

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）海陸プレート境界における海域観測によるプレート間滑りの把握と多様なプレート間すべりのモデル構築

（英文）Diversity of slip between plates by marine observation in the plate boundary regions and modelling of slip between plate boundaries

(3) 関連の深い建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (5) 地震発生及び火山活動を支配する場の解明とモデル化
ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

(4) その他関連する建議の項目：

1 地震・火山現象の解明のための研究

- (2) 低頻度かつ大規模な地震・火山噴火現象の解明
地震

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

- (1) 地震発生の新たな長期予測（重点研究）
ア. プレート境界巨大地震の長期予測

5 分野横断で取り組む地震・火山噴火に関する総合的研究

- (1) 南海トラフ沿いの巨大地震
(2) 首都直下地震

6 観測基盤と研究推進体制の整備

- (1) 観測研究基盤の開発・整備
イ. 観測・解析技術の開発

(5) 令和5年度までの関連する研究成果（または観測実績）の概要：

「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）」における「千島海溝・日本海溝における複合海底地震測地観測によるプレート境界の挙動解明とそのモデル化」として、観測では、東北沖地震の震源域とその周辺を含む千島海溝・日本海溝において、海域を中心とした測地・地震モニタリング観測を実施し、スロー地震を含む地震活動と地殻変動など多様なすべり現象を明らかにした。また、房総半島沖相模トラフでは海底水圧観測により、スロースリップの拡がり限定した。一方、実験・モデリングでは、プレート境界の状態を再現した摩擦実験から、多様なすべり現象がおこる条件・要因を明らかにしてきた。さらに、観測・実験の結果から沈み込みプレート境界で起こるすべり現象を説明するモデルの構築を行った。以下にこれまでの主要な実績をあげる。

・周期的スロースリップを繰り返す三陸沖北部の海溝近傍において、低周波微動・超低周波地震の活動を把握するために、海底地震計群列や新たに開発した小型広帯域海底地震計なども用いた長期海底地震観測を行った。

・房総半島沖において、自己浮上式海底圧力計を用いた上下変動地殻変動観測を継続している。また、過去に発生した房総沖スロースリップの海底圧力計データの解析を行い、これまでの解析よりも精度のよい（標準偏差約1.6 hPa）結果が得られた。

・巨大地震が発生する可能性がある千島海溝根室沖において、GNSS/A(GPS/A)観測を観測船とウェー

ブグライダーで行った。これまでのデータより、海底地殻変動を求めると共に、プレート境界浅部における固着状態を推定した。

・宮城県沖で実施してきたOBS 繰り返し観測で得られたデータを用いた震源再決定を行った上で、2011年東北地方太平洋沖地震の前後におけるプレート内応力状態を推定した。1978年宮城県沖地震の震源域直上では、2011年以前から活発であった上盤プレート内地震活動が東北沖地震後も継続しており、こうした地震の発震機構解から応力場を推定した。

・日本海溝沿いにおける既存GNSS/A観測データの再解析により、上下変動を含む東北沖地震後の広域な海底地殻変動場の詳細を明らかにした。特に、上下変動の空間分布は本震後の粘弾性緩和のモデルについて新たな拘束を与える。さらに、ウェーブグライダーを用いた高頻度観測を実施した。

・日本海溝から千島海溝の海域における低周波微動の活動について、過去の実施された自己浮上式海底地震計を用いた稠密地震観測のデータをもとに解析を進めた。微動活動が活発化する前後で、微動活動域の近傍でも小繰り返し地震を含む通常地震活動が活発化する事例を複数確認することができた。これらから非地震性すべりの存在が示唆される。

・泥質岩・蛇紋岩試料を用いて、熱水摩擦実験を行い、定常摩擦係数の変位速度依存性を求めた。実験の結果からは、地震発生帯付近の深度において、海洋プレート表層物質による地震の破壊核の形成が示唆された。

・石英・滑石混合ガウジを用いて、室温、有効法線応力10 MPaの条件下で摩擦実験を行い、滑石含有量の増加に伴って、ガウジの摩擦挙動は固着すべりからゆっくりとした固着すべりを経て安定すべりへと遷移した。これは、プレート境界断層帯内の層状珪酸塩鉱物の存在がスロースリップの発生に必要な速度中性条件をもたらしていることを示唆している。

・オパールについて、日本海溝沈み込み帯浅部の温度・封圧・間隙水圧条件下で変位速度急変摩擦実験を行い、摩擦特性の温度変化とその要因について検討した。実験の結果、温度上昇に伴って摩擦強度が増大し、100°C以上の温度で変位速度上昇に伴って摩擦強度が低下する速度弱化的挙動となり、150°Cで地震性断層運動に対応する固着すべりが起こることが明らかとなった。

・海山由来の玄武岩試料について、沈み込み帯浅部の温度・封圧・間隙水圧条件下で変位速度急変摩擦実験を行い、沈み込んだ海山がアスペリティとしてふるまう性質を持つ可能性について検討した。その結果、 $a - b$ 値は温度上昇に伴って正から負へと変化すること、温度50°Cの沈み込み帯浅部の温度条件下では有効圧に関わらず $a - b$ 値が正となることが明らかとなった。

・1986年明治三陸津波地震の破壊過程を解明するために、速度構造探査から明らかにされている低剛性率の付加体を考慮した、すべり依存則に基づく動的破壊のモデルを構築した。破壊速度は付加体のS波速度に規定され、1.5 km/sと遅くなることがわかった。

・海山の沈み込みに起因するプレート境界沿いの低速度・低密度の薄い層の存在を考慮した地震サイクルシミュレーションを行った。これにより、深海底タービダイトの分布から明らかにされたM9級巨大地震の発生サイクルをモデル化することに成功した。

・日本海溝中部で地震発生サイクルシミュレーションを行い、東北沖地震後の宮城県沖地震の準備過程について検討するとともに、宮城県沖地震の余効すべりに着目して結果を分析した。これにより、M9地震発生サイクルの後半に発生する宮城県沖地震の余効すべりはupdip側への伝播が顕著であるのに対し、M9地震後に発生する宮城県沖地震の余効すべりはupdip側へはあまり広がらないという違いがみられた。

(6) 本課題の5か年の到達目標：

近年の観測より、沈み込み帯では多様な滑り現象が発生していることが明らかとなっており、スロー地震を含む地震活動、スロースリップに代表される地殻変動などの地殻活動の詳細を現在最先端の海底観測技術をもちいた長期のモニタリングを用いて明らかにする。観測の実施対象域は、地震発生サイクルにおいて、様々な状態に位置していると考えられる沈み込み帯とする。日本海溝南部は、巨大地震である東北沖地震の震源域に属していると考え、伊豆小笠原海溝北部は東北沖地震震源域に隣接する地域である。一方、相模トラフでは、1923年の関東地震が発生しており、その後海溝型の巨大地震は発生していない。南海トラフ東部から中部は、巨大地震の発生が予想されている領域である。このような沈み込み帯において、海底観測測器を用いた長期モニタリングを実施し、プレート境界の状態を把握する。一方、海底から得られた試料を用いて沈み込み帯浅部条件の摩擦実験を行うことにより、多様なすべり現象の条件・要因を明らかにする。得られた観測結果と実験結果を併せて、多様な

プレート間すべりをモデル化する。本課題の5か年の到達目標は、プレート境界の状態の把握および多様なすべり現象の条件・要因の解明であり、これらから多様なプレート間すべりをモデル化することである。本課題は、沈み込みプレート境界における地震発生機構に関する理解を進めるために必要不可欠であり、さらに、将来的には地震サイクルのモデル化により、大地震発生の長期予測の信頼性を高めることに資することをめざす。さらに、起こりうる地震の最大規模、プレート運動による歪みの蓄積量などを推定し、さらに他の沈み込み帯と比較することにより、沈み込み帯における巨大地震の発生の理解をめざす。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

東北沖地震震源域南部にあたる日本海溝南部（福島県沖から千葉県沖）と伊豆小笠原海溝域北部において、自己浮上式長期観測型海底地震計（広帯域地震計を含む）による観測を実施する。観測期間は約2年弱とし、その設置と回収を隔年で繰り返し行うことにより、約5年間の観測を実施する。日本海溝南部では、海底ケーブル式日本海溝地震・津波観測網(S-net)とも連携して、なるべく広域かつ高密度な観測が行えるように配慮する。2011年東北沖地震発生後に発生するプレート境界ならびに太平洋プレート内で発生する多様なすべり現象の規模および頻度の時空間的な分布を明らかにする。伊豆小笠原海溝域北部では、これまでに准モニタリング的な観測が実施されたことがあまりないため、まずは地震発生帯である浅部プレート境界の形状と構造、地震発生の様式とその深さ変化、地震発震機構解の決定、さらには、広帯域観測による様々なスロー地震の検出を目的とする。

房総半島沖相模トラフにおいてはスロースリップが発生することが知られており、自己浮上式海底精密水圧計による観測を引き続き、実施する。水圧計による観測では、観測期間を長期化することによる安定な観測の実施により、スロースリップなどの大規模なすべりイベントの時空間発展の推定を行う。加えて、GNSS/A海底地殻変動観測を実施して、上下変動だけではなく、水平変動も把握し、すべりイベントの時空間発展の推定精度の向上を図る。さらに、S-netと自己浮上式海底地震計の組み合わせによる高密度観測をおこない、スロースリップ前後の地震波速度構造変化の検出を試みる。同様に南海トラフ東部においても、同様の目的で、海底ケーブル観測システム(DONET)と自己浮上式海底地震計の組み合わせによる高密度海底地震観測を行う。

実験・モデル研究では、これまでに深海掘削により得られた試料を用いて沈み込み帯浅部条件の摩擦実験を行い、沈み込み帯浅部の多様なすべり現象の条件や要因を明らかにし、そのモデル化を行ってきた。今後は沈み込み帯浅部条件に加えて深部条件の摩擦実験も行って地震発生域周辺のプレート境界の挙動を明らかにすると共に、観測により得られた知見と併せて、日本海溝、相模トラフおよび南海トラフにおけるプレート境界断層の多様なすべりを明らかにするモデルの高度化を行う。

(8) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

篠原雅尚（東京大学地震研究所）、塩原肇（東京大学地震研究所）、望月公廣（東京大学地震研究所）、一瀬建日（東京大学地震研究所）、山田知朗（東京大学地震研究所）、悪原岳（東京大学地震研究所）

他機関との共同研究の有無：有

日野亮太（東北大学理学研究科）、木戸元之（東北大学災害科学国際研究所）、太田雄策（東北大学理学研究科）、東龍介（東北大学理学研究科）、富田史章（東北大学災害科学国際研究所）、村井芳夫（北海道大学）、佐藤利典（千葉大学）、伊藤喜宏（京都大学防災研究所）、山下裕亮（京都大学防災研究所）、八木原寛（鹿児島大学）、仲谷幸浩（鹿児島大学）、澤井みち代（千葉大学）、奥田花也（海洋研究開発機構）、平内健一（静岡大学）、芝崎文一郎（建築研究所）、松澤孝紀（防災科学技術研究所）

(9) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：

電話：

e-mail：

URL：

(10) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所