

## 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<sup>1\*</sup>, 入倉 孝次郎<sup>1</sup>

KURAHASHI, Susumu<sup>1\*</sup>, IRIKURA, Kojiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 愛知工業大学

<sup>1</sup> 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.

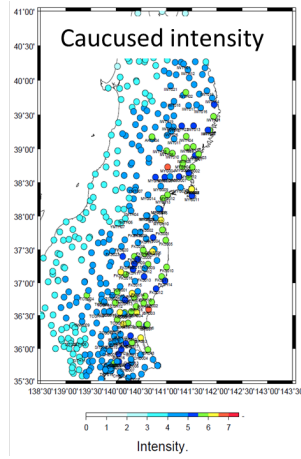
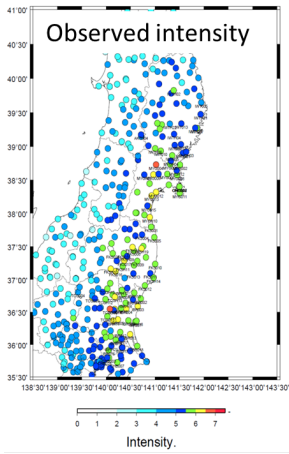
キーワード: 緊急地震速報, 巨大地震

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<sup>1\*</sup>, 功刀 卓<sup>1</sup>, 青井 真<sup>1</sup>, 藤原 広行<sup>1</sup>

NAKAMURA, Hiromitsu<sup>1\*</sup>, KUNUGI, Takashi<sup>1</sup>, AOI, Shin<sup>1</sup>, FUJIWARA, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人防災科学技術研究所

<sup>1</sup> 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( $M = \log C_5 + \log R + \text{const}$ )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

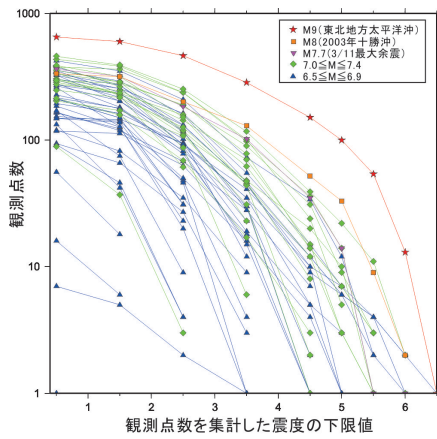


図1 観測点数を集計した震度の下限値と観測点数の関係

## 時間幅を延ばした $\tau_c$ 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 $\tau_c$ by increased time window?

岩切 一宏<sup>1\*</sup>, 土井 恵治<sup>1</sup>, 干場 充之<sup>2</sup>  
IWAKIRI, Kazuhiro<sup>1\*</sup>, DOI, Keiji<sup>1</sup>, HOSHIBA, Mitsuyuki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 気象庁, <sup>2</sup> 気象研究所

<sup>1</sup>Japan Meteorological Agency, <sup>2</sup>Meteorological 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 ( $\tau_c$  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。 $\tau_c$  法は、地震波のはじめの 3 秒の平均周期 ( $\tau_c$ ) を求め、 $\tau_c$  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  $\tau_c$  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、 $\tau_c$  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  $\tau_c$  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  $\tau_c$  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  $\tau_c$  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  $\tau_c$  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  $\tau_c$  と M の関係から、 $\tau_c$  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。 $\tau_c$  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  $\tau_c$  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  $\tau_c$  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、 $\tau_c$  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  $\tau_c$  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  $\tau_c$  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、 $\tau_c$  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  $\tau_c$  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  $\tau_c$  は、従来の  $\tau_c$  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、 $\tau_c$  は解析区間長や震央距離に依存するため、 $\tau_c$  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  $\tau_c$  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  $\tau_c$  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、 $\tau_c$  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  $\tau_c$  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:  $\tau_c$ , 2011 年東北地方太平洋沖地震

Keywords:  $\tau_c$ , 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<sup>1\*</sup>, 山本 俊六<sup>1</sup>, 是永 将宏<sup>1</sup>, 岩田 直泰<sup>1</sup>, 伊藤 賀章<sup>1</sup>

NODA, Shunta<sup>1\*</sup>, YAMAMOTO, Shunroku<sup>1</sup>, KORENAGA, Masahiro<sup>1</sup>, IWATA, Naoyasu<sup>1</sup>, Yoshiaki Ito<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 公益財団法人鉄道総合技術研究所

<sup>1</sup> 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30~85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 $M_w$ 即時推定手法の開発 Real-Time $M_w$ Estimation Strategy Using Nationwide Strain Meter Observation Network Data

眞城 亮成<sup>1\*</sup>, 高橋浩晃<sup>1</sup>

SHINJO, Akinari<sup>1\*</sup>, TAKAHASHI Hiroaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学地震火山観測観測研究センター

<sup>1</sup> 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  $M_w$  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  $M_w$  を推定する手法として次を検討している。1)  $M_w$  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  $M_w$  を求める (Wells et al., 1996, F.O.Strasser et al., 2010)。2)  $M_w$  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) 等により既に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  $M_w$  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  $M_w$  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<sup>1\*</sup>, 干場 充之<sup>1</sup>  
HAYASHIMOTO, Naoki<sup>1\*</sup>, HOSHIBA, Mitsuyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所

<sup>1</sup> 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  $\mu\text{m}$  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  $\mu\text{m}$  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<sup>1\*</sup>, 利根川 貴志<sup>1</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>  
NAKANO, Masaru<sup>1\*</sup>, TONEGAWA, Takashi<sup>1</sup>, KANEDA, Yoshiyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構  
<sup>1</sup>JAMSTEC

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 のバターワ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<sup>1\*</sup>, 青井 真<sup>1</sup>, 中村 洋光<sup>1</sup>, 鈴木 亘<sup>1</sup>, 森川 信之<sup>1</sup>, 藤原 広行<sup>1</sup>

KUNUGI, Takashi<sup>1\*</sup>, AOI, Shin<sup>1</sup>, NAKAMURA, Hiromitsu<sup>1</sup>, SUZUKI, Wataru<sup>1</sup>, MORIKAWA, Nobuyuki<sup>1</sup>, FUJIWARA, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>NIED

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