

## 1 (2) 地震 (長期予測)

「地震 (長期予測)」計画推進部会長 西村卓也  
(京都大学防災研究所)  
副部会長 宍倉正展  
(産業技術総合研究所)

大地震の長期予測は、日本国内では地震調査研究推進本部による長期評価という形で実施され、その評価結果は全国地震動予測地図などの形で社会に公表されている。おもに過去の地震の発生履歴に基づいて行われてきた大地震の長期予測は、災害軽減や防災対策の立案に役立てられることが期待されるが、大地震の発生は極めて低頻度な現象であるため、長期予測には大きな不確定性が伴っている。本部会では、地形・地質データや史料・考古データを活用して地震の発生や地殻変動の履歴を解明する手法の高度化を進めるとともに、各地域での調査から過去の履歴データを蓄積して、大地震の予測精度の向上を目指した観測研究を行う。さらに、これまでは十分に活用されていなかった地殻変動や地震活動などの地球物理学的観測データや地震発生の物理モデルの利用により、長期予測手法の高度化を目指した観測研究を行う。以下では、本部会に属する各課題について令和4(2022)年度の成果の概略と今後の展望について述べる。

### 1. 地震・火山現象の解明のための研究

#### (1) 地震・火山現象に関する史料・考古データ、地質データ等の収集と解析

##### ア. 史料の収集とデータベース化

熊本県の阿蘇高森で書かれた「瀬井家日記」、および「下林家日記」を調査し、文政9年から明治元年(1826~1868年)までの阿蘇山の火山活動や地震に関する記事を収集した。その結果、1830年8月12日(天保元年6月24日)には、それぞれ新火口とスコリア丘と推定される池と「富士山ニ似山」ができたことや、1854年の安政南海地震の4~9ヶ月前に阿蘇山の火山活動が活発化していたことを確認した(東京大学地震火山史料連携研究機構[課題番号:HMEV02])。

##### ウ. 地質データ等の収集・集成と分析

海溝型地震の発生履歴に関する調査として、沿岸での津波堆積物や巨礫群を用いた古津波と海岸段丘地形や生物痕跡に基づく地震性隆起の評価が行われた。

千島海溝・日本海溝周辺域では、北海道太平洋沿岸において地質調査を行い、17世紀に発生した巨大津波をはじめとした過去のイベントに関するデータを取得した。また、17世紀巨大津波の波源に関する予察的な計算を行った(産業技術総合研究所[課題番号:AIST08])。さらに、胆振地方東部の厚真町において17世紀の津波堆積物を見出し、その分布や特徴および堆積年代を調べた(北海道大学[課題番号:HKD\_01])。堆積物の上下の泥炭から得られる $2\sigma$ の暦年代範囲は1596-1641年であり、堆積物は1611年の慶長奥州地震津波の痕跡である可能性が高い。津波痕跡が識別できる範囲等から示唆される津波の高さは5m程度であり、内閣府の17世紀型巨大地震の想定(沿岸で約9m)より小さ

い。この調査地点では、過去 2500 年間の地層に津波の可能性のある痕跡は他に見つからなかった。一方、十勝地方大樹町においては、珪藻群集分析により 17 世紀の巨大地震前後の地殻上下変動を精度良く推測した。その結果、この地域では地震時の変動は小さく、地震後に 1.5 m 隆起したことがわかった（北海道大学[課題番号：HKD\_01]）。

南海トラフ周辺域では、各地で古津波調査が行われた（産業技術総合研究所[課題番号：AIST08]）。三重県南伊勢町では、採取した試料の分析を進め、過去 3000 年間に発生した海水の浸水イベントの年代を検討した。和歌山県串本町の橋杭岩の巨礫についてその運搬条件を数値解析し、1707 年宝永地震の津波では動かないものが存在することを明らかにし、同津波よりも大きな津波が過去に発生していたことを明らかにした（Namegaya et al., 2022）。和歌山県那智勝浦町では、過去の津波の浸水履歴を明らかにするための地質調査を行った。高知県南国市では、津波の浸水頻度を評価するため、沿岸の砂丘の発達時期を復元した。宮崎県日南市では、津波堆積物の分布と数値計算の結果を比較し、1662 年日向灘地震の断層モデルを構築した（Ioki et al., 2022）。

また、南海トラフ沿いの陸側斜面の志摩海脚付近において、令和 3 年度に実施された海底地形調査・浅層地質構造探査のデータ解析を実施した（名古屋大学[課題番号：NGY\_04]）。海底地形データに基づく 1 秒グリッド DEM を用いて検討した結果、1）熊野灘から志摩海脚付近にかけて分布する活断層は、トレースが屈曲に富み、北側隆起を示す、2）志摩海脚付近から遠州灘にかけて分布する活断層は、トレースが比較的直線的であり、北側隆起に加えて右横ずれを示す、3）志摩海脚付近の活断層は、トレースが西方に向かって多数に分岐し、北側または南側隆起を示すことが明らかになった。また、活断層トレースは全体として志摩海脚付近で左ステップしている。

南西諸島海溝沿いでは、先島諸島（石垣島、宮古島）において、津波石の中でも特にサイズの大きいものについて、形状の 3D 計測を行った。これにより津波による巨礫移動の数値計算による復元精度が向上すると考えられる。石垣島における掘削調査からは、1771 年明和津波由来の可能性のあるイベント堆積物を確認し、試料採取を行った（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS\_01]）。

内陸地震の発生履歴に関する調査としては、中央構造線断層帯・石鎚山脈北縁西部区間および石鎚山脈北縁区間においてドローン LiDAR 調査、トレンチ調査、S 波反射法地震探査等による変位履歴調査を実施した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST02]）。石鎚山脈北縁西部区間でのトレンチでは、周辺地形に見られる北側隆起の逆向き低断層崖ないし撓曲崖と調和的な撓曲変形が認められた。年代測定の結果から、最新活動は従来指摘されている西暦 1596 年文禄（慶長）の大地震群と調和的であり、その中の伊予地震に対応する可能性がある。糸魚川—静岡構造線断層帯（以下、糸静線）の北部木崎湖地区の逆断層とそれと並走する横ずれ断層の変動地形と断層の地下形状との関係を解明するために東西約 1.2 km の浅層反射法地震探査を実施した。（名古屋大学[課題番号：NGY\_03]）。反射法解析による重合時間断面およびその解釈を図 1 に示す。図 1（c）の a-a' よりも深部では東に傾斜した強振幅の反射面が連続的に分布し、先新第三系基盤岩上面と考えられる。一方、先新第三系基盤岩上面と、b-b' に挟まれた領域では、変形や変位は認められないが、b-b' より東側浅部では、東傾斜の反射面群が見られる。この反射面群は c-c' を結ぶ線を境として不連続となっており、横ずれ断層が c-c' を通過していることが読

み取れる。よって横ずれ断層が比較的地下浅部で逆断層に収れんする可能性が示唆された。

古地震イベントに関するデータを検索・表示できるデータベースは、引き続き充実が図られている。産業技術総合研究所では、活断層及び津波浸水履歴情報を「活断層データベース」「津波堆積物データベース」として整備しており、「活断層データベース」では活断層の調査地（463 地点）及び活断層線（16 断層）に関するデータの位置精度を確認・更新するとともに、詳細な活断層図を表示するためのシステムを構築した（産業技術総合研究所[課題番号：AIST01, AIST04]）。

### （3）地震発生過程の解明とモデル化

#### ア．地震発生機構の解明

2011 年東北地方太平洋沖地震における浅部大すべりの原因を明らかにするため、震源直上の水圧計による津波波形に海陸の地殻変動観測データを加えて断層モデルの推定を行った。宮城県沖では、海溝軸まで進展する大すべりが推定されたが、海溝軸付近の応力降下は小さく、深部の震源近傍で大きな応力降下が推定された。この結果は、東北沖地震を引き起こした歪みエネルギーは、深部のプレート間の力学的固着により蓄積されていたことを示唆する（防災科学技術研究所[課題番号：NIED02], Kubota et al., 2022）。

すべり速度・状態依存摩擦則を仮定し、定常状態ですべり速度強化の領域内に、すべり速度弱化的パッチ（アスペリティ）が分布している状況で、アスペリティでの破壊を伴いながらゆっくりすべりが伝播した場合の、摩擦パラメータと伝播速度の関係を与える理論式を導入した（海洋研究開発機構[課題番号：JAMS01], Ariyoshi et al., 2022）。この関係と実際の沈み込み帯での伝播速度から、摩擦パラメータの特徴的すべり量を推定した。

GNSS データおよび発震機構解による広域応力場という観測量を反映して、地震サイクルシミュレーションを行う物理モデル化手法を構築した（東京大学理学系研究科[課題番号：UTS\_05]）。この手法を用いて、中央構造線活断層帯を対象としたシミュレーションを実施したところ、シミュレーションによる平均変位速度と地震発生間隔は、トレンチ調査による推定値と概ね一致する結果が得られた。

超大型岩石摩擦試験機を製作して、二つの異なる断層粗さで実施した摩擦実験データを解析した。その結果、断層の表面形状によって断層強度や震源核形成過程、破壊伝播過程が大きくことなることを明らかにした（防災科学技術研究所[課題番号：NIED03], Xu et al., 2023）。

### （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

すべり分布と地下構造モデルを同時に推定する手法を、豊後水道スロースリップイベントの実データに適用した。3つの異なる地下構造モデルの組み合わせによる多数の地下構造モデル候補（＝不確かさ）を考慮してすべり分布の確率分布を推定した結果、すべりが数十 km 以内の領域に局所化しているとともに、観測点から遠いプレート境界浅部で

はすべり量のばらつきが大きくなることを示した(海洋研究開発機構[課題番号: JAMS01], Agata et al., 2022)。

2015年からDONETでの観測によって蓄積された地震波初動の読み取りデータを用いて3次元速度構造を推定するとともに、震源再決定を行った。その結果にもとづいてプレート境界との相対位置関係を調べ、プレート境界付近の地震活動を特定するとともに、スロースリップイベントの発生期間に地震活動が活発になることを明らかにした(海洋研究開発機構[課題番号: JAMS01], Yamamoto et al., 2022)。

## イ. 内陸地震

令和元年度に実施された東北日本を横断する海陸合同構造探査のデータを用いて、陸域部における屈折・広角反射法データ処理に基づく速度構造モデル構築を前年度に引き続き行った。昨年度までは、走時解析を主体として速度構造モデルを構築していたが、今年度は、従来の解析では任意性が残っていた6 km/s層上面付近の構造及び中部・下部地殻、上部マントルの速度と境界面の速度コントラストについて、理論波形との比較による振幅情報を取り入れた推定・修正を行った(図2)。地殻深部から最上部マントルの構造については、深さ24-26 kmに顕著な反射面が存在し、Mohoは深さ30-32 kmに存在することが明らかになってきたが、振幅情報も加味すると、深さ24-26 kmの面での速度コントラストが0.3 km/s、Moho面でのコントラストが0.2-0.3 km/s程度であることが要請される。そのため、本モデルは地殻最下部の速度が7.0-7.1 km/sで、Moho面直上に厚さ2 km程度で速度が7.1-7.5 km/sの速度遷移領域が存在するという複雑な構造(図2c)で特徴づけられることが明らかになった(東京大学地震研究所[課題番号: ERI\_11])。

能登半島から山形県沖で実施された反射法探査の記録を陸域の観測点で読み取り、地震波トモグラフィ解析を行った。その結果、能登半島と佐渡島間の浅部に地震波速度の低速度域が存在することが明らかになった。また、2007年能登半島地震、2007年中越沖地震、2019年山形県沖の地震はP波の高速度域と低速度域の境界で発生したことを示した(防災科学技術研究所[課題番号: NIED02], Matsubara et al., 2022)。

## 2. 地震・火山現象の予測のための研究

### (1) 地震発生の新たな長期予測

#### ア. 海溝型巨大地震の長期予測

南海トラフ沿い熊野灘において、トラフ軸近傍のTCA観測点での海底地殻変動観測を実施した。周辺の観測点も含めて過去のデータの再解析を実施し、アムールプレートに対する変位速度ベクトルの方向と大きさを求めた(図3a)。TCA観測点における変位速度ベクトルの大きさは、グローバルのプレート運動モデルMORVEL(Demets et al., 2010, 2011)によるアムールプレートに対するフィリピン海プレートの相対運動の大きさの6割程度である。図3aに示したKME以外の点における海底地殻変動観測結果とGEONETから得られる地殻変動場から変位速度の大きさのプロファイルを作成し、フォワードモデリングを行った結果、熊野灘では固着率が90%程度、トラフ軸近傍では70%程度であることが明らかになった(図3b, 名古屋大学[課題番号: NGY\_04])。

南西諸島海溝沿いでは、沖縄本島と宮古島間の海溝軸付近のプレート深度 10 km 弱の海底に設置している 1 観測点と別経費による沖縄本島沖の 1 観測点において、海底地殻変動観測を実施した。既に観測を終了している観測点も含めこの地域の 4 観測点についてデータを再解析し、ITRF2014 準拠での変位速度ベクトルを求めた。沖縄本島沖の RKA, RKB 観測点での変位速度ベクトルは、それぞれ  $N20 \pm 24^\circ$  W 方向に  $52 \pm 21$  mm/yr,  $N18 \pm 7^\circ$  W 方向に  $21 \pm 7$  mm/yr であり、プレート間固着を示す結果が得られている。一方、沖縄本島一宮古島間の RKC, RKD については、それぞれ  $N117^\circ$  W 方向に  $21$  mm/yr と  $N88^\circ$  W 方向に  $10$  mm/yr (ともに暫定値) の変位速度を示しており、現時点では当該海域においてプレート間固着を示す積極的な証拠は得られていない(名古屋大学[課題番号:NGY\_02])。

大地震発生シナリオの構築手法で最も重要となるプレート境界の力学的固着域を推定する手法を開発し、南海トラフの力学的固着域を推定した。そして、推定した力学的固着によって蓄積される歪みエネルギー量およびプレート境界における地震性・非地震性の摩擦特性を想定することで、M8 クラスの前震、前震に伴う余効すべり、余効すべりによりトリガーされる本震巨大地震といった連鎖的に進展する地震発生シナリオを提案した(防災科学技術研究所[課題番号:NIED03], Saito and Noda, 2022)。

## イ. 内陸地震の長期予測

測地データから内陸(地殻内)地震の発生ポテンシャルを評価するために、北海道を対象に、M6 以上の 30 年地震発生確率の計算を行った(図 4)。GNSS のひずみ速度からグーテンベルグ・リヒター(GR)則の b 値や最大マグニチュード( $M_{max}$ )は一様として、 $0.2^\circ$  刻みのグリッドで計算した結果、得られた発生確率の最大値は北海道東部の内陸部で 3.2%であった。1919~2020 年の M5 以上の震源分布と比較すると、統計的に有意とは言えないまでも地震発生確率の高いところで、地震が発生している傾向が認められたが、予測される地震発生数が実際の地震数より過大(2.2 倍)であった。これは、最近 100 年間の地震活動レートが長期的なものより低いか、非弾性変形が北海道では卓越していることによる可能性がある(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI05])。また、西南日本においても地殻ブロックの剛体運動、D90 の空間分布、最大マグニチュードの空間分布、GR 則の b 値の空間分布に着目し、西南日本での内陸地震発生確率を  $0.1^\circ$  刻みのグリッドで評価して、 $M_w 6.0$  以上の内陸地震の 30 年発生確率をポアソン過程を仮定して求めた。その結果、九州中部や大規模な構造線(糸魚川-静岡構造線、新潟-神戸ひずみ集中帯、四国の中央構造線等)沿いで 0.5%~3%の比較的高い確率が得られた(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI05])。

### (2) 地殻活動モニタリングに基づく地震発生予測

#### ア. プレート境界滑りの時空間変化の把握に基づく予測

Suito(2017)、水藤(2017)の成果に基づいて熊本地震の余効変動を補正し、また、東北沖地震前の定常変動を地殻変動データから差し引いたデータを用いて、南海トラフ域の SSE の時空間変化を調べた(図 5)。その結果、2019 年初めころの豊後水道、四国中部、紀伊水道の長期的 SSE の時空間変化を推定できた。2020 年半ば頃からの、日向灘南部の

長期的 SSE は 2021 年半ばころに終了している。2019 年からの四国中部の長期的 SSE は、短期的 SSE と同期していることが示された。2019 年種子島地震 (M6.4) の余効すべり後に短期的 SSE が発生している (国土地理院[課題番号: GSI\_02])。

#### イ. 地震活動評価に基づく地震発生予測・検証実験

東北沖地震の本震前約 13 年間と最近 5 年間 (2016 年 3 月 11 日～2021 年 3 月 10 日) の地震発生率変化をマッピングした。その結果, 最近の地震活動は, 震源断層大すべり域 (core) で本震前よりも顕著に低下しており, それを取り巻く青森東方沖～房総半島沖 (corona) で高い状態が続いていることが明確になった (図 6 a)。Core における余震活動は約 2～3 年程度で終息し, その後は東北沖前よりも静穏化している。Corona の活発化は今後少なくとも 20-30 年は継続するとみられる。この時空間変化は, 摩擦状態の非線形特性を考慮した応力伝播モデルで上手く説明でき (図 6 b), core での地震活動静穏化は百年以上継続する可能性が高い (図 6 c)。1960 年チリ地震 (M9.5), 1964 年アラスカ地震 (M9.2), 2004 年スマトラ沖地震 (M9.2) にも概ね同様の傾向が認められた。この傾向は, スケールダウンすると M8, M7 地震にも当てはまり, 地震の空白域や地震サイクルでの地震活動の時系列を評価するうえで重要である。同様の視点で熊本地震前後の地震活動変化を調べた結果, 震源断層上の余震活動は約 7 年で元に戻るのに対し, オフフォルト余震活動は 20 年以上にもおよぶことがわかった (京都大学防災研究所[課題番号: DPRI05], Toda and Stein, 2022)。

### 5. 計画を推進するための体制の整備

#### (5) 国際共同研究・国際協力

連動型古地震の復元手法や発生頻度/発生確率の評価手法を国外の長大活断層系の事例を基に幅広く検証していくため, トルコ・東アナトリア断層系の古地震調査を再開した。対象区間は, 西暦 1514 年以降,  $M_s$ 7.0 以上の顕著な被害地震が知られておらず, 大地震の空白域とされていた断層系中南部から南部にかけての断層区間であり, 2023 年 2 月 6 日に生じた  $M_w$ 7.8 の巨大地震では, この空白域を含む複数の断層区間が連動したと考えられる。今年度は, 2014 年に実施したトレンチ調査地点 (Kartal 地点, 図 7) を含む複数のトレンチ調査地点の選定を行っていたところ, 巨大地震が発生し, 地震後の緊急調査では, リッジと閉塞凹地の境界を延びる明瞭な地表地震断層が確認され, 左横ずれ 3.8～4.1 m が計測された (MTA・Hasan Elmaci, 私信)。今後, 同地点の 3D トレンチ調査等を含めて再調査を実施し, 連動型古地震の復元手法を検証する (産業技術総合研究所[課題番号: AIST02])。

#### これまでの課題と今後の展望

4 年目を迎える本計画において「地震 (長期予測)」計画推進部会に所属する各課題では, フィールドでの調査に関する研究において, 新型コロナウイルス感染症による制約が緩和されており, 着実に成果が挙げられている。千島海溝沿い西部の北海道胆振地方における津波堆積物から 17 世紀の巨大地震の津波高が高精度に調べられ, 類似の津波が過

去 2500 年間に発生していない可能性が高いことが明らかになったことは、この地域の巨大地震の発生履歴に制約を与える重要な知見である。また、南海トラフ沿いの橋杭岩の巨礫の運搬条件から、1707 年宝永地震の津波よりも大きな津波が過去に発生していたことが明らかになったことも南海トラフ巨大地震の地震像を想定する上で重要である。さらに、日向灘沿岸の津波堆積物から 1662 年日向灘地震が従来考えられていたよりも規模の大きな巨大地震であった可能性が示されたことは、地震本部による「日向灘及び南西諸島海溝周辺の地震活動の長期評価（第二版）」の中で日向灘に M8 程度の巨大地震を評価対象とするきっかけとなったものであり、本部会での研究成果が地震本部の長期評価に反映された事例として高く評価できる。一方、トルコ・シリアで 2023 年 2 月に発生した  $M_w$ 7.8 の地震は、長大な活断層帯である東アナトリア断層系の複数の区間が連動して、全長 300 km にも及ぶ巨大地震となったものであり、震源域周辺の強い地震動による巨大災害を引き起こした。直後に発生した  $M_w$ 7.6 余震も含めて、地震の規模の予測が、現状の活断層評価手法でも可能であるのかどうかは十分に検証されるべきであり、糸魚川—静岡構造線断層帯や中央構造線断層帯のような国内の長大活断層帯との比較も今後行われるべきであろう。さらには、本部会において「地震発生の新たな長期予測」として実施してきた測地データや地震データを用いた予測についても、どこまで予測可能性があったのか検証されるべきである。

大地震前後の長期にわたる地震活動の活発化・静穏化については、クーロン応力変化と速度状態依存摩擦則に基づくモデルが実際の地震活動を非常に良く説明することが示された。このモデルに従うと大地震における大滑り域では、大地震後に長期に渡って地震活動が静穏化することになり、大地震の震源域を予測するための新たな着眼点であると言える。これらの研究とともに、観測データに基づく断層滑りや地下構造のモニタリング研究や地震サイクルシミュレーションに基づくモデリング研究を組み合わせ、長期予測手法の高度化に向けた研究をさらに続けて行く必要がある。

## 成果リスト

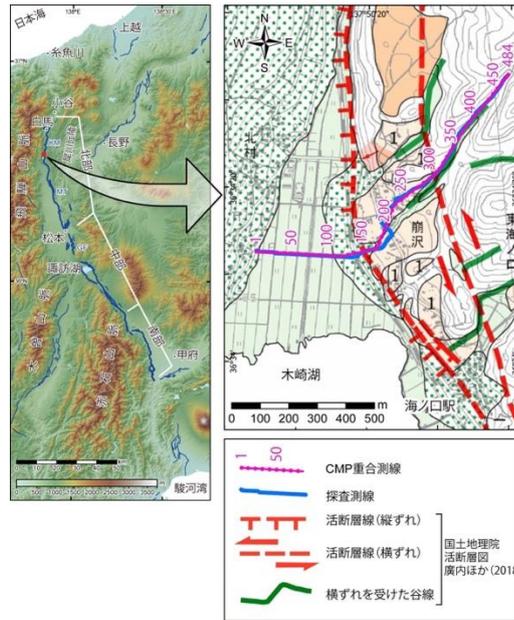
- Agata, R., R. Nakata, A. Kasahara, Y. Yagi, Y. Seshimo, S. Yoshioka, T. Iinuma, 2022, Bayesian Multi-Model Estimation of Fault Slip Distribution for Slow Slip Events in Southwest Japan: Effects of Prior Constraints and Uncertain Underground Structure, *J. Geophys. Res.:Solid Earth*, 127, doi:10.1029/2021JB023712
- Ai, S., T. Akuhara, M. Morishige, K. Yoshizawa, M. Shinohara, K. Nakahigashi, 2023, Layered evolution of the oceanic lithosphere beneath the Japan Basin, the Sea of Japan, *J. Geophys. Res.:Solid Earth*, 128, doi:10.1029/2022JB025581
- Ariyoshi, K., 2022, Extension of Aseismic Slip Propagation Theory to Slow Earthquake Migration, *J. Geophys. Res.:Solid Earth*, 127, doi:10.1029/2021JB023800
- Dhakal, Y.P., T. Kunugi, H. Yamanaka, A. Wakai, S. Aoi, A. Nishizawa, 2023, Estimation of source, path, and site factors of S waves recorded at the S-net sites in the Japan Trench area using the spectral inversion technique, *Earth Planet. Space*, 75, 1, doi:10.1186/s40623-022-01756-6

- Frenken, M., P. Bellanova, Y. Nishimura, P. Schulte, F. Lehmkuhl, K. Reicherter, J. Schwarzbauer, 2022, Suitable indicators to determine tsunami impact on coastal areas in Northern Japan, Aomori Prefecture., *Environ. Monit. Assess.*, 194, 385, doi:10.1007/s10661-022-09989-4
- 橋間昭徳, 佐藤比呂志, 石山達也, 2022, 日本海溝におけるプレート間相互作用による東北日本背弧域の震源断層への応力蓄積, *地震予知連絡会会報*, 108, 654-656
- Ioki, K., Y. Yamashita, Y. Kase, 2022, Effects of the tsunami generated by the 1662 Hyuga-nada earthquake off Miyazaki Prefecture, Japan, *Pure Appl. Geophys.*, doi:10.1007/s00024-022-03198-3
- Ishimura, D., Y. Iwasa, N. Takahashi, R. Tadokoro, R. Oda, 2022, Paleoseismic events and shallow subsurface structure of the central part of the Futagawa fault, which generated the 2016 Mw 7.0 Kumamoto earthquake, *Geomorphology*, 414, doi:10.1016/j.geomorph.2022.108387
- 岩佐佳哉, 熊原康博, 後藤秀昭, 石村大輔, 細矢卓志, 2022, 熊本県西原村小森におけるトレンチ掘削調査に基づく布田川断層帯の活動履歴, *活断層研究*, 56, 47-58, doi:10.11462/afr.2022.56\_47
- 岩佐佳哉, 濱侃, 中田高, 熊原康博, 後藤秀昭, 山中蛩, 2022, SLAM技術を用いた低価格モバイル3Dスキャナーによる地表地震断層の数値表層モデルの作成とその有効性, *活断層研究*, 57, 1-13
- Kubota, T., T. Saito, R. Hino, 2022, A new mechanical perspective on a shallow megathrust near-trench slip from the high-resolution fault model of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 9, 68, doi:10.1186/s40645-022-00524-0
- Matsubara, M., T. Ishiyama, T. No, K. Uehira, M. Mochizuki, T. Kanazawa, N. Takahashi, S. Kamiya, 2022, Seismic velocity structure along the Sea of Japan with large events derived from seismic tomography for whole Japanese Islands including reflection survey data and NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, *Earth Planet. Space*, 74, 171, doi:10.1186/s40623-022-01724-0
- Mildon, Z., G. Roberts, J. Walker, J. Beck, I. Papanikolaou, A. Michetti, S. Toda, F. Iezzi, L. Campbell, Kenneth J. W. McCaffrey, R. Shanks, C. Sgambato, J. Robertson, M. Meschis, E. Vittori, 2022, Surface faulting earthquake clustering controlled by fault and shear-zone interactions, *Nat. Commun.*, 13, 7126, doi:10.1038/s41467-022-34821-5
- 文部科学省研究開発局・国立研究開発法人産業技術総合研究所, 2022, 「連動型地震の発生予測のための活断層調査研究」, 令和3年度成果報告書, 146
- Namegaya, Y., H. Maemoku, M. Shishikura, T. Echigo, 2022, Evidence from Boulders for Extraordinary Tsunamis along Nankai Trough, Japan, *Tectonophysics*, 842, 229487, doi:10.1016/j.tecto.2022.229487
- 西村卓也, 2023, 第237回地震予知連絡会重点検討課題「内陸地震の長期予測」の概要, *地震予知連絡会会報*, 109, 580-581
- 西村卓也, 2023, 測地データを用いた内陸地震の長期予測, *地震予知連絡会会報*, 109, 587-590

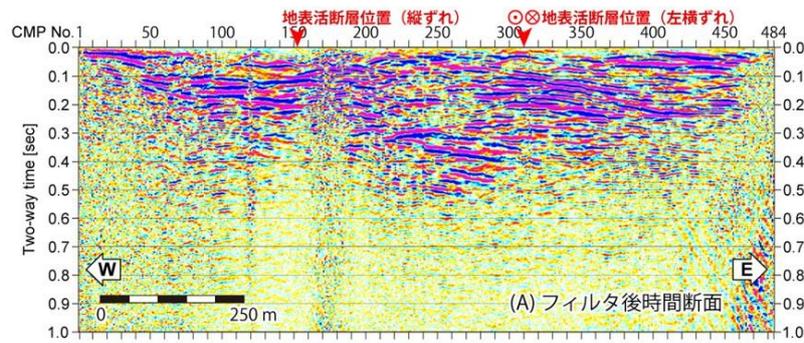
- 西澤あずさ, 2022, 2022年3月16日の福島県沖の地震の震源域近傍の地震活動, 地震予知連絡会会報, 108, 119-120
- Ogata, Y., 2022, Prediction and validation of short-to-long-term earthquake probabilities in inland Japan using the hierarchical space-time ETAS and space-time Poisson process models, *Earth Planet. Space*, 74, 110, doi:10.1186/s40623-022-01669-4
- 尾形良彦, 2022, 階層的時空間 ETAS モデルなどによる短・中・長期の地震確率予測と検証評価, 地震予知連絡会会報, 107, 547-555
- 太田和晃, 松澤孝紀, 汐見勝彦, 2022, 室戸沖～紀伊水道沖の微動活動 (2021年12月-2022年3月), 地震予知連絡会会報, 108, 495-497
- Ozawa, S, A. Ida, T. Hoshino, R. Ando, 2022, Large-scale earthquake sequence simulations of 3D geometrically complex faults using the boundary element method accelerated by lattice H-matrices on distributed memory computer systems, *Geophys. J. Int.*, 232, 1471, doi:10.1093/gji/ggac386
- 小沢慎三郎, 宗包浩志, 水藤尚, 2023, 広域地殻変動データに基づくプレート境界の固着とすべりの時間変化に関する研究, 国土地理院調査研究年報
- Sailellah, S.N., Y. Fukushima, 2023, Comparison of Tropospheric Delay Correction Methods for InSAR Analysis Using a Mesoscale Meteorological Model: A Case Study from Japan, *Earth Planet. Space*, 75, 18, doi:10.1186/s40623-023-01773-z
- Saito, T., A. Noda, 2022, Mechanically coupled areas on the plate interface in the Nankai trough, Japan and a possible seismic and aseismic rupture scenario for megathrust earthquakes, *J. Geophys. Res.:Solid Earth*, 127, e2022JB023992, doi:10.1029/2022JB023992
- Shinohara, M., S. Sakai, T. Okada, H. Sato, Y. Yamashita, R. Hino, K. Mochizuki, T. Akuhara, 2022, Precise aftershock distribution of the 2019 Yamagata-oki earthquake using newly developed simple anchored-buoy ocean bottom seismometers and land seismic stations, *Earth Planet. Space*, 74, 5, doi:10.1186/s40623-021-01562-6
- Takahashi, N., J.B.H. Shyu, C. Chen, S. Toda, 2022, Long-term uplift pattern recorded by rivers across contrasting lithology: Insights into earthquake recurrence in the epicentral area of the 2016 Kumamoto earthquake, Japan, *Geomorphology*, 419, doi:10.1016/j.geomorph.2022.108492
- Toda, S., R.S. Stein, 2022, Central shutdown and surrounding activation of aftershocks from megathrust earthquake stress transfer, *Nat. Geosci.*, 15, 494-500, doi:10.1038/s41561-022-00954-x
- Xu, S., E. Fukuyama, F. Yamashita, H. Kawakata, K. Mizoguchi, S. Takizawa, 2023, Fault strength and rupture process controlled by fault surface topography, *Nat. Geosci.*, 16, doi:10.1038/s41561-022-01093-z
- Yamamoto, Y., S. Yada, K. Ariyoshi, T. Hori, N. Takahashi, 2022, Seismicity distribution in the Tonankai and Nankai seismogenic zones and its spatiotemporal relationship

with interplate coupling and slow earthquakes, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 9, 32,  
doi:10.1186/s40645-022-00493-4

(a)



(b)



(c)

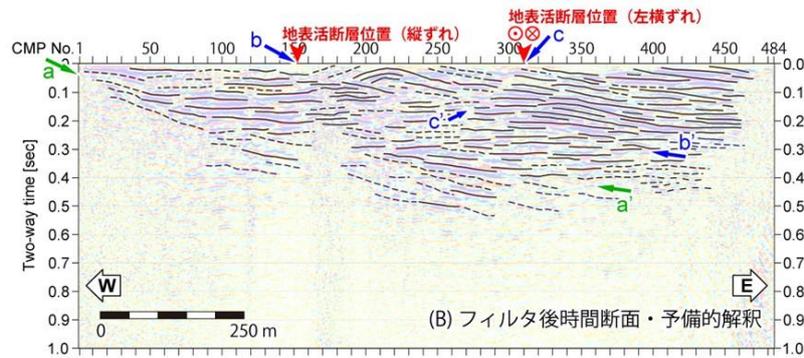
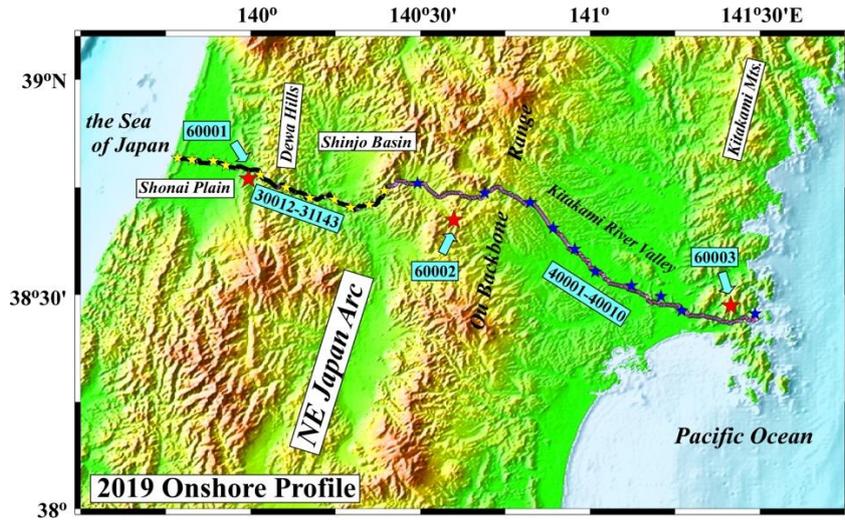
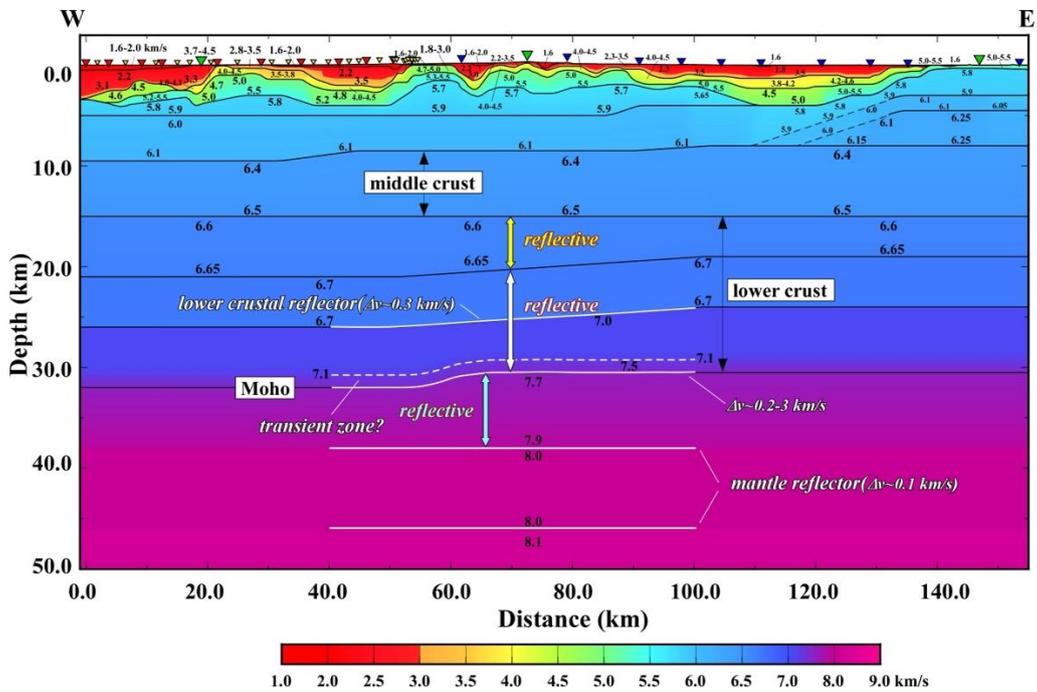


図1. 糸魚川-静岡構造線活断層帯北部木崎湖地区における浅層反射法地震探査(名古屋大学[課題番号:NGY\_03])。(a) 糸魚川-静岡構造線活断層帯の分布 (Okada et al., 2015を改変) と浅層反射法地震探査測線図。(b) フィルタ後時間断面。(c) フィルタ後時間断面・予備的解釈。

(a)



(b)



(c)

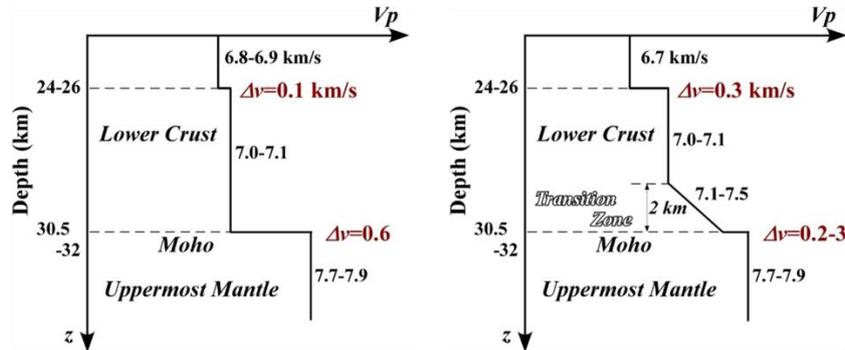


図 2. 東北日本弧中部陸域地震探査の屈折・広角反射法解析結果（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI\_11]）。(a)測線図。(b)地殻・最上部マントルの速度構造。地殻深部・上部マントルの反射面における速度コントラストも示した。(c)下部地殻・マントル最上部における速度プロファイル。左が走時解析のみに基づくモデル。右が走時・振幅解析に基づくモデル。

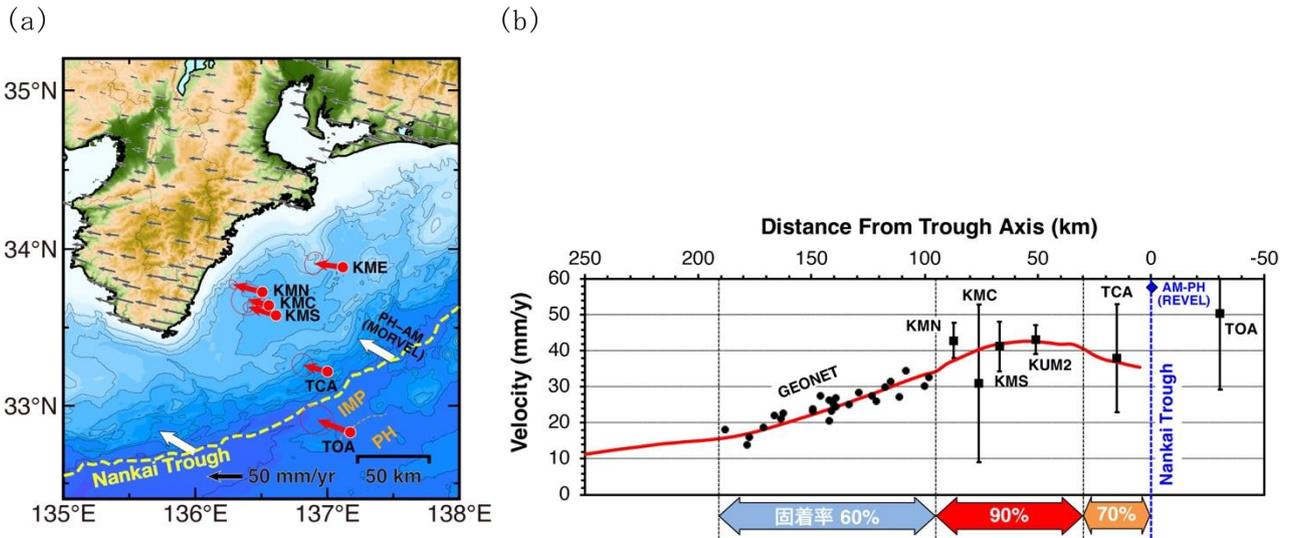


図 3. 南海トラフ沿い熊野灘周辺における地殻変動速度とプレート間固着モデル（名古屋大学[課題番号：NGY\_04]）。(a) 海底地殻変動観測によるアムールプレート（MORVEL）に対する変位速度ベクトル。陸上の変位速度ベクトルは GEONET F3 解による。(b) 南海トラフ軸から陸域に至る地殻変動場とプレート間固着分布。プレート間固着分布はフォワードモデリングによる。陸域の地殻変動観測結果は GEONET F3 解による。

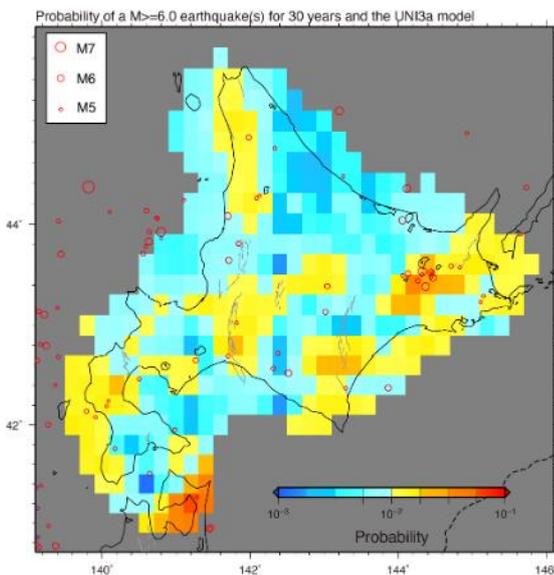
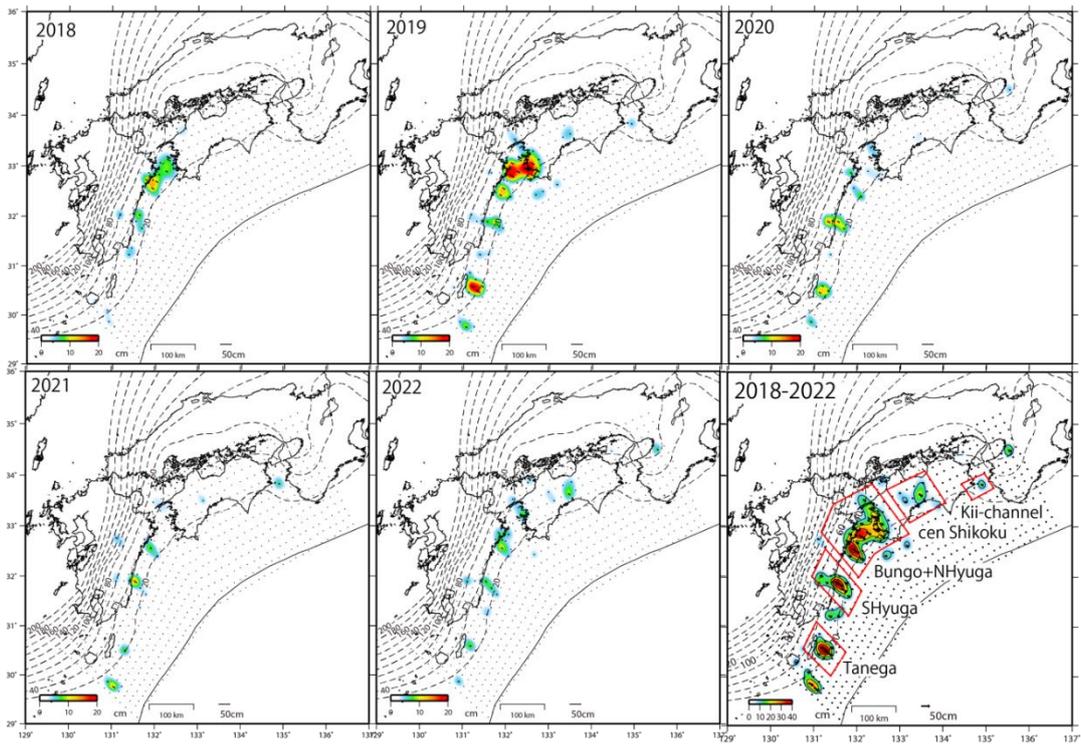


図 4. 北海道地方における  $M_{JMA} \geq 6.0$  以上の地殻内地震の30年発生確率（京都大学防災研究所[課題番号：DPRI05]）。地震発生層の厚さと剛性率を一様として計算を行った。赤と紫の丸は1919-2020年の深さ20 km以浅でM5以上の地震の震央で、赤はデクラスタリング後のもの。

(a)



(b)

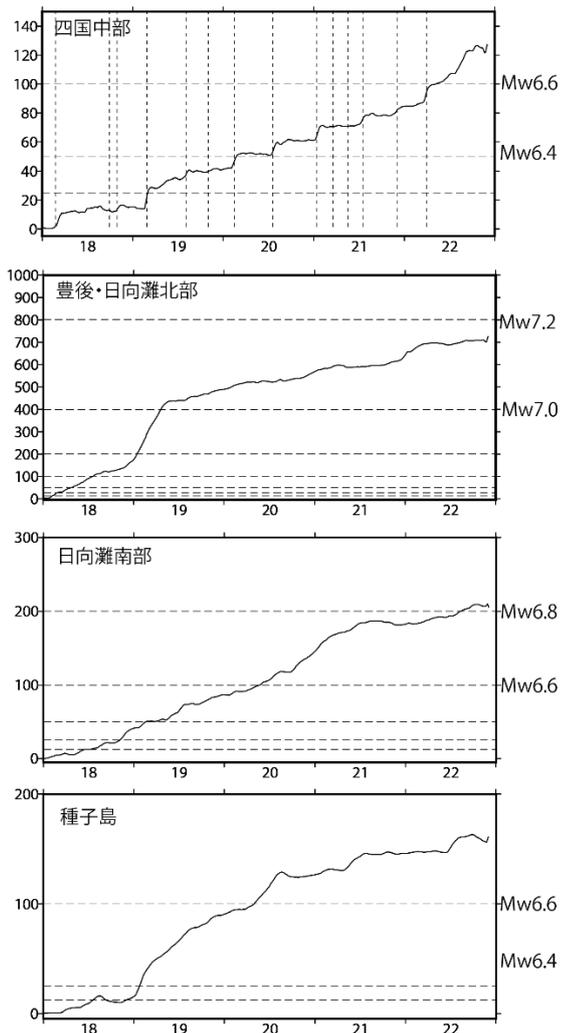


図5. 南海トラフ沿いの非定常地殻変動から推定したプレート境界滑り（国土地理院[課題番号:GSI\_02]）。(a) 1年毎及び累積の滑り分布。(b) 領域ごとの累積モーメントの時間変化。各領域は(a)の右下に表示。四国中部の縦線は短期的SSEの発生を示す。

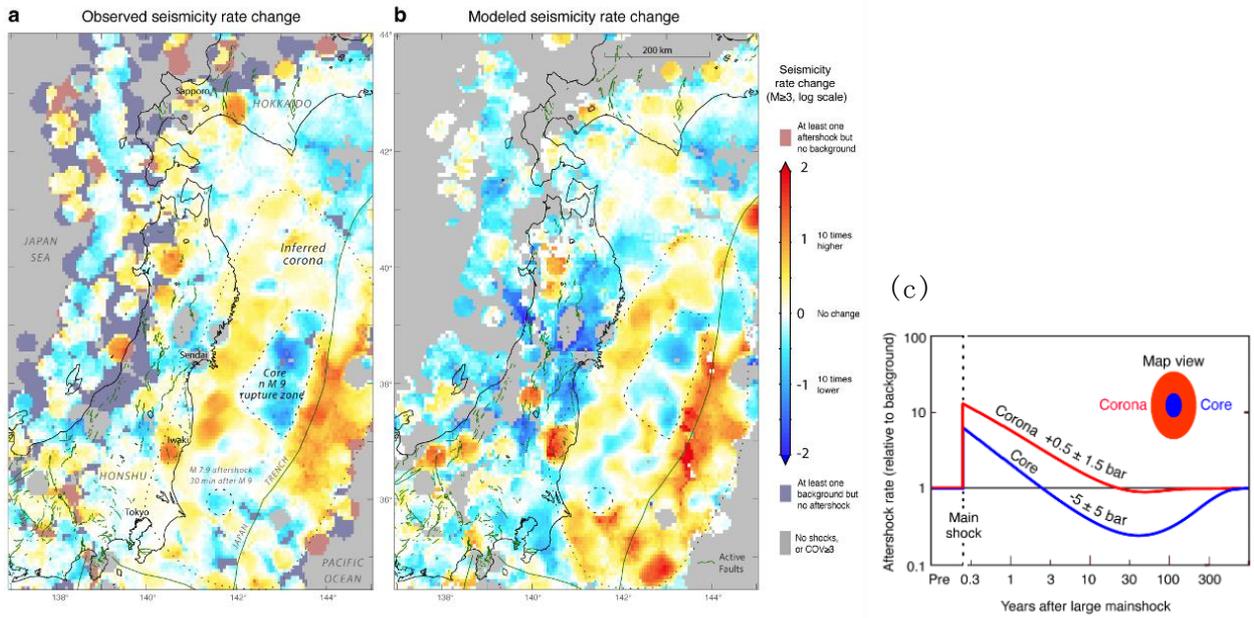


図6. 東北沖地震前後の地震活動の変化(京都大学防災研究所[課題番号:DPRI05], Toda and Stein, 2022)。(a) 観測された東北沖地震前13年間に対する同地震後5~10年後の地震発生率変化。(b) Rate/State Coulombモデルによる地震発生率変化の後ろ向き予測(retrospective forecast)。(c) Rate/State Coulombモデルに基づく大すべり域(core)と周辺域(corona)の地震活動度の時間変化。

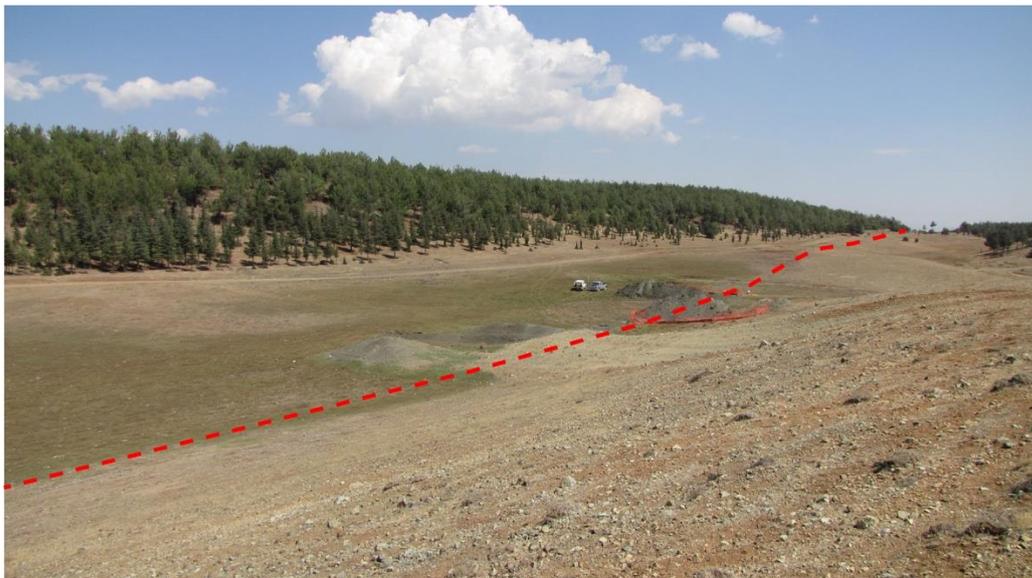


図7. 東アナトリア断層系・2014年カルタル・トレンチ調査地点周辺の地形(産業技術総合研究所[課題番号:AIST02])。赤破線が東アナトリア断層で写真は北向きに撮影。断層の北側が閉塞凹地で南側(手前)が蛇紋岩からなるシャッターリッジとなる。2023年の巨大地震では左横ずれ3.8~4.1 mの明瞭な地表地震断層が確認された。