

気象庁における緊急地震速報の改善に向けて ~ 中期的改善計画 ~ The medium-term improvement plan of the JMA EEW system

中村 雅基^{1*}, 山田安之¹, 平野和幸¹, 菊田晴之¹

Masaki Nakamura^{1*}, YAMADA, Yasuyuki¹, HIRANO, Kazuyuki¹, KIKUTA, Haruyuki¹

¹ 気象庁地震火山部

¹JMA

気象庁では、緊急地震速報の改善のために改修等を行ってきており報告しているところであるが、本処理は、地震活動等総合監視システム (EPOS) の一部として組み込まれているため、その 24 時間運用を行いながらの改修は限定的とならざるを得ない。換言すれば、EPOS システムの更新タイミングは、例えば緊急地震速報処理の根本的な見直しを行うには最も適切な機会ととらえることができる。本発表では、このような機会を利用して気象庁が行おうとしている緊急地震速報の中期的な改善計画について述べたい。

気象庁の緊急地震速報処理は、比較的少ない観測点で現地の観測点処理結果を利用して行う処理を基本としている。観測点側の処理 (「単独観測点処理」) 項目の追加・高度化により緊急地震速報処理システム全体の効率化を行っている。

例えば、従来の「トリガ送信モード」(トリガがかかり検測に成功した時のみ処理結果を送信) に加え「連続送信モード」を追加した。これにより、連続的な強震動監視・予測処理のための基礎データが、トリガの有無に関わらず常に確保でき、全ての観測点の現在の状況を把握できることになる。これらは、同時発生した地震の分離や推定された震源の妥当性の評価等に利用することができる。

また、功刀・他 (2008) により提案された逐次震度 (厳密にはパラメータ等微細な差異はあるが以下、「功刀逐次震度」と記す) を導入した。これにより、1. 強震動域の広がりをリアルタイムに監視、2. より直接的な震度相当データからの震度予測処理を模索、3. 同一地震判定や決定された震源要素の妥当性評価として活用することができる。

気象庁の緊急地震速報処理では、現地観測点の処理結果である検測値が入電する度、地震のグルーピングを行う必要がある。現在の処理は、ある検測値は唯一イベントにのみ所属し、一旦処理が終了するまではその所属を変更することはできない仕様としており、そのため比較的緩い (同一グループとなりやすい) 判定基準で運用していた。時空間的に近接して複数の地震が発生した場合などに、より適切な緊急地震速報が発表できるよう、ある検測値は複数イベントに所属できるようにし、またより厳格な判定基準で運用することを考えている。さらに、これまでの処理は検測時刻のみを用いて判定を行っているが、これに加え振幅等の情報も用いようとしている。

また、気象庁の緊急地震速報処理では、防災科学技術研究所開発の着未着法や従来型の STA/LTA トリガ・AR-AIC 処理等に基づく震源自動決定法によって得られた震源要素を必要に応じて取り込んでいるが、パーティクルフィルタを用いた処理 (溜淵@本学会) を併せて利用することを考えている。これら震源要素を取り込む際も、より厳格な判定基準で運用することを考えている。

平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震のような巨大地震や、その余震活動の活発化等による地震同時多発時には、現在の震源要素を元にした緊急地震速報では適切な情報が発表できない事例が幾つかあった。このような状況を踏まえ、従来から行っている震源要素を元にした手法に、功刀 (2008) によって提案された逐次震度の常時モニタを加えた手法を考えている。手法の概要は以下の通りである。

1. 信頼できる震源要素が得られた場合のみ、従来から行っている各震度観測点における震度予測を行う。
 2. 例えば、各震度観測点の近隣 30km 以内の観測点における最大功刀逐次震度を、地盤増幅度や観測点増幅度を加味した上で、その地点における予測震度とする。
 - 3.1 と 2 で得られた予測震度の大きい方を、その震度観測点の予測震度とする。
- この手法により、従来から行っている震源要素を元にした手法の長所である、
- ・決定された震源要素を津波予報等に利用できる。
 - ・比較的猶予時間が長い。
- を生かしつつ、短所である、
- ・震源域が広域である巨大地震に対応できない。
 - ・地震同時多発時など、震源要素が適切に決定できないと処理が破綻する。
- に対処できるようになると考えている。

繰り返しになるが、気象庁の緊急地震速報処理は、比較的少ない観測点で現地の観測点処理結果を利用して行う処理を基本としている。この処理を行う観測点は、現在東南海 OBS 5 観測点を含む全国 220 観測点であるが、既に 50 観測点の増設を行っており、順次緊急地震速報処理に取り込む予定である。また、防災科学技術研究所が所有する南関東周辺の KiK-net の大深度地震計 30 観測点、および海洋研究開発機構が所有する DONET の 20 海底地震観測点の観測データを取り込み・処理する装置の整備を行っており、順次緊急地震速報処理に取り込む予定である。なお、気象庁震度計 400 観測点については、ある閾値を超えた現地の観測点処理結果である功刀逐次震度のみではあるものの、次期システムが

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS23-01

会場:201A

時間:5月24日 14:15-14:30

ら利用する予定である。

キーワード: 緊急地震速報, 気象庁, 震度, 震源決定

Keywords: EEW, JMA, seismic intensity, hypocenter determination

震度のリアルタイム演算法とその応用

A real-time calculation of seismic intensity and its applications

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

Takashi Kunugi^{1*}, Shin Aoi¹, Hiromitsu Nakamura¹, Wataru Suzuki¹, Nobuyuki Morikawa¹, Hiroyuki Fujiwara¹

¹ 防災科学技術研究所

¹NIED

現在提案されている早期地震警報のほとんどは、対象地点の震度を予測することを目的としているが、その精度は十分とは言えないのが現状である。当面の対策としては、いち早く実際に観測された震度を知り、警報を補正・訂正することが有効である。しかしながら、気象庁告示に基づく震度演算は周波数領域のフィルタ処理を必要とすることから、リアルタイムに実行することができない。これを解決するため、功刀・他（2008, 地震2, 第60巻, 243-252）では、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。さらには、功刀・他（2013, 地震2, 第65巻, 223-230）に於いて、99%のデータに対して誤差が0.1以内となる高精度な演算法を提案し、この提案方法が計算精度に関して最良に近いものであることも示した。現在、防災科学技術研究所（防災科研）では、K-NET・KiK-net 強震計に震度のリアルタイム演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（中村・他、本大会）。

このように、震度のリアルタイム演算に関する問題は実用上ほぼ解決されたと言える。本講演では、震度のリアルタイム演算法の概要を紹介するとともに、地震早期警報の分野でのいくつかの応用（可能性も含む）についても述べる。応用の例としては、揺れのリアルタイム可視化（強震モニタ）、実測震度に基づく実況型警報、既存型緊急地震速報の訂正・補正、大深度地下で計測した震度に基づく直前警報、観測震度値の瞬時集計による超巨大地震発生の早期検知、等が挙げられる。

キーワード: 震度, リアルタイム処理, 緊急地震速報, 強震モニタ, 強震動

Keywords: seismic intensity, real-time processing, earthquake early warning, kyoshin monitor, strong ground motion

実時間地震動予測 データ同化手法の適用による実況波動場の把握強化 Real-time prediction of earthquake ground motion :application of data assimilation technique for estimation of wavefield

干場 充之^{1*}

Mitsuyuki Hoshiba^{1*}

¹ 気象研究所

¹Meteorological Research Institute

緊急地震速報における迅速化と震度予測の精度を高めることを目指して、新しい処理手法を考察している。今回は、データ同化手法の適用による実況の把握強化について発表する。

現在の緊急地震速報では、まず、一旦、震源位置とマグニチュード(M)を決め、それらをもとに地震の揺れ(震度)の予測を行っている。いわば、現象の原因を特定し、それによる結果を推定する方法である。このような震源とMに依存する方法では、震源域の広がりの効果を取り入れるのは容易ではなく、震源やM推定の誤差が震度予測の誤差に直結し、震源が決まらなると震度予測の段階に入れない弱点がある。また、東北地方太平洋沖地震(M9.0)の余震で経験したように、同時に複数の地震が発生した場合には、震源決定は容易ではない。さらに、この方法では震度予測の精度向上には限界があることが分かってきた。これらの課題に対処するため、震源やMを介さずに(「原因」を特定せずに)、リアルタイムで観測された波動場(実況値)を利用して、境界積分方程式法(Kirchhoff積分)を用いて時間発展的に予測する手法を構築している。今回は、実況値の把握に有効なデータ同化について触れる。

提案する予測手法では、詳細な揺れの実況分布の把握が重要であり、よって、密な観測網によるリアルタイムモニタリングが必要である。さらに、詳細な実況分布を得るために、データ同化の手法を応用する。データ同化は、時間発展型の予測手法などにおいて、疑似的に観測点密度を増やす技法で気象の数値予報や海洋の分野で広く用いられている。現時点での波動場(実況値)を推定するために、現時点での実際の観測値ばかりでなく、1ステップ過去に推定された波動場から予測された分布も用いる。これを、逐次、連続的に行うことにより、過去のすべての観測値を使い、実況値を把握することにつながる。地震が多発している場合や、震源域に広がりがある場合についてシミュレーションを行い、このような場合でも波動場の推定に有効であることを確かめた。

境界積分方程式法(Kirchhoff積分)と、リアルタイムでの地盤増幅特性の補正と合わせて、実時間地震動予測手法の構築を目指す。

キーワード: 緊急地震速報, 実時間地震動予測, データ同化

Keywords: Earthquake Early Warning, Real-time prediction of ground motion, data assimilation

コーダ規格化法により推定した気象庁震度観測点のサイト増幅率を用いたリアルタイムサイト補正の試み Real-time correction of site amplification factors estimated by the coda normalization method

青木 重樹^{1*}, 干場 充之¹
Shigeki Aoki^{1*}, Mitsuyuki Hoshihara¹

¹ 気象庁気象研究所

¹ Meteorological Research Institute

1. はじめに

干場 (2011 地震学会) は震源や M の推定を介さずに、波動場のモニタリングを用いて地震動を予測する手法を提案している。その手法で用いるサイト補正はリアルタイム処理が可能であることが求められる。岩切・干場 (2011JpGU) は、スカラー量としての経験的サイト増幅率である平均震度差よりも、周波数依存する増幅率を補正に用いた方が震度予測誤差が小さくなることを示した。そのため、干場 (2012 地震学会) は周波数依存する増幅率を振幅特性としてもつような漸化式デジタルフィルターを設計し、これを時間軸上で逐次データに適用するというリアルタイム処理可能なサイト補正手法を構築した。本研究では、コーダ規格化法により系統的に導出した全国の気象庁震度観測点の周波数依存したサイト増幅率 [青木・干場, 2012 地震工学会] と同様の振幅特性をもつフィルターを設計し、サイト特性の補正実験を行ったので報告する。

2. サイト増幅率

青木・干場 (2012) では、1996-2010 年の強震観測報告に掲載された気象庁震度観測点の波形記録を用い、Takemoto et al. (2012BSSA) と同様な手法で中心周波数が 0.75 から 15.0Hz の 11 個の帯域の相対的なサイト増幅率を推定した。この手法は、各帯域でのコーダ波部分の三成分合成の RMS 振幅をデータとして、震源と波動伝播に関する項と全観測点の相対的なサイト増幅率を同時に最小自乗法で推定する。本解析では、時間窓 (幅 5 秒) は震源時の 60 秒後から 2.5 秒ずつ移動しながら 15 個設定した。このとき、S 波走時の 2 倍以上経過していないデータや、S/N が 2 以下のデータは利用しなかった。利用した地震は、日本およびその周辺の深さ 90km 以浅で発生したマグニチュード 4.0~7.4 の範囲にある計 370 個で、震央距離 200km 以内の観測点のデータのみを用いることとした。このとき、同一経過時間の時間窓で 8 個以上振幅データがない地震は推定に利用しなかった。以上の解析により 544-566 観測点の相対的なサイト増幅率が得られた。

これらの増幅率は、0.75~2Hz の低周波数側では、堆積層が厚い平野部などで増幅率が大きくなる特徴があり、より高周波数側では地域的なコントラストが弱くなることがわかった。また、高周波数側 (10Hz 以上) を除いて、微地形区分による増幅率や平均震度残差から推定された増幅率 [気象庁, 2012] と正の相関があることがわかった。

3. サイト補正実験

干場 (2012) のフィルターは、複数の 1 次と 2 次のアナログフィルターの結合で表現され、それらのフィルターのパラメータは、振幅特性がサイト増幅率と一致するように非線形最小自乗法で推定される。所要の漸化式デジタルフィルターは、このアナログフィルターに双一次変換とプリワーピングを適用することにより設計される。なお、これはサイト特性を付加するフィルター (コンボリューションフィルター) であるが、サイト特性を取り除くフィルター (デコンボリューションフィルター) についても、アナログフィルターの分母と分子を入れ替えれば、同様に設計可能である。本研究では、コーダ規格化法で求めた増幅率から上記の漸化式フィルターを設計するが、その際、対象の周波数帯域外については、0.75Hz あるいは 15Hz と同じ増幅率を持つものと仮定した。

サイト補正実験では、全観測点で共通のサイト特性をもつ波形を作成するために、補正対象の観測点に、その観測点のサイト特性をもつデコンボリューションフィルターを適用し、その後、共通の基準観測点のサイト特性をもつコンボリューションフィルターを適用した。また、補正前後の波形に功刀・他 (2008 地震 2) のフィルターを施し、震度計算を実施した。補正の効果を確認するため、いくつかの地震に対し、補正前後の震度分布を比較した。その結果、補正前の分布に見られる近接観測点間の大きな震度差 (外れ値) が、補正後は小さくなり、外れ値が解消される傾向があることがわかった。これは、このサイト補正がうまく機能していることを示している。

謝辞

本報告では、「強震観測報告」に掲載されている気象庁の震度観測点の記録を利用しました。

キーワード: サイト増幅率, コーダ規格化法, リアルタイム処理, 気象庁震度観測点, 地震動予測

Keywords: Site amplification factor, Coda normalization method, Real-time processing, JMA seismic intensity station, Prediction of ground motion

リアルタイム地震被害推定システム J-RISQ の試作 Construction of real-time earthquake damage-estimation system J-RISQ

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

Shin Aoi^{1*}, Hiromitsu Nakamura¹, Takashi Kunugi¹, Wataru Suzuki¹, Hiroyuki Fujiwara¹

¹ 防災科学技術研究所

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

強震観測で得られるデータを活用し、より適切な初動体制確立の意志決定に役立てるためには、震度のような単なる地震動情報だけでなく、暴露人口や震動被害など社会状況を加味した情報を発信する必要がある。このような問題意識のもと、リアルタイム地震被害推定システム (J-RISQ) を構築し、現在外部には非公開での試験運用を行っている。このシステムは、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建物の脆弱性評価手法と、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実現したものである。

緊急地震速報のように震源推定誤差の影響を受けることのないよう、被害推定のための外力に関する情報としては、実際に観測された地震動 (計測震度) 情報のみを用いている。震度データは地震が発生した後、同時に送られてくるのではなく、地震動が広がるのにつれて順次トリガーした観測点から時間的にばらばらに送信されてくる。本システムでは、一定の時間範囲に、算出された震度 2.5 以上のデータの個数が閾値を超過した場合に推定状態に遷移し、推定を開始する。これによりノイズによる誤動作を避けながら地震発生直後に推定処理を開始することが可能となる。また、時間的にばらばらに送られてくる震度データに対して、その時点で入手したデータを用いて推定を行い、逐次的に「報」を重ね、情報を更新していくことで情報の迅速性を確保している。第 1 報は地震発生後初めに震度データを受信してから 30 秒程度で出され、10 分程度の間に数度にわたり「報」が更新される。地震動の推定は、地表で観測された震度データから、経験式を用いて最大速度に変換し、各観測点における地盤増幅率を考慮して工学的基盤の最大速度を推定し、それに対して内挿処理を行うことで面的な分布を求め、再度増幅率を乗じて 250m メッシュで面的な推定を行っている。人口データは、国勢調査の 500m メッシュデータを 250m メッシュに細分化して用い、昼間/夜間でそれぞれ別に推定を行う。全国で約 6000 万棟存在する建物データについては、構造別 (木造 / S 造 / RC 造)、耐震基準別 (旧 / 新耐震) に予め 250m メッシュに割り付けている。そして、推定された地震動から構造別、耐震基準別、被害レベル別 (全壊 / 全半壊) の被害関数を用いて被害率を算出し、メッシュ内棟数に乘じることでそれぞれの被害棟数を推定している。このように推定は 250m メッシュを基本単位として行うとともに、これらを元に市町村や都道府県毎の集計値も計算される。推定した面的な地震動や震度暴露人口、建物被害分布は WebGIS システムにより PC 上の Web ブラウザで閲覧できるだけでなく、携帯メール端末へ情報配信され、ユーザは携帯端末ブラウザ用 Web サイトから推定結果の地図等も閲覧可能である。

本システムは 2010 年から試験的に運用されており、2012 年末までに 600 以上の実際に発生した地震に対してリアルタイムでの推定を行っている。最初に震度情報を受信してから携帯情報端末へ第 1 報メールを配信するまでの経過時間の頻度分布は 30 秒程度をピークとし、対象地震の 75 % のケースについて 1 分以内に第 1 報を送信しており、地震発生直後の情報提供としては、十分な即時性を有している。暴露人口の推定に関しては比較的精度が高いと考えられるが、建物被害に関しては被害関数 (震度と被害率の関係) を用いていることから被害が発生し始める前後の地震動のわずかな推定結果の違いが推定被害率に大きく影響するなど、推定精度に限界があるのも事実である。今後、推定の基礎となる人口・建物データの整備及び推定手法の高度化するとともに本システムによる推定精度の検証を行うだけでなく、推定情報の提供手法や利活用の方法の検討を進めていくことが重要である。

キーワード: 地震被害推定システム, リアルタイム地震情報, 緊急地震速報, J-RISQ, K-NET, KiK-net

Keywords: earthquake damage-estimation system, real-time earthquake information, earthquake early warning, J-RISQ, K-NET, KiK-net

新しいGEONETリアルタイム解析システムの開発 Development of new GEONET real-time processing system

川元 智司^{1*}, 宮川康平¹, 山口和典¹, 西村 卓也¹, 宮原 伐折羅¹, 古屋 智秋¹, 酒井 和紀¹, 畑中雄樹¹, 根本悟¹, 辻宏道¹, 太田 雄策², 日野 亮太², 木戸 元之², 飯沼 卓史², 藤本 博己², 三浦 哲³
Satoshi Kawamoto^{1*}, MIYAGAWA, Kohei¹, YAMAGUCHI, Kazunori¹, Takuya NISHIMURA¹, Basara Miyahara¹, Tomoaki Furuya¹, Kazuki Sakai¹, HATANAKA, Yuki¹, NEMOTO, Satoru¹, TSUJI, Hiromichi¹, Yusaku Ohta², Ryota Hino², Motoyuki Kido², Takeshi Iinuma², Hiromi Fujimoto², Satoshi Miura³

¹ 国土交通省国土地理院, ² 東北大学, ³ 東京大学地震研究所

¹Geospatial Information Authority of Japan, ²Graduate School of Science, Tohoku University, ³Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

国土地理院が運用している GEONET は、1240 点の電子基準点からなる GNSS 連続観測網である。電子基準点からはリアルタイムでのデータ取得が行われ、GEONET 中央局において処理が行われている。GNSS リアルタイム解析の防災利用については、短周期地震計では即時計測が不可能な巨大地震のマグニチュード算出に寄与することが指摘されている。例えば、2004 年スマトラ島沖地震の場合、GPS 解析を用いて地震発生から 15 分以内に正確な Mw (モーメントマグニチュード) 決定が可能で、津波警報初期値として利用可能であることが分かっている (Blewitt et al., 2006)。特に平成 23 年東北地方太平洋沖地震後には地震調査推進本部調査観測計画部会においても指摘を受け、大きくその期待が高まることとなった。

国土地理院では、GEONET 観測網データのリアルタイム解析 (以下「GEONET リアルタイム解析」) を平成 14 年度に導入し、その後、細かな改造を実施してきた。しかし、解析可能な観測点数の制限、100km を超える長基線における解の不安定、地殻変動の自動検知機能の欠如などの欠点があり、地殻変動を日本全国広域にわたってリアルタイムで監視をするためには、解決すべき課題が多く残されていた。

これらの課題の解決を目指し、東北大学と東京海洋大学で開発された解析手法を用いて、平成 23 年度から国土地理院は東北大学との連携の下、新しい GEONET リアルタイム解析のプロトタイプを開発している。

新しい GEONET リアルタイム解析は、地震等により発生した変位場を即時に得るとともに、可能な限り早く地震のモーメントマグニチュードを求め、情報発信することを主眼としている。現在実装されている主な機能を挙げる。解析エンジンには RTKLIB 2.4.1 (Takasu, 2011) を組み込み、これまでの GEONET リアルタイム解析戦略を抜本的に変更した。さらに、地震発生に伴う変位は RAPiD アルゴリズム (Ohta et al., 2012) 又は緊急地震速報 (Kamigaichi et al., 2009) により検知され、矩形断層モデルの即時自動計算が実行される。RAPiD アルゴリズムは、小林他 (2012) による複数の観測点を用いて相互チェックするアルゴリズムを簡略化したものを組み合わせて実装している。このようにして得られたマグニチュード推定結果等は、職員にメールで通知される。プロトタイプは平成 24 年 4 月 6 日から東北地方の 143 観測点において試験運用を開始し、現在連続稼働中である。

今回は、プロトタイプ試験運用で得られた課題と、今後のシステムの全国対応についての計画を報告する。

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

Keywords: GEONET, RTK-GPS, real-time