

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04730

研究課題名（和文）2016年熊本地震時の微小断層変位を対象とした低活動度活断層の実態解明

研究課題名（英文）Elucidation of low-activity active fault, targeting small surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake

研究代表者

石村 大輔 (Ishimura, Daisuke)

東京都立大学・都市環境科学研究科・助教

研究者番号：00736225

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、2016年熊本地震を例に、地震を発生させた主たる活断層（布田川断層）から離れた地点に微小変位が出現した2つの地震断層を対象に古地震調査を行った。これら微小変位が出現した断層が、過去にも布田川断層と同時に活動したかを検討した結果、2地点ともに布田川断層の活動履歴と整合的な結果が得られた。このことは、微小変位が生じた低活動度の活断層も周辺に布田川断層のような高活動度の活断層があれば、高い頻度で活動が誘発され地表に変位が生じることを意味する。このように本研究により新たな低活動度活断層の活動様式を実証的に示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低活動度の活断層は、単独では長い周期で地震を発生させ、地表に変位を生じさせると考えられ、その地震や変位に対するリスクは低く見積もられがちであった。しかし、本研究では、低活動度活断層の中でも周囲に高活動度の活断層がある場合には、その高活動度活断層の活動に誘発されて低活動度活断層が変位することを示した。このことは、低活動度活断層の多様性を示すとともに、従来の考えに比べて、高い頻度で地表に変位をもたらすことを意味する。今後、このような多様性を実証的な情報をも基に検証することで、より現実的な活断層による変位ハザードの評価に繋がることを期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we conducted paleoseismic trenching surveys at two sites where small displacements appeared along faults far from the principal fault (Futagawa fault) that caused the 2016 Kumamoto earthquake. We investigated whether the faults with small displacements had moved at the same time as the Futagawa fault in the past. The results were consistent with the paleoseismic history of the Futagawa fault at both sites. This means that a low-slip-rate active fault can be triggered with adjacent high-slip-rate active faults like the Futagawa fault. From these facts, we are able to demonstrate a new style of activity of low-slip-rate active faults.

研究分野：変動地形学・第四紀地質学

キーワード：2016年熊本地震 活断層 低活動度活断層 トレンチ調査 古地震 テフラ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究で述べる低活動度活断層とは、地形学・地質学での検出限界付近の活断層を意味し、発生させる地震の規模(M:マグニチュード)がM6.5前後の断層と断層の平均変位速度が小さな(0.1-0.01 mm/年)断層を指す。前者は、地表に断層が達する(地形に痕跡を残す)地震の下限(M6.5)前後の地震を発生させる断層である。後者は、国内の活断層評価の区分では最下位の変位速度に属する活断層を指し、活動間隔が長く(1万年以上)、一回の変位量が小さいと認識されている。いずれの活断層も地表の痕跡に乏しいため、事前に場所を特定することが困難である。

1995年の阪神・淡路大震災以降、国内の主要(高活動度)活断層の評価が行われてきたが、その後、評価された活断層で発生し、かつ断層が地表に達した地震は、2014年長野県北部の地震と2016年熊本地震のみである。それ以外は、評価対象外や未確認の低活動度活断層で発生したものである。よって、地震の災害リスクを考慮した際には、低活動度活断層による地震災害が無視できるほど軽微ではないことは自明である。

低活動度活断層の評価が進んでいない理由は、事前にその場所を特定できないことに尽きる。通常、地形判読に基づき活断層認定が行われるが、低活動度活断層の場合、活断層の検出限界よりも小さな痕跡のため見過ごされている、もしくは新たな侵食・堆積により痕跡が消失している可能性が高い。また潜在的な低活動度活断層は、現在確認されている断層数よりもはるかに多いと指摘されており(浅田, 1991)、実証的な情報に基づく低活動度活断層の運動像の解明が必須である。

2016年熊本地震の際には、既存の活断層上や衛星のデータ解析により変位が指摘された地点を確認した。結果、地震を発生させた主断層である布田川断層とは明らかに離れた位置に微小な変位を有する地震断層が多数現れたことが確認された。このような地震に伴う新たな現象の発見を踏まえて、今まで見過ごされてきた・検出できなかった低活動度活断層の実態解明が可能だと考えた。

2. 研究の目的

本研究では、このような主断層から離れた地域で、かつ微小変位が出現した地点で、断層が繰り返し活動しているか否か、活動している場合、その活動履歴は主断層のものとは一致するのか否か、を検証し、低活動度活断層の運動像を実証的に示すことを目的とした。本研究は、内陸活断層の活動(応力の蓄積と解放)を理解する上で重要であり、今後の内陸地震のシナリオ構築(連動・誘発)や防災・減災にも資するものである。

3. 研究の方法

本研究では、まず地形判読を行った。微小変位が生じた地域を中心に空中写真と高解像度地形データに基づく地形判読を実施した。そして、地形に断層の累積性が認められるか否かと断層位置が検出可能か否かを検証した。その後、地形判読と2016年熊本地震の際の地震断層の分布を考慮し、トレンチ調査を地震断層上で実施した。トレンチ調査では、断層に直交方向の溝(トレンチ)を掘削し、断層露頭を出現させた。最終的には、断層と地層の関係から過去に生じた断層イベントを認定した。

室内分析では、火山灰分析と放射性炭素年代測定を行った。火山灰分析では、火山灰の粒子組成、火山ガラス・鉱物の屈折率、火山ガラスの主成分化学組成を明らかにし、既知の火山灰と対比した。これにより地層の年代が明らかとなる。加えて、火山灰は断層変位の累積性を議論する際の基準にもなる。放射性炭素年代測定は、外部機関に測定依頼した。測定結果をもとにトレンチ壁面の地層の年代を推定し、認定された断層イベントの年代推定にもこの測定結果を使用した。

4. 研究成果

(1) 熊本県阿蘇市宮地(宮地トレンチ)

宮地では、2016年熊本地震に伴う断層の出現が衛星観測記録から示唆され、実際にその位置には、10 cm以下の微小変位が連続的に確認された。Ishimura et al. (2021)は、宮地周辺の地震断層を宮地断層と名付け、この宮地断層の北側トレースの北東端付近で宮地トレンチが掘削された。この地点では、局所的に2条の断層が認められ、それらに挟まれた部分が落ち込み、地溝状の変形が生じている。宮地トレンチはその2条の断層のうち北側の断層を横断するように掘削された。

宮地トレンチの壁面では、阿蘇火山を給源とするテフラが複数認められ(下位から ACP1, KsS, 0jS, N2S テフラ)、このことからトレンチ壁面では約4000年前以降の地層が連続的に堆積していることがわかった。断層については、トレンチ中央にほぼ垂直の花弁構造を伴う断層が認められ、横ずれ変位を伴う断層であると解釈される。また、この断層は、ほぼ地表までを変位させていることから、2016年に活動した断層であることは明らかである。加えて、N2Sと0jSの間で、その上位と下位で地層の上下変位量に明らかな差が認められ、その間に別の断層イベントが推

定された。この上下変位の累積性に加え、断層によって切断・変形された地層とそれを覆う地層の関係からもこのイベント層準が認められた。このイベント層準を挟んだ上下の放射性炭素年代測定結果から、宮地断層の1回前の断層イベントは約2000年前に推定された。また、上下変位の累積性から、このトレンチ壁面では2回前のイベントは認められなかった。したがって、宮地断層の活動履歴については、約4000年前以降2回で、最新活動が2016年熊本地震、1回前が約2000年前となる。

この1回前の断層イベントは、阿蘇カルデラ内の遺跡に記録された約2000年前の亀裂と一致する。この亀裂が発見された場所は、阿蘇カルデラ北部の阿蘇谷に沿った場所であり、2016年熊本地震の際には多数の亀裂や液状化が生じた場所である(Fujiwara et al., 2017)。これら2016年のイベントで生じた現象と遺跡に記録された現象を比較すると両者は同様の現象であり、このことは約2000年前に阿蘇カルデラ内で2016年熊本地震と同様の現象が起きたことを示す。また、2016年熊本地震後に他の研究機関によって実施されたトレンチ調査による布田川断層の1回前の活動は、2000年前を含む年代が複数箇所で見られている。また、後述する本調査結果による布田川断層の1回前の活動時期とも調和的である。これらのことから、約2000年前に2016年熊本地震と同様のイベント(布田川断層の活動)があったことが示唆される。

(2) 熊本県西原村小森(小森牧野トレンチ)

小森では、布田川断層に並走する出ノ口断層が2016年熊本地震時に同時に活動した。Toda et al. (2016)は、両断層でスリップパーティションが起きたと指摘し、地下深部での斜めずれ変位を、地表付近の布田川断層が横ずれ成分を、出ノ口断層が縦ずれ成分を解消しているとした。トレンチ調査地点である小森牧野では、牧草地であるため地震断層を容易に視認することができ、最大で2mの北落ち地震断層が出現している。トレンチサイトは、その北落ち断層の共役断層上(南落ち30-50cm)で行った。

小森牧野トレンチの壁面では、宮地トレンチとは異なり、視認できるテフラはK-Ahテフラ(7300年前)の1層のみであった。放射性炭素年代測定の結果から、断層の低下側には15000年前以降の地層が連続的に堆積していることがわかった。壁面では、2016年熊本地震に伴う開口亀裂とその充填堆積物に加え、より古い亀裂充填堆積物や、多数の断層が確認された。断層は大きく、主たる南落ちの正断層、その共役断層である北落ちの正断層、一部に分布する南落ちの逆断層に分けられる。これら断層による変位とそれを覆う地層の関係から、15000年前以降に2016年熊本地震を含めて少なくとも4回の断層イベントが認められた。そのうち、K-Ah以降には2016年熊本地震を含めて少なくとも3回の断層イベントが認められた。また断層による変位を復元することで、より多くの断層イベントが認定できる可能性があり、今後の検討課題である。

(3) 熊本県西原村布田(布田トレンチ)

布田では、上記2点の古地震履歴と主断層である布田川断層の活動履歴を対比するために、トレンチ掘削を行った。布田トレンチは、布田川が布田川断層を横断する場所の東側に位置する。この布田川に沿った露頭では、石村(2019)が布田川断層を構成する主たる横ずれ断層とその北側に分布する二次的な正断層を記載している。その露頭では、最下部に高遊原溶岩が露出し、その上位に阿蘇4火砕流堆積物、礫層、黄褐色土、黒色土が分布する。露頭で確認できる断層の多くは、黄褐色土や黒色土を変形させ、最近の活動を示唆する。

その露頭から100mほど東にある山林でトレンチを掘削した。トレンチサイトはかつて畑として利用されていた平坦な用地であり、そこには2条の地震断層が出現している。南側の地震断層では、右横ずれ変位を示す亀裂の雁行配列が認められ、北側の地震断層では、南落ちの変位(10-40cm)が認められた。この観察結果から、南側の地震断層が主たる横ずれ断層であり、北側のものが布田川沿いの露頭でも確認された二次的な断層であると考えられる。本研究では、北側の正断層を横断するように3つのトレンチ、南側の右横ずれ断層を横断するように2つのトレンチ、合計5つのトレンチを掘削した。

これらのトレンチ壁面では、視認できるテフラとして、古いものからKpfa(32500年前)、AT(30000年前)、K-Ahテフラが確認された。このことからトレンチ壁面では、約3万年前以降の地層が堆積していることがわかった。壁面では、2016年熊本地震に伴う断層や開口亀裂とその充填物が全てのトレンチで確認された。また、それ以前の断層変位や変形も全てのトレンチで確認され、2016年熊本地震で出現した地震断層は少なくとも1万年前から継続して活動してきたことがわかった。これら5つのトレンチから2016年熊本地震に加えて、計7つの断層イベント層準が認められた。ただし、K-Ahテフラより古い断層イベント層準に関しては、複数の断層イベントを1つの断層イベント層準として認識している可能性がある。一方、K-Ahテフラ以降に関しては、断層による変位の累積性に基づき、断層イベント1つ1つを読み取ることができた。最終的に、K-Ahテフラ以降に、2016年熊本地震を含めて4回の断層イベントが認定された。予察的ではあるが、これら4回のイベントは、宮地トレンチや小森牧野トレンチの古地震履歴と整合的である。今後、これらの断層イベントの精査と年代情報の整理を行い、各イベントの年代の絞り込みを行う予定である。

(4) まとめ

本研究では、主断層である布田川断層とその周辺に出現した二次的な地震断層上でトレンチ掘削を行った。結果、K-Ah テフラ以降の古地震履歴はいずれのトレンチでも共通しており、過去にも2016年熊本地震同様に主断層である布田川断層と周辺の断層が同時に活動した可能性がある。これは、低活動度活断層の中でも周囲に高活動度活断層がある場合には、その高活動度活断層の活動に誘発されて低活動度活断層が活動することを意味する。このように本研究では、低活動度活断層の多様性を示すとともに、従来の考えに比べて、高い頻度で地表に変位をもたらす可能性を指摘することができた。今後、このような多様性を実証的な情報を基に検証することで、より現実的な活断層による変位ハザードの評価に繋がることが期待される。

<文献>

浅田 敏 (1991) 活断層に関する2~3の問題。活断層研究, 9, 1-3.

石村大輔 (2019) 熊本県西原村布田における布田川断層の2016年熊本地震(Mw7.0)時上下変位と活動性。活断層研究, 50, 33-44.

Ishimura, D., Tsutsumi, H., Toda, S., Fukushima, Y., Kumahara, Y., Takahashi, N., Ichihara, T., Takada, K. (2021) Repeated triggered ruptures on a distributed secondary fault system: an example from the 2016 Kumamoto earthquake, southwest Japan. Earth, Planets and Space, 73, 39.

Fujiwara, S., Morishita, Y., Nakano, T., Kobayashi, T., Yurai, H. (2017) Non-tectonic liquefaction-induced large surface displacements in the Aso Valley, Japan, caused by the 2016 Kumamoto earthquake, revealed by ALOS-2 SAR. Earth and Planetary Science Letters, 474, 457-465.

Toda, S., Kaneda, H., Okada, S., Ishimura, D., Mildon, Z.K. (2016) Slip-partitioned surface ruptures for the Mw 7.0 16 April 2016 Kumamoto, Japan, earthquake. Earth, Planets and Space, 68, 188.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 石村大輔	4. 巻 50
2. 論文標題 熊本県西原村布田における布田川断層の2016年熊本地震（Mw7.0）時上下変位と活動性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 活断層研究	6. 最初と最後の頁 33-44
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11462/afr.2019.50_33	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 -
1. 著者名 遠田晋次、石村大輔	4. 巻 58
2. 論文標題 熊本地震など内陸大地震で見いだされた誘発性地表地震断層と短い活断層の評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第四紀研究	6. 最初と最後の頁 121-136
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4116/jaqua.58.121	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 -
1. 著者名 石村 大輔、遠田 晋次、市原 季彦、高橋 直也、今野 明咲香、佐藤 隼人	4. 巻 2017
2. 論文標題 2016年熊本地震時に出現した熊本県阿蘇市宮地周辺の地表地震断層とビット壁面での変位の上方減衰	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 活断層研究	6. 最初と最後の頁 9~16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11462/afr.2017.47_9	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 -
1. 著者名 高橋 直也、石村 大輔、遠田 晋次、中田 高、渡辺 満久	4. 巻 2017
2. 論文標題 布田川断層に並走する正断層の平均変位速度	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 活断層研究	6. 最初と最後の頁 27~32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11462/afr.2017.46_27	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 -

1. 著者名 Ishimura Daisuke, Tsutsumi Hiroyuki, Toda Shinji, Fukushima Yo, Kumahara Yasuhiro, Takahashi Naoya, Ichihara Toshihiko, Takada Keita	4. 巻 73
2. 論文標題 Repeated triggered ruptures on a distributed secondary fault system: an example from the 2016 Kumamoto earthquake, southwest Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-021-01371-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fukushima Yo, Ishimura Daisuke	4. 巻 72
2. 論文標題 Characteristics of secondary-ruptured faults in the Aso Caldera triggered by the 2016 Mw 7.0 Kumamoto earthquake	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-020-01306-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計6件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Ishimura, D., Takahashi, N., Tsutsumi, H., Kumahara, Y., Toda, S. and Ichihara, T.
2. 発表標題 Paleoseismic trenching on the subsidiary surface ruptures associated with the mainshock of the 2016 Kumamoto earthquake sequence
3. 学会等名 Hokudan 2020 International Symposium on Active Faulting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石村大輔・堤 浩之・高橋直也・小田龍平・松風 潤・金田平太郎・小林幹也・熊原康博・小林 淳・市原季彦
2. 発表標題 熊本県西原村, 出ノ口断層における古地震調査
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石村大輔
2. 発表標題 熊本県西原村布田における布田川断層の2016年熊本地震時上下変位と変位速度
3. 学会等名 日本活断層学会2018年度秋季学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石村大輔・熊原康博・堤 浩之・遠田晋次・高橋直也・市原季彦・高田圭太・加藤佑一
2. 発表標題 主断層から離れた地点に生じた小規模な地表地震断層上における古地震履歴：阿蘇カルデラ北西部，阿蘇市宮地のトレンチ調査
3. 学会等名 日本地震学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石村大輔・熊原康博・堤 浩之・遠田晋次・市原季彦・高橋直也・高田圭太・加藤佑一
2. 発表標題 2016年熊本地震に伴う微小変位地点における古地震調査
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石村大輔・岩佐佳哉・高橋直也・小田龍平・田所龍二・梶井宇宙・松風 潤・石澤堯史・堤 浩之
2. 発表標題 熊本県西原村布田における布田川断層の古地震調査
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020
4. 発表年 2020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
---------	---------