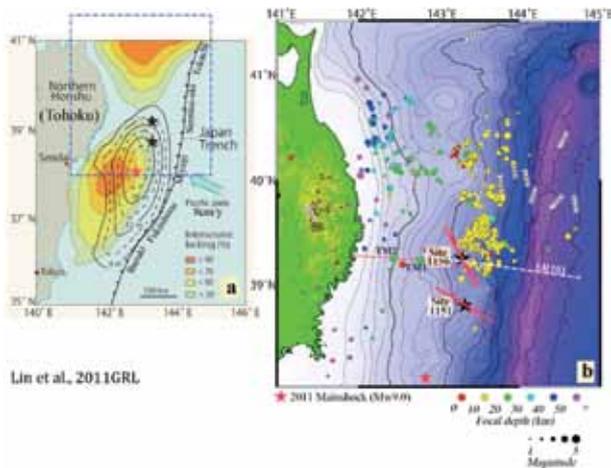


図1 ODPサイト1150/1151の水平最大圧縮応力方位(赤線)

2. コア径測定と現場計測を統合した主応力場計測の試み

地下の応力場を孔内計測で決定するには、孔の不安定性やコンプライアンスが大きすぎる等の問題があり十分な精度が確保されているとは言い難い。それを補う手段として、差応力下で採取されたコア試料が常圧下で弾性的に楕円に変形していた (C0009孔) ことを利用して、現場での差応力を推定することを試みた。実験室での試験の結果、予想される差応力とほぼ一致し、この手法が有効であることが示唆された (T. Ito, 2011)。

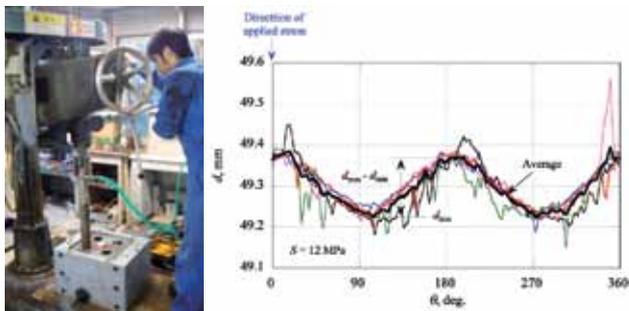


図2 実験室でのコア変形試験(左)と計測結果(右)

3. 現場応力測定装置の開発 (継続)

簡便に操作でき、かつ低コンプライアンスで信頼性の高い水平主応力を求めることができる、水圧破碎法を基本とした装置の開発を継続し、基本設計が完了した。コアとなる技術について、特許の出願を行った。

4. 1回の地震サイクルで蓄えられる最大せん断応力推定

海溝型巨大地震では、100–200年に1回M8級の地震が発生し、その応力降下量は数MPa程度と推定されている。有限要素法により、プレートを一定の力で引っ張り、断層固着域を適当に設定して、その周辺に蓄積される応力場を計算した。その結果、当然であるが固着域のdowndip側でせん断応力が最大となり、ヤング率50GPa、ポアソン比0.25の条件下では3MPa程度となることが分かった。固着域に沿って海側に向かってこのせん断応力は指数関数的に減少し、updip付近ではほとんどゼロ(0.1MPa以下)になることも判明した (Kinoshita and Tobin, 2011AGU)。

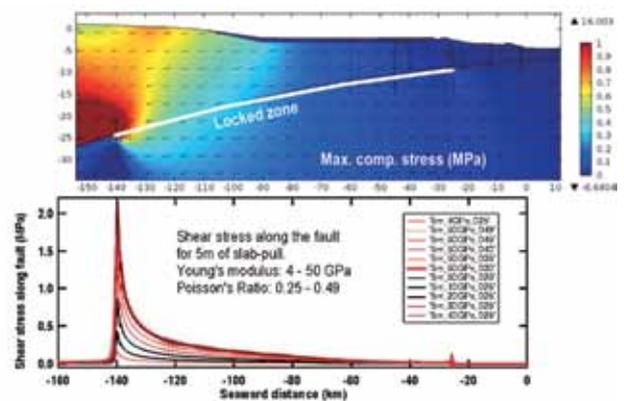


図3 有限要素法による熊野沖固着域上の最大主応力(上)およびせん断応力(下)。沈み込みプレートの陸端を5cm変位させた。

5. 封圧下X線CT計測による現場水理構造推定の試み

断層や岩石中の透水構造を決めるクラック・亀裂などは、現場条件(封圧下)では常圧状態とは全く異なる予想される。現在では、回収されたコア試料を船上(常圧)でCTイメージを取得しているが、試料を耐圧容器に入れて加圧状態でCT測定を目標として、CTを透過する耐圧容器(コアホルダー)の開発を行い、特許を出願した。

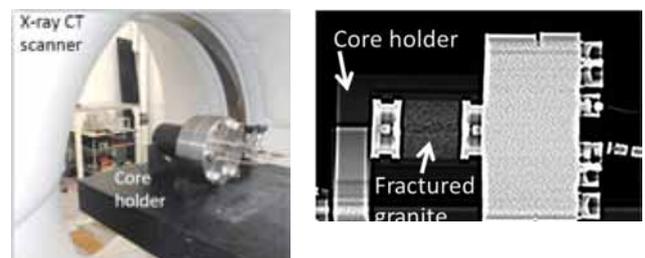


図4 CTスキャン中のコアホルダー(封圧状態)に入れた試料

6. 現場圧力下での熱伝導率計測

付加体斜面上の斜面堆積物試料(C0001サイト)の試料を現場圧力まで加圧した状態で、熱伝導率を測定した。乾燥・湿潤どちらの状態でも値が圧力とともに値が増加することが分かった(海底下1km相当では7%、3km相当では20%) (Lin et al., 2011)。

C02：海溝型巨大地震の準備・発生過程のモデル構築

C02モデル班は(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、に分けてモデル研究を推進中である。各項目より一つのトピックを紹介する。

1. 自発的デコルマ形成モデル

沈み込み帯浅部で堆積物から付加体が形成されるプロセスを粒子モデルで表現した。底面も含め全て同じ摩擦法則、弾性を持つ粒子で堆積物を表現し、それを左端を固定した状態で底面の運動によって右から左へ移動させる(図1)。変形するにつれ、堆積物中には等方的な圧縮場が生まれ、変形しにくくなる一方、底面近くではせん断変形の局在化が起きる。せん断変形がさらに進むとダイラタンシーによって自発的に強度低下が起き、デコルマが形成される。従来は沈み込み以前からデコルマのような構造を仮定するモデルが多かったが、このモデルではあらかじめ均質な状態からデコルマの形成過程をモデル化することに成功した点が画期的である。(Hori and Sakaguchi, 2011, GJI)

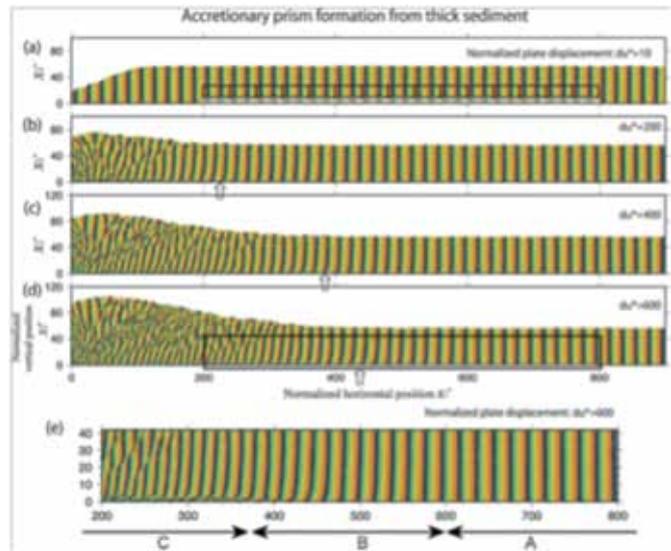


図1 粒子モデルで表現した付加体とデコルマの形成過程

2. 東北地方太平洋沖地震の破壊過程

経験的グリーン関数法を用いて東北地方太平洋沖地震の震源での破壊すべり進展過程を推定した。この地震は①数秒の初期破壊、②40秒までの深部高周波破壊、③60秒頃の高周波近傍の巨大すべり、④100秒頃の深部高周波破壊という4つのステージを持つ(図2)。このすべり進展の様子、地震波エネルギーに見られる顕著な方位依存性、地震直後に発生した低角正断層の地震、などは海溝近傍の破壊によって過剰すべりが生じたことを示唆している。海溝近傍とプレート境界深部での摩擦特性または破壊エネルギーの違いが、このように複雑な破壊の伝播と深部と浅部で異なる地震波周波数特性を生み出したと考えられる。(Ide et al., 2011, Science)

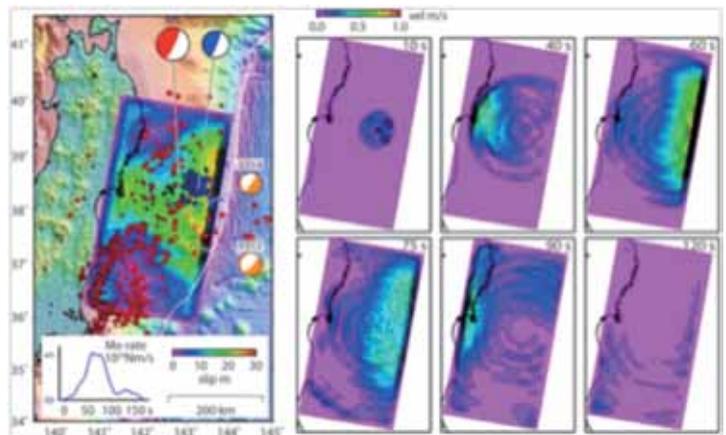


図2 東北地方太平洋沖地震の破壊過程。すべり分布(左)と6時刻のすべり速度スナップショット(右)

東北地方太平洋沖地震については他にも、前震から本震にいたる地震活動の広がり分析(Ando and Imanishi, 2011, EPS)、海底での圧力測定の結果から海溝近傍で局所的に大きなすべりが発生したという証拠(Ito et al., 2011, GRL)など興味深い研究成果が生まれている。

3. 巨大地震発生の地震サイクルシミュレーション

沈み込み帯における巨大地震発生サイクルを2つの状態変数を持つ速度状態依存摩擦法則を用いた準静的シミュレーションで再現した。東北沖での実際のプレート形状を取り入れ、プレート境界の一部ではすべり速度弱体化、残りの部分ではすべり速度強化が起きるような空間的な摩擦法則の不均質を考える。プレート運動による長年の歪み蓄積の結果、プレート境界深部ではM7.5の地震が数十年おきに発生する。これらの地震発生時にはプレート境界浅部は破壊せず、その代わりに約900年に一度、M9の巨大地震として破壊する。このモデルはなぜ一つの沈み込み帯であるときはM7級の地震が発生し、また他の時にはM9の超巨大地震が発生するのかという疑問に対する答えを提供する。(Shibazaki et al., 2011, GRL)

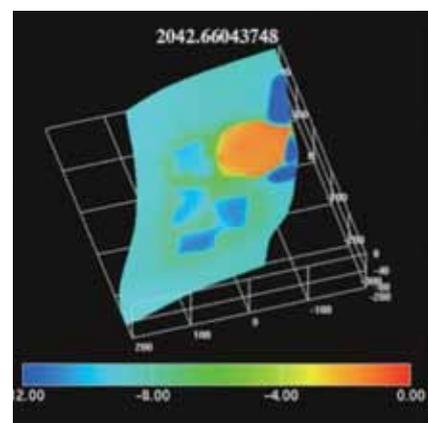


図3 数値シミュレーションにおける巨大地震発生の瞬間。プレート境界面形状に沿ってすべり速度(対数)を表す。

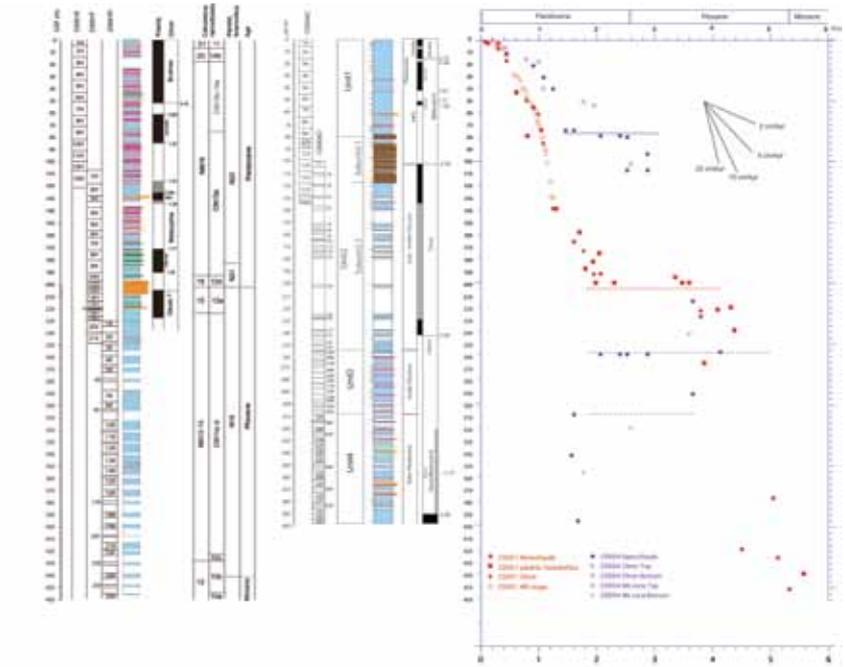
南海トラフ地域の標準年代モデルの構築とそれを利用した構造変形史の解明

西 弘嗣 東北大学総合学術博物館

IODP Exp. 315のC0001、C0002およびExp. 316航海のC0004のコア試料を用いて、後期中新世から後期更新世まで過去5 Maの年代モデルと底生有孔虫化石群集を解析した。C0001コアでは、表層から130 mまでの区間が、MIS7からMIS38の期間に相当し、200 m付近に不整合が存在し、下底は後期中新世に至る。C0002コアは、石灰質ナノ化石より、0.065 Maから1.04 Maの時代を示す。C0004コアはUnit 1とUnit 4、Unit 2とUnit 3が同じ年代を示し、地層が何度も繰り返している。

底生有孔虫化石に関しては、C0001、C0002、C0004の465試料から101属267種の有孔虫を同定し、群集組成からC0001を10つの化石帯、C0002を4つの化石帯、C0004を5つの化石帯に区分した。その結果、C0001およびC0002は連続的に堆積しているが、C0004は、やはり断層により分断され、数回繰り返していることが、底生有孔虫の群集からも支持される。

C0001のUnit 1 (斜面部)における古水深は、2.0Ma前後に1000~2000 mで、時代が新しくなるにつれて徐々に深化し、0.2 Ma前後には2000~3000 m



に達したと推定される。C0001のUnit 2の付加体の部分では、群集から3500 m以深で堆積したと考えられる。

図1 IODP Expedition 315における年代モデル。微化石年代、古地磁気のデータは主にProceeding of the IODP, vol. 314/315/316 (publications.iodp.org/proceedings/314_315_316/314315316bib.htm.)の結果を引用し、酸素同位体比曲線と対比し、修正した。

3 Ma 周辺における四国海盆の半遠洋性堆積速度の急変

成瀬 元 京都大学 大学院理学研究科

中新世から現世にかけての時代は、西南日本島弧にとって激動の時期であった。なかでも、鮮新世後期から更新世(1-5 Ma)にかけて起こったとされるフィリピン海プレートの運動方向の変化、そしてそれとほぼ同時に開始された西南日本島弧の急激な隆起は、現在の日本列島のテクトニクスを支配する重要な地史イベントである。これらのイベントは、はたして同時に起こったのだろうか？同時に起こったとしても、それはいつの出来事なのだろうか？これは日本列島のテクトニックフレームワークを考えるうえで根本的な問いであるにも関わらず、物的証拠に基づいた確実な議論は乏しいのが現状である。その理由は、中新世から現世にかけての連続的な地質学的記録が陸上に存在しないことにある。中新世の西南日本前弧域の多くは陸化しており、直接的な地史イベント情報の多くは削剥され、地層としては残されていない。また、3Ma 前後の時期には、西南日本に分布する前弧海盆の層序の多くが不整合となっており、やはり地質学的記録が欠けているのである。

そこで、我々は西南日本前弧テクトニクスについて情報を得るため、連続層序が保存されている四国海盆の堆積物を調べることにした(図1)。結果として、

堆積相解析により半遠洋性とイベント性堆積作用を分離したところ、はっきりとした地史イベントのシグナルが発見された(図2)。四国海盆の DSDP、ODP、IODP による掘削コア試料の分析結果から、1地点を除くすべてのサイトにおいて、3 Ma 前後で半遠洋性堆積速度が倍増していることが発見された。何らかの理由で四国海盆への堆積物供給速度が増加したことは明らかである。一方、タービダイトの堆積速度および堆積頻度も増加していることが分かった。

半遠洋性堆積速度の増加原因は、西南日本島弧の隆起速度変化に求めることが最も妥当であろう。すなわち、西南日本島弧の隆起速度は3Ma ごろに変化したということになる。もちろん、堆積物供給量の変化には他にもさまざまな要因が

考えられるが、粘土鉱物組成や半遠洋性堆積速度の空間分布は、堆積物の供給源が西南日本外帯の堆積岩・変成岩であったことを示唆している。今後は、より詳細な組成解析などから隆起速度変化とプレート運動方向変化の成因的な関連について理解を進めていきたい。

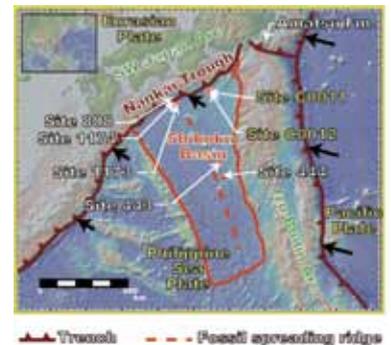


図1 (上) 四国海盆と既存DSDP、ODP、IODP掘削サイトの位置。

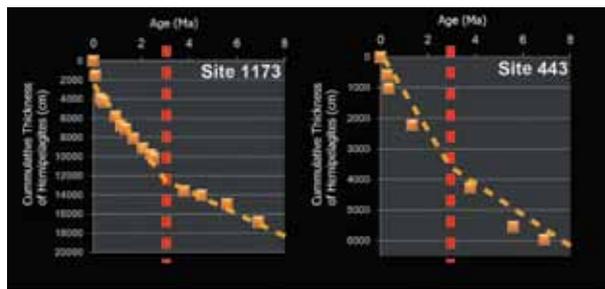


図2 (左) ODP サイト1173 および DSDP サイト443における半遠洋性泥堆積速度の変化。約500 km 離れているにも関わらず、どちらも3 Maで堆積速度が急変している。

熊野沖陸側斜面における海底斜面崩壊プロセスの解明

金松 敏也 海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域

本課題では地震発生帯の“海底地すべりプロセス”の理解を深める目的で熊野沖南海トラフ陸側斜面の海底地すべりを研究した。熊野沖南海トラフでは分岐断層付近に海底地すべりの崩落崖が顕著に発達しており海底地すべりの発生が分岐断層の活動となんらかの関係があると推測されるが、その実体は明らかにされていない。IODP Exp. 333で掘削された海底地すべり層の輸送過程をさらに詳細に調べるため、「かいこう7000II」による調査、NSSによる白鳳丸の調査を海底地すべり滑落崖が発達する斜面において行った。「かいこう7000II」の調査ではC0018の直上の最も新しいと考えられる馬蹄形をした海底地すべり痕において調査を行った(図1)。海底地すべり側方滑落崖は10-20m程度の比高があり、その分の堆積層が崩壊していると考えられる(0.26km³のボリュームが見積もられる)。しかし滑落崖は10m程度の厚い泥に覆われ崩壊は最近起ったのではなさそうである。海底崖頂部の堆積層の深度5cm以下の剪断強度は地すべり痕内部の堆積層に比べると著しく高く、崩壊とともに表層堆積物が削剥された事が伺え、剪断強度が変化する直上の地層の年代が地すべりの起った年代である可能性が高い。

NSSを使った白鳳丸の調査では地すべり層の海底下イメージから地すべり層の供給方向の復元を試みた。C0018で掘削された最上部の地すべり層(図1、右の柱状図MD1)は掘削地点で海底下1mにあった。NSSの高解像度サブボトムプロファイラーでそのイメージを追跡し供給源を探った。その結果、地すべり

層の削り込みと見られる構造が北北東から南南東にあり、地すべり層MTD1は北北東から供給されたと推定される。この方向は別途「ちきゅう」で採取したコアの構造解析から見積もられた方向と整合的であり、今後このようなアプローチにより海底地すべりの時空間的な発達が明らかになる事が期待できる。

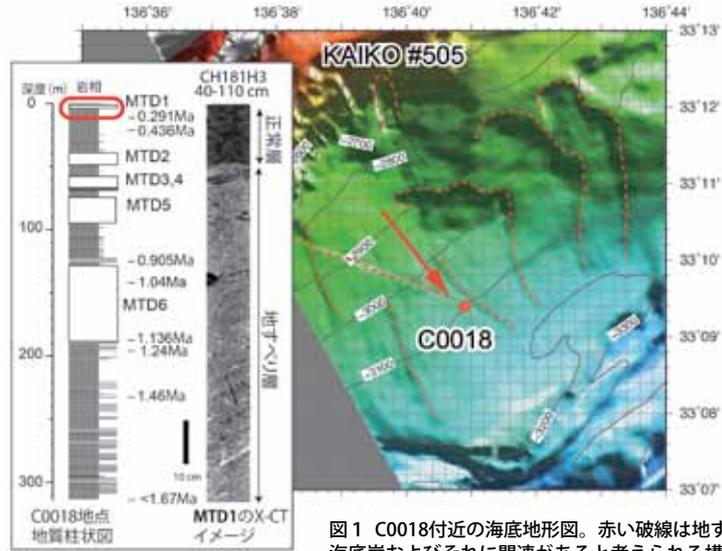


図1 C0018付近の海底地形図。赤い破線は地すべり海底崖およびそれに関連があると考えられる構造。赤い矢印はNSSサブボトムプロファイラーより解釈されたMTD1層の供給方向。

過去と現在、深部と浅部の分岐断層で起こる地震時の化学反応

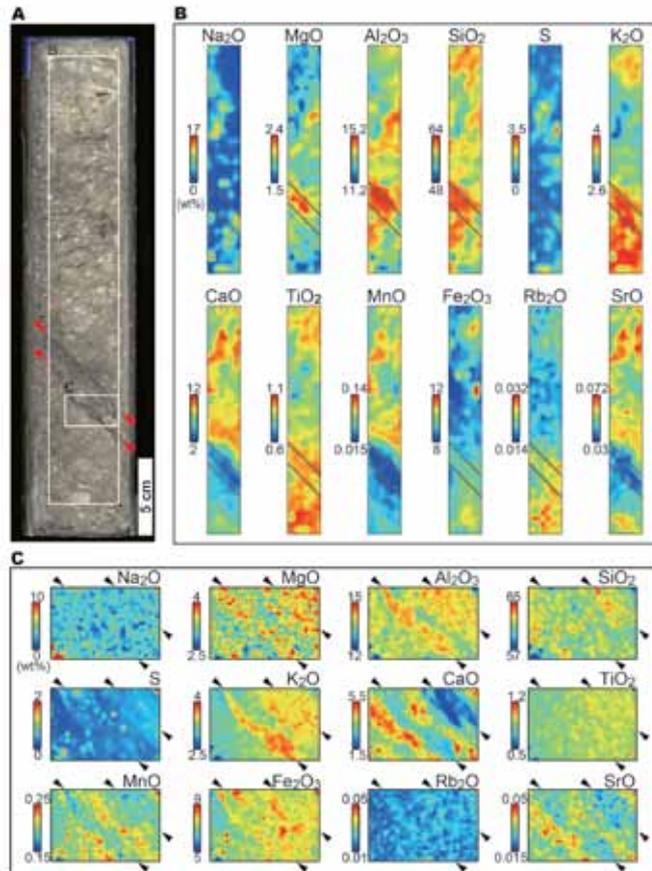
山口 飛鳥 東京大学 大学院理学系研究科

断層内部に見られる変形岩や鉱物脈は、断層運動・流体移動そして化学反応の痕跡を記録している。私たちはそれに注目し、地震時に断層内部で起こる現象の解釈を試みている。

九州四十万帯延岡衝上断層は、過去にはプレート境界から分岐する断層の深部(深さ7~9km)であり、それが地表に露出したものと考えられている。この断層周辺では、Feを含む炭酸塩であるアンケライトの沈澱がすべり面上にのみ見られ、地震時に還元的な流体が流れたことが示された(Yamaguchi et al., 2011a)。一方、IODP第316次航海でC0004地点において海底下256-315mからコアが採取された現世の分岐断層帯のすべり面では、粘土鉱物反応(スメクタイト→イライト転移)に伴うK、Alの増加とCa、Srの減少が生じていることが示された(Yamaguchi et al., 2011b)。これらの結果は、温度・圧力や流体の化学組成に応じて分岐断層の浅部と深部で異なる反応が生じていることを示唆している。

文献: Yamaguchi et al. (2011a) Earth Planet. Sci. Lett. 302, 369-377; Yamaguchi et al. (2011b) Geology 39, 995-998.

南海トラフ分岐断層浅部の断層岩化学組成マッピング結果(Yamaguchi et al., 2011b)。A: 分析した断層スラブ、B: スラブ全体のマッピング結果(黒線がすべり面)、C: すべり面周辺のマッピング結果(黒矢印の間がすべり面)



沈み込み帯に持ち込まれる堆積物の不均質性とデコルマゾーン形成時の挙動

山本 由弦 海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域

本研究は、プレート沈み込み帯に持ち込まれる堆積物中にデコルマゾーンが形成されるメカニズムの解明を目指すものである。室戸沖南海付加体では、粘土鉱物が弱くセメントされた層準にデコルマゾーンが発達することが報告されている。弱くセメントされた泥質岩は、繰り返し载荷に対して脆弱であるという性質があるため、デコルマゾーン形成メカニズムにはプレート境界特有の有効応力変動（地震波や間隙水圧の電波などに起因）が鍵を握っていると考えた。我々は、この有効応力変動を再現できる圧密試験機（等方圧密）を名古屋工業大学と共同で開発した。試験機は、最大封圧20 MPa、封圧変動を最速5 Hz与えられる仕様である。試験は、通常の圧密試験（封圧変動なし）によって得られた降伏圧密強度までいったん封圧を上昇させ、そこから任意の周波数・応力変動を与えた（図1）。

本研究では、主に房総半島の海溝斜面堆積物（堆積年代は約2.8 Ma）を用いて試験を行った。図2は、AMSを用いた試験前後の組織解析の例である。等方圧密方式を採用しているため、理論的には組織の異方性には変化が起らないはずである。実際、通常の圧密試験後の試料と試験前の試料では、異方性に違いは見

れなかった。ところが、封圧変動を作用させると地層面に平行な方向に面構造（図2中のF）がより発達する。試料を地層面に対して垂直および水平に整形しても同じ結果が確認されたことから、異方性は堆積構造異方性がより強調される傾向にあることが判明した。これらの結果は、上載荷重による圧密に比べ、

有効応力変動による組織改編および物性変化が劇的なものであることを示している。プレート沈み込み帯のような変動帯では、これらを評価することが必要である。今後これらの評価に加え、デコルマ形成の再現試験を昨年行われたExp. 333 試料を用いて行う予定である。

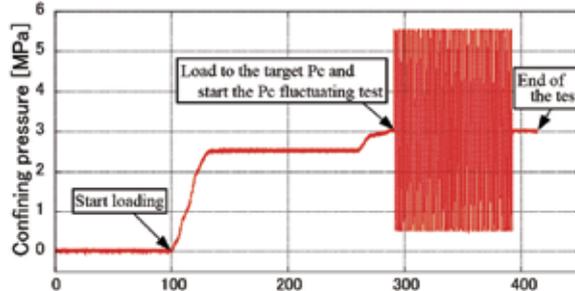


図1 (左)

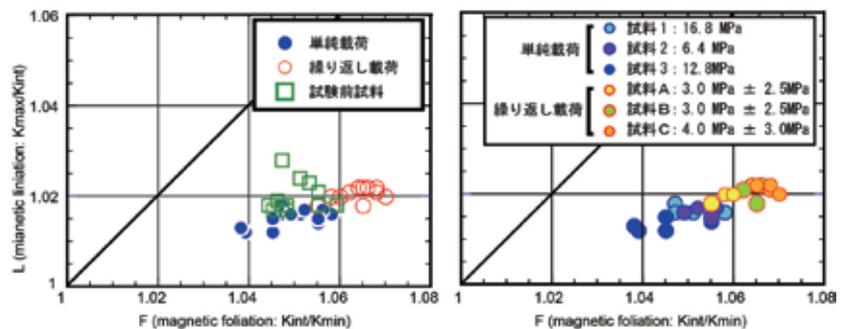


図2 (下)

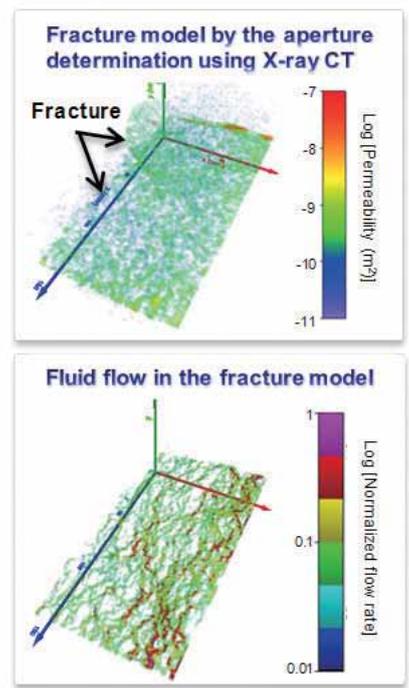
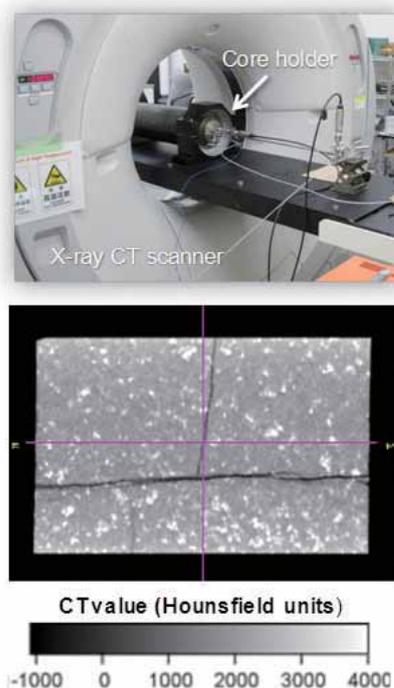
X線CTを利用した断層掘削コアの数値モデル化と流体流動解析

渡邊 則昭 東北大学 大学院環境科学科

近年の断層掘削により、断層帯が複雑な構造を持ち、浸透率も時空間的に大きく変化することが明らかになりつつあるようであるが、水理特性の原位置測定標準的な手法は確立されておらず、従来の測定手法のみでは比較的長い区間の平均的な浸透率しか得られない。そこで本研究では、X線CT測定を利用することで、原位置コアサンプルの浸透率や空隙率を測定でき、さらにき裂ネットワークにおける複雑な流体流動も簡便に解析できる数値モデル解析手法を新たに考案した(図)。まず初めに、き裂を有する花崗岩サンプルを対象として、大気圧下でのCT測定を利用したサンプルの数値モデル化および流体流動解析を実施し、空隙率および浸透率の実測値を再現できること、三次元的に発達する複雑な流路を可視化できることを示した[Watanabe et al., 2011, SPE J.]. 次に、市販のコアホルダを使用した封圧下X線CT測定を実施したが、ノイズの問題により定量的に正しい結果を得ることは困難であることがわかった (Best Paper of the JFES 2010) [Watanabe et al., 2011, Eng. Geol.]. そこで最終的に、封圧下においても大気圧下と同等以上の質でのX線CT測定が可能な

炭素繊維充填PEEK製コアホルダを開発し、封圧下サンプルの数値モデル化お

よび流体流動解析を達成した(Watanabe et al., 2011, Proc. JFES 2011).



物質科学に基づいたフラクタル多孔媒質系の摩擦法則に関する計算的研究

波多野 恭弘 東京大学 地震研究所

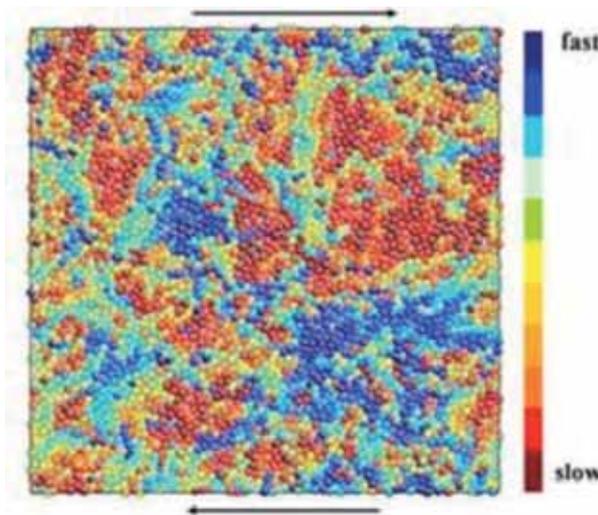
南海トラフ付加体内部断層や東北地方太平洋沖地震における浅部の滑りなどを解明するためには、岩石やその摩擦物の摩擦特性に関する理解が必要である。この目的のため興味深い摩擦実験が多数行われているが、結果を定式化し背後にある物理過程を同定することは未だ出来ていないようである。本研究においては主として理論的手法によりガウジの摩擦特性を支配する物理の解明を試みた。まずガウジ内部でのエネルギー散逸率が摩擦係数を決定することを利用し、平均場的な近似と粒子ダイナミクスに関するある仮定に基づいて摩擦係数を計算した。その結果は以下のように要約される[1]。

- i) 摩擦係数は各々異なる物理過程に起因する二つの項の和で書ける: すなわち、粒子間摩擦による散逸に起因する項と、粒子の非弾性変形による散逸に起因する項である。
- ii) 第一項は粒子間の摩擦係数ほぼそのままであり、潤滑物質や粒子形状(回転のしやすさ)などの影響を強く受ける。
- iii) 第二項は粒子の再配置率に比例するため、密度が低いほど(膨張するほど)強くなる。一般にガウジ層はすべり速度とともに膨張するので、第二項は本質的に速度強化的である。

に速度強化的である。

なお粒子の非弾性変形によるエネルギー散逸過程は粒子形状・岩石種・潤滑物質の有無にはさほど依存しないと考えられる。そうだとすると第二項のもたらす速度強化性は普遍的である。これらの理論的結果は実験[2]やDEMシミュレーション結果[3]とも整合的である。

[1] T. Hatano and O. Kuwano, Origin of the velocity-strengthening nature of granular friction, *Pure Appl. Geophys.* DOI: 10.1007/s00024-011-0409-9 (2011)
 [2] O. Kuwano, and T. Hatano, Flash weakening is limited by granular dynamics, *Geophys. Res. Lett.* 38, L17305 (2011)
 [3] T. Hatano, Constitutive law of dense granular matter, *J. Phys. Conf. Ser.* 258, 012006 (2010).



ガウジ剪断層における粒子運動の不均一性。速い粒子(青)と遅い粒子(赤)が動的な空間構造を形成する。

遠地地震による超低周波地震の誘発励起と海溝付加体の応力環境

深尾 良夫 海洋研究開発機構 地球内部ダイナミクス領域

海溝付加体における超低周波(VLF)地震の誘発励起の例としては、2004年紀伊半島沖地震(Mw=7.4)に誘発された熊野灘沖付加体におけるVLF地震群発活動がよく知られている。ここではVLF地震活動の再発を見込んで、2008年8月から2009年9月まで杉岡・伊藤(JAMSTEC)らが広帯域海底地震計(BBOBS)3台を設置していたが、狙い通り前回活動から5年後の2009年3月にVLF地震群発活動が再発した。VLF地震直近でのBBOBS観測は世界初であり、この得難いデータから岡元(東工大)・中村(JAMSTEC)らが中心となって震源過程の復元を試みた。必要な震源近傍における地震波速度構造モデルは尾鼻(JAMSTEC)らがJAMSTECグループの構造探査結果に基づいて構築し、結果の解釈に必要な付加体に関する知識は木下(JAMSTEC)らが提供した。本公募研究代表者(深尾)は上記を含む多くの研究者をVLF-seminarとして組織し、互いの解析・検討結果の報告・議論をリードしてきた。セミナーの積み重ねにより、付加体の底で起こるVLF地震の特異な震源過程とそれをもたらすプレート沈み込み環境が明らかになったが、その内容は次のタイトルで雑誌Nature Geoscienceに掲載される予定である。

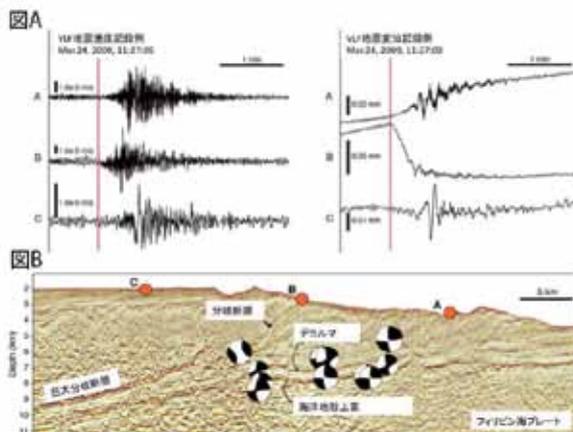
Tsunamiogenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip

Hiroko Sugioka¹, Taro Okamoto², Takeshi Nakamura¹, Yasushi Ishihara¹, Aki Ito¹, Koichiro Obana¹, Masataka Kinoshita¹, Kazuo Nakahigashi³, Masanao Shinohara³, Yoshio Fukao¹

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokosuka, Japan

² Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan

³ Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Tokyo, Japan



図A: VLF地震の上下動(左:地動速度;右:地動変位)記録例。この地震のマグニチュード(Mw)は4.1。観測点A,B,Cの位置については図B参照。速度記録では高周波成分が卓越する。変位記録には永久変位成分が見られるが、その立ち上がり時間は約30秒と異常に長い(通常は1秒程度)。縦の赤線は地震の発震時刻を示す。

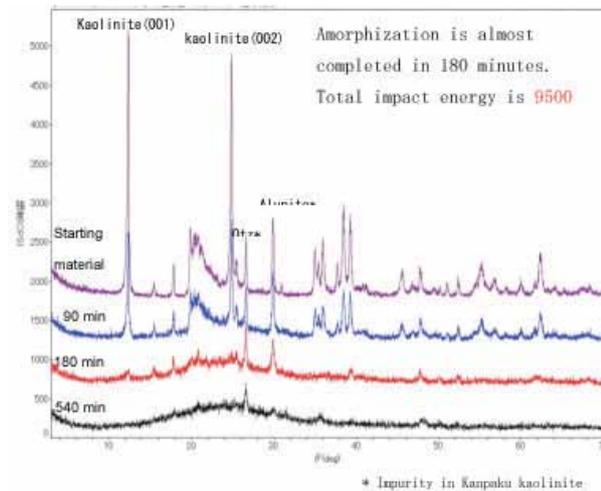
図B: 解析したVLF地震のモーメントテンソル解(水平投影)。解は震源位置にプロットした。震源は分岐断層沿いというよりはプレート境界付近(デコルマ面が海洋地殻上面かを区別する分解能はない)に集中し、メカニズムも超低角逆断層が圧倒的に多い。A,B,CはBBOBS観測点。背景は反射構造探査に基づく熊野灘沖付加体イメージ(Moore, G. F. et al., Proc. IODP314/315/316, Washington, DC, Integrated Ocean Drilling Program Management International, Inc., 2009)。

トピック

粘土鉱物の挙動の実験的研究

B02 班
藤本 光一郎 東京学芸大学 教育学部

粘土鉱物の地震性すべりによる発熱や機械的粉碎による挙動を検討した。カオリナイトの加熱実験によって800℃以上の温度では、数十秒の時間加熱されれば非晶質化することが確認された。また、遊星型ボールミルによって数時間で非晶質化することが確認された。この時の容器内の破壊エネルギーは、数千kJ/kgと見積もられ、機械的粉碎だけで非晶質化させることは条件が限られることが示唆された。



KANAME 国際研究集会開催報告

2012年2月28日～3月2日
高知文化プラザかるぼーと

去る2012年2月28日～3月1日の3日間、新学術領域「超深度海溝掘削」の平成23年度国際研究集会「International Conference on a New Perspectives of Great Earthquakes along Subduction Zones」が高知市文化プラザ「かるぼーと」で開催されました。三度目となる今回の研究集会はこれまでの領域研究成果を世界第一線レベルで総括するため、国際研究集会として企画しました。また東日本大震災の1年後という時期でもあり、東北沖地震の総括と今後の地震発生帯研究の方向性を示すという観点から、極めて注目度が高い中での開催となりました。本集会には各計画研究分担者、連携研究者、公募研究者に加え、19名の招聘者を含む30名の海外研究者、関連分野の国内研究者および大学院生が参加し、総参加者数137名の大規模な研究集会となりました（21年度は62名、22年度は69名）。

口頭発表セッションでは領域代表者、各研究計画代表者、招聘研究者らによる25件の講演がなされ、地震学、物理探査、実験岩石力学、構造地質学、堆積学、モデリングなど幅広い分野カバーし、対象地域は南海トラフをはじめ、東北日本やカスカディア、サンアンドレアス断層、ニュージーランドなど多くの地域に関する最先端の研究成果が紹介されました（「招待講演内容の

概要」を参照）。ポスターセッションでは112件の発表が行われ、大学院生や若手研究者を中心に活発な議論がなされました。これらの研究発表の多くはTectonophysicsの特集号の論文として出版される予定です。

研究集会に引き続き、3/1の午後から翌3/2の午後まで巡検が開催されました。3/1の午後は山口飛鳥氏、橋本善孝氏、氏家恒太郎氏の案内により、高知県香南市に分布する白亜紀四万十帯、手結メランジの玄武岩、チャート、赤色頁岩のブロック、および砂岩泥岩互層等を見学し、その後高知コアセンターのコア保管庫、分析機器等を見学しました。2日目は、愛媛県別子地域において緑泥石相、ガーネット相、アルバイトー雲母相、エクロジイト相などの変成岩が露出する三波川変成帯の露頭を見学しました。また、研究者の情報交換・懇親も活発に行われ、28日夜のアイスブレイカー、29日夜の懇親会では、高知の名物料理を楽しみつつ研究者の国際ネットワークを一段と広げることができました。

今回の国際研究集会は多くの参加者を迎え関係各位のご尽力により盛会のうちに終了しました。開催にご協力ご支援をいただいたすべての皆様に感謝いたします。



■ Conference Program

Tuesday, February 28

- 9:30 **Gaku Kimura**
New perspective of great subduction zone earthquakes
- 10:00 **Harold J. Tobin**
NanTroSEIZE: What have we learned so far and what do we still need to do?
- 10:30 *Coffee break*
- 10:45 **Gregory F. Moore**: Relation of megasplay faulting to forearc basin development along the Nankai Trough, Japan
- 11:15 **Pierre Henry**: Conditions for splay fault formation and re-activation
- 11:45 **J. Casey Moore**: Finding faults
- 12:15 *Lunch/Posters*
- 14:45 **Jin-Oh Park**: Variation in decollement reflection character along the Nankai Trough
- 15:15 **Michael B. Underwood**: does the smectite budget really affect slip behavior on subduction megathrusts? A global perspective from the side of subduction inputs
- 15:45 **Juichiro Ashi**: High-resolution shallow structures of the accretionary prism and the forearc basin revealed by ROV "NSS" in the Nankai subduction zone off Kumano
- 16:15 *Coffee break*
- 16:30 **Masataka Kinoshita**: Insitu borehole measurements of the state and properties within the Nankai seismicogenic zone off Kumano
- 17:00 **Demian Saffer**: Quantification of pore fluid pressure in active subduction zones: Implications for fault strength and slip behavior
- 17:30 Discussion

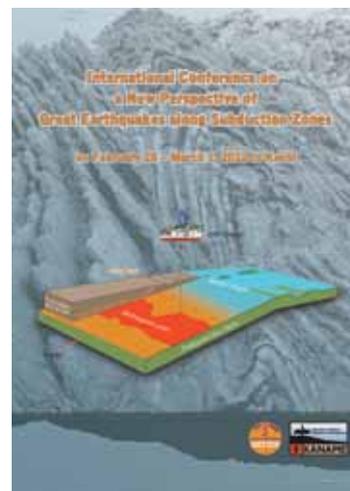
Wednesday, February 29

- 9:00 **Kyuichi Kanagawa**: Hydrological and mechanical properties of mud samples from the shallow Nankai Trough accretionary prism
- 9:30 **Christopher J. Spiers**: Frictional properties of illite-rich fault gouges under in-situ subduction zone conditions from Nankai to Tohoku: Experiments versus microphysical models
- 10:00 **Giulio Di Toro**: Friction during earthquakes from rock deformation experiments
- 10:30 *Coffee break*
- 10:45 **Eric M. Dunham**: Rupture dynamics of subduction megathrust earthquakes
- 11:15 **Satoshi Ide**: Towards comprehensive modeling of earthquake process in Nankai subduction zone
- 11:45 **Takashi Furumura**: Reevaluation of the Nankai-Trough earthquake linkage scenario and computer simulations of expected strong ground motion and tsunami

- 12:15 *Lunch/Posters*
- 14:45 **Ryota Hino**: Seismic and aseismic slip associated with the 2011 Tohoku-Oki earthquake (M 9.0) and its implication for generation process of the massive interplate earthquake
- 15:15 **Shuichi Kodaira**: Geophysical evidences of a large slip at the toe by the 2011 Tohoku-oki earthquake
- 15:45 **Emily E. Brodsky**: Measuring stress through rapid Response drilling after recent large earthquakes: Wenchuan Fault Zone Scientific Drilling Project and JFAST
- 16:15 *Coffee break*
- 16:30 **Richard H. Sibson**: Stress switching in subduction fore-arcs: Implications for overpressure containment and strength cycling on megathrusts
- 17:00 **Chris Goldfinger**: Superquakes and supercycles: Lessons learned from very long paleoseismic records
- 17:30 Discussion

Thursday, March 1

- 9:00 **Stephen Hickman**: Structure, properties and mechanical behavior of the San Andreas Fault at seismicogenic depths: Results from the SAFOD experiment (代理発表)
- 9:30 **Teng-fong Wong**: Constraints on the states of stress and pore pressure at SAFOD based on laboratory data on frictional strength of cores and cuttings
- 10:00 **Jean-Pierre Gratier**: Mechanism of aseismic creep: the role of pressure solution
- 10:30 *Coffee break*
- 10:45 **David R. Shelly**: Dynamics of SanAndreas Fault tremor and implications for deformation in both strike-slip and subduction environments
- 11:15 **Laura M. Wallace**: Evaluating the potential for great subduction earthquakes at the Hikurangi margin, New Zealand: insights from geodetic and paleoseismological studies





招待講演概要

Harold J. Tobin はIODP南海トラフ掘削研究 (NanTroSEIZE) について、これまでに達成されたことの総括と、今後達成すべき課題を包括的に紹介した。断層浅部が高速破壊を起こしていたことが、断層発熱や海底地滑り・強震動堆積物などから示された。一方、広角地震波トモグラフィの結果、2枚ある断層面の間ではP波速度の遅い領域が連続していることなどから、浅い方(分岐断層)がデコルマに接続している可能性を示した。

Gregory F. Moore は南海トラフに沿った前弧海盆の発達と巨大分岐断層の関係について紹介した。反射法探査データと掘削データによると、室戸沖と熊野沖で巨大分岐断層による隆起構造や堆積作用に類似性が認められる。巨大分岐断層の発達は、プレート運動、堆積物の流入などに大きく影響される。

Pierre Henry は南海トラフ分岐断層の形成と再活動化の条件について紹介した。複数の研究では、分岐断層とデコルマが同時に活動していた時期が示され、変形フロントと分岐断層周辺域での浸食作用も指摘している。上盤の浸食を引き起こす分岐断層の長期活動は、断層帯の力学的性質や浸透性のコントラストを生み出す。

J. Casey Moore は沈み込み帯に発達する断層帯の深度特定や特性把握のためには孔内検層、特に掘削同時検層が有効な手段であるとした。主な断層帯の認定方法として、1) 画像検層による低比抵抗帯の検出、2) ボアホール・ブレイクアウト法による断層の上下での応力変化の検出、3) 流体圧異常層と温度異常層の検出の3つが挙げられる。これまでのNanTroSEIZEの実例をもとに、今後の深部断層掘削に向けて、検層による断層帯認定方法の有効性を評価した。

Michael B. Underwood は断層すべりに対するスメクタイト属粘土鉱物の水理的・力学的寄与について、南海トラフを例に詳説した。沈み込み帯深部に持ち込まれるスメクタイトの量と質は、インプット堆積層の年代、火山物質供給源からの距離、火山ガラスの量と変質の度合い、沈み込むプレートの熱構造等に諸条件により異なり、その収支と挙動を理解するためには、アリューシャン、カスカディア、コスタリカ、ヒクラング、関東など、環太平洋沈み込み帯における広域的なデータ収集が必要であるとした。

Demian Saffer は沈み込み帯における間隙圧異常の定量化と、それが断層滑り様式に及ぼす影響についての最新の知見を紹介した。地震発生条件を規定する重要な要素に間隙圧異常(λ)があるが、間隙圧はテクトニック応力による増大要因と水理定数に依存した排水要因の兼ね合いで決まる。沈み込んだ堆積層では間隙圧異常が概して静岩圧に近い($\lambda \sim 0.7-0.95$)こと、その結果海溝から20km以内では断層面上のせん断応力は4-5MPaを超えず、従ってその部分では安定滑りは起こしにくいことが示された。

Christopher J. Spiers は、圧力容器を備えた回転式剪断試験機を使用したイライト・石英混合ガウジの摩擦実験結果を紹介した。有効垂直応力170 MPa、温度100~600°C、変位速度1~100 $\mu\text{m/s}$ の実験から、温度により摩擦挙動の異なる3つの領域が識別された。温度250°C以下では摩擦係数が0.6程度と比較的小さく速度強化の挙動を示すが、250~400°Cでは温度上昇に伴い摩擦係数が0.9にまで増加しかつ速度弱化的挙動を示し、温度400°C以上では摩擦係数は0.9とあまり変化せず再び速度強化の挙動を示すようになる。また彼は、ガウジの圧力溶解クリープと粒界すべりを組み合わせた変形モデルによって、上記の3つの領域の摩擦挙動が再現できることを示した。さらに、南海トラフや東北沖の沈み込み帯の地震発生帯への適用可能性を議論した。





Giulio Di Toro は地震時のすべりを再現可能な強力な回転剪断試験機を使用した摩擦実験結果を紹介した。この試験機では垂直応力 ≤ 50 MPa、間隙水圧 ≤ 15 MPa、変位速度 0.01 mm/s ~ 6.5 m/s、変位加速度 ≤ 80 m/s² で摩擦実験を行うことが可能である。一連の実験によって、地震時に匹敵する断層運動時には岩石種によらず複数のメカニズムにより断層強度が著しく低下すること、摩擦強度は変位速度に大きく依存し変位が停止すると瞬時に強度が回復すること、剪断応力が徐々に増加するとゆっくりとしたすべりが起こり始めその後地震性のすべりと急激な応力低下が起こること、などが明らかにされた。

Eric M. Dunham は東北地震の2次元動的破壊伝播モデルを紹介した。自由表面と断層幾何形状、媒質不均質も考慮し、さらに並列化の技巧を尽くした最先端計算である。海溝近くに摩擦特性の異なる領域がある程度あっても、深部から伝播した破壊は比較的容易に海溝に達し、巨大なすべりを引き起こすことが示された。

Takashi Furumura は東北地方太平洋沖地震の津波について紹介した。海底ケーブルで観測された短周期の大振幅の津波を説明するには海溝近傍に大きなすべりが必要である。また弾性体と流体の連成シミュレーションによって現実的な地震波動と津波の計算が可能であることを示した。一方南海トラフにおいても、これまで考えていたよりも大きな地震が起きる可能性があることを指摘した。

Ryota Hino は2011年に発生した東北沖地震の地震性・非地震性すべり、および巨大プレート間地震発生過程における意味について紹介した。測地学データを用いた断層すべり解析の結果、M7クラス地震が頻繁に起きる地震発生帯は約20m程度すべったが、普段、地震活動の低い海溝軸付近では約

60 m 程度のすべりがあった。本震による断層破壊の前に、震源付近で非地震性すべりがあり、非地震性すべりの急成長はM9クラスの巨大地震発生と深く関連する。

Shuichi Kodaira は2011年東北沖地震の海溝近傍巨大すべりの地球物理学的証拠について紹介した。地震前後に取得した海底地形データの比較を行い、海溝近傍の海底面が地震後に約50 m程度海溝側へ水平移動したことを示した。地震直後に取得した反射法探査データでは、海溝近傍で上盤の変形構造や反射強度の強い区間が観測され、2011年東北沖地震による断層破壊との関連性が示唆される。

Emily E. Brodsky は断層滑りのエネルギー分配は地震のメカニズムを決める重要な要素であるが、特に地震時の断層発熱が実測できれば地震時の断層面上の応力の評価が可能になると述べ、中国Wenchuan断層、および東北地震断層への掘削で、地震時発熱を、それが拡散する前に計測する試みを紹介した。Wenchuan断層面(589m)では温度異常が 0.15°C 以下と小さいことから、断層面の摩擦係数は0.1以下であることが示され、これは高速破壊実験で得られる値の下限であること、そしてこのような低い摩擦係数下では地震時には完全な応力降下が起こることが期待される。一方2012年4月1日から東北地震の断層掘削(J-FAST)が実施され、水深6900mの海溝軸付近で850m掘削を行い、断層に到達後に温度長期計測機器を設置する予定が紹介された。

Richard H. Sibson は断層近傍の異常間隙圧および応力状態が地震サイクルとともに変動するいわゆる“断層バルブモデル”(Sibson, 1992)が沈み込み帯プレート境界断層においても成立しうることを、日本海溝における東北地震前後の震源解分布の変化や陸上地震断層周辺の鉱物脈の発達様式などの実例をもとに明快に議論した。





Chris Goldfinger はタービダイトの分布と年代から沈み込み帯での地震発生履歴を求め、長い発生間隔で起こる大規模な地震の存在について紹介した。カスカディアマージンにおける砂質タービダイトの分析の結果、地震の発生間隔とセグメント長はマージンの南へ向かって減少しており、沈み込む基盤の構造と被覆堆積物の厚さとの関係が示された。また、厚層タービダイトの分布を詳細に対比した結果、過去1万年間に2層の厚いタービダイトの堆積、すなわちそれらに対応する巨大地震の発生が推定された。

Teng-fong Wong はサンアンドレアス断層深部観測プロジェクト (SAFOD) の概要と、その掘削試料を使用した摩擦実験結果について紹介した。SAFODでは2005年に約3.1 kmの深度のサンアンドレアス断層を掘削し、2年間の孔内観測後、2007年に断層のコア試料採取に成功した。断層沿いには蛇紋岩とその変質粘土鉱物であるサボナイトが特徴的に分布しており、サボナイトを含むガウジの摩擦強度が著しく小さいことが実験的に明らかにされ、サボナイトの存在がサンアンドレアス断層の強度が小さい原因と考えられること、孔内における応力計測の結果からもサンアンドレアス断層の強度が小さいことが裏付けられたことが示された。

Jean-Pierre Gratier は、動的インデント実験によって圧力溶解クリープによって変形している途中で破壊を起こし、破壊後の変位が時間の0.4乗に比例する遷移クリープとなることを明らかにし、サンアンドレアス断層のクリープ領域とこれに隣接する間欠的に地震が起こっている領域の挙動が、圧力溶解クリープで変位している領域と加えて間欠的に破壊が起こっている領域の挙動に、それぞれ対比できることを示した。

David R. Shelly は南海とパークフィールドを対比させながら両地域で発見されている深部低周波地震の性質をレビューした。最先端の波形相関解析によってパークフィールドでは100万個近い低周波地震が同定されている。その膨大な情報を元に断層深部での低速な変形プロセスを測定できる可能性がある。

Laura M. Wallace はニュージーランドのヒクラング沈み込み帯のカップリングとスロースリップについて紹介した。近年のニュージーランドでの地震地殻変動観測の充実によって次々に新現象が発見されている。ヒクラングと南海の対比も興味深い。彼女が中心となって現在進行中の掘削計画についても説明した。



第5回国際シンポジウム「海底地すべりとその影響」

2011年10月24-26日
京都大学吉田キャンパス芝蘭会館

海底地すべりは近年注目されている自然災害である。海底地すべりによって、破壊的な津波が発生・増幅する可能性があり、海岸や沿岸の構造物や海洋土木構造物に被害を与え、人命を脅かす。最近、壊滅的被害を引き起こした海底地すべりの例として、1979年のフランス・ニース海上空港の建設に伴う崩壊、2006年のバブアニューギニアでの局所的大津波、2009年の台湾南西沖での海底ケーブル・ネットワークの切断事故などがある。2011年3月の東日本大震災でも、海底地すべりの影響が議論されている。

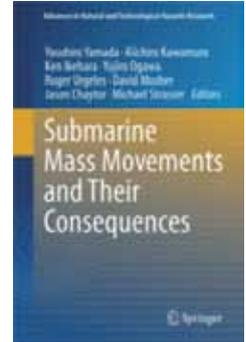
このような社会背景の中、2011年10月24日～26日までの3日間、京都大学芝蘭会館にて、標記シンポジウムが行われた。

これは、国際地質学会とユネスコの共同プログラムIGCPの活動の一環であり、2年に一回行われている。今回のシン

ポジウムは、アジア地域で初めての開催となり、16の国と地域から、130名を超える参加者を得て成功裏に終了した。なお、組織委員会には本領域のA01、A02班のメンバーが加わり、KANAME総括班の支援も頂いた。

このシンポジウムと併せて、海底地すべり特集号も刊行された。佐竹健治氏（東大地震研）をはじめ、海底における地質学、地球物理学、さらには地盤工学の国際的なエキスパートによって、海底地すべりの最新の科学的成果が収録されている。

(山田 泰広・川村 喜一郎)



Springer海底地すべり
特集号表紙



参加者集合写真（京都大学芝蘭会館庭園）



シンポジウム風景（京都大学芝蘭会館稲盛ホール）

活動報告

昨年度の活動

- 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6月22日～23日（JAMSTEC）
断層掘削合同ワークショップ
- 2011年8月8日～12日（台湾・台北）
Asia Oceania Geoscience Society 8th Annual Meeting
- 2011年8月
C02班台湾巡検
- 2011年9月7日（大気海洋研究所）
A01, A02班 研究集会
- 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9月10日（茨城大学）
KANAME 夜間集会 in 地質学会
- 2011年9月12日～13日（東京大学地震研究所）
平成23年度 地震研究所共同利用研究集会
- 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
- 2011年12月5日～9日（アメリカ・サンフランシスコ）
AGU 2011 Fall Meeting
- 2012年1月14日（建築会館ホール）
IFREE 公開シンポジウム「地球大変動」
- 2012年2月28日～3月1日午前（高知・高知市文化プラザ小ホール）
KANAME国際研究集会
- 2012年3月1日午後～2日（高知）
三波川帯・四万十帯地質巡検

これからの活動予定

- 2012年4月22日～27日（オーストリア・ウィーン）
EGU 2012
- 2012年5月20日～25日（千葉・幕張）
日本地球惑星科学連合2012年大会
- 2012年5月20日～25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
- 2012年5月23日（千葉・幕張）
新学術領域研究「超深度海溝掘削（KANAME）」夜間集会
- 2012年6月5日～7日（秋田ビューホテル）
石油技術協会春季講演会
- 2012年7月15日～20日（スイス・ローザンヌ）
GeoMod 2012
- 2012年8月13日～17日（シンガポール・セントーサ島）
Asia Oceania Geoscience Society
- 2012年9月15日～17日（大阪）
日本地質学会119年学術大会
- 2012年10月17日～19日（函館）
日本地震学会2012年度秋期大会
- 2012年12月3日～7日（アメリカ・サンフランシスコ）
AGU 2012 Fall Meeting
- 2013年3月上旬（予定）
KANAME 研究集会



KANAME 国際研究集会会場の高知文化プラザからぼーと前にて参加者集合写真



国際研究集会巡検：香南市白亜紀四万十帯、手結メランジュ、愛媛県別子地域、三波川変成帯の露頭を見学

表紙写真説明：

東北地方太平洋沖地震緊急調査時の海域の写真（「よこすか」YK11-06次航海）。

裏表紙写真説明：

日本海溝上空から西を望む。ちょうど東北太平洋沖地震の震源がこの直下に
あたる。水平線の彼方が宮城県となる（2011.12月撮影）。

写真撮影：坂口 有人（海洋研究開発機構）

「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.s.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

斎藤 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

■ 編集

芦 寿一郎・金原 富子
東京大学 大気海洋研究所
〒277-8564
千葉県柏市柏の葉5-1-5
Tel 04-7136-6121 Fax 04-7136-6148
E-mail : ashi@aori.u-tokyo.ac.jp

平成24年5月発行