

(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）地震発生予測のための島弧-海溝システムの観測-モデリング統合研究

（英文）Integrated modeling of intraplate earthquake occurrence based on geophysical exploration of island arc-trench system structures

(3) 関連の深い建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生 of の新たな長期予測（重点研究）

イ. 内陸地震の長期予測

(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

(1) 史料・考古・地形・地質データ等の収集と解析・統合

ウ. 地形・地質データの収集・集成と文理融合による解釈

(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

イ. 内陸地震

エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解とモデル化

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

(2) 首都直下地震

(4) 内陸で発生する被害地震

(5) 本課題の5か年の到達目標：

日本列島の上盤側プレートで発生するM7級の地震活動は、プレート沈み込み作用に支配的な影響を受けていると考えられる。西南日本内陸部で発生した歴史地震や、2011年東北地方太平洋沖地震前後の地震・火山現象の変化から、プレート境界における固着状態の変化や発生する巨大地震は、上盤側プレート内の応力状態を数十年スケールで変化させると考えられる。この様な上盤側プレート内部の応力状態の時間変化は、過去数回の活動履歴に基づき地震発生確率を推定する現在の長期評価手法では全く考慮されていない。上盤プレート内の応力状態の時間変化はGNSSによる地殻変動・地震活動を用いた定量的なモデル化が可能である。したがって、構造探査等により推定される島弧―海溝系上盤側プレートの構造と震源断層を初期条件として、力学的な数値計算から断層面上に作用する応力を計算し、現在・過去の地震活動を説明することにより、プレート間相互作用を考慮した物理モデルによる長期予測が可能になると期待される。以上の背景から、現行計画で「地震発生予測のための島弧―海溝システムの観測-モデリング統合研究」（ERI-11）を開始し、東北日本を対象に、海陸地殻構造探査による上盤側プレートの構造推定と粘弾性三次元有限要素法モデルによるプレート境界の固着状態・上盤側プレート内部の応力状態の計算を一体で進める形で地震発生 of の長期予測 of の手法開発を行ってきた。

そこで、次期計画では、東北日本・関東地域の解析をさらに進めるとともに、主な研究対象領域を西南日本とし、海陸統合の島弧・プレート構造の推定を目的とする(1)陸域自然地震観測および(2)海域自然地震観測と、(3)その結果や既往の構造探査等の再解析に基づくプレート上面モデルや震源断層モデル等の日本列島基本構造モデル構築・改訂および活構造の長期間地殻変動、(4)数値計算による震源断層面上に作用するクーロン応力変化の推定を軸とした、プレート間相互作用を考慮した物理モデルによる長期予測手法の開発をさらに進める。

本課題の成果は、測地学的な時間帯域でのプレート沈み込みに支配された上盤プレート内の内陸地震活動や変形メカニズムに基本的な情報を提供するだけでなく、地質学的な時間帯域での日本列島の形成プロセスの理解にも大きく貢献すると期待される。

#### (6) 本課題の5か年計画の概要：

主に西南日本を対象に、観測と日本列島基本構造モデルの構築・更新と地殻活動予測を統合的に実行し、地殻活動予測、巨大地震発生予測を含む多様な地殻活動についての定量的な理解を進める。数値モデルによる地震発生ポテンシャルの推定に必要な三次元構造モデルと震源断層モデルの高度化のため、西南日本を横断する海溝から背弧海盆に至る測線を設定し、既存の構造探査・地震観測データを利用しつつ、浅部から深部（リソスフェア・アセノスフェア境界）にいたる構造モデルを構築する。特に不足している西南日本日本海側の深部構造情報を得るために、山陰沖日本海南西部において、海底地震計を用いた広帯域自然地震観測、構造探査実験を実施する。陸域下に沈み込むプレートやマントルウエッジを含む上盤側プレートの不均質構造に関する知見を得る為に、西南日本弧陸域の日本海側から太平洋側に至る島弧横断測線を設定し、自然地震観測を実施する。これらのデータによりプレートの構造とレオロジー特性の解明に資する地震波速度構造などを明らかにする。次に、構造探査の結果に基づき日本列島基本構造モデルの構築・更新を行うとともに、構造モデルを反映させた三次元有限要素法を用いて、東北太平洋沖地震に伴う地殻変動を含むGNSSによる測地データを説明するための数値実験を行い、弾性波速度と岩石物性から推定されたレオロジーモデルの妥当性を検討する。さらに、長期間地殻変動および過去の地震活動のデータを取得・コンパイルし、比較検討してそのレオロジーモデルの妥当性を検討し、モデルに反映させる。震源断層については、浅部構造探査・解析を行うとともに、並行して実施される深部構造探査の観測結果を反映させ、長期間地殻変動等に基づき海陸境界部や平野部などの伏在断層を含めたモデルの更新を行う。これらを踏まえて、更新された日本列島基本構造・震源断層モデルに基づき、西南日本上盤側プレート内における地震活動予測と過去の地震活動の説明を目指す。このほか、これまで実施してきた東北日本・関東地域についても、構造探査等を反映させたプレート構造などの日本列島基本構造モデルの更新を進め、これに基づく上盤側プレート内における地震活動予測と過去の地震活動の説明を目指す。以上の研究を以下の年次計画で進める。

##### 令和6(2024)年度

- ・陸域地震観測：東北日本弧で取得されている既存海陸統合地震観測データの解析を継続して実施し、日本海から東北日本弧を経て日本海溝へ至る海陸統合地殻構造モデルのさらなる精緻化をはかる(～2028年度)。2025年度から予定している西南日本弧陸域の日本海側から太平洋側に至る測線での現地踏査を実施し、臨時地震観測点の設置場所を選定する。また、既存の西南日本弧陸域横断地殻構造探査データの再解析を実施する(～2028年度)。
- ・海域地震観測：東北日本西方沖日本海の深部構造を求めるために、2022年に当該域に設置した小型広帯域海底地震計を回収する。なお、回収には共同利用研究航海を利用する予定である。得られたデータから背弧海盆の深部構造を求める解析を開始する。
- ・日本列島基本構造モデル・活構造の長期間地殻変動：同時進行のプロジェクト等による反射法探査等の成果に基づき、西南日本（中部地方）を中心に震源断層モデルの構築・更新を行う。また、変動地形調査等により活構造の長期間地殻変動を推定する。
- ・数値計算：日本列島域の三次元有限要素モデルを構築する。これまでの研究の進展を考慮し、柔軟に種々の粘性構造を取り入れることを可能なモデルにする。

##### 令和7(2025)年度

- ・陸域地震観測：前年度に選定した臨時地震観測点の設置場所に地震観測装置を設置し、観測を開始する。
- ・海域地震観測：2025年に日本海から回収した広帯域海底地震観測データの解析を継続して、精度のよい深部構造、特にアセノスフェアリソスフェア境界の位置を精度よく決定する。
- ・日本列島基本構造モデル・活構造の長期間地殻変動：構造探査の観測結果等に応じてプレートモデルを更新する。また、同時進行のプロジェクト等による反射法探査等の成果に基づき、西南日本（中部地方）を中心に震源断層モデルの構築・更新を行う。また、変動地形調査等により活構造の長期間

地殻変動を推定する。

- ・数値計算：南海トラフ・琉球海溝におけるプレート境界プロセス、および東北沖地震による西南日本域の震源断層面上のクーロン応力変化を検討する。

#### 令和8 (2026) 年度

- ・陸域地震観測：前年度に設置した臨時地震観測点を撤収する。得られたデータから測線下の構造を求める解析を開始する。

- ・海域地震観測：島弧のより精密な上部マントル地殻モデルを構築するために、東北日本に続き、西南日本において浅部から深部までの島弧断面を作成する。その一環として、西南日本北方沖の日本海に小型広帯域海底地震計を設置して、広帯域海底地震観測を開始する。なお、設置のための備船について、費用の一部を本研究で負担する。

- ・日本列島基本構造モデル・活構造の長期間地殻変動：引き続き構造探査の観測結果等に応じてプレートモデルを更新する。また、同時進行のプロジェクト等による反射法探査等の成果に基づき、西南日本（近畿地方）を中心に震源断層モデルの構築・更新を行う。また、変動地形調査等により構造の長期間地殻変動を推定する。

- ・数値計算：相模トラフ、伊豆小笠原海溝のプレート境界プロセスと東北沖地震の影響を考慮し、関東地方および伊豆小笠原弧の応力状態を検討する。

#### 令和9 (2027) 年度

- ・陸域地震観測：陸上臨時地震観測点で取得したデータに対して、地震波速度構造解析等を適応し、陸域測線下の構造を明らかにする。

- ・海域地震観測：前年度に設置した小型広帯域海底地震計による広帯域海底地震観測を継続する。これまでに得られている広帯域海底地震観測データを利用して、島弧全体の深部構造解析を開始する。

- ・日本列島基本構造モデル・活構造の長期間地殻変動：引き続き構造探査の観測結果等に応じてプレートモデルを更新する。また、同時進行のプロジェクトによる反射法探査等の成果に基づき、西南日本（近畿地方）を中心に震源断層モデルの構築・更新を行う。また、変動地形調査等により、活構造の長期間地殻変動を推定する。

- ・数値計算：東北地方太平洋沖地震後10年間の測地データを用い、東北日本下の粘性構造と上盤プレート内の震源断層の応力変化を評価する。

#### 令和10 (2028) 年度

- ・陸・海域地震観測：2026年に西南日本北方沖の日本海に設置した小型広帯域海底地震計を回収する。なお、回収のための備船について、費用の一部を本研究で負担する。得られたデータを用いて、西南日本北方沖日本海の深部構造を求めるとともに、陸域測線下の構造と日本海側や太平洋側の海域で得られている構造とを統合した島弧全体の海陸統合地殻構造モデルの構築を実施する。

- ・日本列島基本構造モデル：引き続き構造探査の観測結果等に応じてプレートモデルを更新する。また、同時進行のプロジェクト等による反射法探査等の成果に基づき、西南日本を中心に震源断層モデルの構築・更新についてまとめを行う。また、西南日本の活構造を中心に、第四紀後期の長期間地殻変動のとりまとめを行う。

- ・数値計算：4年目までに検討した各地域のプレート境界プロセス間の相互作用を検討し、今後数十年スケールの応力変化についてまとめを行う。

### (7) 令和6年度の成果の概要：

- ・今年度の成果の概要
- ・陸域地震観測

#### (1) 東北日本

「災害軽減に貢献する地震火山観測計画（第2次）」においては、日本海地震・津波調査プロジェクトの一環として2019年に実施した地震探査（Sato et al., 2020, 佐藤・他, 2020）の陸域部（図1）について、屈折・広角反射法データ解析によって速度構造モデルを提出してきた

（Iwasaki et al., 2021; 2022; 2023）。これまでの解析によって地殻最上部の堆積層部分の構造が測線に沿って大きく変化し、下部地殻及び上部マントルにおいても反射体が分布する複雑な構造が明らかになった。以上をふまえて、災害軽減に貢献する地震火山観測計画（第3次）”の初年度にあたる本

年度は、更に測線下の構造変化を明らかにする目的でS波速度構造を求め、更に、測線周辺の地震活動と得られた構造の関連性の解明を重点的に行った。

観測記録上のS波初動は測線東部では明瞭であった。一方中部・西部では記録のS/Nが高くないため、extended time-term法(Iwasaki, 2002)を用いて静補正を行い、更に近接するトレースに対してスタッキングを行ってS波同定を行った。得られた地殻上部のS波構造を図2に示す。この解析結果によれば、北上山地に相当する測線東部では $V_p/V_s$ が比較的大きい( $\sim 1.76$ )。一方、測線中部(奥羽脊梁山地)・西部(庄内平野-新庄盆地)では小さな $V_p/V_s$ 値( $\sim 1.70$ )を示し、測線に沿って顕著な地域性のあることが明らかとなった。また、北上山地西部においては図2に示されるP波速度境界からのS波反射も認められ、北上山地の高速体が高速度体が顕著な西傾斜の面を形成して北上河谷帯下に入り込む構造がより明らかとなった。

解析に用いた地震波形データについては、Kurashimo et al. (2022)によって反射法処理が行われている。図3にその反射断面をこれまでに求めてきた速度構造断面に重ね、更に当該測線周辺の地震活動(気象庁一元化震源)を示した。これによれば、測線中部においては速度構造断面の下部地殻(深さ10~23-25~30 km)は反射体に富むことが明瞭である。これに対して、測線最西部(庄内平野下)においては下部地殻に相当する部分は比較的透明で、測線中部との構造的差を示している可能性がある。また、マントル最上部の深さ38及び46 kmに推定される反射面付近にも反射体群が認められる。

測線周辺の地震活動には、測線に沿った地質区分に対応して顕著な地域性がある。測線東部では深さ12 km以浅の地殻内地震活動が活発である。2003年宮城県北部地震(M6.4)は、北上山地下の高速度体内に集中していることがわかる。また、この高速度体西縁の西傾斜構造境界周辺に沿って地震が分布している。一方、北上河谷帯側地殻浅部では地震活動が殆ど認められない。このことは、両者の構造には上述のP波及びS波構造の違いだけでなく、その物理(力学的)特性の差があると思われる。奥羽脊梁山地下では、地震活動が深さ10 km以浅に限られており、火成活動による温度構造を反映しているであろう。一方、測線西部では地震活動が深さ20 kmにまで及んでいる。このような地震活動域の差は、上述の反射体分布の差とともに、測線最西部とより内陸側の物性・温度構造の差を反映している可能性があり、その地質学的発達過程を加えた総合的検討が必要であろう。また、低周波地震は下部地殻の反射体に富む部分で発生している。更にその下の上部マントル(深さ38及び46 km)には反射面の存在している。このような対応関係を考えると、マントルからの流体の上昇と滞留が反射面・反射体の形成と低周波地震の発生に大きく関与している可能性が高い。

加えて、2019年に実施した東北日本弧横断海陸統合地殻構造探査(Sato et al., 2020)の宮城沖側では、2004年に海底地震計と制御震源を用いた地殻構造探査が実施されている(例えば、渡邊・他, 2006)。2019年構造探査データに2004年宮城沖構造探査データも加えた解析を実施することは、東北日本弧から宮城沖にかけての海陸境界域を含む地殻構造モデルのさらなる精緻化に貢献することが期待できる。そこで、宮城沖構造探査データを整理し、海底地震計のデータから発破とエアガンの初動走時の読み取り作業を実施した。得られた初動走時データに2019年東北日本弧横断海陸統合地殻構造探査で得た初動走時データを加えた初動トモグラフィー解析を開始した。

## (2) 西南日本

「災害軽減に貢献する地震火山観測計画(第3次)」においては、数値モデルによる地震発生ポテンシャルの推定に必要な三次元構造モデルと震源断層モデルの高度化のため、西南日本を横断する海溝から背弧海盆に至る測線を設定し、既存の構造探査・地震観測データを利用しつつ、浅部から深部(リソスフェア・アセノスフェア境界)にいたる構造モデルを構築することが目的として設定されている。その一環として、本年度は、紀伊半島における既往長測線制御震源データを再整理し高精度解析を行うための準備を行った。対象は2004年(例えば伊藤・他, 2007)及び2006年の探査(Iwasaki et al., 2018)で、測線は紀伊半島をそれぞれ北北西-南南東、北西-南東方向に縦断する

(図4)。2004年探査では195 kmの測線上に15点のショット点が設定された。一方、2006年測線は測線長が88 kmで、5点のショット点が設けられた。これら探査で取得されたデータから、この地域に沈み込むフィリピン海プレート、更にその上盤側の西南日本弧地殻を明らかにし、プレートと島弧の接合関係を含む沈み込み帯の全体構造を求め直す。また、更に1989年に実施された屈折法探査(河内長野-紀和測線)(爆破地震動研究グループ, 1992)は、その位置が2004年測線の南部にほぼ一致し、約65 kmの測線上に6点のショット点が設けられた。この探査は2004年及び2006年の探査に比べてショット間隔が短いために、プレート構造のみならず西南日本弧側付加体構造推定の精緻化に貢献すると期待される。

2006年データについては、Iwasaki et al. (2018)によってその整理は既に完了している。2004年デー



タについては、本年度に発震点及び受振点位置データを再整理し、オリジナルのデータフォーマット（SEG-Y）から2006年データと同じデータフォーマットに変換し、これまでに確立しているソフトウェアパッケージを用いて効率的に統一的解析・解釈を実現することができる。

図5には、これら両測線のrecord sectionを示した。全体的に記録の質は極めて良好で、明瞭は初動とともに、沈み込むプレートからの反射波、上盤側付加体及び西南日本弧を構成する地殻内反射が確認される。これらの詳細な処理・解析によって、プレート境界の物性、上盤側島弧地殻とプレートの接合関係等についての新たな知見を得ることを目指す。

このほか、2025年度より実施する紀伊半島縦断自然地震観測の観測点設置場所を検討した。

#### ・海域地震観測

日本列島のような沈み込み帯上盤プレート内の地震発生・地殻変動を定量的に解明していくためには、観測にもとづいた構造の理解が重要である。そこで、最上部マントルまでの詳細な構造を求めるために、日本海における測線上に、2022年11月に小型広帯域地震計7台を設置して、長期海底観測を開始した。設置は、海洋研究開発機構所属学術研究船「白鳳丸」KH-22-9次航海にて実施し、小型広帯域地震計を設置した測線上において、GIガンとハイドロフォンストリーマによる反射法地震探査を行い、浅部構造を把握した。約2年後の2024年7月に東京海洋大学海洋調査・練習船「神鷹丸」SY-24-05航海により、設置した小型広帯域海底地震計を回収して、レシーバー関数解析などの深部構造を得るための解析を開始した。回収した小型海底地震計からは良好な記録が得られている（図6）。

2024年1月1日に令和6年能登半島地震が発生した。そこで、自由落下自己浮上式海底地震計（OBS）を用いた海域緊急余震観測を、本研究経費に加えて、科学研究費補助金特別研究促進費により、東京大学地震研究所・北海道大学大学院理学研究院・東北大学大学院理学研究科・千葉大学大学院理学研究院・東京海洋大学学術研究院海洋資源エネルギー学部門・東海大学海洋学部・京都大学防災研究所・鹿児島大学大学院理工学研究科・海洋研究開発機構の共同研究観測として、実施した。海洋研究開発機構所属学術研究船「白鳳丸」によるKH-24-JE01緊急調査航海（1月16日東京出港 - 1月23日富山入港）により、計34台のOBSを設置した。設置したOBSのうち、26台の短期収録短周期型OBSを白鳳丸KH-24-JE02C航海により、2月22日から24日にかけて回収した。また、その後、約40台の長期観測型OBSを用いて、約1年間のモニタリング観測を行った。2025年1月には、学術研究船「白鳳丸」KH-25-JE01航海により、長期観測型OBSを回収して、観測を終了した。長期モニタリング観測については、データの解析中である。2024年2月に回収したデータを用いて、本震発生1ヶ月後から約1ヶ月間の余震震源分布と発震機構解を求めた。震源決定の結果、震源は深さ約17 kmまでに決定され、深い地震は震源域最東部に多く位置している。これらは余震活動が上部地殻内において活発であることを示している。観測域では過去の研究により地震発生断層モデルが構築されており、余震分布は断層モデルとよく一致する。ただし、最東部の断層モデルの北側半分に対応する領域では地震活動が活発でない（図7）。多くの逆断層型の余震がある一方で、横ずれ型断層の発震機構をもつ地震も決定された。逆断層型および横ずれ型の発震機構解を持つ地震はどちらも北西-南東方向の圧縮が卓越している。

#### ・日本列島基本構造モデル・活構造の長期間地殻変動

森本・富樫断層帯における重点的な調査観測の一環として、同断層帯と砺波平野断層帯（西部）を横断する測線で、大型バイプロサイズ車2台を震源とする深部構造探査を実施した（図8）。地表付近から中角度で東に傾きさがる森本断層と、下に凸な形状を有する西傾斜の法林寺断層の構造が明らかとなった。得られた断層構造に基づき、中部日本の断層モデルを今後構築する。また、三浦半島断層群（主部／武山断層帯）における重点的な調査観測の一環として、三浦半島を縦断する深部構造探査を実施し、その結果、三浦半島断層群の構造が明らかとなった（図9）。これらと既存構造探査の結果を考慮して、関東地域の断層モデルを今後更新する。

#### ・数値計算

島弧－海溝系の地殻活動の解明のために、地殻構造や地震活動、地殻変動観測を定量的に説明できる現実的な変動モデルの構築が求められている。本研究で

は、Hashima et al. (2016)、Freed et al. (2017)にもとづき、日本列島域の粘弾性構造を取り入れることの可能な有限要素モデルを構築した。このモデルは東西4700 km、南北4600 km、深さ700 kmをモデル領域とし、5-100kmのサイズの100万個の要素からなる。また、太平洋、フィリピン海プレート上面は和達－ベニオフ帯にもとづきなめらかな形状とした。

このモデルを用いて、2024年M7.6能登半島地震にいたる応力蓄積の要因を検討する。昨年度の報告

では、南海トラフ、日本海溝の固着と東北沖地震による変動の効果を計算したが、2024年能登半島地震の発生に整合的であったのは、2011東北沖地震前の日本海の固着のみであった。そこで、今年度は、相模トラフにおける固着と伊豆半島の衝突の影響について広域応力場と能登半島周囲の震源断層における剪断応力、クーロン破壊応力 ( $\Delta CFS$ ) を計算した。 $\Delta CFS$ の計算においては実行摩擦係数を0.4とした。相模トラフにおけるプレート相対運動は、ほぼ3 cm/yrの右横ずれ運動であるが、それが一様に固着していると仮定した。伊豆半島の衝突については、プレート境界面の傾斜方向の滑り運動が一様に永年の固着していると仮定した。

計算の結果、相模トラフの固着による剪断応力 (von Mises応力) 分布は北西への指向性を示し、能登半島にも1 kPa/yr程度の応力蓄積が見られる。能登半島周囲の震源断層に対する剪断応力および $\Delta CFS$ を計算すると、いずれも全面的な正值分布となった。伊豆半島の衝突については、相模トラフの固着ほどの応力蓄積は起こらないものの、震源断層における $\Delta CFS$ は、能登半島西部沖の断層を除いて正值となった。

これらのことから、能登半島における相模トラフ、伊豆の衝突の重要性が示唆される。ただ、距離的には南海トラフや日本海溝からの寄与も同程度であり、現在の応力蓄積状況を解明するには、これらを統合したモデルにより総合的に判断する必要がある。また、伊豆の衝突が永年的である一方、相模トラフや南海トラフの固着は数百年スケールでは解消されるものであり、これらの地震サイクルを考慮した長期的な応力蓄積過程についてもモデル化する必要がある。

・「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

海陸地殻構造探査による上盤側プレートの構造推定と粘弾性三次元有限要素法モデルによるプレート境界の固着状態・上盤側プレート内部の応力状態の計算を一体で進めるというコンセプトで、上盤側プレート内の地震発生の長期予測について新しい手法開発を行ってきた。これまで北海道・東北日本・関東地域について解析を進めてきたが、東北日本のモデル更新と、西南日本のモデル化に向けて着実に研究を進めつつある。この点で、本課題は、関連の深い建議の項目である「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) イ. 内陸地震の長期予測」の目的に直接する貢献をしている。また、その他関連する建議の項目である「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 イ. 内陸地震および エ. 地震発生と火山活動の相互作用の理解とモデル化」および「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 (2) 首都直下地震 (4) 内陸で発生する被害地震」にも、数値計算や震源断層モデルの更新等を通じて貢献をしている。

(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

Shinohara, M., R. Hino, T. Takahashi, K. Obana, S. Kodaira, R. Azuma, T. Yamada, T. Akuhara, Y. Yamashita, E. Kurashimo, Y. Murai, T. Isse, K. Nakahigashi, H. Baba, Y. Ohta, H. Yakiwara, Y. Nakatani, G. Fujie, T. Sato, H. Shiobara, K. Mochizuki, S. Sakai, and the R/V Hakuho-maru KH-24-JE01 and KH-24-JE02C shipboard science parties, 2025, Precise aftershock activity in marine source region of 2024 Noto-Hanto earthquake by rapid response observation using ocean bottom seismometer, *Earth, Planets and Space*, in review., 査読有, 謝辞有

Baba, S., S. Takemura, K. Obara, A. Takeo, Y. Yamashita, and M. Shinohara, 2024, Spatial variation in shallow slow earthquake activity in Hyuga-nada, southwest Japan, *Geophys. J. Int.*, 237, 1, 271–287. <https://doi.org/10.1093/gji/ggae039>, 査読有, 謝辞有

Hu, C-Y, M. Shinohara, Y. Yamashita, T. Tonegawa, T. Yamada, T. Akuhara and K. Mochizuki, 2024, Seismic activity around shallow plate boundary near westernmost Nankai Trough revealed by ocean bottom seismometer observation, *Earth, Planets and Space*, 76, 168. <https://doi.org/10.1186/s40623-024-02122-4>, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

- 石山達也・野 徹雄・佐藤比呂志, 2024, 能登半島周辺の活構造と地殻構造, 日本地質学会中部支部2024年支部年会シンポジウム『令和6年能登半島地震とその被害』, 日本地質学会中部支部.
- 石山達也・野 徹雄・佐藤比呂志, 2024, 日本海東部の活構造・地殻構造から検討した能登半島周辺の海底活断層の構造, 日本地質学会2024年山形大会シンポジウム『能登半島地震とそれによる自然災害の地球科学的理解を目指して』, 日本地質学会2024年山形大会.
- 石山達也・野 徹雄・佐藤比呂志, 2024, 令和6年能登半島地震震源域周辺の地殻構造と断層構造, 日本活断層学会2024年度秋季学術大会(信州大学)シンポジウム「令和6年能登半島地震から考える大地の動き」, 日本活断層学会2024年度秋季学術大会.
- 石山達也・佐藤比呂志・岩田知孝・平松良浩・加藤直子・斉藤秀雄・石毛宏和・阿部進, 2024, 森本・富樫断層帯の深部構造探査, 2024年日本地球惑星科学連合大会, SSS11-03.
- 石山達也・佐藤比呂志・斉藤秀雄・石毛宏和・中田 守・阿部進, 2024, 三浦半島断層群および相模湾延長部における地震波構造探査, 日本地震学会2024年秋季大会, S10-09.
- Ishiyama, T., Sato, H., No, T., 2024, Structural characters of nearshore active faults in the eastern Sea of Japan, 2024 Annual Meeting of Japan Geoscience Union, U16-04.
- Iwasaki T. et al., 2024a. Lateral structure variation and seismic activity across the central part of the NE Japan Arc deduced from the 2019 onshore seismic profiling, 日本地球惑星科学連合2024年大会, SSS09-P06.
- Iwasaki T. et al., 2024b. Lateral structure variation and seismic activity across the central part of the NE Japan Arc deduced from the 2019 onshore seismic profiling-II, 日本地震学会2024年秋季大会, S06-02.
- 篠原雅尚・村井芳夫・日野亮太・太田雄策・東 龍介・佐藤利典・塩原 肇・望月公廣・一瀬建日・山田知朗・悪原 岳・酒井慎一・蔵下英司・中東和夫・馬場久紀・伊藤喜宏・山下裕亮・八木原 寛・仲谷幸浩・小平秀一・尾鼻浩一郎・藤江 剛・高橋 努・白鳳丸KH-24-JE01およびKH-24-JE02C乗船研究者、海底地震計を用いた令和6年能登半島地震の海域緊急余震観測(速報)、能登半島地震白鳳丸航海成果検討集会、2024年4月8日(月)
- 村井芳夫・日野亮太・太田雄策・東 龍介・佐藤利典・篠原雅尚・塩原 肇・望月公廣・一瀬建日・山田知朗・悪原 岳・酒井慎一・蔵下英司・中東和夫・馬場久紀・伊藤喜宏・山下裕亮・八木原 寛・仲谷幸浩・小平秀一・尾鼻浩一郎・藤江 剛・高橋 努・白鳳丸KH-24-JE01およびKH-24-JE02C乗船研究者、海底地震計を用いた令和6年能登半島地震の海域緊急余震観測(速報)、第399回地震調査委員会、2024年4月9日(火)
- Shinohara, M., Y. Murai, R. Hino, Y. Ohta, R. Azuma, T. Sato, H. Shiobara, K. Mochizuki, T. Isse, T. Yamada, T. Akuhara, S. Sakai, E. Kurashimo, K. Nakahigashi, H. Baba, Y. Ito, Y. Yamashita, H. Yakiwara, Y. Nakatani, S. Kodaira, K. Obana, G. Fujie, T. Takahashi, and KH-24-JE01 and KH-24-JE02C shipboard scientists, Precise aftershock distribution by urgent seafloor observation in the eastern source region of the 2024 Noto- U-16 2024 Noto-Hanto earthquake, U16-P14.
- 東京大学地震研究所・北海道大学大学院理学研究院・東北大学大学院理学研究科・千葉大学大学院理学研究院・東京海洋大学学術研究院海洋資源エネルギー学部門・東海大学海洋学部・京都大学防災研究所・鹿児島大学大学院理工学研究科・海洋研究開発機構、海底地震計を用いた令和6年能登半島地震の海域緊急余震観測(第2報)、第243回地震予知連絡会、2024年5月22日(水)
- 東京大学地震研究所・東北大学大学院理学研究科・海洋研究開発機構・京都大学防災研究所・北海道大学大学院理学研究院・千葉大学大学院理学研究院・東京海洋大学学術研究院海洋資源エネルギー学部門・東海大学海洋学部・鹿児島大学大学院理工学研究科、海底地震計を用いた緊急観測による令和6年能登半島地震の余震活動、第403回、第404回および第405回地震調査委員会、2024年7月9日(火)、8月9日(金)、9月10日(金)

東京大学地震研究所・東北大学大学院理学研究科・海洋研究開発機構・京都大学防災研究所・北海道大学大学院理学研究院・千葉大学大学院理学研究院・東京海洋大学学術研究院海洋資源エネルギー学部門・東海大学海洋学部・鹿児島大学大学院理工学研究科、海底地震計を用いた令和6年能登半島地震の海域緊急余震観測(第3報)、第244回地震予知連絡会、2024年8月29日(木)

東京大学地震研究所・北海道大学大学院理学研究院・東北大学大学院理学研究科・千葉大学大学院理学研究院・東京海洋大学学術研究院海洋資源エネルギー学部門・東海大学海洋学部・京都大学防災研究所・鹿児島大学大学院理工学研究科・海洋研究開発機構、海底地震計を用いた令和6年能登半島地震の海域緊急余震観測、地震予知連絡会会報第112巻、6-3, 2024

東京大学地震研究所・北海道大学大学院理学研究院・東北大学大学院理学研究科・千葉大学大学院理学研究院・東京海洋大学学術研究院海洋資源エネルギー学部門・東海大学海洋学部・京都大学防災研究所・鹿児島大学大学院理工学研究科・海洋研究開発機構、海底地震計を用いた令和6年能登半島地震の海域緊急余震観測（第2報）、地震予知連絡会会報第112巻、6-4, 2024

篠原雅尚・日野亮太・高橋 努・尾鼻浩一郎・小平秀一・東龍介・山田知朗・悪原 岳・山下裕亮・蔵下英司・村井芳夫・一瀬建日・中東和夫・馬場久紀・太田雄策・伊藤喜宏・八木原 寛・仲谷幸浩・藤江 剛・佐藤利典・塩原 肇・望月公廣・酒井慎一・白鳳丸KH-24-JE01およびKH-24-JE02C乗船研究者、緊急海底地震観測による令和6年能登半島地震東部震源域における精密余震活動、日本地震学会 2024年度秋季大会、S22-02.

篠原雅尚・日野亮太・高橋 努・尾鼻浩一郎・小平秀一・東 龍介・山田知朗・悪原 岳・山下裕亮・蔵下英司・村井芳夫・一瀬建日・中東和夫・馬場久紀・太田雄策・伊藤喜宏・八木原 寛・仲谷幸浩・藤江 剛・佐藤利典・塩原 肇・望月公廣・酒井慎一・白鳳丸KH-24-JE01およびKH-24-JE02C乗船研究者、2024年能登半島地震震源域における緊急海底地震観測、海洋調査技術学会第36回研究成果発表会、特別セッション「令和6年能登半島地震」(2)、5、2024年11月20日(水)

篠原雅尚・白鳳丸第一次・第二次緊急調査航海(KH-24-JE01・KH-24-JE02C)乗船研究者、緊急海底地震観測による2024年能登半島地震海域震源域の余震活動、QWSアカデミアスペシャル東京大学、2024年12月21日(土)

(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：

- ・陸地地震観測：前年度に選定した臨時地震観測点の設置場所に地震観測装置を設置し、観測を開始する。また、2004年に取得された宮城沖構造探査データと2019年に取得した東北日本弧横断海陸統合地殻構造探査データの統合解析を継続して実施する。
- ・海域地震観測：2025年に日本海から回収した広帯域海底地震観測データの解析を継続して、精度のよい深部構造、特にアセノスフェアリソスフェア境界の位置を精度よく決定する。
- ・日本列島基本構造モデル・活構造の長期間地殻変動：構造探査の観測結果等に応じてプレートモデルを更新する。また、同時進行のプロジェクト等による反射法探査等の成果に基づき、西南日本（中部地方）を中心に震源断層モデルの構築・更新を行うとともに、変動地形調査等により活構造の長期間地殻変動を推定する。
- ・数値計算：南海トラフー琉球海溝におけるプレート境界プロセス、および東北沖地震による西南日本域の震源断層面上のクーロン応力変化を検討する。

(11) 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）、蔵下英司（東京大学地震研究所）、石山達也（東京大学地震研究所）  
他機関との共同研究の有無：有  
東京学芸大学、地震予知総合研究振興会、静岡大学防災総合センター、防災科学技術研究所、弘前大学

(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：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所

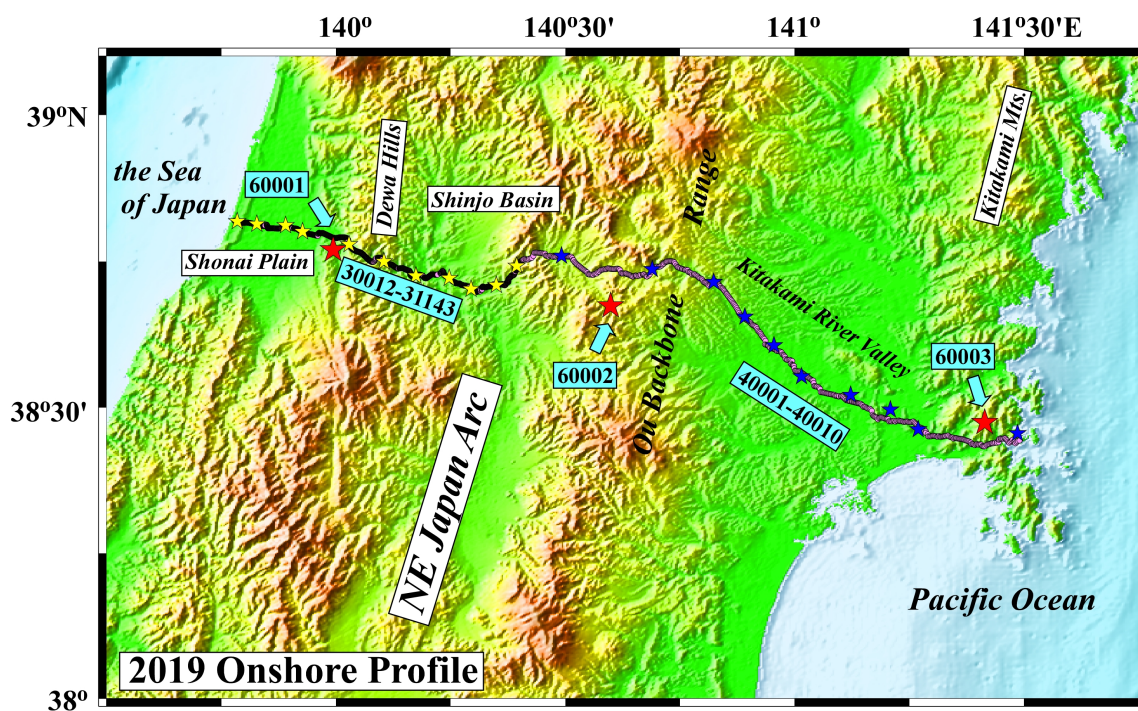


図1. 2019年陸域測線図。

ダイナマイト発震点と震源車による多重発震点を、それぞれ赤と黄・青の星印で示した。発震点及び受振点総数は、24及び1,667点である。

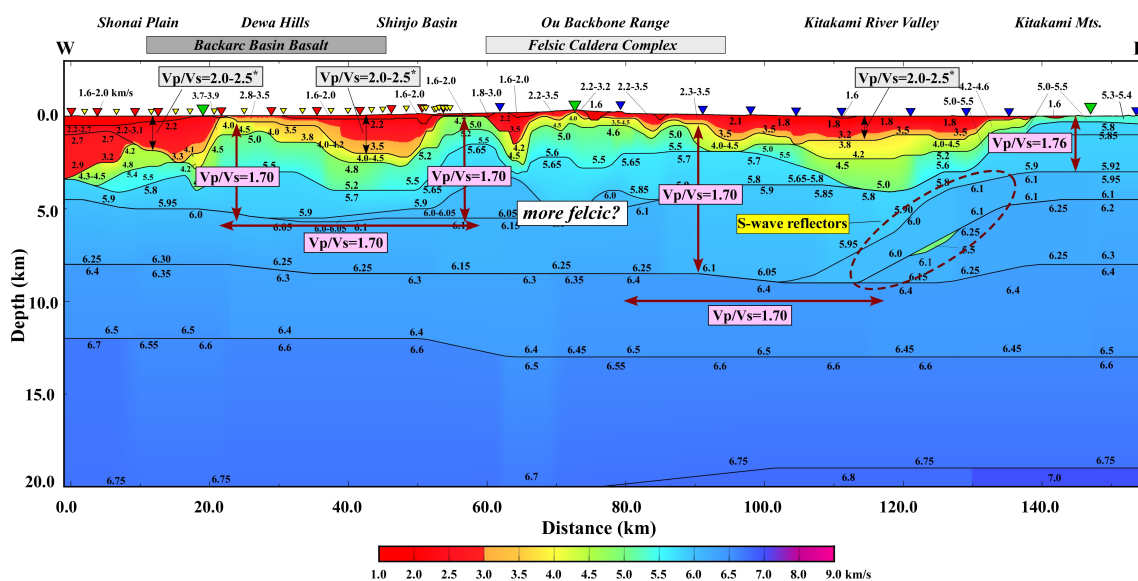




図2. 地殻上部のP波及びS波構造。

北上山地下の地殻浅部高速度域は、北上河谷帯下に西向きに入り込む。その境界に対応する西傾斜速度不連続面（破線の楕円で囲った部分）が存在する。北上山地下の地殻上部の $V_p/V_s$ は1.76、測線中部・西部の $V_p/V_s$ は1.70程度で、顕著な地域差が見られる。

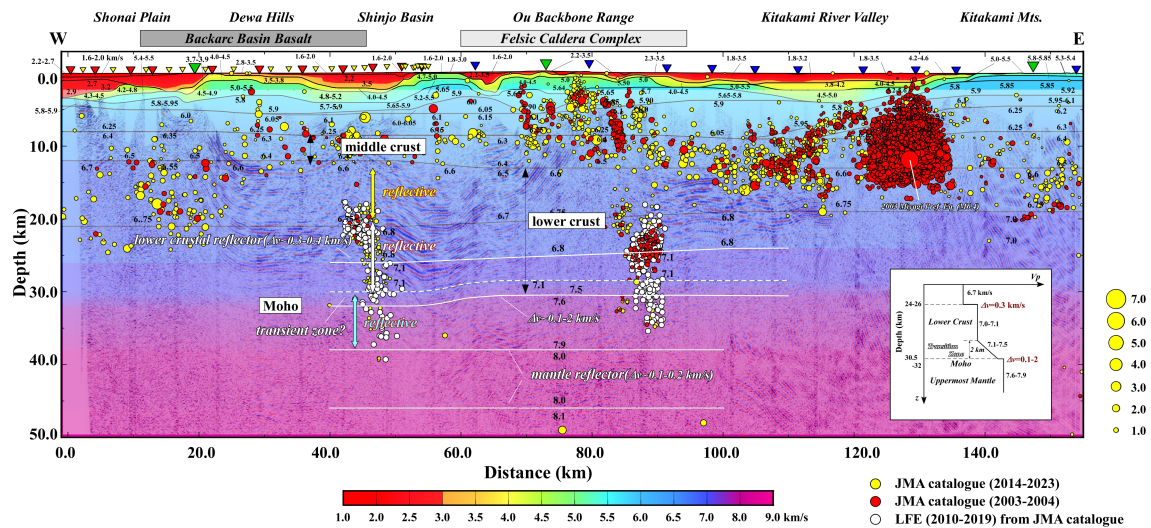


図3. これまでの屈折・広角反射法解析で求めた地殻・上部マントルモデルとKurashimo et al.(2022)による反射断面。

測線から±20 km以内の震源（気象庁一元化震源）を示した。赤丸で示した2003年-2004年の震源には、2003年宮城県北部地震(M6.4)の本震と余震が含まれる。

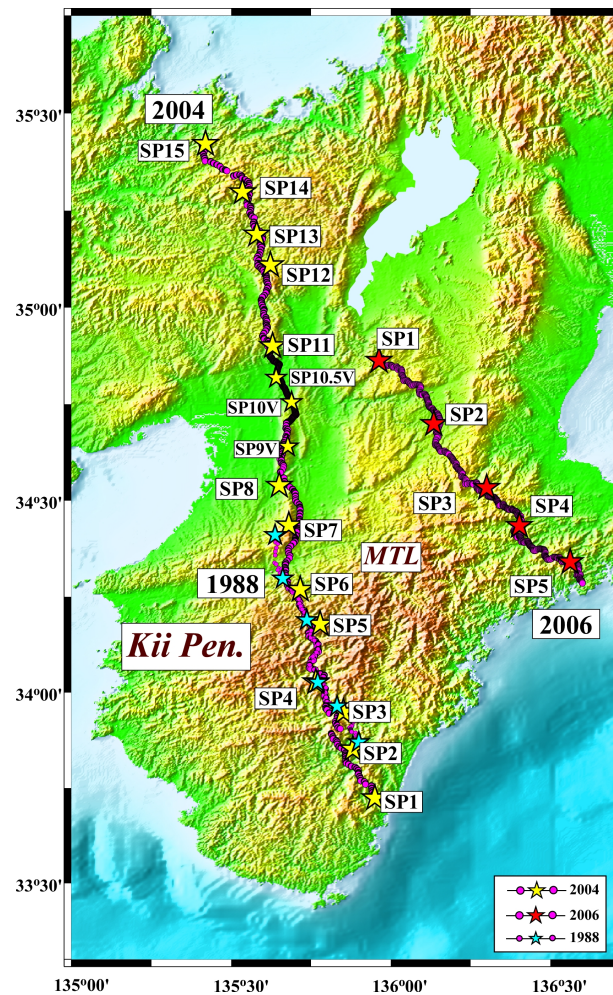


図4. 紀伊半島における既往制御震源探査測線図。  
2004年及び2006年に長測線で探査が行われた。本計画ではこれらの探査データを主軸として統合的解析・  
解釈を行う。また、2004年測線南部では1988年に屈折法地震探査が行われている

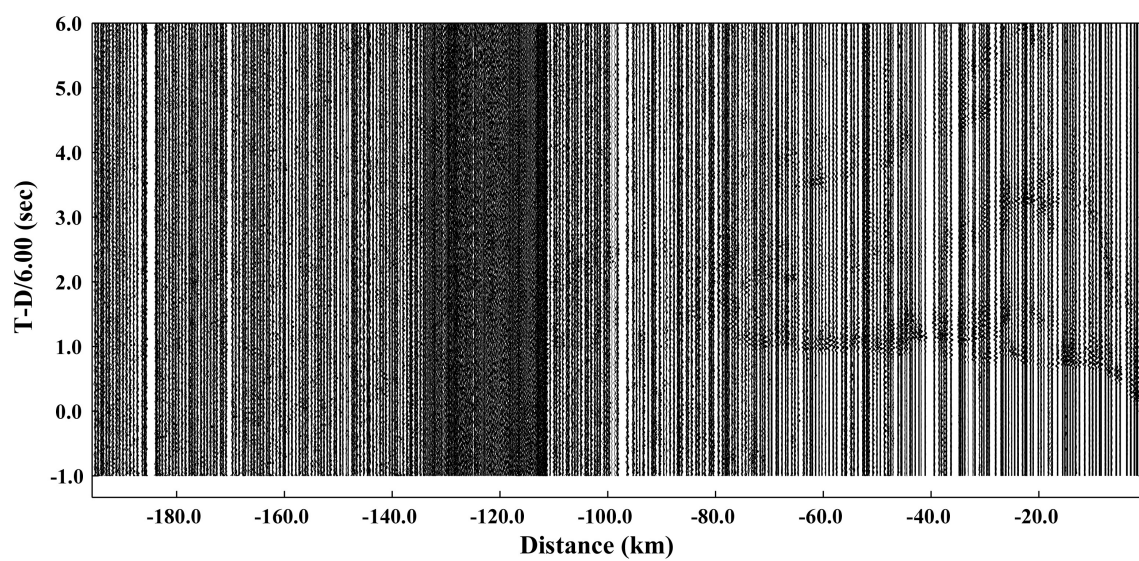


図5(a) 2004年探査のshot SP1（図4参照）のrecord section。明瞭な後続波が確認される。



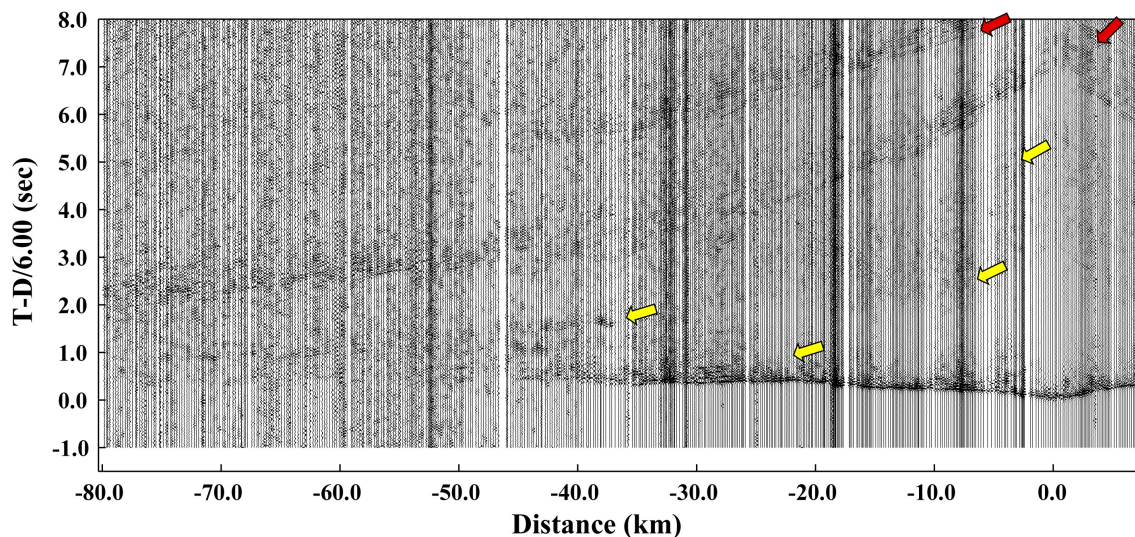


図5(b) 2006年探査のshot SP5のrecord section。矢印はIwasaki et al. (2018)による広角反射波の解釈。赤矢印は沈み込むフィリピン海プレートからの反射波、黄矢印は上盤側西南日本弧地殻内からの反射である。

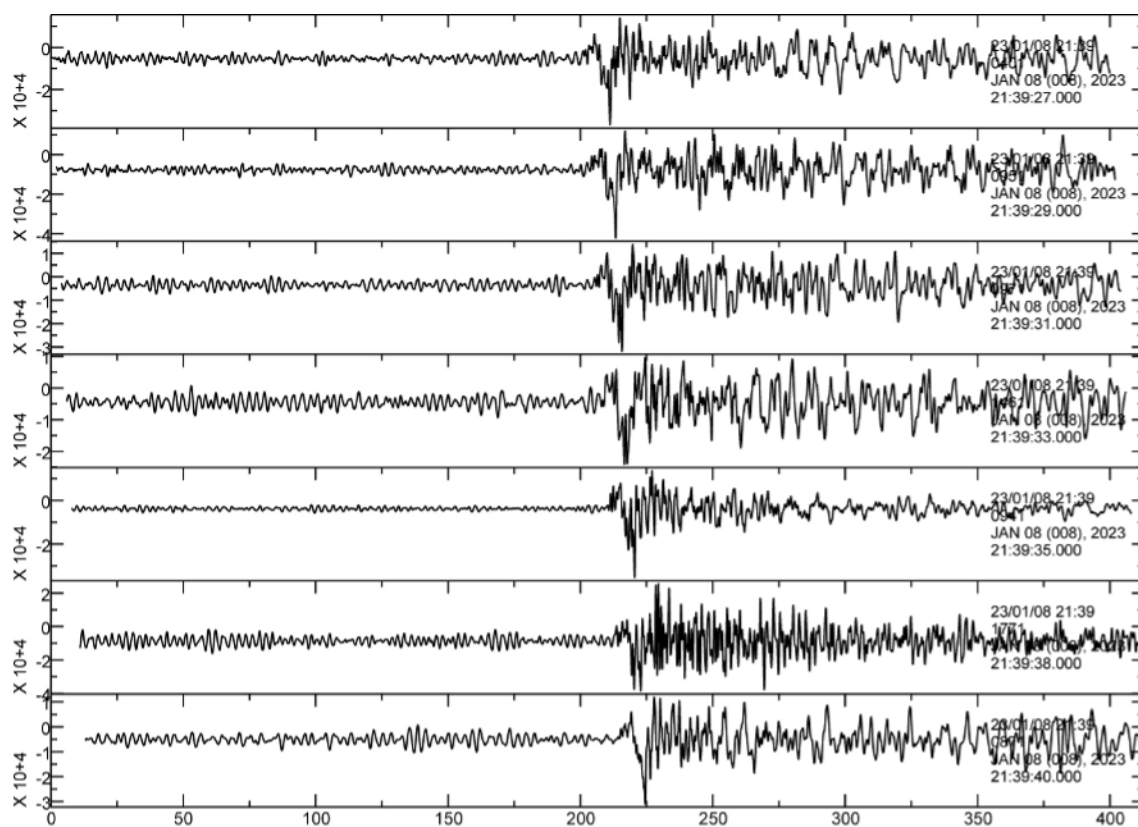


図6 日本海における小型広帯域地震計により観測された地震の波形例。2023年1月8日にバヌアツ諸島付近で発生したマグニチュード7の地震の上下動記録である。周波数フィルターはかけていない。

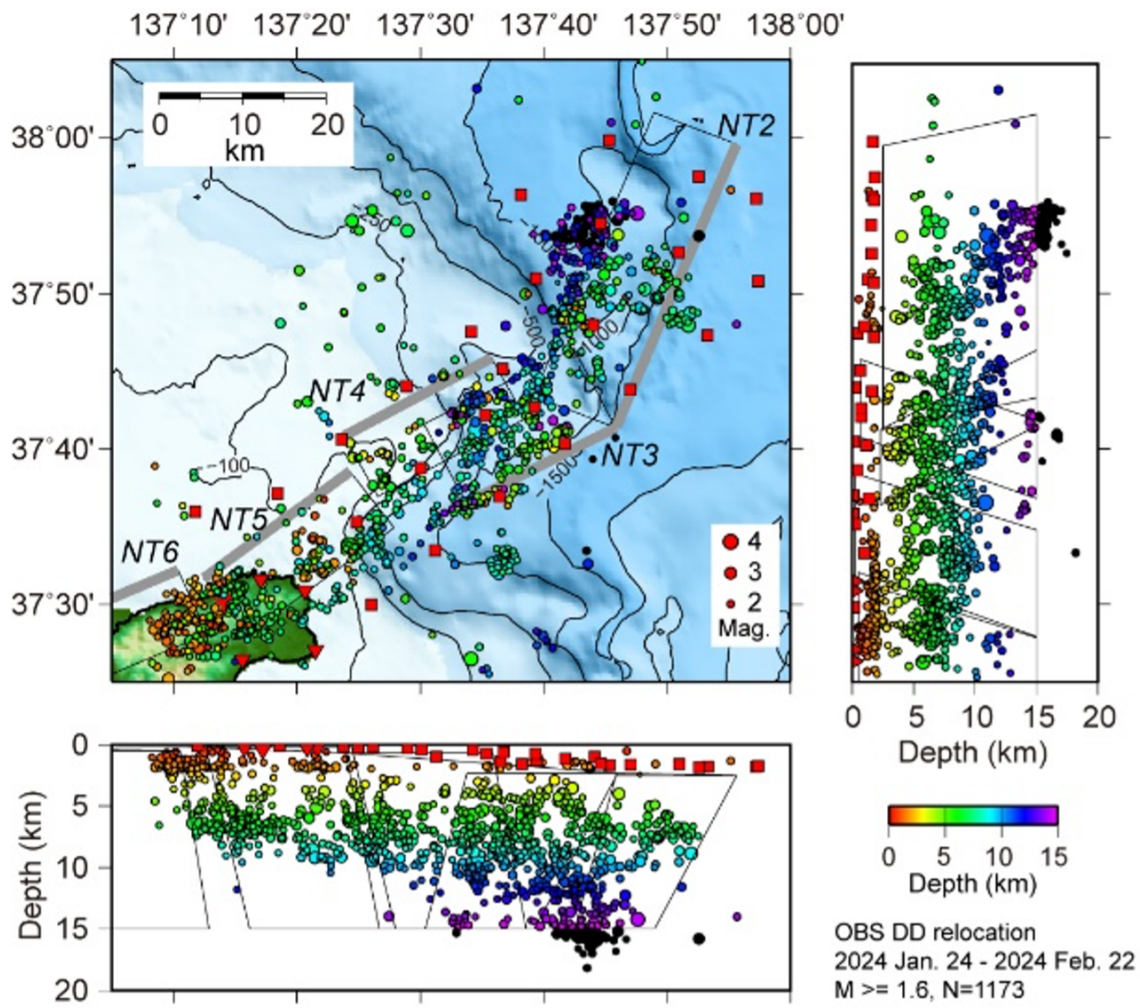


図7 2024年に発生した能登半島地震の震源域東部での海域観測による余震の震源分布。  
解析期間は、2024年1月24日から2月22日までで、マグニチュードが1.6以上の気象庁震源リストにある地震を再決定した。

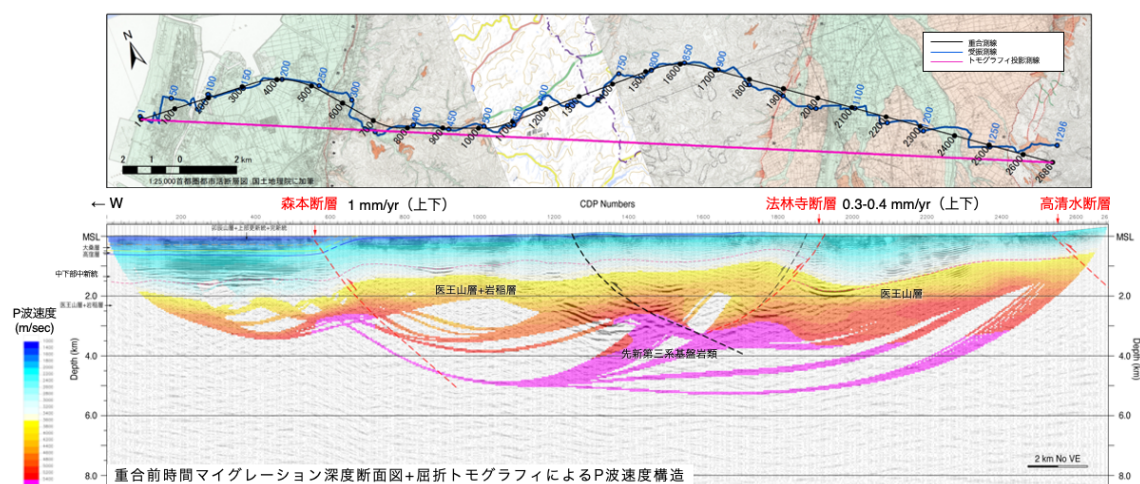


図8 森本・富樫断層帯で実施した深部構造探査の結果（内灘ー南砺測線）。



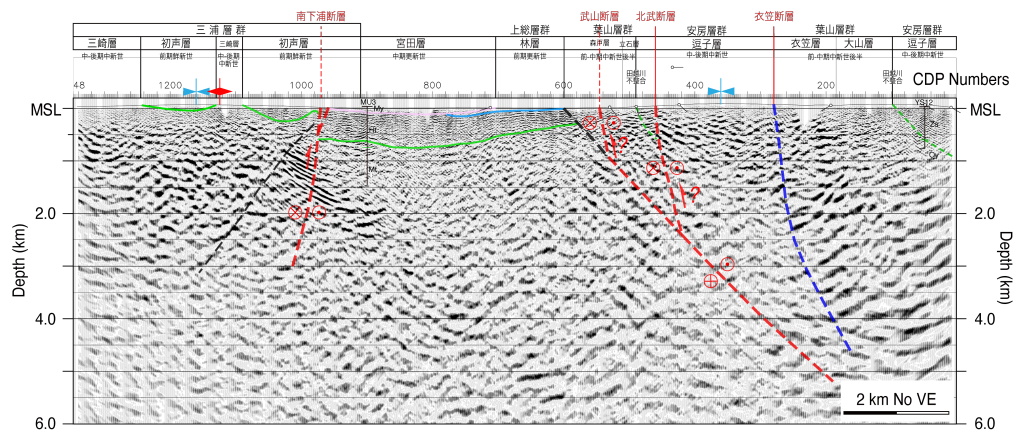


図9 三浦半島断層群で実施された深部構造探査の結果。

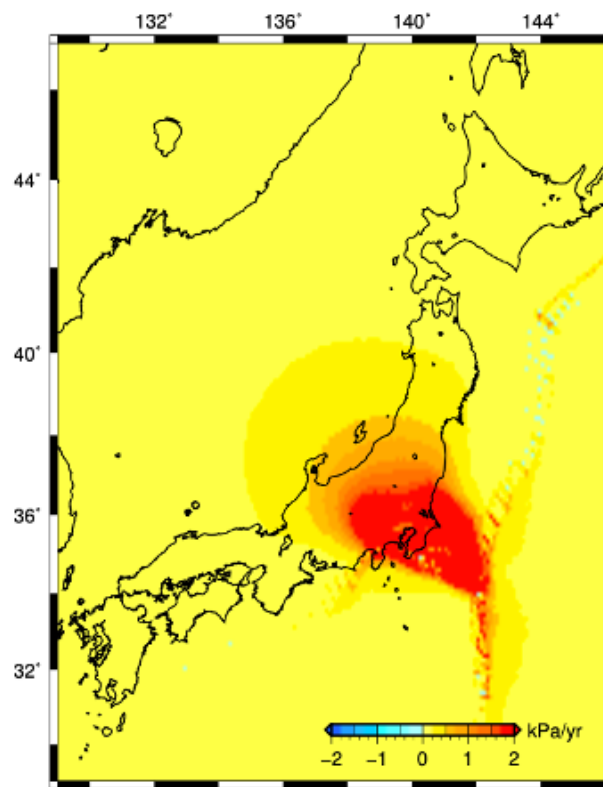


図10 a) 相模トラフの固着に伴う von Mises 応力蓄積速度。  
3 cm/yr の一様なすべり速度欠損を仮定。

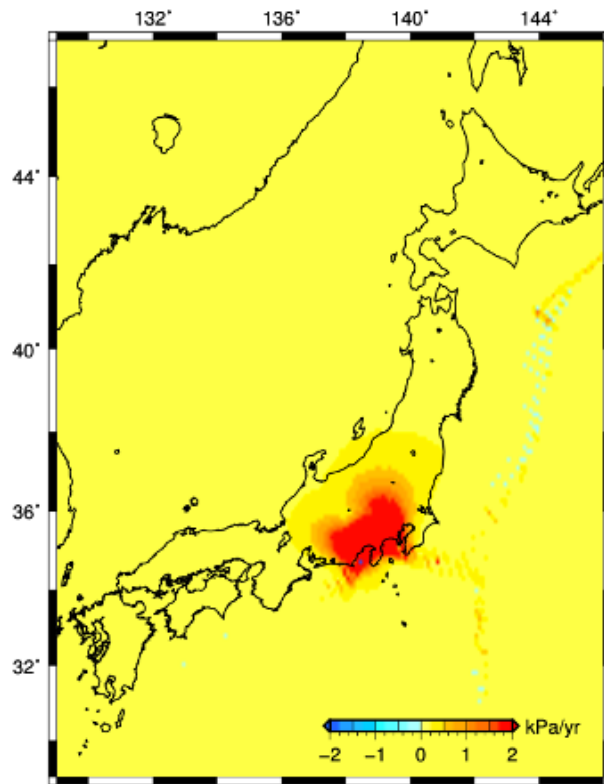


図10b) 伊豆半島の衝突に伴うvon Mises応力蓄積速度。  
伊豆半島北西部～北部に3 cm/yrのすべり速度欠損を仮定。



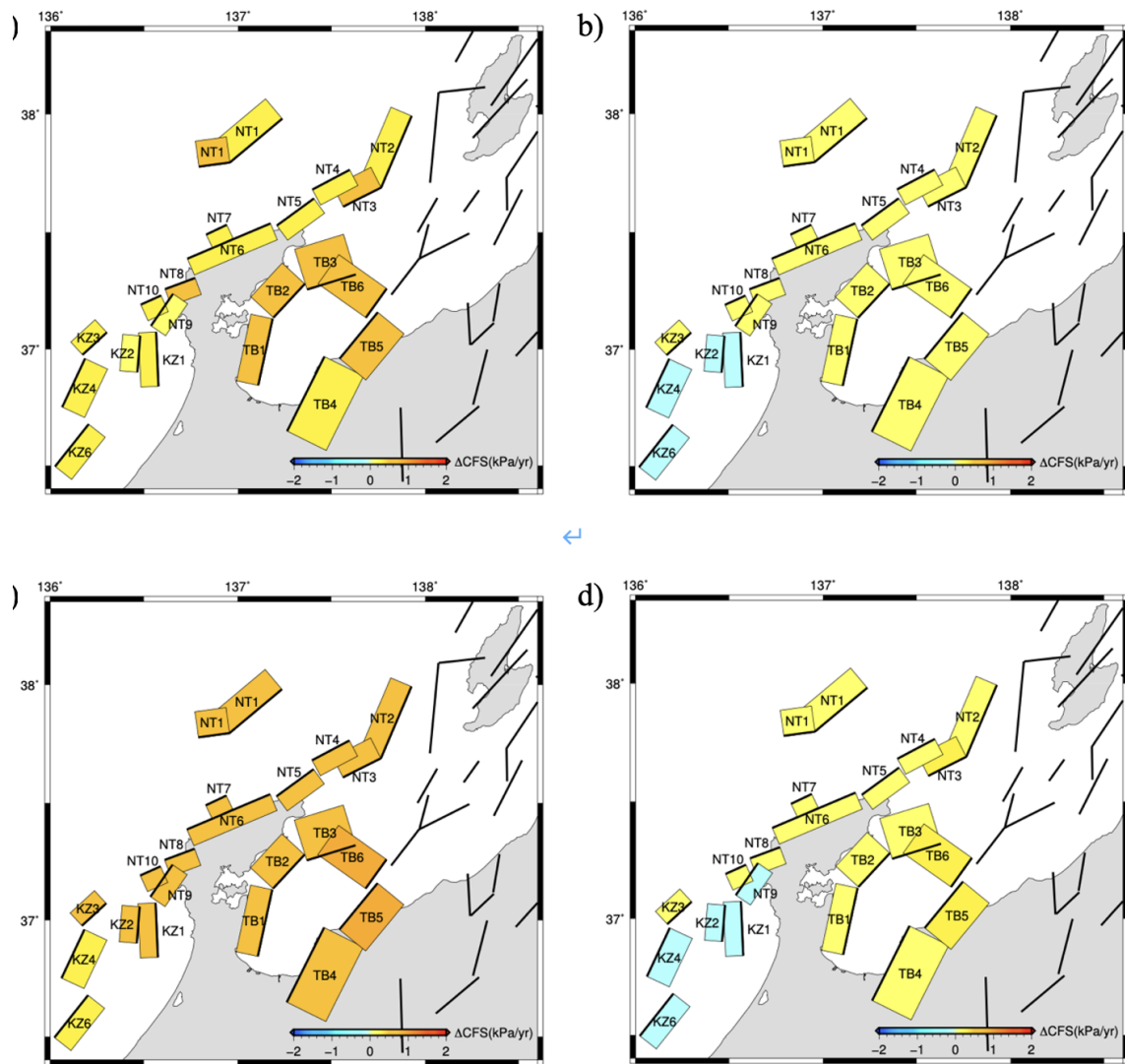


図11 能登半島周囲の震源断層面における応力。

a) 相模トラフの固着に伴う  $\Delta CFS$ 。b) 伊豆半島の衝突に伴う  $\Delta CFS$ 。c) 相模トラフの固着に伴う剪断応力。  
d) 伊豆半島の衝突に伴う剪断応力。