

ミャンマー大地震はブーメランのような逆破壊伝播や超せん断破壊を含む複数のサブイベントで構成される特異な地震だった

2025年3月にミャンマーで発生した大地震の震源過程を、破壊の進行方向や断層形状を仮定せず柔軟に解析する新手法（ポテンシー密度テンソルインバージョン法）で解析し、断層に沿って南北の2方向へ行ったり来たりする非対称で高速な破壊成長様式を有する極めて複雑な震源過程を明らかにしました。

2025年3月28日、ミャンマー中部マンダレーにおいてモーメントマグニチュード（Mw）7.7の大地震（2025年ミャンマー地震、以下ミャンマー大地震）が発生し、地震による強い揺れによりミャンマーおよび周辺国に多くの被害をもたらしました。余震分布は震源から南側に広がっており、ミャンマー大地震は震源から南方向に破壊が伝播したと考えられます。このような場合、ドップラー効果と類似したディレクティビティ効果により、破壊が進行する方向（今回の地震なら震源の南側の観測点）では振幅が大きく鋭いパルス状の波形が観測されることが一般的です。しかし、観測された地震波形は震源より北側の観測点で振幅が大きく鋭いパルス状の波形となる一方で、震源より南側の観測点では振幅が相対的に小さく、複数のピークを持つ波形が長時間続くという特徴がありました。これは、ミャンマー大地震が、通常とは異なる地震であったことを示唆します。

本研究は、このような特異な特徴を持つミャンマー大地震の地震波形データを、破壊の進行方向や断層形状を仮定せず柔軟に解析する新手法（ポテンシー密度テンソルインバージョン法）に適用し、震源過程を推定しました。その結果、ミャンマー大地震の震源過程は複数のセグメントに分かれる破壊エピソードで構成されていることが判明しました。そして、各破壊エピソードにおいて南北2方向に破壊が非対称に進みながら、見かけ上震源の南へと伝播する様子を捉えることができました。特に破壊初期のエピソードでは、破壊が南側に伝播した後にブーメランのように北側に破壊伝播方向を変え、S波の伝わる速度を超える高速な超せん断速度で伝播していたことも分かりました。

本研究結果は、質の高い地震波形データと自由度の高い波形解析手法を用いることで、ミャンマー大地震のように極めて複雑な震源過程を、地震発生直後に堅牢かつ早期に推定できることを示しています。本研究が示した複雑な破壊伝播様式は、地震発生機構の理解を深め、被害をもたらし得る強い地震動生成メカニズムのより良い評価に不可欠な知見です。震源から遠く離れたバンコクで長周期地震動による被害が発生した原因を理解する上でも重要だと考えられます。

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

2025 年 3 月 28 日にミャンマーで発生した大地震（2025 年ミャンマー地震、以下ミャンマー大地震）は、ミャンマーを縦断する長大な断層系の一部を破壊し、地震による強い揺れはミャンマーおよび周辺国に多くの被害をもたらしました。ミャンマー大地震で観測された P 波^{注1)}は、震源より北側の観測点では振幅が大きく、短周期なパルス状のシグナルで特徴づけられます。一方で、震源より南側で観測された P 波は、パルス状の振幅が極端に大きなピークを持たず、複数のピークが長時間連続する様子が観測されました。これらの特徴は、震源より北側への強い破壊指向性を示唆します。しかし、ミャンマー大地震の余震域は震源の南側に広がっており、余震分布から期待される南への破壊方向は、地震波形の特徴から期待される北への破壊方向と矛盾します。このような非常に特異な特徴を有する地震波形データに対し、これまで多くの地震の複雑な震源過程を明らかにしてきた震源過程解析手法「ポテンシー密度テンソルインバージョン法^{注2)}」を適用し、ミャンマー大地震の震源過程を推定しました。

研究内容と成果

本研究におけるミャンマー大地震の解析では、世界各地の地震観測網により記録された 58 観測点の地震波形記録を用いました。解析の結果、ミャンマー大地震の震源過程は、複数の破壊エピソードで構成され、それぞれの破壊エピソードは南北へと非対称に破壊進行する特徴があることが分かりました。

震源付近で生じた最初の破壊エピソード（E1）は、最初に南へ 40 km 程度進行してから、その後破壊進行方向を急転回し北へと逆伝播します（図）。この北方向への逆伝播破壊は、高速な超せん断速度^{注3)}で進行したことが分かりました。次いで、震源より南 120 km 地点から二つ目の破壊エピソード（E2）が始まります。E2 も初めは南方向へと伝播した後、破壊進行方向を北へと変える非対称破壊がありました。それぞれ南北へ非対称に破壊進行する E1 と E2 ですが、E1 から E2 への破壊領域は全体的に見かけ上南へと推移しており、E1 から E2 への推移速度も、超せん断速度を持つことが示唆されます。その後、震源から 200–400 km 南方における三つ目の破壊エピソード（E3）も南北方向への非対称破壊があり、破壊は 80 秒ほどで停止していました。本研究で推定された震源過程モデルは、観測された地震波形をよく説明し、さらに、余震分布と地震波形が有する見かけ上の矛盾を解消します。

今後の展開

本研究は、ミャンマー大地震の破壊過程が、破壊エピソードの最中に破壊進行方向を大きく変える逆伝播破壊と部分的な超せん断破壊を有し、これらのエピソード同士が見かけ上南へと伝播する特徴を持つなど、従来手法では表現することができない極めて複雑なものだったことを明らかにしました。さらに本研究は、ポテンシー密度テンソルインバージョン法を用いることで、特異な地震波形の特徴を説明する複雑な震源過程を、堅牢かつ早期に推定できることを示しています。破壊の進行方向や伝播速度は、強い地震動の生成にとって重要な要素です。本研究で明らかになった非対称な超せん断破壊様式は、大地震の複雑な発生メカニズムの理解を深めるだけでなく、震源から遠く離れたバンコクで長周期地震動による被害が発生した原因を理解する上でも重要な知見となります。

参考図

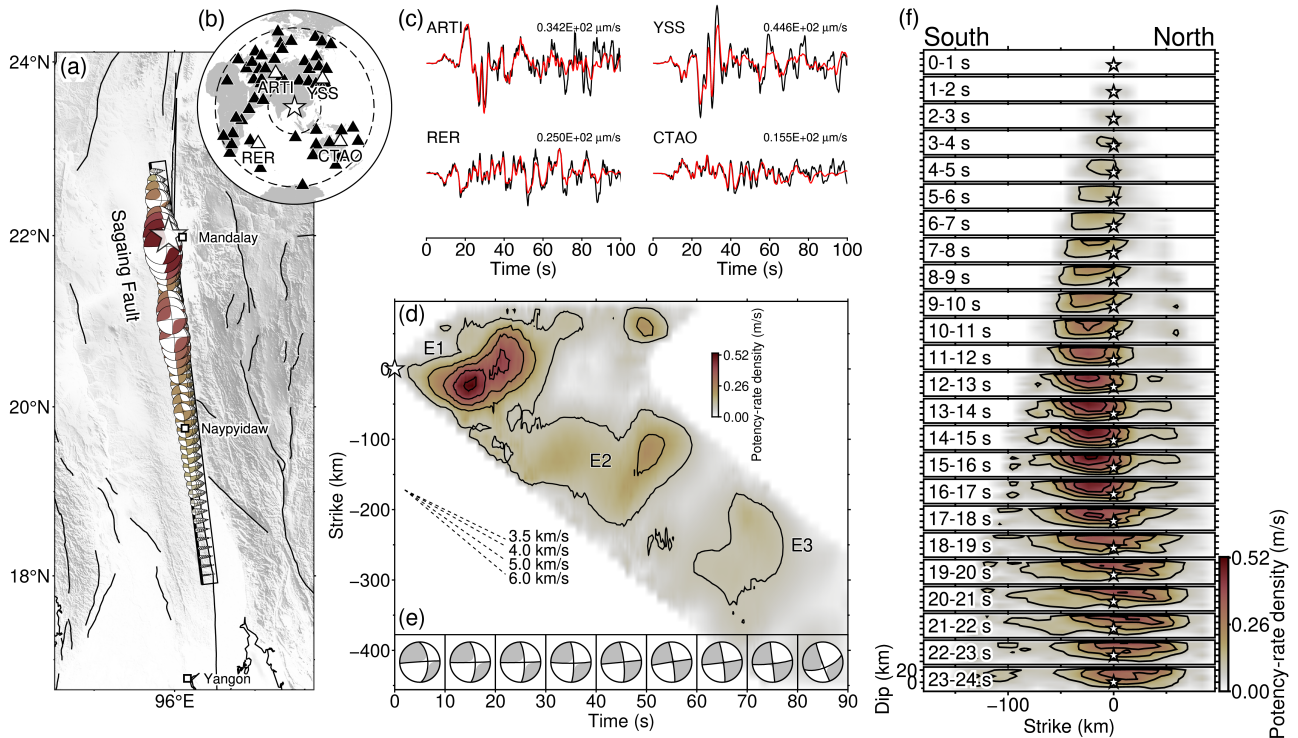


図 解析対象地域と解析結果

(a) ミャンマー大地震の震源領域と解析結果。ビーチボールにより断層形状やすべりの大きさを示す。星は震央、黒線は活断層を示す。(b) 解析に使用した観測点分布。(c) 使用した観測点のうち震源の北側と南側で大きく特徴の異なる波形を選んで示す。黒線は観測波形、赤線は理論波形。(d) 破壊の時間発展を示す図。等高線で滑り速度の大きさを表す。縦軸は断層の走向に沿った震源からの距離、横軸は破壊開始からの時間。(e) ビーチボールにより破壊開始から10秒ごとの断層形状とすべり方向の時間変化を示す。(f) E1における破壊の時空間変化を示す。星が震源であり、はじめ南側へと進行する破壊が、途中で北側に高速で逆伝播する様子を示す。

用語解説

注1) P波

P波は地震波の進行方向に振動する波。地震が発生する断層の形状や断層滑りの方向によって、その波形は変化する。

注2) ポテンシー密度テンソルインバージョン法

断層形状や断層滑りの方向を予め仮定せず、これらを同時推定することで、地震時の震源過程の安定な推定を実現する新たな震源過程解析手法。

注3) 超せん断速度

地震破壊の進む速さは通常、S波が地中を伝わる速度（せん断速度）の70～90%である。せん断速度を超える速度を超せん断速度と呼ぶ。S波は地震波の進行方向に垂直に振動する波であり、P波の後にS波が届く。

研究資金

本研究は科研費による研究プロジェクト（22K03751、25K01075、24H01020）の一環として実施されました。

掲載論文

【題 名】 A multiple asymmetrical bilateral rupture sequence derived from the peculiar teleseismic P-waves of the 2025 Mandalay, Myanmar earthquake. (2025 年ミャンマー地震における特異な遠地実体波 P 波から得られた複数の非対称的なバイラテラル破壊シーケンス)

【著者名】 N. Inoue¹, R. Yamaguchi¹, Y. Yagi², R. Okuwaki², B. Enescu^{3,4}, T. Tadapansawut⁵

1. Graduate School of Science and Technology, University of Tsukuba, Japan

2. Institute of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Japan

3. Department of Geophysics, Graduate School of Science, Kyoto University, Japan

4. National Institute for Earth Physics, Romania

5. College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand

【掲載誌】 *Seismica*

【掲載日】 2025 年 5 月 21 日

【DOI】 10.26443/seismica.v4i1.1691