

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16307

研究課題名(和文)巨大地震に対応したリアルタイム地震速報システムの開発

研究課題名(英文)Development of a real-time earthquake early warning system for large rupture dimension

研究代表者

山田 真澄 (Yamada, Masumi)

京都大学・防災研究所・助教

研究者番号：60456829

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)：本研究では、巨大地震に対する緊急地震速報の精度を向上させ、より早く正確に地震動を予測するシステム開発を行った。同時多発地震の適切に分離するアルゴリズム(IPF法)を適用することにより、2016年熊本地震の本震・余震ともに緊急地震速報のパフォーマンスが向上することが分かった。また、P波検知を正確に行う新しいアルゴリズム(kurtosis法)の精度検証と実用化への改良を行った。kurtosis法は既往の手法よりも平均0.12秒早くP波を検知できた。しかしながら、波形の変化に敏感なのでノイズによって誤トリガしてしまうことがあり、ノイズを識別するフィルターを導入することが実用化への鍵となる。

研究成果の概要(英文)：We developed a system which improves the speed and accuracy of an earthquake early warning for large earthquakes. By applying the algorithm designed for multiple simultaneous earthquakes (IPF method), the performance of the earthquake early warning improved for both main shock and aftershocks of the 2016 Kumamoto earthquake. We also evaluated the accuracy of a new P-wave detection algorithm (kurtosis method). The kurtosis method was able to detect a P wave 0.12 seconds faster than the current method in average. However, since it is sensitive to the change of waveforms, it tends to be falsely triggered by a noise. Introducing a filter to identify noises is a key for the practical application.

研究分野：地震学

キーワード：緊急地震速報 強震動 地震活動 熊本地震

1. 研究開始当初の背景

近年、地震の発生をいち早く伝える緊急地震速報は世界各国で注目を集めており、アメリカ、メキシコ、ヨーロッパ、中国などで研究開発が行われている。しかしながら、緊急地震速報を広く一般向けに配信している国は少なく、メディアや携帯電話を利用して半分以上の国民に配信しているのは日本だけである。緊急地震速報には、高い通信技術や高密度の地震観測網が不可欠であり、我が国がリーダーシップをとるべき研究分野の1つである。

しかしながら、2011年東北地方太平洋沖地震の直後には、緊急地震速報の精度が大きく低下し、混乱を招いた。特に大きな問題となったのは、本震の時に大きな揺れを観測した関東地方で速報が携帯電話に配信されなかったことである。図1は緊急地震速報によって予測された震度と、観測された震度を示している。関東地方で震度が過小評価となっていることが分かる。

もう1つの問題点は、本震後数カ月の間、ほとんど揺れない小地震でも緊急地震速報を発生してしまったことである。東北地方太平洋沖地震直後は、誤報(すべての地域で震度3以下しか観測されなかった場合)の割合は6割に上った。この原因のほとんどは、図2のように複数の小さな地震が遠く離れてほぼ同時に発生したため、まとめて1つの地震として扱ってしまったためである。

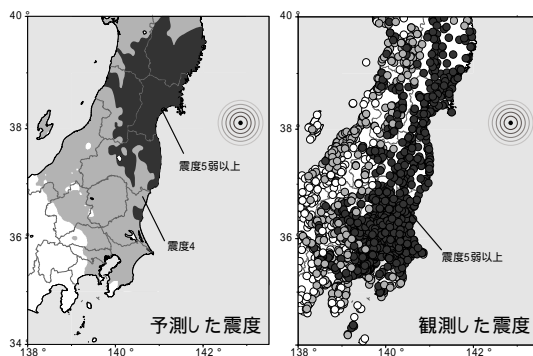


図1 緊急地震速報によって予測された震度(左)と、実際に観測された震度(右)



図2 余震の誤報の例(実際の震源と発表した警報)

2. 研究の目的

現在、日本では地震発生とほぼ同時に緊急地震速報を発生し、揺れが伝わるよりも早く地震の発生を警告することができる。しかしながら、2011年東北地方太平洋沖地震の後、地震の多発に伴って緊急地震速報の精度が大きく低下した。その原因は、震度の予測手法が巨大地震に対応していなかったことや、複数の小地震が離れた地域でほぼ同時に発生した場合に正しく分離できなかったことなどである。本研究では、これらを改善して巨大地震に対する緊急地震速報の精度を向上させ、より早く正確な地震動予測を提供するシステム開発を行う。

3. 研究の方法

本研究では、同時多発地震を適切に分離するアルゴリズムの開発・改良、P波検知を正確に行うアルゴリズムの開発、大地震時の地盤増幅特性の評価、緊急地震速報を一般向けに伝えるインターフェースの構築を行う。

同時多発地震の適切に分離するアルゴリズムの開発・改良: 本研究者のグループによって2014年に提案されたベイズ理論を用いたアルゴリズム(IPF法)の精度向上および連続データによる検証を行う。IPF法は、震源決定にP波到着時刻だけでなく振幅値を使うこと、P波の到着した観測記録だけでなく未到着の観測記録も使用すること、最適解の探索にベイズ理論を応用したパーティクルフィルタを用いて速度を上げること、現在は別々に処理されている地震観測ネットワークの統合を導入することにより、同時多発地震を分離して震源決定を行うものである。本研究では、熊本と別府という離れた地域で地震が発生した2016年熊本地震直後の連続デー

タを適用して、アルゴリズムの検証および改良を行う。

P波検知を正確に行うアルゴリズムの開発:P波到着時刻の精度は緊急地震速報の震源決定精度に大きく影響する。現在は、波形の平均振幅を利用した短時間平均と長時間平均の比(STA/LTA)によってトリガをかけ、P波到着時刻を推定している。近年、尖度を利用することにより、トリガ検知能力が大幅に向上することが指摘されてきた。尖度は平均まわりの4乗のモーメント(標準偏差は2乗、歪度は3乗)という統計量であり、波形の小さな変化により敏感であると考えられる。本手法を東北地方太平洋沖地震の直後の連続記録に適用し、手法の評価及び連続記録に適用するための改良を行う。

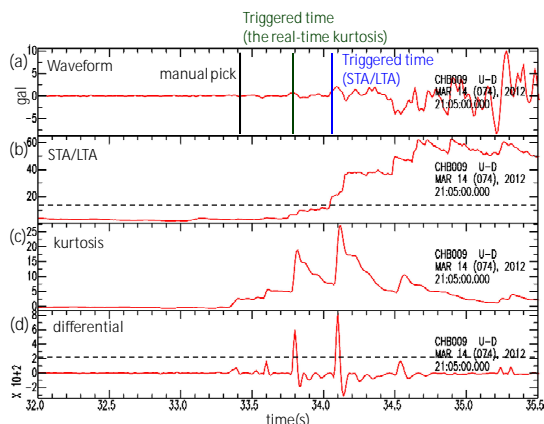


図3 STA/LTA、尖度によるP波の検知例

大地震時の地盤増幅特性の評価:本課題の採択後に熊本地震(2016年4月14・16日)が発生し、大きな被害をもたらした。本地震では、局地的に震度7という大きな地震動を記録し、地震動に与える表層地盤増幅の影響が指摘された。緊急地震速報の地震動推定の際にも、地盤増幅は大きく影響するため、正確な地盤増幅の評価が不可欠である。我々は震度7を記録した益城町中心部でフィールド調査を行い、地盤増幅度と建物被害の関係を調べた。

緊急地震速報を一般向けに伝えるインターフェースの構築:本研究者のグループが開発してきた災害情報モニタリングシステム(Harmonia)に、緊急地震速報の情報を表示させることにより、災害に関連する情報(災害関連ビッグデータ)を1つのインターフェースで統合的に表示し、複合災害予測の可能性や一般向けに分かり

やすい情報伝達を行う。

4. 研究成果

同時多発地震の適切に分離するアルゴリズムの開発・改良:2016年熊本地震直後の4月14日~30日のデータを利用して、IPF法の精度検証を行った。図4に結果を示す。現行の緊急地震速報は、4つの余震で過大評価となっている。そのうちの1つは、観測された最大震度が3だったにもかかわらず、予測された最大震度は7であった。IPF法では、このような過大評価された地震の数は0であった。また本震の予測では、予測精度はそれほど変化がなかったが、ネットワークの統合処理により2-3秒早く速報を提供できることが分かった。IPF法の導入により、熊本地震の本震・余震ともに緊急地震速報のパフォーマンスが向上することが示された。

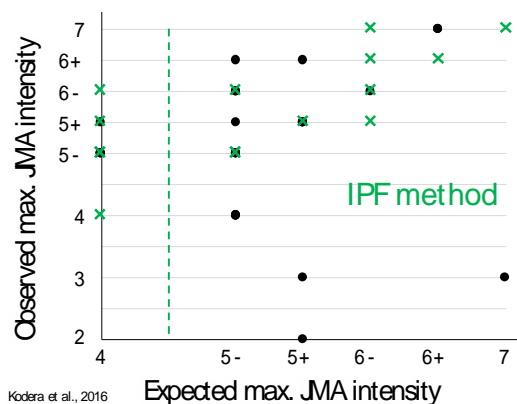


図4 現行の緊急地震速報とIPF法の比較。縦軸が観測した最大震度、横軸が予測した最大震度。

P波検知を正確に行うアルゴリズムの開発:本研究では、STA/LTAと尖度を利用したkurtosis法の2つの手法を用いて、P波検知時刻を決定し、それらと手動検知時刻を比較することで、kurtosis法の性能の検証を行った。2011年3月11日~2011年4月16日までの期間に震度5強以上を記録した17の地震の5分間の切り出し連続記録を用いた。図5に示すように、kurtosis法を用いた手法はSTA/LTAよりも早く、そして精度よくP波を検知できることが分かった。しかしながら、波形の変化に敏感なのでノイズによって誤トリガしてしまうことがあり、ノイズを識別するフィルターを導入することが実用化への鍵となることが分かった。

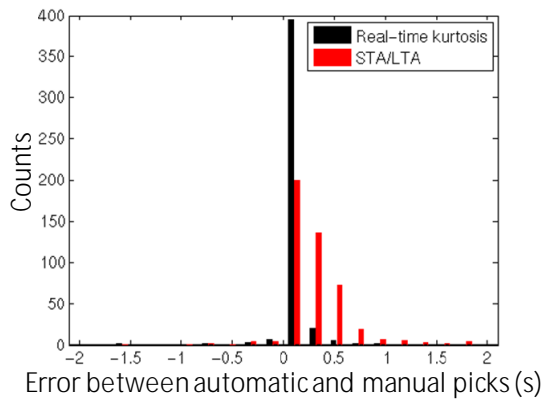


図5 kurtosis法とSTA/LTAのP波検知精度の比較

大地震時の地盤増幅特性の評価:熊本地震で震度7を記録した益城町中心部でフィールド調査を行い、地盤増幅度と建物被害の関係を調べた。その結果、益城町の地盤は通常よりも極端にS波速度が小さいこと、建築年代の古い建物の倒壊率が高いことが分かり、建物被害の分布は建築年代と地盤構造の影響を強く受けていることが明らかになった。益城町中心部では、被害の大きい地域は堆積層が薄く、秋津川に近い南側は堆積層が厚い。このことは、堆積層が厚い地域は一般的に被害が大きいという従来の知見とは相反する結果となった。緊急地震速報で地震動を予測する際に、地盤が大きく非線形化する場合には、従来の線形な予測方法では十分に精度が得られない可能性があることを示している。

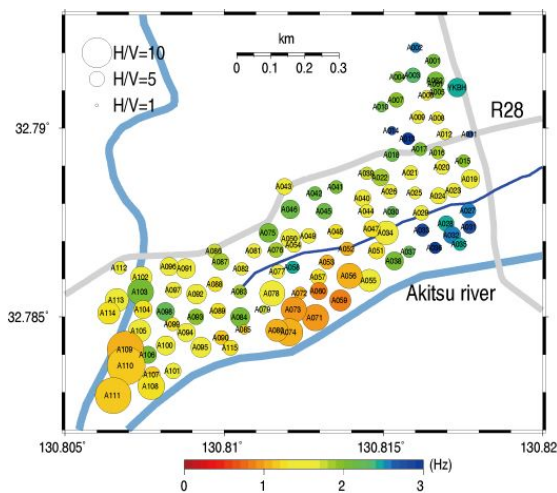


図6 益城町中心部での地盤調査の結果。色が堆積層の厚さに対応する。狭い範囲でもバラつきが大きい。

緊急地震速報を一般向けに伝えるインターフ

エースの構築:複合災害モニタリングシステム (Harmonia) の上に、地震発生情報(気象庁の緊急地震速報、防災科研の Real-Time Earthquake Information System)を表示できるようなコンテンツを作成した。研究者だけでなく、非専門家にも関心を持ってもらえるようにアニメーションやキャラクターによるナレーションを使用した。また、自然災害が発生した時だけでなく、平常時から有益な情報を提供できるように、時刻や天気予報、ニュースや来稿者カウンターを表示できるようにした。作成したシステムは防災研究所の玄関に設置されているモニターで公開されている。



図6 地震発生時のスクリーンショット

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

〔査読付き論文〕

Yamada, M., J. Ohmura, and H. Goto (2017). Wooden building damage analysis in Mashiki town for the 2016 Kumamoto earthquakes on April 14 and 16, Earthquake Spectra (査読中).

山田真澄 (2017). 2016年熊本地震で益城町に現れた震災の島とその生成要因. 日本建築学会論文集 (査読中).

山田雅行, 山田真澄, 羽田浩二, 藤野義範, Jim MORI, 坂上啓, 林田拓己, 深津宗祐, 西原栄子, 大内徹, 藤井章男 (2017). 2016年熊本地震における益城町での被害メカニズムの解明 ~地盤特性の影響~. 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 地震工学論文集第36巻 (印刷中).

Yamada, M., T. Hayashida, J. Mori and W. Mooney (2016). Building damage survey and microtremor measurements for the source region

of the 2015 Gorkha, Nepal, earthquake. Earth, Planets and Space, Vol. 68, doi: 10.1186/s40623-016-0483-4, 2016.7.

【査読なし論文】

Yamada, M., M. Miyoshi and M. Horike (2016) Evaluation of Effective Input Motions to Structures Using Seismograms Recorded at Structure Foundations and Free Field. 5th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Taipei, August 15-17, 2016.

山田真澄, 林田拓己, J. Mori, W. Mooney (2016). 2015年ネパール・ゴルカ地震の建物被害調査と常時微動計測. 京都大学防災研究所年報, pp.65-73.

〔学会発表〕(計 18 件)

【国際学会発表】

Yamada, M. (2017). How to prepare for a strong shaking? Earthquake early warning in Japan (Invited), Recent Advances in Earthquake, Tsunami, and Volcano Monitoring, Hazard Evaluation, and Disaster Management in Latin America, Quito, Ecuador, March 14-16, 2017.

Yamada, M. and Y. Nishimae (2016). How did the earthquake early warning perform for the 2016 Kumamoto earthquakes? (Invited), AGU fall meeting, San Francisco, US, December 12-16, 2016.

Ishida, H., and M. Yamada (2016). Improvement of a picking algorithm: real-time P-wave detection by kurtosis, AGU fall meeting, San Francisco, US, December 12-16, 2016.

Mori, J., M. Yamada, H. Sakaue, M. Yamada, K. Hada, Y. Fujino, S. Fukatsu, E. Nishihara, T. Ouchi, A. Fujii, and T. Hayashida (2016). Site Response Study of the Severely Damaged Region of Mashiki Town from the 2016 Kumamoto Earthquakes, Eastern Section of the Seismological Society of America, Reston,

Virginia, US, October 24-26, 2016.

Yamada, M., M. Miyoshi and M. Horike (2016) Evaluation of Effective Input Motions to Structures Using Seismograms Recorded at Structure Foundations and Free Field. 5th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Taipei, August 15-17, 2016.

Yamada, M. (2016). How to Prepare for a Strong Shaking? Earthquake Early Warning in Japan (Invited), AAAS Annual Meeting, Washington DC, US, February, 2016.

Yamada, M., S. Wu, and K. Tamaribuchi (2015). Multi-events Earthquake Early Warning algorithm using a Bayesian approach, 26th IUGG general assembly, Prague, Czech, July, 2015.

【国内学会発表】

石田寛史, 山田真澄 (2016). kurtosis(尖度)を利用した P 波検知手法～東北地方太平洋沖地震の連続波形記録への適用～, 東京大学地震研究所研究集会「地震のリアルタイムモニタリングと情報の利活用」, 東京, 2016.11.24-25.

山田真澄, 林元直樹, 西前裕司 (2016). Hi-net と気象庁観測点を統合した IPF 法-2016年熊本地震への適用, 東京大学地震研究所研究集会「地震のリアルタイムモニタリングと情報の利活用」, 東京, 2016.11.24-25.

山田雅行, 山田真澄, 羽田浩二, 藤野義範, Jim MORI, 坂上啓, 林田拓己, 深津宗祐, 西原栄子, 大内徹, 藤井章男 (2016). 2016年熊本地震における益城町での被害メカニズムの解明～地盤特性の影響～. 第36回地震工学研究発表会, 金沢, 2016.10.17-18.

林田拓己, 山田真澄, Jim Mori, 坂上啓, 山田雅行, 羽田浩二, 藤野義範, 深津宗祐, 西原栄子, 大内徹・藤井章男 (2016). 2016年熊本地震における益城町での被害メカニズムの解明: その3 余震観測, 日本地震学会秋季大会, 名古屋, 2016.10.5-7.

山田雅行, 山田真澄, Jim Mori, 坂上啓, 林

田拓己, 羽田浩二, 藤野義範, 深津宗祐, 西原栄子, 大内徹・藤井章男 (2016). 2016 年熊本地震における益城町での被害メカニズムの解明: その2 常時微動観測結果, 日本地震学会秋季大会, 名古屋, 2016.10.5-7.

山田真澄, Jim Mori, 坂上啓, 林田拓己, 山田雅行, 羽田浩二, 藤野義範, 深津宗祐, 西原栄子, 大内徹・藤井章男 (2016). 2016 年熊本地震における益城町での被害メカニズムの解明: その1 建物被害調査, 日本地震学会秋季大会, 名古屋, 2016.10.5-7.

山田真澄, 大邑潤三, 後藤浩之 (2016). 2016 年熊本地震における前震と本震の益城町の建物被害, 日本地球惑星連合大会, 千葉, 2016.5.20-25.

石田寛史, 山田真澄 (2016). 地震波検知手法の改良: kurtosis(尖度)を利用したリアルタイム P 波検知, 日本地球惑星連合大会, 千葉, 2016.5.20-25.

石田寛史, 山田真澄 (2016). 地震波検知手法の改良: kurtosis(尖度)を利用したリアルタイム P 波検知, 東京大学地震研究所研究集会「揺れをはじめとする固体地球科学的諸現象の監視及び予測システム」, 東京, 2016.1.

山田真澄 (2016). 地震動の建物内増幅の即時予測手法, 東京大学地震研究所研究集会「揺れをはじめとする固体地球科学的諸現象の監視及び予測システム」, 東京, 2016.1.

山田真澄, 松四雄騎, 荒木正之, 堀内茂木 (2015). 気象・地象・水象統合モニタリングシステムの構築, 日本地震学会秋季大会, 神戸, 2015.10.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

緊急地震速報を発表した地震の解析結果:
<http://www.eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp/~masumi/ecast>

[web/index.htm](http://www.eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp/~masumi/ecast)

地震被害調査報告: <http://www.eqh.dpri.kyoto-u.ac.jp/~masumi/ecast/index.htm>

EERI Japan Briefing Videos: <http://www.eqclearinghouse.org/2016-04-15-kumamoto/2016/06/30/eeri-briefing-videos-about-japan-earthquake-now-online-2/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

山田 真澄 (Masumi Yamada)
京都大学防災研究所・助教
研究者番号: 60456829