

HDS030-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 14:00-16:30

## WINシステム用シミュレーションツールの開発 A development of simulation tools for WIN system

鶴岡 弘<sup>1\*</sup>

Hiroshi Tsuruoka<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>ERI, Univ. Tokyo

緊急地震速報のシステム開発およびそのテストに有用なWINシステムによる地震データ配信をシミュレートする非常に簡便なツールを開発した。このツールを利用することにより、地震波形データを実際に受信する環境を構築しなくても、リアルタイム地震解析、例えば、震源決定（緊急地震速報）やモーメントテンソルインバージョンのテストが簡単に実現可能である。このことにより、アルゴリズムの改良やシステムの負荷テストなどが容易に実行でき、システムの信頼性向上やWINシステムを用いる地震解析システムの普及に役立つと考えられる。

データ転送における波形フォーマットは、国内においてはWINフォーマットであり、特長はマルチチャンネルかつ異なるサンプリング周期をもつデータを1秒毎の時刻情報付き可変長の秒ブロックとして構成する点である。データは圧縮されており、時間分割・統合が容易であるとともに、WINフォーマットを扱う様々なツール群が利用できる。ここでは、地震データ配信をシミュレートするために、バイナリのデータであるWINフォーマットを直接扱うのではなく、WINフォーマットの特長を有するWINテキスト形式フォーマットを提案し、その形式に対応したシミュレーションツールを開発した。ツールは、 Tcl 言語で作成され、マルチプラットフォームでの動作が可能であることも特徴の一つである。今後は、1秒以下のパケットにも適用可能となるようにツールを強化していく予定である。

キーワード: 緊急地震速報, WIN, シミュレーション

Keywords: EEW, WIN, Simulation

## P波初動部分の振幅増加特性の検証と単独観測点データによる震央距離推定手法の高度化

The feature in the initial P-wave amplitude and the advanced method to estimate epicentral distance using single station

是永 将宏<sup>1\*</sup>, 山本 俊六<sup>1</sup>, 野田 俊太<sup>1</sup>, 岩田 直泰<sup>1</sup>, 佐藤 新二<sup>1</sup>

Masahiro Korenaga<sup>1\*</sup>, Shunroku Yamamoto<sup>1</sup>, Shunta Noda<sup>1</sup>, Naoyasu Iwata<sup>1</sup>, Shinji Sato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 鉄道総合技術研究所

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

### 1. はじめに

単独観測点のP波初動部分データを用いた震央距離推定手法として、新幹線の早期地震防災システムや緊急地震速報の震源決定処理の一部に使用されているB-法(Odaka et al. (2003))や、山本(2010)によるC-法がある。これらの手法は、P波初動部分の振幅包絡線に対して関数をフィッティングさせてその係数を算出し、過去のデータから得られている係数と震央距離との関係から震央距離を推定するものである。

今回、単独観測点データによる震央距離推定手法の高精度化を念頭に、P波初動部分の加速度振幅についてその特徴をあらためて確認し、P波極初動部分の振幅包絡線にフィッティングさせるための適切な関数形について検討を行なった。また、震央距離推定の即時性の向上を目指して、関数のフィッティングに用いるデータ長と推定誤差の関係についても検証した。

### 2. 検討に用いたデータ

検討には、1996年から2010年までにK-NETの観測点で記録された38地震(M4.9~M8.0)のデータを用いた。P波検測位置のばらつきによる影響を無くすために、手動でP波到着時刻の読み取りを行なった4102波形を用いて検討を行なっている。

### 3. 振幅増加特性の確認

P波初動部分の振幅増加特性の確認には、B-法で用いられている加速度の振幅包絡波形を利用した。

地震波形データを震源距離とマグニチュードとに応じてグループ分けし、それぞれのグループごとに時系列データの平均値を求めて比較を行なった。その結果、P波極初動部分(P波検知から0.5~0.7秒程度まで)では、振幅はほぼ単調に増加する傾向が見られた。また、P波極初動部分の振幅増加の時間変化の割合はマグニチュードによらず震源距離のみに依存しており、さらにその増加の割合は概ね一次関数で近似できることが分かった。

### 4. 震央距離推定に用いるデータ長の検討

次に、関数のフィッティングに用いるデータ長についての検討を行なった。関数にフィッティングさせる振幅包絡線のデータ長を手動によるP波検測位置から0.1秒ずつ増加させながら震央距離の推定を行ない、各データ長での推定誤差を算出した。上記の検討から、フィッティングさせる関数はC-法と同様に単純な一次関数とした。比較のために、B-法についても同様の解析を行なった。

解析の結果、B-法はP波検測から2.0秒間のデータを用いた場合に推定誤差が最小となった。一方、一次関数のフィッティングによる震央距離の推定誤差は、0.3秒間のデータを用いた場合にB-法(2.0秒間データ)による推定誤差と同程度になった。また、一次関数フィッティングによる震央距離の推定誤差は0.5秒~0.7秒で概ね収束し、その推定誤差はB-法(2.0秒間データ)と比較して約15%低減した。

### 謝辞

本研究では、防災科学技術研究所のK-NET波形を使用させていただきました。ここに記して感謝します。

### 文献

1) Odaka, T., Ashiya, K., Tsukada, S., Sato, S., Ohtake, K. and Nozaka, D. : A new method of quickly estimating epicentral distance and magnitude from a single seismic record, Bull. Seism. Soc. Am., Vol.93, No.1, pp.526-532, 2003.

2) 山本俊六:リアルタイム震度の成長からわかること,地震研研究集会「揺れる直前の地震動予測:さらなる迅速化と精度の向上」,2010

キーワード: C-法, 単独観測点データ, 震央距離推定手法

Keywords: C-delta method, Single station data, Method to estimate epicentral distance

# Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



HDS030-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 14:00-16:30

## 緊急地震速報におけるグリッドサーチ法の改良の提案 A proposal for Gridsearch method used in JMA EEW

大竹 和生<sup>1\*</sup>

Kazuo Ohtake<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 気象庁気象研究所

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute

緊急地震速報において用いられるグリッドサーチ法は、地震波の着信を確認した観測点数が3点から5点までのときに用いられる手法である。

この手法では震源時が不明であるので、使用できる観測点から2点を取り出したすべての組み合わせに関して検測時刻の差と仮想震源からの理論走時の差の差分を求め、この2乗和が最小となる点を震源と推定する。

ところが海域等で発生した地震で、観測点配置が非常に不均質な場合にはグリッドサーチ法による震源決定が不安定になる場合がある。具体的には残差の小さな領域が大きく広がり、本来はほとんど影響を与えないはずの遠い観測点によって震源が大きくずれるのである。そもそも遠くの観測点は走時の誤差が大きく、これらによって震源計算が安定しないことは望ましくない。

現行の緊急地震速報処理においても、5点目以降の観測点がからむ震源計算においては残差にウェイトをかけることになっているが、少ない点数で震源計算を行なうグリッドサーチ法においてはさらに積極的な対処が必要であると考えた。

本講演ではグリッドサーチ法を改良し、「理論走時を中心とし、走時に比例した時間(走時誤差に相当する)内においては残差を0とみなす」ことによって、海域等での震源計算の安定化が図れることを示す。

キーワード: 緊急地震速報, グリッドサーチ法

Keywords: Earthquake Early Warning, Gridsearch method

HDS030-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 14:00-16:30

## 地震の断層面とすべり分布の自動決定にむけた手法の改良 Improvement on Method toward Automating Determination of Earthquake Fault Planes and Slip Distributions

松井宏香<sup>1</sup>, 久家 慶子<sup>1\*</sup>  
Hiroko Matsui<sup>1</sup>, Keiko Kuge<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学理学研究科地球物理学教室

<sup>1</sup>Dept. Geophysics, Kyoto University

地震の震源パラメーター（地震の断層の形状や大きさ、ずれの分布）は、大きな地震によってもたらされる強い地面の揺れの特徴を推定するのに重要である。そして、震源パラメーターの決定にかかる時間を短縮するためには、人間による判断を必要としない自動化された手法が不可欠である。現在、自動化された手法は、点震源におけるモーメントテンソル解を求めることに限定されている。モーメントテンソル解で断層面の候補を二つに絞ったあと、余震分布などを人間の目でみて判断することによって、どちらが断層面かを決定している。現在のところ、断層面や断層におけるずれの分布の決定は、自動化されていない。

Kuge (BSSA, 2003) は、強震波形データを用いて、点震源におけるモーメントテンソル解を求め、次に断層面と断層面の長さを決定し、最後に断層におけるモーメント解放量分布を求めるという3段階から成る、自動化を念頭においた手法を提案した。この手法を日本国内に起こった1995年から2000年の5内陸地震に適用し、その結果をもとに、地震の断層面の決定やモーメント解放量分布の決定も自動化できる可能性があることを示した。一方で、Kuge (2003) における手法の検証は、主に横ずれ断層の地震に対して行われており、縦ずれ断層の地震に対する手法の妥当性などについて未知な部分も残っていた。

本研究では、2003年から2008年までの、震源の深さが60km以浅、気象庁マグニチュードが6.8以上の地震を対象に、KiK-netおよびK-NETの波形データを用いて、この手法の適用を試みた。そして、震源から50km以内に観測点が存在し、先行研究などから断層面や断層におけるずれの分布がすでに決定されている2008年岩手宮城内陸地震、2007年能登半島地震、2005年福岡県西方沖地震、2004年新潟県中越地震において結果を調べたところ、特に縦ずれ断層の地震に対して、正しい断層面が決定できなかつたり、震源に近い観測点の記録を含むと断層面の決定に失敗したりするなどの問題点がみつかった。そこで、本研究では、更に、これら問題をもった地震での解析を行い、より速く、より正しく結果が得られるようにKuge (2003) の手法に改良を加えた。

謝辞：本研究では防災科学技術研究所が管理運営するK-NET、KiK-netのデータを使わせていただいた。記して感謝する。



HDS030-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 14:00-16:30

## 深井戸と地表の強震データのスペクトル比による緊急地震速報の震度予測 Expectation of seismic intensity for EEW using amplitude spectral ratio of surface and borehole

岩切 一宏<sup>1\*</sup>, 干場 充之<sup>1</sup>

Kazuhiro Iwakiri<sup>1\*</sup>, Mitsuyuki Hoshiba<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute

気象庁では、関東地方の KiK-net の地中（深度 500m～3510m）と地表の強震観測データを緊急地震速報に活用する準備を進めている。岩切・他（2010）は、地中と地表の地震波の着信時間差、最大振幅比などから、震源決定時の走時補正、M 推定時の補正、地中データを活用することによる警報発表の迅速性の向上の程度を調査した。これによると、地震波の着信時間差は、地中深度 3000m では P 波は 1.2 秒、S 波は 3 秒である。地中と地表のデータの利用により、震源決定や規模の大きな M 決定の精度、迅速性が向上するとともに、地中データを直接利用することにより、震度予測の精度が向上すると期待される。本研究では、地中データを有効に利用することにより、震源位置や M を介さず、過去データからあらかじめ計算しておいた地中から地表への経験的な振幅増幅率を用いて、地中に先に着信するデータのみから、その後に着信する地表の地震動の大きさを予測することを考える。これにより、震源が近い場合には、震源や M を介した予測震度が得られる前の段階で地表の地震動が予測され、現行の震度予測手法よりも経験式の数が増えるため予測誤差の要因が減る。ここでは、経験的な振幅増幅率として、地中と地表の最大振幅の比、震度の差、振幅スペクトルの比を評価する。最大振幅の比及び震度の差はスカラー量であるのに対し、スペクトル比は周波数毎の振幅を表現しているため、スペクトル比を用いる方が予測精度が高いことが予想される。特に、震度の周波数帯域に注目し、S 波部分だけでなく、緊急地震速報で重要な迅速性も考慮して P 波部分の振幅増幅率についても調べる。

観測データは、関東地方の深さ 500m 以深の地中に強震計がある防災科研の KiK-net（30 観測点）の地中と地表それぞれ 3 成分の加速度データを WEB サイトから取得した。震源要素は気象庁一元化震源カタログを用いた。岩切・他（2010）で対象とした地震は、位相の立ち上がりが見事に検出できるように、震央距離が比較的近く高周波成分が卓越した地震波が多かったが、今回は震央距離を制限せずに抽出した M6 以上の地震を追加・検出することで、より低周波成分が卓越した地震波も解析対象とした。最大振幅の比は、3 成分合成最大加速度の地中と地表の振幅比（以下、振幅比）とし、振幅比の S 波部分は S 波着信から S-P 時間の 3 倍の時間長とする。地中と地表のスペクトル比は、加速度波形の成分毎のフーリエ振幅スペクトルをベクトル合成し、地中と地表の 3 成分合成スペクトルの比とする。SN 比を計算するため、P 波着信前までのノイズ部分と信号部分を同じ時間長とする。スペクトル比の評価は SN 比が 3 以上の周波数帯域を対象とする。

地中と地表のスペクトルを比べると、どの観測点でも地中の方がノイズレベルが特に高周波で小さく、SN 比でも全周波数帯域で地中の方が小さい。多くの観測点で、P 波部分の振幅比と S 波部分の振幅比は同程度、または S 波部分の方が大きい傾向を示し、S 波部分の振幅比の方がバラツキが大きい。P 波部分の振幅比と S 波部分の振幅比が同程度であっても、スペクトル比で見ると高周波では P 波部分の振幅比が大きく、低周波では S 波部分の振幅比が大きい観測点が多い。震度の周波数帯（0.5Hz～1Hz）のスペクトル比は S 波部分の方が全観測点で大きい。このように、P 波部分と S 波部分で、振幅比及びスペクトル比が異なることは、P 波と S 波の完全な識別は現在のところ難しいこともあり、実際の処理における課題である。発表では、経験的な増幅率として、地中と地表の震度の差を用いた場合と、スペクトル比による場合とで、地表における予測精度がどの程度異なるかも報告する。

謝辞：防災科学技術研究所の KiK-net の強震観測データを使用しました。

キーワード: 緊急地震速報, 震度予測, 深井戸, スペクトル比

Keywords: earthquake early warning, expected seismic intensity, borehole, spectral ratio

HDS030-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 14:00-16:30

## Investigation of intensity magnitude estimates for improving an earthquake early warning system

## Investigation of intensity magnitude estimates for improving an earthquake early warning system

Paul Rydelek<sup>1</sup>, Akiko Hasemi<sup>2\*</sup>, Kazuki Koketsu<sup>1</sup>, Shigeki Horiuchi<sup>3</sup>  
Paul Rydelek<sup>1</sup>, Akiko Hasemi<sup>2\*</sup>, Kazuki Koketsu<sup>1</sup>, Shigeki Horiuchi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ERI, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>Yamagata Univ., <sup>3</sup>Home Seismometer (Corp.)

<sup>1</sup>ERI, Univ. Tokyo, <sup>2</sup>Yamagata Univ., <sup>3</sup>Home Seismometer (Corp.)

The rapid determination of earthquake location and magnitude are key parameters in an earthquake early warning system. These (and other) parameters are estimated by automated systems that perform real-time analyses of the seismic waveform data recorded by the dense seismic arrays in Japan. In particular, a new source parameter, called  $M_i$ , is used to determine the seismic intensity magnitude, which can be estimated from the P-wave data recorded during the early stages of fault rupture for larger earthquakes  $M > 6.5$ . Therefore, a real-time warning can be especially beneficial in mitigating the damages from a large subduction zone earthquake. We find the use of  $M_i$  can result in a significant improvement in both the speed and reduction of uncertainty in the predicted shaking from the damaging S-waves when compared to estimates derived from earthquake magnitude. However, we are also finding systematic differences between shaking intensity magnitude and moment magnitude that are related to hypocentral distances, the locations and/or type of earthquakes and site effects.

We examined 18,250  $M_i$  data, and found that difference from  $M_w$  becomes large with epicentral distance.  $M_i$  is larger than  $M_w$  by about 1.0 at 400km epicentral distance. Efforts are underway to understand and provide a correction factor that will help to reduce this discrepancy and therefore provide a more reliably estimate of the expected shaking intensity. A better understanding of the important site corrections is relevant not only to applications in a real-time warning system but also will help to improve the reliability of seismic shake maps that are used to access the damages from large earthquakes.

キーワード: earthquake early warning system, intensity magnitude, EEW

Keywords: earthquake early warning system, intensity magnitude, EEW

HDS030-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 14:00-16:30

## WiMAX等の無線通信による緊急地震速報の受信試験 Experiment of Earthquake Early Warning system via the wireless communication network such as the WiMAX

内藤 昌平<sup>1\*</sup>, 中村 洋光<sup>1</sup>  
Shohei Naito<sup>1\*</sup>, Hiromitsu Nakamura<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup> NIED

2007年10月から緊急地震速報の一般への提供が開始され、気象庁をはじめとする各機関の周知活動や実際の地震によって警報が提供されること等によりその情報の有効性が認識され、自治体や学校、企業、個人宅等への緊急地震速報の導入が徐々に広まりつつある。一方、近年の通信インフラの整備に伴い、WiMAX等の多種多様な無線通信サービスが提供されており、提供エリア拡大や通信速度向上など無線通信の利便性は急速に向上している。これらの無線通信サービスを活用することで、サービス提供エリア内であれば場所を問わず、かつ比較的容易に既存ネットワークと独立した通信環境で緊急地震速報を用いた地震防災システムを構築できる可能性がある。そこで、本研究では緊急地震速報の伝送手段としての公衆無線回線の有効性について調査することを目的とし、受信試験を行った。

試験の概要については、東京都内に試験環境を構築し、気象庁の高度利用者向け緊急地震速報を配信事業者のサーバから公衆無線回線経由で受信端末により受信し、通信状況モニタ用PC上でパケットキャプチャリングソフトによって得られるログを解析し、緊急地震速報の受信の状況を調査した。なお、これら各装置の時刻はNTPにより正確に同期させた。公衆無線回線としては大手通信キャリア4社の無線通信サービスを利用し、それぞれの回線を使用して高度利用者向けの緊急地震速報を1週間受信する試験を2回ずつ行った。受信試験において比較的良好な結果が得られた2つの通信キャリアに関して輻輳が予想されるクリスマス・正月時における受信試験を行った。試験の結果、稼働率(=[全稼働時間]-[切断時間])/[全稼働時間]×100[%])は全てのキャリアでほぼ99%以上となった。緊急地震速報が配信事業者から送信されてから端末が受信するまでの遅延時間の平均値は約30~400ミリ秒程度であり、キャリアごとでその遅延時間の分布に違いがみられた。輻輳による影響は特に見られなかった。通信接続の状況としては、通信キャリア4社全てにおいて定期的に自動で通信の切断が行われる通信仕様となっており6~24時間毎に2分間ほどの切断時間が生じる。また、キャリアによっては遅延時間に大きなばらつきが生じる場合があった。

今回の公衆無線回線を対象とした試験結果により、稼働率及び情報伝達の遅延時間の観点からは、その通信キャリアごとの通信特性に違いがあることに注意は必要であるものの、それを理解して利用する上では緊急地震速報の伝達手段として実用に耐えうるものであることが分かった。

キーワード: 緊急地震速報, 無線通信

Keywords: Earthquake Early Warning System, wireless communication