

トルコ・シリア大地震では 複雑な断層ネットワークが階層的な地震破壊成長を駆動した

今年2月にトルコ・シリアで甚大な被害をもたらした双子地震の震源過程を詳細に解析した結果、曲がりや段差、枝分かれを持つ複雑な断層のネットワークが、破壊伝播速度や破壊進行方向を制御し、小さな破壊イベントから大きな破壊イベントへの階層的な破壊成長をもたらしたことを明らかにしました。

2023年2月6日、シリアとの国境に近いトルコ南東部で、モーメントマグニチュード (Mw) 7.9と7.6の大地震が相次いで発生しました。二つの大地震は時間・空間的に近接しており、双子とも言える地震です。強い揺れによる建物の崩壊などにより、多くの犠牲者を含む甚大な被害が発生しました。

二つの地震の震源域は複数のプレート境界付近に位置しており、この地域では曲がりや段差、枝分かれを持つ幾何的に複雑な断層ネットワークが形成されています。こうした断層ネットワークが、実際の地震の破壊成長をどのように促し、また、どのように停止させるかといったメカニズムについては、明らかにされていませんでした。

本研究では、2023年トルコ・シリア双子地震の震源過程を解析し、複雑な断層ネットワークを介して破壊が階層的に成長する様子を明らかにしました。特に一つ目の地震破壊は、主断層から鋭角に枝分かれする小さな断層破壊から、主断層における大きな断層破壊へと破壊成長がスケールアップする過程で、見かけ上、破壊進行方向をブーメランのように変えながら逆伝播していることが分かりました。また、二つの地震破壊に共通して、部分的に超せん断速度で破壊成長してゆく様子も明らかになりました。さらに二つ目の地震においては、断層の曲がりやが高速の破壊成長をもたらした一方、その破壊を急激に停止させたことも分かりました。

本研究により、幾何的に複雑な断層ネットワークが、地震の規模や破壊伝播速度及び破壊進行方向を制御したことが分かりました。また、断層ネットワークで小さな領域の破壊イベントから大きな破壊イベントへの階層的な破壊成長を促進するプロセスも明らかになりました。断層幾何による階層的な破壊成長や、それに伴う破壊の逆伝播といった新たな発見は、地震発生の理解を深め、地震による被害リスクを評価する上で重要なシナリオを与えます。

研究代表者

筑波大学生命環境系

奥脇 亮 助教

研究の背景

トルコ南東部とシリアの国境付近では、アナトリアプレートとアラブプレートの境界が横ずれ型の大規模断層帯である東アナトリア断層帯を形成し、活発な地震活動がみられます。特に東アナトリア断層帯の南西端ではこれにアフリカプレートを加えた三つのプレートが交わり、断層の曲がりや段差、枝分かれなどを擁する極めて複雑な断層ネットワークが形成されています (図)。

こうした複雑な断層ネットワークにおいて、地震破壊がどのように成長し、またどのように停止するかといったメカニズムは、これまで理論的な研究が進められてきたものの、実際の地震時にどのような振る舞いを見せるか、その多くが謎でした。

今回、筑波大が主導し、トルコ、イギリスの研究者が加わった国際研究チームは、2023年2月6日にトルコ・シリア国境付近で発生したモーメントマグニチュード (Mw) 7.9 と 7.6 の二つの大地震 (以下、2023年トルコ・シリア双子地震) の発生機構を詳細に解析し、複雑な断層ネットワークによって駆動される、階層的な破壊成長のイメージングに成功しました。

研究内容と成果

本研究で行った2023年トルコ・シリア双子地震の解析では、世界各地の地震観測網が捉えた地震波形データを用いました。一つ目の地震は39地点、二つ目の地震は37地点の観測データを使用しました。

一つ目の地震 (Mw 7.9) は、主要な断層帯である東アナトリア断層帯ではなく、その東側で鋭角に枝分かれした小断層で地震破壊が始まりました (参考図 a の破壊エピソード E1)。その後、破壊は東アナトリア断層へと乗り移り、断層帯に沿って曲がりながら、部分的に超せん断速度^{注1)} で高速に伝播するエピソードを伴いつつ、南西へとブーメランのように逆方向に伝播しました (同 E2)。東アナトリア断層の北東部分では、さらに別の破壊エピソードが進行したことも分かりました (同 E3)。その後、東アナトリア断層の南西部ではさらに大きな領域を破壊するイベントが続き、地中海付近において破壊が停止しました (同 E4)。

その約9時間後、東アナトリア断層帯から西に枝分かれするスルグ断層帯において、二つ目の地震 (Mw 7.6) が発生しました。この地震破壊は、曲がりを持つ断層に沿って、東西両方向へと伝播しました。特に西方向の破壊は、超せん断速度で高速に伝播しましたが、断層の曲がりによって、急激に破壊が停止したことが分かりました。

本研究により、断層の曲がりや段差、枝分かれを含むセグメント化された断層ネットワークが、極めて複雑な破壊過程を駆動したことが分かりました。特に一つ目の地震に見られる、見かけ上の逆伝播様式は、主要断層から枝分かれした小断層における小さな破壊が、その後の主要断層における大きな破壊へと階層的にスケールアップした過程でもたらされたユニークな破壊様式といえます。また、二つ目の地震においては、断層の曲がりや、破壊の成長と停止の両面をコントロールしたことを示しています。

今後の展開

本研究は、幾何的に複雑な断層ネットワークが破壊成長をスケールアップさせ、結果的に見かけ上の破壊逆伝播や超せん断破壊を伴う多様な破壊成長を駆動させることを、実際の地震で明らかにしたものです。こうした知見は、地震発生物理の理解を深化させるだけでなく、特異な配置を擁する断層ネットワークにより駆動される逆伝播破壊のような、地震による被害リスクを増大させる破壊成長の新たなシナリオを提示するもので、今後の地震被害を評価する上で重要な知見と言えます。

参考図

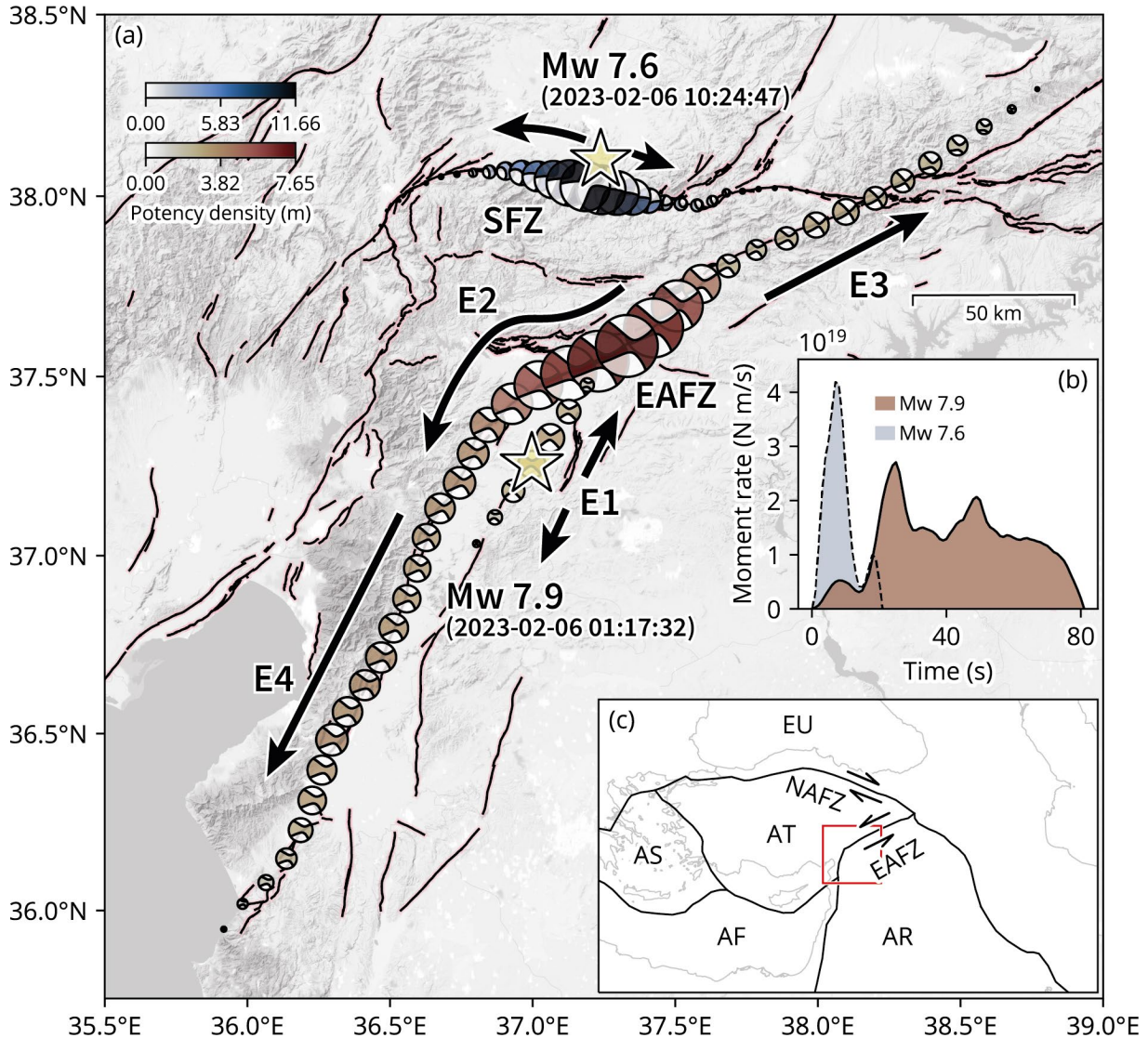


図 本研究結果のまとめ

世界各地の地震観測網が捉えた2023年トルコ・シリア双子地震の地震波形データを使い、断層すべりと断層形状を同時に推定しました。赤系統の色で一つ目の Mw 7.9、青系統の色で二つ目の Mw 7.6 の地震の解析結果を示します。すべりの大きさは色の濃淡で表現しました。星印は震央です。地図上の太い矢印は、主な破壊進行方向を示します。一つ目の地震の破壊エピソードは、E1→E2→E3→E4 の順に進行しました。赤で縁取った線は活断層を示します。中央のパネル(b)は、それぞれの地震におけるエネルギーの解放履歴を示します。下のパネル(c)は、より広域なプレートの分布を示します。本研究の対象領域(赤枠)は、アナトリアプレート(AT)、アラビアプレート(AR)、アフリカプレート(AF)の交差点付近に位置し、主要な断層帯は横ずれ型の東アナトリア断層帯(EAFZ)です。二つ目の地震の震源域はスラブ断層帯(SFZ)に位置します。アナトリアプレートとユーラシアプレート(EU)の境界には北アナトリア断層帯(NAFZ)が発達します。アナトリアプレートのさらに西にはエーゲ海プレート(AS)が存在します。

用語解説

注1) 超せん断速度

通常、地震破壊の進む速さはS波(動きの方向が波の進む方向に直交する波)が地球の地殻を通過する速さ(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。本研究で解析した 2023 年トルコ・シリア双子地震などの横ずれ断層型地震では、せん断速度よりも速い速度で地震破壊が進む場合があり、これを超せん断破壊 (supershear rupture) と呼ぶ。

研究資金

本研究は、科研費による研究プロジェクト (19K04030、22K03751、20K14570、22K21372) の一環として実施されました。

掲載論文

【題 名】 Multi-Scale Rupture Growth With Alternating Directions in a Complex Fault Network During the 2023 South-Eastern Türkiye and Syria Earthquake Doublet.

(2023 年トルコ・シリア双子地震は、複雑な断層ネットワークにおいて破壊進行方向の逆転を含む階層的な破壊成長過程を持つ)

【著者名】 Okuwaki, R., Yagi, Y., Taymaz, T, and Hicks, S. P.

【掲載誌】 *Geophysical Research Letters*

【掲載日】 2023 年 6 月 21 日

【DOI】 10.1029/2023GL103480

問合わせ先

【研究に関すること】

奥脇 亮 (おくわき りょう)

筑波大学生命環境系 助教

URL: <https://trios.tsukuba.ac.jp/ja/researcher/0000004310>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp