

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：82102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04022

研究課題名（和文）歪みエネルギー変化に基づく余震活動の評価

研究課題名（英文）Evaluation of aftershock activity based on strain energy changes

研究代表者

田中 佐千子（Tanaka, Sachiko）

国立研究開発法人防災科学技術研究所・地震津波火山ネットワークセンター・主任研究員

研究者番号：30551535

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：本震の断層運動により、地下の周辺域では歪みエネルギーが蓄積または解放される。本研究では、これまで用いられてきた破壊基準の観点からではなく、地震を引き起こす原動力となる歪みエネルギーそのものの変化に注目し、これらの変化と余震活動の対応関係を検証した。様々な本震に対する余震活動を統一的に取り扱うことにより、両者の対応関係の普遍性や特性を明らかにし、それらをもたらず要因について考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

通常、余震の規模は本震と比べると一回り小さいが、追加的な被害を生じさせるような大きな余震が発生する場合もある。本研究では、本震によって生じる歪みエネルギーの変化と余震活動の空間的な広がりや分布との対応関係を評価し、特に余震活動が広範囲に及ぶ場合に歪みエネルギーの増加の寄与が大きいことを明らかにした。余震活動を支配する物理法則を明らかにすることは、その予測精度を向上させ、被害を軽減する上でも重要である。

研究成果の概要（英文）：This study focused on shear strain energy changes caused by large earthquakes and examined their influences on the locations of aftershocks. Not all cases show significant correlations between them. However, clear correlations were observed for the sequences which had relatively large aftershock areas. This suggests that the locations of aftershocks excluding near-field events can be effectively controlled by increases of shear strain energy induced by the mainshocks.

研究分野：地震学

キーワード：歪みエネルギー 余震活動

1. 研究開始当初の背景

地震が発生すると、地下に蓄積された歪みエネルギーのバランスが変化する。この変化によって、規模の大きい地震（本震）の後には、続いて多数の地震（余震）が発生することが知られている。余震は本震の震源断層の周辺で発生するのが一般的であるが、遠く離れた場所で地震活動が活発化することもある（広義の余震）。余震活動の空間的な広がりについては、これまで、地震の誘発現象の観点からクーロンの破壊基準に基づいた説明が広く用いられてきた（Stein, 1999; Stacy et al., 2005）。しかし、クーロンの破壊応力の評価には、誘発される地震の断層面の幾何形状を仮定する必要があるため、事前に予測することが難しい。機械学習による余震活動パターンの調査では、クーロンの破壊応力による余震活動分布の予測精度は必ずしも高くなく、より適切な物理量が存在する可能性が示唆されていた（DeVries et al., 2018）。

2. 研究の目的

本研究では、これまで用いられてきた破壊基準の観点からではなく、地震を引き起こす原動力となる歪みエネルギーそのものの変化に注目し、余震活動の特性を評価することを試みる。歪みエネルギーの変化はその場の背景応力に規定され、背景応力は通常時に発生する地震の発震機構解から事前に推定することが可能である（Saito et al., 2018; Noda et al., 2020）。日本列島内陸部の多数の本震 - 余震系列を網羅的に調査し、歪みエネルギーの変化と余震活動の対応関係を検証する。得られた結果を統一的に取り扱うことにより、両者の対応関係にみられる特徴、共通点や相違点等々を評価し、それらをもたらし要因について考察する。

3. 研究の方法

本研究では、本震の断層運動による歪みエネルギーの変化とその後の余震活動との対応関係を定量的に明らかにする。特に、余震活動の空間的な広がりや分布、発生頻度の高低、規模の特性等に注目する。日本列島内陸部で発生した浅い地震を対象とし、地震カタログに対してクラスタリング処理（時空間的に近接した地震群を抜きだす処理）を実施することにより、様々な本震に対する余震系列の抽出を行う。地震カタログは、基盤観測網データの処理結果として20年以上にわたって防災科学技術研究所に蓄積された震源情報を用いる。本震による剪断歪みエネルギーの変化は、Saito et al. (2018) の導出に従い、半無限均質弾性体を仮定して計算する。本震の断層運動は、地殻変動データを用いて推定されたすべり分布を利用する。背景応力場は、基盤観測網データから得られたP波初動の極性データに対して、応力テンソルインバージョン法を適用することにより、推定する。

4. 研究成果

まず、日本列島下の内陸地震（マグニチュード 5.5~7.3, 26 個）について、余震系列の抽出を行い、余震域の空間的な広がりを調査した。抽出した余震系列から余震域を定義し、本震規模とのスケール関係性を改めて検討した。また、様々な断層幾何の断層運動によって生じる剪断歪みエネルギーの変化を評価し、その統計的な特徴を、余震域の広がりに対するスケール関係と比較した。余震域の広がりには、平均的な剪断応力の変化に換算して 0.01MPa 程度以上の剪断歪みエネルギーの増加域に対応することが明らかになった。

次に、2011 年東北地方太平洋沖地震（マグニチュード 9.0）の発生後、日本列島内陸域の各地で確認された地震活動の活発化に注目した。東北地方太平洋沖地震によってもたらされた剪断歪みエネルギーの変化を評価し、活発化した地震活動との比較を行った。東北地方太平洋沖地震により、東北日本・中部日本では広範囲にわたって剪断歪みエネルギーは解放され、地殻内のエネルギーは減少する。しかし、一部地域では増加を示し、地震活動が活発化した地域は、この剪断歪みエネルギーの増加域とよい相関を示すことが明らかになった。これらの地域の剪断歪みエネルギーの変化は、平均的な剪断応力に換算して概ね 0.01MPa 以上の増加に対応する。

さらに、日本列島内陸域の地震（マグニチュード 6.1~7.3, 12 個）について、本震による剪断歪みエネルギーの変化と余震活動の対応関係を調査した。2016 年熊本地震（マグニチュード 6.5, 7.3）では、本震によって剪断歪みエネルギーが増加した領域に余震の約 8 割が集中して発生していたことが明らかになった。同様に、剪断歪みエネルギーの増加域に余震活動が集中する傾向は、6 つの本震 - 余震系列で確認された。一方、残りの 6 例については、剪断歪みエネルギーの増加との間に明瞭な相関は認められなかった。

本震による剪断歪みエネルギー変化と余震活動との相関の有無について、その特徴や差異をもたらし要因について検討した。相関の有無に、本震の規模や断層タイプ、余震の発生数や継続時間、規模別の頻度特性による違いは確認できなかった。一方、相関のみられた事例は、余震活動の減衰がやや早い傾向をもつことが確認された。また、本震規模に対する平均的な余震域面積

と比較して、余震域が広いことが明らかになった。相関の認められなかった事例についても、そのうちの半数は、規模の大きい余震に限定すると、剪断歪みエネルギーの増加域に集中する傾向が顕著であることが確認された。

<引用文献>

- Stein, R. S. (1999), The role of stress transfer in earthquake occurrence, *Nature*, 402, 605–609.
- Steady, S., Gomberg, J., & Cocco, M. (2005). Introduction to special section: Stress transfer, earthquake triggering, and time-dependent seismic hazard. *Journal of Geophysical Research*, 110, B05S01.
- DeVries, P. M. R., Vigan, F., Wattenberg, M., & Meade, B. J. (2018). Deep learning of aftershock patterns following large earthquakes. *Nature*, 560(7720), 632–634.
- Saito, T., Noda, A., Yoshida, K., & Tanaka, S. (2018). Shear strain energy change caused by the interplate coupling along the Nankai Trough: an integration analysis using stress tensor inversion and slip-deficit inversion. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, 5975–5986.
- Noda, A., Saito, T., Fukuyama, E., Terakawa, T., Tanaka, S., & Matsu'ura, M. (2020). 3-D spatial distribution of shear strain energy changes associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, southwest Japan. *Geophysical Research Letters*, 47, e2019GL086369.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Noda Akemi, Saito Tatsuhiko, Fukuyama Eiichi, Terakawa Toshiko, Tanaka Sachiko, Matsu'ura Mitsuhiro	4. 巻 47
2. 論文標題 The 3 D Spatial Distribution of Shear Strain Energy Changes Associated With the 2016 Kumamoto Earthquake Sequence, Southwest Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2019GL086369
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2019GL086369	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 田中佐千子
2. 発表標題 余震規模による剪断歪みエネルギー変化と余震位置の相関
3. 学会等名 日本地震学会20203年度秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中佐千子
2. 発表標題 Shear strain energy changes caused by large crustal earthquakes in Japan and their influences on the locations of aftershocks
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中佐千子
2. 発表標題 内陸地震の余震活動と剪断歪みエネルギー変化
3. 学会等名 日本地震学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田中佐千子・齊藤竜彦・野田朱美・吉田圭佑
2. 発表標題 2011年東北地方太平洋沖地震後の地震活動の活発化と剪断ひずみエネルギー変化
3. 学会等名 日本地震学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野田朱美・齊藤竜彦・福山英一・寺川寿子・田中佐千子・松浦充宏
2. 発表標題 2016年熊本地震による地殻内せん断歪みエネルギー変化の定量評価：余震活動との関係
3. 学会等名 日本地震学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 田中佐千子・齊藤竜彦・野田朱美
2. 発表標題 日本列島下における内陸地震の余震域の広がり
3. 学会等名 日本地震学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------