

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月27日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03114

研究課題名(和文) 一まわり小さな地震を考慮した活断層の地震発生予測モデルの構築

研究課題名(英文) Earthquake occurrence prediction model consideration one size small earthquake by active fault

研究代表者

廣内 大助 (HIROUCHI, DAISUKE)

信州大学・学術研究院教育学系・教授

研究者番号：50424916

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では糸魚川-静岡構造線活断層帯における過去の活動履歴や活動性について、精密な古地震調査や変動地形調査に基づいて明らかにした。とくに従来の予測よりも一回り小さな地震であった2014年地震の発生を受け、同断層帯がどのような活動を示すのかを調査し、活断層の活動特性を明らかにすることを旨とした。その結果2014年と同様の一回り小さな地震が1714年にもあった一方、約1000年前にはこれよりも大きな断層活動を示す巨大地震もあり、同断層はタイプの異なる地震を相補的に発生しながら、繰り返してきたことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

活断層から発生する地震の長期予測は、固有地震説に依存して構築されてきた一方で、それでは説明できない地震の発生が認められ、予測方法の高度化が課題であった。本研究では2014年に発生した神城断層地震を例に、大規模断層帯でもその一部が活動する一回り小さな地震が存在し、またこのような地震と大きな地震が相補的な関係を示しながら、活動を繰り返す一定の規則性を持つ可能性があることを示すことができた。この成果活断層から発生する地震を予測する研究にも大きく貢献するものであり、また地震発生予測の高度化へ向けた基礎資料としても重要な成果である。

研究成果の概要(英文)：We conducted geological and geomorphological survey around the Itoigawa-shizuoka tectonicline fault system located in the central part of Nagano prefecture, central Japan. In our study, it has revealed that the activity and segmentation of the ISTL active fault system based on the paleoseismological survey and the distribution of the tectonic landform.

研究分野：自然地理学

キーワード：活断層 一回り小さな地震 変動地形学 トレンチ調査 変位量

### 1. 研究開始当初の背景

陸域における活断層地震の長期予測は、トレンチ調査結果に基づいて、古地震発生時期と繰り返し間隔を明らかにすることから行われてきた。それらは 1995 年の阪神淡路大震災を契機として、政府に地震調査委員会が設立され、全国 110 の活断層における活動履歴と位置形状から内陸直下型地震の長期予測が行われ、今後 30 年発生確率等の公表が行われてきたことに始まる。ところが近年この予測対象外の地域で、M6~M7 程度の一回り小さな地震が発生し、地表地震断層が生じる事例が認められた(2004 年新潟県中越地震など)。また 2014 年 11 月 22 日に発生した長野県北部の地震(神城断層地震)は、顕著な活断層の存在が認められていた糸魚川 - 静岡構造線活断層帯で発生した地震であったが、地震規模は予測よりも一回り小さな M6.7 の地震であった。政府の活断層地震の長期予測は、活断層のセグメントが一度に活動し、活動する範囲(長さ)や変位量、活動間隔は毎回ほぼ等しいという固有地震説に立脚している。これに基づいて糸魚川 - 静岡構造線活断層帯では、2014 年地震の発生域を含む糸静線北部(白馬~松本)で M8 クラスの地震が過去 4000 年に 2-3 回発生し、最大で 3-4m の変位が生じる可能性が指摘されていた。ところが 2014 年長野県北部の地震は、糸静線北部の一部である神城断層のみが活動し、最大変位量も約 1m であったことから、予測の地震規模、活動範囲、変位量のいずれも想定していなかったひとまわり小さい地震であった。したがって今回の地震は従来の固有地震モデルが成立しない、ないしはこれに含まれない地震であったことが明らかである。2014 年長野県北部の地震の発生によって、活断層から発生する地震の予測は、従来の固有地震モデルだけでは説明できず不十分である。したがって一回り小さな地震の存在を含めた過去の詳細な活動履歴や変位量の関係から活断層の活動特性を解明し、地震発生予測の高精度化を行うことが急務であった。

### 2. 研究の目的

2014 年 11 月に糸魚川 - 静岡構造線活断層帯神城断層で発生した長野県北部の地震(M6.7)は、明瞭な地表地震断層が出現したにも関わらず、M7 クラスよりも一回り小さな想定外の地震であった。このことは内陸地震の規模や発生時期のゆらぎや不均一性の存在を示しており、これまでの固有な最大規模地震の想定に依存した地震発生予測を根本から見直す必要性 2014 を示唆する。本研究ではこれまで見過ごされてきた微細な変動地形の編年や高分解能トレンチ調査から、一回り小さな地震を含めた活断層地震の発生パターンと変位量を詳細に明らかにした上で、地震発生予測モデルの高度化をめざした。

### 3. 研究の方法

本研究では一回り小さな地震を考慮した地震発生予測モデルの構築をめざす。本研究ではこれを達成するために、高精度のトレンチ調査を行い、活断層の活動時期や変位量を高い精度で明らかにした。また過去の地震によって形成された微細な変動地形の調査(変位量分布)と正確な地形形成年代を明らかにするための年代測定を実施した。そのために変動地形の分布や変位量については、詳細な変動地形マッピング(位置形状)と変位量の計測を実施した。また変動地形の形成(離水)年代を明らかにするためのピット調査ならびにボーリング調査を実施した。これら調査結果を用いて、一回り小さな地震を含めた過去複数回の地震時の変位量や活動間隔を詳細に解明し、各古地震像を復元した上で、新たな地震発生予測モデルの構築をめざした。

#### 4. 研究成果

本研究で対象とした神城断層は、糸魚川 静岡構造線活断層帯最北部に位置する長さ約20kmの断層であり、東側隆起の逆断層とされる(活断層研究会,1991)。2014年に発生した地震は、M6.7と一回り小さな地震であったが、明瞭な地表地震断層が出現し、最大変位量約1mであった。しかしながら確認された地表地震断層は神城断層の全長の半分にも満たない約9kmにとどまった。

本研究では2014年に神城断層地震を発生させた糸魚川 静岡構造線神城断層とその周辺において、地形地質踏査に加えてトレンチ調査計6か所、ピット調査4か所、ボーリング1本を実施した。調査個所の選定にあたっては、2014年地震で活動しなかった断層北部森上地区、中部東側の蕨平地区、2014年に活動した大出地区、活動したが2014年以前には断層線が見落とされていた白馬駅東地区、2014年地震で活動しなかった神城断層南半の青木湖地区と木崎湖地区である。トレンチ調査では各々活動時期に加えて、過去の活動時における変位量の計測に努めた。また神城断層全域の段丘面形成年代ごとの変位量分布を明らかにするために、地形面区分、対比と編年、変動地形の変位量計測を行った。ボーリングやピットは地形面の年代を知るための堆積物採取のために実施した。

調査の結果、神城断層における各段丘面ごとの変位量分布をみると、M面、L2面など各面の変位量は、白馬村堀之内付近で小さくなることが明らかとなった。2014年地震はおよそ堀之内から北の範囲が活動した地震であり、神城断層は2014年地震と同様に北半が一つのセグメントとして活動する可能性が示された。一方2014年に大きな変位が認められた大出地区における各地形面の離水年代と変位量、過去の調査による古地震活動時期を比較した。その結果離水年代が約4-5kaのL2面の変位量はおよそ6-8mである一方、2014年地震の変位量は約1mである。L2面は2014年地震を含めて4-5回の活動を被るが、2014年地震の変位量約1mを5倍しても、実際の変位量には届かないことから、2014年地震と同様の地震による単純繰り返しでは変動地形の形成を説明できない。すなわち2014年よりも大きな変位量を持つ地震があることが明らかである。

次に本研究で実施したトレンチ掘削調査結果と、他機関によって実施されたトレンチ調査結果の資料を合わせて判断したところ、2014年地震の一つ前の活動は約300年前であり、1714年の小谷地震である可能性が高い。さらに前の地震は約1000年前の地震であることが明らかとなった。本研究で実施した大出地区、産総研や東北大学が実施したトレンチ調査の結果では、いずれも1714年地震の変位量と2014年地震の変位量は同程度であることから、1714年地震の規模は2014年地震と同程度と判断でき、堀之内から北側のセグメントの活動によって引き起こされた可能性が高い。これは宇佐美ほか(2003)が史料調査から示した小谷地震のM6.4と整合する。ただし本研究の大出地区の一部では、約300年前に離水したL4面の変位量が1.5-2mであり、もう少し多くの地点で地震ごとの変位量分布を比較する必要があるなど課題は残る。

一方1000年前の地震では、2014年地震で活動しなかった北部の森上地区でも変位が確認されたことから、2014年よりも長い区間が活動した。また森上での変位量も1mを越えており、勝部ほか(2015)による飯田地区での調査結果でも、2014年や1714年地震よりも1000年前の地震の変位量が大きかった。1000年前の地震は神城断層より南の松本盆地西縁断層や牛伏寺断層における調査でも確認されていることから、神城断層全域を含んだ複数のセグメントが活動した巨大地震であった可能性が高い。このように糸魚川静岡構造線活断層帯北部

においては、2014年地震のような一回り小さな地震と1000年前地震のような巨大地震が存在し、両者が相補的に繰り返しながら地震を発生させ変動地形を形成してきたことが明らかとなった。今後本研究の青木湖地点などの年代測定結果が出た段階で、さらに詳細な検討を行い、糸静線断層帯北部の活動特性を示していく予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計11件)

1. 杉戸信彦・後藤秀昭, 長野県大町市街地の活断層分布に関する一検討, 活断層研究, 49巻, 17-22, 2018, 査読有
2. 廣内大助・松多信尚・佐藤善輝・坂本絵梨・堀和明・川上賢太・米原和哉, 遠州灘の海岸平野における浜堤や堆積環境から見る南海トラフ巨大地震の地殻変動パターンの解明, 愛知工業大学地域防災研究センター年次報告書, 13巻, 41-47, 2017, 査読無
3. Ishiyama, T., Kato, N., Sato, H., Koshiya, S., Toda, S., and K. Kobayashi, Geometry and slip rates of active blind thrusts in a reactivated back-arc rift using shallow seismic imaging: Toyama basin, central Japan, TECTONOPHYSICS, 718巻, 741-757, 2017, 査読有
4. Ishiyama Tatsuya, Sato Hiroshi, Kato Naoko, Koshiya Shin, Abe Susumu, Shiraishi Kazuya, Matsumura Makoto, Structures and active tectonics of compressionally reactivated back-arc failed rift across the Toyama trough in the Sea of Japan, revealed by multiscale seismic profiling, TECTONOPHYSICS, 710巻, 21-36, 2017, 査読有
5. 杉戸信彦・堤浩之・谷口薫, 中央構造線断層帯根来南断層の最近の活動に関する地形学的検討 - 新田広芝地区・根来地区 -, 月刊地球号外, 69巻, 41-46, 2018, 査読無
6. 石黒聡士・熊原康博・後藤秀昭・中田高・松多信尚・杉戸信彦・廣内大助・渡辺満久・澤祥・鈴木康弘, UAVによる空撮とSfM-MVS解析による地表地震断層の地形モデル作成とその精度 - 2014年11月長野県北部の地震を例に -, 日本リモートセンシング学会誌, 36巻, 107-116, 2016, 査読有
7. 石黒聡士・松多信尚・井上公・中田高・田中圭・石山達也・蓑田友和・竹竝大士・森木ひかる・廣内大助, UAVを用いた平成28年熊本地震の地表地震断層の撮影と地形モデル作成(速報), 日本リモートセンシング学会誌, 36巻, 214-217, 2016, 査読無
8. 松多信尚・佐藤善輝・坂本絵梨・廣内大助・堀和明・川上賢太・米原和哉, 海岸平野の発達過程に基づく南海トラフ巨大地震時の地殻変動のパターンの解明, 国土地理協会第15回学術研究助成報告書, 2016, 査読無
9. 松多信尚, 杉戸信彦, 廣内大助, 池田一貴, 澤洋, 渡辺満久, 鈴木康弘, 2014年長野県神城断層地震に伴って白馬村蕨平に出現した地表地震断層の変動地形学的調査, 日本地理学会発表要旨集, 170, 2016, 査読無
10. Ishiyama Tatsuya, Sato Hiroshi, Abe Susumu, Kawasaki Shinji, Kato Naoko, High-resolution 3D seismic reflection imaging across active faults and its impact on seismic hazard estimation in the Tokyo metropolitan area, TECTONOPHYSICS, 689巻, 79-88, 2016, 査読有
11. Sugito, N., H. Goto, Y. Kumahara, H. Tsutsumi, T. Nakata, K. Kagohara, N. Matsuta, and H. Yoshida, Surface fault ruptures associated with the 14 April foreshock (Mj 6.5) of the 2016 Kumamoto earthquake sequence, southwest Japan, Earth, Planets and Space, 68巻, Article number 170, 2016, 査読有

〔学会発表〕(計20件)

1. Takeshi Sagiya, Koki Kumagai, Angela Meneses-Gutierrez, Nobuhisa Matsuta, Daisuke Hirouchi, Kenjiro Matsuhiro, Takashi OKUDA, Persistent and time-dependent crustal deformation in northern Fossa Magna and its tectonic implications, 地球惑星科学連合, 幕張メッセ, 2019.5
2. 水谷光太郎, 廣内大助, 松多信尚, 石山達也, 杉戸信彦, 安江健一, 竹下欣宏, 藤田奈津子, 澤祥, 道家涼介, 丸山陽央, 池田一貴, 変動地形調査グループ, 糸魚川-静岡構造線断層帯神城断層南部における活動履歴調査, 地球惑星科学連合, 幕張メッセ, 2019.5
3. 池口直毅, 松多信尚, 楢原京子, 岡田真介, 廣内大助, 石山達也, 野田克也, 佐藤比呂志, 糸魚川-静岡構造線活断層系神城断層における高解像度極浅層S波反射法地震探査, 地球惑星科学連合, 幕張メッセ, 2019.5

4. Naoki IKEGUCHI, Nobuhisa MATSUTA, Kyoko KAGOHARA, Shinsuke OKADA, Daisuke HIROUCHI, Tatsuya ISHYAMA, Katsuya NODA, Hiroshi SATO, Shear-wave, very shallow seismic reflection profiling across the Kamishiro fault, Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line active fault system, central Japan, SEISMIX Symposium, Cracow POLAND, 2018.6
5. 廣内 大助・服部 亜由未・前島 訓子・内山 琴絵・西尾 さつき・阿部 雅也, 1944年東南海地震, 1945年三河地震における豊田市域の震度分布, 日本地震学会秋季学術大会, ビッグパレットふくしま, 2018.10
6. 水谷 光太郎・石山 達也・松多 信尚・廣内 大助, 糸魚川静岡構造線断層帯神城断層南部の左横ずれ変位地形, 日本活断層学会, とりぎん文化会館, 2018.11
7. Koki Kumagai, Takeshi Sagiya, Angela Meneses-Gutierrez, XUELEI ZHANG, Nobuhisa Matsuta, Daisuke Hirouchi, Kenjiro Matsuhira, Takashi OKUDA, AGU Fall Meeting, Washington, D.C., 2018.12
8. 池口直毅・松多信尚・楮原京子・岡田真介・廣内大助・石山達也・野田克也・高山正教・川上賢太・原田稚子・福井恒平・丸山雄大・藤井遥・上田航・西川智樹・渡辺隆輝・佐藤比呂志, 糸魚川 静岡構造線活断層系神城断層における極浅層S波反射法地震探査, 日本地球惑星科学連合2018年大会, 幕張メッセ, 2018.5
9. 松多信尚, 池口直毅, 岡田真介, 楮原京子, 石山達也, 廣内大助, 2014 年長野県北部の地震(神城断層地震)のネット変位量, 2018 年度日本地理学会秋季学術大会, 和歌山大学, 2018.9
10. 杉戸信彦・後藤秀昭, 高解像度DEMを用いた長野県大町市街地の活断層分布の検討, 日本地球惑星科学連合2018年大会, 幕張メッセ, 2018.5
11. 石山達也・廣内大助, 武蔵野台地北東縁部名古屋国際会議場の変動地形, 地球惑星科学連合, 幕張メッセ, 2017.5
12. 廣内大助・松多信尚・石山達也・杉戸信彦・竹下欣宏・水谷光太郎・安江健一・藤田奈津子・澤 祥・道家涼介・佐藤善輝・堤浩之・越後智雄・池田一貴・鈴木康弘・神城断層調査グループ, 糸魚川 静岡構造線活断層帯神城断層中北部における断層活動, 日本地理学会春季学術大会, 日本地理学会春季学術大会, 東京学芸大学, 2018.3
13. 杉戸信彦・石山達也・廣内大助・塩野敏昭・水谷光太郎・米原和哉・鈴木理恵・中村俊幸・丸山陽央・松多信尚, 飯山市街地北部の地形環境と長野盆地西縁断層帯, 日本活断層学会2017年度秋季学術大会, 広島大学東千田キャンパス, 2017.11
14. 竹下欣宏, 手島秀一, 土屋美佳, 齋藤武士, 高橋康, 長野県北東部, 烏帽子岳西麓における加久藤テフラと火砕流堆積物の発見とその意義, 日本第四紀学会, 福岡市, 2017.8
15. 松多信尚・杉戸信彦・廣内大助・池田一貴・澤祥・渡辺満久・鈴木康弘, 神城断層(糸魚川静岡構造線活断層)の活動履歴 - 白馬村藤平における変動地形学的調査, 地球惑星科学連合, 幕張メッセ, 2016.5
16. 熊原康博・大学合同調査グループ(廣内大助ほか), 2016年熊本地震に伴う地表地震断層の特徴, 日本活断層学会, 法政大学, 2016.10
17. 熊原康博・後藤秀昭・廣内大助【招待講演】, 地表地震断層と地殻変動 -2014年長野県北部の地震と2016年熊本地震を事例に-, 日本活断層学会シンポジウム, 法政大学, 2016.10
18. Hideaki Goto・Yasuhiro Kumahara・Hiroyuki Tsutsumi・Shinji Toda・Daisuke Ishimura・Shinsuke Okada・Takashi Nakata・Kyoko Kagohara・Heitaro Kaneda・Yasuhiro Suzuki・Mitsuhiro Watanabe・Shunto Tsumura・Nobuhisa Matsuta・Tatsuya Ishiyama・Nobuhiko Sugito・Daisuke Hirouchi・Satoshi Ishiguro・Haruka Yoshida・Kei Tanaka・Daiki Takenami・Shintaro Kashihara・Tomoki Tanaka・Hikaru Moriki, Distribution of surface rupture associated the 2016 Kumamoto earthquake and its significance (Invited), AGU 2016, Fall Meeting, San Francisco USA, 2016.12
19. 廣内大助・松多信尚・安江健一・竹下欣宏・道家涼介・佐藤善輝・石村大輔・石山達也・杉戸信彦・塩野敏昭・谷口薫・澤 祥・渡辺満久・鈴木康弘・神城断層調査グループ, 糸魚川 静岡構造線活断層帯神城断層北部における断層活動, 日本地理学会春季学術大会, 筑波大学, 2017.3
20. 杉戸信彦・後藤秀昭・熊原康博・中田 高・楮原京子・堤 浩之・松多信尚・吉田春香, 2016年熊本地震の「前震」に伴う益城町島田・小池～嘉島町井寺付近の地表変形, 日本地球惑星科学連合2016年大会, 幕張メッセ, 2016.5

〔図書〕(計 1件)

1. 廣内大助, 愛知県豊田市, 新修豊田市史 23 別編自然, 2018, pp710

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 竹下 欣宏

ローマ字氏名：(TAKESHITA、Yoshihiro)

所属研究機関名：信州大学

部局名：学術研究院教育学系

職名：准教授

研究者番号(8桁)：00578271

研究分担者氏名：松多 信尚

ローマ字氏名：MATSUTA、Nobuhisa

所属研究機関名：岡山大学

部局名：教育学研究科

職名：教授

研究者番号(8桁)：40578697

研究分担者氏名：杉戸 信彦

ローマ字氏名：SUGITO、Nobuhiko

所属研究機関名：法政大学

部局名：人間環境学部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：50437076

研究分担者氏名：藤田 奈津子

ローマ字氏名：FUJITA、Natuko

所属研究機関名：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

部局名：バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター

職名：技術・技能職

研究者番号(8桁)：50707396

研究分担者氏名：石山 達也

ローマ字氏名：ISIIYAMA、Tatuya

所属研究機関名：東京大学

部局名：地震研究所

職名：教授

研究者番号(8桁)：90356452

研究分担者氏名：安江 健一

ローマ字氏名：YASUE、Kenichi

所属研究機関名：富山大学

部局名：大学院理工学研究部(都市デザイン学)

職名：准教授

研究者番号(8桁)：10446461