

(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）日向灘における海山沈み込みによるプレート境界滑り現象への影響解明

（英文）Effects of the seamount subduction on plate coupling in Hyuga-Nada

(3) 関連の深い建議の項目：

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

(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

(3) 地震発生過程の解明とモデル化

(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

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

(2) 推進体制の整備

(4) 国際共同研究・国際協力

(5) 本課題の5か年の到達目標：

日向灘は、巨大地震の発生してきた強い固着域である南海トラフの西端に位置し、固着が弱いと考えられている琉球トラフへの遷移域である。境界には九州パラオ海嶺が存在し、海山列の沈み込みが、日向灘の地震発生に大きな影響を与えている。海山に代表されるプレートの凹凸（形状）は、摩擦係数・岩質・温度圧力条件に加えて、重要なパラメータであると近年注目されている。特に沈み込む海山は巨大地震発生時の破壊のバリアになる可能性が強く示唆され、茨城県沖、南海トラフ熊野灘沖・室戸沖、ニュージーランド沖ヒクラング、メキシコ沖など、日本のみならず、世界的に研究が行われている。これは、海山が上盤の破壊を引き起こすと同時に応力・流体挙動を局所的に著しく変化させるためであると考えられるが、その全容は解明されていない。日向灘では、現在沈み込む海山周辺で、スロー地震が繰り返し発生し、海山沈み込み現象と地震活動への影響を解明するために最適な場所である。近年、同海域では、地殻地震探査をはじめとする地球物理探査が実施され、海山の位置、プレート境界断層の形状、上盤内部の構造が解明されつつある。また、地震モニタリングおよび原位置での物理物性把握を目指した国際的な掘削計画の実施が目前に迫っている。本研究では、掘削計画の最適化を行うとともに、これまでに蓄積されてきた地球物理探査データの再解析・地質構造再解釈および岩石実験を実施し、海山沈み込みの実態（海山の形状、上盤の変形・断層発達、間隙水圧異常・流体挙動）を明らかにする。これを元にした応力・温度場モデリングから3次元的な地震活動場を描像し、スロー地震発生状況と合わせることで、固着・滑りへの影響を考察する。こうした地震学・岩石物理学・地質学を横断する研究を実施し、海山沈み込みと巨大地震を含む地震活動、ひいてはプレート形状と固着との関係をより明瞭にすることで、防災計画立案に貢献することを目指す。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

本課題では以下の三項目を実施する。

1. 海山およびその周囲の構造把握 (R6-10)

日向灘における物理探査は、沈み込む海山の大きな場所およびそれに伴うプレートの変形などを明らかにしてきた。また、海底地震観測により微動・超低周波数地震が海山周辺で繰り返し起こることがわかってきた。しかしながら、プレートおよび上盤の海山による変形の詳細と地震活動との関係は未解明である。海洋研究開発機構、東京大学地震研および京都大学では蓄積された物理探査データや海底地震観測データの高度再解析を実施中であり、海山および周辺の場の新たな知見が得られつつある。本提案では、いまだ再解析されていない重要地震探査測線を中心に検討を行う。高知大学で現在進行中の研究と共同して、宮崎層群・日南層群など陸上アナログや南海トラフなどの掘削ですでに得られている岩石・堆積物試料を用いて室内実験を実施し、弾性パラメータ（例えば速度）と流体パラメータ（間隙率）の関係を推定することで、上記解析の精度・信頼性を上げる。海山周辺の構造イメージング、速度構造推定、地質構造解釈の詳細化から、異常間隙水圧分布やフラクチャおよび断層の発達する領域を同定し、海山沈み込みによる応力場・温度場のモデリングを行う。この際に既存・進行中の解析結果を総合して、地震活動との関係を検討する

2. 孔内観測・掘削計画の準備 (R6-8)

日向灘で実施予定の国際深海科学掘削では、長期孔内観測によるスロー地震の検出および海山の影響の原位置の物性把握を目指している。日向灘では未だ検出されていないスロースリップ観測に向けて観測精度を上げるために、従来の圧力計測に加え、光ファイバーでの先端的なひずみ測定を計画している。掘削により原位置での岩石・堆積物試料を取得し、物性を計測することは1.の解析に大きく貢献する。本提案では、国際深海科学掘削と連携しながら、1.の海山周辺の構造・物性推定を踏まえた孔内観測および掘削パラメータの最適化を目指す。すなわち、サイト選定（場所・深度）を最適化する。また、海洋研究開発機構で現在進行中の孔内観測の機器のデザイン・開発と連動して、情報収集を行うことで、日向灘の孔内観測に貢献する。

3. 国際ワークショップ (R7)

海山沈み込みによる場の変化と地震活動の関連に焦点をあてた国際ワークショップを開催する。海底地震観測の進歩、掘削・孔内観測の実施、新たな地殻構造探査データ取得などを通じ、海山沈み込みの影響の研究は、世界的に急激に進んでいる。構造・流体・応力・摩擦などの間の複雑な相互作用を理解する

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

本年度は、構造探査データの反射法イメージング再解析、波形インバージョンの適用、および新たに解析が終了した反射断面の構造解釈・構造解析を実施し、沈み込む九州パラオ海嶺とスロー地震活動の関係について検討した。反射法イメージングはプレート境界や断層など地下の構造境界を明らかにすることに主眼をおき、波形インバージョンは地震波速度を推定することに注力する。この二つを合わせることで、地震断層を描写し、その活動を規定する物性値（例えば間隙水圧分布）を把握することができる。これらの結果は次年度に予定される日向灘における科研費やJAMSTECプロジェクト・国際科学掘削計画を通じたなどを通じた光ファイバーによる孔内および海底モニタリング海底流体・熱計測計画のサイト選定に、重要な役割を果たした。

具体的には、2000年代に海上保安庁によって取得された2本の構造探査測線 (KPr1, KPr2) に対し、最新の反射法解析技術を適用し、海山と上盤の再解析イメージングを実施した。イメージの周波数帯域を拡張するブロードバンド処理および詳細な反射速度トモグラフィを適用することで、構造イメージの大幅な改良が見られた。沈み込むプレートおよび堆積物の形状が明瞭になるとともに、上盤の変形、断層の発達、海山の前方・後方で大きく異なることが明らかになり、海山直上の応力影でスロー地震が少ないことが確認された（図1）。また、2021年に新たにかいめいのマルチチャンネル反射法地震探査で取得された日向灘沖の地震反射断面のデータ3測線であるHYG1、HYG2T、HYG2Sを対象に構造地質学的な観点から構造解釈・構造解析を行った（図2）。まず、新たな側線における沈み込む海山の位置の決定した。この海山を基点として巨大分岐断層の存在を確認した。さらに上盤の

変形構造が海山海側と陸側で異なり、陸側では海盆が形成され泥火山による貫入構造など見られ、海側では付加体の逆断層帯と、沈み込む堆積物の層が確認された。これらの構造的特徴は流体移動に関わるものであり、かつ微動は陸側に多いことから、微動の発生を促進するとされる高間隙流体圧を高めるプロセスの議論に資すると期待できる。

また、近年着目される波形インバージョンを反射法データおよび JAMSTEC によって取得された海底地震計データ (HYU2) に適用中である。波形インバージョンは波形情報を最大限活用することで高解像度の地震波速度構造が得ることができ、海底地震計データを用いた場合には 15-20km までの速度構造を、反射法データを用いた場合には 10 km 程度までの詳細な速度構造を推定できる。本年度の海底地震計データへの適用から、プレート上面がおよび九州パラオ海嶺内が非常に不均質で、さらに海山付近に低速度帯が発達することがわかった。反射法波形インバージョンは石油探査業界では頻回に行われてるが、より大深度までを対照する地殻イメージングへの適用は成功例は稀である。そこで、本年度一部データを用いてテストを実施し、前処理・パラメータ設定について検討した。その結果ガスハイドレートによる速度異常などが検知でき (図3)、これに基づき、広範囲への適用が可能であることが確認された。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

地震学、テクトニクス、地質学といった多分野の研究者が共同して研究を行い、本研究の核となる反射イメージ・速度構造、物性実験を進めた。特に、九州パラオ海嶺の海山との相対位置により構造が大きく異なり、スロー地震の詳細分布との関連性が改めて示唆され、来年度以降物性、さらにとの関係を検討していくことで、日向灘のスロー地震さらにプレート間固着との関連性を具体的に定量的に明らかにしていくことができると考える。こうした海山に代表されるプレート境界の凹凸の影響は、他地域 (南海トラフ室戸沖・熊野沖、茨城沖など) でも強く示唆されており、研究結果は災害軽減に向け広く貢献する。

(8) 令和6年度の成果に関連の深いもので、令和6年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

・ 論文・報告書等

Ma, Y., Nakata, R., Mochizuki, K., Hashimoto, Y., Hamada, Y.. 2024, Structural control on the shallow tremor distribution linked to seamount subduction: insights from high-resolution seismic imaging in Hyuga-nada. Earth Planets Space 76, 133, doi:10.1186/s40623-024-02082-9, 査読有, 謝辞無

・ 学会・シンポジウム等での発表

Ma, Y., Nakata, R., Mochizuki K., Hashimoto Y., Hamada, Y., 2024, Full Waveform Inversion for Seamount Subduction Imaging in Hyuga-nada, Japan: Implications for Shallow Tremor Activity, 日本地球惑星科学連合2024年大会

Adachi, M., Hamada, Y., Hashimoto Y., Shiraishi, K., Ma, Y., Nakata, R., Kinoshita, M., 2024, Structural description and interpretation of the seismic reflection image along subducting seamount in Hyuga-nada, 日本地球惑星科学連合2024年大会

Nakata, R., Mochizuki, K., Nakata, N., Kinoshita, M., Hashimoto, Y., Hamada, Y., Nakamura, Y., Miura, S., Arai, R., 2024, P- and S-wave velocity imaging from active and passive seismic data for seamount subduction at Hyuga-Nada, 日本地球惑星科学連合2024年大会

Kinoshita, M., Shiraishi, K., Nakata, R., Hamada, Y., Hashimoto, Y., Araki, E., Sawai, M., 2024, Heat flow in the western Nankai forearc, SW Japan, derived from BSR, surface probe and drilling: Implication for the effect of seamount subduction on earthquakes, AGU Fall Meeting

(9) 令和6年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 令和7年度実施計画の概要：

来年度は、今年度の解析・実験・解釈を引き続き実施，深化させていく．具体的には，まず，本年度の構造探査解析結果の解釈を進め，他測線と合わせ，海山と構造・物性変形およびスロー地震との関連に理解を深める．さらに，波形インバージョンの適用を進め速度構造の高精度化を図る．また，構造地質学的な観点から流体移動や物性境界の仮説を立てることで，地震波速度マップの解釈を支持する根拠を提供するとともに，室内実験による弾性波速度のデータをより積極的に地震波速度と統合し，物性の理解を面的に広げる．当初R7に予定していた国際ワークショップは科研費基盤S研究課題と合同でR8に実施する計画にしている．

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

仲田理映（地震予知研究センター），望月公廣（地震予知研究センター），木下正高（日本列島モニタリング研究センター）

他機関との共同研究の有無：有

橋本善孝（高知大学），瀨田洋平（海洋研究開発機構），藤江剛（海洋研究開発機構），新井隆太（海洋研究開発機構），荒木英一郎（海洋研究開発機構），山下裕介（京都大学）

(12) 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：東京大学地震研究所

電話：

e-mail：

URL：

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：仲田理映

所属：東京大学地震研究所

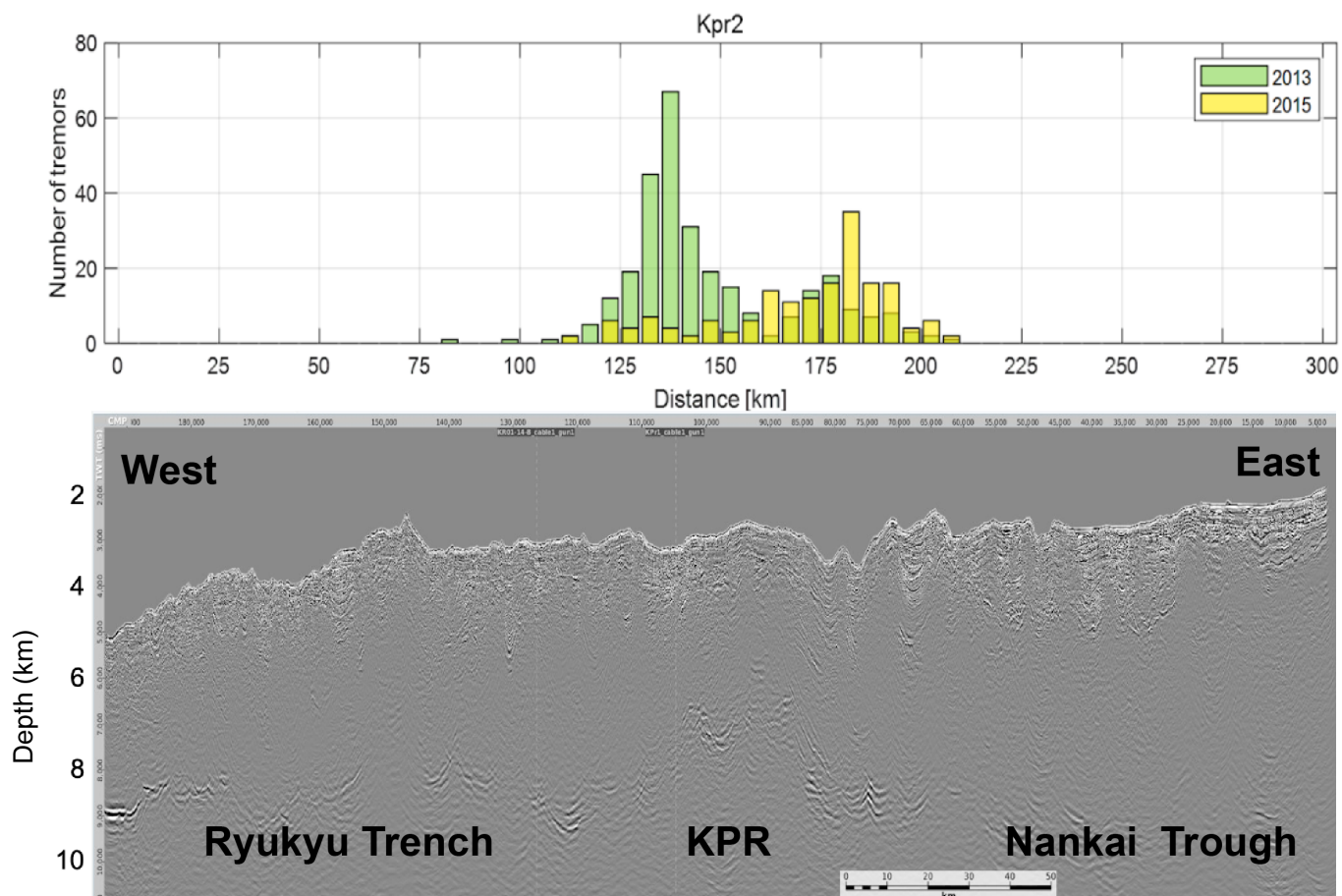


図1: KPr1測線上の（上）微動分布と（KPr1）再解析結果

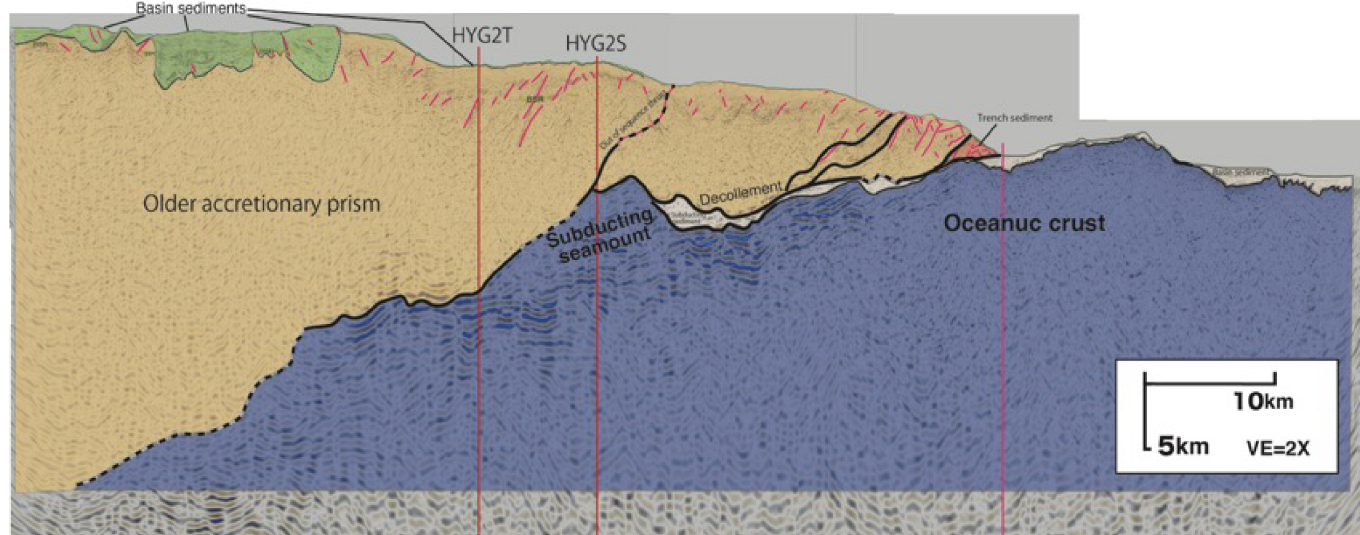


図2: 2021年に取得された測線の構造地質的解釈・解析

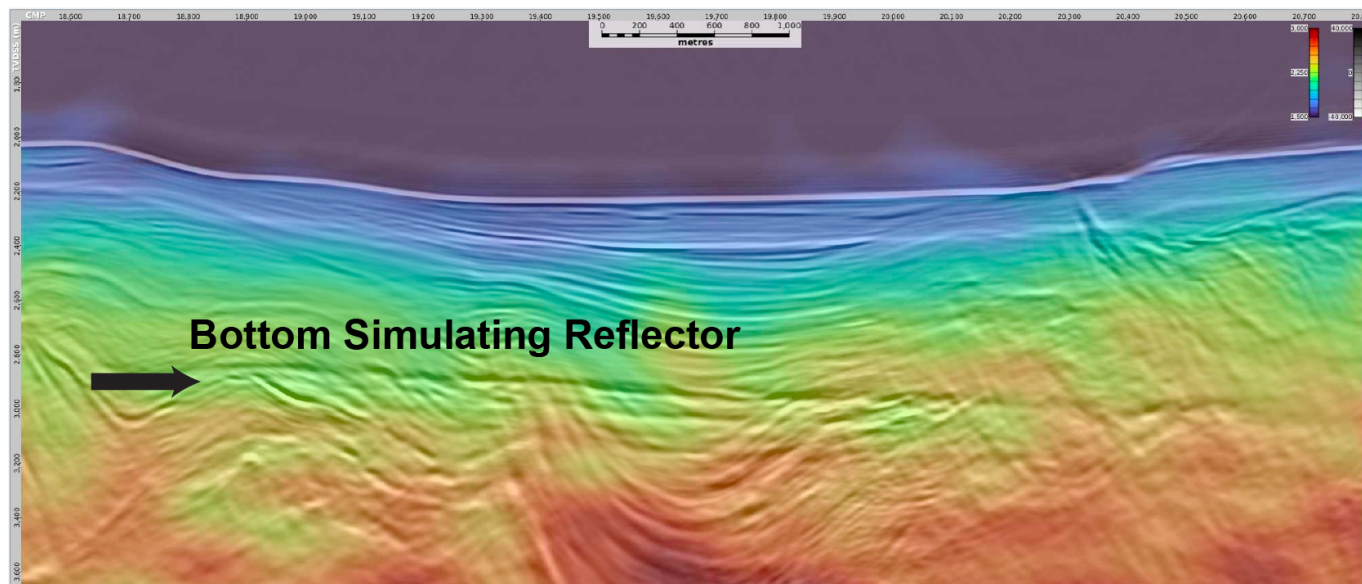


図3: 反射法波形インバージョン結果の例。メタンハイドレート起因の低速度層（矢印）が見られる。