

(1) 実施機関名：

九州大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）断層帯の不均質の実態と現状の把握と地震発生機構の解明

（英文）Understanding the heterogeneity and current condition of the fault zone and elucidating the mechanism of earthquakes

(3) 関連の深い建議の項目：

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

(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) 本課題の5か年の到達目標：

稠密地震観測とGNSSデータから、歪・応力に関する時空間分布を推定し、その成因を電磁気探査やDAS観測による不均質構造（とくに短波長構造）と結びつけ、複数の地震計アレイ観測から得られた地震発生ポテンシャルのモニタリングを行う。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

<令和6年度>

主に天草から熊本県南部において100~150点の地震観測点を設置する。これにより、震源分布から詳細な断層帯形状、推定誤差を2,3度以内に抑えた発震機構解から歪・応力状態を推定する観測体制を構築する。また、次年度以降の電磁気観測に向けた観測場所選定の下見を行う。また、対象地域における歪速度場の時空間分布を推定するために、第2次計画で実施した臨時GNSS観測で得られたデータの解析を開始する。

<令和7年度>

電磁気探査を行うことで、断層破碎帯の広がりを実体を明らかにし、また主なすべり域となる破碎帯と、破壊の開始点となり得る深部低比抵抗体との位置関係を明らかにするためのデータを取得。また、断層帯近傍の詳細な不均質構造を明らかにするため、光ファイバーケーブルを用いたDAS観測を行う。令和6年度に設置した稠密地震観測は継続して行う。

<令和8年度>

令和6年度に開始した稠密地震観測は継続して行う。この時点で得られている地震・電磁気・GNSSデータの解析結果を統合し、地下の流体の移動経路、それに伴う、歪や応力、断層強度の状態を含めた、断層帯における一連の活動モデルを作成を開始する。

<令和9年度>

この時点までの結果を元に、電磁気観測を行う。また統合モデルから導かれた重要度の高い場所を対象として、複数の地震計アレイを設置し、その場所のモニタリングを開始する。令和6年度に開始した稠密地震観測は継続する。

<令和10年度>

稠密地震観測の撤収を行う。モニタリングを継続するとともに、統合モデルの発展を行い、課題の成

果としてまとめる。

(7) 令和7年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

1. 日奈久断層周辺における稠密地震観測

第2次計画 (KYU_01) において、日奈久断層南部周辺に約100箇所の観測点からなる稠密地震観測網 (0.01万点観測網) を構築した。観測点間隔は2-3 kmである。初年度は当初の配置を維持したが、今年度はコスト削減と効率化のために観測点数を約70点に減らした。観測網全体のカバー範囲を維持しつつ、ネットワーク状況の悪い観測点を中心に撤収した (図1)。残した観測点に関して保守を行い、日奈久断層南部周辺で引き続き密な地震観測を実施中である。この観測網を利用した震源決定やメカニズム解推定が当課題における基礎データとして重要となる。

2. 大地震発生の切迫度の評価

2016年熊本地震震源域を対象に、長期間の地震カタログと高精度な発震機構解を用いて、小地震活動から大地震発生の切迫度を評価した (Matsumoto, 2025)。震源データには、気象庁震源カタログ (2000年1月1日~2023年3月19日) を用い、b値の推定を行った。一方、地震モーメントテンソル解析には、九州大学によって決定された発震機構解カタログ (2000年~2020年10月) を使用した。地震モーメントテンソルは、マグニチュードと発震機構解から求めた。空間を分割した小領域ごとに、地震の規模別頻度分布からb値を推定するとともに、各地震の地震モーメントテンソルを積算し、その大きさをスカラー地震モーメント総和で規格化した地震モーメント効率 (Mstk/M0) を算出した。この指標は、応力場に対して最適な方向の断層すべりがどれだけ効率的に起きているか、すなわち媒質がクーロン破壊条件にどれだけ近いかを表す量である (図2)。解析の結果、本震発生前には、震源直近の深部において低b値かつ高いMstk/M0を示す領域が認められ、本震の開始点が高応力・高臨界状態にあったことが明瞭に捉えられた。一方、本震後には断層周辺でMstk/M0が低下し、流体侵入や応力場の不均質化に伴う断層強度の低下が示唆された (図3)。これらの結果は、b値のみでは捉えきれない大地震発生直前の臨界状態を、地震モーメント効率という新たな指標を組み合わせることで把握できることを示しており、応力状態と断層すべりの効率を同時に考慮することが、将来の大地震発生ポテンシャル評価に重要であることを示した。

3. 九州における地殻ダイナミクスのモデル化

九州地方では、下部地殻の非弾性変形や上部地殻のせん断運動により、地震発生層における応力集中・緩和過程が時空間的に複雑に変化していると考えられる。本研究では、2016年熊本地震前後を含む期間を対象として、地震観測およびGNSS測地観測データを用いた地殻ダイナミクスのモデル化を行い、九州における応力集中・緩和メカニズムの調査した。上部地殻の応力場については、1995年から2023年8月までに発生した、気象庁、防災科学技術研究所、大学の定常・臨時観測点データを用いて決定されたM1.5~4.0の発震機構解を使用し、地震モーメントテンソルの積算から偏差応力場を推定した。一方、GNSSデータについては、GEONETおよびソフトバンク独自基準点の観測データを用い、2006-2008年および2021-2023年の変形速度場を推定した。下部地殻の非弾性変形、プレート間固着、火山活動、地殻の剛体運動により変形場モデルを構築し、下部地殻における非弾性歪み速度から上部地殻における応力変化速度を推定した。偏差応力場と応力変化速度を比較した結果、熊本地方や鹿児島県北西部では小さな方位角差、九州中部では大きな方位角差が確認された。方位角差が小さい領域は地震活動が活発な領域と整合的であり、下部地殻の非弾性変形により上部地殻で応力集中が生じていると解釈できる。一方、方位角差が大きな領域は上部地殻でせん断帯による応力緩和の影響が考えられる。また、熊本地震前後で主軸方位差の空間分布が変化しており、余効変動が応力集中・緩和過程に付加的に影響していることが明らかとなった。

4. 九州における応力不均質の検出

内陸地震発生層における応力場は、下部地殻の変形や地殻構造の影響を受け、空間的に不均質に形成されていると考えられる。そこで、九州において、地震データから推定される上部地殻の応力場と、GNSSデータから推定された下部地殻の非弾性変形による応力変化との関係を検討した。1995年から2016年の熊本地震発生前までに九州内陸で発生した地震について、気象庁、防災科学技術研究所、

大学の定常・臨時観測点データを用いて得られたM4未満の発震機構解を解析し、深さごとの規格化応力テンソルを推定した。これを、Yuasa and Matsumoto (2023) によりGNSSデータから推定された下部地殻（15 km以深）の非弾性変形による応力変化と比較した。その結果、九州全体では下部地殻からの応力は横ずれ成分が卓越する一方、別府島原地溝帯では広範囲にわたって浅部に向かうにつれて正断層型地震が増加する傾向が確認された。特に天草北部では、下部地殻からの応力変化率は小さいものの地震活動は活発であり、別府島原地溝帯の影響を強く受けていると示唆される。また、日奈久断層周辺はおおむね下部地殻からの応力と整合的ではあるものの、その延長における八代海南部では、下部地殻からの応力だけでは説明できない応力場の不均質が検出され、局所的な地殻構造の影響が示唆される。

5. 日奈久断層をまたぐDAS観測の実施

光ファイバーケーブルを用いたDAS（分散型音響計測）を行うことで、超高密度地震観測を実施することができる。国土交通省熊本河川国道事務所の協力のもと、熊本県の緑川沿いに敷設された光ファイバーケーブルを利用してDAS観測を実施している（図1）。測線は日奈久断層を横切っており、来年度以降このデータを使用して、日奈久断層付近の局所的な短波長不均質構造を推定する予定である。

本研究で使用したソフトバンクの独自基準点の後処理解析用データは、「ソフトバンク独自基準点データの宇宙地球科学用途利活用コンソーシアム」の枠組みを通じて、ソフトバンク株式会社およびALES株式会社より提供を受けたものを使用しました。

・「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

昨年度は、実際の地震活動から、 b 値とモーメント円上における応力状態の関係から、 b 値が小さい場合には大きな地震の発生が逼迫していることを示した。しかし、 b 値は流体圧にも影響されるため、 b 値のみでは切迫度評価が不十分であった。今年度は、地震モーメント比を新たな指標として導入し、媒質が大地震発生の臨界状態（小断層面が応力に効率的な方向に揃っている）ことを考慮し、 b 値と合わせて解釈することで、大地震発生の切迫度を評価できることを示した。破壊開始点をこれにより制約できる可能性がある。内陸地震で大きく滑る領域は、低比抵抗帯によりサイズがコントロールされている状況証拠がいくつか報告されており、それらと合わせて解釈することにより、より確度の高い地震発生機構を理解を目指す。さらに、そもそも上部地殻における応力場の形成に下部地殻の非弾性変形に加え、せん断帯やローカルな構造が影響していることも明らかになりつつある。

(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

Matsumoto, S., 2025, LARGE earthquake proximity indicated by seismic moment efficiency and frequency-number distribution of small earthquakes, Scientific Reports, 15, 17389, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-01595-x>, 査読有, 謝辞有

・学会・シンポジウム等での発表

永山 勇志, 松本 聡, 湯浅 雄平, 松島 健, 江本 賢太郎, 2025, 稠密GNSS観測データの解析による2016年熊本地震の余効変動を考慮した九州地殻変形場のモデル化の試み, JpGU2025

砂川 尋海, 永山 勇志, 江本 賢太郎, 松本 聡, 2025, 発震機構解データを用いた九州北部における応力場とその不均質性について, JpGU2025

三島 瀬里香, 松本 聡, 江本 賢太郎, 湯浅 雄平, 永山 勇志, 2025, 九州内陸の地震発生層の底における応力不均質 一下部地殻の非弾性変形との関係について一, JpGU2025

松本 聡, 2025, “地震モーメント比”と b 値による地殻応力状態評価の試み(3), JpGU2025

砂川 尋海, 永山 勇志, 江本 賢太郎, 松本 聡, 2025, 警固断層周辺の応力場のモデル化の試み, 日本地震

学会秋季大会

松本 聡, 平田 一聖, 永山 勇志, 江本 賢太郎, 松島 健, 市原 美恵, 行竹 洋平, 八木原, 2025, “地震モーメント比” から見た霧島火山における地震活動, 日本地震学会秋季大会

永山 勇志, 松本 聡, 湯浅 雄平, 松島 健, 江本 賢太郎, 2025, 九州地殻における2016年熊本地震後の非弾性歪み速度の時間変化とその特徴, 日本地震学会秋季大会

三島 瀬里香, 松本 聡, 江本 賢太郎, 湯浅 雄平, 永山 勇志, 2025, 発震機構データを用いた九州内陸の地震発生層における応力鉛直変化検出の試み, 日本地震学会秋季大会

(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 :

日奈久断層周辺における稠密地震観測 (0.01満点観測) を引き続き計測し、精度の高い震源決定、メカニズム解推定を行い、応力場推定、モーメント比計算に活用する。また、光ファイバーケーブルを用いたDAS観測で得られたデータを解析し、日奈久断層周辺の短波長不均質構造を明らかにする。また、これまでの知見に、MT探査による比抵抗構造も考慮し、歪や応力、断層強度の状態を含めた、断層帯における一連の活動モデルを構築していく。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

江本賢太郎 (九州大学), 松本聡 (九州大学), 松島健 (九州大学), 相澤広記 (九州大学)
他機関との共同研究の有無 : 無

(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 : 九州大学

電話 :

e-mail : emoto.kentaro.430@m.kyushu-u.ac.jp

URL :

(13) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 江本賢太郎

所属 : 九州大学

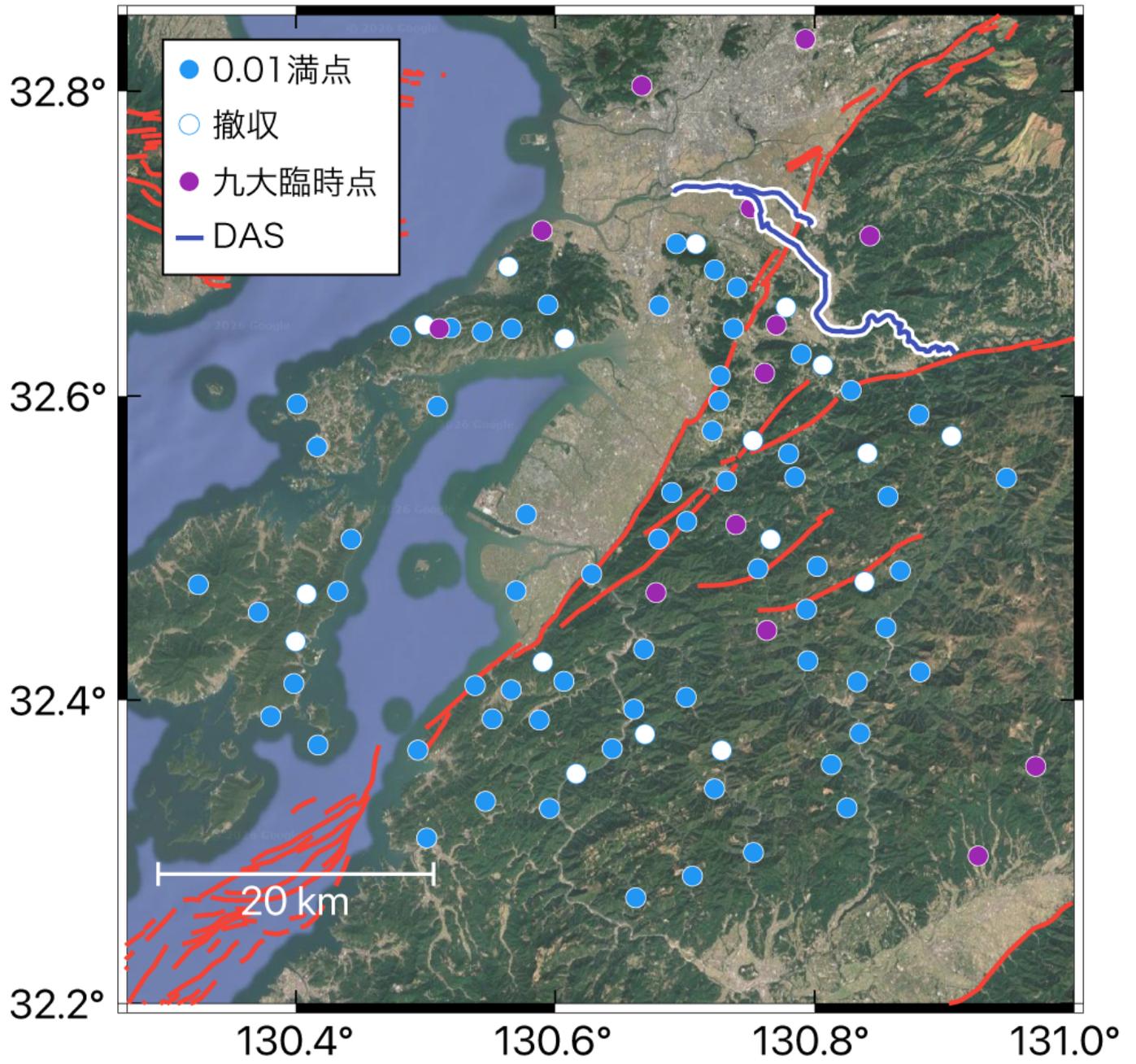


図1

九州大学が熊本周辺に展開している地震観測点とDASで用いた光ファイバーケーブルの位置。

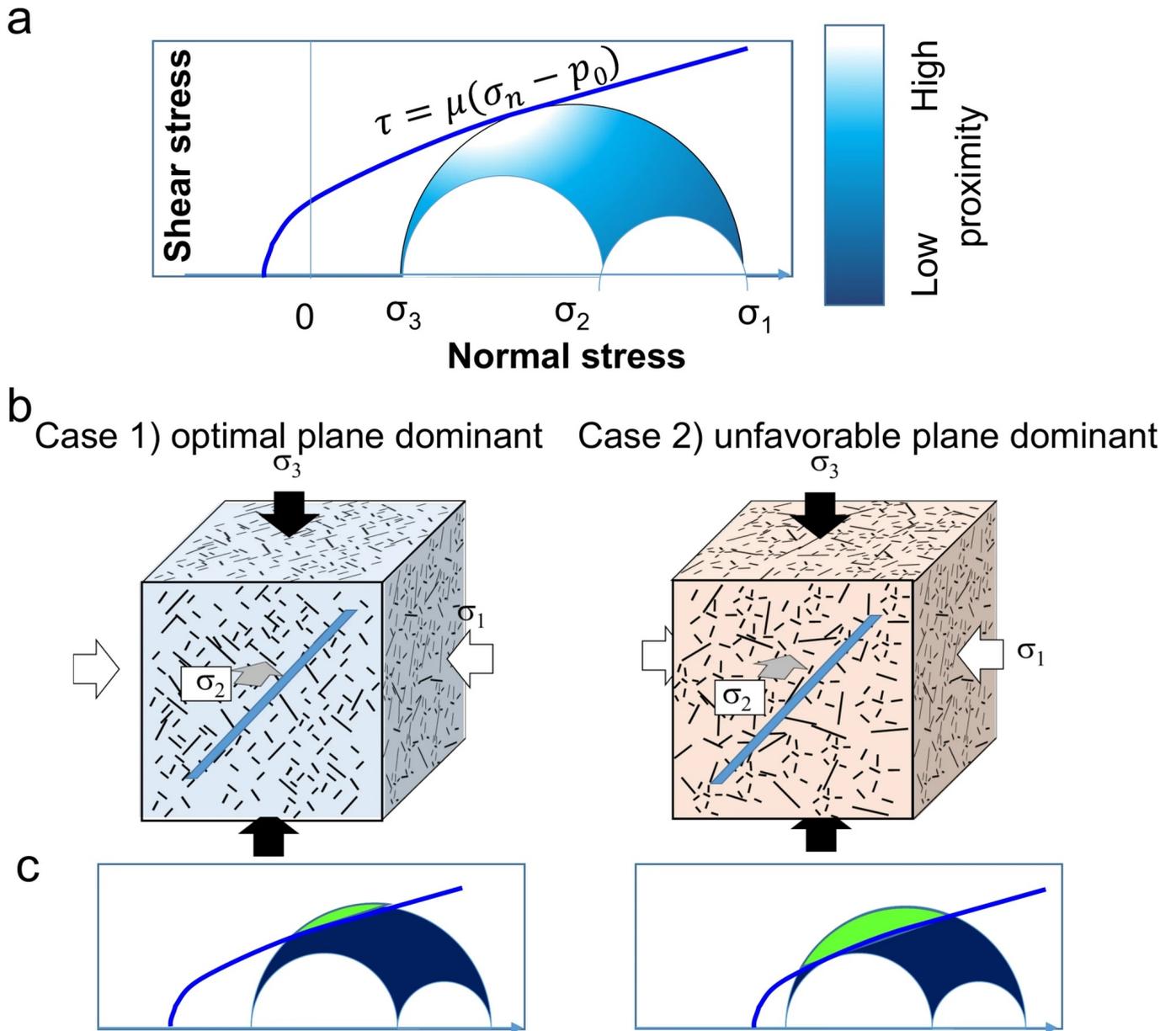


図2

a) モール円、クーロンの破壊基準と切迫度の概念図。

b) 応力場と断層面との関係、c) モール円と破壊基準との関係の概念図。Case1は多くの断層面が応力から期待される最適な方向に向いている状況（切迫度が高い）。一方、Case2は、例えば流体圧が高く、非効率な破壊が生じており、大きな地震が発生しにくい状況（切迫度が低い）。（Matsumoto, 2025）

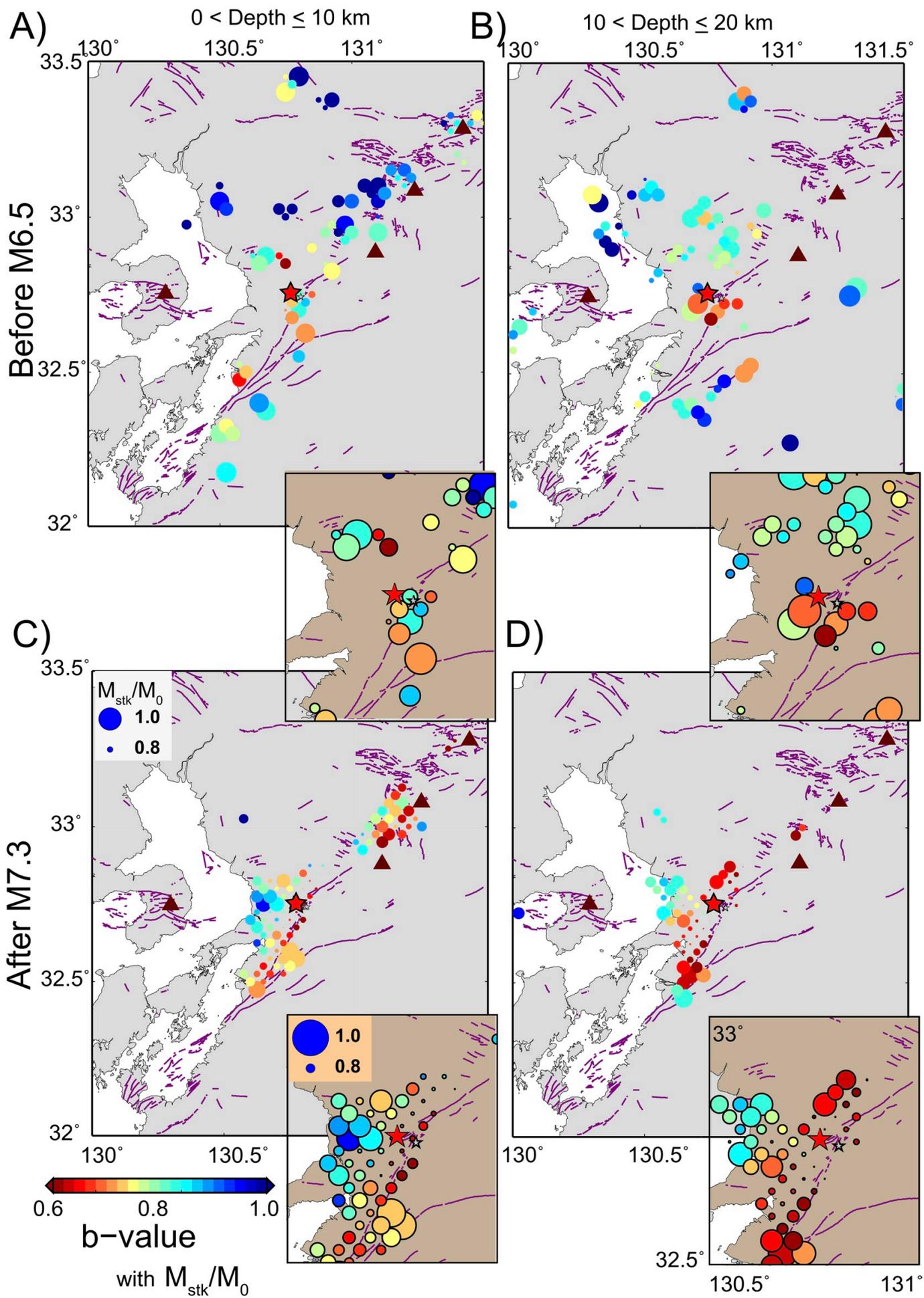


図3

切迫度とb値の空間分布。A), C)はそれぞれ、深さ0~10kmにおけるM6.5の前震前と、M7.3の本震後での分布。B), D)は、深さ10~20kmにおけるM6.5の前震前と、M7.3の本震後での分布。色がb値、丸の大きさが地震モーメント効率 (M_{stk}/M_0) を示す。(Matsumoto, 2025)