

(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の長期予測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7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、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（佐藤・他, 2020a,b）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（岩崎・他, 2023a,b; 2024a,b, 2025a,b）。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。

災害軽減に貢献する地震火山観測計画（第3次）”の第二年度にあたる本年度は、これまで得られた速

度構造断面と佐藤・他(2020a,b)及び蔵下・他(2022)による反射断面の詳細な比較, 当該測線周辺の震源分布と(気象庁一元化震)と発震機構(気象庁)との対応関係を検討した。更に, 測線東部における新たな解析結果を踏まえ, 得られた構造と地殻活動についてこの地域の地質学的発達過程と関連づけた解釈を行った。図2は, 深さ20 kmまでの構造, 図3は上部マントルまでの構造と震源分布を示す。その特徴と解釈を以下に示す。

(1) 激しく変形した地殻最上部構造は, 日本海拡大時に形成された断層及びその後に引き続く島弧火成活動で生成されたカルデラ群とよい対応を示す(図2)。

(2) 測線西部(Backarc Basin Basalt)下では地殻上部に顕著な反射体群が存在し, 地殻内地震の分布域は通常より深い(深さ10-25km, 図3)。これは, 同地域が中絶リフトの縁辺に位置しており, 日本海拡大時の地殻改変・火成活動に起因するであろう。深い震源分布は, 高い融点を持つ玄武岩質マグマの貫入・固化によって, 脆性-延性域境界が深くなったと解釈される。

(3) 測線中部(Felsic Caldera Complex)の構造は, 日本海拡大に引き続く島弧火成活動に支配されていると解釈される, この部分のまた, 地震発生層は周辺に比較して浅い(<10km, 図3)。図2に示すように深さ2-5km上部地殻基盤内の等速度線が著しく屈曲しており, 一部に局所的に強い反射面が認められる。更に, 地殻浅部の地震には横ずれ断層的な地震メカニズムが見られる。これらの特徴は, 火成活動による温度構造及び応力場の不均質性を反映していると考えられる。中部・下部地殻は反射的で, 反射域縁辺に低周波地震活動が見られる(図3)。この部分のMoho面深さは, 30.5-32kmで, マントル内の深さ38及び42km付近に反射面が存在する。このような構造の特徴は, 火成活動に伴う流体の上方移動を強く示唆するものである。

(4) 測線東部(Kitakami River Valley-Kitakammi Mts.)下の構造の特筆すべき特徴は, 南部北上帯の高速度の基盤上部( $V_p=5.8\sim5.9\text{--}6.3\text{ km/s}$ )がその西側の北上河谷帯下に数kmの厚みを持って入り込み, 緩やかな西傾斜構造境界(傾斜角<15°)を形成していることである(図2)。図3に示すように, この高速度ブロック内では地震活動が活発で, 2003年宮城県北部地震( $M_j=6.4$ )もこの領域内で発生した。また, 構造境界周辺では深さ15kmまでかなり顕著な地震活動が認められる。一方, その西側の北上河谷帯側上部地殻は比較的低速度( $V_p=5.8\text{--}6.1\text{ km/s}$ )で, 地震活動は極めて低調である。従って, 南部北上帯の高速度ブロックは, その西縁境界部も含めて, 単に構造の面だけでなくその力学的挙動も北上河谷帯下の上部地殻と大きく異なっていると考えられる。

(5) 地質学的に, 北上河谷帯を含む北上低地帯は日本海拡大期の正断層運動と密接な構造を持ち, これらの正断層は鮮新世以降に反転して逆断層運動を行ってきた(Kato, et al., 2006)。我々のモデルでは, 北上河谷帯下の最浅部の火山砕屑岩( $V_p=2.0\text{--}5.0\text{ km/s}$ )と基盤の境界は, 3つのステップを伴って西方に深くなる(図2)。これらのステップは, 東側から須江断層, 旭山撓曲, 及び大崎平野下に伏在する断層(大崎断層(新称))に相当して, ドミノブロック構造を形成していると考えられる。しかし, 上述の高速度ブロックの西傾斜境界の傾きは緩やかで, 日本海拡大時に形成された断層群そのものに対応づけることは難しい。この西傾斜境界を含む浅部構造は, 測線周辺域の複雑な断層帯の複合構造であると考えの方が妥当である。測線の北側には東南東-西北西方向の走向を持つ断層が存在する(加護坊山断層)。図4に示すように, 厚さ数kmの低角西傾斜構造の形成は, この断層の深部延長部が述のドミノ構造と交錯に起因すると思われる。

## (2) 西南日本

“災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(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に設定されている。対象となるデータは, 2004年(例えば伊藤他, 2007)及び2006年

(Iwasaki et al., 2018)に行われた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測線である(図5)。まず, これらの探査の走時データ解析から, 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の全体構造を求め直す。本年度は, まだデータが完全に整備されていない2004年測線に対する解析準備作業を行った。この測線では, その測線長が195 kmで15点の発震点, 1954点の受振点が設定され, 屈折初動だけでなく, 顕著な後続波が観測されており, 走時データを, 後続波を含めて作成し直す必要がある。その読み取り作業の効率化を図るため, 既往のsoftware packageを適用して, その実効性を比較・検証した。また, 紀伊半島下に沈み込むフィリピン海プレートの形状, 上盤側の不均質構造に関する知見を得ることを目的とした稠密自然地震観測



を実施する為に、既存地殻構造探査で得られた結果や定常的な地震活動度を参考にしながら観測点配置の検討を行った。検討結果を基に現地踏査を実施して決定した設置場所を図1に青丸で示す。地震観測装置は、2004年に実施された紀伊半島を北北西-南南東に縦断する制御震源地殻構造探査測線(伊藤他, 2007) 沿いを含む京都府京丹後市から三重県紀宝町に至る測線上(測線長: 約240 km)の107か所に、約2~4 km間隔で設置する予定である。現在、地震観測装置を設置する為の許認可申請作業を実施している。設置作業は2026年3月中旬を予定し、観測は2026年12月頃までを予定している。

#### ・海域地震観測

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、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。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(Shinohara et al., 2025)。

2026年2月以降は、長期観測型海底地震計を用いて、地震活動の時空間変化を把握するために、海底観測を継続した。海底地震計は一部について入れ替え、追加などを経て、2025年1月に海底地震計を回収し観測を終了した。長期観測データについては、Deep Learning手法によるP波およびS波の自動読み取りを行った以外は、本震直後の解析と同じ手法により、震源分布を求めた。その結果、約1年間の観測期間中に1490個の震源が求められた(図6および図7)。大局的には余震数が時間ともに減少しており、発生位置については、余震は能登半島沿岸では深さ10 km程度まで、沖合では深さ16 km程度まで発生していること、「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデルNT2の深部において、深い地震が発生している点は、海底地震観測の本震直後の解析結果(Shinohara et al., 2025)と調和的である。2024年7月1日の気象庁マグニチュード4.1の地震およびその周辺の地震に代表されるように、周囲に較べてやや深部で発生している地震活動が認められる。

2024年能登半島地震の余震は、P波初動を用いた発震機構解とモーメントテンソル(MT)法による発震機構解で差異が見られることが指摘されていた。P波初動を用いる解析は、地震がダブルカップルであることを仮定している。そこで、震源近傍に設置した海底地震計のデータのP波初動と震幅を用いて、非ダブルカップル成分を含めた発震機構解を求める方法を開発し、2024年能登半島地震の余震が、非ダブルカップル成分を持つものが多いことを明らかにした(図8)。流体の移動と関連すると思われる膨張(ISO)成分に加えて、非体積変化・非剪断(CLVD)成分を持つものが多い。この結果は、能登半島北東延長海域下では、流体移動だけではなく、震源断層が単純な平面であらわせない、構造に異方性があるなどの、複雑な現象を表していると考えられる。

#### ・日本列島基本構造モデル・活構造の長期間地殻変動

2024年能登半島地震の震源域東部を横断するMCS測線について、Shinohara et al. (2025)による海底地震観測に基づく余震分布を考慮した構造解釈を行った(図9)。その結果、海底面の地震時地表変位から下方に延びる下に凸な断層面が推定され、余震分布の下限を限ること、複数の断層面からなることなどが明らかとなった。得られた断層構造に基づき、能登半島沖の断層モデルを今後構築する。

#### ・数値計算

今年度の計画にしたがい、昨年度構築した日本列島域の有限要素モデルを用い、西南日本の応力場を計算した。応力場の計算には、2011年東北沖地震以前の西南日本の定常的な変動に基づいて求めた南海トラフ-琉球海溝のすべり速度欠損分布(橋間ほか, 2019)を用いた。計算の結果得られた深さ10 kmにおける応力速度を図10に示す。西南日本では、南海トラフの固着にともなって北西-南東に圧縮軸を持つ横ずれ的応力が蓄積されている。一方、九州より南西方向では、琉球海溝における海溝後退により南北方向の伸張応力が蓄積されている様子が見て取れる。なお、プレート境界面付近で

は力源の離散化が十分ではなく、精度が劣っていることに注意されたい。

得られた応力場と現在の地震活動の整合性を検証した。図11はハーバード大学によるGCMTカタログによる1976-2025年の期間による深さ30 km以浅のMw 7以上の地震のモーメント・テンソルを表す。これらの地震の2つの節面においてクーロン破壊応力変化( $\Delta CFS$ )を計算する。実効摩擦係数の値は0.4とした。図12は各地震の震源において計算した応力パターンを $\Delta CFS$ の値で色付けしたものである。九州東方沖のプレート境界地震を除けば、特に図12 a)の節面では、2004年紀伊半島沖地震とその余震、2005年福岡西方沖地震、2016年熊本地震で $\Delta CFS$ が正の値を示し、計算した応力場が地震発生と調和的であることを示している。一方、1995年神戸地震や2001年鳥取西部地震においては、 $\Delta CFS$ が負となり、計算した応力場では地震発生の説明がつかない。これは、近畿-中国地方において、南海トラフの沈み込みだけでなく、伊豆衝突や太平洋プレートの沈み込みも含めたより長期的・広域的な影響を考慮する必要があることを示唆している。また、これらの震源を含む地域の局所的な変形集中の影響(Nishimura and Takada, 2017)も考慮する必要もあるかもしれない。

図13は2025年に発生したF-netにもとづく2025年から2026年1月までのMw 5.5以上の地震のモーメント・テンソルを示す。2025年7月をピークにトカラ列島で群発地震が発生し、また、2026年1月の島根県東部地震は被害をもたらした。図14に、西南日本で発生した内陸地震の震源において計算した応力パターンと $\Delta CFS$ の値を示す。図12と同様、島根の地震については、計算した応力場では地震発生が説明できない。トカラ列島の地震についても、計算した応力場に対する $\Delta CFS$ は1 kPa/yr以下の低い値となった。今回の群発地震の発生域は、火山フロントにおける火山空白域であるが、地下にはマグマの貫入構造がある。したがって、今回の地震活動は火山活動由来のマグマとガスに起因している可能性があり(Arai et al., 2018; 田村, 2025)、それが地震活動と $\Delta CFS$ の不一致の原因と考えられる。一方、Otsubo and Amezawa (2026)は、応力解析により、トカラ地震は間隙流体の圧力増加よりは、地域の応力場によって発生したと考えられると結論づけた。この場合、この地域の応力を説明するように橋間ほか(2019)にもとづく本研究モデルを修正する必要がある。

・「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」の目的に直結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7年度の成果に関連の深いもので、令和7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

Akuhara, T., M. Shinohara, T. Yamada, R. Azuma, R. Hino, K. Obana, T. Takahashi, G. Fujie, S. Kodaira, Y. Murai, H. Baba, Y. Yamashita, and H. Yakiwara. Non-double-couple components of the 2024 Noto earthquake aftershocks: influence on focal mechanism estimation. *Earth Planets Space* 77, 145 (2025). <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02279-6>, 査読有, 謝辞無

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, Y. Ito, 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, Precise aftershock activity in the marine source region of the 2024 Noto-Hanto earthquake by rapid response observation using ocean bottom seismometers. *Earth Planets Space* 77, 43 (2025).

<https://doi.org/10.1186/s40623-025-02171-3>, 査読有, 謝辞無

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余震観測、地震予知連絡会会報第114巻、6-4、2025年9月、[https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou114/06\\_04.pdf](https://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/report/kaihou114/06_04.pdf), 査読無, 謝辞有

Tonegawa, T., T. Akuhara, Y. Yamashita, H. Sugioka, M. Shinohara, S. Takemura, and T. Tsuji, Accretionary prism deformation and fluid migration caused by slow earthquakes in the Nankai subduction zone, *Solid Earth*, 16, 579–592, 2025. <https://doi.org/10.5194/se-16-579-2025>, 査読有, 謝辞無

Shinohara, M., Ishiyama, T., Gusman, A. T. Iwata, K. Satake and T. Saito, Special issue “structures, earthquakes and tsunami hazards in the Sea of Japan”. *Earth Planets Space* 77, 96 (2025). <https://doi.org/10.1186/s40623-025-02221-w>, 査読有, 謝辞無

#### ・学会・シンポジウム等での発表

悪原岳・篠原雅尚・山田知朗・東龍介・日野亮太・尾鼻浩一郎・高橋努・藤江剛・小平秀一・村井芳夫・馬場久紀・八木原寛・山下裕亮, 能登半島地震余震に見られる非ダブルカップル成分：初動発震機構解推定に及ぼす影響, 日本地球惑星科学連合大会, 2025年5月28日（水）

Ishiyama, T., No, T. and Sato, H., 2025, Active tectonics, tectonic background, and thrust geometries around the source regions of the 2024 Noto Peninsula earthquake (M7.6), EGU Joint Assembly 2025, EGU25-14116.

岩崎貴哉・佐藤比呂志・蔵下英司・石毛宏和・清水英彦・石山達也・飯高隆・篠原雅尚・川崎慎治・阿部進・平田直, 2025a. 宮城県大崎平野に見る日本海拡大東端部の地殻改変構造, 日本地震学会2025年度秋季大会, 福岡国際会議場（福岡市）, 10月20日～10月22日, S06-02, 日本地震学会.

岩崎貴哉・佐藤比呂志・蔵下英司・石毛宏和・清水英彦・石山達也・飯高隆・篠原雅尚・川崎慎治・阿部進・平田直, 2025b. Crust/uppermantle deformation structure across the central NE Japan arc - Integrated interpretation for the 2019 onshore seismic profiling -Lateral variation, 日本地球惑星科学連合2025大会, 幕張メッセ, 5月25日～5月30日, SCG61-P02, 日本地球惑星科学連合.

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余震観測、第247回地震予知連絡会、2025年5月20日(火)

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余震観測、地震調査委員会、2025年7月9日(水)

#### (9) 令和7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8年度実施計画の概要：

・陸域地震観測：2026年3月に設置した臨時地震観測点を撤収する。紀伊半島で取得されている制御震源探査データの再解析を実施すると共に、新規に取得した稠密自然地震観測データの解析を開始する。

・海域地震観測：2024年能登半島地震の長期余震観測データの解析を継続して、発震機構解を含めた余震活動の時空間変化を明らかにする。2024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を求める。

・日本列島基本構造モデル・活構造の長期間地殻変動：構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：

(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

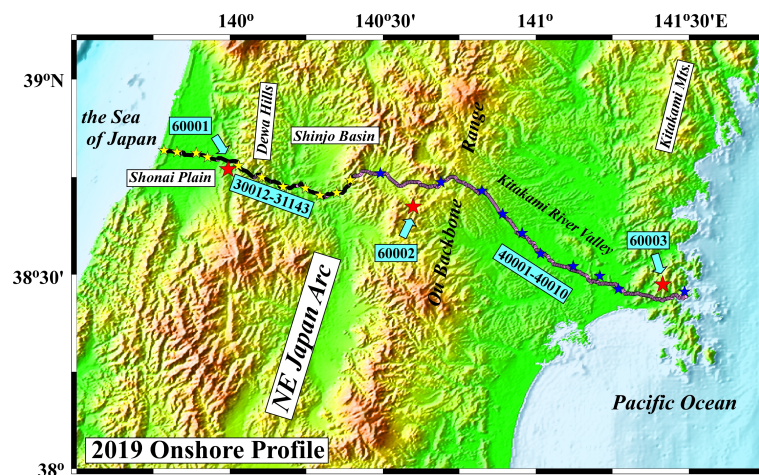


図1 2019年陸域測線図。

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。発震点と受振点総数は、それぞれ24及び1,667点である。

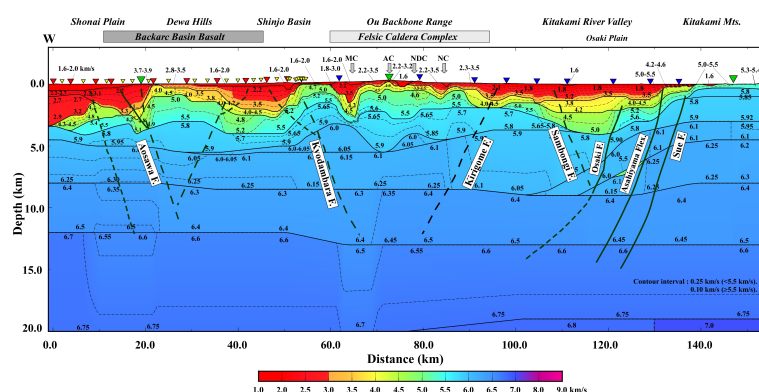


図2 深さ20kmまでの速度構造図。

地質体区分及び断層位置（黒実線・鎖線）・カルデラ位置（灰色矢印）は佐藤・他(2020a,b)による。

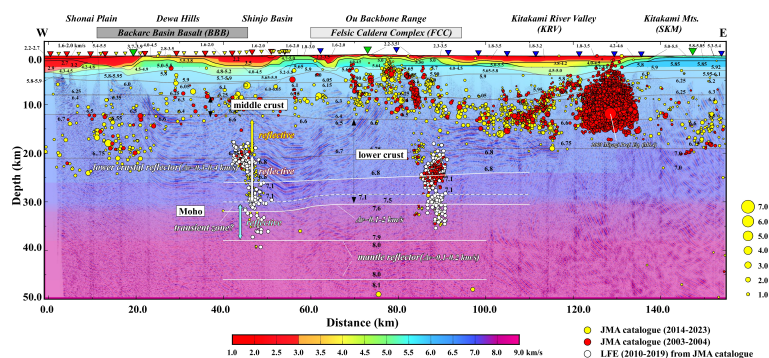


図3 上部マントルまでの速度構造図。

白線は、後続波走時・震幅から推定された中部地殻-上部マントルに推定される速度不連続面である。この図には、蔵下・他.(2022)の反射断面及び気象庁一元化震源を重ね合わせた。2013-2023年までの震源を黄丸、2003年宮城県北部地震を含む2003-2004年の震源を赤丸でしました。白丸は低周波地震(2010-2019)である。

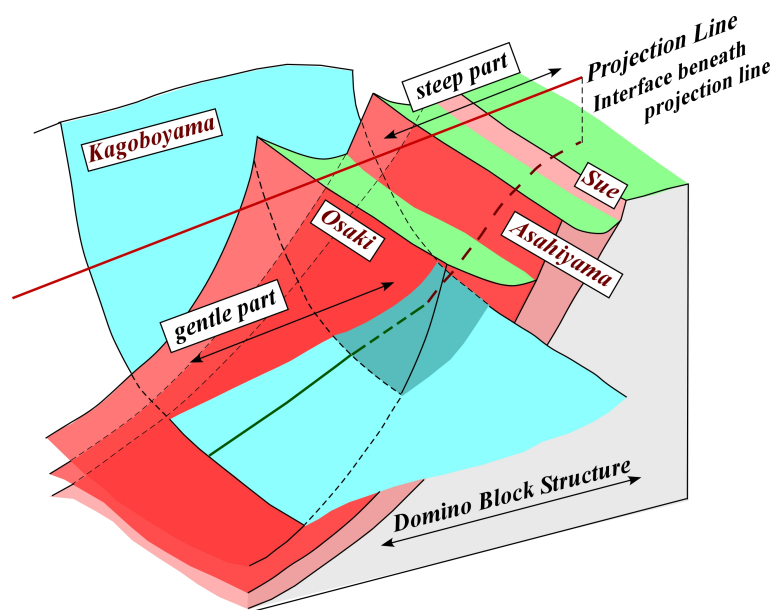


図4 北上河谷帯-北上山地における地殻浅部西傾斜構造の概念的解釈図。



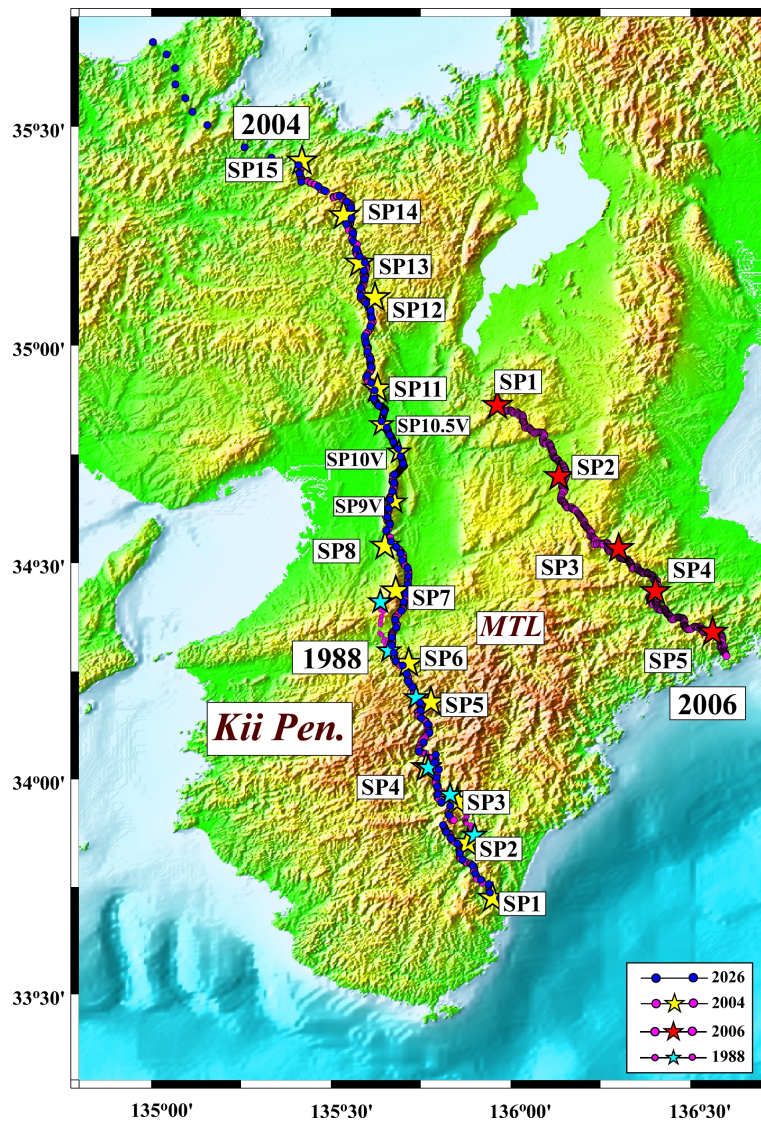


図5 紀伊半島における新規稠密臨時地震観測点と既往制御震源探査測線図。  
青丸が2026年3月中旬からの観測開始を予定している臨時地震観測点の位置を示す。

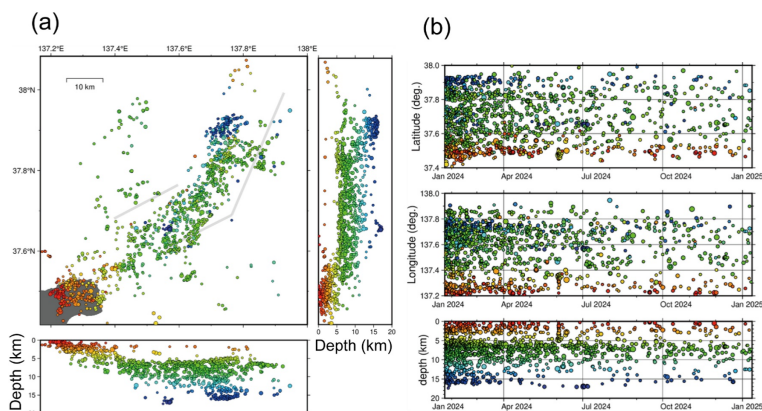


図6 ダブルディファレンス法による震源分布。  
海底地震観測による震源分布図(2024年1月21日～2025年1月12日) (左)と時空間分布図 (右)を示す。図中の丸の色は震源の深さ、大きさはマグニチュードを表す。図中の灰色太線は「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデル (NT2 - NT4) の上端を示す。

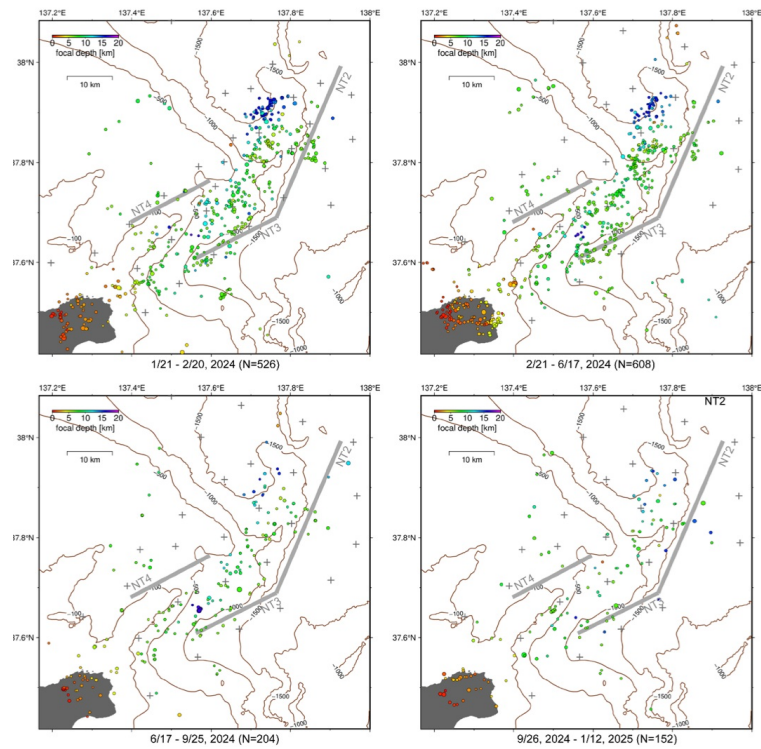


図7 観測期間別の震源分布。

震央(図中の丸)の色は震源の深さ、大きさはマグニチュードを表す。左上は第1期観測(2024年1月21日～2月20日)、右上は第2期観測(2024年2月21日～6月16日)、左下は第3期観測(2024年6月17日～9月25日)、右下は第4期観測(2024年9月26日～2025年1月12日)期間中の震源分布。図中の十字は各期間中の観測点位置、灰色太線は「日本海地震・津波調査プロジェクト」による断層モデル(NT2-NT4)の上端を示す。

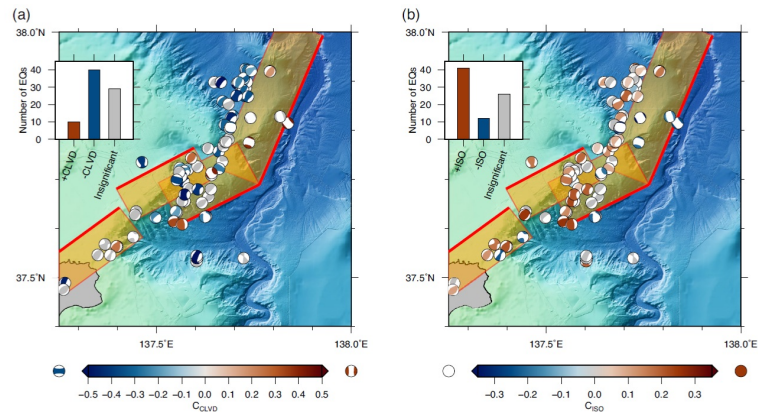


図8 海底地震計データから求められた非ダブルカップル成分を含む発震機構解。

CLVD成分(左)とISO成分(右)を示す。赤が正、青が負の値を表している。正のIOS成分に加えて、負のCLVD成分を持つものが多い。



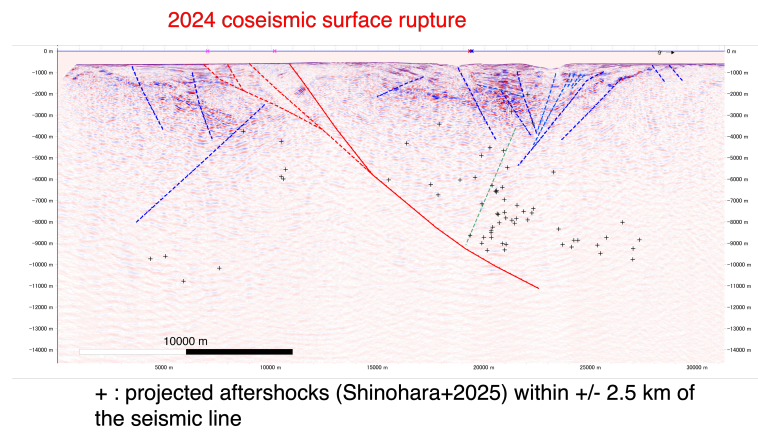


図9 TA-T1測線（Ishiyama et al., 2017）の再解釈断面。  
黒十字はShinohara et al. (2025)による余震分布を示す。

Figure

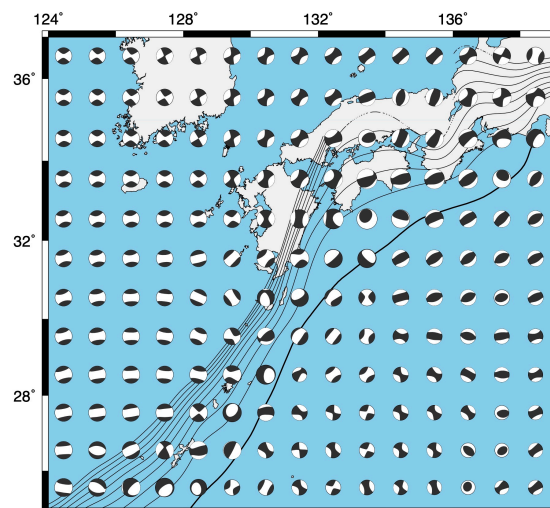


図10 本研究の有限要素モデルにより、南海トラフー琉球海溝のすべり速度欠損分布を与えて計算した定常的応力場。

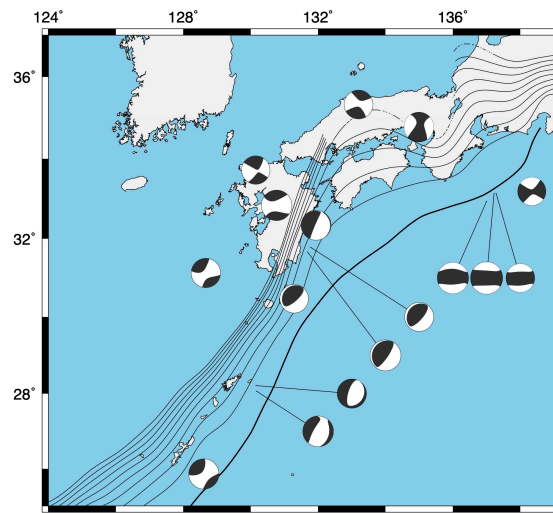


図11 ハーバード大学GCMTカタログに基づく1976年－2025年の深さ30 km以浅、西南日本－琉球におけるMw 7以上の地震のモーメント・テンソル。

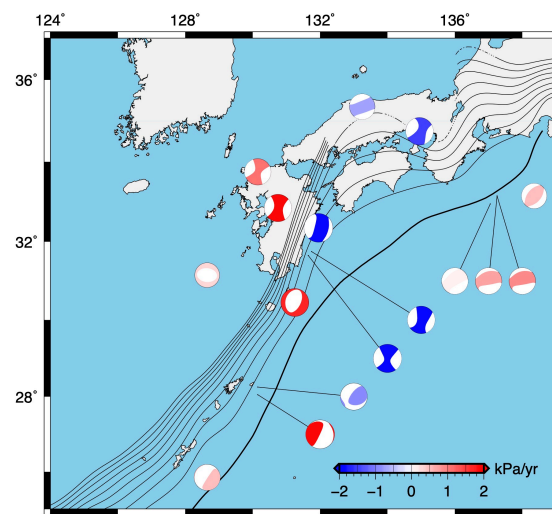


図12(a) 本研究の定常的応力場により $M_w$  7以上の地震にかかるクーロン破壊応力変化 ( $\Delta CFS$ )。計算において実効摩擦係数の値は0.4とした。a), b)は、各地震の二つの節面に対する $\Delta CFS$ 。

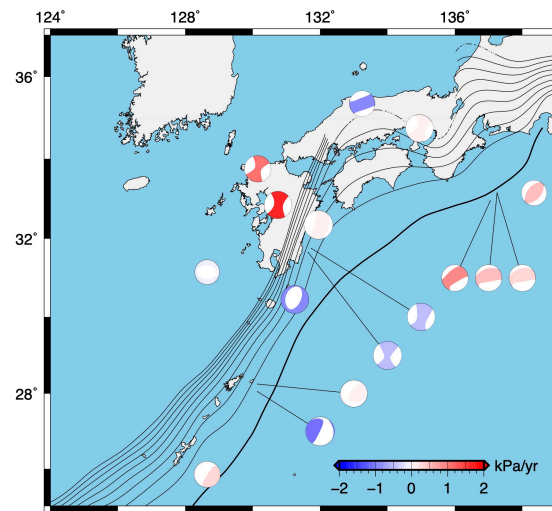


図12(b) 本研究の定常的応力場により $M_w$  7以上の地震にかかるクーロン破壊応力変化 ( $\Delta CFS$ )。計算において実効摩擦係数の値は0.4とした。a), b)は、各地震の二つの節面に対する $\Delta CFS$ 。

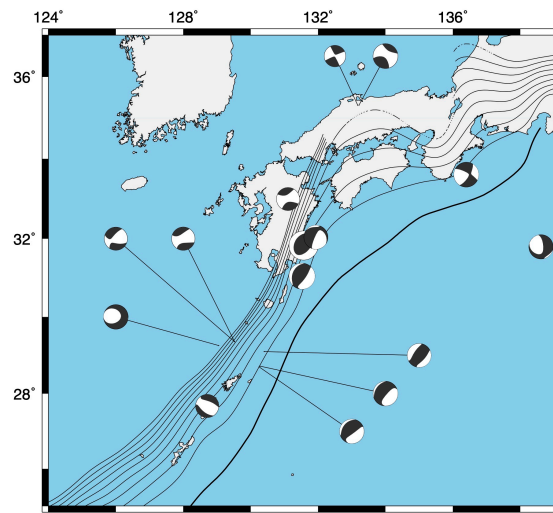


図13 防災科学技術研究所F-netメカニズム解カタログに基づく2025年－2026年1月の西南日本－琉球における $M_w$  5.5以上の地震のモーメント・テンソル。

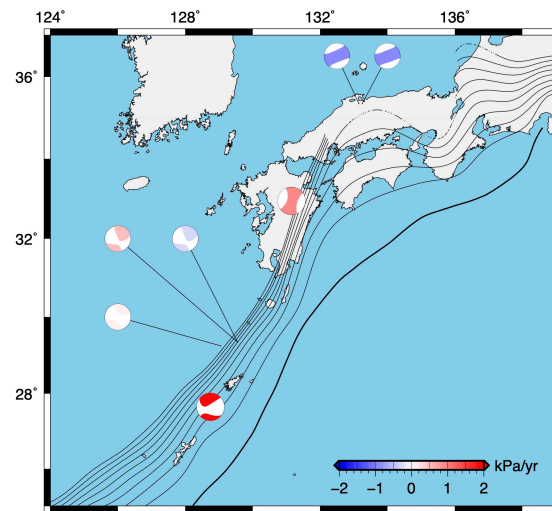


図14(a) 本研究の定常的応力場により2025年－2026年1月の西南日本のMw 5.5以上の内陸地震にかかるクーロン破壊応力変化 ( $\Delta\text{CFS}$ )

計算において実効摩擦係数の値は0.4とした。a), b)は、各地震の二つの節面に対する $\Delta\text{CFS}$ 。

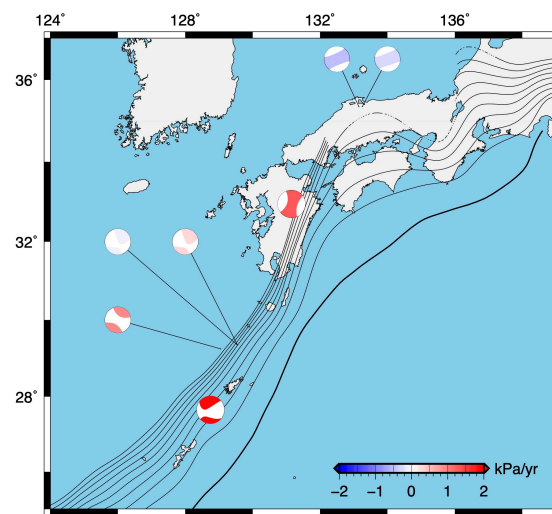


図14(b) 本研究の定常的応力場により2025年－2026年1月の西南日本のMw 5.5以上の内陸地震にかかるクーロン破壊応力変化（ $\Delta\text{CFS}$ ）。  
計算において実効摩擦係数の値は0.4とした。a), b)は、各地震の二つの節面に対する $\Delta\text{CFS}$ 。