

## 揺れからの揺れの即時予測：揺れの数値予報の様々な周期への応用 Prediction of ground shaking from shaking itself: application of numerical shake prediction method for various frequency

干場 充之<sup>1\*</sup>; 青木 重樹<sup>2</sup>  
HOSHIBA, Mitsuyuki<sup>1\*</sup>; AOKI, Shigeki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 気象庁

<sup>1</sup>Meteorological Res. Inst., JMA, <sup>2</sup>Japan Meteorological Agency

現在、気象庁の緊急地震速報のシステムをはじめ、世界中で運用／研究されている地震動即時予測手法の多くは、即時的に震源とマグニチュード(M)を推定する考えに基づいている。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0, 東北地震)では、広い震源域への対応が不十分で関東地方の震度を過小予測し、また、同時に発生した複数の余震を適切に分離できず、大きな1つの地震と解釈し、過大な警報を出してしまうなど、震源とMの即時推定による方法の弱点が明らかになった。これらの課題に対処するため、新しい地震動予測手法の考え方を提案している(Hoshiba and Aoki, 2015)。そこでは、IIRフィルターにより地盤の増幅特性を補正したうえで、データ同化手法により波動場の実況を詳細に推定し(Real-time shake-map)、その後、波動伝播のシミュレーション(今回は、輻射伝達理論を用いた)により未来の波動場を時間発展的に予測する。この方法では、必ずしも震源とMを求める必要はなく、詳細に推定した波動場の初期値から波動伝播の方程式に従って未来を予測する。これは、気象の分野における「数値予報」の考え方に似ているので、いわば、「揺れの数値予報」と言える。

この「揺れの数値予報」の方法を、東北地震や2004年新潟県中越地震に適用した。震度の周波数帯(つまり、1Hz(周期1秒)周辺)ばかりでなく、0.3 Hz(3秒)や0.15 Hz(6秒)といったやや長周期の揺れに対しても適用する。長周期に適用するに当たり、2つの懸念(①地盤増幅特性の補正に用いているIIRフィルターでは位相特性が適切に再現できないおそれ、②輻射伝達理論は波線理論的な考えに基づいているので長周期波動を適切に計算できないおそれ)があるが、適用可能性の可否を調べる意味もあり試みる。東北地震の場合、関東盆地を比較的短周期の波は通り過ぎていくが、比較的長周期の波はしばらく継続する現象がみられること、また、近い未来の予測ならば、(今回解析した0.15Hz程度までならば)十分実用的な予測ができそうなこと、を示す。

キーワード: 緊急地震速報, 地震動即時予測, 揺れの数値予報, 長周期地震動

Keywords: Earthquake Early Warning, Real-time prediction of earthquake ground motion, Numerical shake prediction, long period ground motion

## 海底地震計の増幅特性や強震時の記録安定性の影響を考慮したマグニチュード推定の検討：緊急地震速報へのOBSの活用に向けて Consideration of site amplification and data stability of OBS for magnitude estimation of earthquake early warning

林元 直樹<sup>1\*</sup>; 干場 充之<sup>1</sup>; 中村 武史<sup>2</sup>  
HAYASHIMOTO, Naoki<sup>1\*</sup>; HOSHIBA, Mitsuyuki<sup>1</sup>; NAKAMURA, Takeshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, <sup>2</sup>JAMSTEC

現在、海洋研究開発機構のDONET・DONET2、防災科学技術研究所のS-netなど、日本近海にはこれまでに例を見ない稠密なリアルタイム海底地震観測網が整備されつつある。海溝型巨大地震を早期に検知することで緊急地震速報の迅速化が期待されている反面、海底地震計(OBS)のみで緊急地震速報の情報が作成される状況も想定されることから、OBSで観測する強震動を現行の緊急地震速報処理に適用可能かどうかは十分な検討が必要である。

OBSでは、直下の堆積層による地震波増幅の影響が顕著である。林元・干場(2013, 験震時報)は、気象庁の東南海OBSでは地盤増幅特性により緊急地震速報全相マグニチュード( $M_{eew}$ )に0.6程度の補正值が必要となることを示した。Nakamura *et al.*(2014, MGR)は、DONETのデータにおいても同様に堆積層による増幅が生じることを示している。また、OBSでの堆積層による増幅は特に水平動の長周期側で顕著であることが、近傍の陸上の観測点とのスペクトル比より示されている(Hayashimoto and Hoshiba (2013, AGU), 林元・干場(2014, JpGU))。

強震入力時の記録安定性についても留意する必要がある。Yamamoto *et al.* (2004, AGU)は2003年十勝沖地震の際に、JAMSTECの釧路沖OBSの震源直近の観測点において地震計筐体が5°回転したことを示した。そこで、インライン式海底地震計の強震時の特徴を釧路沖OBSのデータを用いて検証したところ、地震計の強震記録中の傾動は重力加速度によるオフセットの原因となり、入力加速度が大きいほど特に地震計のケーブルに直交する水平動成分でオフセットが顕著となることがわかった。また、地震時のH/Vスペクトルから、強震時の非線形応答の特徴がOBSにおいても生じていることを確認することができた。

このようにOBSでは直下の堆積層の影響を受け、水平動成分の顕著な増幅や強震時の非線形化が生じること、強震時の傾動により特にケーブルに直交する水平動成分でオフセットノイズが生じる場合があることがわかった。増幅やオフセットノイズは、緊急地震速報のマグニチュード推定に影響を及ぼすため、利用には注意を要する。本発表では、これらのOBSデータの特徴を考慮した、M推定手法の適用可能性について検討する。上下動成分を用いることで、強震時のデータ乱れの影響を最小限に抑えられるほか、サイト増幅特性の観測点間のばらつきが小さくなることが期待される。

謝辞：本報告には、気象庁観測点のほか、海洋研究開発機構のDONETと釧路沖OBS、防災科学技術研究所のK-NET、KiK-netのデータを利用しました。記して感謝いたします。

キーワード: 海底地震計, 緊急地震速報, 増幅特性, 傾動, 非線形応答, マグニチュード推定

Keywords: Ocean Bottom Seismograph, Earthquake Early Warning, Site amplification, Inclination angle, Non-linear response, Magnitude estimation

## 同時多発地震に対応した自動震源決定手法とその適用例 A Method to Identify Multiple Concurrent Events and its Application

溜瀧 功史<sup>1\*</sup>  
TAMARIBUCHI, Koji<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 気象庁地震火山部  
<sup>1</sup> JMA

東北地方太平洋沖地震の余震活動のように、広域で地震が多発すると、従来の手法では複数の地震のP相、S相などが混在したりするために、実際の震源とは大きく異なる場所に偽りの震源を決定することがある。

その対策として、Liu and Yamada(2014)は、振幅情報から尤度関数を作成し、ベイズ推定を用いて震源を適切に分離する手法を提案した。溜瀧・他(2014)では、この考え方をさらに発展し、最大振幅に加えて、P波検出時刻やB-Δ法、主成分分析法の各推定要素を尤度関数化し、ベイズ推定を用いることで、これらを統合的に評価した手法(統合パーティクルフィルタ法: IPF法)を開発した。その結果、同時多発地震によって誤警報を発表した複数の事例で警報発表を回避できることを示した。

本発表では、2012年8月14日にオホーツク海南部で発生したM7.3(深さ654km, 最大震度3)の深発地震等に対してIPF法を適用した結果を示す。現行システムは観測点が十分にトリガしていない初期の段階で、P波検出時刻のみを用いて内陸の浅い地震と推定し、不適切な警報を発表した。しかしIPF法では、B-Δ法や未着情報を統合して利用するため、警報発表を回避できる。

さらに、一元化震源カタログへの利用を目的として、振幅情報に加えてP波、S波の検出時刻を統合して用いることで、多数の震源を識別する手法を開発し、いくつかの本震-余震活動に適用した。2014年11月22日に長野県北部で発生したM6.7(最大震度6弱)の余震活動では、本震後の24時間に1700個以上決定でき、気象庁で行っている既存の自動処理(約250個)に比べて7倍近く決定数が増加した。これは余震域の広がりや活動推移の早期把握に資すると考えられる。

これらの地震識別手法は、緊急地震速報や一元化震源カタログへの活用を目指し、平成27年度にシステム更新・整備を進めているところである。

参考文献:

Liu and Yamada, 2014, BSSA, 104-3, 1111-1121.  
溜瀧・他, 2014, 地震, 2, 67, 41-55.

キーワード: 自動処理, 自動震源, 緊急地震速報, 一元化震源

Keywords: Automatic hypocenter determination, Earthquake Early Warning, JMA catalog

## オンサイト警報のためのP波、S波識別フィルターの提案 P and S wave identification filter for the on-site seismic alarm

堀内 茂木<sup>1\*</sup>  
HORIUCHI, Shigeki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 株式会社 ホームサイスマメータ  
<sup>1</sup> Home Seismometer Corporation

1. はじめに オンサイト警報システムでは、P波とS波とを正しく区別して、震度予測を行うようにすることが重要である。P波とS波との平均振幅は約5倍違うことから、P波とS波とを区別できなく、S波をP波であると間違えると、最大振幅や震度の予測に大きな誤差が生ずる。海溝型地震を除くと、大きな被害を及ぼす地震は30km以内の地震であり、(S-P)時間は3-4秒であることから、S波到着直後の短い時間区間のデータを用いて、S波到来を決定する必要がある。また、大地震直後の、多数の地震が頻発する場合の自動震源決定システムの開発では、P波とS波とを間違える場合もある。そこで、P波とS波とを識別するためのフィルター開発を行ったので報告する。

2. P波、S波識別フィルター 1) P波は上下動成分の振幅がより大きく、S波は水平動成分がより大きいこと、2) S波の卓越周波数は、P波に比べ長いことが知られている。水平動成分と、上下動成分の振幅比(H/V)をプロットすると、P波到来時にこの値が減少し、S波到来時に増加する。しかし、微弱な遠地地震が含まれていると、P波到来時にH/Vは大きくなる。また、P波コーダの中に、H/Vが大きい位相が含まれている場合が多く、H/Vの値のみからS波到来を判断することは困難である。卓越周波数についても同様である。そこで、P波とS波とを識別するための以下のフィルターを提案する。

$$F(t) = \{ b Z(t) - NS(t) - EW(t) \} - c \{ V(t) - rA(t) \} \quad (1)$$

ここでZ(t)、NS(t)、EW(t)：上下、南北、東西成分の絶対値の移動平均、V(t)；3成分速度波形の絶対値の移動平均、A(t)；3成分加速度波形の絶対値の移動平均、r：P波コーダ部分のV(t)とA(t)の平均値の比(r=V/A)、b：上下動と水平動の振幅比(=2)、c：H/V変化と周波数変化との重み(0.3)

式(1)の第1項は、上下動と水平動の振幅変化に対応し、上下動成分が卓越するP波が到着すると正、水平動が卓越するS波が到着すると負になる。第2項は、卓越周波数の変化に対応し、卓越周波数の低いS波が到着すると負になる。

3. 結果 震度5弱以上の地震について、防災科学技術研究所のK-NETによる波形データを用いて、今回提案するフィルターの有効性を調べた。上下動成分の波形と、フィルター出力とを比較した結果、ほぼ例外なく、S波が到着すると、フィルター出力が負になり、かつ、その振幅の絶対値は、P波コーダ部分のその数倍になることが示された。このフィルターを用いることにより、高精度のオンサイト警報システムの開発が可能であることが示された。大地震発生直後で、余震が頻発する場合の自動震源決定時には、P波とS波との区別が難しいが、このフィルターは、このような場合の自動震源決定にも有効であることが示された。

キーワード: オンサイト警報, P波, S波識別フィルター, H/V変化, 周波数変化, 震度予測, 自動震源決定

Keywords: Onsite Alarm, P and S wave identification filter, H/V change, frequency change, intensity estimation, Automatic hypocenter location



## ホームサイズモメータの普及状況と計測データ利活用に関する検討 How to utilize the information acquired by home seismometers spread across Japan

内藤 昌平<sup>1\*</sup>; 中村 洋光<sup>1</sup>; 東 宏樹<sup>1</sup>; 藤原 広行<sup>1</sup>; 藤牧 静子<sup>2</sup>; 川野 翼<sup>2</sup>; 加地 正明<sup>2</sup>  
NAITO, Shohei<sup>1\*</sup>; NAKAMURA, Hiromitsu<sup>1</sup>; AZUMA, Hiroki<sup>1</sup>; FUJIWARA, Hiroyuki<sup>1</sup>; FUJIMAKI, Shizuko<sup>2</sup>;  
KAWANO, Tsubasa<sup>2</sup>; KACHI, Masaaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 株式会社エイツー

<sup>1</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, <sup>2</sup>A2 Corporation

### 1. はじめに

堀内・他(2007), Horiuchi et.al(2009)は, 現在の緊急地震速報は観測点密度が25kmであることや, Hi-netのデータ伝送遅延から震源から約30km以内の地震の場合には情報配信が間に合わないことを指摘し, 直下型地震にも対応できるように緊急地震受信装置にMEMS型加速度計とA/Dコンバーターを付加した「ホームサイズモメータ」の普及により観測点密度を数10倍以上に増加させ, 地震災害軽減のための情報提供を行う計画について指摘した。

また, 山本・他(2007)は地震計組み込み型のホームサイズモメータの試作機の製作について記述しており, 中村・他(2008)は住宅内にこの試作機を配置し, 試験観測を行った結果について報告している。さらに, 堀内・他(2008)は地震波とノイズを識別するアルゴリズムの開発を行い, このノイズ識別処理を搭載したホームサイズモメータが株式会社エイツーから, 緊急地震速報と内蔵地震計によるP波検知を併用した速報性の高い情報配信を行うサービスとして販売されている。

今回, このホームサイズモメータの普及状況をまとめるとともに, 緊急地震速報受信端末内蔵地震計によって記録された計測データを活用する方法について検討を行った結果について報告する。

### 2. ホームサイズモメータの普及状況について

株式会社エイツーによるサービス提供開始から7年が経過した2014年末時点で, ホームサイズモメータの稼働台数は約4,000箇所となっている。設置箇所の分布は日本全国を均質に覆っているわけではなく, 関東平野, 大阪平野, 濃尾平野等の都市部に集中しているほか, 自治体単位で導入を行っている和歌山県・徳島県等で設置密度が高い。一方, 島嶼部や山間部等, 設置密度が低い地域も存在する。

### 3. 計測データについて

全国に設置されたホームサイズモメータにより計測された高密度な地震記録を用いて, 都市域の高精度な地震被害推定, 及びリアルタイム地震防災情報配信の高度化等の研究目的に活用するため, 防災科研は株式会社エイツーから7年間にわたりホームサイズモメータにより計測された約8,700回分の地震記録の提供を受けた。ただし, 端末の設置箇所の地盤や建物の構造, 設置方法, 周辺の振動, センサーの自己ノイズ(約±1gal程度)等, 様々な条件がある中で, ばらつきを持った多数の地震記録を活用していく方法については検討が必要である。

今回, 試みとして全国のホームサイズモメータにより取得された複数の地震記録について, 縦軸に計測震度(相当値)を, 横軸に震央からの距離をとり, K-NETおよびKiK-netにより取得された記録と重ねてプロットしたところ概ねトレンドが一致したが, ホームサイズモメータによる観測データのばらつきが大きいことが分かる(Fig.1)。

しかし, 都市部等, 既存の強震観測施設に比べて, ホームサイズモメータの設置密度が多い地点においては, 既存の強震観測データを補間するデータとして利用することにより, より詳細な被害状況の記録や, リアルタイム情報配信の高度化に活用できる可能性があるものと思われる。

今後も継続して観測データのばらつきを少なくする手法の開発やリアルタイム情報配信への活用可能性を探っていきたい。

### 参考文献

堀内茂木・他: ホームサイズモメータ普及計画, 日本地球惑星科学連合2007年大会。

Shigeki Horiuchi et.al.: Home seismometer for earthquake early warning, Geophysical Research Letters, Vol.36 No.5. L00B04, 2009.

山本俊六・他: ホームサイズモメータの製作とその機能, 日本地球惑星科学連合2007年大会。

中村洋光・他: ホームサイズモメータの測定性能と実住宅における実証実験の概要, 日本地球惑星科学連合2008年大会。

堀内茂木・他: ホームサイズモメータのための地震波とノイズとの識別機能の開発(2), 日本地球惑星科学連合2008年大会。

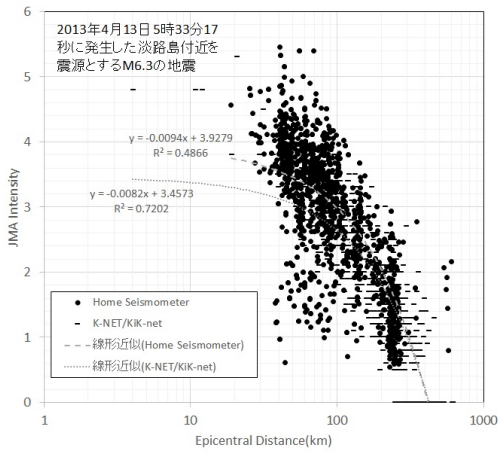
キーワード: ホームサイズモメータ, 緊急地震速報, MEMS

SSS24-05

会場:A06

時間:5月27日 10:00-10:15

Keywords: Home Seismometer, EEW, MEMS



## 早期地震警報のための単独観測点処理の改良 Improvement of the single-station EEW algorithms for railways

山本 俊六<sup>1\*</sup>; 岩田 直泰<sup>1</sup>; 野田 俊太<sup>1</sup>; 是永 将宏<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup> 鉄道総合技術研究所

<sup>1</sup>Railway Technical Research Institute

鉄道では、地震時に列車の運転制御を行うために単独観測点処理による早期地震警報を用いている。単独観測点処理として、規定値超過によるS波警報、P波初動を解析することによるP波警報が実装されている。ここでは、このうちP波警報を高度化するために、近年開発された新しいアルゴリズムを用いて改良した処理手法について提案する。

主要な改良点は、1) P波検知、2) 震央距離推定、3) 震央方位推定、4) マグニチュード推定、5) ノイズ識別である。P波検知を改良するために、STA/LTA法で用いるパラメータを変更し、緩やかな立ち上がりを示す地震波への対応を可能とした。また、レベルトリガをシステムへの導入することにより、確実なトリガを目指した。次により精度良く、速く震央位置を推定するために、C- $\Delta$ 法(山本他, 2012)、可変ウィンドウ法(Noda et al., 2012)の導入を行った。この結果、推定精度はそれぞれ12%、28%向上した。同時にC- $\Delta$ の関係式の見直しを行い、さらなる精度向上を図った。さらにマグニチュード推定の性能を向上させるために、観測された加速度から求められる加速度マグニチュードをシステムに導入した。統計的に加速度振幅のピークは変位振幅のピークに比べ速く出現するケースが多いことが確認されており、加速度マグニチュードと変位マグニチュードを併用することによりマグニチュード推定に関して即時性と信頼性の向上が期待される。ノイズ識別に関しては、周波数情報を扱うことにより性能の向上を図った(岩田他, 2014)。

以上のアルゴリズムを導入することにより、P波警報の総合的な性能向上が期待できる。性能確認のために、プロトタイプ地震計による現地試験を実施中である。

キーワード: 早期地震警報, P波, 単独観測点処理

Keywords: Earthquake Early Warning, P-wave, Single-station method

## 早期地震警報に向けた地震動と列車振動の識別アルゴリズムの開発 Improvement of the discrimination algorithm between train-induced vibrations from seismic motions for EEW

岩田 直泰<sup>1\*</sup>; 山本 俊六<sup>1</sup>; 是永 将宏<sup>1</sup>  
IWATA, Naoyasu<sup>1\*</sup>; YAMAMOTO, Shunroku<sup>1</sup>; KORENAGA, Masahiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 鉄道総合技術研究所

<sup>1</sup> Railway Technical Research Institute

地震発生時に鉄道施設や走行列車の安全性が懸念される場合、鉄道事業者は可能な限り早く列車を停止させる(中村, 1996; 芦谷ほか, 2007; Yamamoto and Tomori, 2013)。いち早く列車を停止させるためには、伝播速度のより速いP波の情報をを用いることが有効であり、鉄道では単独観測点のP波初動数秒の情報から地震の位置と規模を推定し、必要に応じて警報を出力するシステムが稼働している(Odaka et al., 2003; 岩橋ほか, 2004)。

この早期地震諸元推定には一般的に微弱なP波初動を用いるため、特に線路沿線に設置された地震計では列車走行に伴う地面の揺れと地震動を識別する必要がある。現行の早期警報用地震計においても、成分間の振幅比を用いて地震動と列車振動を識別するアルゴリズムが実装されているが(佐藤・中村, 2005)、更なる識別性能の向上を目指し、周波数特性を活用する指標を提案した。加えて、現行と提案の指標を組み合わせた地震動と列車振動の識別アルゴリズムを開発した(岩田ほか, 2014)。

改良したノイズ識別のアルゴリズムを実装した地震計の導入により、地震時における警報情報の信頼性の向上が期待される。

キーワード: 早期地震警報, 地震動, 列車振動, ノイズ識別, アルゴリズム

Keywords: earthquake early warning, seismic motion, train-induced vibration, noise discrimination, algorithm



## GEONET リアルタイム解析システム (REGARD) による地震規模即時推定 Real-time Earthquake Magnitude Estimation by the GEONET real-time processing system: REGARD

川元 智司<sup>1\*</sup>; 宮川 康平<sup>1</sup>; 佐藤 雄大<sup>1</sup>; 西村 卓也<sup>2</sup>; 太田 雄策<sup>3</sup>; 日野 亮太<sup>3</sup>; 三浦 哲<sup>3</sup>; 等々力 賢<sup>4</sup>  
KAWAMOTO, Satoshi<sup>1\*</sup>; MIYAGAWA, Kohei<sup>1</sup>; SATO, Yudai<sup>1</sup>; NISHIMURA, Takuya<sup>2</sup>; OHTA, Yusaku<sup>3</sup>; HINO, Ryota<sup>3</sup>; MIURA, Satoshi<sup>3</sup>; TODORIKI, Masaru<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 国土交通省国土地理院, <sup>2</sup> 京都大学防災研究所, <sup>3</sup> 東北大学理学研究科, <sup>4</sup> 東京大学大学院情報学環  
<sup>1</sup>Geospatial Information Authority of Japan, <sup>2</sup>Disaster Prevention Research Institute Kyoto University, <sup>3</sup>Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>4</sup>The University of Tokyo Interfaculty Initiative in Information Studies

近年の GNSS 測位技術の発展及び通信インフラの向上によって、GNSS を用いた変位データをリアルタイムかつ高精度で取得することが可能となっている。これは巨大地震の地震規模決定に対して有効であり、地震計データを用いて地震規模を推定した場合に推定値が飽和する可能性があるのに対し、GNSS により得られる変位データを用いれば、飽和の恐れ無く地震規模を求めることが可能である。そのため、GNSS を用いて巨大地震のマグニチュード (Mw) を決定すれば、その後に発生する恐れのある津波の規模をより適切に見積もることが可能で、地震計のみを用いた津波警報の精度向上につながる可能性がある。

国土地理院と東北大学は、日本の GNSS 連続観測網である GEONET を用いたリアルタイム解析システムの開発を行っている。システムの目的はリアルタイムでの地震規模及び断層モデルの推定で、名称は the Real-time GEONET Analysis system for Rapid Deformation monitoring (REGARD) と命名された。現在、システムには観測点約 1300 点におけるリアルタイム解析が組み込まれ、さらに地震発生検知アルゴリズムとして RAPiD (Ohta et al., 2012) が実装されている。さらに、これにより得られる変位場は、システムに実装された単一矩形断層モデル、すべり分布モデルの 2 種類のリアルタイム推定機能によりモデル化される。

今回、2003 年十勝沖地震、2011 年東北地方太平洋沖地震、1707 年宝永型南海トラフ地震について、REGARD に実装された 2 種類の断層モデル推定機能のリアルタイム動作を考慮した実証実験を行った。南海トラフ地震のリアルタイム変位波形は、シミュレーションデータ (Todoriki et al., 2013) を使用した。さらに、過去の地震についての既存の静的断層モデル (佐藤他, 1989) と、津波浸水想定のために使用された最大規模の静的断層モデルによる変位場から断層モデルを推定することでも実証実験を行った。

この結果、2003 年十勝沖地震と 2011 年東北地方太平洋沖地震についてはどちらの断層モデル推定機能を用いても 3 分以内に 90% 以上の variance reduction で解を求めることができた。しかし、南海トラフ地震については、すべり分布モデルのみが仮定したモデルと整合するマグニチュードを推定可能であった。また、その他の静的断層モデルによる変位場からの断層モデル推定においても、南海トラフにおいては矩形断層モデルによる推定が不安定な傾向が見られた。以上から、南海トラフにおいてはプレート境界形状が複雑である、断層破壊も一様でないなど破壊領域が複雑であることから、単一矩形断層モデルではすべりを近似することが難しく、安定した解を算出するためにはすべり分布モデルを適用することが適切であると考えられる。

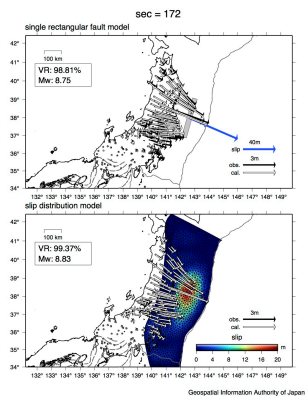
キーワード: GEONET, リアルタイム解析, リアルタイムキネマティック GPS, 断層モデル推定

Keywords: GEONET, Real-time analysis, RTK-GPS, Fault model inversion

SSS24-08

会場:A06

時間:5月27日 11:00-11:15



## 災害時の保健医療支援の効率化に向けた地震速報活用の試み An Attempt of Using of Earthquake Prompt Reports for Dispatching Health and Medical Support Team

石峯 康浩<sup>1\*</sup>  
ISHIMINE, Yasuhiro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 国立保健医療科学院  
<sup>1</sup> National Institute of Public Health

地震速報等のリアルタイム情報に基づく災害推定を保健医療支援に活用する情報ツールの開発に関する取り組みについて紹介する。日本国内では過去の震災等を教訓に、広域災害が発生すると被災者を救助するために災害時派遣医療チーム (DMAT) 等が被災地外から迅速に支援に駆けつける体制が整備されてきた。しかし、災害発生直後には壊滅的な被害を受けた地域ほど被害情報を報告することが困難となり、救助活動に遅れが生じる可能性が高い。地震速報に基づき、建物の倒壊やそれに伴う負傷者の発生件数を迅速に推定すれば、派遣チームや医療資機材等の限られたリソースを効率的に活用し、効果的な支援を行う指標として有用であると考えられる。本発表では、この目的に沿った情報ツールの開発に向けた取り組みの現状を紹介する。

キーワード: 地震速報, 救助活動, 保健医療支援, DMAT

Keywords: Earthquake Prompt Report, Rescue, Health and Medical Support, DMAT

## 携帯端末での地震情報表示プログラムの作成 Application to display Earthquake Information using Mobile Terminal

古舘 友通<sup>1\*</sup>  
FURUDATE, Tomomichi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 気象庁気象研究所地震津波研究部第三研究室  
<sup>1</sup> Japan Meteorological Agency, Meteorological Research Institute

緊急地震速報などのリアルタイム性の高い地震情報はユーザーが携帯端末で受信、表示することが多くなってきているが携帯端末は Android, iOS など異なる OS, C++, Java, Objective-C など異なるプログラミング言語が使われており、プログラムは各種端末で互換性が無いことが多かった。しかし HTML5 などの標準規格に対応した Web ブラウザでは同一のプログラムが多くの携帯端末で動作するようになってきている。

今回の調査では Android, iOS, Windows などの OS で動く携帯端末についてプログラムの互換性、処理性能を調査し、地震情報表示アプリケーションを作成した。まず HTML5 に準拠した Web ブラウザで動く性能評価用のプログラムを作成し各種携帯端末での動作状況、性能を調査した。使用した携帯端末はスマートフォン、タブレット、ノートパソコンなどである。評価は数値計算、2次元表示、3次元表示について行った。その結果 HTML5 に対応したプログラムは Windows, Android, iOS で動作することが確認できた。3次元表示用の規格である WebGL を使用したプログラムでも Windows, Android, iOS での動作が確認できた。処理性能はパソコンに比べて携帯端末の上位機種では 1/2 から 1/3 程度であった。次に地震情報表示用アプリケーションを作成し、動作状況を調査した。作成したプログラムは地図上への情報表示、リアルタイム地震波形表示、センブリランス処理表示である。それらのプログラムも各種端末で動作を確認できた。

以上の調査をふまえ、HTML5 などの標準規格に準拠したプログラムは各種端末で概ね動作することがわかった。処理性能はパソコンに追いつきつつある。今後、さらに調査を行いプログラムの改良を行っていく予定である。

### 謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 25282114 「実時間地震動予測：実況値を反映させる手法の構築」の助成を受けたものです。

キーワード: 携帯端末, 地震情報, HTML5, WebGL  
Keywords: mobile terminal, earthquake information, HTML5, WebGL

## 地震波動場の正確な把握を目指した強震アレイ観測 Array observation of strong motion for the precise estimation of current wavefield

小木曾 仁<sup>1\*</sup>; 林元 直樹<sup>1</sup>; 干場 充之<sup>1</sup>  
OGISO, Masashi<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

我々は、Hoshiba (2013, JGR) の概念に基づいて、震源情報を介さずに観測波動場から直接未来の波動場を予測する次世代の緊急地震速報の技術開発を行っている。Hoshiba and Aoki (2015, BSSA) はこの概念を実際の観測データに適用し、巨大地震や短時間に複数の地震が発生する場合にも波動場の予測が可能であり、緊急地震速報へ活用できることを示した。

Hoshiba and Aoki (2015) では、観測値として観測点における振幅のみを利用している。観測値として、振幅のほかに P 波や S 波といった波動の種類やその伝播方向、見かけ速度の情報が得られれば、それらを同化することにより波動場の予測精度がさらに向上することが期待される。アレイ観測はこれらの情報を得るための有力な観測手法であることから、我々は気象研究所構内に 6 観測点からなるアレイ観測網を設置し、処理手法の検討を始めた。

地震計は東京測振製の CV-374 を用い、500Hz サンプリングで連続波形を収録している。それぞれの観測点は地中 30cm ほどに埋設した 1 点を除き、既存の建物の床面に固定した。アレイ観測網の口径は約 300m である。

2014 年 11 月 22 日 22 時 08 分頃の長野県北部の地震 (M6.7) の記録について、時間窓を 1 秒としてセンブランス解析 (Neidell and Turner, 1971) を複数の周波数帯で行ったところ、P 波到着時から S 波到着時直前までは、上下動にて高いセンブランス値が高周波数帯まで得られた。ただし、得られた入射方位は 235~300 度程度で、震央から期待される方位 (290 度) より南側から入射する傾向がみられる。また、見かけ速度は 10km/s 程度と浅い地震にも関わらず大きな値が得られ、アレイ直下の堆積層の影響を受けていると考えられる。S 波部分については 4Hz 以下の水平動で比較的高いセンブランス値が得られたが、入射方位や見かけ速度は上下動ほど安定しておらず、S コーダ部になるとセンブランスが高くても見かけ速度や入射方位が不安定となった。

アレイ直下の構造推定のため、連続記録に地震波干渉法 (e.g. Nagaoka et al., 2012) を適用したところ、1~4.5Hz でレイリー波位相速度が 400~300m/s という分散曲線が得られ、アレイ直下の低速度層の存在をうかがわせる。今後、J-SHIS による構造モデルと合わせるなどしてアレイ直下の速度構造を推定する予定である。

本アレイ観測網は緊急地震速報への活用を念頭に置いているため、計算の高速化は必須である。処理の並列化に加え、速度構造を考慮した計算の効率化もあわせて取り組みたい。

キーワード: アレイ観測, 緊急地震速報, 処理高速化

Keywords: Array observation, Earthquake early warning, efficient calculation



## Fast Estimate of Rupture Process of Large Earthquakes via Real Time Hi-net Data

WANG, Dun<sup>1\*</sup> ; KAWAKATSU, Hitoshi<sup>1</sup> ; MORI, James<sup>2</sup>  
 WANG, Dun<sup>1\*</sup> ; KAWAKATSU, Hitoshi<sup>1</sup> ; MORI, James<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University  
<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

We developed a real time/automated system based on Hi-net seismic array that can offer fast and reliable source information, for example, source extent and rupture velocity, for earthquakes that occur at distance of roughly 30- 85 degrees with respect to the array center (Figure 1).?

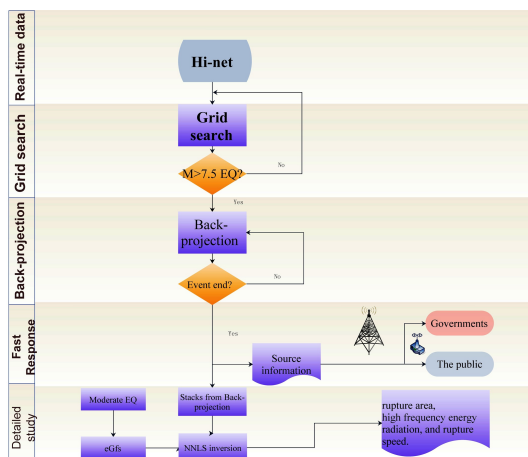
We perform continuous grid search on a Hi-net real time data stream to identify possible source locations (following Nishida, Kawakatsu, and Obara, 2008, JGR). Earthquakes that occurred off the bright area of the array (30- 85 degrees with respect to the array center) will be ignored. Similarity of the waveforms, and location variations of the local maxima from neighboring windows are used to verify the occurrence of large earthquakes. Once a large seismic event is identified successfully, back-projection will be implemented to trace the source propagation and energy radiation using pre-calculated station corrections derived from nearby earthquakes that occurred previously. An inversion will be then applied to get the detailed high frequency energy distribution.

The time required is mainly due to the travel time from the epicenter to the array stations, so we can get the results between 6 to 13 min depending on the epicentral distances. This system can offer fast and robust estimates of source information for large earthquakes, which may be useful for disaster mitigation, such as tsunami evacuation, emergency rescue, and aftershock hazard evaluation.

### Figure caption

Figure 1 Framework of the Real Time Back-Projection

キーワード: real time seismology, rupture process, Hi-net, disaster mitigation  
 Keywords: real time seismology, rupture process, Hi-net, disaster mitigation



## GEONET リアルタイム解析を用いた地震規模即時推定システム (REGARD) の概要 REGARD - Real-time GEONET Analysis System for Rapid Deformation Monitoring -

佐藤 雄大<sup>1\*</sup>; 宮川 康平<sup>1</sup>; 川元 智司<sup>1</sup>; 大島 健一<sup>1</sup>; 村松 弘規<sup>1</sup>; 犬飼 孝明<sup>1</sup>; 太田 雄策<sup>2</sup>;  
出町 知嗣<sup>2</sup>; 三浦 哲<sup>2</sup>; 日野 亮太<sup>2</sup>; 中村 康弘<sup>3</sup>; 西山 真衣<sup>3</sup>; 道家 友紀<sup>3</sup>  
SATO, Yudai<sup>1\*</sup>; MIYAGAWA, Kohei<sup>1</sup>; KAWAMOTO, Satoshi<sup>1</sup>; OSHIMA, Kennichi<sup>1</sup>; MURAMATSU, Hiroki<sup>1</sup>;  
INUKAI, Takaaki<sup>1</sup>; OHTA, Yusaku<sup>2</sup>; DEMACHI, Tomotsugu<sup>2</sup>; MIURA, Satoshi<sup>2</sup>; HINO, Ryota<sup>2</sup>;  
NAKAMURA, Yasuhiro<sup>3</sup>; NISHIYAMA, Mai<sup>3</sup>; DOUKE, Yuki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 国土地理院, <sup>2</sup> 東北大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 日立造船株式会社

<sup>1</sup>GSI of Japan, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>3</sup>Hitachi Zosen Corporation

国土地理院は全国約 1,300 ケ所に設置された GNSS 連続観測施設 (電子基準点) から構成される GNSS 連続観測網 (GEONET) を運用している。GEONET では、国土地理院 (茨城県つくば市) の解析センターにおいて電子基準点で観測された GNSS データを収集し、解析を行い、その結果を観測データとともに一般に提供している。ほとんどの電子基準点での GNSS 観測は 1 秒サンプリングで行われ、そのデータはリアルタイムに解析センターへ転送されている。このリアルタイムデータは、ネットワーク RTK のための補正情報の生成や、リアルタイム解析技術の研究等のために利用されている。

GEONET リアルタイム解析の重要性は平成 23 年 (2011) 東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) の発生により大きく高まった。この地震に伴って発生が予測された津波に対し、気象庁は地震発生後約 3 分で津波警報第 1 報を発表したが、実際に観測された津波はその予測を大きく上回るものであった。この原因として、津波警報第 1 報では主に短周期地震計データから推定された地震規模を基に津波高が予測されており、地震規模が M8 を超えるような巨大地震においてはそれが飽和することが指摘されている (Ozaki, 2011)。一方で、地震規模は地殻変動量に基づいて推定することもでき、それは飽和の恐れがないため、特に大きな地殻変動が生じるような巨大地震の地震規模についてはこの方法によってより信頼性の高い結果を得ることができると考えられる。このことから、短時間で地震時地殻変動を得ることが可能な GNSS 観測データのリアルタイム解析を用いた地震規模の即時推定技術については、現在大きな期待が寄せられている。

このような背景のもと、国土地理院では国土地理院、大学等の研究成果である GNSS リアルタイム解析技術、地殻変動検知技術、矩形断層モデル及びすべり分布モデル推定技術等を組み合わせた地震規模即時推定システム (REGARD) の開発を平成 23 年度から開始し、実運用に向けて改造を進めてきた。REGARD は大きく分けて以下の 3 つのサブシステムから構成されている。

### 1. リアルタイム解析サブシステム

RTKLIB 2.4.1 (Takasu, 2011) 及び GSILIB (国土地理院, 2015) をベースとした解析エンジンで、主として日本海側に固定点をとる相対測位を行う。

### 2. 変動検知サブシステム

REGARD の開発に当たって共同研究している東北大学の研究成果である RAPiD アルゴリズム (Ohta et al., 2012) 又は緊急地震速報 (Kamigaichi et al., 2009) を用いて地震の発生を検知し、各電子基準点の変位量を計算する。

### 3. 矩形断層モデル及びすべり分布モデル推定サブシステム

変動検知サブシステムで計算された電子基準点の変位量を入力値として即時自動断層モデル計算 (西村, 2010; Kawamoto, 2014) を実行することで、地震発生の検知から 3 分以内で地震規模が推定される。

REGARD により出力された地震規模及びその他の解析結果は、最終的に電子メールで指定した対象に送信される。

近年の開発では、平成 25 年度にリアルタイム解析について東北地方を中心としたものから全国の電子基準点に対応させたものにするるとともに、システムを二重にすることで冗長性を高めた (矢萩ほか, 2014)。平成 26 年度には、システムの信頼性及び安定性の向上並びに解析結果の閲覧機能の充実を目的として改造を行った。ここでの主な改造点は、解析の冗長性の確保 (異なる暦による基線解析及び PPP)、GNSS (GPS, 準天頂衛星, GLONASS) 解析への対応、解析結果閲覧ツールの改良であり、そのほかにも様々な改良を施すことで実運用を目指したシステムの構築を図った。これにより巨大地震に伴う地殻変動を即座に捉えるとともに、信頼性の高い地震規模を速やかに関係機関へ伝達することができ、津波警報における津波の予測高の高精度化や地盤沈下が発生した地域を迅速に把握すること等への貢献が期待できる。

本発表では、REGARD 開発の最新の状況、解析の精度、解析結果閲覧機能等の概要並びに今後の運用及び改良について報告する。

キーワード: GEONET, リアルタイムキネマティック GNSS, リアルタイム

Keywords: GEONET, RTK-GNSS, real-time

## リアルタイム地震被害推定システム (J-RISQ) による2014年長野県神城断層地震の被害推定 Real-time Damage Estimation for the 2014 Nagano Kamishiro Fault Earthquake by J-RISQ

中村 洋光<sup>1\*</sup>; 功刀 卓<sup>1</sup>; 鈴木 亘<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>; SUZUKI, Wataru<sup>1</sup>; AOI, Shin<sup>1</sup>; FUJIWARA, Hiroyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup> NIED

地震発生直後に迅速に被害状況を把握することは、より適切な初動体制を確立するための意志決定や災害対応を行う上で極めて重要である。防災科学技術研究所では、地震ハザードステーション (J-SHIS) の開発にあたり蓄積してきた表層地盤の増幅特性データや人口・建物に関する情報等の基本情報や、地震動の予測手法、建物の被害評価手法と、K-NET や KiK-net から得られるリアルタイム強震データ等の観測データを組み合わせることで、地震発生直後において、これまでよりも更に早い段階で初動対応の適切な意志決定等に役立つ被害推定情報を提供することを目指したリアルタイム地震被害推定システム (J-RISQ) の試作版を構築し、現在試験的な運用を行っている (青井・他, 2013, Nakamura et al., 2013)。このシステムは、基本的に震源の情報はいらず、観測点で得られる震度情報から微地形区分による揺れやすさを考慮した面的な地震動分布を推定し、それを入力とした震度曝露人口の推定や、建物種別や建築年代を属性として持つ建物モデルに被害率曲線を適用することで建物被害推定を行う。こうして得られるリアルタイム推定情報の一部 (推定震度分布や震度曝露人口等) は、「J-RISQ 地震速報」として、概ね震度3以上を観測した地震に対して、地震発生直後より WEB 公開を行っている (<http://www.j-risq.bosai.go.jp/>)。本研究では、2014年11月22日に発生した長野県神城断層地震 (以下、神城断層地震) における J-RISQ の推定状況について報告する。

神城断層地震において、J-RISQ では第1報から5報までの推定を行っている。第1報は地震発生から約27秒後に12観測点の情報 (そのうち最大震度は白馬村の震度5強) を用いて推定を行っており、その結果震度5弱以上の曝露人口2万人、建物被害については全壊棟数1棟、半壊棟数10棟という推定結果を得た。最終的に第5報は、地震発生から約11分後に1567観測点の情報 (そのうち最大震度は長野市、小川村、小谷村の震度6弱) を用いて推定が行われ、その結果震度5弱以上の曝露人口が20万人、震度6弱以上の曝露人口が2万人、建物被害については、全壊棟数46棟、半壊棟数186棟という推定結果を得た。建物被害推定結果について、実被害の情報となる消防庁の災害情報 (第21報) と比較すると、J-RISQ の推定結果は過小評価の傾向がみられるものの概ね調和的なものであった。一方、白馬村堀之内地区で見られたような集中的な被害は推定できていない。今後、地震動を推定するための地下構造モデル等の高度化が必要と考える。

謝辞

J-RISQ で用いている地方自治体及び気象庁の震度データは気象庁より提供して頂いている。

キーワード: J-RISQ, リアルタイム, 被害推定, 長野県神城断層地震, K-NET, KiK-net

Keywords: J-RISQ, real-time, Damage Estimation, 2014 Nagano Kamishiro Fault Earthquake, K-NET, KiK-net



## 3次元不均質地下構造を考慮した震源メカニズムのリアルタイム推定 (GRiD-MT) に向けた数値実験 A numerical study of real-time source mechanism inversion (GRiD-MT) considering 3D heterogeneous subsurface structure

長尾 有紗<sup>1\*</sup>; 古村 孝志<sup>2</sup>; 鶴岡 弘<sup>3</sup>  
NAGAO, Arisa<sup>1\*</sup>; FURUMURA, Takashi<sup>2</sup>; TSURUOKA, Hiroshi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院学際情報学府, <sup>2</sup> 東京大学大学院情報学環, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所  
<sup>1</sup>III, The Univ. of Tokyo, <sup>2</sup>CIDIR, The Univ. of Tokyo, <sup>3</sup>ERI, The Univ. of Tokyo

### 1. 研究の背景

本研究では、リアルタイムでモーメント・テンソルインバージョンを行う GRiD-MT (Tsuruoka et al., 2009) の高度化を目的として、差分法 (FDM) を用いた短周期の地震波伝播シミュレーションに基づいて、地下構造の不均質性の強度と解析周波数、観測点数の違い等による震源決定精度の評価を行った。

東京大学地震研究所では、2003年より GRiD-MT プロジェクトが運用されており、ここでは、 $2.4^\circ \times 2.4^\circ \times 90\text{km}$  の解析範囲を  $25 \times 25 \times 11 (=6875)$  のグリッドに分け、各グリッドを仮想震源とした MT 解の決定を、観測波形とグリーン関数の相関係数の高さを基準に 1 秒ごとに震源の位置とメカニズムの決定を行っている。現在、GRiD-MT でモーメント・テンソルインバージョンに用いるグリーン関数は、水平成層構造モデルを用いて計算している。この手法は、比較的長周期 (20-50s) の地震波動場を対象とした解析に適用可能であり、およそ Mw4 程度以上の地震のメカニズム推定が可能である。

GRiD-MT で対象とする地震を、より規模の小さなものまで拡大し、かつ精度の高いメカニズム決定を実現するためには、周期 20s 以下の短周期の地震波も考慮したグリーン関数の利用が必須である。本研究では、3次元不均質地下構造モデルを用いたグリーン関数の整備に先だって、まず 2次元モデルを用いた数値実験を行い、不均質構造でのモーメント・テンソルインバージョンの特性を調査した。そして、解析に用いる観測点数や地震波の周波数範囲が解析結果に与える影響を評価した。

### 2. 研究の方法・結果

$76.8\text{km} \times 41.2\text{km}$  の領域を持つシミュレーションモデル中の地下 98ヶ所に仮想震源を設定した。あらかじめ、これらの震源に対する地表観測点のグリーン関数を差分法計算により取得しておき、これと地震波形と照らし合わせて最適な震源の位置を決定する。波形を照らし合わせる観測点は最大で 5ヶ所まで使用し、グリーン関数と地震波形の相関係数の相加平均が最も高い仮想震源の位置を推定震源とした。

本数値実験から以下の結果が得られた。

a. 震源が浅い (およそ 10km 以下) 場合には、1-3 点の少ない観測点を用いた相関係数の評価でも高い精度で震源決定できる。決定精度は、観測点数の増加とともに高まるが、観測点数が十分に多くなる (>4 点) とその効果は頭打ちとなる。

b. 一方、震源が深い地震では、浅い地震に比べて震源決定精度は悪い。この問題は、観測点数を増やしても改善しない。地下構造の不均質性の強弱にも関係しない。震源決定精度が悪い理由は、浅い地震では深さとともに波形変化が大きく、かつ伝播速度の遅い表面波が卓越するのに対して、深い地震は表面波が含まれていないために、深さや震源距離が変わっても波形変化が小さいためである。

c. グリーン関数と地震波形の相関係数から評価する本震源決定スキームでは、地下構造モデルの不均質性が大きいほど決定精度が向上する。不均質性が小さい場合には震源の違いによる波形の違いが小さいためである。

d. なお、地下構造の不均質性が小さい場合には、地震波形の水平動と上下動が大きく異なるため、相関波形に基づく震源決定には両方の成分を用いるとよい。

### 3. まとめと今後の研究方向

本研究では、GRiD-MT の高度化に向けて、地下構造の不均質性と観測点数の違いによる震源推定精度の評価を行った。推定の信頼性向上には観測点数の増加に加えて、特に地下構造モデルの不均質性を考慮することの重要性が明らかとなった。得られた結果をもとに、今後 3次元グリーン関数を用いた GRiD-MT の基本設計を行う予定である。なお、グリーン関数の計算では、観測点数に対して仮想震源が多いことから、仮想震源すべてに対して地震波形を計算するのではなく、相反定理を適用して観測点と震源の位置を入れ替えた計算が計算時間短縮の上で圧倒的に有効であることから、その適用可能性についても今後検討する。

SSS24-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月27日 18:15-19:30

キーワード: GRiD-MT, 震源決定, 相関係数

Keywords: GRiD-MT, hypocenter location, correlation coefficient