

## 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).?

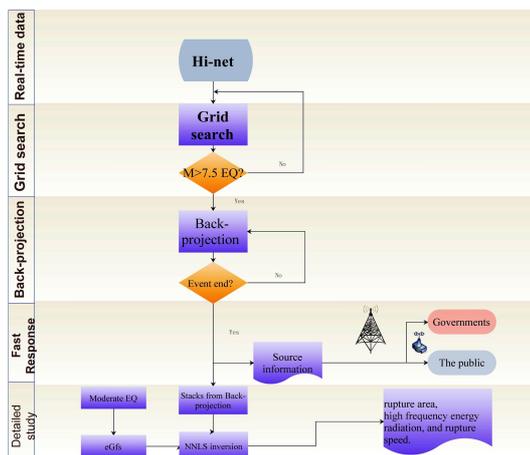
We perform continuous grid search on a Hi-net real time data stream to identify possible source locations (following Nishida, Kawakatsu, and Obara, 2008, JGR). Earthquakes that occurred off the bright area of the array (30- 85 degrees with respect to the array center) will be ignored. Similarity of the 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 ヶ所に設置された 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