

緊急地震速報の発表状況 2011年東北地方太平洋沖地震とその余震について Earthquake Early Warning of JMA - The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and its aftershocks -

菊田 晴之¹, 平野 和幸¹, 山田 安之^{1*}, 若山 晶彦¹, 松井 正人¹, 干場 充之², 林元 直樹², 青木 重樹²

KIKUTA Haruyuki¹, HIRANO Kazuyuki¹, YAMADA, Yasuyuki^{1*}, WAKAYAMA Akihiko¹, MATSUI Masato¹, HOSHIBA, Mitsuyuki², HAYASHIMOTO, Naoki², AOKI, Shigeki²

¹ 気象庁地震火山部, ² 気象庁気象研究所

¹Seismological and Volcanological Department, Japan Meteorological Agency (JMA), ²Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency (JMA)

気象庁が緊急地震速報の高度利用者向け提供を2006年8月に開始し、2012年8月には6年となる。その間、2007年10月より、テレビ・ラジオ等を通じた一般向け緊急地震速報の提供を開始し、さらに、2007年12月には、気象業務法の改正により、緊急地震速報を地震動の「予報」及び「警報」として位置づけた。このうち、「警報」は震度5弱以上を予測した時に発表している。ただし、本稿では2007年10月から提供している緊急地震速報について「予報」及び「警報」相当の情報として取り扱う。

2011年3月11日に三陸沖で発生した巨大地震(2011年東北地方太平洋沖地震、Mw9.0、最大震度7)に対して、気象庁は緊急地震速報(警報)を発表した。この警報は、東北地方が大きな揺れに襲われるよりも前に発表されている。その後の活発な地震活動を受けて、気象庁は2011年12月31日までに96回の警報を発表している。この期間に予報を発表した地震は、本震を含めて3751回であった(キャンセル報も含む)。ちなみに、2007年10月から本震発生までの3年5ヶ月間に発表した警報は17回、予報は1928回であった。

本震発生後、精度の低い緊急地震速報が発表されることが多くなった。2011年に発表された97回の警報のうち、いわゆる誤報とされるもの(警報を発表した対象地域において震度3以上が観測されなかったもの)は27回であった。その原因の一つを以下に記す。

本震発生後、その余震活動と、誘発地震と見られる地震活動とが広い範囲で活発化し、複数の地震がほぼ同時に発生する頻度が増加した。これにより、中枢システムにおける緊急地震速報の処理が複数の地震を同一の地震として判定してしまい、震源の推定や予測震度の計算の誤差が増大した。

本発表では、緊急地震速報の発表状況を整理し、評価を行なう。また、気象庁が行ってきた技術改良と課題、今後の計画について報告する。

キーワード: 緊急地震速報, 警報事例, 東北地方太平洋沖地震

Keywords: Earthquake Early Warning, Warning event, The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

リアルタイムモニタリングを用いた地震動の予測 リアルタイム地震動予測を目指して

Prediction of ground motion using real time monitoring -for real time ground motion prediction -

干場 充之^{1*}

HOSHIBA, Mitsuyuki^{1*}

¹ 気象研究所

¹Meteorological Research Institute

緊急地震速報等の Earthquake Early Warning では、大きく揺れ始める前に人々に知らせることで被害の軽減を目指すものである。現在の気象庁の緊急地震速報では、震源位置とマグニチュード(M)を迅速に推定し、それから、距離減衰式と地盤増幅度から震度の予測を行っている。2011年東北地方太平洋沖地震では、東北地方に対しては期待通りのタイミングで警報を発しているものの、関東地方については、予測震度を過小評価し警報を出していない(Hoshiba et al. 2011, EPS)。この大地震の震源域の広がり十分にに対応できなかったからである。また、本震後数週間は、震度予測を過大評価し過大な警報を出したことが続いた。これは、離れた場所で同時に余震が発生したため、システムが混乱し、震源位置とMを適切に決められなかった場合が多い。

上記の課題に対処するため、前線検知の考え方を拡張し、震源とMを介しない予測の方法が提案されている(干場, 2011, 地震学会)。この方法では、波形が広がっていく様子をモニターし、近い未来を予測する場合には予測点の近傍の観測点の、遠い未来を予測するには遠い観測点の波形を用いることになる。Kirchhoff Fresnel 積分を応用するもので、距離減衰(に相当するファクター)が求められる。この場合、波動の空間分布、波の振幅と伝播方向の実時間把握、および観測点から予測点までのグリーン関数の事前評価が重要である。

実際の予測に適用する場合には、さらに地盤増幅度の補正を考慮する必要がある。現在の気象庁の緊急地震速報では、この地盤増幅度には“震度の増幅度”というスカラー量で近似されているが、周波数別の増幅度を考慮すると、予測精度が高まることが期待できる。岩切・干場(2011, JpGU)の震度予測の試算によると、RMS換算でおよそ2割程度の精度向上が見込まれるとしている。地盤増幅度の位相情報の取り扱いに課題があるものの、もし、この周波数別の増幅度の補正が実時間で行うことができれば、上記の震源とMを介しない予測の方法の考察と合わせて、地震動波形そのものの合成が可能となり、リアルタイムでの地震動予測に結びつけることができる。

シナリオ地震を対象とした地震動予測では、アスペリティの位置や滑り量分布などの震源での情報を仮定し、それをもとに予測を行う。一方、リアルタイムでの地震動予測では、既に発生した地震の波形を伝播途中で把握し、その波形をもとに予測を行うことになる。リアルタイム地震動予測の Earthquake Early Warning への応用が期待できる。

キーワード: 緊急地震速報, リアルタイム, 前線検知, 地盤増幅度, 地震動予測

Keywords: Earthquake Early Warning, Real time, Monitoring, Ground motion prediction

巨大地震の震源域リアルタイム推定システムの開発 四川地震 Real-time fault area location of a massive scale earthquake-Wenchuan Earthquake-

譚 軍輝^{1*}, 堀内 茂木¹, 厚井 裕司¹
TAN, Junhui^{1*}, HORIUCHI, Shigeki¹, Yuji Koi¹

¹ 岩手大学大学院工学研究科

¹ Graduate School of Engineering, Iwate University

1. はじめに 巨大地震発生時には、いわゆるマグニチュードの飽和の問題で、気象庁マグニチュードは、Mw に比べ小さくなり、巨大地震の正確な津波予測が困難になっている。また、緊急地震速報は、点震源モデルを仮定していることから、緊急地震速報による予測震度は、観測震度に比べ小さくなる。堀内・他(2011)は、1秒毎のリアルタイム震度データを用いて、巨大地震の震源域をリアルタイムで推定する手法を開発し、この開発で、これらの課題の解決が可能であることを示した。

中国では、2008年に、M7.9の四川地震が発生した。この地震は、断層の長さが280kmの巨大地震で、死者行方不明約8万人の、極めて甚大な被害が発生した。断層長が長かったことから、断層運動を開始した近傍を除く、大部分の地域に被害を及ぼす揺れが到着したのは、断層運動開始の数10秒後であった。震源域の拡大をリアルタイムで推定し、それを伝達するシステムが開発されれば、多くの人々の避難が可能になり、被害の軽減が期待できると思われる。本報告では、堀内・他(2011)の方法を四川地震に適用した。また改良を行い、中国に適したリアルタイム震源域推定手法の開発を行った。

2. 震源域拡大のリアルタイム推定 司・翠川(1999)、松崎他(2006)は、震度が断層最短距離からの距離で表されるとして、経験式を求めている。距離減衰式による予測震度、Sは、

$$S = S(M, D, H, C) \quad (1)$$

と表される。ここに、M, D, H, Cはマグニチュード、断層最短距離、深さ、および、地盤増幅率である。(1)式のSを、1秒毎に観測される実測震度であるとする、断層最短距離の時間関数は、

$$D(t) = D(S(t), M, H, C) \quad (2)$$

と表される。本報告でも、堀内・他(2011)と同様に、距離減衰式から推定される震度が、観測震度に比べ大きい場合に、(2)式による断層最短距離を求め、それを、震央と観測点とを結ぶ線分上に投影することにより、断層面拡大の時間分布を求めた。

3. 結果 距離減衰式として、司・翠川(1999)を用いる場合は、断層の走行は、余震分布や波形のインバージョンの結果(例えば、Kouketsu, 2008)とほぼ一致するが、断層の長さは、約2倍になった。原因は、震源域の北東端から200km-500km北東に位置する観測点での震度が、日本での距離減衰式で計算されるそれに比べ大きいからである。そこで、距離減衰式を、中国大陸のそれに合うよう変更し、再計算を行った。得られた震源域は、余震分布等のデータから推定された結果と良く一致する結果が得られた。

本手法は、計算が単純で、ほぼ正確に、断層運動の拡大をリアルタイムで推定することが可能であることから、地震災害軽減に貢献できると期待される。

キーワード: 巨大地震, 震源域, リアルタイム推定, 断層, 震度, 距離減衰式

Keywords: Massive earthquake, Fault area, Real-time estimation, Fault, Seismic intensity, Empirical attenuation relation

同時多発地震に対する緊急地震速報

Classification of Simultaneous Multiple Earthquakes for the Earthquake Early Warning System

山田 真澄^{1*}, Liu Annie², Mori James¹

YAMADA, Masumi^{1*}, LIU, Annie², MORI, James¹

¹ 京都大学, ² Caltech

¹ Kyoto University, ² Caltech

The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Mw9.0) caused significant damage over a large area of northeastern Honshu. An earthquake early warning was issued to the public in the Tohoku region about 8 seconds after the first P-arrival, which is 31 seconds after the origin time. There was no blind zone, and warnings were received at all locations before S-wave arrivals, since the earthquake was fairly far offshore.

Over 70 early warnings for strong shaking were also broadcast during larger aftershocks. In general, the system worked well for these smaller events, but there were significant errors caused by event mislocations. Immediately following the earthquake, the waveforms of some large aftershocks were contaminated by long-period surface waves from the mainshock, which made it difficult to identify P-wave arrivals. Also, correctly distinguishing and locating later aftershocks was sometimes difficult, when multiple events occurred within a short period of time.

In this presentation, we propose a new approach to classify simultaneous multiple earthquakes in the current JMA system framework. We introduce a Particle Filter approach, also known as sequential Monte Carlo method, to estimate the most probable event parameter values, which include location, magnitude, and origin time. This approach provides a probabilistic solution to the problem of classifying multiple events. We formulate the likelihood function using the attenuation relationship in the current JMA system, and test the aftershock data of 2011 Tohoku earthquake. The results show that this approach can correctly classify multiple events occurred around the same time in several case studies.

Keywords: Earthquake Early Warning

W-phase を用いた津波警報のための GRiD MT モニタリングシステム GRiD MT with W-phase monitoring system for tsunami early warnin

鶴岡 弘^{1*}, Luis Rivera²

TSURUOKA, Hiroshi^{1*}, Luis Rivera²

¹ 東京大学地震研究所, ² ストラスブール大学

¹ERI, Univ. Tokyo, ²Universite de Strasbourg

The GRiD MT system (Tsuruoka et al., PEPI, 2009) is the real-time monitoring analysis system that continuously monitors long-period seismic wave field at a period of 20-50s recorded by broad-band seismometers. This analysis system automatically and simultaneously determines the origin time, location and moment tensor of seismic events within 3 min of their occurrence without earthquake information such as QED etc. This system has been in operation since April 2003 at the Earthquake Research Institute.

For tsunami early warning purposes, we have implemented a W-phase source inversion algorithm (Kanamori and Rivera, GJI, 2008) into the GRiD MT system (we call this system GRiD MT with W-phase monitoring system) using SeedLink software developed by GEOFON and later adopted by IRIS. W-phase is a very long-period (typically 200-1000s) phase starting after the P-wave arrival, and is suitable for fast source parameter determination for large ($M_w \geq 7$) earthquakes. When broad-band seismograms are available at distances (≤ 30 deg), we can detect seismic events and determine satisfactory mechanism solutions within 15 min after the earthquake occurrence.

We compared GRiD MT with W-phase monitoring results with W-phase source inversion results for events ($M_w \geq 7$) occurred from 2005 to 2011 in the World. From the results, (1) this system detects earthquakes and determines the source parameters with a high level of precision and complete automation within 15 min of the earthquake occurrence. (2) The origin time and locations are similar to those of PDE catalogue or GCMT catalogue. (3) The focal mechanism and moment magnitude obtained by two systems are very similar. The preliminary results suggest that this system provides rapid and reliable source parameters useful for tsunami warning purposes.

キーワード: リアルタイム, 地震解析, システム, W-phase, 津波

Keywords: realtime, earthquake analysis system, W-phase, Tsunami

高精度即時震源パラメータ解析システム (AQUA) における MT・CMT 解析の改良 Improvement of MT/CMT analyses in the AQUA (Accurate and Quick Analysis System for Source Parameters) system

木村 尚紀^{1*}, 浅野 陽一¹, 松本 拓己¹

KIMURA, Hisanori^{1*}, ASANO, Youichi¹, MATSUMOTO, Takumi¹

¹(独) 防災科学技術研究所

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED)

大地震発生時、迅速に震源位置、規模を推定し、その情報を伝達することができれば、地震防災上非常に有効である。防災科学技術研究所 (以下、防災科研) では、比較的大きな地震を対象に震源、マグニチュード、メカニズム解について即時的に推定するシステムを開発し、AQUA システム (Accurate and Quick Analysis System for Source Parameters) と名付け、試験的公開を行ってきた (松村ほか, 2006)。AQUA システムでは、初期震源が求まった後にモーメントテンソル (MT)・セントロイドモーメントテンソル (CMT) 解析を行うことで、震源深さ・メカニズム解・規模等の震源パラメータを迅速かつ正確に決定することができる。しかし、2011 年東北地方太平洋沖地震およびその余震を解析する中で、いくつかの問題点が浮かび上がってきた。そこで、これらの問題点に対応するための改良を行った。

2011 年東北地方太平洋沖地震発生時、AQUA システムではこの地震の MT・CMT 解を適切に決定することができなかった。これは、これまで防災科研 広帯域地震観測網 (F-net) の観測点に設置された広帯域地震計による波形記録のみを解析に用いていたため、広い範囲の観測点で波形が飽和し、正確なデータが得られなかったことによる。また、初期震源として防災科研 Hi-net による波形データの解析により決定された震源を用いるが、破壊過程の初期の段階では規模が過小評価される。AQUA における MT・CMT 解析では、初期震源の規模に応じて最適な観測点範囲、波形の周波数帯・時間長を設定し、Ito et al. (2006) の手法を元に、グリッドサーチによりセントロイド位置・深さ・時刻等の震源パラメータを探索する。このため、初期震源が過小評価されると適切な解析が行えない可能性がある。一方、東北地方太平洋沖地震後、アウトライズ付近でも多数の余震が発生しているが、このような地震については初期震源の深さ誤差が大きいため適切に処理されない場合があった。

これらの問題に対処するため、まず、F-net 速度型強震計を処理に組み込んだ。地震の規模が M7 以上となる場合には、F-net 速度型強震計で得られたデータについて、地震計の特性を補正し、1 回積分することで得られる変位波形を解析に用いた。これにより、M7 以上の地震についても、これまでより震央距離の近い観測点が利用可能となった。このため、これまで M7 以上では震央距離 400km 以上の観測点を用いていたが、M7~9 の地震については震央距離 200km 以上とし、M9 以上の観測点については 400km 以上とした。また、初期震源の規模が過小評価された場合でも、後続の大振幅の波形により規模が大きく求められることから、段階的に規模の大きな地震として解析を行うこととした。同様の処理はこれまででも実装されていたが、解析を繰り返す回数をこれまでの 1 から 10 に増やした。さらに、M9 級の地震に対応できるよう、M8 以上の地震について新たな解析パラメータの設定を追加し、セントロイド時刻の探索範囲を広げるなどのパラメータチューニングを行い、M8 以上の地震については 0.005-0.02 Hz の周波数帯を用いることとした。一方、アウトライズ付近の余震を解析するため、観測網から遠く離れた地震についてセントロイド深さの探索範囲を広げた。

東北地方太平洋沖地震を再解析した結果、初期震源が M5 級の場合でも、段階的に処理を行い Mw8.6 の規模を推定できた。比較のため、M7 級以上の地震についても Hi-net による震源を初期震源として再解析した。得られた結果を GlobalCMT (Global CMT Web Page) と比較すると、メカニズム解・深さ・規模ともほぼ一致し、規模については本震を除いてほぼ Mw で 0.1 以内で一致した。しかし、本震については、例えば GlobalCMT の Mw9.1 と比較してやや差が大きい。これは、東北地方太平洋沖地震のような巨大地震に対しては解析に用いる周期帯が十分でないことによる可能性がある。そこで、さらに長周期の波形を用いた解析を検討した。破壊開始 500 秒前からの 1000 秒間のデータを用い、0.0025-0.01 Hz の周波数帯で解析を行ったところ、Mw8.9 の結果が得られた。これは、GlobalCMT (Mw9.1) および他の解析結果 (e.g., Mw9.0: Ozawa et al., 2011; Suzuki et al., 2011) と良い一致を示している。今後は、解析時間の短縮をさらに検討する必要がある。

キーワード: セントロイドモーメントテンソル, 即時震源決定, 2011 年東北地方太平洋沖地震, アウトライズ地震

Keywords: Centroid moment tensor, Earthquake Early Warning, the 2011 Off the Pacific coast of Tohoku earthquake, outer rise earthquake

断層破壊域の広がりを考慮した緊急地震速報の高度化 Estimation of extended source area during a great earthquake for upgrading the EEW system

倉橋 奨^{1*}, 入倉 孝次郎¹

KURAHASHI, Susumu^{1*}, IRIKURA, Kojiro¹

¹ 愛知工業大学

¹ Aichi Institute of Technology

1. Introduction

The seismic intensities predicted by the Earthquake Early Warning are possibly underestimated in comparison with the observed one for great earthquakes. It is caused to the fact that the attenuation-distance relationships of PGV and PGA for such earthquakes are well expressed as a function of not epicentral distance but shortest distance from site to source fault. So far, we have found that the attenuation-distance relationships of both horizontal and vertical PGAs tend to have some saturation near the source faults during large inland earthquakes. We have also found that the time of the saturation of the vertical PGA is generally earlier than that of the horizontal PGA. Based on the above results, we can provide the information about the rupture extension before the arrival of the main motions for large inland earthquake (Kurahashi et al., 2010).

The 11 March 2011 giant earthquake with Mw 9.0 occurred off the Pacific coast of Tohoku, and is one of the historically largest subduction earthquakes in or near Japan. We examined the saturation of the vertical PGAs near the source area of this earthquake. In this study, we try to check the applicability of our methodology to the EEW information for great subduction earthquakes.

2. Procedure

The procedure to calculate seismic intensity using our methodology for great subduction earthquakes is shown as follows.

1: The extent of the source fault is assumed from the distribution of stations where vertical PGAs of more than 200gal are observed. 2: The vertical PGA at each site outside the source extent is calculated using the empirical attenuation-distance relationship of the vertical PGAs and shortest distance from each site to the source fault. 3: The seismic intensity at each site is predicted using the empirical relationship between vertical PGA and seismic intensity.

3. Check the applicability of our methodology

First, we compare source extent estimated from saturation of the vertical PGAs with rupture area from inverted source model. In this study, source area is defined as follows. The source length is diameter of the extent of the observation points where PGA exceeds 200 gal. The source width is assumed as half of the source length. We confirmed that the source area above estimated approximately coincides with the rupture area from the scaling relation of rupture area vs. seismic moment for subduction earthquake by Murotani et al. (2010).

Next, we examined attenuation relationship of the vertical PGAs. The decay of the PGA with distance beyond the saturation extent has almost same tendency independent of seismic magnitude. In this study, the attenuation relationship distance used Nishimura and Horike (2003). Vertical PGAs at target sites outside the source extent are calculated from the attenuation distance relationships.

4. Result and Conclusion

The predicted seismic intensity map obtained from vertical PGAs of Tohoku earthquake is shown in Fig 1. The predicted seismic intensity agrees well with to observed seismic intensity.

We found that vertical PGAs at stations near the source fault of the Tohoku earthquake have some saturation, although the saturation levels are changeable due to site effects. The extent of the source fault is assumed from the distribution of stations where vertical PGAs of more than 200gal are observed. The seismic intensity at each site is predicted using the empirical attenuation-distance relation of vertical PGA and shortest distance to the source fault. This methodology is available as one of updating EEW system.

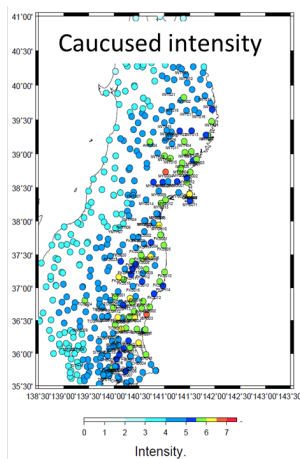
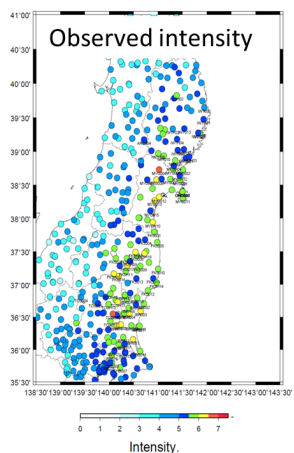
キーワード: 緊急地震速報, 巨大地震

Keywords: The Earthquake Early Warning, great earthquake

SSS40-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 13:45-15:15



震度観測点数の集計による巨大地震の検知手法の検討

A detection method for large earthquake based on counting a number of seismic intensity observation stations

中村 洋光^{1*}, 功刀 卓¹, 青井 真¹, 藤原 広行¹

NAKAMURA, Hiromitsu^{1*}, KUNUGI, Takashi¹, AOI, Shin¹, FUJIWARA, Hiroyuki¹

¹ 独立行政法人防災科学技術研究所

¹ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2011年東北地方太平洋沖地震(以下、「311地震」と略す)では、地震検知から8.6秒後に緊急地震速報(警報)が宮城県中部とその周辺の地域に発表された。警報が出てからK-NET及びKiK-net観測点で震度5弱相当が観測されるまでの猶予時間をみると、宮城県で概ね15秒程度以上、岩手県や福島県で20秒程度以上、茨城県や栃木県では1分程度以上の猶予時間があったと推定される。このことから、大きく揺れ出す前の情報提供という意味においては、緊急地震速報は一定の役割を果たしたと考えられる。一方、実際に震度5弱以上が観測された地域は長野県から青森県に渡る広範囲に広がっており、緊急地震速報での警報領域が不十分であったことは明らかである。また、地震発生から3分後に発せられた津波警報第1報においても津波高さを実際より過小評価する結果となった。これらの過小評価に共通した要因は、主に地震規模の過小評価にある。本研究では、K-NET観測点のデータから算出した計測震度相当値を用い、設定した震度の下限値毎の観測点数の集計値による巨大地震の検知やマグニチュード推定の有効性について検討する。

解析に用いたデータは、対象観測点の空間的な均質化を図るため、1996年のK-NET整備当初のうち島嶼部を除いた観測点で得られたものとした(1996年5月から2011年7月の7103地震分)。集計したもののうち、M6.5以上で、震源に最も近いK-NET観測点までの震央距離が300km以内の55地震の結果を図1に示す。図1より、いずれの震度の下限値においても311地震の観測点数が突出して多いのが分かる。例えば、震度5弱以上でみると311地震では151地点に対して、次いで多い2003年十勝沖地震は52地点である。震度6弱以上では、311地震は54地点に対して、2番目の2011年4月7日に発生した地震では11地点であった。計測震度は、功刀他(2008)により近似ではあるが比較的容易にリアルタイム演算が可能である。従って、リアルタイムに震度観測点数を集計し、図1のような過去の地震の結果と比較することで、対象としている地震がどのレベルの地震であるか推定できる。また、この手法の利点は震源の情報を必ずしも必要としないことである。

次に、集計した震度の観測点数からMを推定することを試みる。村松(2001)は、内陸で発生する地震を対象に、ある震度以上の占める面積とMの関係を明らかにした。本研究では、海域で発生する地震も含んでいるために、ここでは震度5弱以上を観測した観測点数(C_5)の他に、震源に最も近いK-NET観測点までの震央距離(R)をパラメータとして、Mを推定する単純な回帰式($M = \log C_5 + \log R + \dots$)を作成した。対象とした地震は、上記の7103地震のうち震度5弱以上を観測した153地震(M3.7から9.0)である。その結果得られた回帰式によるRMS誤差は0.47であった。また311地震の推定Mは8.8であった。

今回試みた手法は、震度の観測点数を集計するという単純な手法であるが、内陸や比較的陸地に近い海域で発生する巨大地震検知には有効であることが分かった。また、功刀他(2008)による震度のリアルタイム演算手法と組み合わせることにより、処理のリアルタイム化も容易であるという利点もある。今後は実用的なシステムの構築に向けた検討を行う予定である。

キーワード: 震度, 緊急地震速報, K-NET, 2011年東北地方太平洋沖地震

Keywords: seismic intensity, earthquake early warning, K-NET, 2011 Tohoku Earthquake

SSS40-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 13:45-15:15

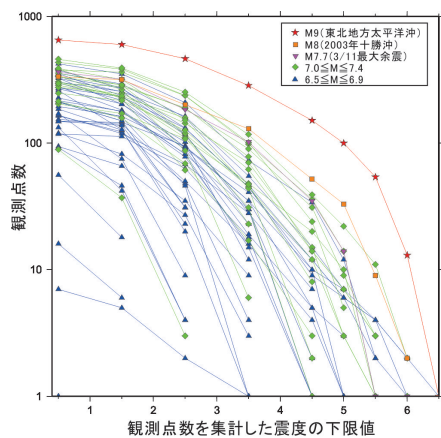


図1 観測点数を集計した震度の下限値と観測点数の関係

時間幅を延ばした τ_c 法で東北地方太平洋沖地震の早期規模推定は可能か？ Is it possible to be early magnitude estimation of the 2011 Tohoku earthquake from τ_c by increased time window?

岩切 一宏^{1*}, 土井 恵治¹, 干場 充之²
IWAKIRI, Kazuhiro^{1*}, DOI, Keiji¹, HOSHIBA, Mitsuyuki²

¹ 気象庁, ² 気象研究所

¹Japan Meteorological Agency, ²Meteorological Research Institute

はじめに

地震波のはじめの数秒の周期情報から、最終的な地震の規模を予測する手法 (τ_c 法) が、Earthquake Early Warning の分野で提案されている (例えば、Wu and Kanamori, 2008)。そこでは、大きな地震になるほど地震波の卓越周期が長くなる性質を利用する。 τ_c 法は、地震波のはじめの 3 秒の平均周期 (τ_c) を求め、 τ_c と M の経験則から M を推定する。東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) に τ_c 法を適用すると、震源に近い観測点の地震波のはじめの 3 秒あるいは 30 秒までを用いても、M の推定はかなり過小評価であった (Hoshiba and Iwakiri, 2011)。東北地方太平洋沖地震の地震波形のスペクトルを見ると、高周波 (10Hz 以上) がかなり大きかった (Iwakiri and Hoshiba, 2011) ため、 τ_c からの M の推定が過小評価となったと考えられる。

さて、時間幅をもっと大きくすれば、あるいは、もっと遠い観測点を使えば τ_c から M を早期に推定することは可能だろうか？津波予報の観点では、30 秒程度の長さの時間幅、また、多少遠い観測点での推定であっても構わない。Zollo et al. (2011) は、東北地方太平洋沖地震の震源から遠い観測点のはじめの 30 秒の τ_c を求め、M8.5 以上と推定できる、としている。これは、数秒後に最終的な M を推定するという、従来の τ_c 法が持つ即時性は犠牲になるものの、巨大地震の M を比較的早期にかつ簡便に推定できる可能性を示している。そこで、我々は、従来の τ_c 法を拡張して、解析区間を 3 秒より長く、震源から遠い観測点も用いて、東北地方太平洋沖地震と M7~8 の地震における τ_c と M の関係から、 τ_c 法による東北地方太平洋沖地震の早期規模推定の可能性を調べた。

データと解析

用いたデータは、2000/1/1~2011/12/31 に発生した、内陸 Mj6.8 以上 20km 以浅、海域 Mj7.0 以上 80km 以浅の計 22 地震について、K-NET、KiK-net (地表) で観測された上下動加速度波形である。ただし、東北地方太平洋沖地震直後の余震 3 個 (3/11 15:08 Mj7.4、15:15 Mj7.6、15:25 Mj7.5) は本震による長周期成分が含まれるため解析から外した。 τ_c は、変位振幅の自乗和と速度振幅の自乗和の比から求められる、変位スペクトルの重みを加味した平均周期である。変位振幅と速度振幅は、加速度波形を積分後に 0.075Hz の high-pass filter を通して求めた。観測点毎の τ_c の解析区間は、P 波部分のはじめの 3、6、9、12、15、18、21、24、27、30 秒とした。P 波部分は、P 波到着から S - P 時間 \times 0.9 (走時は理論値) とした。地震毎の τ_c は、震央距離 50km 毎の範囲での 5 地点以上の幾何平均とした。

結果と考察

まず、 τ_c の解析区間長依存性と距離依存性について調べた。解析区間が長いほど τ_c が大きくなる傾向があり、これは主に震央距離 250km までの範囲にみられる。また、震央距離が大きいほど τ_c が大きくなる傾向があり、これは解析区間 3 秒と 6 秒で比較的中性であった。これらは、 τ_c と M の関係が解析区間長や震央距離によって変わることを示している。また、この τ_c と M の関係には、かなりのばらつきが見られる。

東北地方太平洋沖地震の震央距離 300~350km の範囲での解析区間 30 秒の τ_c は、従来の τ_c と M の経験則 (震源に近い観測点の解析区間 3 秒を対象) を用いると、M8.5 程度に相当する。これは Zollo et al. (2011) の結果と整合する。しかし、前述のように、 τ_c は解析区間長や震央距離に依存するため、 τ_c と M の経験則を用いる際には、解析区間長や震央距離も考慮する必要がある。

東北地方太平洋沖地震の記録から得られる τ_c に、この解析区間長や距離依存性を考慮にいれれば、Zollo et al. (2011) と異なり、高々 M8 程度と推定される。この傾向は、0.03Hz や 0.02Hz の high-pass filter を用い、解析区間長を 180 秒まで延ばしても同様であった。この結果は、従来の τ_c 法よりも長い解析区間、震源から遠い観測点を用いたとしても、 τ_c により、東北地方太平洋沖地震を M8 よりも明らかに大きいと推定するのは難しいことを示している。東北地方太平洋沖地震の τ_c があまり大きくならなかったのは、東北地方太平洋沖地震では強い高周波も観測された (Iwakiri and Hoshiba, 2011) ためと考えられる。

キーワード: τ_c , 2011 年東北地方太平洋沖地震

Keywords: τ_c , the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

最大振幅値出現までの時間を利用した簡易マグニチュード推定方法の検証 Examination of a simple method to estimate earthquake magnitude by using the timing of maximum amplitude

野田 俊太^{1*}, 山本 俊六¹, 是永 将宏¹, 岩田 直泰¹, 伊藤 賀章¹

NODA, Shunta^{1*}, YAMAMOTO, Shunroku¹, KORENAGA, Masahiro¹, IWATA, Naoyasu¹, Yoshiaki Ito¹

¹ 公益財団法人鉄道総合技術研究所

¹ Railway Technical Research Institute

1. はじめに

地震の規模は、緊急地震速報などのリアルタイム警報や津波警報、早期の被害推定などにおいて基本となる重要な情報である。この値を推定する方法として、一般的には M_j の算出などに代表されるように短周期波形の振幅の大きさを用いることが多いが、この方法では大地震の M の値が飽和し、正確な規模を求めることは難しい。大地震の規模をより正確に求めるために長周期波形の解析から M_w を求める方法が利用されているが、原理的に数十秒から数百秒の周期のデータを用いるため、長周期まで計測可能な機器と十分なデータ長が必要になり、簡易に短時間で規模を求めることは困難である。

これらの問題を解決するため、野田・他(2011, 日本地震学会秋季大会)は、地震波の初動の到達から最大振幅値が出現するまでの時間と M_w との相関性を利用した M_w の簡易推定方法を提案した。上記の研究では、K-NETの近地加速度記録を使用して数Hz以上の高周波側の帯域のデータを用いた場合に推定 M_w の精度が高くなることを示したが、 M_w が大きいイベントのデータが少なく、巨大地震の検証が不十分であった。一方、Hara(2007)やLomax & Michelini(2009)などの結果から、大地震の遠地での直達P波部分の速度記録に対し1Hzから高周波のフィルター処理を行ったデータは、変換波などの影響をほぼ受けることなく震源から直接放出されたエネルギーの時間的推移に関する情報を概ね保持していると考えられる。そこで本研究では、巨大地震の遠地波形記録を用いて、野田・他(2011)による簡易 M_w 推定方法の追加検証を行った。

2. データと解析方法

ここでは、1994年から2010年の間に発生した $M_w 7.6$ から 9.3 の13イベントにおいて、震央距離が $30 \sim 85$ 度の観測点で記録されたIRIS DMCのBHZチャンネルの波形データを用いた。この際、イベントは可能な限り発生地域や地震のタイプに偏りが生じないように選択している。はじめに各イベントのデータに対し手動でP波初動の到達時刻の読み取りを行い、1イベントあたり平均で約42個の到達時刻のデータを得た。次に、Hara(2007)に従い波形データに2-4Hzのバンドパスフィルターを施し、P波の到達時刻から振幅の絶対値が最大となるまでの時間を求めた。なお、最大値を求める範囲は、P波の到達時刻から $1.1 \cdot \log(\quad)$ までの時間とした。ここで \quad はKanamori & Brodsky(2004)で示された破壊継続時間である。

3. 結果と議論

はじめに、同一イベントのデータに対してP波の到達時刻から最大絶対振幅値が出現するまでの時間(T_{maxA})の距離依存性を調べたところ、明瞭な依存性は認められなかった。これは、Hara(2007)の結果と調和的であり、以下の解析では距離の補正は行わない。

次に得られた T_{maxA} をイベント毎に対数平均し、野田・他(2011)との比較を行った。その結果、遠地で記録された大地震のデータから求めた T_{maxA} も、野田・他が提案した M_w と T_{maxA} の関係式で概ね説明可能であることが分かった。従って、本研究および野田・他で得られた結果の一致は、巨大地震に対する野田・他で提案された関係式の妥当性を支持する。

提案された方法を用いれば波形記録に適切なフィルター処理を行うことにより、遠地や近地などのデータの種別を問わず、またどのようなシステムにおいても簡易に M_w を推定できる。この方法は、地震動の継続時間から M を推定する方法に破壊のスケーリング則から想定される性質を適用し、それを発展させたものと言えるが、Lomax & Michelini(2009)は地震動の継続時間のバラツキが推定精度に大きく影響を及ぼすことを指摘しており、本研究で得られた T_{maxA} の結果も同様にある程度のバラツキが見られる。これは、構造やディレクティビティ、破壊開始点とアスペリティの位置関係などの様々な影響が複合したものであり、より安定した推定結果を得るためには、カバレッジのよい複数観測点のデータを用いることが望ましいと考えられる。また、特に M が小さくなると地震波の初動の到達時刻の読み取り誤差の影響が相対的に大きくなるため、推定の精度が低下する恐れがある。そのような地震まで対象にする場合は、振幅の大きさも推定式に用いる方法(Hara, 2007)などを使用することにより、精度がより向上すると考えられる。

4. 謝辞

Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS40-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月21日 13:45-15:15

本研究では、IRIS DMCの地震波形記録を使用させていただきました。記して感謝いたします。

キーワード: 緊急地震速報, 津波警報, 早期地震警報, リアルタイム地震防災, マグニチュード, モーメントマグニチュード
Keywords: earthquake early warning, tsunami warning, real-time seismology, magnitude, moment magnitude

ひずみ計を用いた Mw 即時推定手法の開発 Real-Time Mw Estimation Strategy Using Nationwide Strain Meter Observation Network Data

眞城 亮成^{1*}, 高橋浩晃¹

SHINJO, Akinari^{1*}, TAKAHASHI Hiroaki¹

¹ 北海道大学地震火山観測観測研究センター

¹ ISV, Hokkaido University

東日本大震災では津波により甚大な人的被害が生じた。その要因のひとつに、気象庁から発表された大津波警報の高さが過小評価であったために避難行動が遅れたことがあげられる。津波の高さを精度良く予測するには、地震の大きさであるマグニチュード (M) をより正確かつリアルタイムに推定することが求められる。気象庁 M の推定には、主に地震波の振幅が用いられてきたが、M8 を超えるような大地震では、M の飽和が起こり過小評価となってしまうことが以前より指摘されてきた。本研究では、地震に伴う地殻の伸縮 (ひずみ) データを用いることにより、モーメントマグニチュード Mw をリアルタイムに推定する手法の開発を目指す。

ひずみ計は数 Hz から DC までフラットな応答を示す地殻の伸縮を直接計測する機器である。観測値が物理値そのものであるため、GPS のような解析プロセスを必要とせず、直線応答のため地震計のような機器特性の補正も必要とされないためにリアルタイム性に優れている。近年の AD の高ダイナミックレンジ化もあり極近地で大規模なモーメント解放が起こっても機械的電氣的に振り切れることはない。地震はすなわち断層運動であり、これによるひずみの解放を直接測定することは、モーメント解放の推移を直接測定していることに他ならない。

本研究では、太平洋沿岸を 500 年間隔程度で繰り返し襲った巨大津波 (平川, 2000) を発生させた地震をターゲットとする。想定震源域は青森県東方沖から国後島沖である。ここ数年、全国地震波形データ流通網 (JDX) を用いたひずみ観測データのリアルタイム流通・一元化・公開が進められており (山口ほか, 2010, 高橋ほか, 本大会発表), このデータを用いることを前提とする。ひずみ計を用いてリアルタイムに Mw を推定する手法として次を検討している。1) Mw を断層の長さ L から推定する手法。静的ひずみ変化は距離の 3 分の 1 で減衰するため、断層面の空間的広がり、つまりモーメント解放が行われた位置に対して変位よりも敏感である。ひずみ観測点は太平洋沿岸に沿って配置されており、断層長 L の成長をひずみの空間分布よりリアルタイムに追跡できる可能性がある。L の推定値からスケーリング則を用いて Mw を求める (Wells et al., 1996, F.O.Strasser et al., 2010)。2) Mw をリアルタイム主ひずみ解析から得られる断層長 L や震源時間 T から推定する。現在ひずみ計は 100 から 1Hz のサンプリングで AD されたリアルタイムデータ転送が行われている。このため、サンプリング毎の主ひずみ解析を行えば、リアルタイムにモーメントが解放された場所と大きさを推定することが可能である。この考え方は、例えば大久保 (2005) 等により既実践されてきているが、これをリアルタイムに実装することを検討中である。この手法からはモーメント解放が行われている場所の方位とひずみ変化量が得られるため、緊急地震速報による震央距離を用いることで断層長 L が推定可能である。また、その継続時間からは震源時間も推定可能であり、それを用いた Mw の推定も可能である。この手法は単独観測点のデータでも通用可能であるが、複数の観測点のデータによるフォーカシングを行うことにより、より精度の高いパラメータの推定が期待される。また、ダイナミックな動的ひずみ波形を用いて震源時間を推定する手法 (高橋, 2006) や、内部の観測点を用いて断層幅を推定する方法についても検討を進めている。

これらの手法の有用性や問題点の洗い出しを、2003 年十勝沖地震の際に実際に記録されたひずみ記録を用いて検証作業を行っている。流通一元化が行われている全国的なひずみ計ネットワークを活用すれば、東海・東南海・南海が一度にすべるようなイベントに対してもこれらの手法は適用可能であると考えられる。また、ひずみ計は極めて高感度であることから、津波地震のようなゆっくりとモーメントを解放する地震のシグナルも確実に捉えることが期待できる。このように、ひずみ計ネットワークを活用することによって、日本周辺に発生するいかなる規模・震源過程の地震に対してもリアルタイムに Mw の推定を行えるような手法の開発を行い、より確実な津波警報につなげていくことが目標である。

キーワード: ひずみ, リアルタイム

Keywords: strain, real-time

緊急地震速報に DONET を活用するためのマグニチュード補正の検討 Examination of magnitude correction for utilizing ocean bottom seismographs of DONET in EEW

林元 直樹^{1*}, 干場 充之¹
HAYASHIMOTO, Naoki^{1*}, HOSHIBA, Mitsuyuki¹

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Research Institute

海域を震源として発生する地震に対して、地震発生をより早く検知して緊急地震速報を報じるためには、海底地震計の活用が有効である。独立行政法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC) により熊野灘に設置された海底地震・津波観測監視システム「DONET」は、東南海地震の震源域直上に 20 点の観測点を展開しており、これらのデータを緊急地震速報に活用することは、東海・東南海地震の想定震源域周辺で発生する地震の早期検知のために重要である。しかしながら、海底地震計は、地震波速度構造の遅い堆積層の上に設置されているなど、陸上の観測点とは設置環境が大きく異なる。特に、少ない観測点から震源要素を推定する緊急地震速報の処理においては、これらの違いが初期の情報に大きく影響する。本報告では、DONET のデータを緊急地震速報に利用する上で考慮すべきマグニチュードの補正について検討する。

緊急地震速報のマグニチュード (M_{eew}) 推定には、加速度波形を積分して変位波形とし、ベクトルの的に合成した 3 成分合成変位波形の最大振幅が用いられる (Kamigaichi (2003))。 M_{eew} には、波形全体の最大振幅を用いる全相 M_{eew} と、P 波から S 波到達前までの最大振幅を用いる P 波 M_{eew} とが存在し、それぞれ次式で推定される (明田川・他 (2010)、清本・他 (2010))。

$$\text{全相 } M_{eew} = \log A + \log \left(\frac{1}{R} + 0.0011 * \frac{1}{R} + 0.0007 * D + 1.8 \right)$$

$$\text{P 波 } M_{eew} = (\log A + 1.2 * \log R + 0.0005 * R - 0.005 * D + 0.46) / 0.72$$

ここで、A は最大振幅 (10 μm 単位)、 $\frac{1}{R}$ は震央距離 (km)、R は震源距離 (km)、D は震源の深さ (km) である。2011 年 4 月以降に深さ 100km 以浅で発生した地震について、DONET の各点において 3 成分合成変位波形の最大振幅が 50 μm を超える地震を抽出し、観測点毎の M_{eew} を推定して、気象庁一元化震源のマグニチュード (M_j) と比較した。また、比較のために、隣接する気象庁の東南海海底地震計 (東南海 OBS) および周辺の陸上の観測点についても、同様に M_{eew} を推定した。震源要素は気象庁一元化震源カタログを用いた。

DONET における全相 M_{eew} は、総じて 0.6 程度 M_j よりも大きくなる結果が得られた。全相 M_{eew} と M_j との差は、マグニチュードの大きさや震源距離、観測点への入射方位に依存しない。この特徴は、林元・他 (2011) と同様に、気象庁の東南海 OBS についてもみられ、サイト特性により M_{eew} が大きくなると考えられる。より詳細にみると、海溝軸付近の観測点ほど全相 M_{eew} と M_j との差が小さく、陸域に近づくほどに差が大きくなる傾向にある。海域の地震波速度構造探査 (例えば、Nakanishi et al. (2002) など) により、この海域では付加帯の層厚がプレートの沈み込む方向にレンズ上に分布していることが知られており、全相 M_{eew} の増大の差は、これらの地下構造による地震波の増幅の違いをみているものかもしれない。なお、P 波 M_{eew} については、観測事例が少なく、各地震でのばらつきが大きいため詳細な議論は難しいが、陸上の観測点と大きな差はなく概ね M_j と一致しており、S 波ほどの増幅は認められなかった。

謝辞: 本報告では、JAMSTEC より気象庁に提供いただいている DONET のデータを使用しました。観測点の維持、データの品質管理にご尽力されている皆様に、記して感謝申し上げます。

キーワード: 緊急地震速報, 海底地震計, DONET, マグニチュード補正

Keywords: Earthquake Early Warning, OBS, DONET, Magnitude correction

地震動波形から推定した DONET 地震計の方位 Orientations of DONET seismometers estimated from seismic waveforms

中野 優^{1*}, 利根川 貴志¹, 金田 義行¹
NAKANO, Masaru^{1*}, TONEGAWA, Takashi¹, KANEDA, Yoshiyuki¹

¹ 海洋研究開発機構
¹JAMSTEC

熊野灘は近い将来に起きる事が懸念されている東南海・南海地震の想定震源域の直上に位置する。海洋研究開発機構では、熊野灘における地震・津波検知能力の向上および早期検知を目的として、地震・津波観測監視システム (DONET) の構築を行なった。DONET のリアルタイム観測データは EarthLan 経由で気象庁及び防災科学技術研究所に送られ、緊急地震速報に利用される。

DONET は 20 の観測点から構成され、各観測点には地震計と水圧計が設置されている。各観測点には、広帯域地震計及び強震計が設置されている。地震計の方位は緊急地震速報において、特に震源の方位を推定するために重要である。地震計は一般に水平動二成分が東西および南北に向くように設置されるが、深海底で地震計の方位を正確に設置することは現在の技術では困難である。地震計の方位は設置時の ROV のカメラ映像から測定されたが、追試が困難であるため、異なる方法を用いた推定によって検証する必要がある。本発表では、波形記録を用いて地震計方位を推定した結果について報告する。

地震計方位を推定するために、水平動成分の粒子軌跡を用いた次の 3 種類の方法を用いた。すなわち、(1) 遠地地震の陸上観測波形との相互相関、(2) 遠地地震の P 波初動の振動方向、(3) エアガンによるシグナルの振動方向である。手法 (1) および (2) は長周期記録に基づくために広帯域地震計の記録を、手法 (3) は短周期記録に基づくために広帯域地震計および強震計の両方の記録を用いて推定を行った。

手法 (1) は、防災科学技術研究所による Hi-net および KiK-net 地中観測点の地震計方位の推定においても用いられている (汐見ほか、2003)。同じ手法を用いて、防災科学技術研究所による F-net 観測点のうち紀伊半島に設置された 5 点 (ABU, KIS, KMT, NOK, WTR) を基準点とし、DONET 各観測点の広帯域地震計の方位を推定した。解析に使用した地震は、2010 年 5 月から 2011 年 10 月までに起きたマグニチュード (M) 7 以上の遠地のものである。深さについては特に制限しなかった。広帯域地震計の記録に 0.008-0.01 Hz のバターース型帯域通過フィルタを適用し、波形の相関から DONET 地震計の方位を推定した。

手法 (2) は遠地地震の直達 P 波を用いる。震源から観測点に向かう動径方向の水平動成分を radial (R) 成分とすると、P 波のシグナルは上下動成分と R 成分に現れる。その際、両波形の相似性は非常に良く、正の相関を持つ。また、等方媒質の場合、P 波に対応するシグナルは R 成分に直交する transverse (T) 成分には現れない。したがって、ここでは、DONET 広帯域地震計記録の水平動 2 成分を回転して各方位の波形を合成し、その波形と上下動成分の相関の高い方位を求めることで、設置方位の推定を行う。使用した遠地地震は、2011 年 1 月から 2011 年 11 月に起きた、マグニチュード 5.5 以上、震央距離が 30 から 90 度の範囲のものである。イベントの深さは特に考慮していない。

手法 (3) では、DONET 全観測点の設置が完了した後の 2011 年 9 月から 10 月にかけて紀伊半島沖で行われた、エアガンを用いた構造探査 (KR11-09「かいいい」平成 23 年度受託研究「紀伊半島沖における地震探査および自然地震観測調査研究」2011 年 9 月 13 日 - 10 月 10 日) による振動記録を用いた。エアガンによる水中音波は海底面から地殻に入射して地震波に変換されるので、水圧計だけでなく地震計でその振動を観測することができる。エアガンによる水中音波は縦波だけであるので、波の到来直後の振動方向は音波の到来した方向となる。地震計の方位は、水平動成分の粒子軌跡を直線でフィットして波の到来方向を推定し、エアガン発信点と観測点の座標から得られる波の到来方向を用いて推定した。対象とする波の性質は手法 (2) で扱った P 波初動と良く似ているが、エアガンのシグナルは数 Hz 以上の高周波成分が卓越するために波形の相関が十分高くなることが期待できない。ここでは、水平動成分の粒子軌跡を直線で近似することで地震計方位を推定した。

いずれの手法でも推定における方位のばらつきは 5 度程度であった。また、得られた地震計の方位は全ての方法でよく一致した。ROV のカメラ映像から得られた方位との違いは概ね 10 度程度であったが、観測点によっては最大 50 度近いずれが見られた。

キーワード: 海底地震計, 南海トラフ, 構造探査

Keywords: Ocean-bottom seismometer, Nankai trough, seismic investigations

震度のリアルタイム演算法の精度改善について

An attempt to improve accuracy of a processing method of a real-time seismic intensity.

功刀 卓^{1*}, 青井 真¹, 中村 洋光¹, 鈴木 亘¹, 森川 信之¹, 藤原 広行¹

KUNUGI, Takashi^{1*}, AOI, Shin¹, NAKAMURA, Hiromitsu¹, SUZUKI, Wataru¹, MORIKAWA, Nobuyuki¹, FUJIWARA, Hiroyuki¹

¹ 防災科学技術研究所

¹NIED

計測震度は、現在最も広く認知されている強震動指標である。そのため、警報発報や制御を計測震度値に基づき行うことが考えられるが、演算に周波数領域のフィルタ処理を必要とすることから、速報性が求められる用途には適していない。これを解決するため、功刀・他（2008, 地震2, 第60巻第4号）に於いて、周波数領域でのフィルタ演算を時間領域の近似フィルタで代用することによる、震度のリアルタイム演算法を提案した。この演算法は、計測震度の高精度な近似値をリアルタイムで得ることを可能にする。現在、防災科学技術研究所（防災科研）では、K-NET・KiK-net 強震計にこの演算法によるリアルタイム震度計算機能を組み込んで運用しており、その演算結果は、「強震モニタ」等を通じて広く一般に公開されている。また、震度分布を用いた巨大地震発生判定法などの新しい地震警報手法への応用も検討されている（中村・他、本大会）。

功刀・他（2008）では、強震計内でも計算が実行可能なように、可能な限り少ないフィルタ段数（1次4段、2次1段）で、近似フィルタを構成している。この近似フィルタに基づく演算アルゴリズムを K-NET・KiK-net 強震計に組み込み運用したところ、フィルタ演算の負荷の割合は、全体の負荷に比べて少なく、より多くの段数を持つフィルタを用いても演算が可能なが明らかになった。今回、フィルタ段数を増やし、震度のリアルタイム演算法の精度改善を行うことに成功したので、得られた結果について報告する。

キーワード: リアルタイム震度, 震度, 計測震度, 強震動, 強震計, 地震早期警報

Keywords: real-time seismic intensity, seismic intensity, instrumental seismic intensity, strong motion, strong-motion seismograph, earthquake early warning