

南大西洋・サウスサンドウィッチ諸島で 2021 年に発生した 謎の津波地震の震源過程を解明

南大西洋の英領サウスサンドウィッチ諸島沖合で 2021 年 8 月に発生した津波地震の地震波形データを解析した結果、その震源過程は振る舞いが異なる四つの破壊エピソードで構成されていたことが分かりました。津波地震の発生メカニズムの理解を深め、被害の軽減にも生かすことができる成果です。

津波地震は、地上で観測される揺れから予想されるよりも大きな津波を発生させる現象で、発生直後の避難行動が難しくなります。このため、その発生メカニズムや発生リスクを把握しておくことが重要です。例えば、地震の発生場に存在する柔らかい堆積物層の影響で生じる、ゆっくりと一様に進行する断層すべりが津波地震の要因の一つであると解釈されていますが、完全には理解されていません。また、津波地震で観測される地震波形は一様な断層すべりでは説明できないほど複雑な形をしていることがあり、その震源過程の実態は明らかになっていませんでした。

本研究チームは、南大西洋の英領サウスサンドウィッチ諸島沖合で 2021 年 8 月 12 日に発生した津波地震（モーメントマグニチュード（ M_w ）8.3~8.5）の地震波形データを解析し、その震源過程を推定しました。

地震の震源域は海洋プレートの沈み込み帯にあります。解析の結果、この地震は、破壊の振る舞いが異なる四つの破壊エピソードで構成されていることが分かりました。特に、地震の発生から約 100 秒後に始まった三つ目の破壊エピソードは、45 秒もの間ゆっくりとした破壊成長が続き、高速かつ大規模な断層すべりを伴う四つ目の破壊エピソードを誘発する特異な破壊エピソードであったことを見いだしました。また、断層のすべり方向は震源域の北側でプレートの沈み込み方向と近くなる一方で、南側では湾曲したプレートの形状を反映するように回転していることも分かりました。これらにより、280 秒もの長い時間継続し、津波地震の特徴を有する地震が発生することとなりました。

本研究は、方向が変化する高速な破壊伝播とスローな破壊の成長が組み合わさることで、地震の継続時間が長くなるという津波地震の特徴が現れることを示しました。従来の津波地震の発生メカニズムの解釈とは異なる知見で、津波地震の即時同定による被害軽減などに貢献することが期待されます。

研究代表者

筑波大学生命環境系

八木 勇治 教授

京都大学大学院理学研究科

エネスク ボグダン 准教授

研究の背景

津波地震は、地上で観測される揺れから予想されるよりも大きな津波を発生させる現象で、通常の大地震よりも発生直後の避難行動が難しくなります。このため、その発生メカニズムを理解し、発生リスクを把握しておくことが重要です。しかし、津波地震の発生メカニズムは完全には理解されておらず、議論が続いている状況で、津波地震による揺れや被害を予測する上でボトルネックとなっています。

そこで本研究では、南太平洋の英領サウスサンドウィッチ諸島沖合で 2021 年 8 月 12 日に発生し、津波地震の特徴を示した地震（以下サウスサンドウィッチ諸島地震、モーメントマグニチュード（Mw）8.3~8.5）に最新の震源過程解析手法を適用し、その破壊伝播過程を詳細に調べました。

研究内容と成果

本研究は、世界各地にある 47 地点の観測点（参考図 b）の地震波形データを使用しました。解析には「ポテンシー密度テンソルインバージョン法^{注1)}」を適用しました。理論モデルに含まれる誤差の取り扱いを改善し、自由度の高い震源過程モデルを構築可能にすることで、複雑な断層破壊過程であっても安定に解析できるためです。その結果、破壊開始から終了までの 280 秒間に、振る舞いが異なる四つの破壊エピソード（Ep1~Ep4）が発生していることが分かりました（参考図 c, d）。

震源で始まった破壊は、高速なすべりを伴いながら海溝軸に向かって南北両方向に伝播し（Ep1）、それから方向を南に変えて 70 秒まで伝播しました（Ep2 前半）。その後、震源から南南西に約 130 km 離れた地点で破壊が 30 秒ほど停滞しました（Ep2 後半）。地震の開始から約 100 秒後、Ep2 において破壊の停滞が起きていた領域で、45 秒もの間ゆっくりと破壊が成長する三つ目の破壊エピソード（Ep3）が発生しました。Ep3 が起きた後、高速かつ大規模な断層すべりを伴う破壊エピソード（Ep4）が発生しました。破壊が伝播する速度は、Ep1、Ep2、Ep4 ではそれぞれ 3~4 km/s で通常の地震と同程度の速度でしたが、この地震全体で平均すると約 1.5 km/s となり、通常の地震より遅くなっていました。また、得られた震源過程モデルから計算された地震波形は、複雑な形状を持つ地震波形データとよく一致していました。

本研究により、サウスサンドウィッチ諸島地震の破壊過程は、高速な断層すべりを伴う三つの破壊エピソードと、明瞭な断層すべりを伴わずにゆっくりと成長する一つの破壊エピソードにより構成されることが分かりました。また、断層のすべり方向は震源域の北側でプレートの沈み込み方向と近くなる一方で、南側では湾曲したプレートの形状を反映するように回転しており、空間的に変化していることも分かりました（参考図 a）。

これらの解析結果から、サウスサンドウィッチ諸島地震の継続時間が長く、平均的な破壊伝播速度が遅いという津波地震の特徴は、断層のすべり方向の変化を伴う高速な破壊伝播（Ep1、Ep2 前半、Ep4）と、破壊伝播の停滞（Ep2 後半）およびスローな破壊の成長（Ep3）が組み合わさることにより、生み出されていたことが分かりました。

今後の展開

本研究により、津波地震の特徴を有したサウスサンドウィッチ諸島地震の震源過程は、想像以上に複雑なものであることが明らかになりました。このような知見は、津波地震の発生メカニズムに対する理解を深めるだけでなく、津波地震の特性を考慮に入れた避難計画の策定や防災設備の強化など、今後発生する津波地震に対する合理的な減災・防災の実現につながります。加えて、津波地震の即時同定による津波被害の軽減のためにも、重要な役割を果たすと考えられます。

参考図

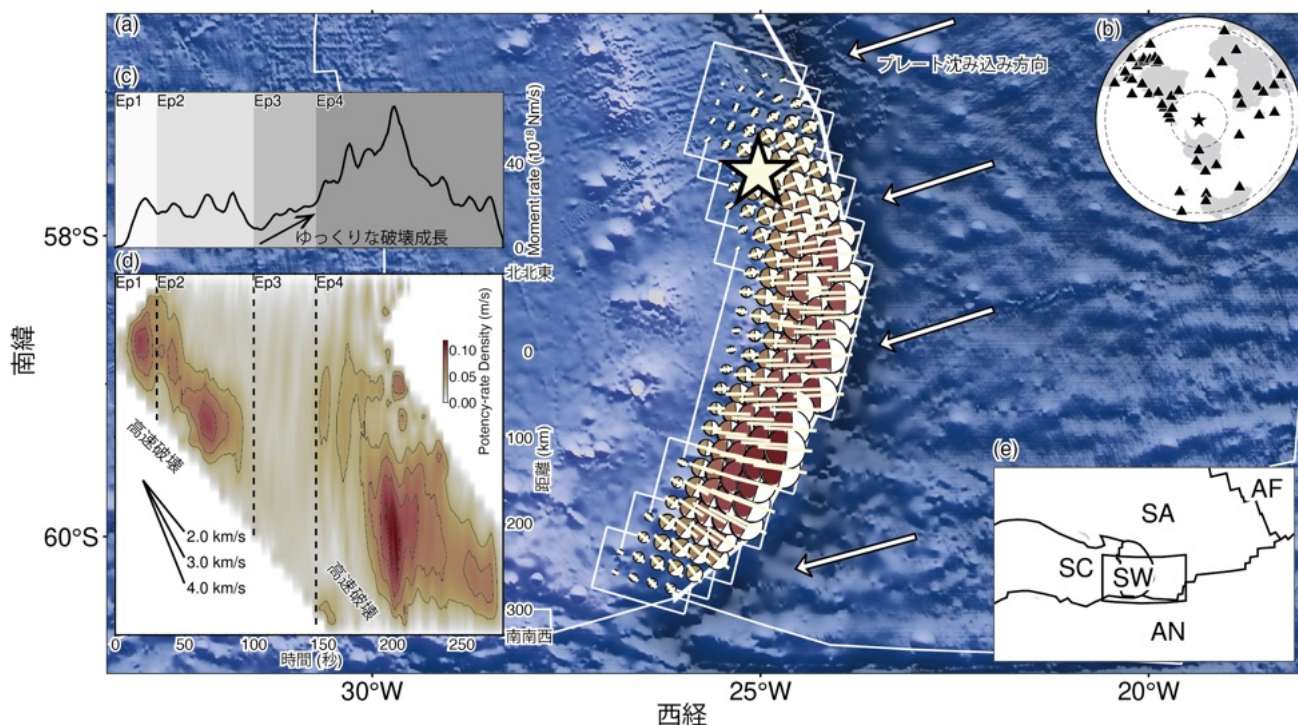


図 解析対象地域と解析結果

世界各地の地震観測網（図 b）が捉えた 2021 年サウスサンドウィッチ諸島地震の地震波形データを使い、震源過程を推定した。図(a)は解析結果（図中央部）を示した。ポテンシー密度（すべり量）の大きさを色の濃淡で表現し、海底地形に重ねて示した。クリーム色の線は断層のすべり方向、星印は震央を示す。図(c)は地震のエネルギー解放履歴を示す。横軸に時間を取っている（時間軸は図 d と共通）。図(d)は縦軸に震源からの距離を取り、横軸に時間を取ってポテンシーレート密度（すべり速度）の時空間的な分布を投影した。左下には 2.0~4.0 km/s の伝播速度に対応する目安の線を示した。図(e)は研究対象地域の広域図。図中の矩形の枠線は図(a)の描画範囲を示し、黒線はプレート境界を示した。この地震の震源域ではサンドウィッチプレート（SW）が南アメリカプレート（SA）に向かって沈み込んでおり、海溝軸が東に凸に湾曲しているほか、海洋プレート表面には海山や破碎帯と見られる凸状の構造が分布している。サンドウィッチプレートの西側にはスコシアプレート（SC）が、南アフリカプレートの東側にはアフリカプレート（AF）が、南側には南極プレート（AN）が位置する。

用語解説

注 1) ポテンシー密度テンソルインバージョン法

理論モデルに含まれる誤差の取り扱いを改善することで、断層形状と断層すべりの方向を予め仮定せず、同時推定することを可能にした新たな震源過程解析手法。

研究資金

本研究は、科研費による研究プロジェクト（22K03751）の一環として実施されました。

掲載論文

- 【題 名】 The complex rupture evolution of the long and slow, tsunamigenic 2021 South Sandwich Islands earthquake
(長くゆっくりとした 2021 年サウスサンドウィッチ諸島津波地震の複雑な破壊過程)
- 【著者名】 R. Yamaguchi, Y. Yuji, R. Okuwaki, and B. Enescu
- 【掲載誌】 *Scientific Reports*
- 【掲載日】 2025 年 5 月 21 日
- 【DOI】 10.1038/s41598-025-02043-6