SURE 静岡大学学術リポジトリ
Shizuoka University REpository

# 弱い断層における大きな地震の発生過程：強度の低さによる制約



| メタデータ | 言語: Japanese<br>出版者: 静岡大学<br>公開日: 2020-04-13<br>キーワード (Ja): 地震, 地殻変動, 断層, 摩擦構成則, 重力, 応力変化<br>キーワード (En):<br>作成者: 三井, 雄太<br>メールアドレス:<br>所属: |
|---|---|
| URL | http://hdl.handle.net/10297/00027374 |

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

# 科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　元 年　 ６ 月 １０ 日現在

機関番号：１３８０１
研究種目：若手研究(B)
研究期間：2016～2018
課題番号：１６Ｋ１７７９１

研究課題名（和文）弱い断層における大きな地震の発生過程：強度の低さによる制約

研究課題名（英文）On source processes of large earthquakes at weak faults: Constraints from shear strength

研究代表者
三井　雄太（Mitsui, Yuta）

静岡大学・理学部・講師

研究者番号：８０７１７９５０

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究計画では、近年の知見を基に、大きな歪みを溜められない弱い断層で生じる地震のメカニズムを探究した。主な成果として、以下の2つがある。(1)世界中のプレート沈み込み帯で発生する中程度の大きさの地震活動が、地下水などの季節変動による小さな重力変化と関係していることを発見した。 (2)ゆっくりすべる性質を持つ断層でも、近場で複数並行している場合、相互作用により高速ですべる場合があることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
本研究では、地下の地震活動が、地表でも見られる水の質量移動と力学的に関係する可能性があることを示した。また、繋がっているのではなく並行している複数の断層が近場に存在すると、単独の断層では起こらない挙動が生じ得ることを示した。いずれも、複雑な性質を持つ地震活動と、単純化された地震発生過程モデルとのギャップを埋めるために、重要な知見をもたらすものである。

研究成果の概要（英文）：This research project investigated mechanisms of earthquake generation processes on weak faults that do not support large strain. The main achievements are as follows: (1) we found correlation between moderate earthquake activities and small annual gravity changes at global subduction zones; (2) we showed that parallel geometries sometimes lead to high-speed slip events for faults that host slow slip events.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：地震　地殻変動　断層　摩擦構成則　重力　応力変化

## １．研究開始当初の背景

ほとんどの非火山性自然地震は、数年から数千年かけて蓄積された歪みが断層のせん断破壊(すべり)により解放される現象、とみなせる。例えば、日本周辺のような海洋プレートと大陸プレートの沈み込み境界では、プレート境界そのものを断層として、プレート内部よりも大きな地震が発生することが経験的に知られている。2011 年東北地方太平洋沖地震(以下、東北地震と略記)は、このプレート境界地震として典型的なもので、日本周辺で発生した地震として史上最大(マグニチュード 9.0)、近代的な観測が始まってから地球上で発生した地震の中で 5 本の指に入る巨大地震であった。この東北地震の前後で、周辺領域において発生する小さな地震の断層運動の向きが顕著に変化したことが、Hasegawa et al. (2011)らを初めとして、複数の研究により報告された。この変化は、周辺の断層の強度がもともと小さく、地中の静岩圧から類推されるより遥かに動きやすい状態にあったことを示唆している。同様の概念は以前から提唱されていたが、2011 年東北地震とその前後の地震によって立証された形となった。原因としては、間隙流体の断層への浸潤が有力であり、特別な局所的現象というよりも一般的な現象である可能性が高い。

## ２．研究の目的

大きな歪みを溜められない弱い断層上で生じる地震のメカニズムを力学面から探究する。特に、強度の低さという点が地震発生にどんな特徴を与えるのか、データ解析と物理モデルの両面から解明する。

## ３．研究の方法

地表の変位データ、重力変動データなどを統計的に解析し、実際の地震(断層運動)との関係を探る。弾性体力学と摩擦構成則を組み合わせた数値力学モデルにより、弱い断層間の相互作用や、外力の影響について実験する。

## ４．研究成果

(1)

当初の計画では予定に入っていなかった、2016 年 4 月 16 日に発生したマグニチュード 7 級の熊本地震の発生過程について、研究を行った。国土地理院による GNSS 観測網が整備されてから後、かつ、2011 年東北地震による擾乱を受けるより前、の期間に相当する、2000 年から 2010 年にかけての地殻変動データに着目した。このデータには、過去の地質学的・測地学的研究で提唱されてきた別府－島原地溝帯という領域での、南北伸張および沈降のトレンドが系統的に見られた。このデータと、九州地方中部の沈み込みプレート境界・火山・内陸断層(ブロック境界)のモデルに基づき、インバージョン解析を行った。その結果、2016 年 4 月 16 日の最大の地震で大きなすべりが生じた断層セグメントに相当する場所で、隣接セグメントに比べて 1 ケタ小さな歪み蓄積速度が推定された。これの解釈として、熊本地震より前の時期に当該セグメントで歪み蓄積はほぼ限界に達しており、ひとたび断層が動き出すとマグニチュード 7 級まで一気に成長する状況になっていた、と考えられる。この結果(Mochizuki and Mitsui, 2016)は、EPS 誌から査読付論文として出版された。

(2)

低強度の断層上で力学的に期待される、小さな応力変化による地震誘発の問題に焦点を当てた。具体的には、地下水モニタリングを主目的として打ち上げられた GRACE 衛星により 15 年以上にわたってモニターされてきた地球上の重力の変動と、地下で発生している地震活動との関係に着目した。世界中のプレート沈み込み帯をターゲットとし、データ解析を行った。地震活動を扱う上では、大きな地震の余震および余効変動による誘発地震がノイズとなる。そのため、ETAS モデルに基づく背景地震活動度のパラメータ推定を行った上で、近年 M7.5 以上の大きな地震が発生した領域を解析から除外した。その結果、重力の年周変化が大きい領域で背景地震活動度が高くなるような、正の相関（中程度）が見出された。この原因として、重力の年周変化の主要因である地表付近の水の季節変動が、荷重変形によって、地下の断層へ周期的な応力変化を与えることが考えられる。この応力変化の程度は、大きくても 1kPa と見積もられる。沈み込み帯の地下で発生する中小規模の地震活動がこの程度の応力変化の影響を受けるということは、地震断層の強度が全体として低いことを改めて示唆する。本内容(Mitsui and Yamada, 2017)は、EPS 誌から査読付論文として出版され、同誌の highlighted papers 2018 に選出された。

(3)
複数の断層上での摩擦構成則と弾性体力学とを組み合わせた数値実験を、境界要素法に基づいて行った。特に、地表で観察されるような並行する断層の模型として、2 列の断層モデルを設定し、摩擦構成則の細部に依存する結果と依存しない結果とを切り分け、より一般的には何が言えるかという観点から解析した。その結果、断層間の力学的相互作用により、低強度断層上でのスローなすべりイベントが、ときに高速すべりイベント化するような挙動が見られた。この結果は、並行する断層から負の応力変化(ストレスシャドウ)の影響を受ける断層上でのもので、非自明と言える。ただし、イベント自体の規模が巨大化するような傾向は見られなかった。本成果(Mitsui, 2018)は、EPS 誌から査読付論文として出版された。

## ５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 3 件）

① Yuta Mitsui. Elastic interaction of parallel rate-and-state-dependent frictional faults with aging and slip laws: slow-slip faults can sometimes host fast events, Earth Planets Space, 70(136), 1-8, doi:10.1186/s40623-018-0911-8, 2018. 査読有

② Yuta Mitsui, Kyohei Yamada. Possible correlation between annual gravity change and shallow background seismicity rate at subduction zone by surface load, Earth Planets Space, 69(166), 1-7, doi:10.1186/s40623-017-0753-9, 2017. 査読有

③ Kazuma Mochizuki, Yuta Mitsui. Crustal deformation model of the Beppu-Shimabara graben area, central Kyushu, Japan, based on inversion of three-component GNSS data in 2000-2010, Earth Planets Space, 68(177), 1-9, doi:10.1186/s40623-016-0550-x, 2016. 査読有

〔学会発表〕（計 19 件）

① 三井雄太、速度・状態依存摩擦則に従う断層が並行する場合：スロースリップ断層ときどき高速すべり化、日本地震学会 2018 年秋季大会、2018
② Shunsuke Morikami, Yuta Mitsui. Decay characteristics of afterslip and aftershocks following the 2011 Tohoku Earthquake, Joint Workshop on Slow Earthquakes, 2018
③ Yuta Mitsui. Long-lasting effect of large earthquake on interval modulation of adjacent slow slip, AOGS 15th annual meeting, 2018
④ 村松雛子・三井雄太、Widespread changes in deep intraslab seismicity along the Tonga trench、日本地球惑星科学連合 2018 年大会、2018
⑤ 渡邊識・三井雄太、Estimation of block boundaries around the Izu Peninsula based on GNSS data using hierarchical and non-hierarchical cluster analyses、日本地球惑星科学連合 2018 年大会、2018
⑥ 宮本彩加・三井雄太、本震前後の地震活動の時空間パターンを特徴づける解析手法の検討、日本地震学会 2017 年度秋季大会、2017
⑦ 村松雛子・三井雄太、トンガ海溝における深いスラブ内地震活動の時間変化、日本地震学会 2017 年度秋季大会、2017
⑧ 三井雄太、平行する複数のすべり面の弾性相互作用に関する数値実験、日本地震学会 2017 年度秋季大会、2017
⑨ Yuta Mitsui. Elastic interaction of parallel micro-faults in occurrence of slow and small earthquakes, Joint Workshop on Slow Earthquakes 2017, 2017
⑩ Shunsuke Morikami, Yuta Mitsui. Slip velocities of early afterslips in northeastern Japan, IAG-IASPEI Joint Scientific Assembly 2017, 2017
⑪ Yuta Mitsui, Kyohei Yamada. Correlation between annual gravity changes monitored by GRACE and background seismicity rates, AGU 2016 Fall Meeting, 2016
⑫ Ayaka Miyamoto, Yuta Mitsui. A spatiotemporal pattern analysis of earthquake occurrences before and after a large earthquake, AGU 2016 Fall Meeting, 2016
⑬ 三井雄太・山田京平、GRACE でモニターされてきた重力の時間変化と背景地震活動度との間に潜む相関、日本測地学会第 126 回講演会、2016
⑭ 望月一磨・三井雄太、九州地方中部の地溝帯周辺における地殻変動モデル：2016 年熊本地震との関係、日本測地学会第 126 回講演会、2016
⑮ 宮本彩加・三井雄太、大きな地震の前後に震源周りで発生する地震の時空間パターンを特徴づける一つの方法、日本地震学会 2016 年度秋季大会、2016
⑯ 三井雄太、断層力学・モデリングに基づく震源過程の多面的研究、日本地震学会 2016 年度

秋季大会、2016
⑰ 三井雄太・山田京平、グローバルスケールでの重力の時間変化と背景地震活動度との関係、日本地震学会 2016 年度秋季大会、2016
⑱ 三井雄太・片岡純、ETAS パラメータの推定アルゴリズムによるバラつき、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016
⑲ 望月一磨・三井雄太・森上竣介、地溝帯を dislocation で表現した九州中部の地殻変動モデル、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕
○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

## ６．研究組織

(1)研究分担者
研究分担者氏名：
ローマ字氏名：
所属研究機関名：
部局名：
職名：
研究者番号（8 桁）：

(2)研究協力者
研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。