

地震時の破壊伝播の非常識は常識になるか？ ～2010年 El Mayor-Cucapah 地震で観測された逆破壊伝播～

地震は震源から破壊が開始し、震源から遠ざかるように断層面上で破壊が伝播する。これが地震学の常識でした。しかし近年、破壊が震源から遠ざかった後、震源方向に破壊が逆伝播（逆破壊伝播）する地震の存在が確認されるようになりました。これには、本研究チームが開発した新手法「ポテンシー密度テンソルインバージョン」が大きく貢献しています。複雑な断層帯で発生する地震を的確に解析できるため、地震学の常識を覆す、震源に向かうように逆破壊伝播する地震の発見が相次いでいます。この手法は、断層の形状と破壊伝播過程の同時推定も可能としたため、断層形状の不連続な変化が不規則な破壊伝播に影響を与えることも明らかになりつつあります。

2010年 El Mayor-Cucapah 地震は2010年4月、アメリカ・メキシコ国境付近で発生した地震です。現地では、地震の破壊が逆方向に伝播したとの証言がありました。本研究チームは、当時の観測データにポテンシー密度テンソルインバージョンを適用し、本地震の断層形状と破壊伝播過程を同時推定しました。その結果、地震発生から15秒間、震源から遠ざかるように初期破壊が伝播した後、主破壊が震源に向かっていく様子を捉えることに成功しました。地表に現れた断層と整合的な断層形状の情報を取り出すことにも成功しました。さらに、断層形状が不連続に変化する領域で破壊がいったん押しとどめられ、その後急加速する様子も捉えることができました。

本研究の結果は、地震学者の常識だった、破壊は断層に沿って震源から離れる方向に伝播するという考えはもはや時代遅れであり、将来発生する恐れがある大地震の地震動を予測する際には逆破壊伝播も考慮に入れる必要があることを示しています。

一方、本研究が示すように、断層形状と破壊伝播過程の関係性を地震波解析によって捉えることができるようになってきました。震源断層は予め調査することができます。新手法による地震波解析の結果と活断層調査の結果を統合することで、地震動予測の精度を高められる可能性も示しています。

研究代表者

筑波大学生命環境系／山岳科学センター

八木 勇治 教授

研究の背景

地震は、震源から破壊が断層面に沿って伝播する現象で、短時間に莫大なエネルギーが解放されます。持続的な人間活動を行う上で、地震現象を理解し、将来の発生に備えることが極めて重要です。

近年、地震観測網が発達し、データの質と量は向上しましたが、これらのデータをうまく説明できない地震が増えてきました。筑波大学では、向上したデータの質と量に見合うデータ駆動型の解析手法「ポテンシー密度テンソルインバージョン^{注 1)}」を開発しています。この手法は登場と共に多くの地震に適用され、さまざまな現象の発見を生み出してきました。本研究は、複数の断層を破壊してマグニチュード (M) 7 を超える巨大地震に成長したことで知られる 2010 年 El Mayor-Cucapah 地震にポテンシー密度テンソルインバージョンを適用し、破壊伝播過程と断層形状の関係を詳細に調べました。

研究内容と成果

本研究の解析には、2010 年 El Mayor-Cucapah 地震発生時に世界中で観測された地震波形データを使用しました。解析に用いるモデル断層平面は、地表面破壊に沿って北西—南東方向に鉛直に配置しました (参考図上段)。解析の結果、震源付近で始まった初期破壊は、15 秒間、震源から遠ざかるように北西方向へ伝播した後、震源北西部 20 km で主破壊を生じさせ、再び 15 秒間、今度は震源に向かって伝播する様子が捉えられました (参考図下段)。このような、震源から遠ざかった破壊が再び震源の方向に戻ってくる現象は、これまで地震学者の暗黙の了解であった、地震の破壊は震源から遠ざかるように伝播していくという前提を覆すものです。

また、本研究の解析は、震源北西部 20 km で生じた主破壊は北西方向へも伝播し、震源北西部 30 km で 21 秒まで停滞した後、急加速する様子を捉えました (参考図下段)。本研究の地震波形解析により、この破壊の停滞と加速は、断層形状の折れ曲がりによって制御されていることが明らかになりました。破壊停滞が見られた震源北西部 30 km は、現地のフィールド調査で地表面破壊の不連続性が確認された領域に対応しており、地下の断層形状の変化が複雑な地表面破壊をもたらした可能性があります (参考図)。

本研究は 2010 年 El Mayor-Cucapah 地震における、震源から遠ざかってから再び震源に戻ってくる破壊の存在と、断層形状の屈曲による破壊の停滞および加速を明らかにしました。これらの震源過程は、従来の、モデル化に伴う誤差を無視していたためにデータの持つ特性を活かしきれなかった震源過程解析ツールでは再現が困難な現象です。本研究成果により、複数の断層とそれらの形状の不連続性は、従来想定されていた以上に複雑な地震の破壊伝播過程をもたらす得ることが明らかになりました。

今後の展開

本研究チームは今後も、複雑な破壊過程を持つ地震をデータ駆動型のアプローチで研究する取り組みを進めていきます。本学で開発されているポテンシー密度テンソルインバージョンは、今まで解析が困難であった地震を安定に解析することを可能とし、さまざまな新知見をもたらしつつあります。新手法で解析する地震を増やすと同時に、手法の更なる高度化を図り、大地震の実像に迫っていきます。

参考図

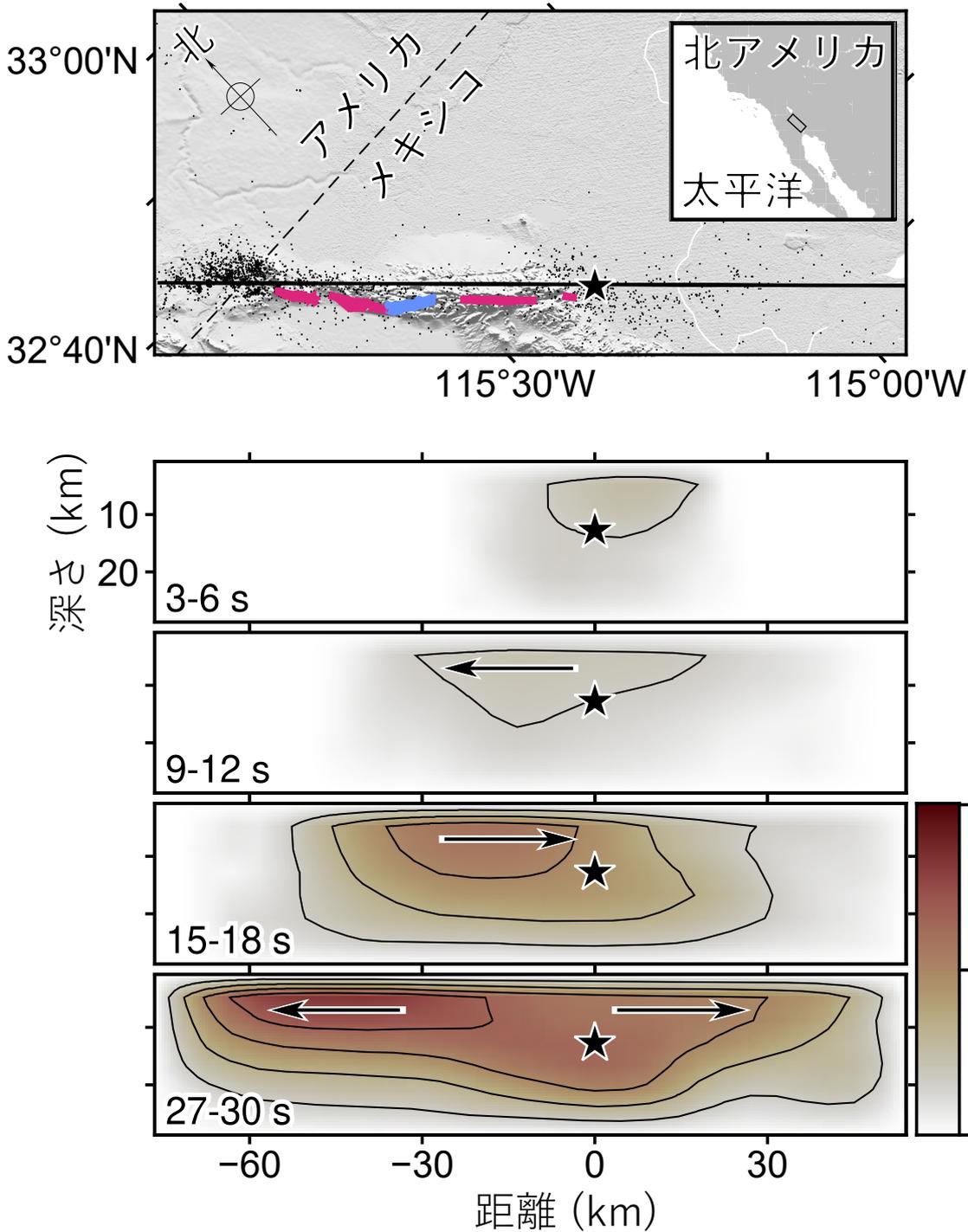


図 本研究の解析対象地と解析結果

(上段) 2010年 El Mayor-Cucapah 地震周辺地域の地形図。図中の水平線は解析で用いた鉛直モデル断層面の上部を表す。星印は震央、黒点は本震から3日以内に発生した余震、破線はアメリカとメキシコの国境、赤線はフィールド調査で得られた地表面破壊、青線は地表面破壊が不連続な場所をそれぞれ示す。挿入図は研究対象地域の広域図を表す。(下段) 本研究で得られた2010年 El Mayor-Cucapah 地震のすべりの速度のスナップショット。星印は震源、矢印は破壊の伝播方向、青い影はモデル断層平面に投影した地表面破壊が不連続な領域をそれぞれ示す。

用語解説

注1) ポテンシー密度テンソルインバージョン

地震時の破壊伝播を調べるには、断層面上のすべりを推定すればよい。すべりを推定するには断層面を設定する必要がある。複雑な断層帯で発生した震源断層を正確にモデル化するのはほぼ不可能であることが起因して、解析を安定に行うことが困難になっていた。ポテンシー密度テンソルインバージョンは、断層面上のすべりをテンソルで表現することにより、断層の形状の情報と破壊伝播過程を同時推定することを可能にした手法である。

研究資金

本研究は、JSPS 科研費 (19K04030)、研究大学強化促進事業 (国際テニユアトラック制度) などの支援で実施されました。

掲載論文

【題名】 Irregular rupture propagation and geometric fault complexities during the 2010 Mw 7.2 El Mayor-Cucapah earthquake

(2010年 Mw 7.2 El Mayor-Cucapah 地震における不規則な破壊伝播と断層幾何形状の複雑性)

【著者名】 Shinji Yamashita (山下 真司)¹, Yuji Yagi (八木 勇治)², & Ryo Okuwaki (奥脇 亮)^{2,3,4}

¹筑波大学 地球科学学位プログラム、²筑波大学 生命環境系、³筑波大学 山岳科学センター、⁴ University of Leeds

【掲載誌】 Scientific Reports

【掲載日】 2022年3月17日

【DOI】 10.1038/s41598-022-08671-6

問合わせ先

【研究に関すること】

八木 勇治 (やぎ ゆうじ)

筑波大学生命環境系/山岳科学センター 教授

URL: <https://www.geol.tsukuba.ac.jp/~yagi-y/index.html>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報室

TEL: 029-853-2040

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