

## フーリエひずみ解析による地震の即時規模推定

## Rapid Earthquake Magnitude Determination with Strain Analysis on Fourier Domain

\*大久保 慎人<sup>1</sup>、太田 雄策<sup>2</sup>、板場 智史<sup>3</sup>\*Makoto OKUBO<sup>1</sup>, Yusaku Ohta<sup>2</sup>, Satoshi Itaba<sup>3</sup>

1. 高知大学 教育研究部自然科学系理学部門、2. 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター、3. 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

1. Natural Science Cluster, Kochi University, 2. Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University, 3. Geological Survey of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Ohta *et al.* (2012) による GNSS を用いた震源断層即時推定の防災への利用が始まっている。自然科学分野の観測記録を、防災へと応用するためには、情報の確度を高めることが重要であり、そのためには多くの、異なる観測量を多角的に利用した解析結果を用いることが重要である。本研究では GNSS と同様に地殻変動を対象とした観測機器であり、より高い周波数帯域まで機器応答が期待できるひずみ計で得られた記録を用い、ひずみ地震動としての波動伝播を対象とした解析を行うことで、地震規模推定の精度向上に寄与する手法の開発を行う。

ひずみ計では GNSS 観測で得られる地表変位ではなく、その空間微分である変形を観測する。複雑な解析を施すことによって地表変位を得る GNSS とは異なり、ひずみ計の原理は単純で、容易に観測周波数帯域を高周波成分まで拡張することができる。その高い周波数帯域まで伸びる応答特性を生かし、巨大地震の震源過程把握のためのひずみ地震動解析が行われている（大久保・他, 2007; JpGU, 大久保, 2007; SSJ）。2004 年以降に設置されたボアホール歪計では機器の故障に対応するため、観測成分に冗長性を持たされている場合もある。一般に、平面歪の解析には同一面内に 3 成分の観測量が必要であるが、水平 4 成分以上を有する観測点を解析対象にすることで、主ひずみ方位、振幅を、観測誤差を含む形で評価できる（大久保, 2005; SSJ）。また、ひずみ変動量は周波数成分ごとに独立であるため、ひずみ解析を周波数領域においても適用することが可能である（Okubo, 2007; SSJ）。周波数領域でのひずみ解析（Fourier Strain Analysis; FSA）では、震源過程解析には含まれて欲しくない超長周期成分の分離や観測点近傍の擾乱の影響評価を行うことができる。ひずみは空間分布であるため、降雨応答や地下水位変化といった観測地点に強く依存する変動に影響を受けるが、これらの影響も遠方での地震の影響と分離が可能である。

本手法では、FSA によって分離した、震源の影響強く含む周波数成分を時系列変動として再合成することで、地震の震源時間関数（モーメント解放の時間発展）を求め、地震規模（スカラーモーメント）の推定に利用する。解析には、産業技術総合研究所のボアホールひずみ計で得られた水平 4 成分記録を利用した。観測記録に FSA 手法を適用し、主ひずみ振幅がナイキスト周波数付近のひずみ振幅の 10 倍、主ひずみ方位推定誤差 5° 以内の基準を設け、震源から放出されたひずみ地震動成分を検出した。分離した最大 50 周波数のひずみ地震動スペクトルから、震源時間関数を合成し、地震のスカラーモーメントを推定した。発表では、複数の地震に対しての適用事例を交え、本手法の有効性について議論する。

本研究は JSPS 科研費 JP15H03713 の助成を受け実施しました。

キーワード：フーリエひずみ解析、地震モーメント、多成分ボアホール歪計

Keywords: Fourier Strain Analysis, Scalar Moment, Multi Components borehole strain meter

# GNSSの1秒データを用いたW-phase解析（2016年熊本地震の事例）

## W-phase analysis by using high-sampling-rate (1Hz) GNSS data (for the case of the 2016 Kumamoto earthquake)

\*宮岡 一樹<sup>1</sup>、勝間田 明男<sup>1</sup>、上野 寛<sup>2</sup>、川元 智司<sup>3</sup>、檜山 洋平<sup>3</sup>

\*Kazuki Miyaoka<sup>1</sup>, Akio Katsumata<sup>1</sup>, Hiroshi UENO<sup>2</sup>, Satoshi Kawamoto<sup>3</sup>, Yohei Hiyama<sup>3</sup>

1. 気象研究所、2. 気象庁、3. 国土地理院

1. Meteorological Research Institute, 2. Japan Meteorological Agency, 3. Geospatial Information Authority of Japan

大地震発生直後の避難の呼びかけなどの初動対応に、その地震のマグニチュード、メカニズム解や断層の広がりなどを即時的に把握することが重要である。特に海域での大地震の場合、メカニズム解によって津波の高さが大きく変わってくる。より適切な津波注警報の発表に必要なメカニズム解の情報を得るため、気象庁では広帯域地震計を用いたW-phase解析を行っている（碓井・山内,2013）。

上野ら（2014）、宮岡ら（2016）は国土地理院が解析を行っている1 HzのGNSSデータを用いたW-phase解析（Kanamori & Rivera, 2008、Duputel et al., 2012）を、2003年十勝沖地震（ $M_w$  8.26）、2011年太平洋沖地震（ $M_w$  9.1）およびその最大余震（ $M_w$  7.9）について試みた（ $M_w$ はいずれもUSGSによる）。震央距離 $1\sim 4^\circ$ （十勝沖、最大余震）ないし $1\sim 6^\circ$ （東北沖）のGNSSデータを用い、CMT解が精度良く求められている。日本国内においてGNSS観測点は広帯域地震計に比べて観測点密度が高く、また速度記録を変位記録に変換するための積分処理を行う必要が無いことなど、GNSSデータを用いることのメリットがある。

M8クラス以上の大地震については概ね、その有用性が確認された（宮岡ら, 2016）ことから、本研究ではこの手法のさらに小さいMの地震への適用を試みた。ここでは一連の2016年熊本地震の中の本震（2016年4月16日01時25分 $M_j$  7.3）の解析を行った。この解析では、インバージョン解析の他に、グリッドサーチによる、最適なセントロイド時間およびセントロイド（緯度経度）の探索も行った。比較的低い周波数帯（100～300秒）のバンドパスフィルターを施した、近距離（震央距離 $3^\circ$ 以内）のデータを用いて行った解析で、GCMT解とほぼ同様の精度の良い解が得られている。なお、この事例で解析に要した時間は1分半程度で、リアルタイムの場合には、発震時刻から概ね7分以内に解が求められることになる。

発表ではこの他に、2016年11月22日に発生した福島県沖の地震（ $M_j$  7.4）の解析結果も紹介する。

キーワード：W-phase、GNSS 1Hz データ、熊本地震

Keywords: W-phase, high-sampling-rate GNSS data, Kumamoto earthquake

# 光ファイバー網とDASテクノロジーを使ったリアルタイム地震観測の可能性

## Potential for Real-Time Earthquake Monitoring using Optical Fiber Network and DAS Technology

\*木村 恒久<sup>1</sup>

\*Tsunehisa KIMURA<sup>1</sup>

1. シュルンベルジェ

1. Schlumberger

DASテクノロジーは、パイプラインのモニタリングや侵入者を感知するために、2011年頃からは石油・ガス産業で使われている。位相差データを用いる最新の光ファイバーセンシング技術によって、近年、DASシステムを使い、VSPを含む良好なサイズミックデータを記録できるようになったことは、昨年発表で紹介した。我々はこのシステムのことを、‘hDVS’と呼んでいる。

hDVSは、通常用いられるジオフォン等の電気・磁気的なセンサーでなく、光ファイバーを振動計測のセンサーとして使う。実際には、光ファイバーの振動に対するダイナミックストレインを計測しており、シングルモードファイバー、マルチモードファイバーの両者に使うことができ、つなげたファイバーの全長、もしくはパラメータで決めた長さだけをセンサーとして使うことができる。

通常の電気・磁気的なセンサーは、1995年の阪神・淡路大震災以降、日本各地に設置され、2011年の東日本大震災後、その観測網が、海底にも広がっている。この日本における地震観測網は、世界の密度を誇っている。しかし、通常のセンサーは、点としてのデータしか収集することができなく、しかも設置にかかるコストや、センサーの設置環境の制限により、設置される数と場所に限りがある。また、将来起きるであろう巨大地震により、現状の地震観測網の一部が破壊され、必要とされる時、継続した観測が困難になる可能性があることが指摘されている。

hDVSの場合、既存の、主にデータ通信用の目的で設置してある光ファイバーを、線状の地震波測定用のセンサーとして扱うことができ、センサーの設置コストと設置にかかる時間を低く抑える事ができる。IT革命の一環として、日本国内の陸上を初め、米国、アジア諸国との間に光ファイバー網が張り巡らされている。国際海底光ファイバーケーブルは、地震が起きやすいプレート同士が重なる領域をまたいで設置してあるので、1台のhDVSを用いることによって、プレートの動きを数十kmの広範囲に渡り、リアルタイムに観測することが可能となる。

光ファイバーの200℃またはそれ以上の高温環境下に耐える特性と、13,000気圧に耐える特性により、地震が発生しやすい地層近くに掘られた深い井戸や火山の近くに設置することが可能で、地震発生地点近くで捉えられた地震波を、光の速さで地上局に伝達するリアルタイムモニタリングが可能となる。

このようにhDVSを使えば、現存する観測網に加え、観測点間のデータが得られない場所を主なターゲットとして、地上、海底、地下を網羅した日本の地震活動を光の速さでモニタリングする包括的なネットワークを、時間と費用を大きくかけずに築くことができるであろう。これによって、近未来に起こると予想されている地殻活動由来の大災害から、より多くの人命を救えることを確信している。

キーワード：DAS、hDVS、光ファイバー、地震、サイズミック、リアルタイム観測

Keywords: DAS, hDVS, optical fiber, earthquake, seismic, real-time monitoring

## グリーン関数を応用した沖合設置津波計の最適化

### Optimization of offshore tsunami meter network using Green function.

\*館畑 秀衛<sup>1</sup>、早稲田 卓爾<sup>1,2</sup>

\*Hidee Tatehata<sup>1</sup>, Takuji Waseda<sup>1,2</sup>

1. 東京大学海洋アライアンス、2. 東京大学大学院新領域創成学研究科海洋技術環境学専攻

1. UTokyo Ocean Alliance, 2. The University of Tokyo Graduate School of Frontier sciences Department of Ocean Technology, Policy and Environment

現在、津波逆解析（インバージョン）は、津波の初期海面変動を求める理学目的だけでなく、津波防災においても大きな役割を担っている。津波インバージョンのための観測データとしては、沖合設置津波計の有効性が認識されており、観測と解析の主流となっている。一方、意外かもしれないが、日本は世界最大の津波被災国ではない。日本は歴史上何度も津波災害を受けてきたが、それぞれの津波の犠牲者数は数万人程度であって、例えば2004年12月26日スマトラ島沖地震（M9.1）では、最大被害国のインドネシアでは23万人が犠牲数となっており、311津波の約10倍である。しかしインドネシアのGDPは日本の1/5であり、S-netに相当する津波観測システムを独自に整備することは困難と想像される。もしS-netと同等の性能を持つ観測システムが1/5のコストで実現できたなら、多くの津波被災国への貢献が期待できる。津波逆解析を前提とした沖合設置津波計の配置や、設置密度等を客観的に求めた研究は少なく、また津波の観測要素は特殊な場合を除いて高さだけの1成分観測が主流である。グリーン関数を用いる線形インバージョンを前提にし、観測点の配置の客観的な考察方法としては、データ解像度行列などの手法が発表されている。さらに観測要素として津波の高さに流速2成分を加えた3成分観測とし、1観測点当たり得られる情報量を増やして観測点配置を客観的に最適化すれば、全体の観測点数を減じてコストダウンできる可能性がある。本研究では、観測点の有効性を判定する手法の一つであるデータ解像度行列と、高さと流速の3成分観測を想定し、観測時間長を15分間に限定する条件で、311東北津波をターゲットとして事例解析的に考察した。結果は波源真上～波源内の3成分観測、日本海溝から太平洋に向かって拡大した観測点配置が、インバージョンと観測点節約に有効であった。今回は、その結果を紹介する。

キーワード：津波、インバージョン、観測ネットワーク、最適化

Keywords: tsunami, inversion, observation network, optimization

## 南海トラフ域における津波伝播即時予測システムの開発

### Development of semi-real-time tsunami monitoring and calculation system for pressure gauge stations in southwestern Japan

\*中村 武史<sup>1</sup>、馬場 俊孝<sup>2</sup>

\*Takeshi Nakamura<sup>1</sup>, Toshitaka Baba<sup>2</sup>

1. 国立研究開発法人防災科学技術研究所、2. 国立大学法人徳島大学

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, 2. Tokushima University

防災科学技術研究所では、日本海溝周辺の深海底に海底観測網S-netを整備中である（植平・他, 2016; 望月・他, 2016）。また、海洋研究開発機構が南海トラフ周辺に整備した海底観測網DONET（Kawaguchi et al., 2011, 2015; Kaneda et al., 2015）が、2016年4月1日に防災科学技術研究所へ移管された。このため、防災科学技術研究所では現在、合計200点以上の海底観測点のデータ管理・運用を行っている。S-net及びDONETのデータの活用により、陸上データのみの場合と比べて、海域で発生した地震・津波に伴うシグナルの検知時間の短縮や検出限界の低減、震源決定をはじめとする各種解析の精度向上が確認されている。

本研究では、大地震発生後に、海底観測網における水圧波形を即時にシミュレーションするシステムを開発した（Nakamura and Baba, 2016）ので報告する。開発したシステムでは、5分毎にGlobal CMT解をチェックし、新規に解が発表された場合、震源及びメカニズム情報を収集する。収集した情報を基に、地殻変動及び津波伝播の並列計算を行う。並列計算を効率的に行うために、コードの最適化を施している他、予め分割した海底地形データの使用、地震の発生位置にあわせた計算領域・グリッドサイズ・タイムステップの可変設定などの仕組みを導入している。入力パラメータとして必要な断層サイズやすべり量は、スケーリング則を用いて値を設定する。計算終了後、DONETでの水圧波形、計算範囲内での地殻変動分布、最大波高分布を出力する。得られた結果は、関係者へメールで送信及び内部ホームページでの表示を行う。一連の計算及び入出力処理は全て自動で行い、Intel Xeon 3.3 GHz CPUによる32コア並列で処理を行った場合、CMT解入手から太平洋全域における津波伝播の計算終了まで20秒程度の処理時間である。

計算にあたっては、単一断層内での均質すべりを仮定したスケーリング則の適用を含め、多くの近似や仮定を行っているため、走時や波形について必ずしも高い精度を保証するものではない。しかし、第一近似としてのシミュレーション結果を用いてデータを見ることで、地震発生に伴う津波の伝播を海底水圧観測データから即時的に同定する際に有効なシステムとなる。実際に、2015年9月16日にチリ中部イヤペルで発生した地震（Mw 8.2）では、津波がDONETに到来する前に波形や波高を計算し、観測データと統合的な計算結果を得ることができた。観測された波高は数 cm程度であり、海洋潮汐や脈動などのシグナルと比べると非常に小さい振幅であるものの、シミュレーション結果を参照することで津波のシグナル同定に役立つことを示した。また、2016年11月13日に九州西方沖で発生した地震（Mw 6.8）では、DONETに到達する津波の予測波高（最大波高0.3 mm）がノイズレベル以下であることをシミュレーションの観点から示した。構築したシステムを活用することで、津波のシグナル検出や到来前の波形予測に役立てることに加え、観測データの解析からシグナル検出が困難であることを定量的に示すことも可能である。

キーワード：津波、DONET、水圧観測、即時解析

Keywords: tsunami, DONET, pressure gauge, early warning

# 高精度地震波自動読み取りソフトを組み込んだ 手動検測システムの開発

## Development of manual picking system of seismic wave correcting accurate automatic pickings

\*堀内 茂木<sup>1</sup>、佐藤 優子<sup>1</sup>、飯尾 能久<sup>2</sup>

\*Shigeki Horiuchi<sup>1</sup>, Yoko Sato<sup>1</sup>, Yoshihisa Iio<sup>2</sup>

1. 株式会社ホームサイスマメータ、2. 京都大学防災研究所

1. Home Seismometer Corporation, 2. Disaster Prevention Research Institute Kyoto University

### 1. Introduction

We have been developing P and S wave automatic arrival time picking system which is accurate compatible with manual picking. This system selects several candidates of arrival times and selects one among them by using many kinds of threshold parameters based on the knowledge of earthquake expert. As a result, it is able to pick 2-3 times of accurate arrival times and determines 2-3 times of hypocenters compared to the catalogue by Japan Meteorological Agency. However, in the case of automatic system, it is difficult to completely eliminate wrong readings. It is required to conduct manual checking for the detailed studies such as the seismic tomography or focal mechanisms using polarity data etc. In this study, we present on a manual picking system which makes picking by correcting automatic readings.

### 2. Adjustment of picking parameters of automatic system

The automatic processing system can read data with low S/N ratio though accuracy is low. However there are cases in some researches that it is better to read only accurate data. Therefore, firstly, we changed threshold levels defined in the software of automatic picking so that the accuracy or the number of pickings fits to the research purpose. We change the threshold levels so that the number of picking by the automatic system become nearly same with it by the manually picking.

### 3. Manual arrival time picking system

The present manual picking system reads triggered waveform data and conducts the automatic picking based on the threshold levels mentioned above. Next, it displays waveform data together with picked arrivals for about 10 stations simultaneously. The manual picking is made by searching for erroneous readings of automatic pickings and correcting them. It is possible to select one among waveforms of 1) Raw, 2) High-pass filter, 3) Filter by the AR model in the P wave correction and 1) Raw, 2) High-pass filter, 3) SH component, 4) P and S wave discrimination filter, 5) absolute value of horizontally component in the S wave correction. We added a function to display waveform data of only stations with large arrival time residuals. We also added various functions so that the mouse operation becomes minimum at times of changing time scale and shifting time axis, etc.

### 4. Results

There is a data set of arrival times picked manually by an experienced seismologist which are used for the training of how to make manual pickings. Using this data set, we changed parameters of the threshold level of automatic picking so that the number of pickings becomes nearly same between the automatic and manually picking. There are 19 events in the data set. The numbers of P and S wave arrival times are 1124 and 936, respectively and 806 polarity data. These values by the automatic were 1193, 1300, and 747, respectively. We compared the difference between P and S wave arrival times picked automatic and arrival times in the data set. We found that more than 90 % of P wave arrival time differences are within 0.025 second, and 90% of S waves within 0.05 sec. The number of polarity read by the two was 663, and 99% of readings are consistent. This result shows that required corrections of automatic pickings is limited to a small number. Because of the introduction of accurate automatic picking software in the

manual picking, a veteran operator can conduct manual picking within about 5 minutes for an event having P and S wave arrivals from about 100 stations.

キーワード：手動検測、自動検測、自動極性読み取り、人間以上に高精度の自動読み取り

Keywords: Manual arrival time pickimng, Automatic arrival time picking, Automatic polarity picking ,  
Automatic picking compatible with manual picking

## kurtosisを利用したリアルタイムP波検知手法

### Improvement of P-wave detection algorithm using kurtosis statistics

\*石田 寛史<sup>1</sup>、山田 真澄<sup>2</sup>

\*Hirofumi Ishida<sup>1</sup>, Masumi Yamada<sup>2</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科、2. 京都大学防災研究所

1. Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

現在の緊急地震速報では、主にSTA/LTA (Allen,1978) を用いてP波検知を行っているが、ノイズに強くロバストな検知方法として、kurtosis(尖度、正規分布からの乖離の程度を表す指標)を用いたP波検知手法が近年提案された (Saragiotis et al, 2002)。

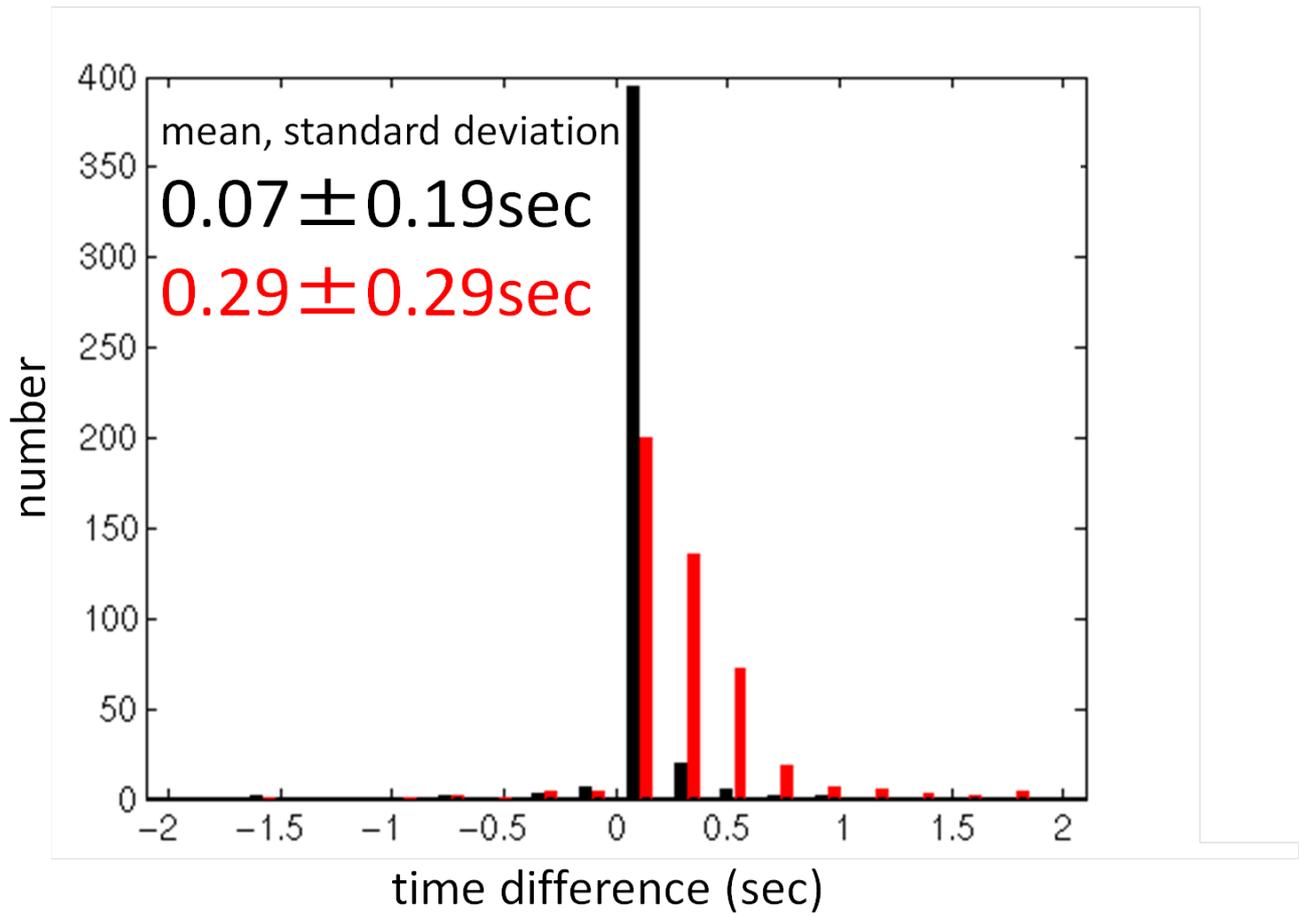
この手法は、これまで地震波のP波検測や低周波微動の検出などに利用されており、データの順次処理に適用するにはアルゴリズムの改良が必要である。そこで本研究では緊急地震速報に利用することを目的として、本手法を改良してデータの順次処理を可能にし、P波の検知性能(検知精度と検知までに要する時間)を検証した。

2011年3月11日~2011年4月16日までの期間に震度5強以上を記録した17の地震の主要動を含む5分間のHi-netおよび気象庁の強震計の連続記録に対して、改良したkurtosis法とSTA/LTA法を用いて、P波検知を行い、その結果を気象庁が手動で決定したP波検測時刻(以後manual pick)と比較した。

その結果、改良したkurtosisを用いた手法は、STA/LTAよりも早く、そして精度よくP波を検知できることが分かった(添付図)。この図に含まれるデータに対して、平均と標準偏差を求めたところ、平均と標準偏差はreal-time kurtosisが $0.08 \pm 0.07$ 秒、STA/LTAが $0.20 \pm 0.12$ 秒となった。このことよりkurtosisを用いて地震波検知する手法を適用すると、従来法よりも早く速報を得ることが可能であることがわかった。

キーワード : kurtosis、P波検知、緊急地震速報

Keywords: kurtosis, P-wave detection, earthquake early warning system



# Earthquake Risk Management System Topology of Bursagaz Natural Gas Network, Bursa, Turkey

\*Osman Bozkurt<sup>1</sup>, Gökalp Kaman<sup>1</sup>, Süleyman Tunc<sup>2</sup>, Serif Baris<sup>3</sup>, Berna Tunc<sup>3</sup>, Deniz Caka<sup>3</sup>

1. BURSAGAZ Natural Gas Distribution Company, 2. Sentez Earth and Structural Engineering Corporation, 3. Kocaeli University, Engineering Faculty, Department of Geophysics

Turkey is one of the most frequent earthquake occurred countries in the world. When we look at earthquakes occurred last fifteen year, over 18.000 people has lost their lifes .Especially the cities have high population and big industry areas are a part of 1 st degree earthquake zone. Bursa is one of these cities has a naturel gas network that is vulnerable against earthquakes which causes a grave risk for residential and industrial customers and people live in city.

The seismic safety of gas distribution has been the major project topic of distribution companies in past decades. In case of earthquakes the companies aim to secure their networks and minimize possible effects /potential risks of earthquake such as fire and explosion on the pipeline. Within this context Bursagaz Distribution Company created a pilot project in Bursa city of Turkey. Bursagaz is the one of private gas distribution Company which has Earthquake Risk Management Project in progress and also it is the second largest gas utility company which leads the innovated projects of gas sector in Turkey. After Bursagaz SCADA Project completed in 2012, network control system has been smarter and this was an opportunity to build earthquake Risk Management as well.

In Bursa city if any earthquake occurs, earthquake risk management system that set up Bursagaz network integrated with SCADA System, will evaluate acceleration data and generates earthquake acceleration data for scada. Scada decides what it is going to do with these acceleration data. When the Scada system is triggered with the data, the earthquake scada scenarios will be performed. The necessary valves and gas stations will be closed automatically and therefore gas supply will be stopped in some areas.

In addition when shortly after earthquake is over, exact emergency procederes and scenarios will be performed faster by emergency intervention system and actions will be taken by crews according to their roles. As a result of this, the network will continue safe gas supply with minimum losses and citizens safety will be ensured.

Keywords: Earthquake Risk Management System, Early warning and Rapid Response, SCADA

# 地域特性を考慮した簡便な避難完了率予測手法の検討

## Study on Simple and Easy Estimation Technique of Evacuation Completion Ratio Considering Various Regional Characteristics

\*高橋 郁夫<sup>1</sup>、中村 洋光<sup>1</sup>、藤原 広行<sup>1</sup>、時実 良典<sup>2</sup>、小丸 安史<sup>2</sup>、若浦 雅嗣<sup>2</sup>、清水 智<sup>2</sup>、早川 謙<sup>3</sup>

\*Ikuo Takahashi<sup>1</sup>, Hiromitsu Nakamura<sup>1</sup>, Hiroyuki Fujiwara<sup>1</sup>, Yoshinori TOKIZANE<sup>2</sup>, Yasushi KOMARU<sup>2</sup>, Masatsugu WAKAURA<sup>2</sup>, Satoshi SHIMIZU<sup>2</sup>, Yuzuru HAYAKAWA<sup>3</sup>

1. 国立研究開発法人 防災科学技術研究所、2. 応用アール・エム・エス株式会社、3. 応用地質株式会社

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2. OYO RMS Corporation, 3. OYO Corporation

### 1. はじめに

内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)では適切な初動体制の確立を目的として、地震発生直後に得られるリアルタイム観測データから得られる津波遡上データを用いて広範囲の被害を迅速に予測する手法開発が求められている。

津波による人的被害予測には、地震発生から津波到達までの避難猶予時間で避難場所に到着できない避難未完了者数を精度良く予測することが重要である。このためには、避難猶予時間のほか様々な地域特性を考慮する必要がある、考慮すべき地域特性としては、高橋ほか(2016)において避難意識(避難開始までに要した時間に相当)に加えて避難所等までの距離が挙げられている。

既往の避難未完了者数の予測には、津波避難シミュレーションを用いる手法と、被害想定等で用いられている避難猶予時間と避難完了率の避難完了率曲線を用いる手法が用いられている。前者は様々な地域特性を考慮することが出来る一方で、計算に時間を要するため広範囲での即時的な被害推定には適用しにくい問題がある。後者は広範囲での被害推定に適する一方で、地域特性の反映という観点で問題がある。

そこで、本研究では、地域特性として最も影響の大きな避難意識を数値で表す方法を試みると共に、避難意識や避難距離等の地域特性を考慮できる簡便な避難完了者数の予測方法について検討した。

### 2. 避難意識のパラメータ化

避難意識は浸水域内の滞留者の避難開始までに要した時間に影響するため避難未完了者数に大きく影響する。既往の手法では「高い・低い」など数段階で避難意識を定義して、避難意識毎に避難猶予時間別の避難未完了率等を定義している。一方で、東北地方太平洋沖地震からの津波避難実態は地域により避難開始のタイミングは多様である。

そこで本研究では、地域別の避難実態調査結果に基づく地震発生からの経過時間毎の避難開始済率(=避難行動を開始している人数/浸水域内の滞留者数)をもとに、地震発生からの経過時間を説明変数とする対数正規分布を仮定した累積分布関数で避難開始済率を表す手法を検討した。更に、累積分布関数のパラメータのうち、 $\xi$ (対数標準偏差)を固定して $\lambda$ (対数平均)のみで避難開始済率を求める式を作成すると共に、避難試行率の上限や避難手段分担率を累積分布関数のパラメータ $\lambda$ から推定する手法を作成した。

### 3. 避難速度の推定

前述のモデル地域(7地域)を対象として、まず東北地方太平洋沖地震津波からの避難を再現するシミュレーションを実施した。その結果、得られた避難完了率は、避難実態調査から推定される避難完了率の範囲内で、妥当性があるものと判断した。次に、避難意識を変化させた津波避難シミュレーションを実施して、避難手段・年齢・発生時刻(昼夜)別の避難移動速度について検討した。ここでの避難速度は広域での被害推定を短時間で実施する目的から、シミュレーションでの避難所要時間を避難所等までの直線距離で除した値で定義した。

全モデル地域の避難速度を検討し、避難手段および年齢から3区分(若壮年徒歩避難者、高齢徒歩避難者、車両避難者)の平均的な避難速度を設定した。

### 4. 避難未完了者数予測式の作成

浸水域内の滞留者のうち避難に成功する者は、津波到達までに避難を完了する必要がある。津波到達までに避難を完了するためには、津波到達時刻から津波避難を要する時間を差し引いた時刻(避難限界時刻と呼ぶ)までに避難を開始する必要がある、地震発生から避難限界時刻までの時間が避難猶予時間となる。この避難猶予時間に避難を開始する人の割合は前項で検討した避難意識をパラメータとする避難開始済率の累積分布関数を用いることで予測する。具体的には、年齢階層・避難手段別の要避難者数に、避難猶予時間内での避難開始率を乗じて避難完了者数を推定する。

#### 5. 作成した予測式の検証

上記で作成した予測式を、東北地方太平洋沖地震津波からの避難を対象としてモデル地域に適用して避難未完了者数を予測するとともに、津波避難シミュレーション結果との比較を行った。

各モデル地域の避難実態から推定した避難意識を適用して避難未完了者数を予測したところ、シミュレーションによる避難未完了者数とのばらつきが概ね $\pm 50\%$ の範囲で予測することが出来た。一方で、人口が少ない地域や浸水面積が狭い地域では倍半分程度の誤差が生じた。この原因としては、浸水面積が狭い地域では事前に把握できる避難距離と実際の避難距離が食い違い易いことなどが考えられる。

#### 【謝辞】

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「レジリエントな防災・減災機能の強化」（管理法人：JST）によって実施された。

#### 【参考文献】

高橋ほか(2016) 簡便な津波避難完了率予測手法のための地域特性の抽出、日本地震工学会年次大会、2016

キーワード：津波、避難、シミュレーション、地域特性、予測式

Keywords: tsunami, evacuation, simulation, regional characteristics, prediction formula

自治体震度計の観測データをリアルタイム表示する試み-鳥取県の事例-  
An approach for displaying real time data from seismic intensity meter  
maintained by a local government -Case study on Tottori prefecture -

\*香川 敬生<sup>1</sup>、野口 竜也<sup>1</sup>

\*Takao Kagawa<sup>1</sup>, Tatsuya Noguchi<sup>1</sup>

1. 鳥取大学大学院工学研究科

1. Tottori University Graduate School of Engineering

緊急地震速報の高度化，高精度化するには，観測点の密度を高くすることが解決方法のひとつである。その際，現状で最も高密度に配置されている自治体（平成の大合併前の市町村）震度計の活用がまず考えられるべき候補となる。そこで，鳥取県の震度観測ネットワークを対象に1秒パケットで最大加速度およびその時点の震度情報を配信できるようなシステム更新をおこない（前報），その情報を準リアルタイムに表示するシステムを作成した。2016年10月21日に発生した鳥取県中部の地震に対応することは出来なかったが，その後の余震のモニタリングは実施することが出来た。地震観測記録や常時微動観測によるサイト増幅特性の把握を同時に進めており，県内の面的な震度分布を準リアルタイムで，あるいは数秒先を予測することを含めてシステムの構築を続けているので，その現状および課題を紹介したい。

キーワード：自治体、震度計、リアルタイム

Keywords: Local Government, Seismic Intensity Meter, Real Time

## A REVISION OF THE CUMULATIVE ABSOLUTE VELOCITY (CAV) THRESHOLD LEVEL VALUES FOR VRANCEA EARTHQUAKES

\*Can Zulfikar<sup>1</sup>, Hakan Alcik<sup>2</sup>, Alexandru Marmureanu<sup>3</sup>, Victorin Toader<sup>3</sup>, Constantin Ionescu<sup>3</sup>

1. Gebze Technical University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 41400, Gebze, Kocaeli, Turkey, 2. Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Earthquake Engineering Department, Cengelkoy, 34684, Istanbul, Turkey, 3. National Institute for Earth Physics, P.O. Box MG-2, 76900, Magurele, Ilfov, Romania

Strong earthquakes in the Romanian Vrancea area have caused a high toll of casualties and extensive damage over the last several centuries. With a moment magnitude of 7.4, the last strong Vrancea earthquake on March 4, 1977 caused more than 1500 casualties, the majority of them in Bucharest. Strong earthquakes in the Vrancea zone occur between 60-200 km depth within an almost vertical column. Bucharest Earthquake Early Warning (EEW) system detects earthquakes with a seismic network in the epicentral Vrancea region and issue a warning in Bucharest providing 20-25s warning time.

To enhance EEW capability and to decrease the effects of Vrancea earthquakes on the populated cities for Romania, in particular on Bucharest city, the relationships of the bracketed cumulative absolute velocity window (BCAV-W) approach versus epicentral distance and magnitude for Vrancea region were investigated, in 2013, within the scope of the *Network of European Research Infrastructures for Earthquake Risk Assessment and Mitigation* (NERA) project. With in the context of this study the rational threshold levels related to  $M_w=5.4+$  earthquakes were given as 0.28 m/s and 0.34 m/s.

To advance the actual EEW capability further, in this study, the number of previously used data has been increased with few earthquakes  $M5+$  and a dataset of about 150 acceleration records which consists of intermediate depth earthquakes with different magnitudes ( $4.0M_w6.0$ ) and with epicentral distances of less than 200 km has been used. BCAV-W approach versus epicentral distance and magnitude for Vrancea region have been reinvestigated.

In conclude, new rational threshold levels related to  $M_w=5.6+$  earthquakes have been determined as 0.28 m/s, 0.36 m/s and 0.48 m/s related to 8-second, 12-second and 16-second windows, respectively.

Keywords: Earthquake Early Warning, Cumulative Absolute Velocity