

(1) 実施機関名：

鹿児島大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

南西諸島北部域におけるプレート間すべりの特性に関する地震・地殻変動観測研究

(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

ア. プレート境界地震と海洋プレート内部の地震

(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

イ. 地震断層滑りのモデル化

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(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

5 研究を推進するための体制の整備

(2) 総合的研究

ア. 南海トラフ沿いの巨大地震

(7) 次世代を担う研究者、技術者、防災業務・防災対応に携わる人材の育成

(5) 総合的研究との関連：

南海トラフ沿いの巨大地震

(6) 本課題の5か年の到達目標：

平成30年度までの研究成果を踏まえ、地震の検知能力・分解能の向上に特化した小スパン観測網を年度ごとに少しずつ移動させる機動的な海底地震観測を実施する。これを4か年に渡り実施することで、特に1911年喜界島近海地震の想定震源域及びその周辺域を重点的にカバーし、スロー地震活動及び通常の地震活動の観測データを取得する。並行して島嶼域においては、平成30年度まで実施してきたGNSS観測を継続・強化する。

得られた観測データを解析し、1911年喜界島近海地震の想定震源域周辺におけるスロー地震活動（特に低周波微動活動）について、その震源域の広がりや想定震源域との位置関係を明らかにする。また、通常の地震活動との比較を行い、両者間の時空間的な関係について考察する。さらに、日向灘など他地域との比較を行い、類似点・相違点について検討する。

一方、1911年喜界島近海地震の想定震源域およびその周辺域における、島嶼域地震観測のみでは検出できない未知の小規模な相似地震活動について、想定震源域内外での活動分布を明らかにする。また、スロー地震活動（特に低周波微動）の震源分布と比較し、両者の空間的境界を検討する。

併せて島嶼域GNSS観測では、沖縄トラフの拡大とブロック運動をさらに精度を向上させて求め、3次元有限要素解析により南西諸島北部域のプレート間の固着域、固着率を推定する。

以上の地震・地殻変動観測研究の結果を総括し、スロー地震（特に浅部低周波微動）活動、通常の地震活動、相似地震活動、プレート間の固着域と固着率を基に現在の北部南西諸島域のプレート間すべ

りの特性について考察する。

(7) 本課題の5か年計画の概要：

機動的な海底地震観測と島嶼域GNSS観測の実施

1年目の概ね上四半期の期間中に1911年喜界島近海地震の推定震源域付近にLOBSを投入し、小スパン海底地震観測網による観測を開始する（LOBSの第1期観測の開始）。続く2年目においては、概ね上四半期の期間中に第1期観測のLOBSを回収し、新規位置にLOBSを投入しての観測を開始する（LOBSの第2期観測の開始）。以後同様に、3～4年目はLOBSの回収と新規位置にLOBSを投入しての観測開始を繰り返す。5年目に第4期観測のLOBSを回収し、機動的な海底地震観測を終了する。なお、当該観測航海を大学院生等の海域観測実習の場として利活用する。

GNSS観測については、平成30年度までに実施してきた島嶼域観測網を継続するとともに、1年目中に下甕島にGNSS観測点を設置して観測網を強化し、5か年計画の末まで継続する。

スロー地震活動（特に、浅部低周波微動）と通常の地震活動の解析

1年目は、機動的な海底地震観測のデータが未取得のため、喜界島東方沖で過去に実施された別プロジェクトの海底地震観測および平成30年度までの準定常海底地震観測で取得されたデータの再解析を行う。2～5年目は、その年度に回収されたLOBSのデータを用い、低周波微動や通常の地震の震源決定を年次的に実施する。5年目は、5か年分の結果を総括し、低周波微動の震源域、小繰り返し地震を含む通常の地震との時空間的な関係を明らかにし、1911年喜界島沖の地震の想定震源域との関係を議論する。また、スロー地震活動の特徴について、日向灘など他地域との比較を行う。

相似地震の解析

1年目は、平成30年度までの準定常海底地震観測で得られたデータを利用し、島嶼域の地震観測網では検出できない規模の小さいものも含めた相似地震の解析を試行する。2～5年目は、その年度に回収されたLOBSのデータから、相似地震を検出し、震源決定を行う。5年目は、5か年のうちに得られた震源分布から、1911年喜界島近海地震の想定震源域との空間的な関係を明らかにする。また、上記のスロー地震（特に浅部低周波微動）の震源分布と比較検討することで、当該領域におけるプレート境界のすべり特性を議論する。

島嶼域GNSSデータの解析

2年目は、高度化された種子島から奄美大島までのプレート境界を3次元有限要素モデルに組み込む。当該地域のプレート運動を再推定し、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う内部変形を求める。3年目は、新規に追加設置した観測点を含めた測線の解析で得られた沖縄トラフの拡大率を求める。沖縄トラフの拡大率、フィリピン海プレートの沈み込み速度を境界条件とし、前年度に求めた当該地域の内部変形を説明できるように固着域、固着率を求める。4年目は、GNSS連続観測データを使ってスロースリップの検出を行い、検出できたスロースリップの断層モデルを求める。5年目は、固着域、固着率とスロースリップ発生域、繰り返し地震から求めたプレート間の固着の情報を精査する。

観測研究の総括

5年目において、計画期間中のスロー地震（特に浅部低周波微動）活動、通常の地震活動、相似地震活動、プレート間の固着域・固着率の解析結果に基づき、現在の南西諸島北部域のプレート間すべりの特性について考察する。

(8) 令和4年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

[1] 機動的な海底地震観測と島嶼域GNSS観測

令和4年度は、当初予定通り4月中旬に海底地震観測を実施し、5か年の観測計画を維持した。海底地震計の回収・投入作業は、長崎大学水産学部附属練習船・長崎丸の教育関係共同利用に基づき実施し、海域観測実習の場として大学院生2名が乗船した。図1に、令和4年度に回収した第3期（緑+）・投入した第4期（橙○）を含む本観測計画の観測点配置を示す。展開している小スパン海底地震観測網の観測点間隔は約20 kmと稠密であり、沈み込むフィリピン海プレートと陸側プレートの境界面上で発生する浅部微動や、島嶼域地震観測点のみでは捉えることのできない地震の検出および震源決定精度の向上に貢献する。観測領域は1911年喜界島地震（M8.0）の推定震央〔後藤, 2013〕

（図1：☆）および震源域周辺にあたり、令和5年度に回収する第4期まで海底地震計を機動的に展開することで、地震とスロー地震の空間的な棲み分けや時間的対応を議論する。

長崎丸第88次航海（2022年4月15日～20日）において、2021年4月中旬に喜界島北東海域に投入した8台の海底地震計から成る小スパン海底地震観測網の回収（第3期終了）および新規投入（第4期開始）を実施した。まず、回収した第3期の8台は、6台が固有周期1秒の長期収録型自己浮上式海底地震計（LOBS：Long-term Ocean Bottom Seismometer）、2台がそれぞれ固有周期120秒と20秒の小型広帯域海底地震計（CBB OBS：Compact Broadband OBS）で構成されている。回収直後の時刻較正は正常に完了したが、回収後のログ調査により、LOBSのうち1台（TK2117観測点）は、着底時の傾斜が31.4度と大きく傾いており、搭載しているモーター駆動式ジンバルで地震計の水平を正常に調整できていなかった。ただし、他の観測点とコヒーレントなシグナルは記録していたため、エンベロープ相関法を用いる微動の震源決定（後述）には当該観測点を暫定的に使用している。次に、投入した第4期の8台は、6台がLOBS、2台がいずれも固有周期120秒のCBB OBSである。投入直前の時刻較正は正常に完了した。第4期観測網は投入から約1年後の2023年4月に回収を予定している。島嶼域GNSS観測に関しては、平成30年度までに構築してきた観測網において継続的な観測を実施している。女島観測点（長崎県五島市）には、長崎丸第88次航海（2022年4月）および第97次航海（2022年8月）により、計2回渡島した。前年度（2021年4月）に太陽光発電等の電源周りを強化したことで、付近を通過した台風等による被害を防ぐことができた。2022年4月渡島時はデータ回収に成功したが、2022年8月はGNSS受信機不良により機体交換作業を実施した。また、横当島観測点（鹿児島県十島村）には2022年12月にアクセスし、データ回収に成功した。その他の観測状況は、気象海況等により、渡島およびデータ回収にやや遅れが生じている。令和4年度内に、宇治島観測点（鹿児島県南さつま市）に1回の渡島を計画している。

[2] 浅部低周波微動（浅部微動）の活動

令和4年度は令和3年度に設置した20 kmスパンの海底地震計アレイデータを用いて、期間中に発生した浅部低周波微動（以降、浅部微動）の暫定的な解析を実施した。エンベロープ相関法による震源決定の結果、観測期間中の2021年7月、2021年10月、2022年2月に浅部微動エピソードが確認され、そのうち最も活発な活動は2021年10月に発生した（図2）。最も活発な2021年10月のイベントはマイグレーションを伴う活動であった。このマイグレーションは南西から北東方向に向かったものであった。観測網の関係上、観測網外で誤差が大きなイベントが多く取り除かれているため数が少なく見えるが、実際には観測網外でも活動があり、その一部を今回の解析では見ていると考えられる。震源決定誤差が10 km程度のイベントは、観測網の南東部に位置しており、令和2年度、令和3年度に報告済の結果（2019～2020観測、2020～2021観測）のうち、down-dip側の活動に対応していることがわかった。観測網南東部以外で微動活動は確認できなかった。これまでの3期間にわたる観測で、浅部微動のdown-dip側の位置は比較的明瞭に分布していて、深さ15 km程度の場所に位置していることが確認できた。深さは日向灘の浅部微動活動のdown-dip側の位置と整合的である。

現時点の暫定解析においては、浅部微動カタログに微動ではないイベントが多数含まれていると考えられるため、今後精査を進め、通常地震分布や構造との対比、これまでの結果との比較を行い、議論を進める。

[3] 第1期～第3期における微小地震と浅部微動の時空間的關係

令和4年度はまず、令和3年度までの第1期・第2期データから震源決定（観測点補正済み）した通常微小地震に対して、Double-Difference法 [Waldhauser & Ellsworth, 2000] による高精度相対震源決定を適用した。その結果、2019年5月（第1期）に発生したマイグレーションを伴う微動エピソードに先行して、上盤内でM3イベントを含む微小地震が震源移動していることがわかった。一連の微小地震は、約3～4 km/dayの速さで南西から北東方向へ移動し、その活動の終端付近から微動エピソードが開始していることから、両者の時空間的な対応が示唆される（図3）。2020年9月（第2期）には、観測領域の北部と南部で約10日の間隔を置いて発生した微動エピソード同士の時空間領域を埋めるように、プレート境界周辺の微小地震が約1～2 km/dayの速さで北東から南西へ移動していることがわかった。

以上の結果に加え、2022年4月に回収した第3期データ（暫定的に5点のLOBS）を用いて、観測期間中の最も顕著な活動であった2021年10月の微動エピソード発生時の、通常（微小）地震と浅部微動の時空間的關係を調査した。通常地震の震源決定は従来手法と同様で、観測点補正およびDouble-Difference法を採用した。結果として、通常地震のほとんどは観測領域の北西部に求まり、プレート上面深度約20–30kmのプレート境界周辺および上盤内で発生していることが明らかになった（図4）。

すなわち、当該期間の微小地震活動は、同時期に観測された浅部微動とは空間的に重ならずdown-dip側に分布しており、第2期までの結果と同様、両者の発生領域は棲み分けていることがわかった。一方で、時間的な対応関係は現時点では確認できなかった。最終的に観測領域内に求まった地震数は33イベントで、1か月あたりの地震発生数としては、第2期までの結果よりも多く、今後、観測期間全体の地震活動解析を進め、浅部微動との対応関係を総合的に議論する予定である。

[4] 日向灘中部一南西諸島北部域の準静的すべり速度の時空間変化

本課題では、バースト的な活動を除いたプレート境界域での小繰り返し地震（相似地震）を用い、日向灘から奄美大島にかけての小領域ごとに小繰り返し地震が発生する度に準静的すべり速度を求め、時間変化について調べてきた。この解析においては、陸域の地震観測点の中長期データを用い、前述の海域地震観測のデータは含まれていないため、海域の検知能力は相対的に下がる一方で、広域かつ中長期の時間変化をみることができる。令和4年度は令和3年度報告に記載した改良方法を引き続き用いて解析した（図5）。

各領域の準静的すべり速度の平均値は、領域E（種子島南東沖）と領域K（トカラ列島南東沖）を除き、1.0~1.5 cm/yr.であった。領域E（種子島南東沖）では2.1 cm/yr., 領域K（トカラ列島南東沖）では1.9 cm/yr. と相対的に大きい。また累積すべり量の時間変化に着目すると、領域D（種子島東方）、E（種子島南東沖）、F（種子島南方）、及びM（奄美大島北東沖）で2018~2019年頃以降、それ以前の期間よりも準静的すべり速度の有意な増加が認められる。この変化は令和3年度に報告済であるが、令和4年度の解析でもこれらの領域で準静的すべり速度が増加した状態が継続していることが分かった。一方、領域Kでは、2010年頃以降に準すべり速度がやや低下する傾向を呈する（ただし、隣接する領域J, Lと比較して準静的すべり速度は相対的に大きい）。

1993~2022年の約29年間の中長期のデータを用い、約0.15°×0.15°の小領域毎に求めた平均的な準静的すべり速度とカップリング率の分布を図6に示す。いずれの小領域においてもカップリング率が概ね50%以上であり、日向灘中部から奄美大島にかけての領域は全般的にカップリングが弱くない。このうち、種子島南東沖とトカラ列島東方にカップリング率がより大きい領域が認められる。また、前述した浅部微動の活動領域付近では準静的すべり速度は求められておらず、陸上観測点で検出可能な規模の小繰り返し地震活動は無いことが示唆される。なお、その周囲領域のカップリング率は約70%である（領域L）。

・「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

南西諸島北部域における既往の巨大地震の推定震央域周辺で稠密海域地震観測を計画的に実施し、浅部微動と通常の地震の空間的なすみ分けや、推定震央域付近は浅部微動の活動域であることが分かってきた。南西諸島域の巨大地震発生ポテンシャル評価に資する科学的知見の蓄積が進展している。

(9) 令和4年度の成果に関連の深いもので、令和4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

Sawaki, Y., Y. Yamashita, S. Ohyanagi, E. Garcia, A. Ito, H. Sugioka, T. Takahashi, M. Shinohara, Y. Ito, 2022, Seafloor Depth Controls Seismograph Orientation Uncertainty, Geophysical Journal International, 232, 1376-1392, doi:10.1093/gji/ggac397

山下 裕亮, 2022, 2022年1月22日に日向灘で発生したMJ6.6の地震について, 宮崎の自然と環境, 7, 39-43

・学会・シンポジウム等での発表

仲谷幸浩・柳田浩嗣・八木原寛・平野舟一郎・山下裕亮・松島健・中東和夫・篠原雅尚, 2022, Microseismicity in the northern part of the Nansei-Shoto subduction zone observed by ocean bottom seismic network, 日本地球惑星科学連合2022年大会, SSS03-P01

仲谷幸浩・柳田浩嗣・八木原寛・平野舟一郎・山下裕亮・松島健・中東和夫・篠原雅尚, 2022, 機動的な海底地震観測による喜界島東方~北東沖における通常の地震と浅部微動との時空間的關係, 日本地震学会2022年度秋季大会, S09-08

中尾茂・八木原寛・仲谷幸浩・平野舟一郎・森井康宏・八木光晴・馬越孝道・山下裕亮・松島健, 2022, 男女群島女島におけるGPS連続観測, 日本測地学会第138回講演会, 76

(10) 令和4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：

項目：地震：地震：海底地震観測

概要：南西諸島北部の喜界島北東海域において、8台の長期収録型海底地震計を用いた海底地震観測を行い、データを取得した。

既存データベースとの関係：

調査・観測地域：鹿児島県喜界島北東海域

調査・観測期間：2021/4/-2022/4/

公開状況：公開留保中（公開時期・ポリシー未定）

(11) 令和5年度実施計画の概要：

喜界島北東海域に20 kmスパンで展開した第4期LOBS+CBB OBSを2023年4月中旬に全8台回収する。これにより、第4期観測とともに計画全体としての観測も終了となる。回収データを用いて、期間中に発生した浅部微動の震源決定を実施する。また、第1期～第4期観測データを用いて、これまでの観測結果の精査を進め、浅部微動分布のマッピングを行う。さらに、1911年M8.0喜界島地震の推定震源域周辺における微小地震を検出し、浅部微動の時空間分布と総合して当該領域のプレート間すべり特性を議論する。

九州南部－南西諸島北部域の中長期の陸上地震観測データを用いた準静的すべり速度の解析を継続する。また、島嶼域GNSS観測を引き続き実施する。沖縄トラフの拡大を考慮し、トカラ列島付近のフィリピン海プレートの沈み込みに伴う固着率について、有限要素法により解析する。

(12) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

八木原寛（鹿児島大学地震火山地域防災センター）、仲谷幸浩（鹿児島大学地震火山地域防災センター）、中尾茂（鹿児島大学地震火山地域防災センター）

他機関との共同研究の有無：有

山下裕亮（京都大学防災研究所）、中東和夫（東京海洋大学）、山田知朗（東京大学地震研究所）、篠原雅尚（東京大学地震研究所）

(13) 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：南西島弧地震火山観測所

電話：099-244-7411

e-mail：yakiwara@sci.kagoshima-u.ac.jp

URL：http://bousai.kagoshima-u.ac.jp/nansei-toko/

(14) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：八木原 寛

所属：南西島弧地震火山観測所

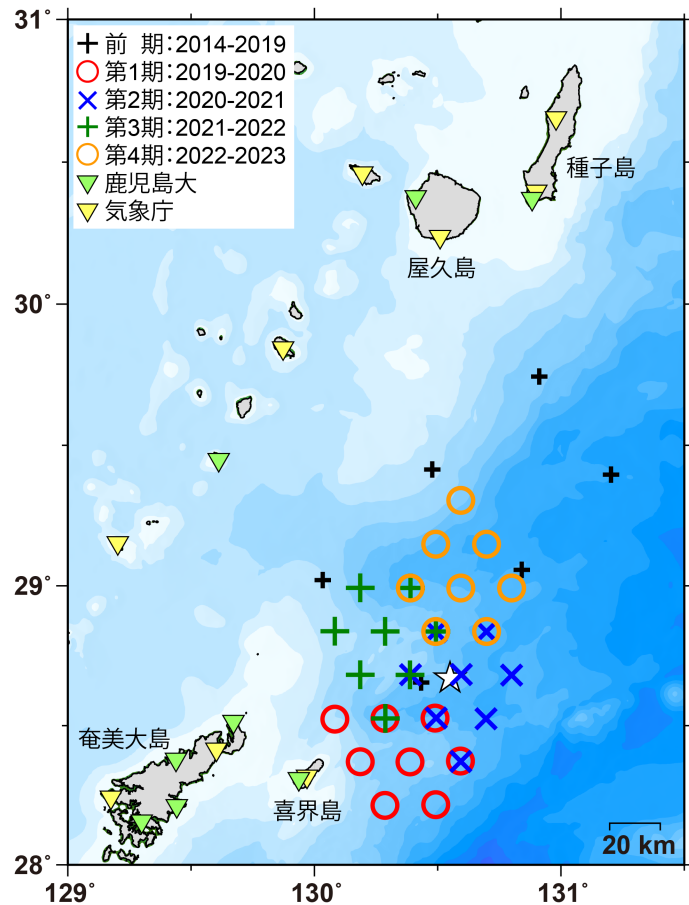


図1：南西諸島北部域における海底および島嶼域の地震観測点配置

緑+は2022年度に回収した第3期、橙○は新規投入した第4期の観測点をそれぞれ示す。赤○は第1期、青×は第2期、黒+は前期計画の観測点である。白☆は1911年M8.0喜界島地震の想定震源〔後藤,2013〕を示す。その他は南西諸島北部域における定常地震観測点である。

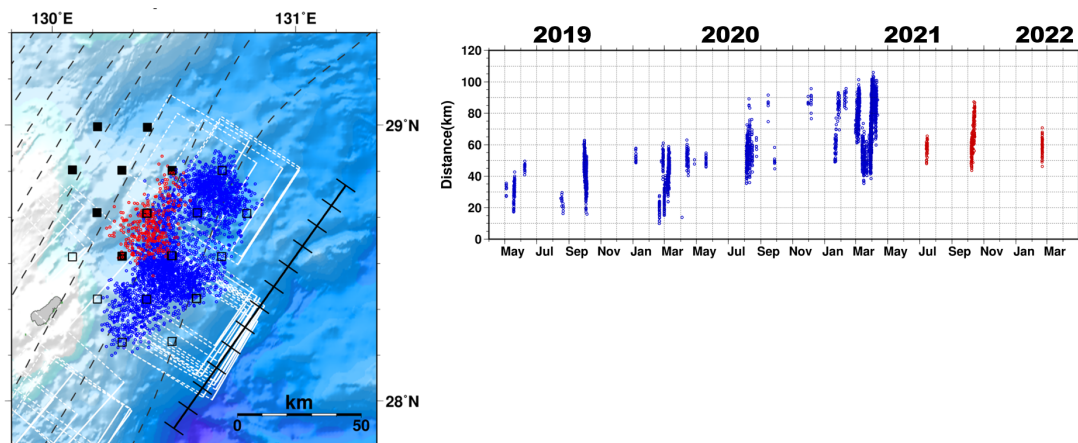


図2：浅部微動の震央分布と時空間分布

震源決定された浅部微動のうち、第3期観測で推定されたものを赤○、第1～2期観測で推定されたもの（令和3年度までに報告済）を青○で示す。白と黒の□はそれぞれ、第1～2期、第3期の海域地震観測点を示す。

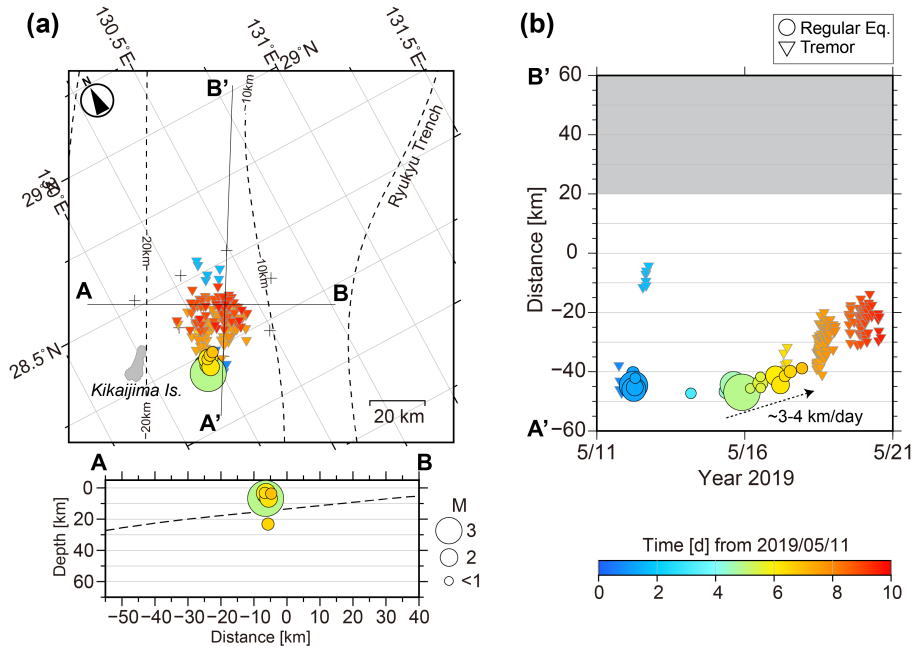


図3：微動エピソードに先行する微小地震の震源移動（第1期：2019年5月11日～21日）

（左）当該期間における地震および微動の震源分布。カースケールは2019年5月11日からの経過日数を示す。黒+は第1期観測点、黒破線はプレート境界深度 [Iwasaki et al. (2015)] である。下図はフィリピン海プレートの沈み込み方向（A-B）に沿った深さ断面図。（右） along-trench 方向（A' - B'）に沿った各震源の時空間分布。灰領域は観測領域外を示す。シンボルは図3左と同様である。

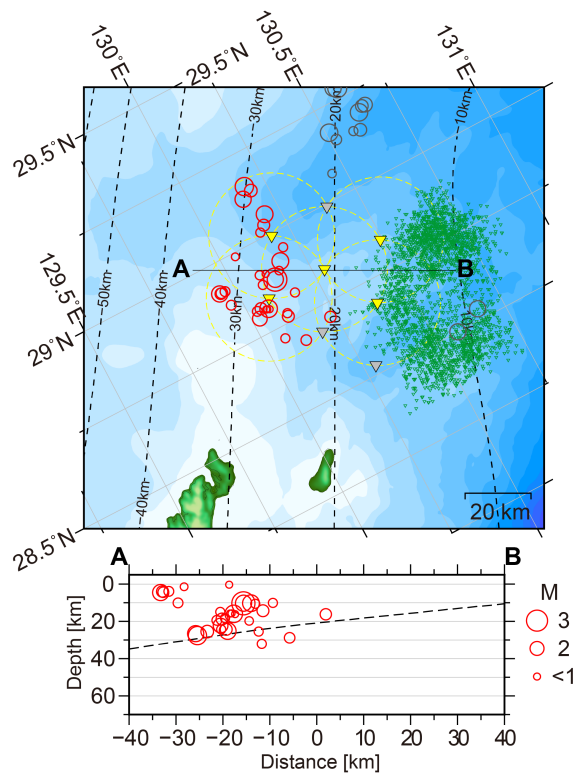


図4：第3期観測（通常地震は2021年10月1日～10月31日）で得られた震源分布

通常地震の最終震源分布（赤○）。緑▽は第3期の浅部微動、黄▽（震源決定に使用）および灰▽（震源決定に未使用）は第3期観測点をそれぞれ示す。黄破線は各観測点を中心とした半径20 kmの円で、この範囲の震源決定精度は十分であるといえる。その他のシンボルは図3左と同様である。

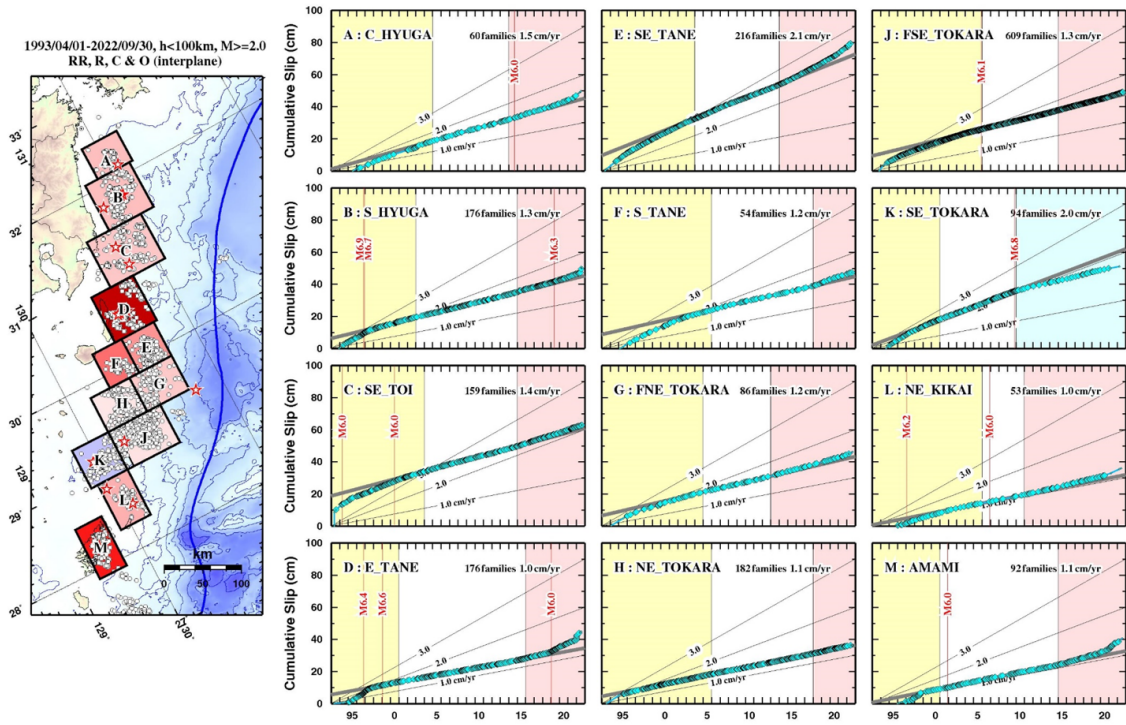


図5：小繰返し地震の解析による日向灘から奄美大島近海に至る12領域毎の累積すべり量の時間変化。淡ピンク色と薄青色はそれぞれ、準静的すべり速度が平均（淡黄色の期間）よりも大、小の期間であることを示す。各図の右上には、領域毎の準静的すべり速度の平均値とそれを求めるために用いた小繰返し地震群数を記した。縦赤線は、1993年以降に発生したM6.0以上のプレート境界地震の発生時を示す。

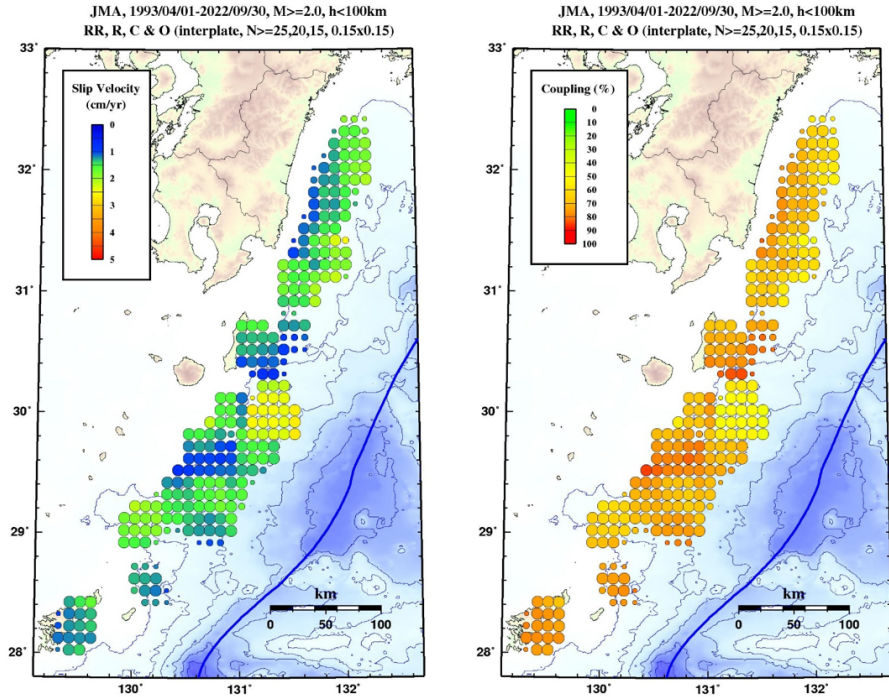


図6：日向灘から奄美近海に至る領域における平均的な準静的すべり速度（左）、及びカップリング率の分布（右）