

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01289

研究課題名（和文）古記録から探る関東地震シーケンスの全容解明

研究課題名（英文）The Whole Pictures of the Kanto Earthquake Sequence Revealed by Historical Seismograms

研究代表者

三宅 弘恵 (MIYAKE, Hiroe)

東京大学・地震研究所・准教授

研究者番号：90401265

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,000,000円

研究成果の概要（和文）：1923年関東地震では、翌日までにマグニチュード7クラスの余震が震源域で少なくとも4つ発生したとされている。本研究では、関東地震とその余震群について、国内と海外の古地震記録を収集・分析し、関東地震の一連の震源過程を解明するとともに、これらの総和としての歴史震度分布の再現を試みた。遠地記録からは、本震翌日に発生したM7.3の波形が、複数の観測点において明瞭に確認され、本震同様に表面波も伴っていることが分かった。また、最新の関東地域の地下構造モデルを用いて、震度分布の観点から中小地震の地震動再現度の検討を進め、余震場所と余震規模に関して複数のケースを計算した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義としては、これまであまり着目されておらず、地震規模や震源位置について議論が残されている、1923年関東地震のマグニチュード7クラスの余震を分析したことが挙げられる。また、これらの余震の分析には、翌年1924年に発生した丹沢の地震との比較検討が有効であることを確認した。

社会的意義としては、大地震が発生し強震動にさらされた堆積平野においては、一時的に震度増分が経験式よりも増える事例があるため、地震ハザードにおいて考慮すべき可能性を指摘した。

研究成果の概要（英文）：The 1923 Kanto earthquake is associated with at least four M7-class aftershocks in and around the mainshock source region. This study investigated historical seismograms to reveal the seismic sources of the Kanto earthquake sequence, and tried to reproduce historical seismic intensity distribution as a sum of the Kanto earthquake sequence. We confirmed clear teleseismic waveforms with surface waves of the M7.3 aftershock that occurred a day after the mainshock. We also tested several cases for aftershocks with different locations and magnitudes to simulate the historical seismic intensity distribution.

研究分野：強震動地震学

キーワード：関東地震 古記録 震度 震源インバージョン 強震動シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

1923年関東地震は、首都圏を襲った最大級の被害地震であり、自然災害科学の観点から今なお関心が高く、研究の蓄積が多い。しかし、関東地震の翌日までに発生した余震群は、これまで手つかずの状態であった。一方、これら余震群の国内外の古地震記録が新たに発掘されつつあるため、これらを活用することが期待される。

1923年関東地震の震源解析は、古くから行われ、年々進化を遂げてきた。震源メカニズムの推定、余震分布や測地記録を用いた震源域の推定、震源インバージョン解析(一枚平面、複数枚平面、従来よりも浅くなったフィリピン海プレートの深さやプレート曲面の反映など)が挙げられる。これらの解析でターゲットとすべき観測記録となっているのは、陸軍測量部が行った測地計測と、建物被害率から推定された歴史震度分布である。また、国内外で発掘・復元された関東地震の古地震記録も活用されてきた。その中で、関東地震は、本震だけでなく、翌日までに複数の大規模な余震が発生したこと指摘されている(武村, 2003)。つまり、関東地震の震度分布や測地記録は、調査時期に鑑みると、これら一連の余震の影響が含まれていると考えられる。したがって、震度分布や測地記録を、関東地震の本震と M7 級の複数の余震の総和と考え、地震記録から関東地震の本震と余震の分離を行う研究の必要性が、本研究の学術的背景となる。

表1. 関東地震シーケンスの検討候補(武村, 2003 に加筆)

本震 1	: 1923 年 9 月 1 日	11:58	M8.0	Mjma7.9	関東地震
余震 1 (A1)	: 1923 年 9 月 1 日	12:01	M7.2	Mjma6.5	東京湾北部(震源域)
余震 2 (A2)	: 1923 年 9 月 1 日	12:03	M7.3	Mjma7.3	山梨県東部(震源域)
余震 3 (A3)	: 1923 年 9 月 1 日	12:48	M7.1	Mjma6.8	東京湾(震源域)
余震 4 (A4)	: 1923 年 9 月 2 日	11:46	M7.6	Mjma7.3	千葉県勝浦沖(震源域北端)
余震 5 (A5)	: 1923 年 9 月 2 日	18.27	M7.1	Mjma6.9	千葉県九十九里沖(震源域)
余震 6 (A6)	: 1924 年 1 月 15 日	05.50	M7.3	Mjma7.3	丹沢山塊(深い地震の可能性)

2. 研究の目的

本研究では、関東地震とその余震群について、国内と海外の古地震記録を可能な限り収集・分析し、関東地震の一連の震源過程を解明するとともに、これらの総和としての歴史震度分布を再現する。その際、最新の解析手法と高精度の地下構造モデルを用いることにより、関東地震と余震群の個々の震度分布を新たに提示することを目指す。そして、その結果が影響する首都直下地震の地震ハザード評価を革新することを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、関東地震の余震群について、国内外の古地震記録を収集・分析し、震源過程を明らかにする。次に、既存の関東地震のモデルから得られる震度分布と、本研究で得られる余震群の震源過程から得られる震度分布の総和として計算する。そして、総和としての歴史震度分布が再現されるよう、関東地震の本震の震源モデルを新たな提示する。最後に、提示された関東地震の震源モデルの割れ残り領域が、首都直下地震の候補シナリオとなり得るか検討する。総合的な研究成果として、関東地震シーケンス全体の断層破壊のメカニズムとその物理を明らかにすることを目指す。

4. 研究成果

初年度は、国内外に存在する関東地震の本震のみならず余震群の古地震記録を収集し、デジタル化を行い、その一部を古地震記録のデータベースに収録した(Murotani, 2019; Murotani et al., 2020)。近地記録に関しては、東京大学本郷に設置された今村式2倍強震計を主に使用予定であるため、今村式1倍強震計も含めた精査を行っている。遠地記録に関しては、米国カリフォルニア大学バークレー校の協力を得て、これまでに主に使用されていた本震のみならず余震群の記録を良質な形で入手した。また、中小地震の再現性の検証に用いるため、関東地方の強震データベースを整備した(三宅・他, 2018)。加えて、強震動予測における課題を整理した(Koketsu et al., 2018; Miyake and Irikura, 2018; Miyake, 2019)。この他、古地震記録を精査し、関東地震とその余震群について、最新の関東地域の地下構造モデルを用いて、単独の地震から推定される震度分布を試算し、震度分布に着目した中小地震の地震動再現度を確認した。

次年度は、初年度に開始した国内外に存在する関東地震の本震のみならず余震群の古地震記録の収集結果(Murotani et al., 2019; 室谷・他, 2020)に基づき、関東地震とその余震群の震源過程を検討した。また、最新の関東地域の地下構造モデルを用いて、震度分布に着目した中小地震の地震動再現度を確認した(三宅・他, 2020)。本年度は、地震動予測式に基づく簡便法により強震動を試算し、浅部地震波速度の時空間変化に伴い震度増分が経験式よりも増える事例について、定量的に調査した(Miyake et al., 2020)。また、当時の震源決定精度に鑑み、本震ならびに余震群の震源深さが震度分布に及ぼす感度解析を試算した。この他、広帯域地震動シ

ミュレーションの実施に向けた準備を行った (Miyake et al., 2020)。

最終年度は、遠地余震記録について、さらなる解析を行った。具体的には、これらの余震について、米国カリフォルニア州バークレーの観測記録を中心に、国外の遠地記録について、精査とデジタル化を進めた。その結果、バークレーの記録から本震発生後3分後(A1)および5分後(A2)の余震の実体波はP波とS波共におぼろげに確認できたが、本震発生後50分後の余震(A3)は、本震の表面波に隠れていることが分かった。また、本震翌日に発生したM7クラスの2つの余震(A4, M7.3とA5, M6.9)は、P波は明瞭でないがS波は明瞭である記録と、振幅が小さいために波形が確認できない記録となり、地震規模の相对比较に使用できることが分かった。同様に、ウプサラ(のNS、EW成分)とデ・ビルト(のNS成分)も本震翌日のM7.3の地震(A4)を明瞭に記録していた。したがって、遠地記録に関しては、翌年1924年に発生した丹沢の地震(A6, M7.3)と比較し、余震規模の上限を検討することとした。これら3観測点の記録を見ると、マグニチュードは同じ7.3であるがA4の地震の方がA6の地震よりも振幅が大きい。ウプサラとデ・ビルトはA4の余震は表面波がよく記録されているのに対し、A6の地震は表面波の振幅はA4よりも小さく、継続時間も短かった。バークレーは地震計の倍率が低いこともあり、A6の波形はほとんど識別できなかった。これらのことより、気象庁カタログによるA4とA6の深さはそれぞれ14km、0kmであるが、A6の震源の深さがA4よりも深いか、もしくはA6の地震規模がA4よりも小さい地震であることが分かった。また、過年度に引き続き、最新の関東地域の地下構造モデルを用いて、震度分布の観点から中小地震の地震動再現度の検討を進め、余震場所と余震規模に関して複数のケースを計算した。また、浅部地震波速度の時空間変化に伴い震度増分が経験式よりも増える事例の導入を加味した場合についても検討した。

これらの結果、学術的意義としては、これまであまり着目されておらず、地震規模や震源位置について議論が残されている、1923年関東地震のマグニチュード7クラスの余震を分析したことが挙げられる。また、これらの余震の分析には、翌年1924年に発生した丹沢の地震との比較検討が有効であることを確認した。社会的意義としては、大地震が発生し強震動にさらされた堆積平野においては、一時的に震度増分が経験式よりも増える事例があるため、地震ハザードにおいて考慮すべき可能性を指摘した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Miyake, H., K. Irikura, H. Fujiwara, N. Morikawa, T. Maeda, A. Iwaki, and A. Pitarka	4. 巻 -
2. 論文標題 Recipe for strong ground motion prediction: Current and future	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The 6th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion	6. 最初と最後の頁 GS4-101
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 該当する
1. 著者名 三宅弘恵・纈織一起・古村孝志・宮川幸治・安藤美和子・八木健夫	4. 巻 73(NL1)
2. 論文標題 東京大学地震研究所の強震観測	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地震（ニュースレター部）	6. 最初と最後の頁 10-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 三宅弘恵・上原美貴・鶴岡弘・鷹野澄・纈織一起	4. 巻 73(NL3)
2. 論文標題 首都圏強震動総合ネットワークSK-net	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地震（ニュースレター部）	6. 最初と最後の頁 13-15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 Miyake, H., A. Pitarka, A. Iwaki, N. Morikawa, T. Maeda, H. Fujiwara	4. 巻 -
2. 論文標題 Recipe for predicting strong ground motion on the SCEC Broadband Platform	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th World Conference on Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 1d-0088
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 該当する

1. 著者名 三宅弘恵・森川信之	4. 巻 -
2. 論文標題 強震動予測の震源モデル化の現状	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第47回地盤震動シンポジウム	6. 最初と最後の頁 41-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Kobayashi Hiroaki, Koketsu Kazuki, Miyake Hiroe, Kanamori Hiroo	4. 巻 126
2. 論文標題 Similarities and Differences in the Rupture Processes of the 1952 and 2003 Tokachi Oki Earthquakes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 e2020JB020585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JB020585	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 該当する

1. 著者名 Murotani, S., K. Satake, H. Tsuruoka, H. Miyake, T. Sato, T. Hashimoto, and H. Kanamori	4. 巻 91
2. 論文標題 A database of digitized and analog seismograms of historical earthquakes in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Seismol. Res. Lett.	6. 最初と最後の頁 1459-1468
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0220190287	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 該当する

1. 著者名 Miyake, H., and K. Irikura	4. 巻 -
2. 論文標題 Characterized source modeling of crustal earthquakes for broadband ground motion prediction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Best Practices in Physics Based Fault Rupture Models for Seismic Hazard Assessment of Nuclear Installations, IAEA-TECDOC-CD-1833	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 三宅弘恵・額綱一起・古村孝志・宮川幸治・田中伸一	4. 巻 -
2. 論文標題 東京大学地震研究所の強震観測網と強震観測データベース	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第15回日本地震工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 3306-3311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Koketsu, K., H. Kobayashi, and H. Miyake	4. 巻 -
2. 論文標題 Irregular modes of rupture directivity found in recent and past damaging earthquakes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 11th U.S. National Conference on Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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10件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 室谷智子
2. 発表標題 国立科学博物館が所蔵する関東大震災の油絵・写真
3. 学会等名 第38回歴史地震研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miyake, H.
2. 発表標題 Earthquake source characterization for broadband ground motion simulation
3. 学会等名 PEER International Pacific Rim Forum (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miyake, H.
2. 発表標題 Characterization of extreme ground motions
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miyake, H., T. Taira, L.-W. Chen
2. 発表標題 Near-surface velocity reduction and anisotropy for early aftershocks revealed by coda interferometry
3. 学会等名 2021 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miyake, H., S. Murotani, and K. Koketsu
2. 発表標題 Seismic intensity simulation of the entire 1923 Kanto earthquake sequence
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 Miyake, H., T. Taira, and L.-W. Chen
2. 発表標題 Impact of seismic velocity change on ground motion modeling
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Murotani, S., H. Miyake, and T. Taira
2. 発表標題 Revisiting historical seismograms of the 1923 M7.9 Kanto earthquake and aftershocks
3. 学会等名 2019 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 室谷智子・佐竹健治・鶴岡弘・三宅弘恵・橋本徹夫・佐藤俊明・金森博雄
2. 発表標題 日本の被害地震波形記録の数値化・画像化データベース
3. 学会等名 日本地震学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Miyake, H.
2. 発表標題 Building a global seismic hazard map, Big Data Visualization: A New Era in Mapping with the University of Tokyo
3. 学会等名 Annual Meeting of the New Champions (AMNC 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Murotani, S.
2. 発表標題 Efforts of science museum to preserve historical materials and data for seismology: Taking the 1923 Kanto earthquake as an example
3. 学会等名 IUGG 2019 (国際学会)
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
研究 分担者	室谷 智子 (MUROTANI Satoko) (40646593)	独立行政法人国立科学博物館・理工学研究部・研究主幹 (82617)	
研究 分担者	纈纈 一起 (KOKETSU Kazuki) (90134634)	東京大学・地震研究所・名誉教授 (12601)	

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		
米国	カリフォルニア大学バークレー校		