



筑波大学
University of Tsukuba



筑波大学山岳科学センター
Mountain Science Center
University of Tsukuba



立命館大学

2020年7月17日

報道関係者 各位

国立大学法人筑波大学
立命館大学

尺取り虫のように進む、巨大地震の高速破壊

～2018年インドネシア地震の特異な破壊成長過程を解明～

研究成果のポイント

1. 2018年インドネシアで発生した巨大地震は、断層の屈曲に沿って破壊が進展と停滞を繰り返す、尺取り虫のように進む特異な様式だったことを見出しました。
2. 最新の地震波形解析手法を用い、これまでは詳細な解析ができなかった、複雑な断層形状と地震破壊成長の関係を明らかにしました。
3. 本研究成果は、巨大地震の破壊成長機構の理解を促す新知見です。

国立大学法人筑波大学生命環境系・山岳科学センターの奥脇亮助教、八木勇治教授、清水宏亮大学院生(当時、現気象庁)と立命館大学理工学部物理科学科の平野史朗助教らの研究グループは、八木教授らが開発した最新の地震波形解析手法を用い、2018年にインドネシアで発生した巨大地震を解析しました。これにより、2018年インドネシア地震の地震破壊成長^{注1)}は、断層の屈曲に沿って停滞と進展を繰り返す、特異な様式を持つことを明らかにしました。

地震破壊の発生する断層は、段差や折れ曲がりなど、複雑な形状を持つことがわかっています。こうした断層の幾何的複雑性と巨大地震の破壊成長様式の関係は、理論的な研究によりさまざまなモデルが提案されている一方、実際の地震を使ってその検証を行うのは困難でした。

本研究では、2018年にインドネシアで発生したマグニチュード(M)7.6の巨大地震に対し、世界各地で観測されたその地震波形データを使い、複雑な断層形状と地震破壊成長の関係を詳細に解析する最新手法を適用しました。その結果、超せん断速度^{注2)}で進展する破壊前線は、まるで尺取り虫が進むように停滞と進展を伴いながら伝播することが分かりました(参考図参照)。

更に、この破壊前線は、断層形状が破壊成長にとって不都合な折れ曲がりをもつ場合には停滞し、逆に破壊成長の好む折れ曲がりを持つ場合には進展することを、実際の地震波形データ解析により初めて明らかにしました。

本研究結果は、断層形状の複雑性が巨大地震の破壊成長を決定する重要な因子であることを示しており、巨大地震の発生メカニズムを理解する上で重要な新知見です。

※本研究成果は、2020年7月15日付「Earth and Planetary Science Letters」でオンライン先行公開されました。

※本研究は、研究大学強化促進事業(国際テニュアトラック制度)、JSPS科研費(JP16J00298、JP19J00814、JP19K04030)の支援を受けて実施されました。

研究の背景

地震の発生する断層は、折れ曲がりや段差を伴う、複雑な形状を持つことが知られています。こうした断層の幾何的複雑性は、地震破壊の進展を妨害・促進することが、理論的な研究や数値シミュレーションによって提案されてきました。実際の地震時に、断層の幾何的複雑性が地震破壊の成長様式をどのようにコントロールするのかを明らかにすることは、巨大地震の破壊成長要因を理解する上で重要です。

しかし、複雑な断層形状を伴う地震の震源過程解析は技術的な困難が多く、断層の幾何的複雑性と地震破壊成長の関係を、実際の地震波形データを用いて検証することは困難でした。八木教授の研究室は、地震時断層すべり^{注3)}と断層形状を同時に推定する新たな地震波形解析手法（参考文献[1]）を開発し、複雑な断層形状を持った地震に対しても、地震時断層すべりの時空間分布を安定に推定することを可能にしました。

本研究では、2018年インドネシアで発生したマグニチュード(M)7.6の巨大地震に対して、上記の地震波形解析手法を適用し、複雑な断層形状と巨大地震破壊成長の関係を詳しく調べました。

研究内容と成果

本研究の解析には、全世界のデジタル地震観測網で観測された遠地実体波^{注4)}を用いました。

破壊域は震央から南におよそ150 kmに渡って広がり、震央付近および震央から南60 km地点において約4.25 mの大きな断層すべりが確認されました。破壊進展の速度は均一ではなく、震央付近において約10秒間停滞した後、急速に南へと破壊が進展するなど、破壊成長は停滞と進展を繰り返すことが分かりました（図1）。

こうした破壊成長の進展と停滞は、地震波形解析により同時に推定した断層形状の折れ曲がりと対応していました。本研究で求めた断層すべりの時空間分布と、衛星画像解析により推定された断層形状を比較した結果、破壊前線は、断層形状の折れ曲がりによって不都合な配置の場合に停滞し、逆に好都合な配置の場合に進展することが分かりました。

本研究結果は、断層形状の複雑性が、尺取虫のように運動する特異な地震破壊成長様式をコントロールすることを示唆しています。こうした特異な地震破壊成長の振る舞いは、理論的な研究によって予想されていましたが、実際の地震波形データを用いた本研究により、初めてその姿が明らかとなりました。

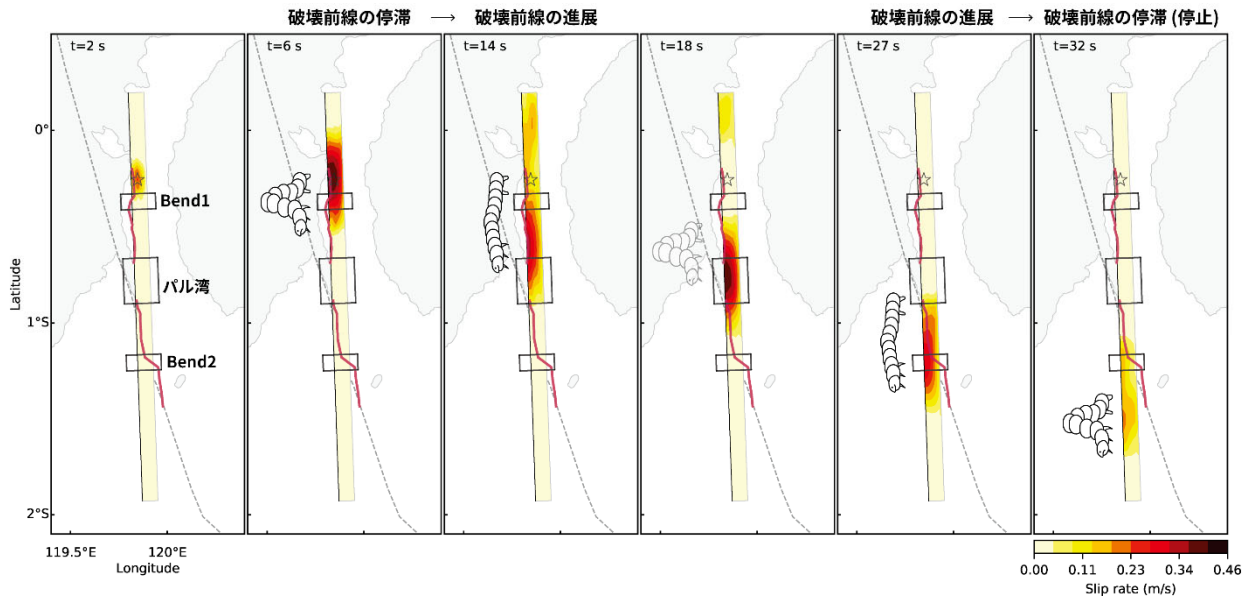
今後の展開

本研究成果は、断層形状の複雑性が、地震破壊を停滞させるか、あるいは進展させるかをコントロールする重要な因子であることを明らかにしたものです。

断層形状の複雑性は、あらゆるスケールにおいて存在することが指摘されています。本研究で見出した断層形状の複雑性と地震破壊成長の関係が、スケールの異なる地震や、沈み込み帯など発生場の異なる地震においても同様に観測されるのかについて、今後さらなる解析を行っていきます。

また、本研究は、断層形状の複雑性が地質調査や衛星画像解析により事前に推定されている場合、将来発生し得る地震が巨大になるのか、あるいは地震破壊が途中で停止して中・小地震にとどまるのかなど、地震発生リスクの評価に貢献することが期待されます。

参考図



Okuwaki, R., Hirano, S., Yagi, Y., & Shimizu, K. (2020).

Inchworm-like source evolution through a geometrically complex fault fueled persistent supershear rupture during the 2018 Palu Indonesia earthquake.

Earth Planet. Sci. Lett., <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116449>.

図 1:地震破壊成長と複雑な断層形状との関係を破壊成長過程のスナップショットで示す。色付けした等高線で断層すべり速度の大きさを示す。赤太線は断層形状。各パネルの左上に、破壊開始からの経過時間を示す。星印で示した震央から、破壊前線が南へと伝播し、断層の屈曲 Bend1 では破壊前線の停滞、屈曲 Bend2 では破壊前線の進展が顕著にみえる。破壊前線の停滞と進展の様子を、尺取虫の運動で図化した。

参考文献

- [1] Shimizu, K., Yagi, Y., Okuwaki, R., Fukahata, Y., Development of an inversion method to extract information on fault geometry from teleseismic data, *Geophysical Journal International*, Volume 220, Issue 2, February 2020, Pages 1055–1065, <https://doi.org/10.1093/gji/ggz496>

用語解説

- 注1) 地震破壊成長 地下の岩石で生じた破壊が、その領域を拡げながら断層を形成してゆく様子。
- 注2) 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2018年インドネシア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。
- 注3) 断層すべり 断層が面に沿って食い違う様子を断層すべりと呼ぶ。
- 注4) 遠地実体波 震源から地球内部を伝播し、震央から遠方(およそ3000~10000km離れた)の観測点で観測された地震波。

掲載論文

【題名】 Inchworm-like source evolution through a geometrically complex fault fueled persistent supershear rupture during the 2018 Palu Indonesia earthquake

(幾何的に複雑な断層を尺取虫のように進展する地震破壊が、2018年インドネシア・パル地震の超せん断破壊をもたらした)

【著者名】 Ryo Okuwaki (奥脇 亮) 国立大学法人筑波大学 生命環境系・山岳科学センター
Shiro Hirano (平野 史朗) 立命館大学工学部物理科学科
Yuji Yagi (八木 勇治) 国立大学法人筑波大学 生命環境系・山岳科学センター
Kousuke Shimizu (清水 宏亮) 国立大学法人筑波大学 生命環境科学研究科 (当時)

【掲載誌】 *Earth and Planetary Science Letters*

【DOI】 <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116449>

問合わせ先

<研究に関すること>

奥脇 亮(おくわき りょう)

国立大学法人筑波大学 生命環境系・山岳科学センター 国際テニュアトラック助教
(英国・リーズ大学に滞在中)

〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: rokuwaki@geol.tsukuba.ac.jp

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

<報道に関すること>

筑波大学広報室

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

Tel: 029-853-2039 Fax:029-853-2014

立命館大学広報課

E-mail: r-koho@st.ritsumei.ac.jp

Tel:075-813-8300 Fax:075-813-8147