

領域略称名：超深度海溝掘削
領域番号：2106

平成26年度科学研究費補助金「新学術領域研究
(研究領域提案型)」に係る事後評価報告書

「超深度掘削が拓く海溝型巨大地震の新しい描像」

(領域設定期間)

平成21年度～平成25年度

平成26年6月

領域代表者 (東京大学・大学院理学系研究科・教授・木村 学)

目 次

1. 研究領域の目的及び概要	2
2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	4
3. 研究領域の設定目的の達成度	6
4. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況	9
5. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況	10
6. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	11
7. 総括班評価者による評価	12
8. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	14
9. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）	17
10. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度	23

1. 研究領域の目的及び概要（2ページ程度）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、これまでの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

① 我が国の学術水準の向上・強化につながる新たな研究領域である点

提案研究領域は、海面下 10 km まで掘削が可能という日本が世界に先んじて開発した地球深部探査船「ちきゅう」を用い、南海トラフという世界で最も良く調べられた海溝の地震発生帯を直接掘削し、超深度断層物質の採取・分析、及び孔内観測を実施する。それらの結果を既存各種物理観測網と連結させ、モデル化し、もってプレート境界で発生する巨大地震の準備・発生過程の解明に迫り、海溝型地震に対する全く新しい描像を得ようというものである。この種の研究はこれまでに全くない。これまでも世界をリードしてきた地震発生に関する我が国の学術水準が飛躍的に向上するばかりでなく、今後の地球観測と地震研究のあり方を大きく変えると期待される。

② 研究の学術的背景

海溝付近の沈み込みプレート境界で起こる巨大地震と津波は、歴史上数多くの甚大な災害をもたらしてきており、これらの地震の科学的解明は人類の悲願である。地震国日本では、これまで世界最稠密な地震・測地観測網を配置して地震の観測研究に力を注いでおり、その研究水準は世界最先端である。

加えて日本の地震研究は、①摩擦構成則に基づく断層のシミュレーション研究、②世界に先駆けた地震断層浅部掘削（兵庫県南部地震の野島断層、台湾集々地震の車籠埔断層）により得られた、地震性断層物質の物理化学的性質解明、及び③地震発生時の断層の変位速度を再現した高速摩擦実験、などにおいても世界をリードしている。

これらの世界をリードする研究を統合し、更に研究を飛躍的に進展させる機会が訪れた。すなわち、日本が建造した地球深部探査船「ちきゅう」を用いて、海溝型巨大地震を引き起こす沈み込みプレート境界の巨大地震断層を直接掘削し、試料採取・分析を行い、更に掘削孔内で計測・観測を行うことによって、前人未到の地震準備・発生過程を解明できる研究体制が整ったのである。医学に例えるならば、体表からの間接診断から体内病巣の直接診断への方法の飛躍に相当し、地震準備・発生過程研究に革命的進展をもたらすと期待される。

研究対象は、1944年東南海地震など、マグニチュード8クラスの巨大地震が100～200年周期で発生し、来る30年以内の地震発生確率60～70%、今世紀中の地震発生確率100%とされる（平成19年度地震調査研究推進本部）、紀伊半島沖南海トラフである。既に2007年9月21日～2008年2月5日にかけて、統合国際深海掘削計画（IODP）南海トラフ地震発生帯掘削（NanTroSEIZE）ステージ1が実施され、南海トラフ陸側付加体浅部の物性、構造や物質が明らかになるとともに、巨大分岐断層およびプレート境界断層の浅部試料が回収され解析が進められている。2009年には同掘削ステージ2が実施され、熊野前弧海盆と巨大分岐断層浅部に長期観測機器設置用孔が掘削される予定である。さらに2010～2012年に実施が計画されている同掘削ステージ3では、地震発生域の巨大分岐断層とプレート境界断層の超深度掘削が行われる予定である。

提案領域の研究は、IODP 南海トラフ地震発生帯掘削と同時進行で連携し、地震準備・発生過程の解明を目指すものであり、時宜を得た研究である。

本研究領域の目的は、海溝型巨大地震が想定される南海トラフにおいて沈み込みプレート境界の巨大地震断層を直接掘削し、試料採取・分析を行い、更に掘削孔内で計測・観測を行うことによって、海溝型巨

大地震準備・発生過程の解明に迫ることである。目的達成の研究戦略は、①南海トラフ地震発生帯の大局を把握し、②断層の分析と実験によって巨大地震断層の静的描像と動的描像を把握し、③観測と掘削の結果から地震準備・発生に至るモデルを構築し、観測によって検証することに置く。この目的達成のために3つの戦略的研究項目を設定し、それぞれに相補的計画研究を配置する。各研究項目・計画研究の概要は、下記の通りである。

研究項目 A：地震発生帯フレームワークの研究

既に取得済みの三次元反射法データを解析して地震発生帯の大局的構造を把握し、更に海底変動・湧水現象を調査して、巨大地震断層の活動履歴と流体挙動を解明する。

計画研究 A01：巨大地震断層の三次元高精度構造と物性の解明

計画研究 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

研究項目 B：地震発生帯の分析的・実験的研究

巨大地震断層試料及び付加体試料の変形構造観察と物質解析により、すべりメカニズムを明らかにする。またこれらの試料の原位置条件（温度・圧力・間隙水圧）における変形・透水実験により、巨大地震断層やその上盤側の力学的・水理学的性質を明らかにする。

計画研究 B01：巨大地震断層の力学的・水理学的特性の解明

計画研究 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

研究項目 C：地震発生帯の孔内計測とモデル構築

孔内計測により巨大地震断層やその上盤側の物性を明らかにし、連携による広域観測網による観測結果、そして研究項目 A, B による結果をも統合して地震準備・発生過程の理論的モデル構築を行い、孔内連続観測によって検証する。

計画研究 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

計画研究 C02：海溝型巨大地震の地震準備・発生過程のモデル構築

2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2ページ程度）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、どのように研究組織間の連携や計画研究と公募研究の調和を図ってきたか、組織図や図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

各研究項目に対して、相補的な2つの計画研究組織を配置し、連携して項目の研究目的を達成できるよう配置した。それぞれの研究組織と他との連携状況、および公募研究との関連は以下の通りである。

研究項目 A：地震発生帯フレームワークの研究

計画研究 A01「巨大地震断層の三次元高精度構造と物性の解明」

本計画研究では三次元反射法データを用いた高精度地殻構造イメージング処理を行い、巨大地震断層の三次元構造を明らかにした。更に掘削孔を用いた鉛直地震探査実験を行い、巨大地震断層の物性をマッピングした。これらの結果を計画研究 A02 による海底直接観測や C01 の観測・計測結果と連携して、巨大地震断層に沿った流体の空間分布や間隙水圧分布を推定した。

計画研究 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」

本計画研究では、従来にはない高精度で変動地形と浅部地下構造を探查し、断層変形と地すべりの形態を把握した。また精密照準の表層柱状採泥を多点で行った。その実施にあたり、計画研究 A01 と強く連携し、より深い三次元構造との関連を探り、計画研究 C01 の孔内観測結果との比較を行なった。

公募研究（平成 22~23 年度 A02: 3 名；平成 24~25 年度 A01: 1 名、A02: 1 名）

前半の公募研究では、分担者や連携研究者にない技術を持つ研究者を採用し、データの多面化をはかった。後半の公募研究では、研究項目 C との連携を強化するために地震学プロパーで観測にも強い研究者を採用した。

研究項目 B：地震発生帯の分析的・実験的研究

計画研究 B01「巨大地震断層の力学的・水理学的特性の解明」

本計画研究では、断層コア試料の原位置条件における変形実験と透水実験を行い、地震発生域における断層の力学的・水理学的性質や、付加体内部における力学的・水理学的性質の深度変化を明らかにした。計画研究組織 B02 で解明した断層試料の物質科学的解析結果と連携して、地震発生条件や地震発生過程の解明に努めた。また、実験から得られた巨大地震断層と付加体内部の力学的・水理学的性質を、計画研究組織 C02 で実施された沈み込み帯における巨大地震準備・発生過程の数値モデリングに必要な情報として提供し、東北地方太平洋沖地震、南海トラフなどの地震発生過程のシミュレーションに貢献した。

計画研究 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」

本計画研究では、断層試料の変形組織の解析、鉱物学的、化学的分析を実施した。すべりに伴う諸反応と、地震性、津波発生性、非地震性すべりについて、すべりのメカニズムと破壊伝播過程、エネルギー散逸過程を検討した。それに際して、計画研究組織 B01 との連携は特に留意し、実際の断層試料を用いた実験的研究も進めた。また断層試料の物性測定も行い、研究項目 A で観測されるスケール、研究項目 C での孔内物性直接観測との比較研究も実施した。

公募研究（平成 22~23 年度 B02: 2 名；平成 24~25 年度 B01: 1 名、B02: 1 名）

前半の公募研究では、断層の総合的解析・分析に関して経験豊富な研究者を採用した。また、後半の公募研究では、断層の化学的分析の経験豊富な研究者に加えて断層すべりシミュレーションに熟知した研究者を採用し、研究項目 B, C の連携強化を図った。

研究項目 C：地震発生帯の孔内計測とモデル構築

計画研究 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」

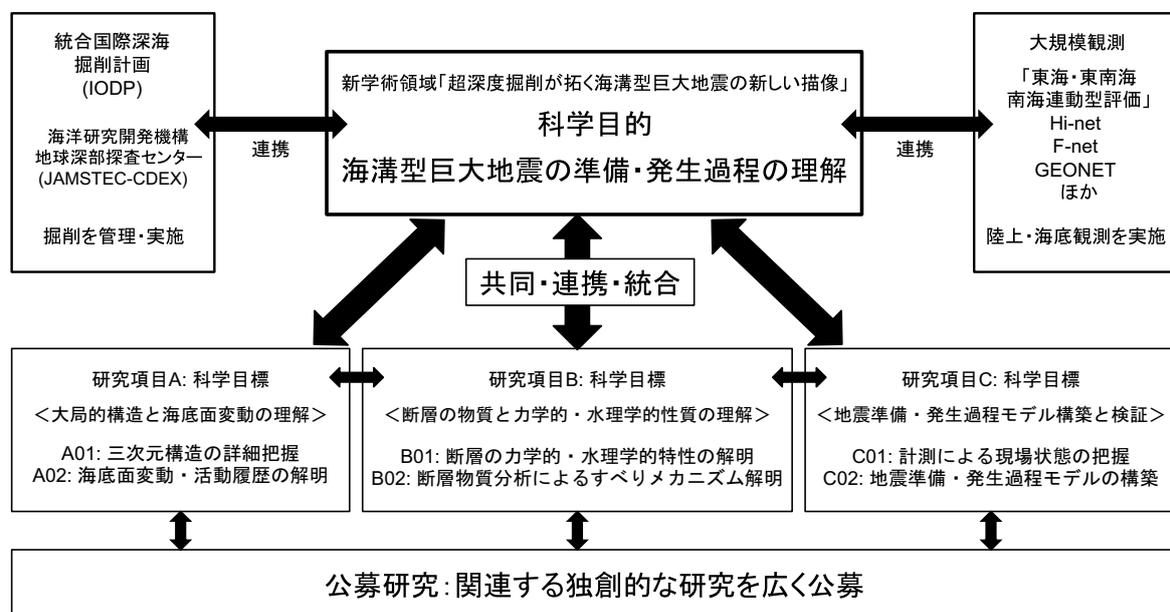
本計画研究では、これまで海底下では直接測定されたことのない応力計測を実施し、封圧と最大圧縮応力を推定した。注水実験・リークオフテスト等により現場透水率やスケンプトン定数を求め、間隙圧・温度データと併せて流体移動や体積歪変動を推定した。また孔内検層による S 波・孔内表面波速度の高精度計測から、剛性率・ポアソン比を求めた。これらは、計画研究 A01 と連携した。また、計画研究 C02 と連携して状態変化・物性モデルを構築した。

計画研究 C02「海溝型巨大地震の地震準備・発生過程のモデル構築」

本計画研究では、各研究項目の情報に基づいて海溝型巨大地震の準備過程および動的破壊過程のモデル構築を行った。まず南海トラフに特徴的な付加体の形成・変形過程、長期間の応力変化や温度進化、低速変形と動的変形の高速度変形の関係などを含め、地殻浅部・深部での複雑多様な変形過程を数値モデルで表現した。それに基づいて海溝型巨大地震に至る過程の予測可能性評価を行った。

公募研究（平成 22~23 年度 C01: 1 名、C02: 2 名；平成 24~25 年度 C02: 1 名）

孔内計測データに加えてコアの X 線 CT データから水理物性を求める研究を採用したほか、計画研究 B01 や B02 と連携して、多孔質物質系の摩擦法則の計算的研究を実施できる研究を採用した。



総括班は以上の研究組織の連携を強く意識し、全体目標が達成できるようにリードした。具体的には、

- ① 各研究項目、計画研究によって進められる観察観測・実験・理論の調和と流れが機能するよう、全体を調整リードし、各計画研究・公募研究の進捗状態を点検した。
- ② 公募研究の審査・採択を行い、領域全体の柔軟な研究体制を総括・管理した。
- ③ 各研究項目の研究成果を統合し、「海溝型巨大地震準備・発生過程の理解を飛躍させる」という本領域の目的達成を強くリードした。
- ④ 本領域進捗状況に応じて、より効果的な目的達成のため、内外の研究集会を開催した。特に第2年度と最終年度翌年の国際集会の組織化をリードした。
- ⑤ アウトリーチを活発に展開し、広く内外に研究成果を周知した。
- ⑥ 省庁の実施する大規模ネットワークによる観測、掘削実施機関である海洋研究開発機構・地球深部探査センター、統合国際深海掘削計画との調整を行った。

3. 研究領域の設定目的の達成度（3ページ程度）

研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか、また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らしての達成度合いについて、具体的に記載してください。必要に応じ、公募研究を含めた研究項目毎の状況も記述してください。

計画研究 A01「巨大地震断層の三次元高精度構造と物性の解明」

本計画研究では、3次元マルチチャンネル反射法地震探査（Multi-channel Seismic：以下、MCS）データを用いた高精度地殻構造イメージング処理を行い、巨大地震断層の3次元構造を明らかにすると共に、掘削孔を用いた鉛直地震探査（Vertical Seismic Profiling：以下、VSP）を行い、3次元MCSデータとVSP・掘削データ（コア試料と検層データ）との統合解析から海溝型巨大地震のメカニズムを規定する流体挙動の推定を目的とした。更に、平成23年度の間評価コメントを受け、日本海溝の巨大地震断層を研究対象に加えた。

1) 巨大地震断層の3次元構造と物性

熊野沖3次元MCSデータの解析により、巨大地震断層の大局構造と物性（P波速度）、巨大分岐断層の活動性が明らかになり、当初の目的が達成された。

2) 掘削孔を用いたVSP

平成24年度のIODP第338次研究航海でライザー掘削孔においてVSPを実施する予定であったが、次項目で述べる理由によりライザー掘削が途中で中止されたため、VSPデータは取得できなかった。結局、本研究期間中に新規のVSPデータが取得出来ず、研究目的の達成には至らなかったが、関連データの取得や解析で今後のVSP研究に向け重要な進展があった。

3) プレート境界断層の間隙流体圧の推定

四国室戸岬沖南海トラフのプレート境界断層の有効圧と流体圧比を求めるため、陸上アナログである付加体の岩石物性とMCSデータとの対比を行った結果、巨大地震断層に沿った流体挙動が超低周波地震の発生や巨大地震性すべりの海溝軸への伝播に重要な影響を及ぼすことが明らかになり、当初の目的が達成された。

4) 日本海溝における巨大地震断層の構造と物性

東北地方太平洋沖地震発生後、巨大地震断層の構造を明らかにするため日本海溝の海溝軸付近で高分解能MCS探査を実施し、プレート境界断層のイメージングに成功した。また、2012年にIODP日本海溝緊急掘削を行い、掘削同時検層データを取得し、プレート境界断層が海底下820m付近の強度の小さい遠洋性粘土層中に存在することが判明し、巨大地震断層の構造と物性を明らかにする研究目的が達成された。

計画研究 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」

本計画研究では、「海底下浅部」の調査を通して最近の断層活動・地殻変動・地すべり・流体湧出の解明を目的とした。また、A01班の大構造、B02班の断層周辺の物質科学的情報と総合し、巨大分岐断層の形成過程の理解を目指した。

1) 海底表層の変形、堆積物の移動・集積過程の理解

断層周辺の表層堆積物の微細な変形を捉え断層運動との関係を考察するため、X線CTを用いた構造解析を行った。熊野沖掘削試料から断層上盤にのみ発達する強震動変形を1944年東南海地震のものであることを特定するとともに、掘削で得られた深度方向の情報を表層試料の解析で面的に広げることにより、断層の分布と変形の間関係を捉えることができた。さらに2004年紀伊半島南東沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震によって形成された堆積層を認定することができ、地震動に伴う堆積物の移動・集積の実態の理解が大いに進んだ。

2) 断層の活動履歴の解明

断層周辺の高精度の海底下浅部構造断面と試料により、断層活動履歴の解明を目指した。従来の海面からの探査では高い解像度の断面を得られないことから、本研究では深海曳航式サブボトムプロファイラーを導入することで、熊野沖分岐断層と前弧海盆北縁撓曲帯の高精度断面を取得することに成功した。さらに堆積物試料の年代から変動時期と変位量の推定を行うことができ、当初の目的は達成できた。

3) 熱構造と流体湧出速度

地震発生帯付近の温度の情報を得るため、南海トラフのトラフ底から付加プリズム斜面域の広域の熱流量測定を行ない、南海トラフおよび日本海溝の熱構造を求めることができた。また、長期温度計測により分岐断層に沿った流体湧出速度の見積もりを行うことができた。この手法の有効性は確認できたが、観測期間内に顕著な超低周波地震の発生がなかったため、地震と湧水変動の関係については結果が得られなかった。また、水深の浅い地点では海底水温変動が大きいため、湧水変動の分解能が大きく低下する問題点が明らかとなった。

4) 付加体の流体の循環・起源

付加体内の流体移動の実態の解明のため、熊野沖で間隙流体および海水の化学組成・同位体組成分析を行ない、泥火山の流体は深部起源で、断層に沿った流体は深部と浅部の混合流体であることが明らかになった。

計画研究 B01「巨大地震断層の力学的・水理学的特性」

本計画研究で設定した当初の目的は、IODP 南海トラフ地震発生帯掘削により得られた南海トラフ付加体掘削試料および巨大地震断層（プレート境界断層および巨大分岐断層）掘削試料の、原位置条件における変形実験と透水実験に基づいて、付加体内部における力学的・水理学的性質の深度変化、および巨大地震断層の力学的・水理学的性質を明らかにし、沈み込み帯における海溝型巨大地震の準備・発生過程の解明に貢献することであった。しかしながら、次項目で述べる理由により南海トラフ地震発生帯掘削計画は大幅に遅れ、研究期間内に巨大分岐断層・プレート境界断層まで掘削できず、これらの試料を用いた変形・透水実験が実施できなかった。一方で、東北地方太平洋沖地震の震源断層浅部掘削が急遽計画・実施され、またコスタリカ沖の沈み込み帯の掘削も実施されたため、これらの掘削試料の変形・透水実験を追加実施した。結局、南海トラフ付加体浅部（水深約 2,000 m の海底下 950~1,580 m）の掘削試料、および日本海溝プレート境界断層浅部（水深約 7,000 m の海底下約 820 m）とその上・下盤の掘削試料について変形・透水実験を行うことによって、南海トラフ付加体浅部と日本海溝プレート境界断層浅部の力学的・水理学的性質を明らかにすることができた。特に後者に関しては、東北地方太平洋沖地震の際に海溝付近が大きく変位した原因と考えられる、大きな成果を得ることができた。また、コスタリカ沖の沈み込む海洋プレート表層堆積物（水深約 2,000 m の海底下 \leq 約 100 m）についても摩擦実験を行い、摩擦特性が粘土質試料と軟泥試料で大きく異なることを明らかにした。このように沈み込み帯浅部の力学的・水理学的性質の理解には大きく貢献できたが、地震発生域上限付近の沈み込み帯深部の力学的・水理学的性質に関しては、残念ながら理解向上には至らなかった。

計画研究 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」

本計画研究は、掘削および陸上部に露出する化石地震断層によって得られる断層試料の変形組織解析、鉱物学的、化学的分析を通してすべりに伴う諸反応を明らかにし、もって、地震性、津波発生性、非地震性すべりについて、滑りのメカニズムと破壊伝搬過程、エネルギー散逸過程を解明することを目的とした。また、掘削による断層試料の分析に加えて、断層の上盤と下盤を構成する岩石の変形機構、岩石-流体相互作用を明らかにし、歪エネルギー蓄積・解放の物質科学的過程について解明することも目的とした。本計画研究の断層メカニズムの理解を大きく前進させた主要な研究成果は以下の 3 つである。

- 1) 南海トラフ海溝近傍のプレート境界断層、分岐断層浅部の掘削によって、世界で初めて地震性すべりの断層面を含む断層試料が回収された。それらの被熱履歴分析、鉱物学的分析、および水理学的分析の結果、津波を発生させ得る程度的高速滑りが起こったと推定する事ができた。この結果は南海トラフでの予想最大マグニチュードの変更へとつながった。
- 2) 日本海溝で起こった東日本大震災の津波発生域でプレート境界を貫く掘削を実施し、断層が回収された。その断層の分析の結果、本質的に極めて摩擦係数の小さいスメクタイト主体の粘土層がすべりに関与した事が明らかとなった。加えて残留熱の測定より、すべり弱化メカニズムとして熱加圧が重要な役割を果たしたと推定された。
- 3) 陸上部の付加体中に残されている地下 10 km 超深度での化石プレート境界断層岩の分析を実施した。その結果、すべり弱化メカニズムは極めて多様であり、摩擦溶融弱化、固液共存断層における間隙流体の熱加圧による弱化、粉碎液状化による弱化、滑り面のナノスケール薄膜非晶質化による弱化などが起こったと推定された。これらは基本的にドライな環境で起こる大陸地殻内部での地震断層弱化メカニズムと異なり、固液共存系におけるメカニズムであることが明らかとなった。

また、公募研究によって、化石地震断層の岩相の違いなどによる多様性、発生深度が明らかとなった。次項目で述べる理由により、掘削は南海トラフの海底下深度 5.2 km の地震発生断層には到達していないが、断層メカニズムの理解という目標は原位置観測を除いて、ほぼ達成できたといえる。

計画研究 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」

本計画研究では、応力場・力学特性（弾性波速度・物性）、水理特性（浸透率）、間隙水圧、温度等、断層および周辺の変動に寄与するパラメータを現位置で計測し、南海トラフ巨大地震断層やその上盤の物性・状態を把握することを目的とした。当初は、南海地震発生断層のプレート固着域（海底下 7,000 m）までの掘削が平成 24 年度までに完了する予定であったが、次項目で述べる理由により、平成 25 年度までに海底下 3,000 m

に到達するにとどまった。一方、合計 14 地点における掘削により、海溝軸海側から固着域上部までの浅部の特徴が克明に描像された。また後半に実施した東北地方太平洋沖地震断層掘削では、海溝まで到達した地震断層の状態・特性に関する多くの知見を得ることができた。

1) 応力場

C0009 孔で実施した水圧破碎実験では、必要な注水時間が確保できず、また既往の破碎帯を避けることができない等の問題のため、期待された精度には届かなかった。一方、孔内検層・実験とコア計測を統合することで、浅部の応力場が精度よく決定でき、基本的に正断層の場合（最大圧縮応力が鉛直）であり、最大水平圧縮応力の向きはプレート運動とほぼ平行であることが判明した。統合手法の開発と合わせて、予想を上回る大きな成果が上がった。

2) 弾性波速度・物性

C0009 孔では弾性波検層により P 波・S 波速度データ取得に成功し、S 波速度に異方性のある深度では、速度が速い方向が基本的にプレート収束方向に一致することを見出した。ただコア値との比較に時間を要し、当初の目標をやや下回った。

また、制御震源探査の設計・試作を行い、おもりを自由落下させる方式で 1 週間程度の連続運転に成功した。探査実施にはいたらなかった。

3) 水理・熱特性

C0009 孔の孔内検層で浸透率・間隙水圧の測定に成功した。また C0002 孔内観測所設置に成功し、海底下 900 m での地層温度が決定され、当初の目的はおおむね達成された。

計画研究 C02「海溝型巨大地震の準備・発生過程のモデル構築」

本計画研究では、海溝型巨大地震の準備・発生過程をデータ解析や数値計算によって包括的にモデル化することを大目標とし、以下の中目標を明確化して研究を進めた。1) 沈み込み帯浅部の付加体形成がどのようなになっているか、プレート浅部でどのような低速変形が起きているか。2) 地震の動的破壊伝播の様子はどのようなものか、プレート境界面形状は動的破壊にどのような影響を持つか。3) 地震サイクルはどうモデル化されるべきか？ 地震準備過程はどのようなものか。さらに、これらを総合して予測可能性を評価することも目的とした。研究開始時より南海地域を中心に研究を進めたが、2011 年に東北沖地震が発生した後はこの地域も対象に加えて研究を進めた。

1) 沈み込み帯浅部の付加体形成と低速変形については、当初計画していた粒子モデルによる付加体形成の再現を実現することができた。これにより地質学的スケールでの付加体の形成をイメージすることができる。現在の沈み込み帯浅部の観察においては、超低周波地震の発生を詳細にとらえることに成功し、そこから応力状態を推定することができた。その推定結果は C01 班による直接推定とも整合的であった。驚くべき発見は東北沖地震の際にプレートのごく浅部でスロースリップや微動が検出されたことである。これは 3) の準備過程についても重大な示唆を与える。

2) 動的破壊の研究では東北沖地震の破壊過程の解明を世界に先駆けて成し遂げた意義が大きい。この地震が小さな破壊から巨大地震まで階層的に成長していく様子は地震のモデル化に重要な知見を与えた。この東北沖地震を含め、動的破壊と分岐断層を含むプレート境界形状の数値計算は様々な角度から行われた。特に B01 班と共同で実際の断層の幾何学を参考にして動的モデルを作成したことは、地質学情報に基づいた断層動力学という新しい展開をもたらした。

3) 地震サイクルのシミュレーションは南海をはじめ東北、メキシコなど様々な地域で行われた。深部のゆっくり地震から浅部の固着領域までを統一的にモデル化する手法を確立することができた。世界の様々な地域でゆっくり地震の空間的不均質からプレート境界の不均質を推定できる可能性が示唆されており、この情報は 1) の東北沖地震直前の低速すべりや準備過程を地球物理学的に検出できる可能性を示唆するものであるが、また摩擦法則を仮定したシミュレーションでもその可能性は示唆されている。

これらの研究より、地震の予測には、従来の固有地震のアスペリティモデルが不適切であることがはっきりした。特に東北沖地震について観察されたような階層性を取り入れたモデルが必要である。そしてモデルのパラメータを推定するためにゆっくり地震が役立つこともわかってきた。本研究で定量的な評価をするには至らなかったが、今後はプレート境界の階層的性質を定量化し、数値計算によって確率的に地震の発生を予測すべきという方向が明らかになった。新しい海溝型巨大地震の描像が相当に見えてきたといえる。

4. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況（1ページ程度）

研究推進時に問題が生じた場合には、その問題点とそれを解決するために講じた対応策等について具体的に記述してください。また、組織変更を行った場合は、変更による効果についても記述してください。

本領域研究の計画研究 B02 と C01 は統合国際深海掘削計画（IODP）の南海トラフ地震発生帯掘削計画（NantroSEIZE）と密接に連携しながら進める計画であった。初年度から第二年度にかけては、本領域の研究がこの国際計画の中心的役割を果たして極めて順調に進んだ。しかし、第二年度が終わりに近づいた 2011 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震が発生し、掘削に従事する探査船「ちきゅう」は八戸港で津波の被害を受け、アジマススラスタが破損した。その結果、南海トラフの掘削をはじめ、予定されていた航海が大幅に遅延、キャンセル、変更を余儀なくされるに至った。更に、この地震と津波は日本海溝で起こったために、その原因を探るべき緊急の掘削計画（日本海溝緊急掘削計画；JFAST）が国際的に計画された。その掘削が「ちきゅう」修理後最初に実施されることとなり、2012 年 4~5 月に実行された。

本領域では、第三年度に実施された中間総括に際し、この事態を受けて、計画の変更を実施した。それは本領域の科学目的が、「海溝型巨大地震の新しい描像をプレート境界に達する掘削によって得る」ということであり、この日本海溝緊急掘削への参加は本領域の目的と完全に合致、整合的であると判断したからである。日本海溝緊急掘削計画は、前人未到の水深 7,000m の海底面からの掘削であったが、成功裏にプレート境界を掘削、掘削孔の断層試料の回収に成功した。また、プレート境界での温度測定も成功した。その結果、プレート境界は海溝まで高速で滑り抜け、津波が発生した事が検証された。本領域の緊急の計画変更によって大きな貢献が出来た事が教訓である。

一方で、本領域の南海トラフでの掘削の当初の計画は大きく遅れることを余儀なくされた。掘削が順調に進行した場合は、計画最終年度末までにぎりぎりで海底下約 5,200 m の地震発生断層へ到達できる可能性があった。そのために最終年度末に総仕上げとして予定していた国際集会を半年延期して取り組むこととした。しかしながら、2012 年の掘削中海底下約 2,000 m に達したところで、発達した低気圧通過の際に「ちきゅう」のライザー管接合部が損傷してライザー掘削が継続できなくなり、さらに 2013 年の掘削では海底下約 3,000 m に達したところで掘削孔の崩落が激しく、掘削を中断し、技術的検討をせざるを得ない事態となった。この深度は科学掘削としては世界記録ではあるが、掘削対象がプレートの運動に伴って歪エネルギーを蓄積しているところであり、かつ岩盤自体が付加体特有の変形を受け脆弱なことが掘削孔崩落の原因である。

その掘削困難性は、石油掘削等で蓄積されていた正常地層とは比較できないほどのものであったと、掘削責任主体である海洋研究開発機構から報告されている。掘削時のトルク設定や循環泥水の密度設計など前人未到の技術的困難さなどが遅延の主要な原因であることが、その後の検証の結果明らかとなった。掘削孔のケーシング設計の変更も含めて技術的課題が明らかとなっている。残念ながら本領域の研究期間内に超深度のプレート境界へは掘削が到達しなかったが、南海トラフでは目標深度まで掘削を継続する予定であり、近年中にプレート境界断層へ到達予定である。研究期間内にプレート境界断層へ到達しなかったことは残念なことであったが、本計画のこれまでの掘削においても、項目 8 において述べるように、上盤プレートに蓄積している応力の直接測定等、世界初の多くの科学的成果を挙げたと言える。

5. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況（1ページ程度）

研究領域内での若手研究者育成の取組及び参画した若手研究者の研究終了後の動向等を記述してください。

本研究領域では各大学・研究機関の学生・若手研究者に広く研究機会を与え、計画研究代表者・分担者・連携研究者と若手が一体となって領域研究を推進した。学会や研究集会等を通じて研究者間の交流・情報交換を重視し、各計画研究を横断した若手研究者の育成に努めた。特に大学院生の育成を積極的に行い、本領域の成果に貢献する多くの修士論文・博士論文の指導を行った。5年間を通じ、本領域に関与した修士学位取得者20名以上、博士学位取得者4名を輩出するに至り、博士課程の学生のうち、本領域期間中に日本学術振興会特別研究員（DC1, DC2）に採用された人数は東京大学、広島大学、筑波大学などで計9名に上る。こうした大学院生や若手研究者の育成の結果は、多くの優秀な論文の発表のみならず、多くの受賞、そして就職という形で現れている。若手研究者の受賞は本領域研究の成果が大きく実った最終年度を中心に、11件を数える。

博士研究員の職を得た若手研究者はのべ8名（うち、日本学術振興会特別研究員PDが3名）、大学や研究機関の研究職に8名（大学助教3名〔東京大学、鹿児島大学、青山学院大学〕、大学講師1名〔北海道大学〕、研究機関の研究員4名〔海洋研究開発機構、石油天然ガス金属鉱物資源機構など〕）が採用された。また、民間企業に就職した大学院生は20名以上であるが、その多くは専門性を活かした技術開発系、海洋調査系、資源探査系などで活躍している（例えば、日本海洋掘削株式会社、応用地質株式会社、国際石油開発帝石株式会社など）。5年間にわたる研究者育成の積極的な取り組みにより若手研究者が中堅研究者へと成長し、また研究コミュニティの裾野が大きく広がり、多方面に波及効果をもたらしている。

【主な受賞】

H23年度 東京大学理学部学術奨励賞：矢部 優
H23年度 日本地球惑星科学連合大会学生優秀発表賞：濱田洋平（東京大学大学院理学系研究科）
H25年度 日本地震学会若手学術賞：鈴木岳人（東京大学大学院理学系研究科）
H25年度 日本地震学会秋季大会学生優秀発表賞：麻生尚文（東京大学大学院理学系研究科）
H25年度 日本地震学会秋季大会学生優秀発表賞：西川友章（東京大学大学院理学系研究科）
H25年度 日本地震学会秋季大会学生優秀発表賞：木下千裕（京都大学大学院理学研究科）
H25年度 AGU2013 Outstanding Student Presentation Award：麻生尚文（東京大学大学院理学系研究科）
H25年度 東京大学理学系研究科研究奨励賞：矢部 優
H25年度 千葉大学理学研究科長表彰：和田純一
H26年度 日本地球惑星科学連合大会学生優秀発表賞：木下千裕（京都大学大学院理学研究科）
H26年度 日本地球惑星科学連合大会学生優秀発表賞：矢部 優（東京大学大学院理学系研究科）

【主な研究職採用実績】

H23年度 助教採用：山口飛鳥（東京大学大気海洋研究所）
H25年度 助教採用：北村有迅（鹿児島大学大学院理工学研究科）
H25年度 講師採用：亀田 純（北海道大学大学院理学研究院）
H23年度 研究員採用：Wu, H. Y.（海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域）
H25年度 職員採用：内藤和也（石油天然ガス金属鉱物資源機構）
H26年度 研究員採用：濱田洋平（海洋研究開発機構高知コア研究所）
H26年度 助教採用：鈴木岳人（青山学院大学理工学部）

6. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）（1 ページ程度）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

計画研究 A01「巨大地震断層の三次元高精度構造と物性の解明」

研究開始の初年度に研究基盤として整備した設備（大容量ハードディスク装置と画像解析用ワークステーション）と既存のデータ解析・解釈システム（東京大学大気海洋研究所が保有）はリモートアクセスを通じて研究領域内で共有されており、限られた研究インフラの有効活用を図った。また、謝金で各々雇用するデータ解析システム管理作業員と三次元反射法データ処理技術支援員の一元化を図り、1人の支援員に両方の業務を担当させることで、研究費の効果的使用（経費削減）や支援業務の効率化に努めた。

計画研究 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」

ROV用サブボトムプロファイラーシステム（平成21年度購入）は2010、2011年の調査航海で高精度の浅部地下構造取得に活用された。2.5ch海底温度計（平成22年度購入）およびケーブル切離装置付海底長期温度記録装置（平成22年度購入）は購入から研究期間終了まで海底下長期温度データの取得に用いられた。浅部地下音響断面データ処理システム（平成23年度購入）はSBP記録の高精度処理に活用した。LabVIEWプロフェッショナル開発システム（平成24年度購入）と偏光顕微鏡+撮影システム（平成24年度購入）は試料の定量的評価に活用した。

計画研究 B01「巨大地震断層の力学的・水理学的特性」

平成21年度に、千葉大学の既存のガス圧式高温高压三軸試験機（最高温度200°C、最大封圧200MPa、最大間隙水圧200MPa）に、変位・封圧・間隙圧の制御用サーボシステムを付加した。試験機本体の調整に時間を要したが、最終年度により早く試験機を稼働できる状態になり、変形・透水実験データが得られつつある。また平成22年度に、最高温度300°C、最大封圧150MPaの熱水条件下での摩擦実験を目指して、京都大学の既存の回転剪断試験機に高温高压容器を付加した。この試験機の調整にも時間を要し、残念ながらまだ試験機が稼働できる状態に至っていないが、近いうちに稼働予定である。これら以外に、実験データ収録システムを各研究機関（産業技術総合研究所・千葉大学・京都大学・海洋研究開発機構）に整備した。また、平成23~24年度の2年間、千葉大学で特任研究員を1名雇用し、試験機の調整を委ねた。

計画研究 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」

平成21年度に、大阪大学に熱分析システム、京都大学にフィッシュトラック画像処理システム、海洋研究開発機構にEDS検出器を導入し、断層試料の分析のための設備設置を進めた。また、東京大学と京都大学にそれぞれ、岩石分析用粉末試料作成のための粉碎ミルを購入した。平成22年度には、大阪大学と東京大学に分析補助装置を設置するとともに、東京大学と筑波大学には偏光顕微鏡を購入し、分析・観察を進めた。平成23年度には東京大学に分光光度計を導入し、分析を進めた。計画研究発足から平成24年度まで、本研究推進のために特任助教を雇用し、効果的に研究を進めることができた。国際学会などでの発表のための旅費、陸上部露出化石地震断層調査のために、旅費を使用した。学術論文出版経費としても使用した。

計画研究 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」

現場応力計測システムの開発・試験、コアの擬弾性緩和法の測定・精度向上、応力データ解析ソフト等の購入、弾性波検層データ、VSP検層データ、反射法地震探査データなどの解析、制御震源の試作、孔内水理・温度計測などに、多くの研究経費を使用した。また、博士研究員2名を2年間雇用し、効果的に研究を進めることができた。乗船、内外の学会出席などに旅費を使用した。

製作した機器・ソフトは、南海掘削やJFASTでの応力場や水理特性決定に重要な貢献をした。さらに今後の応力等現場計測にも大いに活用されると期待される。

計画研究 C02「海溝型巨大地震の準備・発生過程のモデル構築」

東京大学において特任助教を1名雇用し、神戸大学と建築研究所において研究補助員を雇用した。世界各地の連続地震波形データを収集するために、高性能データサーバーを購入した。毎年C02班主催の研究集会（2010年沖縄県、2011年台湾台北市、2012年宮城県、2013年オーストラリアブリスベン）を開催し、これらの集会および研究領域全体の研究集会への参加費用として旅費を使用し、また合計70編を超える学術論文の出版費用としても研究費を有効活用した。

7. 総括班評価者による評価（2ページ程度）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

KANAME の 5 年の総合的評価（将来に向かって）

2014 年 6 月 4 日 小川勇二郎（筑波大学名誉教授）

1. この 5 年間

5 年前にこの計画が発足した時は、まだ東北沖地震（2011 年 3 月）は起きていなかった。南海地震の震源を探り、その予測に役立てるための基礎研究と位置付けられる本計画は、この大地震によって、さまざまな発展をした。その一端が、JFAST であるが、相互に刺激を受ける形で、NanTroSEIZE そのものである KANAME 計画も、発展した。陣容の多くが、JFAST に協力し、大きな成果を挙げた。そこで得られた研究は、さらに NanTroSEIZE にも影響を与えている。その点、くしくも起きてしまった大災害ではあるが、それを研究に益する方向で働いたことは評価できる。それだけ、KANAME の陣容がしっかりしていたからだと思われる。日本の固体地球科学者が一丸となって両方に取り組んだ、ということが言える。

NanTroSEIZE の問題点は、当初から、サイエンス、テクノロジー、それに時の運、の 3 つがあると思われていた。サイエンスは、必要なものを時代にさきがけて行うということである。目標とする研究が、独創的かつ新規的である必要がある。テクノロジーは、しばしばサイエンスや社会の必要に迫られて発展するが、相互に刺激を受けて相乗的に発展することも多い。それがなされた例でもある。このような基礎研究に予算をつけた当局の理解にも敬意を表したい。運は、海洋研究にはつきものである。特に南海の海域に特有な黒潮対策である。一部はそれに翻弄されたが、時宜を得た計画変更によって、適正な方向へ舵を取れた、とすべきだろう。判断の的確性を評価したい。

サイエンティフィックな結果については、すでに十分に報告されており、それらは、多くの点で、時代の先端に行くものとして、内外に知られている。特に、有名国際誌に多くの論文として結実していることを、祝したい。グループの並々ならぬ努力があったことと思われる。特に、上に述べたように、海洋研究にありがちなその場主義、状況の変化に応じた臨機応変な判断が重要であったと思われる。全体をサポートした海洋研究開発機構と関連する企業の皆さんの努力にも、敬意を表したい。さまざまな経験を経てきた方々の、多様で親密な関係、相互の批判を許しつつも、全体の目標を見失いなわないスコープ、自らの判断に対する自信とそれに基づく決断が重要であったろう。

NanTroSEIZE は、非常に永続的な試みでもある。将来必ず起きる巨大地震の予測を目指す基礎研究であるが、その研究途上に、まさにそこと別の場所（日本海溝）で巨大地震が発生した。KANAME は、それを機敏にとらえ、双方の理解を行い、結び付けた、と言いうる。一方、社会が求めるものは、それらのサイエンティフィックな結果だけではない。サイエンスは、事物の現象の理解で、一応の結果とみなせるが、社会は、被害を未然に防ぐ、つまり前兆現象の補足と、それと将来起きる事象との、1 : 1 の対応である。社会は、いつか起きる、ではなく、必ず起きることへの予測を求めている（気象予報はそれをやっている）。

予測できなかったことへの言い訳である「想定外」が批判されて久しい。これは敗北を意味する。つまり、仮説検証型のサイエンスは、仮説が正しいときのみ、成り立つものであり、十分な仮説が用意されない限り、社会に評価されない。つまり、将来は、依然として予測科学の範囲外なのである。それゆえ、「結論ありき」の態度では、予測科学は成り立たない。これは、大震災を経てきた国民の正直な期待だろう。

日本の近代科学の 150 年を振り返ると、1896 年の濃尾地震以来、東北地震津波、関東地震、南海・東南海

地震などが起きてきた。それごとに新しいサイエンスの基盤が作られて、それらは一定の成果を挙げてきた。しかし、依然として、地震予測はほとんどの場合成功していない。また、火山と地震の関連も主張されているが、いまだしである。ただ、地震とその活動結果である断層に関しても、今回の KANAME 研究により、非常に多くの成果が得られたことは大いに評価すべきである。特に、物性と条件変化による断層面の形成と伝播、地域と時代ごとに現象の変化など、特筆すべき研究成果が多い。物性研究では、浸透率、粘土鉱物、間隙水の圧力と化学組成などとの関連が、実験的に示された成果は大いに評価される。すでに述べたように、前兆現象もある程度明らかになって来た。

2. 将来に向かって

問題は、「次の次」である。東北地震が起きる前に、ある著名な研究者は、今すぐには地震予知はできまい、我々は「次の次」を狙うべきだ、と書いていた。その「次」は 2011 年に起きた。つまり「次の次」は差し迫っているのである。日本海溝で起きた今、南海、関東、千島などが巨大地震の候補であるが、それ以外にも、琉球、伊豆、日本海側、それに内陸と、地震の起きる個所は、どこにでもあるともいえる。「次」を予測できなかったら、社会の評価はどうなるだろうか？

今回までの研究で、言えることは、前著現象は、稠密なモニターでのみ補足できるということである。つまり、モニターを全域に、早急に網羅することである。これは技術的に可能なことである。(起きてしまった)現象の研究は、KANAME が象徴するように、大きな成果を挙げた。海洋と陸上の対応も相当の成果を挙げた。今後は、それによって、将来と言う時間を補足することにある、と言えるだろう。

サイエンスの評価はどのようになされるだろうか？サイエンスは、社会からは「事物や現象の公平な解明方法」と定義されるだろう。我々の生命や生活を守るものは、サイエンス以外にはないと思われる。技術はそれを支えるだろう。

(以上)



小川勇二郎 (2014, 6, 4; オハヨー州マイアミ大学にて)

8. 主な研究成果（発明及び特許を含む）【研究項目毎または計画研究毎に整理する】

（3 ページ程度）

新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（発明及び特許を含む）について、現在から順に発表年次をさかのぼり、図表などを用いて研究項目毎に計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。

計画研究 A01「巨大地震断層の三次元高精度構造と物性の解明」

1) 巨大分岐断層の幾何形状と活動性 (Yamada et al., 2013)

熊野沖 3 次元 MCS データを用いて巨大分岐断層の浅部形態を詳細に解析した結果、東側地域と西側地域で断層形態・曲率などが異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巨大分岐断層の形成履歴が異なることを示唆している。特に、断層面の 3 次元起伏パターンから、滑らかな形態の部分は断層の活動性が高いことが明らかとなった。

2) プレート境界断層の間隙流体圧 (Hashimoto et al., 2013)

陸上（四国）付加体中の過去の沈み込みプレート境界地震断層における上盤・下盤の岩石を対象に、室内実験により有効圧下で P 波・S 波速度を測定した。その結果、流体圧比がおよそ 0.75 以上であると推定され、このような地震発生帯浅部の高間隙流体圧は、超低周波地震の発生や巨大地震性すべりの海溝軸への伝播に重要な影響を及ぼすと考えられる。

3) 日本海溝の巨大地震断層イメージング (Nakamura et al. 2013; Kodaira et al., 2012)

東北地方太平洋沖地震発生後、日本海溝の海溝軸付近で高分解能 MCS 探査を実施した結果、震源近傍の海溝軸近傍において堆積層が逆断層によって変形している構造を初めて明瞭に捉えた。この観測事実は、沈み込み浅部は地震性滑りを起こさないというこれまでの通説を覆すものであり、地震学を始めとする関連研究分野に大きな影響を与える結果となった。

4) 巨大地震断層の 3 次元構造と P 波速度 (Park et al., 2010)

熊野沖 3 次元 MCS データを用いて巨大地震断層の 3 次元構造のイメージングに成功した。また、3 次元重合前深度マイグレーション速度解析の結果、巨大地震断層付近の P 波速度構造が得られ、変形フロントから外縁隆起帯までの付加体内部において最大層厚約 2 km、幅約 15 km、長さ約 120 km に及ぶ、流体に富むと考えられる低速度層を発見した。

計画研究 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) 深海曳航式音波探査により厚い泥層を斜面堆積盆で確認し、地震時に高懸濁層が海溝陸側斜面の孤立した堆積盆に集積する可能性を指摘した (Ashi et al., 2014)。

2) 日本海溝において熱流量測定を行ない、高熱流量の原因が沈み込むプレート内の流体循環であることを明らかにした (Kawada et al., 2014)。

3) 仙台湾における堆積物試料の分析 (図 1、軟 X 線写真 (左) と記載スケッチ (右)) から、2011 年東北地震による地震動による堆積層の変形 (図 1 の①) と津波起源の重力流堆積物の被覆 (図 1 の②)、さらに原発事故由来物質を含む泥質層の堆積 (図 1 の③) を明らかにした (Ikehara et al., 2014)。

4) 2011 年東北地震の際に移動した海底地震計の位置のズレおよび堆積物の種類から津波に起因した堆積物移動を推定した (Arai et al., 2013)。

5) 日本海溝の海溝陸側斜面の海底観察・地殻熱流量測定・地下構造から伸張変形の可能性について議論した (Tsuji et al., 2013)。

6) 2004 年紀伊半島南東沖地震の直後と通常時の比較により、地震時に伴う泥火山からのメタン湧出を明らかにした (Tsunogai et al., 2012)。

7) 南海トラフ付加プリズムにおけるメタンの発生・移動プロセスを、深海掘削試料の間隙流体の化学組成・同位体組成から解明した (Toki et al., 2012)。

8) 東北日本島弧-海溝系の長期的歪蓄積過程と超巨大歪解放イベントを指摘した (池田ほか, 2012)。

9) 日本海溝の地形地質より巨大地震すべりによる津波発生を評価した (Kawamura et al.,

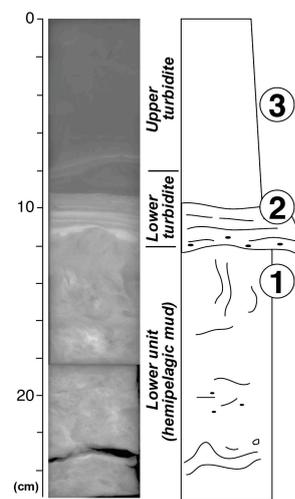


図 1. 仙台湾の柱状試料。

2012)。

- 10) 熊野沖巨大分岐断層出口の断層上盤に発達する強震動変形堆積物の特徴を明らかにするとともに、その形成が1944年の東南海地震によるものであることを示した(Sakaguchi et al., 2011)。

計画研究 B01「巨大地震断層の力学的・水理学的特性」

- 1) 南海トラフ付加体浅部、日本海溝プレート境界断層浅部とその上・下盤、およびコスタリカ沖ココスプレート表層部の掘削試料について変形・透水実験を行った結果、力学・水理特性が粘土鉱物含有量によって系統的に変化することが明らかとなった。すなわち、粘土鉱物含有量の増加に伴い摩擦強度が低下し、摩擦に対する流動の影響が大きくなる(図2; Takahashi et al., in review; Namiki et al., in review; Hirose et al., 2013, JpGU)。また、粘土鉱物に富む堆積物は難透水性でゆっくりと破壊する性質がある(Takahashi et al., 2013)。
- 2) 日本海溝プレート境界断層浅部は、粘土鉱物に富み摩擦強度が著しく小さいため地震性すべりが伝播しやすく、また難透水性で地震性すべりによって熱加圧が起こって強度がさらに低下したため、東北地方太平洋沖地震時に大きく変位したと考えられる(Ujiie et al., 2013; Tanikawa et al., 2013)。

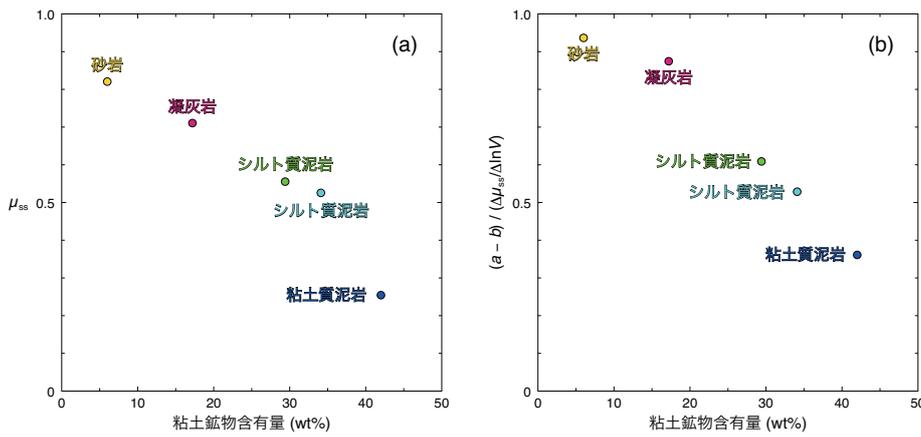


図2. 南海トラフ付加体浅部堆積物試料の、変位速度 $V = 1.155 \mu\text{m/s}$ における定常摩擦係数 μ_{ss} (a)、および定常摩擦係数の変位速度依存性 $\Delta\mu_{ss}/\Delta\ln V$ に対する摩擦構成則パラメータ $(a-b)$ 値の割合 (b) の、粘土鉱物含有量による変化。定常摩擦係数の変位速度依存性は摩擦すべりにおける流動成分も含むが、 $(a-b)$ 値は摩擦成分のみを表している。

計画研究 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) 南海トラフ海溝近傍のプレート境界断層、分岐断層浅部の掘削によって世界初のすべりの断層面を含む断層試料が回収された。それらの被熱履歴分析、鉱物学的分析、および水理学的分析の結果、津波を発生させる程度的高速滑りが起こったと推定する事ができた。この結果は南海トラフでの予想最大マグニチュードの変更へとつながった(Sakaguchi et al., 2011; Yamaguchi et al., 2011)。
- 2) 日本海溝で起こった東北地方太平洋沖地震の津波発生域でプレート境界を貫く掘削を実施し、断層が回収された。その断層の分析の結果、本質的に極めて摩擦係数の小さいスメクタイト主体の粘土層がすべりに関与した事が明らかとなった。加えて残留熱の測定より、すべり弱化メカニズムとして脱水熱加圧が重要な役割を果たしたと推定された(Ujiie et al., 2013; Fulton et al., 2013; Chester et al., 2013)。
- 3) 陸上部の付加体の中に残されている地下10 km超深度での化石プレート境界断層岩の分析を実施した。その結果、すべり弱化メカニズムは極めて多様であり、摩擦溶融弱化、固液共存断層における摩擦熱の間隙流体熱加圧による弱化、粉碎液状化による弱化、滑り面のナノスケール薄膜非晶質化による弱化などが起こったと推定された。これらは基本的にドライな環境で起こる大陸地殻内部での地震断層弱化メカニズムと異なり、固液共存系におけるメカニズムであることが明らかとなった(Kimura et al., 2012; Ujiie et al., Hirono et al., 2013; Yamasaki et al., 2013)。

その他に(4)玄武岩海洋地殻サポナイト粘土鉱物系が地震発生帯における主要水源となることの発見(Kameda et al., 2011) (5)日本海溝沈み込み堆積物による脱水と間隙水圧比見積もり(Kimura et al., 2012) (6)化石地震破碎帯断層系解析より小さな有効摩擦を推定(Kimura et al., 2013)、(7)地震性滑り時に断層近傍の流体が還元的環境へ変化を推定(Yamaguchi et al., 2011)、(8)化石地震断層破碎帯の物性記載に成功(Hamahashi et al., 2013)。

計画研究 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) 東北地方太平洋沖地震後の緊急掘削では、孔内検層とコアから地震に伴い応力降下が起こったこと (Lin et al., 2013)、プレート境界周辺での温度異常 (+0.3°C) から地震すべり時の摩擦係数が 0.1 以下と小さいこと (Fulton et al., 2013) が明らかとなった。
- 2) 2010 年に C0002 孔に孔内長期観測所 (海底下 800~1,000m) が設置され、その後 DONET に接続され、リアルタイムで地震・地殻変動・間隙水圧・温度データ取得を開始した。孔内長期観測所の温度データから、海底下 900 m の地層温度は 38°C、熱流量は 56 mW/m² と決定された (Kinoshita et al., 2013, AGU)。これを境界条件として分岐断層 (~5,000 m) の温度を 130~150°C と推定した。
- 3) 地震サイクルで断層上に蓄積される剪断応力量を数値計算し、最大でも 3 MPa であることを示した (Kinoshita and Tobin, 2013)。
- 4) 熊野海盆中央でライザー掘削された C0009 孔では、水圧破碎試験とコア弾性変形法を併用し、海底下 876.9 m では水平面内の応力は等方的で 35 MPa、海底下 1,533.9 m では水平最大・最小応力が 42 MPa、55 MPa と評価された (Ito et al., 2013)。またドローダウン試験により、浸透率はおおむね低いこと、間隙圧はほぼ静水圧に等しいことが分かった (Saffer et al., 2013)。また孔壁破壊から推定された水平最大圧縮応力の方位最大応力方位が N155°E と、プレート収束の方向に一致した (図 3; Lin et al., 2010)。
- 5) 熊野海盆南縁 C0002 地点の浅部では、コアの擬弾性歪回復を用いた応力推定法により、鉛直方向の応力が最大で正断層形成の場であること、プレート収束方向に水平「最小」圧縮であることを明らかにした (図 3; Byrne et al., 2009)。
- 6) 熊野沖の前弧断層をはさんで BSR (ガスハイドレート下面) 分布が不連続であることから、断層が最近まで活動したことを示した (Kinoshita et al., 2011)。

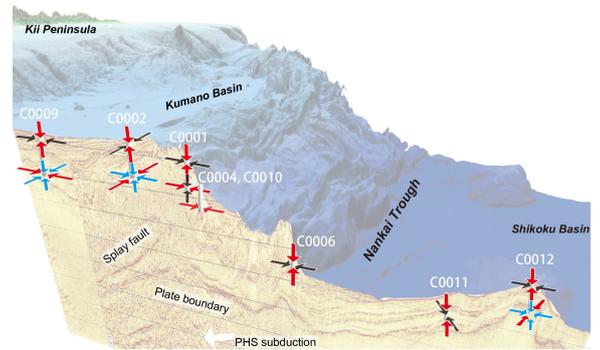


図 3. 南海トラフ掘削地点の応力場 (Lin et al. (2010) や Byrne et al. (2009) に基づく)。赤:最大圧縮、青:最小圧縮、黒:中間。

計画研究 C02 「海溝型巨大地震の準備・発生過程のモデル構築」

海溝型巨大地震の準備・発生過程のうち、沈み込み帯浅部の付加体形成と低速変形、地震の動的破壊伝播とプレート境界面形状、地震準備過程を含む地震サイクルに焦点を絞って数値計算、データ解析研究を行った。

- 1) アナログ実験により塑性変形が支配的な場でも破壊が起きることを示した (Namiki et al., 2014)。
- 2) 最新の摩擦構成則を用いた数値計算により前駆すべりの検知可能性を確認した (Kame et al., 2013)。
- 3) 東北沖地震の前にスロースリップや微動が起きていたことを明らかにした (Ito et al., 2013)。
- 4) 豊後水道のスロースリップと地殻変動から、歪蓄積の空間的不均質性を解明した (Yoshioka et al., 2013, AGU)。
- 5) 動的断層分岐の数値計算と天然断層の微細構造の直接比較が可能になった (Ando, 2013, JpGU)。
- 6) 海底地震観測により紀伊半島沖のプレート境界の複雑な速度構造を推定した (Akuhara et al., 2013)。
- 7) 多くの地域で深部微動カタログを整備し、統計的性質の多様性を明らかにした (Ide, 2012)。
- 8) プレート境界の深部で微動やスロースリップを、浅部で巨大地震を説明する統一モデルを構築した (Shibazaki et al., 2011, 2012)。
- 9) 数値計算で付加体内のデコルマの活動と応力・強度変化の関係を解明した (Hori and Sakaguchi, 2011)。
- 10) 東北沖地震の破壊プロセスを分析し、4つの異なるフェーズを指摘した (Ide et al., 2011)。
- 11) 微動の多様性を断層面上に粘性と脆性の不均質を与えた決定論的破壊進展モデルによって説明した (Ando et al., 2010; Nakata et al., 2011)。
- 12) フィリピン海プレートの紀伊半島と四国の間に断裂がある可能性を指摘した (Ide et al., 2010)。
- 13) 南海の微動の線状不均質を発見し、その原因が長期プレート運動にあると仮説を立てた (Ide, 2010)。
- 14) 南海地域の浅部低周波地震のメカニズムを解明し、現在の付加体内部の応力場を求めた (Ito et al., 2009)。

9. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5ページ程度）

新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。論文の場合、現在から順に発表年次をさかのぼり、計画研究・公募研究毎に順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に*印を付してください。また、一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

主な論文等

特集号として、

Great Earthquakes along Subduction Zones. Special Issue, Kimura G, Brodsky EE, Toro GD, Ide S, Kanagawa K, Park JO and Underwood MB (Guest Editors), *Tectonophysics*, **600**, 22 編.

New Perspective of Subduction Zone Earthquake. Special Issue, Kimura G, Ashi J, Kinoshita M, Rowe C and Shelly D (Guest Editors), *Earth, Planets and Space*, **66**, 順次掲載中(2014.6 現在).

計画研究 A01

- *Yamada Y, Masui R, Tsuji T (2013) Characteristics of a tsunamigenic megasplay fault in the Nankai Trough. *Geophys. Res. Lett.* (査読有) , **40**, 4594–4598, doi:10.1002/grl.50888.
- *Pickering KT, Underwood M, Saito S, Park JO, 5 others (2013) Depositional architecture, provenance, and tectonic/eustatic modulation of Miocene submarine fans in the Shikoku Basin: Results from Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (査読有) , **14**, 1722–1739, doi:10.1002/ggge.20107.
- *Hashimoto Y, Doi N, Tsuji T (2013) Difference in acoustic properties at seismogenic fault along a subduction interface: Application to estimation of effective pressure and fluid pressure ratio. *Tectonophysics*. (査読有) , **600**, 134–141, doi:10.1016/j.tecto.2013.03.016.
- *Nakamura Y, 4 others (2013) High-resolution seismic imaging in the Japan Trench axis area off Miyagi, northeastern Japan. *Geophys. Res. Lett.* (査読有) , **40**, 1713–1718, doi:10.1002/grl.50364.
- *Kodaira S, No T, Nakamura Y, 6 others (2012) Coseismic fault rupture at the trench axis during the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Nature Geoscience* (査読有) , **5**, doi:10.1038/ngeo1547.
- *Park JO, Kodaira, S. (2012) Seismic reflection and bathymetric evidences for the Nankai earthquake rupture across a stable segment-boundary. *Earth Planets Space* (査読有) , **64**, 299–303, doi:10.5047/eps.2011.10.006, 2012.
- *Moore JC, Yamada Y, 4 others (2011) Growth of borehole breakouts with time after drilling: Implications for state of stress, NanTroSEIZE transect, SW Japan. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (査読有) , **12**, doi:10.1029/2010GC003417.
- *Tsuji T, Sanada Y, Park JO, 8 others (2011) In situ stress state from walkaround VSP anisotropy in the Kumano basin southeast of the Kii Peninsula, Japan. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (査読有) , **12**, doi:10.1029/2011GC003583.
- *Yamada Y, 2 others, Nakamura Y (2011) Structural styles across the Nankai Accretionary Prism revealed from LWD borehole images and their correlation with seismic profile and core data: Results from NanTroSEIZE Stage 1 Expeditions. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (査読有) , **12**, doi:10.1029/2010GC003365.
- *Park JO, Hori T, Kuramoto S, 7 others (2010) A low-velocity zone with weak reflectivity along the Nankai subduction zone. *Geology* (査読有) , **38**, 283–286, doi:10.1130/G30205.1.
- *Chang C, Lin W, Yamada Y, 3 others (2010) In situ stress state in the Nankai accretionary wedge estimated from borehole wall failures. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (査読有) , **11**, doi:10.1029/2010GC003261.
- *Hashimoto Y, 2 others (2010) Velocity-porosity relationships for slope apron and accreted sediments in the Nankai Trough Seismogenic Zone Experiment, Integrated Ocean Drilling Program Expedition 315 Site C0001. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (査読有) , **11**, doi:10.1029/2010GC003217.
- *Martin KM, Ashi J, Park JO, Kuramoto S, 4 others (2010) Possible strain partitioning structure between the Kumano fore-arc basin and the slope of the Nankai Trough accretionary prism. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **11**, doi:10.1029/2009GC002668.
- *Underwood MB, Saito S, Kubo Y, IODP Expedition 322 Scientists (2010) IODP Expedition 322 drills two sites to document inputs to the Nankai Trough Subduction Zone. *Sci. Drill.* (査読有) **10**, 14–25.

- *Park JO, Hori T, Kaneda Y (2009) Seismotectonic implications of the Kyushu-Palau ridge subducting beneath the westernmost Nankai forearc. *Earth Planets Space* (査読有) **61**, 1013–1018.
- *Strasser M, Kimura G, Park JO, 8 others (2009) Origin and evolution of a splay fault in the Nankai accretionary wedge. *Nature Geosci.* (査読有) **2**, 648–652, 2009, doi:10.1038/geo609.
- *Tsuji T, Park JO, Kuramoto S, 4 others (2009) Intraoceanic thrusts in the Nankai Trough off the Kii Peninsula: Implications for intraplate earthquakes. *Geophys. Res. Lett.* (査読有) , **36**, doi:10.1029/2008GL036974.
- *Tudge J, 3 others, Saito S, Expedition 314 Scientists (2009) Petrophysically determined lithofacies at the Nankai Trough Accretionary Prism: NanTroSEIZE, IODP Expedition 314. *J. Geol. Soc. London* (査読有) **166**, 961–968, doi:10.1144/0016-76492008-136.

計画研究 A02

- *Ashi J, Sawada R, Omura A, Ikehara K (2014) Accumulation of an earthquake-induced extremely turbid layer in a terminal basin of the Nankai accretionary prism. *Earth Planets Space* (査読有) , 掲載決定.
- *Kawada Y, Yamano M, Seama N (2014) Hydrothermal heat mining in an incoming oceanic plate due to aquifer thickening: Explaining the high heat flow anomaly observed around the Japan Trench. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (査読有) , **15**, 1580–1599, doi:10.1002/2014GC005285.
- *Ikehara K, Irino T, Usami K, Jenkins R, Omura A (2014) Possible submarine tsunami deposits on the outer shelf of Sendai Bay, Japan resulting from the 2011 earthquake and tsunami off the Pacific coast of Tohoku. *Mar. Geol.*, (査読有) , doi:10.1016/j.margeo.2014.01.001.
- *Kawamura K, Laberg JS, Kanamatsu T, 2 others (2014) Potential tsunamigenic submarine landslides in active margins. *Mar. Geol.* (査読有) , doi:10.1016/j.margeo.2014.03.007.
- *Arai K, Naruse H, Miura R, Kawamura K, 7 others (2013) Tsunami-generated turbidity current of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Geology* (査読有) , **41**, 1195–1198, doi:10.1130/G34777.1.
- *Goldfinger C, Ikeda Y, 2 others (2013) Superquakes and supercycles. *Seis. Res. Lett.* (査読有) , **84**, 24–32, doi:10.1785/0220110135.
- *Tsuji T, Kodaria S, Ashi J, Park JO (2013) Widely distributed thrust and strike-slip faults within subducting oceanic crust in the Nankai Trough off the Kii Peninsula, Japan. *Tectonophysics.* (査読有) , **600**, 52–62, doi:10.1016/j.tecto.2013.03.0142.
- *Tsuji T, Kawamura K, 6 others (2013) Extension of continental crust byanelastic deformation during the 2011 Tohoku-oki earthquake: The role of extensional faulting in the generation of a great tsunami. *Earth Planet Sci. Lett.* (査読有) , **364**, 44–58, doi:10.1016/j.epsl.2012.12.038.
- *Kawamura K, Sasaki T, Kanamatsu T, Sakaguchi A, Ogawa Y (2012) Large submarine landslides in the Japan Trench: A new scenario for additional tsunami generation. *Geophys. Res. Lett.* (査読有) , **39**, L05308, doi:10.1029/2011GL050661.
- *Tsunogai U, Maegawa K, Sato S, Komatsu DD, Nakagawa F, Toki T, Ashi J (2012) Coseismic massive methane release from a submarine mud volcano. *Earth Planet Sci. Lett.* (査読有) , 341/344, 79–85.
- *Toki T, Uehara Y, Kinjo K, Ijiri A, Tsunogai U, Tomaru H, Ashi J (2012) Methane production and accumulation in the Nankai accretionary prism: Results from IODP Expeditions 315 and 316. *Geochem. J.* (査読有) , **46**, 89–106.
- *Hamamoto H, Yamano M, 4 others (2011) Heat flow distribution and thermal structure of the Nankai subduction zone off the Kii Peninsula. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (査読有) , **12**, Q0AD20, doi:10.1029/2011GC003623.
- *Sakaguchi A, Chester FM, 10 others (2011) Seismic slip propagation to the up-dip end of plate boundary subduction interface faults: Vitrinite reflectance geothermometry on Integrated Ocean Drilling Program NanTroSEIZE cores. *Geology* (査読有) , **39**, 395–399, doi:10.1130/G31642.
- *Sakaguchi A, Kimura G, 4 others (2011) Episodic seafloor mud brecciation due to great subduction zone earthquakes. *Geology* (査読有) , **39**, 919–922, doi:10.1130/G32043.1.

計画研究 B01

- *Ujii K, Tanaka H, Saito T, Tsutsumi A, 6 others, Expedition 343 and 343T Scientists (2013) Low coseismic shear stress on the Tohoku-Oki megathrust determined from laboratory experiments. *Science* (査読有) , **342**, 1211–1214, doi:10.1126/science.1243485.
- *Tanikawa W, Hirose T, Mukoyoshi H, Tadai O, Lin W (2013) Fluid transport properties in sediments and their role in large slip near the surface of the plate boundary fault in the Japan Trench. *Earth Planet Sci. Lett.* (査読有) , **382**, 150–160, doi:10.1016/j.epsl.2013.08.052.

- Takahashi M, Azuma S, Uehara S, *Kanagawa K, Inoue A (2013) Contrasting hydrological and mechanical properties of clayey and silty muds cored from the shallow Nankai Trough accretionary prism. *Tectonophysics* (査読有), **600**, 63–74, doi:10.1016/j.tecto.2013.01.008.
- *Kitajima H, Saffer DM (2012) Elevated pore pressure and anomalously low stress in regions of low frequency earthquakes along the Nankai Trough subduction megathrust. *Geophys. Res. Lett.* (査読有), **39**, L23301, doi:10.1029/2012GL053793.
- *Kitajima H, Chester FM, Biscontin G (2012) Mechanical and hydraulic properties of Nankai accretionary prism sediments: Effect of stress path. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (査読有), **13**, Q0AD27, doi:10.1029/2012GC004124.
- *Tanikawa W, Mukoyoshi H, Tadaï O, Hirose T, Tsutsumi A, Lin W (2012) Velocity dependence of shear-induced permeability associated with frictional behavior in fault zones of the Nankai subduction zone. *J. Geophys. Res.* (査読有), **117**, B05405, doi:10.1029/2011JB008956.
- *Tsutsumi A, Fabbri O, Karpoff AM, Ujiie K, Tsujimoto A (2011) Friction velocity dependence of clay-rich fault material along a megasplay fault in the Nankai subduction zone at intermediate to high velocities. *Geophys. Res. Lett.* (査読有), **38**, L19301, doi:10.1029/2011GL049314.
- *Faulkner DR, Mitchell TM, Behnsen J, Hirose T, Shimamoto T (2011) Stuck in the mud? Earthquake nucleation and propagation through accretionary forearcs. *Geophys. Res. Lett.* (査読有), **38**, L18303, doi:10.1029/2011GL048552.
- *Di Toro G, Han R, Hirose T, De Paola N, Nielsen S, Mizoguchi K, Ferri F, Cocco M, Shimamoto T (2011) Fault lubrication during earthquakes. *Nature* (査読有), **471**, 494–498, doi:10.1038/nature09838.
- *Ujiie K, Tsutsumi A (2010) High-velocity frictional properties of clay-rich fault gouge in a megasplay fault zone, Nankai subduction zone. *Geophys. Res. Lett.* (査読有), **37**, L24310, doi:10.1029/2010GL046002.
- *Tanikawa W, Sakaguchi M, Tadaï O, Hirose T (2010) Influence of fault slip rate on shear-induced permeability. *J. Geophys. Res.* (査読有), **115**, B07412, doi:10.1029/2009JB007013.

計画研究 B02 (公募研究含む)

- *Kameda J, Kawabata K, Hamada Y, Yamaguchi A, Kimura G (2014) Quartz deposition and its influence on deformation process of megathrust in subduction zone. *Earth Planets Space* (査読有), **66**, <http://www.earth-planets-space.com/content/66/1/28>.
- *Kimura G, Hamahashi M, Okamoto S, Yamaguchi A, Kameda J, 4 others (2013) Hanging wall deformation of a seismogenic megasplay fault in an accretionary prism: The Nobeoka Thrust in southwestern Japan. *J. Struct. Geol.* (査読有), **52**, 136–147, doi:10.1016/j.jsg.2013.03.015.
- *Fulton PM, Brodsky EE, Kano Y, Mori, J, Chester, F, Ishikawa T, 4 others, Exp.343/343T and KR13-08 Scientists (2013) Low coseismic friction on the Tohoku-oki fault determined from temperature measurements. *Science* (査読有), **342**, 1214–1217, doi:10.1126/science.1243641.
- *Hirono T, Tanikawa W, Honda G, Kameda J, Fukuda J, Ishikawa T (2013) Importance of mechanochemical effects on fault slip behavior during earthquakes. *Geophys. Res. Lett.* (査読有), **40**, 2988–2992, doi:10.1002/grl.50609.
- *Ujiie K, 9 others, Exp.343 and 343T Scientists, (2013) Low coseismic shear stress on the Tohoku-oki megathrust determined from laboratory experiments. *Science*, (査読有) **342**, 1211–1214, doi:10.1126/science.1243485.
- *Tagami T, 4 others (2013) Constraining the timing of brittle deformation and faulting in the Toki granite, central Japan. *Chem. Geol.* (査読有), **351**, 168–174, doi:10.1016/j.chemgeo.2013.05.005.
- *Yamamoto Y, Lin W, Oda H, Byrne T, Yamamoto Y (2013) Stress states at the subduction input site, Nankai Subduction Zone, using anelastic strain recovery (ASR) date in the basement basalt and overlying sediments. *Tectonophysics*. (査読有), **600**, 91–98, doi:10.1016/j.tecto.2013.01.028.
- *Vannucchi P, Ujiie K, Stroncik N, IODP Exp. 334 Scientific Party (2013) IODP Expedition 334: An investigation of the sedimentary record, fluid flow and state of stress on top of the seismogenic zone of an erosive subduction margin. *Sci. Drill.* (査読有), **15**, 23–30, doi:10.2204/iodp.sd.15.03.2013.
- *Kimura G, 6 others (2012) Runaway slip to the trench due to rupture of highly pressurized megathrust beneath the middle trench slope: The tsunamigenesis of the 2011 Tohoku earthquake off the east coast of northern Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.* (査読有), **339/340**, 32–45, doi:10.1016/j.epsl.2012.04.002.

計画研究 C01

- *Kinoshita M, Tobin HJ (2013) Interseismic stress accumulation at the locked zone of Nankai Trough seismogenic fault off Kii Peninsula. *Tectonophysics*. (査読有), **600**, 153–164,

doi:10.1016/j.tecto.2013.03.015.

- *Fulton PM, Brodsky EE, Kano Y, 7 others, Expedition 343/343T and KR13-08 Scientists (2013) Low coseismic friction on the Tohoku-oki fault determined from temperature measurements. *Science* (査読有), **342**, 1214–1217, doi: 10.1126/science.1243641.
- *Wang K, Kinoshita M (2013) Dangers of being thin and weak. *Science* (査読有), **342**, 1178–1180, doi: 10.1126/science.1246518.
- *Ito T, Funato A, Lin W, Doan ML, Boutt D, Kano Y, 5 others (2013) Determination of stress state in deep subsea formation by combination of hydraulic fracturing in-situ test and core analysis – a case study in the IODP Expedition 319 –. *J. Geophys. Res.* (査読有), **118**, 1203–1215, doi:10.1029/2012JB009724.
- *Xue L, 3 others, Kano Y, 8 others (2013) Continuous permeability measurements record healing inside the Wenchuan earthquake fault zone. *Science* (査読有), **340**, 1555–1559, doi: 10.1126/science.1237237.
- *Lin W, 8 others, Expedition 343 Scientists (2013) Stress state in the largest displacement area of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Science* (査読有), **339**, 687–690, doi: 10.1126/science.1229379.
- *Sugioka H, 5 others, Kinoshita M, 3 others (2012) Tsunamigenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip. *Nature Geosci.* (査読有), **5**, doi: 10.1038/NGEO1466.
- *Kimura G, 4 others, Kinoshita M, Yamaguchi A (2012) Runaway slip to the trench due to rupture of highly pressurized megathrust beneath the middle trench slope: The tsunamigenesis of the 2011 Tohoku earthquake off the east coast of northern Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.* (査読有), **339/340**, 32–45, doi:10.1016/j.epsl.2012.04.002.
- *Kinoshita M, Moore GF, Kido YN (2011) Heat flow estimated from BSR and IODP borehole data: Implication of recent uplift/erosion of the imbricate thrust zone in the Nankai Trough off Kumano. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (査読有), **12**, Q0AD18, doi:10.1029/2011GC003609.
- *Lin W, 5 others (2011) Principal horizontal stress orientations prior to the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki, Japan, earthquake in its source area. *Geophys. Res. Lett.* (査読有), **38**, L20309, doi:10.1029/2011GL049744.
- *Lin W, 5 others, Kinoshita M (2011) Thermal conductivities under high pressure in core samples from IODP NanTroSEIZE drilling site C0001. *Geochem. Geophys. Geosyst.* (査読有), **12**, Q0AD14, doi:10.1029/2010GC003449.
- *Lin W, 4 others (2010) Localized rotation of principal stress around faults and fractures determined from borehole breakouts in hole B of the Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project (TCDP). *Tectonophysics.* (査読有), **482**, 82–91, doi:10.1016/j.tecto.2009.06.020.
- *Lin W, Ito T, Kinoshita M, Kano Y, Araiki E, 29 others (2010), Present-day principal horizontal stress orientations in the Kumano forearc basin of the southwest Japan subduction zone determined from IODP NanTroSEIZE drilling Site C0009. *Geophys. Res. Lett.* (査読有), **37**, L13303, doi:10.1029/2010gl043158.

計画研究 C02

- *Ide S (2013) The proportionality between relative plate velocity and seismicity in subduction zones. *Nature Geosci.* (査読有), **6**, 780–784, doi:10.1038/ngeo1901.
- *Yoshioka S, Matsuoka Y (2013) Interplate coupling along the Nankai Trough, southwest Japan, inferred from inversion analyses of GPS data: Effects of subducting plate geometry and spacing of hypothetical ocean-bottom GPS stations. *Tectonophysics.* (査読有), **600**, 165–174, doi: 10.1029/2011GL049308.
- *Kame N, 3 others (2013) Effects of a revised rate- and state-dependent friction law on aftershock triggering model. *Tectonophysics.* (査読有), **600**, 187–195, doi:10.1016/j.tecto.2012.11.028.
- *Ide S (2012) Variety and spatial heterogeneity of tectonic tremor worldwide. *J. Geophys. Res.* (査読有), **117**, B03302, doi:10.1029/2011JB008840.
- *Shibazaki B, 3 others (2012) Modeling of slow slip events along the deep subduction zone in the Kii Peninsula and Tokai regions, southwest Japan. *J. Geophys. Res.* (査読有), **117**, B06311, doi:10.1029/2011JB009083.
- *Ito Y, Shiomi K (2012) Seismic scatterers within subducting slab revealed from ambient noise autocorrelation. *Geophys. Res. Lett.* (査読有), **39**, L19303, doi:10.1029/2012GL053321.
- *Ito Y, 8 others (2011) Frontal wedge deformation near the source region of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. *Geophys. Res. Lett.* (査読有), **38**, L00G05, doi:10.1029/2011GL048355.
- *Hori T, Sakaguchi H (2011) Mechanism of décollement formation in subduction zones. *Geophys. J. Int.* (査読有), **187**, 1089–1100, doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05204.x.
- *Ide S, Baltay A, Beroza, GC (2011) Shallow dynamic overshoot and energetic deep rupture in the 2011 Mw 9.0 Tohoku-Oki earthquake. *Science* (査読有), **332**, 1426–1429, doi:10.1126/science.1207020.
- *Shibazaki B, 4 others, Ito Y. (2011) 3D modeling of the cycle of a great Tohokoki earthquake, considering

frictional behavior at low to high slip velocities. *Geophys. Res. Lett.* (査読有), **38**, L21305, doi:10.1029/2011GL049308.

*Nakata R, Ando R, Hori T, Ide S. (2011), Generation mechanism of slow earthquakes: Numerical analysis based on a dynamic model with brittle-ductile mixed fault heterogeneity. *J. Geophys. Res.* (査読有), **116**, B08308, doi:10.1029/2010JB008188.

*Shibazaki B, 3 others (2010) Modeling the activity of short-term slow slip events along deep subduction interfaces beneath Shikoku, southwest Japan. *J. Geophys. Res.* (査読有), **115**, B00A19, doi:10.1029/2008JB006057.

*Ando R, Nakata R, Hori T. (2010) A slip pulse model with fault heterogeneity for low-frequency earthquakes and tremor along plate interfaces. *Geophys. Res. Lett.* (査読有), **37**, L10310, doi:10.1029/2010GL043056.

*Ide S, Shiomi K, Mochizuki K, Tonegawa T, Kimura G. (2010) Split Philippine Sea plate beneath Japan. *Geophys. Res. Lett.* (査読有), **37**, L21304, doi:10.1029/2010GL044585.

*Ide S (2010) Striations, duration, migration and tidal response in deep tremor. *Nature* (査読有), **466**, 356–359, doi:10.1038/nature09251.

*Ito Y, Asano Y, Obara K (2009) Very-low-frequency earthquakes indicate a transpressional stress regime in the Nankai accretionary prism. *Geophys. Res. Lett.* (査読有), **36**, L20309, doi:10.1029/2009GL039332.

主催シンポジウム等

- Session SE20 “New perspectives on subduction zone megathrust earthquakes” at Asia Oceania Geosciences Society 11th Annual Meeting (2014年7月31日~8月1日@札幌ロイトンホテル)
- 日本地球惑星科学連合大会 2014年大会セッション S-SS30「海溝型巨大地震の新しい描像」(2014年4月28~29日@パシフィコ横浜会議センター)
- 孔内応力計測に関する国際ワークショップ (2013年8月20~22日@仙台)
- Session SE04 “Modeling fast and slow earthquakes in subduction zones” at Asia Oceania Geosciences Society 10th Annual Meeting (2013年6月24日~28日@Brisbane, Australia)
- 日本地球惑星科学連合大会 2013年大会セッション S-SS31「海溝型巨大地震の新しい描像」(2013年5月21~22日@幕張メッセ国際会議場)
- Session S33A, S43H, S44A “Numerical modeling of the mega-earthquakes: Their scale and complexity” at American Geophysical Union 2012 Fall Meeting (2012年12月3日~7日@San Francisco, USA)
- 日本地質学会第119年学術大会トピックセッション T5「沈み込み帯地震発生帯研究の新たな進展」(2012年9月16日@大阪府立大学)
- 日本地球惑星科学連合大会 2012年大会セッション S-SS38「海溝型巨大地震の新しい描像」(2012年5月23~24日幕張メッセ国際会議場)
- International Conference on a New Perspective of Great Earthquakes along Subduction Zones (2012年2月28日~3月1日@高知市文化プラザ「かるポート」)
- 日本地質学会第118年学術大会トピックセッション T17「新展開沈み込み帯地震発生帯科学: 付加, 造構性浸食, そして陸上アナログ」(2011年9月10日@茨城大学)
- Session SE71 “Fast and slow earthquakes and seismotectonics along the northwestern edge of the Philippine Sea Plate” at Asia Oceania Geosciences Society 8th Annual Meeting (2011年8月8日~12日@Taipei, Taiwan)
- 日本地球惑星科学連合大会 2011年大会セッション S-SS35「海溝型巨大地震の新しい描像」(2011年5月23~24日@幕張メッセ国際会議場)
- 日本地球惑星科学連合大会 2011年大会セッション U-02 “New perspective of great earthquakes along subduction zones” (2011年5月25日@幕張メッセ国際会議場)
- 日本地質学会第117年学術大会シンポジウム(4)「南海トラフ沈み込み帯研究の最新成果」(2010年9月19日@富山大学)
- 日本地球惑星科学連合大会 2010年大会セッション S-SS19「「ちきゅう」が明らかにする南海トラフ地震発生帯のメカニズム」(2010年5月23~24日@幕張メッセ国際会議場)

ホームページ

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

一般向けのアウトリーチ（総数 50 件以上から抜粋）

- ・熊野の大地と地球の進化（講師：木村 学）（2014 年 4 月 19 日@南紀熊野ジオパーク推進協議会総会記念講演）
- ・JFAST 速報：東北の巨大地震はどうして起こったか（講師：木下正高）（2014 年 3 月 23 日@高知・東北防災講演会「高知から南海・東南海地震を考える」）
- ・「ちきゅう」による掘削調査からわかったプレート境界浅部巨大地震性滑りのメカニズム（講師：氏家恒太郎）（2014 年 3 月 9 日@公開シンポジウム「大震災津波のメカニズムと三陸の海の現在」）
- ・ゆっくり地震が変える地震の理解（講師：井出 哲）（2013 年 10 月 6 日@第 118 回東京大学公開講座）
- ・南海トラフ地震発生帯掘削：これまでの実施内容とその成果／今年度の科学目標（講師：金川久一）（2013 年 8 月 22 日・9 月 9 日@南海掘削記者勉強会第 1 回・第 2 回）
- ・巨大地震：「ちきゅう」掘削でどこまで分かったか（講師：木下正高）（2013 年 5 月 11 日@サイエンスカフェ鳥取）
- ・海溝型巨大地震の新しい描像（講師：木村 学）（2012 年 11 月 4 日@第 22 回東京大学理学部公開講演会）
- ・東北地方太平洋沖地震調査掘削について（講師：斎藤実篤）（2012 年 10 月 5 日@スーパーサイエンスハイスクール@福島県立福島高等学校）
- ・海底から探る海溝型巨大地震（講師：芦 寿一郎）（2012 年 7 月 25 日@スーパーサイエンスハイスクール@大阪府立豊中高等学校）
- ・断層を調べて地震が起こる仕組みを明らかにする（講師：氏家恒太郎）（2011 年 12 月 20 日@スーパーサイエンスハイスクール@神奈川総合産業高校）
- ・新しい地震の科学（講師：木村 学）（2011 年 11 月 23 日@第 6 回環境サイエンスカフェ in 国立科学博物館）
- ・海溝型巨大地震－海底下で何が起きているのか？（講師：芦 寿一郎）（2011 年 6 月 12 日@第 3 回柏市民講座）
- ・「ちきゅう」が切り開く新たな地震科学（講師：木村 学）（2010 年 3 月 27 日@統合国際深海掘削計画普及講演 in AKIBA）

プレスリリース（総数 18 件から抜粋）

- ・東北地方太平洋沖地震における巨大地震・津波発生メカニズムの解明～地球深部探査船「ちきゅう」の科学成果が「SCIENCE」誌に 3 編同時掲載～（2013 年 12 月 6 日）
- ・東南海地震（1944 年）の津波断層を特定する物的証拠の発見～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計画の成果～（2011 年 10 月 3 日）

その他：報道／取材／寄稿：50 件以上

10. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度（1ページ程度）

研究領域の研究成果が、当該学問分野や関連分野に与えたインパクトや波及効果などについて記述してください。

本領域は、地球惑星科学分野において、従来の地震学、地球物理学による観測に加えて、地質学、岩石力学、地球化学、地形学などの手法を全面的に加えて実施された。対象は、観測自体が容易ではない深海底、海溝であり、かつ掘削船「ちきゅう」によって到達する前人未到の地下深度であった。このような手法、対象が従来全く経験のないものであり、今後の固体地球科学分野、地球惑星科学分野の研究のありかたを象徴的に示すものでもあることは、本領域を提案する段階から意識し、強調して取り組んできた。

このことは当該コミュニティにおいても強く認識された。毎年春に開かれる地球惑星科学連合大会においても、本領域が主催するセッション「海溝型巨大地震の新しい描像」が常に聴衆数百名に及ぶ最大のものであり続けたことに、そのことは象徴的に表れたと言える。ちなみに、地球惑星科学連合大会は日本における50の学協会が共同で開催しているものであり、関連国際シンポジウムなども同時に開催される。現在アメリカの地球物理学連合、欧州地球科学連合に次いで世界三番目の規模の大会である。本領域が主催したセッションは、東日本大震災をもたらした東北地方太平洋沖地震の科学的解明を進めるコミュニティの研究の集約点であり、本領域の研究成果はその中において中心的な役割を果たしたと言える。今後の自然災害関連基礎研究の1つのあり方を示したと言えるだろう。

本研究の重要な成果、波及効果は、本研究の成果の1つが直ちに国の防災計画の変更につながり、今後の地震と津波の最大規模の見直しにつながったことである。統合国際深海掘削計画（IODP）と連携して実施されたプレート境界断層の分析研究、実験研究、それを説明し得る力学シミュレーション研究の結果、南海トラフ、日本海溝ともプレート境界における地震性高速滑りが海溝まで到達することが証明されたからである。この研究結果の国際的波及効果は極めて大きく、海溝域を沿岸に抱える全ての国における地震津波防災対策に直接的に影響を与えている。また、沿岸域に海溝が存在しなくとも時間遅れで津波は被害をもたらすので、その国際的観測体制、警鐘システム構築に波及効果をもたらしたと言える。

本領域研究を進めるにあたって新たに開発された分析手法、実験手法の波及効果も大変大きい。そのうちの代表的具体的事例の1つとして摩擦実験がある。これまで装置の限界で、低速でしか実現出来ていなかった摩擦実験を、元京都大学教授の嶋本利彦氏（本領域研究項目Bに参加）らは地震性すべりに相当する高速においても実験出来るように改良した。かつ、それに対してあえて特許を取らず、世界中の研究者が研究できる環境を整えた。本領域においては、研究項目Bにおいて世界からも多くの研究者が参加し、実際に海溝域で回収したプレート境界断層を用いて、短期間のうちにほとんど全ての岩石・物質において地震を起こす高速条件下においては弱体化し、滑りが拡大することが明らかとなった。研究の飛躍的推進と新たな研究技術開発との関係の1つのあり方を示したと言える。このことは、本領域研究項目Cにおける孔内観測技術開発改良などにおいても言えることであり、科学・技術研究における一般的課題として分野を超えて共有しておくべき事項である。

本領域は、海溝域における巨大地震発生の基礎的理解を直接的目的として実施され、防災対策等を主眼とした「地震予知計画」などと情報交換はしつつも独立した基礎研究として実施した。かつ、地震予知計画にこれまで関与してこなかった多くの研究分野（地質学、地形学、地球化学など）を組織し、それらを統合する形で進めた。その結果、別途示したように多くの研究成果を挙げることができ、結果として防災計画の見直しにつながるように、多くの波及効果を生み出すことができた。

このことから教訓的に以下のことが言える。自然科学一般において避けて通る事ができない社会的貢献を強く意識しつつも、本領域のように地震津波発生の基本的メカニズムの理解・解明を目的とする基礎科学主導の研究は堅持することが重要である。それに際して従来の狭い専門分野区分は積極的に打破し、分野を超えた共通理解を構築することが重要である。特に防災等社会貢献が絡む分野では対策につながる成果が早急に求められることは当然でもあるが、科学的理解を超えて可能性に言及する事は科学者の側としてはあってはならないことである。科学者の側が、未来予測可能性について科学の到達点を高めていくことのみが、波及効果として社会貢献につながる道である。