

## 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。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、おもに過去の地震の発生履歴に基づいて行われてきた長期予測には大きな不確定性が伴っている。本部会では、地質・地形データや史料・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3(2021)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

前年度から引き続き、日記史料有感地震データベース (<http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/HEVA-DB/>) の改良を継続している。主に近世後半の日本各地の有感記録と、1900年代以降の震度観測データとを比較することにより、長期にわたる地震活動の時間変化の特徴について検討した。その一例として、1800年から安政東海・南海地震に至るまでの期間の西日本において最も広い範囲で震動が記録されている1835年5月18日(天保6年4月21日)の地震について検討した(図1)。この地震では目立った被害記事がなく、『日本被害地震総覧』にも掲載されていないが、既刊史料集掲載史料のほかに今回の調査で新たに発見した史料によって、鹿児島と高知で「大地震」と記録されているほか、佐賀、山陰、近江、岐阜でも揺れが感知されていたことが分かった。このような揺れの分布は、1968年4月1日の日向灘を震源とする地震(深さ22 km, M7.5)の震度分布に似ている(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は、引き続き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、17世紀の千島海溝でのイベントをはじめとした過去の超巨大地震による津波浸水時の地形復元に関するデータを取得した(産業技術総合研究所[課題番号:AIST08])。また、北海道十勝地方の当縁川河口域において、従来津波堆積物が確認されていた海岸線付近だけでなく、内陸側の湿地や段丘上の調査も実施し

た（北海道大学〔課題番号：HKD\_01〕）。その結果、湿地域では1739年と1856年のテフラの間の期間に離水したことが明らかになり、17世紀の地震に伴う隆起は余効変動として200年以上続いたことが示唆される。

南海トラフ周辺域では、高知県での津波浸水域復元のための地形・地質調査が実施された（産業技術総合研究所〔課題番号：AIST08〕）。また、変動地形学的見地に基づき、熊野灘周辺の伊豆マイクロプレート西端部と志摩海脚周辺での海底地形調査・浅層地質構造調査が行われ、その解釈が行われた。銭洲海嶺・檜野埼海丘間の西半部の海域には、北西側隆起を示す撓曲があり、この撓曲崖を形成した断層が伊豆マイクロプレートとフィリピン海プレートとの境界である可能性が高い。地形的な特徴から横ずれ成分は、極めて小さいと考えられる。なお、撓曲崖直下には逆断層運動を示す地下構造が見られないため、断層本体は探査深度よりもさらに深部に存在するものと考えられる。

南西諸島海溝沿いでは、琉球列島中部・北部において台風起源と考えられるサンゴ礁上の巨礫群を制約条件として活用することにより、これらの巨礫をより内陸に運搬する規模の津波はサンゴ礁形成後に発生していないとの仮定のもとで最大津波規模を数値計算により推定し、それを説明できる地震規模を推定した（Minamidake et al., 2022）（東京大学理学系研究科〔課題番号：UTS\_01〕）。相模トラフ周辺では、房総半島南部の海岸段丘の年代を再評価し、過去の関東地震の発生年代と再来間隔について復元した。また、伊豆半島東部における元禄地震の津波と地殻変動について検討を行った（産業技術総合研究所〔課題番号：AIST08〕）。

内陸地震の発生履歴に関する調査としては、中央構造線断層帯の讃岐山脈南縁区間鳴門南断層において実施された三次元的トレンチ調査及び年代測定により、3回のイベント（それぞれ740-900 Ca1 BP以降、3370-3560 Ca1 BP、4180-4530 Ca1 BP）が同定された。これらのイベントの発生間隔はそれぞれ2500年以上、600～1100年となるため、少なくとも最近3回の発生間隔は等間隔ではなかった可能性が高い。一方、本地点から東へ数kmに位置する段関地点では、先行研究により4回のイベントが推定されており、両者の整合性をさらに検討する必要がある（産業技術総合研究所〔課題番号：AIST02〕）。糸魚川―静岡構造線断層帯（以下「糸静線」という。）では北部の白馬地区と南部の白州地区での調査が行われた。白馬地区では2014年長野県北部の地震の地表地震断層の北部延長と南部延長の調査地点において、2014年と1714年の地震に伴う断層変位は認められないが、それ以前に大きな断層変位が認められ、イベント発生時期はそれぞれ554-601 Ca1 AD以降、433-537 Ca1 AD以降と推定された。また、白州地区では、1648-2108 Ca1 BPと2993-4273 Ca1 BPの2回の変位イベントが検出され、上下変位量はそれぞれ変形ゾーン全体で1 mと0.5 mであることが推定された。過去9000年間の上下変位速度は0.4-0.6 mm/yrと推定され、過去2回の活動と同程度の変位が繰り返したと仮定した場合、9000年間に4回以上の活動が生じた可能性が示唆される。よって、糸静線南部白州断層では地震による変位量は一定ではなく、活動間隔は従来推定されてきた約5000年より短い可能性が高いことが示された（名古屋大学〔課題番号：NGY\_03〕）。

これらの古地震イベントに関する地質データを検索、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」では新規データの入力のほか、入力インターフェース及び表示システムの改

善、位置精度向上に関わるデータ更新が行われた（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

#### イ．地震断層滑りのモデル化

E-ディフェンス施設における大型振動台を利用した摩擦実験において、断層面の不均質性が異なる岩石試料を用いて、均質な断層ではプレスリップ型、不均質な断層ではカスケードアップ型の地震の始まり方を再現することに成功し、両者で前震活動の発生様式や統計的性質が大きく異なることを明らかにした（Yamashita et al., 2021、防災科学技術研究所〔課題番号：NIED02〕）。

### （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

計算機上において、巨大地震震源域の深部側で繰り返し発生するスロースリップイベント（SSE）に加え、日向灘北部・南部を震源域とする長期的SSEおよび日向灘から足摺沖で発生するSSEの再来間隔の地域的違いの再現に成功した。このシミュレーションの更なるパラメータチューニングを実施するため、紙記録として保存されている古い観測波形をデジタル化し、過去のスロー地震発生状況を把握する技術の開発を進めた（防災科学技術研究所〔課題番号：NIED02〕）。

#### 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日本海溝から大和堆までの海陸統合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行った。震央距離50-60 km以遠の走時データから、深さ8-15 kmに速度が6.4-6.5 km/sの中部地殻の存在が明らかとなり、Moho面の深さは30-31 kmと推定された。下部地殻（深さ15-30～31 km）の速度は6.6-7.1 km/sであるが、深さ19-21及び24-26 kmに2枚の速度不連続面がある。更に、モホ面の下、深さ38及び46 kmにも不連続面が存在する。この測線下における地震活動は、ほぼ中部地殻以浅で発生しているが、測線西端部では、発生域が20 km以深にまで及んでいる。また、出羽丘陵と新庄盆地境界部下で低周波地震群が認められ、その下限は今回推定した深さ38 kmの上部マントル内不連続面に対応している（図2）（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI\_11〕）。

2016年11月22日に陸側プレート内で発生した福島県沖の地震による津波に対し、S-netの広域かつ稠密な観測点で得られた観測記録を震源域近傍の観測データとして解析することにより、震源断層すべりを高精度かつ高信頼度で推定することに成功した。この解析により、2016年福島県沖の地震時に解消されたひずみは東北沖地震により増加したひずみより大きいこと、すなわち、東北沖地震以前からひずみが蓄積していた領域に東北沖地震が作用することで発生した地震であったことを明らかにした。これらの研究は、水圧計の地震動成分の活用可能性を示した点でも有用である（Kubota et al., 2021、防災科学技術研究所〔課題番号：NIED02〕）。

## オ. 構造共通モデルの構築

東北日本弧とその沿岸海域において、震源断層の位置形状だけでなくすべり角の情報も持つ矩形断層モデルを作成した。震源断層の位置については、活断層図や地質図、重力異常図などを参考にし、形状については深部反射法地震探査の結果から推定した。活断層の分布が知られていない場所で発生する地殻内地震も考慮するため、伏在する断層についても地質構造に着目して震源断層を抽出した。地震発生層の深さは基本的には、Hi-netの観測データによるD90（90%の浅発地震が発生する下限深さ）を参考にした。すべり角は、Terakawa and Matsu'ura (2010)の広域応力場に基づき、断層すべりは断層面にかかる最大剪断応力の方向に起こると仮定して計算した（図3）。このような断層モデルは、地震の力学的な発生予測や被害予測の基礎となるものである（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI\_11]）。

## 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

南海トラフ東側の熊野灘における海底地殻変動観測について、2021年2月に実施した観測まで含めて解析を行い、南海トラフ軸近傍の陸側の観測点2点（TCAとTCB）と沈み込むプレート側の観測点1点（TOA）におけるアムールプレートに対する変位速度ベクトルを求めた。変位速度の方向と大きさは、TOAでは $N70 \pm 30^\circ$  W方向に $50 \pm 29$  mm/年、TCAでは $N59 \pm 18^\circ$  W方向に $38 \pm 33$  mm/年、TCBでは $N45 \pm 26^\circ$  W方向に $70 \pm 61$  mm/年である（図4）。TOA観測点における速度ベクトルはMORVEL (DeMets et al., 2010; 2011)に基づくフィリピン海プレート（PH）の運動と概ね一致しており、この観測点が伊豆マイクロプレート（IZM）とPHとの境界のやや南東側、すなわちPH側に位置することと調和的であるが、この周辺にはPHの内部変形を示唆する複数の構造の不連続があることから、さらに検討する必要がある。また、TCAにおいてはMORVEL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速度に対して2/3程度の速度である点は興味深い。ただし、3観測点とも推定速度の誤差が大きいため、より精度の高い地殻変動の検出のためには継続して観測する必要がある（名古屋大学 [課題番号：NGY\_04]）。

南西諸島海溝沿いでは、沖縄本島から宮古島間の海溝軸付近のプレート境界深度10 km弱の海底に地殻変動観測点RKCとRKDを2016年9月に設置し、本年までに2-3回の観測を実施して、変位速度を推定した。暫定的な変位速度ベクトルは、沖縄本島及び宮古島付近を固定した場合、RKCでは $N172^\circ$  W方向に21 mm/年、RKDでは $N136^\circ$  E方向に41 mm/年であった（図5）。ともに変位速度ベクトルは海洋プレートの沈み込み方向を向いておらず、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]）。超低周波地震の検知能力が低かった沖縄本島-宮古島間において、防災科学技術研究所のF-net観測点および地震予知総合研究振興会による5か所の臨時観測点で収録された上下動波形を用いて超低周波地震の震央決定を行った。解析期間は2015年6月～2019年12月である。その結果、宮古海峡ではプレート境界深さ10～15kmの範囲に超低周波地震がスポット的に発生する一方、沖縄本島南東海域では、SSEの発生域（Nishimura, 2014）と固着域（Tadokoro et al., 2018）の隙間に沿ってプレート境界深さ12～15 kmの範囲に帯状に発生していることが明らかになった。両海域と

もに超低周波地震の発生域と低角逆断層型地震の発生域は相補的であり、南西諸島海溝沿いにおけるプレート間の摩擦状態の不均質性を示していると考えられる（名古屋大学〔課題番号：NGY\_02〕）。

## 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、前年度までに構築した西日本の確率予測モデルの再検討及び再評価を行なった。ひずみ速度の推定において空間平滑化をABICで最適化する手法（Okazaki et al., 2021）を用い、地震発生層の厚さと剛性率については、先行研究に基づき場所によって変化するモデルと一律に12 km、30 GPaとするモデルの2種類のモデル（図6 a、b）を試作し、用いるひずみ速度の成分についても先行研究により提案されている3種類を用いて、どのモデルが過去の地震活動（図6 c、d）と最も整合的であるかを複数の統計量を用いて評価した。ひずみ速度成分については、水平方向の主ひずみ速度（2成分）と面積歪み速度のそれぞれ絶対値のうち最大のものを用いるモデルが、過去の地震活動をもっともうまく説明するが、地震発生層の厚さと剛性率については一様なモデルと可変のモデルで大きな差は見られないことがわかった（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI05〕）。

地震活動を用いた長期予測手法の高度化のため、階層型時空間ETAS(HIST-ETAS)モデルの背景強度と関連する時空間ポアソン過程モデルを使って、日本列島の内陸大地震に対する長期時空間確率予測を行い（図7）、その結果を対数尤度比スコア（情報利得）で評価した（京都大学防災研究所〔課題番号：DPRI05〕）。

2011年東北地方太平洋沖地震（以下「東北沖地震」という。）後10年間の粘弾性緩和に伴う地震活動の評価のために、東北沖地震の地震時・余効すべり分布に千島海溝の固着など広域のプレート境界過程を含めたモデル計算を行い、東北地方陸域および日本海沿岸域の震源断層にかかる応力を計算した。東北沖地震の影響は東北地方から、新潟、北陸地方にかけて、数十年程度残ることを示した。この地域の多くの震源断層においては、東北沖地震により震源断層の活動は抑制されるが、特に東北地方北部では千島海溝の固着の効果が無視できない。なお、福島県の沿岸部の断層については、周囲の断層と異なる挙動を示すという結果になった（東京大学地震研究所〔課題番号：ERI\_11〕）。

物理モデルと観測データの統合による地震規模を含む動的破壊過程予測手法および地震繰り返し過程（サイクル）予測手法の開発と検証のために、計算手法開発とモデルの検証を行った。動的破壊シミュレーションについては、前年度から引き続き、断層形状の複雑性が詳細に観測されている2016年カイコウラ（ニュージーランド）地震を対象として応力蓄積履歴の効果、断層形状の小スケールでの非平面性の効果を検証した。特に、2016年に連動破壊しなかった本地域の主要活断層であるHope断層の挙動に注目し、最近構築された断層形状モデルを取り入れて、Hope断層の応力状態を広域応力場で与えられるものから一様に減じる効果を応力蓄積率パラメタとして導入した。その結果、応力比の大小にかかわらず、応力蓄積率が約70%以下の場合、Hope断層が連動破壊しないことが分かった。古地震学的調査の最新の成果（Hartem et al., 2019など）を踏まえると、Hope断層は、2016年時点で前回のイベントから176-285年経過しており、応力蓄積率を決める地震後時間経過率は57-160%と見積もられる。古地震履歴研究による地震後経過率は誤差

が大きい、応力蓄積率の低さがHope断層の連動しなかった要因であるというシナリオも許容される（東京大学理学系研究科〔課題番号：UTS\_05〕）。

## （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

2020-2021年にかけて発生した南海トラフ浅部SSEについて、海底地殻変動連続観測データの解析を行うとともに、それに伴うDONET広帯域地震計でのVLFEの解析を行って、プレート境界でのすべりであることを確認するとともに、時空間変化の詳細を明らかにした（Yamamoto et al., 2022、海洋研究開発機構〔課題番号：JAMS01〕）。さらに、浅部SSEの解析精度を高めるとともにSSEの発生時期と黒潮による応力変化との関係を見出した（Ariyoshi et al., 2021、海洋研究開発機構〔課題番号：JAMS01〕）。

Suito(2017)、水藤(2017)の成果に基づいて、東北沖地震、熊本地震の余効変動を補正し、Takagi et al. (2019)の領域分けを参考にして定常変動を地殻変動データから差し引き、南海トラフ域のスロースリップ（SSE）を調べた（図8）。その結果、2019年初めころの豊後水道、四国中部、紀伊水道のSSEの時空間変化を推定できた。また、2020年半ば頃からの日向灘南部のSSEや2019年種子島地震（M6.4）の余効滑りが検出された。さらに2020年半ば頃から日向灘北部でSSEが発生している可能性が示された（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

大地震直後の余震による地震波形記録に極値統計解析を実施し、解析観測点における最大振幅の将来予測を行う手法を開発した。2008年岩手・宮城内陸地震にこの手法を適用した結果、本震後3時間以内の波形記録を用いた予測により、4日後までの余震による最大振幅を高い精度で推定することができた。この手法には、データの質が地震波の重なり合いの影響を受けにくい、マグニチュードではなく揺れの予測を行える等、地震カタログを用いた従来法にはないメリットがあり、余震活動の早期予測に向けて重要な進展をもたらすと考えられる（Sawazaki et al., 2021、防災科学技術研究所〔課題番号：NIED02〕）。

## 5. 研究を推進するための体制の整備

### （３）研究基盤の開発・整備

#### イ．観測・解析技術の開発

愛知県豊橋市にある名古屋大学三河観測所では、P波を効率的に発震できる新型の震源装置を1年間あまり連続稼働し、主として名大三河（震央距離200 m）で記録された信号を用いてP波速度（ $V_p$ ）とS波速度（ $V_s$ ）の変化の同時測定を行った。 $V_p$ と $V_s$ の変化をO' Connel & Budiansky [1974]の結果を用いてクラック密度と飽和度で解釈したところ、乾燥時のクラック密度と飽和度の減少、降雨時のクラック密度と飽和度の上昇がACROSS信号の解析からモニターできることが明らかになった（Suzuki et al., 2021、名古屋大学〔課題番号：NGY\_04〕）。

東北地方太平洋沖ではS-netデータを用いた高精度震源決定技術の開発を行った。S-net観測点に対し、構造探査により推定した堆積層厚から求めた観測点補正値を適用するとともに、簡易的な三次元速度構造を用いた震源決定を行ったところ、従来の震源カタログで見られた震源のばらつきが低下し、太平洋プレートの沈み込みや起震断層の分布が明確化した。また、AQUAシステムにS-netデータを取り込んだところ、規模や発震機構の推定結果に大きな変化は無かったものの、セントロイド深さはより正確に求まることが明らかになった。東北地方太平洋沖で令和2年度末から発生した主なイベントのすべり分布推定を実施し、過去に発生した宮城県沖の地震との対比を行った。南海トラフ域においては、三次元地下構造に基づくCMT解析手法の自動処理システムを開発するとともに、試験運用を通じてシステムの改修を行った。本システムにより、南海トラフ域で発生した中規模以上の地震の発生層特定の精度が向上した（防災科学技術研究所〔課題番号：NIED02〕）。

### これまでの課題と今後の展望

3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、新型コロナウイルス感染症が長期化しているため、前年度に引き続き特にフィールドでの調査が大きく制限され、複数の課題において研究計画の進捗に影響が見られるいが、成果は着実に挙がっている。糸静線や中央構造線での活断層調査によって明らかになった地震の発生履歴からは、地震の再来間隔や滑り量がイベント毎にかなり異なることが示され、従来の固有地震的な長期予測モデルでは不十分であることが明らかになった。過去の地震の発生履歴に関する更なる調査が必要なのはもちろん、断層のセグメンテーション、地震規模、再来間隔などの多様性を考慮したモデルの構築が望まれる。また、南海トラフ周辺や南西諸島域における海底地殻変動観測によって数年スケールでの変位速度ベクトルが推定され、数十から百km程度の距離でも変動方向やその速度が大きく異なることが明らかになりつつある。これらはプレート境界断層の固着分布の不均質性を反映しており、海溝型地震の発生ポテンシャルを明らかにするためには、観測回数を増やして速度の推定精度を高めるだけでなく、観測地点も大きく増やす必要がある。

海域や島嶼部の地震・地殻変動観測網のデータを用いたモニタリング技術の高度化は着実に進展しており、震源決定やメカニズム解推定、津波の波源推定の高度化が着実に行われた。プレート境界断層におけるスロー地震のモニタリングについては、地殻変動観測において水圧計などの海底観測のデータが広く用いられるようになり、特にプレート境界浅部で発生するSSEの分布や超低周波地震と他のスロー地震や通常地震の棲み分けが明らかになりつつある。今後はこのような情報を海溝型地震のポテンシャル評価に繋げていく研究が望まれる。

GNSSによって観測された地殻変動データから計算された内陸地震の予測モデルについては、そのモデルの改良が行われ、歴史地震との比較からその予測性能の定量的評価が行われた。また、ETASモデルを用いた内陸の背景地震活動度を用いた予測についても定量的評価が行われ、いずれのモデルも予測性能が実証されつつある。今後は、さらに実用化に向けた研究が進められるとともに、従来から地震本部で行われている活断層評価に基づく予測との融合についても進めていくことが期待される。

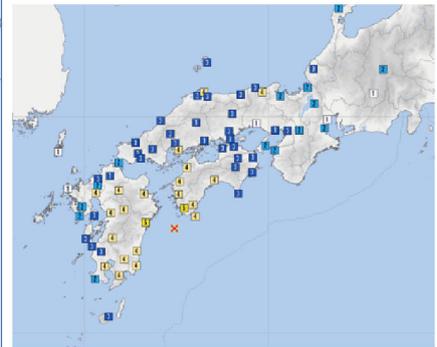
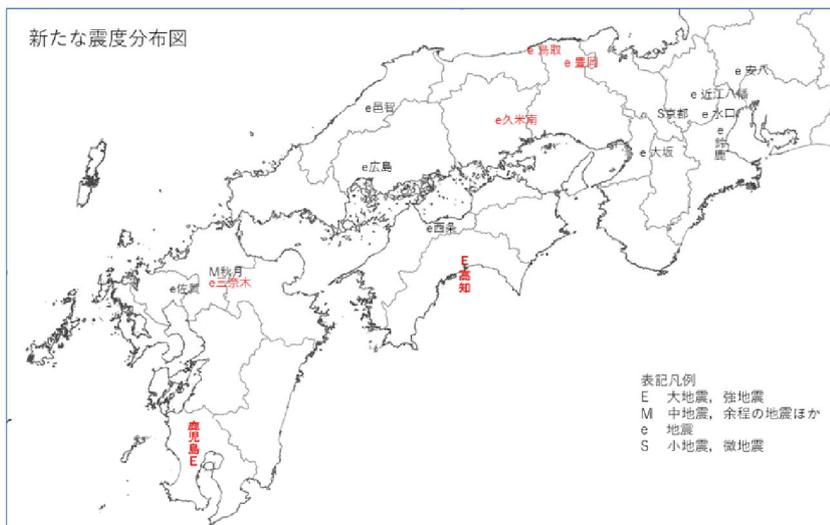
## 成果リスト

- Ariyoshi, K., T. Kimura, Y. Miyazawa, S. Varlamov, T. Iinuma, A. Nagano, J. Gomberg, E. Araki, T. Miyama, K. Sueki, S. Yada, T. Hori, N. Takahashi, and S. Kodaira, 2021, Precise Monitoring of Pore Pressure at Boreholes Around Nankai Trough Toward Early Detecting Crustal Deformation, *Front. Earth Sci.*, 9, doi:717696, 10.3389/feart.2021.717696.
- Bellanova, P., M. Frenken, Y. Nishimura, J. Schwarzbauer, K. Reicherter, 2021, Tracing woody-organic tsunami deposits of the 2011 Tohoku-oki event in Misawa (Japan), *Scientific Report*, 11, 8947, doi:10.1038/s41598-021-88199-3.
- Chiba, T., Y. Nishimura, Y. Yanagisawa, 2021, Distinguishing reworked diatoms derived from Neogene marine strata in modern coastal assemblages for understanding taphonomic processes and reconstructing Holocene paleoenvironments in the Tokachi coastal area, Hokkaido, Japan, *Marine Micropaleontology*, 164, 101970, doi:10.1016/j.marmicro.2021.101970.
- Dhakal, Y. P., T. Kunugi, W. Suzuki, T. Kimura, N. Morikawa, and S. Aoi, 2021, Strong motions on land and ocean bottom: Comparison of horizontal PGA, PGV, and 5% damped acceleration response spectra in Northeast Japan and the Japan Trench area, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 111, 3237-3260, doi:10.1785/0120200368.
- Fukao, Y., T. Kubota, H. Sugioka, A. Ito, T. Tonegawa, H. Shiobara, M. Yamashita, and T. Saito, 2021, Detection of "rapid" aseismic slip at the Izu-Bonin Trench, *J. Geophys. Res.*, 126, e2021JB022132, doi:10.1029/2021JB022132.
- 加納靖之, 2021, 地震の歴史をまなび伝えるー同和火災コレクションと歴史地震研究の交流ー, 京都文化博物館(編)「伝えるー災害の記憶あいおいニッセイ同和損保所蔵災害資料」, NHK サービスセンター, 22-130.
- Kubota, T., T. Saito, H. Tsushima, R. Hino, Y. Ohta, S. Suzuki, and D. Inazu, 2021, Extracting near-field seismograms from ocean-bottom pressure gauge inside the focal area: application to the 2011 Mw 9.1 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 48, e2020GL091664, doi:10.1029/2020GL091664.
- Kubota, T., H. Kubo, K. Yoshida, N. Y. Chikasada, W. Suzuki, T. Nakamura, and H. Tsushima, 2021, Improving the constraint on the Mw 7.1 2016 off-Fukushima shallow normal-faulting earthquake with the high azimuthal coverage tsunami data from the S-net wide and dense network: Implication for the stress regime in the Tohoku overriding plate, *J. Geophys. Res.*, 126, e2021JB022223, doi:10.1029/2021JB022223.
- Kubota, T., T. Saito, Y. Fukao, H. Sugioka, A. Ito, T. Tonegawa, H. Shiobara, and M. Yamashita, 2021, Earthquake rupture and tsunami generation of the 2015 Mw 5.9 Bonin event revealed by in situ pressure gauge array observations and integrated seismic and tsunami wave simulation, *Geophys. Res. Lett.*, 48, e2021GL095915, doi:10.1029/2021GL095915.

- Matsubara, M., K. Shiomi, K. Baba, H. Sato, and T. Nishimiya, 2021, Improved geometry of the subducting Philippine Sea plate beneath the Suruga Trough, *Glob. Planet. Change*, 204, 103562, doi:10.1016/j.gloplacha.2021.103562.
- Minamidate, K., Goto, K., Kan, H., 2022, Numerical estimation of maximum possible sizes of paleo-earthquakes and tsunamis from storm-derived boulders, *Earth and Planetary Science Letters*, 579, 117354, doi:10.1016/j.epsl.2021.117354.
- 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, 2021, 連動型地震の発生予測のための活断層調査研究, 令和2年度成果報告書, 91
- 西澤あずさ・植平賢司・望月将志, 2022, マルチチャネル反射法地震探査から推定された S-net 観測点下の堆積層分布及び堆積層補正を用いた震源決定例, 防災科学技術研究所研究資料, 471, 1-18
- Noda, A., T. Saito, E. Fukuyama and Y. Urata, 2021, Energy-based scenarios for great thrust-type earthquakes in the Nankai trough subduction zone, southwest Japan, using an interseismic slip-deficit model, *J. Geophys. Res.: Solid Earth*, 126, e2020JB020417, doi:10.1029/2020JB020417
- 大邑潤三, 2021, 同和火災コレクション成立の背景とその来歴, 京都文化博物館(編)「伝える—災害の記憶あいおいニッセイ同和損保所蔵災害資料」, NHK サービスセンター, 132-141
- Ogata, Y., 2021, Visualizing heterogeneities of earthquake hypocenter catalogs: modeling, analysis, and compensation, *Progress in Earth and Planetary Science*, 8, 8, doi:10.1186/s40645-020-00401-8.
- Ogata Y., K. Katsura, M. Tanemura, D. Harte and J. Zhuang, 2021, Hierarchical Space-Time Point-Process Models (HIST-PPM), *Computer Science Monographs*, The Institute of Statistical Mathematics, No. 35
- 尾形良彦, 2021, 階層的時空間 ETAS モデルに基づく短期・中期・長期予測および背景率予測 — 自動予測の開発に向けて —, *地震予知連絡会会報*, 105, 493-499
- 小沢慎三郎・宗包浩志, 2022, 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 (令和3年度)*
- Sawazaki, K., 2021, Early forecast of maximum amplitude due to aftershocks by applying extreme value statistics to a single continuous seismogram, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 111, 2825-2845, doi:10.1785/0120200365
- Suzuki, T., K. Yamaoka, S. Tsuji, and T. Watanabe, 2021, Ground water-induced changes in velocities of P and S waves ( $V_p$  and  $V_s$ ) measured using an accurately controlled seismic source, *Earth Planets Space*, 73, 152, doi:10.1186/s40623-021-01484-3.
- Tsuji, S., K. Yamaoka, and T. Ikuta, 2022, Temporal change in seismic wave attenuation using highly-stable vibration sources, *Earth Planets Space*, 74, 15, doi:10.1186/s40623-022-01570-0.
- Yamamoto, Y., K. Ariyoshi, S. Yada, M. Nakano and T. Hori, 2022, Spatio-temporal distribution of shallow very-low-frequency earthquakes between December 2020 and January 2021 in Kumano-nada, Nankai subduction zone, detected by a permanent

seafloor seismic network, *Earth Planets Space*, 74, 14, doi:10.1186/s40623-022-01573-x.

Yamashita, F., E. Fukuyama, S. Xu, H. Kawakata, K. Mizoguchi, and S. Takizawa, 2021, Two end-member earthquake preparations illuminated by foreshock activity on a meter-scale laboratory fault, *Nature Communications*, 12 (1), 4302, doi:10.1038/s41467-021-24625-4.

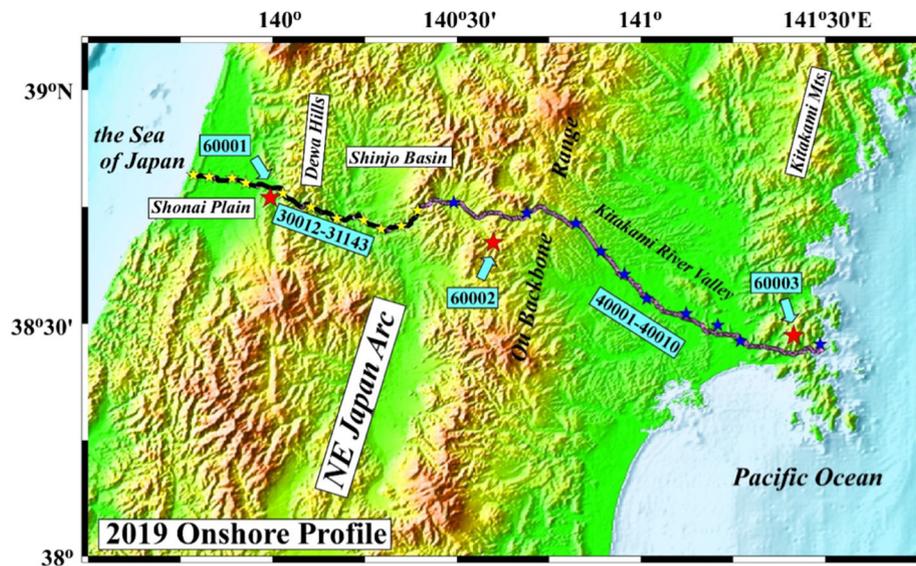


1968年4月1日の地震との比較  
日向灘を震源 深さ22km, M7.5  
(震度データベースにて、鹿児島震度  
4以上の地震から検索)

**1835.05.18 (天保6年4月21日) 地震の各地の揺れ方**  
**19世紀前半の西日本では最も広い範囲で記録された地震**

図1. 1835年5月地震の震度分布。西日本の各地の揺れ方（左）に類似した震度分布を気象庁震度データベースで検索すると、1968年4月の日向灘地震（右）と類似している（東京大学地震火山史料連携研究機構〔課題番号：HMEV02〕）。

(a)



(b)

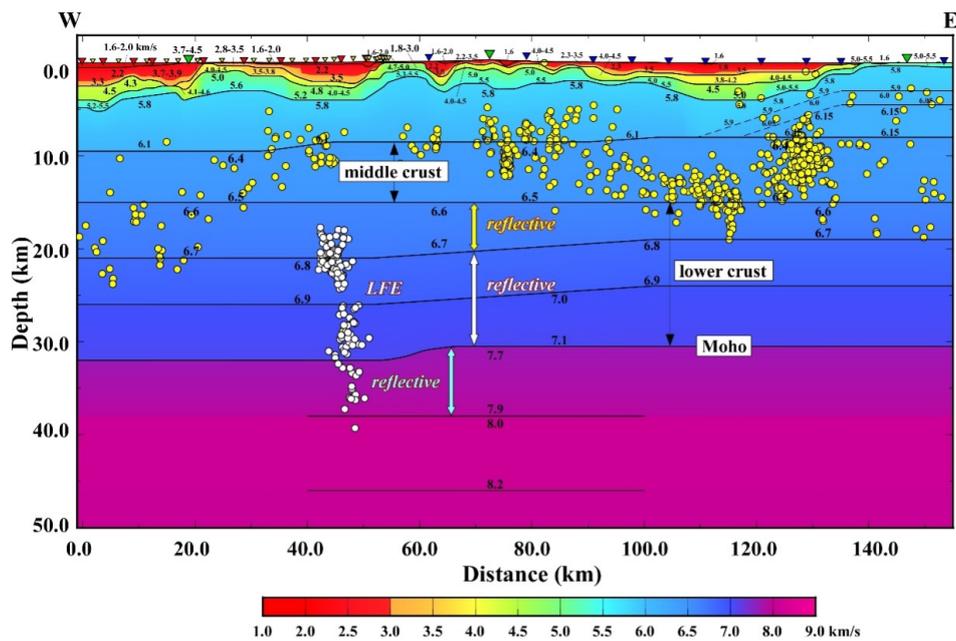


図2. 東北日本を横断する構造探査(令和元年度実施)の陸域部の測線と地殻・最上部マントルの速度構造モデル(東京大学地震研究所[課題番号:ERI\_11])。(a)測線図。ダイナマイト発震点と震源車による多重発震点をそれぞれ赤と黄・青の星印で示した。(b)地殻・最上部マントルの速度構造。黄丸及び白丸は、気象庁一元化震源(2010-2019)に基づく地殻内地震と低周波地震である。

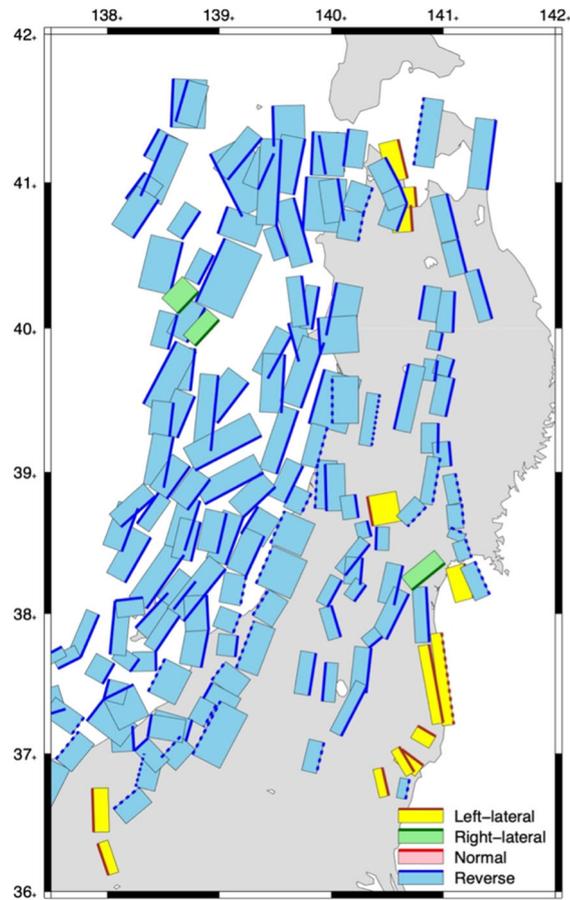


図 3．東北日本と日本海東縁の震源断層の矩形モデル（東京大学地震研究所 [課題番号：ERI\_11]）。矩形は震源断層、太線は断層の上端、破線は断層面の先端の伏在を示す。断層のタイプ（すべり角）は、広域応力場（Terakawa and Matsu'ura, 2010）から求めた。

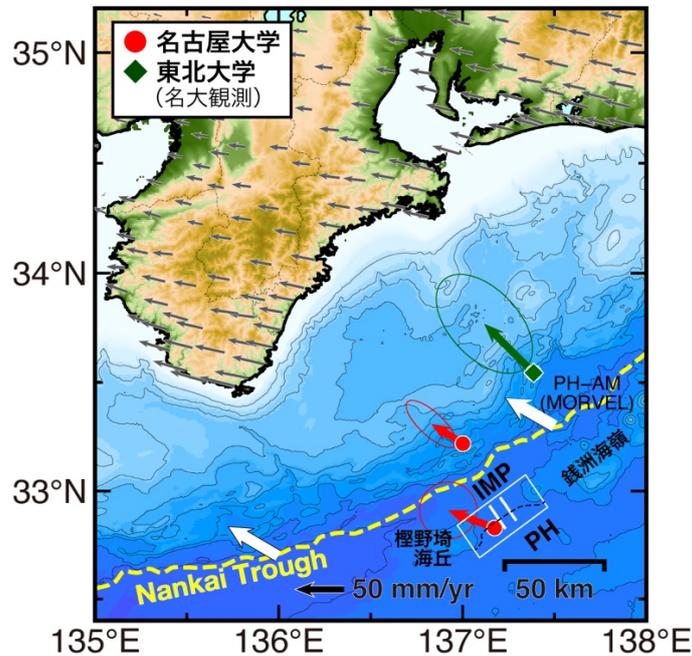


図 4. 南海トラフ沿い熊野灘における海底地殻変動観測点における変位速度（名古屋大学 [課題番号:NGY\_04]）。赤及び緑矢印は海底地殻変動観測点におけるアムールプレートに対する相対運動速度を表す。白矢印は MORVEL によるアムールプレートに対するフィリピン海プレートに対する相対運動速度を表す。変動地形学的見地から明らかとなった伊豆マイクロプレートとフィリピン海プレートとの境界を黒色の破線で示す。

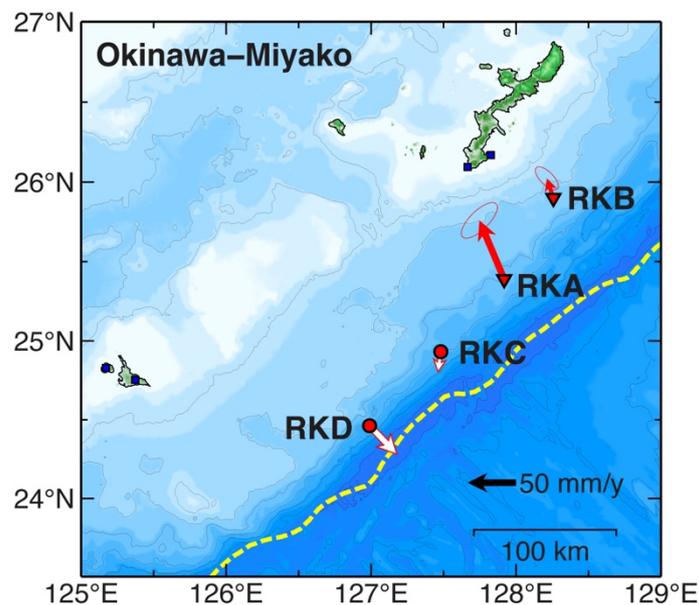


図 5. 南西諸島海溝沿いにおける海底地殻変動観測点における変位速度（暫定）（名古屋大学 [課題番号:NGY\_02]）。海底観測点の変位速度は、沖縄本島及び宮古島の 4 か所の GEONET 観測点（青四角）における変位速度の平均を各海底地殻変動観測点での変位速度から差し引いて表示した。Tadokoro et al. [2018] による RKA 観測点での変位速度も併せて示す。

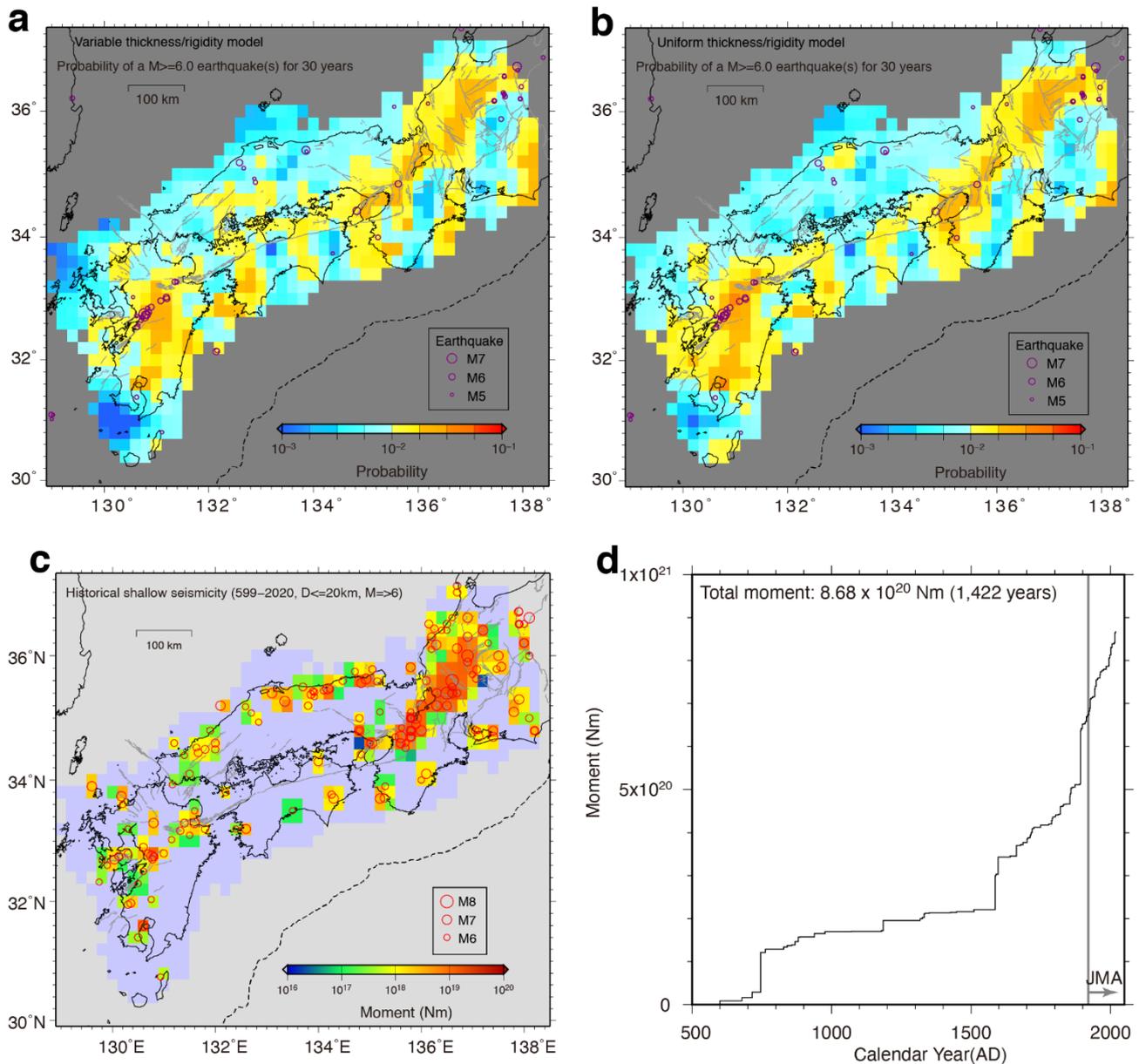


図 6．西日本のGNSSデータに基づく30年間にM6.0以上の内陸地震が発生する確率の試算例（京都大学防災研究所 [課題番号：DPRI05]）。(a)地震発生層の厚さと剛性率を場所によって変化させたモデル。カラースケールは、 $0.2^\circ$  毎のグリッドにおける発生確率を表す。(b)地震発生層の厚さと剛性率を一様としたモデル。(c)西暦599年から2020年までの地殻内地震の震央と $0.2^\circ$  毎のグリッドにおける地震モーメント分布。(d)(c)に示した地殻内地震の地震モーメントの時間発展。

### HIST-ETAS 常時地震活動度 ( $M \geq 4.0$ )

○:  $M \geq 6.0$  地震, 発生期間 1996 - 2019

歴史被害地震(宇津), ○ 599-1499; ○ 1500-1884

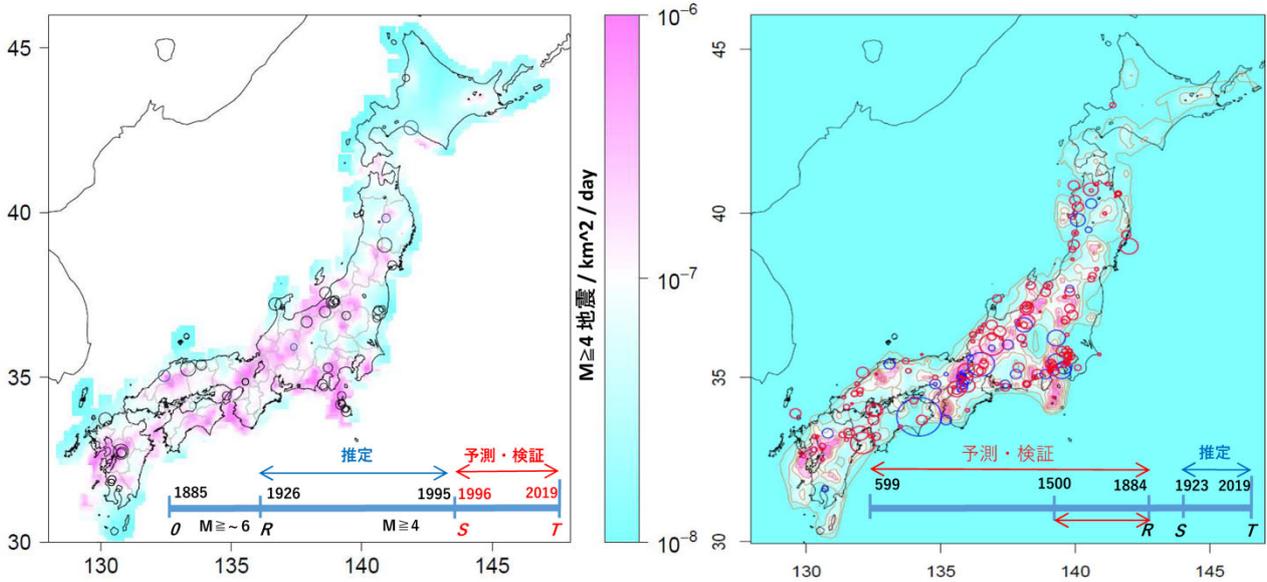


図 7. HIST-ETASモデルによって推定された常時地震活動度と大地震の分布の比較 (京都大学防災研究所 [課題番号: DPRI05])。カラスケールは常時地震活動度を表す。常時地震活動度の推定に用いた期間と表示した大地震のの期間を図中に示す。

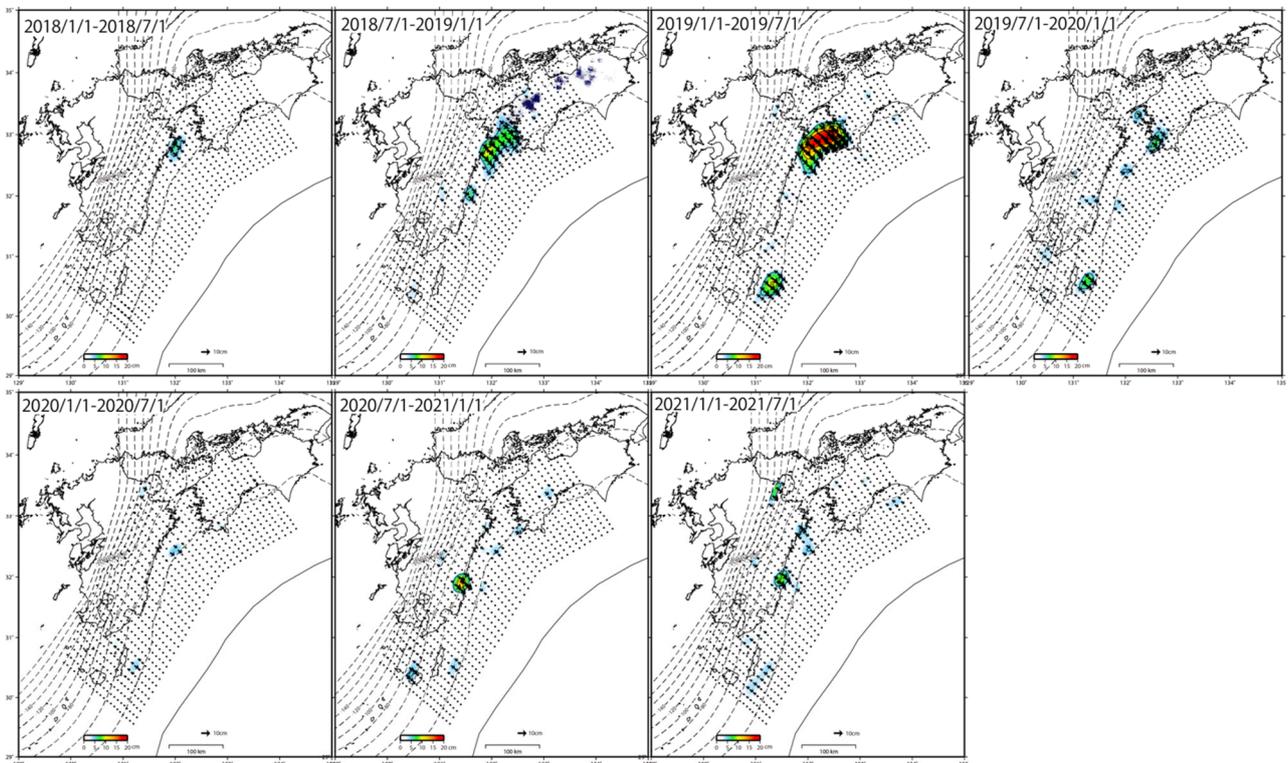


図 8. 四国西部から九州にかけての非定常地殻変動から推定したプレート境界滑り (国土地理院 [課題番号: GSI\_02])。