

## 津波警報の改善について JMA's Tsunami Warning Improvement Plan

尾崎 友亮<sup>1\*</sup>, 永岡利彦<sup>1</sup>, 桑山辰夫<sup>1</sup>, 中田健嗣<sup>1</sup>, 川崎孝<sup>1</sup>, 久保剛太<sup>1</sup>

OZAKI, Tomoaki<sup>1\*</sup>, Toshihiko Nagaoka<sup>1</sup>, Tatsuo Kuwayama<sup>1</sup>, Kenji Nakata<sup>1</sup>, Takashi Kawasaki<sup>1</sup>, Gota Kubo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁地震火山部地震津波監視課

<sup>1</sup> Japan Meteorological Agency

東北地方太平洋沖地震における甚大な津波被害を受け、気象庁では、津波警報の改善策について検討するため、有識者等よりなる「東北地方太平洋沖地震による津波被害を踏まえた津波警報改善に向けた勉強会」を開催（2011年6~9月）し、9月には「東北地方太平洋沖地震による津波被害を踏まえた津波警報の改善の方向性について」（以下、「津波警報改善の方向性」）をとりまとめた。「津波警報改善の方向性」で示した津波警報の改善策のうち、別途検討するとして情報の伝え方、発表のありかたなど一部の事項について検討するため、有識者等よりなる「津波警報の発表基準等と情報文のあり方に関する検討会」を開催（10月~2012年1月）し、2月、「津波警報の発表基準等と情報文のあり方に関する提言」（以下、「提言」）をとりまとめた。以下、「津波警報改善の方向性」及び「提言」で示された具体的な改善策、今後の予定について述べる。

東北地方太平洋沖地震での津波警報では、地震発生3分後に発表した気象庁マグニチュード（Mj）7.9に基づく津波警報第1報での津波高さ予想が実際のものを大きく下回り、そのことが避難の遅れに繋がった例があったことが大きな課題であった。

この課題を受け、地震発生約3分後の津波警報第1報発表までにMjの過小評価の可能性を速やかに認識する監視・判定手法を導入し、Mjが過小評価していると判定されれば、地震が発生した海域で想定される最大マグニチュード等を適用して津波警報第1報を発表することとする。この場合の津波の高さの予想値は不確実性が高く、その値を参照して防災対応をとるだけの精度を有していないため、数字では発表せずに定性的表現とし、通常地震とは異なる非常事態であることを伝えることで避難行動を促すものとする。

東北地方太平洋沖地震では、通常では地震発生約15分後に計算するモーメントマグニチュードが、国内の広帯域地震計がほぼ全て振り切れたため求められず、また、沖合水圧計データの活用手段が不十分であったため、津波警報の更新に時間を要した。これらに対処するため、強震動でも振り切れない広帯域強震計を国内80箇所に整備することにより、Mwを確実に算出して津波警報の更新に活用するとともに、沖合水圧計の津波警報更新への活用を推進することとする。なお、モーメントマグニチュードで津波警報を更新する段階では予測の不確実性はかなり減じており、津波の高さ予想は数値で発表する。

津波の高さ予想の区分については、とりうる防災対応の段階や津波予測の誤差を踏まえ、現状の8段階（0.5m, 1m, 2m, 3m, 4m, 6m, 8m, 10m以上）から5段階（1m, 3m, 5m, 10m, 10m超）とし、発表する高さは、危機感の喚起のため、予想区分の幅の高いほうの数値とする。

これらの津波警報の改善については、気象庁や、津波警報を伝達・利用する関係機関等におけるシステム改修の計画等を踏まえ、平成24年中を目途に運用を開始する予定である。

キーワード: 津波警報, 改善

Keywords: Tsunami warning, Improvement plan

表1:津波警報等の発表基準と津波の高さ予想の区分

警報・注意報の分類		現行 発表される 津波の高さ	改善案		
			表現		津波高さ予想の 区分
			数値	定性的表現	
警報	大津波	10 m 以上、8 m、 6 m、4 m、3 m	10 m 超	巨大	10 m ~
			10 m		5 m ~ 10 m
			5 m		3 m ~ 5 m
	津波	2 m、1 m	3 m	高い	1 m ~ 3 m
注意報	津波注意報	0.5 m	1 m	(なし)	20 cm ~ 1 m

## 気象庁の津波警報改善のための研究開発 Research for Improvement of the JMA Tsunami Warning System

前田 憲二<sup>1\*</sup>, 対馬 弘晃<sup>1</sup>, 平田 賢治<sup>1</sup>, 勝間田 明男<sup>1</sup>, 吉田 康宏<sup>1</sup>, 青木 重樹<sup>1</sup>, 尾崎 友亮<sup>2</sup>, 横田 崇<sup>1</sup>  
MAEDA, Kenji<sup>1\*</sup>, TSUSHIMA, Hiroaki<sup>1</sup>, HIRATA, Kenji<sup>1</sup>, KATSUMATA, Akio<sup>1</sup>, YOSHIDA, Yasuhiro<sup>1</sup>, AOKI, Shigeki<sup>1</sup>,  
OZAKI, Tomoaki<sup>2</sup>, YOKOTA, Takashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 気象庁

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, <sup>2</sup>Japan Meteorological Agency

### 1. はじめに

2011年3月11日に発生した「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」は、わが国の地震観測史上で最大規模(Mw9.0)の地震であり、地震に伴う巨大津波により、未曾有の人的被害が発生した。気象庁は地震発生から3分後に津波警報を発表するなど、地震による津波への警戒を呼び掛けた。しかし、津波被害が甚大であったことから、気象庁は有識者、防災関係機関による勉強会を開催し、津波警報の改善に向けた検討を進め、その結果を「東北地方太平洋沖地震による津波被害を踏まえた津波警報の改善の方向性について」(気象庁:2011/9/12)としてまとめた。本発表では、その検討の結果指摘された改善すべき課題のうち、技術的な課題に関連して、現在取り組んでいる研究の全体像の概要を紹介する。なお、研究の詳細は、個別の発表を参照されたい。

### 2. 津波警報改善のための技術的課題

上記の取りまとめの中で指摘されている津波警報の主な技術的問題点とその改善に向けた課題は、以下の2点である。

(1) 地震発生3分後に発表した津波警報第1報で推定した地震規模(気象庁マグニチュード:Mj=7.9)は過小評価であった。また、評価が過小である可能性を認識できなかった。このため、今般の地震も含め、Mjが8を超える地震について、迅速にその規模を推定する手法を導入し第1報に活用することが課題である。

(2) 地震発生約15分後に計算されるべきモーメントマグニチュード(Mw)が、地震波が国内の広帯域地震計の測定範囲を超えたため計算できず、津波警報の続報が迅速に発表できなかった。また、沖合のケーブル式水圧計のデータを反映させた津波警報更新手段が不十分であった。このため、津波警報の続報において、津波の高さをより確度をもって予想するため、Mwを国内観測網でも迅速に求められるよう強震動まで測定できる広帯域地震計の活用とともに、沖合津波観測の強化とその利用技術の開発が課題である。

### 3. 課題解決のための取り組み

上の課題を解決するため、以下の研究開発などに取り組んでいる。

#### (1) 巨大地震の規模の即時推定手法の開発

マグニチュードが8を超えるような巨大地震についても迅速にその規模を推定、あるいは少なくとも8を超える地震であることを即座に判定するため、1)強震域の広がり(震度分布)により規模を推定する手法、2)P波の波形より規模(Mwp)を推定する手法、3)強震動の継続時間より規模を推定する手法、4)様々な周期帯域の記録を比較しながら規模を推定する手法、の開発を行っている。

#### (2) 沖合津波観測データを活用した沿岸津波予測手法の開発

沖合でいち早く観測される津波データを沿岸への予測に活用することは高精度な津波予測に有効である。そこで、沖合で観測される津波の時系列データ(津波波形)を用い、そのデータを適切に説明する初期水位変動分布を数値計算によって逆解析し、求めた初期水位変動分布に基づいて沿岸の津波波形を予測する手法の開発を行っている。この手法によれば、地震だけでなく海底地滑りによる津波など、地震波の解析からは予測が困難な津波の予測も可能となる。

気象庁は、沖合津波観測網の強化のため、平成24年秋以降にブイ式海底津波計を東北地方沖合3箇所に整備する予定である。なお、これらは文部科学省が計画中の日本海溝海底地震津波観測網(平成27年度より本格運用開始予定)に先立ち、緊急に整備されるものである。

#### (3) 海底水圧計の性能評価及び新型海底水圧計の開発・試作

沖合の観測データを用いた津波予測では、観測される津波の精度が問題となる。水晶式の水圧計を用いた近地津波観測の精度を高めるためには、1)大地震に伴って観測される急激な温度変化への応答解析、2)地震時の短周期・大振幅の動的な水圧変動の除去、といった処理を行う必要がある。そのため、海底水圧計の特性を評価するとともに、現在広く用いられている海底水圧計では必ずしも精度の高い観測が行えない可能性があるため、新型海底水圧計の開発を行っている。

#### (4) 広帯域強震計の整備

巨大地震に対しても地震発生後約15分後までにMwを求められるようにするため、長周期成分を含む大振幅の地震

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



HDS26-02

会場:102B

時間:5月21日 09:15-09:30

動を振り切れることなく測定できる広帯域強震計を全国で80カ所整備する。

キーワード: 津波警報, 気象庁, 規模の即時推定, 沖合津波計, 津波波形予測

Keywords: Tsunami Warning, JMA, Prompt Magnitude Estimation, Offshore Tsunami Gauge, Waveform Forecast

## 地震時永久変位即時推定手法の開発およびその2011年東北地方太平洋沖地震への適用 Rapid coseismic displacement detection/estimation algorithm and its application to the 2011 Tohoku-Oki earthquake

小林 竜也<sup>1</sup>, 太田 雄策<sup>1\*</sup>, 日野 亮太<sup>1</sup>, 三浦 哲<sup>2</sup>, 藤本 博己<sup>1</sup>, 対馬 弘晃<sup>3</sup>, 出町 知嗣<sup>1</sup>, 立花 憲司<sup>1</sup>  
KOBAYASHI, Tatsuya<sup>1</sup>, OHTA, Yusaku<sup>1\*</sup>, HINO, Ryota<sup>1</sup>, MIURA, Satoshi<sup>2</sup>, FUJIMOTO, Hiromi<sup>1</sup>, TSUSHIMA, Hiroaki<sup>3</sup>,  
DEMACHI, Tomotsugu<sup>1</sup>, Kenji Tachibana<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院 地震噴火予知研究観測センター, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所, <sup>3</sup> 気象庁気象研究所

<sup>1</sup>RCPEVE, Tohoku University, <sup>2</sup>ERI, The University of Tokyo, <sup>3</sup>Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

Real-time crustal deformation monitoring is extremely important for achieving rapid understanding of actual earthquake scales, because the measured permanent displacement directly gives us the true earthquake size (seismic moment,  $M_w$ ) information. We have developed an algorithm to detect/estimate static ground displacements due to earthquake faulting from real-time kinematic GPS time series. Our algorithm identifies permanent displacements by monitoring the difference of a short-term average to a long-term average of the GPS time series [1]. We applied the algorithm to data obtained in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake ( $M_w$  9.0) to test the possibility of coseismic displacement detections, and further, we inverted the obtained displacement fields for a fault model. Estimated a fault model with  $M_w$  8.7, which is close to the actual  $M_w$  of 9.0. We also applied the algorithm to data of aftershocks of the 2011 M9 earthquake. We succeed in detecting the coseismic step caused by Iwate-oki earthquake (March 11, 15:08 (JST),  $M_w$  7.4) and Ibaraki-oki earthquake (March 11, 15:15 (JST),  $M_w$  7.7). For the Ibaraki-oki earthquake, we evaluated the coseismic fault model estimation. The inversion estimated a fault model with  $M_w$  7.7, which is same with the actual one determined by the seismic data [e.g. 2].

The false detection of the permanent displacement should avoid for reliable warning system. Based on the long-term varied baselines and different reference sites posterior processing, we estimated the false detection rate reached  $\sim 0.25\%$  with 4-sigma confidential limit in single baseline. This false detection rate is inadequate to work for practical use in dense GPS network (many baselines) such as GEONET. We improved permanent displacement detection algorithm for reduction of the false detection rate. In the improved algorithm, the earthquake occurrence is defined as all neighboring GPS sites must be detected the displacement including oneself. We applied the improved algorithm to actual data set. The false detection rate clearly decreases with our improved algorithm, which is little more than zero. When we can use the several reference sites for the RTK-GPS data processing and compared with each reference site result, the false detection rate will become almost zero. The improved algorithm is also useful for small displacement detection because the threshold value is possible to cut down to 2 or 3-sigma confidential limit.

[1] Ohta et al., JGR, 2012 [2] Hirose et al., EPS, 2011

キーワード: GPS, リアルタイムキネマティック, 即時地震規模推定

## リアルタイムシミュレータの開発を目指した地震 CMT 解からの全球津波計算 Global tsunami simulations from seismic CMT solutions: Developing a real time tsunami simulator

齊藤 竜彦<sup>1\*</sup>, 田中 佐千子<sup>1</sup>, 稲津 大祐<sup>2</sup>, 三好 崇之<sup>1</sup>

SAITO, Tatsuhiko<sup>1\*</sup>, TANAKA, Sachiko<sup>1</sup>, INAZU, Daisuke<sup>2</sup>, MIYOSHI, Takayuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 東北大学・理・予知セ

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>RCPEV

必ずしも想定した規模で地震が発生するとは限らないので、地震発生直後の地震波解析によって推定される地震規模/発生様式を取り入れた津波予測は重要である。地震波解析による CMT 解推定と連動して稼働する、津波の発生/伝播を計算する津波シミュレータを開発した。シミュレータでは、全ての海域で発生する地震や、あらゆる海域の海底と海岸線からの津波散乱波に対応するため、全球で津波計算を行う。また、本シミュレータは非線形性の弱い沖合での津波の再現をターゲットとし、津波グリーン関数データベースを作成し、線形性を利用することで任意の津波波源形状に対する津波波形を高速に合成し、相反性を用いることで、保存すべきグリーン関数のデータ量を節約している。

2011 年東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) で発生した津波に適用した。日本列島に展開された速度型強震計で得られた地震波の解析から、CMT 解のモーメントマグニチュードは Mw 8.8 と推定された。これを、適当なスケールリング則を用いることで、断層サイズ 300 km x 150 km 上で一様なすべり量 15 m をもつ矩形断層へと置き換える。この断層運動による初期津波波高分布を計算し、津波シミュレーションを実施した。その結果、牡鹿半島沖で 4m 以上の津波が到来する特徴が再現出来た (観測値 ~5.8 m, 計算値 ~4.8 m)。しかし、単純なスケールリングに基づき導出した断層運動であるために、波形の詳細な特徴までは再現出来ない。

2006 年千島列島沖地震 Mw 8.3 では津波警報・注意報が発令され、地震発生からおよそ 5 時間後には、すべての警報・注意報が解除された。しかし、一部の地域では、天皇海山列からの津波散乱波 [Koshimura et al. 2008 GRL] のために、注意報解除後に、最大波高の津波が観測されている。例えば、相模湾に設置された海底水圧計では、地震発生からおよそ 2 時間後に津波初動が到達し、その 6 時間後 (地震発生から 8 時間後) に最大津波波高を観測している。本研究で開発したシミュレータは、地震発生からおよそ 8 時間後に、最大振幅となる津波波高が到達する様子を再現出来る。しかし、波形の振幅をおよそ 2 倍程度過大評価している。

キーワード: 津波, シミュレーション, CMT 解

Keywords: tsunami, simulation, CMT solution

## 地震動シミュレーションから得られる海底変位を用いた津波シミュレーション Tsunami simulation using submarine displacement calculated from simulation of ground motion due to seismic source model

秋山 伸一<sup>1\*</sup>, 河路 薫<sup>1</sup>, 是永 真理子<sup>1</sup>, 藤原 了<sup>1</sup>, 田宮 貴洋<sup>1</sup>

AKIYAMA, Shinichi<sup>1\*</sup>, KAWAJI, Kaoru<sup>1</sup>, KORENAGA, Mariko<sup>1</sup>, FUJIHARA, Satoru<sup>1</sup>, TAMIYA, Takahiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

<sup>1</sup> ITOCHU Techno-Solutions Corporation

海底下で断層運動が起こると地震の発生とともに、海底地盤の変動に伴う津波も発生する。すなわち、地震動や津波はひとつの断層運動に起因して発生する。したがって、ひとつの断層モデルから地震動と津波の双方を評価することは自然の姿と言える。しかしながら、実際には両者をひとつの断層モデルで評価するのは難しく、現状では地震動解析と津波解析に用いられる震源モデルは別々に設定されることが多い。

ところで、2011年東北地方太平洋沖地震では観測された地震動記録および津波観測記録から多くの震源モデルが提案されている。これらのモデルの多くは日本海溝沿いで大きなすべりが発生することで概ね一致している。すなわち、地震動の観測記録や津波の観測記録から求められた双方の震源モデルには共通する性質が見られる。このことは、ひとつの震源モデルから地震動と津波の双方が評価できる可能性を期待させる。

そこで、本研究では2011年東北地方太平洋沖地震を対象とした地震動シミュレーションを行うとともに、ここから得られる震源付近の海底変位を用いた津波シミュレーションを試みた。ここでは、まず気象庁が遠地実体波により設定した震源モデルを用いてボクセル型有限要素法により東日本全域にわたる大規模地震動シミュレーションを行った。シミュレーション結果はK-NETおよびKiK-netの観測記録に概ね整合することを確認した。つぎに、地震動シミュレーションから求められた震源域付近の海底地盤の鉛直変位を初期水位とする津波シミュレーションを行った。津波シミュレーションには浅水長波理論に基づく差分法を用いた。この結果を太平洋に展開されているGPS波浪計で観測された津波水位波形と比較した。その結果、シミュレーションによる波形は長時間に渡って観測された津波波形全体と概ね一致していた。ただし、最大波高を示す津波の第一波については、いずれの観測点においてもシミュレーション結果は観測記録に対し過小評価となった。

以上により、地震動観測記録から設定された震源モデルを用いても津波を評価できる可能性のあることが分かった。ただし、防災上最も重要な津波最大波高の評価には課題が残されている。

キーワード: 2011年東北地方太平洋沖地震, 津波, 地震動, 震源モデル, シミュレーション

Keywords: the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, tsunami, ground motion, source model, simulation

## 日本海溝海底地震津波観測網について Ocean bottom seismic and tsunami network along the Japan Trench

金沢 敏彦<sup>1\*</sup>, 功刀 卓<sup>1</sup>, 野口 伸一<sup>1</sup>, 関口 涉次<sup>1</sup>, 汐見 勝彦<sup>1</sup>, 青井 真<sup>1</sup>, 岡田 義光<sup>1</sup>, 篠原 雅尚<sup>2</sup>, 山田 知朗<sup>2</sup>  
KANAZAWA, Toshihiko<sup>1\*</sup>, KUNUGI, Takashi<sup>1</sup>, NOGUCHI, Shin-ichi<sup>1</sup>, SEKIGUCHI, Shoji<sup>1</sup>, SHIOMI, Katsuhiko<sup>1</sup>, AOI, Shin<sup>1</sup>, OKADA, Yoshimitsu<sup>1</sup>, SHINOHARA, Masanao<sup>2</sup>, YAMADA, Tomoaki<sup>2</sup>

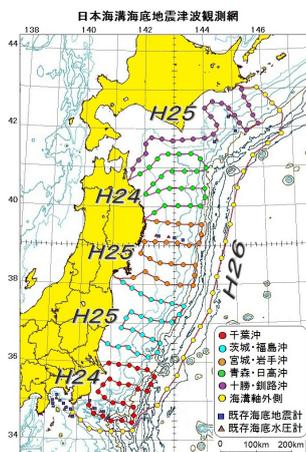
<sup>1</sup> 独立行政法人防災科学技術研究所, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

Huge tsunami, which was generated by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake of M9 subduction zone earthquake, attacked the coastal areas in the north-eastern Japan and gave severe casualties and property damages in the areas. The present tsunami warning system, based on land seismic observation data, did not work effectively in the case of the M9 earthquake. It is strongly acknowledged that marine observation data is necessary to make tsunami height estimation more accurately. Therefore, new ocean bottom observation project has started in 2011 that advances the countermeasures against earthquake and tsunami disaster related to subduction zone earthquake and outer rise earthquake around Japan Trench and Chishima Trench. A large scale ocean bottom cabled observation network is scheduled to be deployed around Japan Trench and Chishima Trench by 2015. The network is consisted of 154 ocean bottom observation stations. Ocean bottom fiber optic cables, about 5100 km in total length, connect the stations to land. Observation stations with tsunami meters and seismometers will be placed on the seafloor off Hokkaido, off Tohoku and off Kanto, in a spacing of about 30 km almost in the direction of East-West (perpendicular to the trench axis) and in a spacing of about 50 - 60 km almost in the direction of North-South (parallel to the trench axis).

キーワード: 海底ケーブル, リアルタイム観測, 日本海溝, 津波モニタリング, 海底地震観測, 警報

Keywords: Ocean bottom cable, Realtime observation, the Japan Trench, Tsunami monitoring, Ocean bottom seismic observation, Warning



## 沖合 100km を目指した GPS 津波計の実証実験 An Offshore Experiment of Tsunami Monitoring System using GPS Buoy

寺田 幸博<sup>1\*</sup>, 加藤 照之<sup>2</sup>, 永井 紀彦<sup>3</sup>, 川口 浩二<sup>3</sup>, 越村 俊一<sup>4</sup>, 松下 泰弘<sup>5</sup>

TERADA, Yukihiko<sup>1\*</sup>, KATO, Teruyuki<sup>2</sup>, Toshihiko Nagai<sup>3</sup>, Koji Kawaguchi<sup>3</sup>, KOSHIMURA, Shunichi<sup>4</sup>, Yasuhiro Matsushita<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 高知高専, <sup>2</sup> 東大地震研, <sup>3</sup> 港湾空港技研, <sup>4</sup> 東北大・工, <sup>5</sup> 日立造船

<sup>1</sup>Kochi National College of Technology, <sup>2</sup>Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, <sup>3</sup>Port and Airport Research Institute, <sup>4</sup>Grad. Sch. Eng., Tohoku Univ, <sup>5</sup>Hitachi Zosen Corp.

GPS 津波計の開発では、相模湾で基礎実験、大船渡市沖で実用化実験、室戸市沖で実証実験を行ってきた。この一連の実験を通じて、これまでに 5 件の津波を観測し、cm オーダーで津波の計測が可能であることを示してきた。これらの成果を活用して、国土交通省港湾局は GPS 波浪計の全国配備を開始し、現在 15 基が設置されている。東北地方太平洋沖地震津波において、東北沿岸に設置した GPS 波浪計のリアルタイム観測データは、大津波警報のレベルを最大級へ引き上げる際に参照された。

一方、これまでの GPS ブイの沖合展開は、GPS 測位法として用いている RTK-GPS 法の適用が可能である基線長 20km が限界となっていた。これを克服する方法として、短周期の変位に対応できる単独高精度変位測定法の PVD 法及びアンビギュイティを解く精密単独測位法の PPP-AR 法の開発・改良を行い、適用性実験で良好な結果を得ることができた。また、オープンソースの超長基線対応の RTK-LIB 法も適用可能であることが確認できた。これらのことから、高知県の協力を得て、室戸岬沖 40km に浮魚礁として設置されている黒潮牧場のブイを借用して、沖合 100km を目指した GPS 津波計の実証実験を開始することとした。その概要は、次のとおりである。

黒潮牧場ブイには、GPS 津波計として必要とする GPS 受信機、データ収集解析装置、データ伝送のための無線機、海底地殻変動観測装置及びこれらを稼働するための太陽電池電源装置を搭載する。ブイで収集したデータは、400MHz 帯の無線機を用いて 50km 離れた陸上基地局に伝送する。これには、標高 250m の山中にある国立室戸青少年自然の家の上を借り受けて受信する。ブイの GPS データは Web の VPN 接続で高知高専に送り、これまでに適用の可能性を確認した単独測位法及び RTK 法を用いて解析を行う。RTK 解析においては、ブイから 40km の室戸岬灯台とブイから 80km の高知高専に陸上基準局を設置して収集する基準局データを用いる。これらの解析によって得られた波浪、津波、潮汐のデータは、インターネットでリアルタイムに公開する (<http://www.tsunamigps.com/>)。

キーワード: GPS, 津波計, PVD, PPP-AR

Keywords: GPS, Tsunami-meter, PVD, PPP-AR

## 津波直前警報のための超低電力無線潮位観測実験

### Sea-level observation with ultra-low power radio telemetry for the last minutes tsunami warning

井上 公<sup>1\*</sup>

INOUE, Hiroshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup> NIED

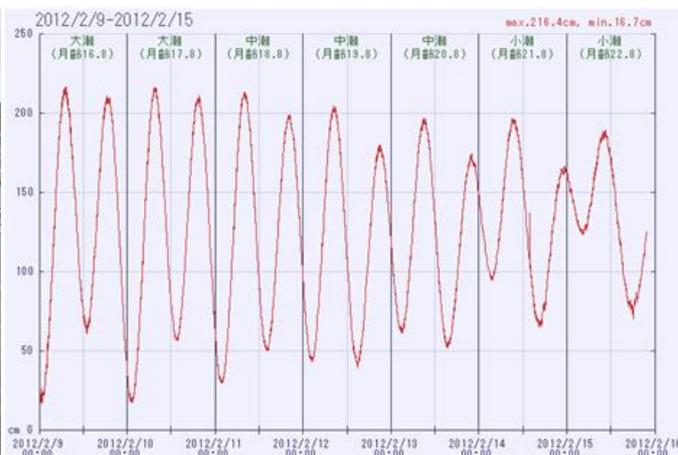
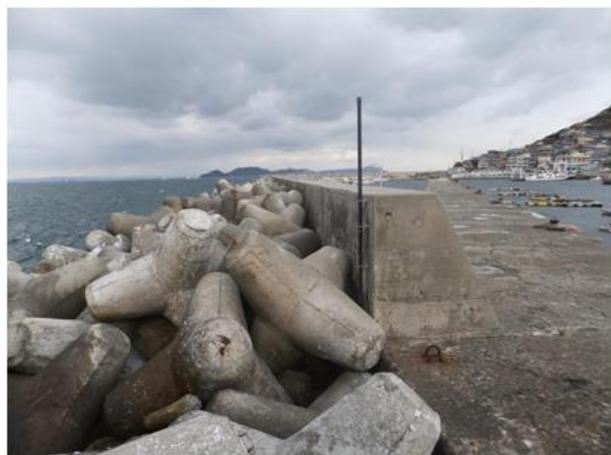
東日本大震災で多くの犠牲者が出た理由の一つは、目前に迫る巨大な津波の情報がさまざまな原因で住民に正しく伝わらなかったことである。もし正確な情報が津波到達のたとえ数分前にも伝わっていたら、救えたであろう命の数は少なくない。より正確な津波の情報を得るために我が国では沖合で津波を直接測定する GPS 波浪計や海底ケーブル水圧計が今後強化され警報の精度が向上するであろう。一方津波がさらに海岸に近づき、湾内に侵入して街を襲うまでの最後の数十分から数分の間の情報を、昼夜を問わず正確に住民に伝えることができれば、より適切な住民の避難行動を促すことができるはずである。

そのためには沖合の小島や岬の先端、湾岸地域の多数点での潮位観測を行う必要がある。我々は(株)数理設計研究所が開発した超低電力スペクトラム拡散無線通信 MAD-SS を用いて、そのような多点観測を可能にする潮位計を製作した。MAD-SS は送信速度は毎秒 1 バイトと極めて遅いが、そのかわりに僅か 10mW の VHF で、見通しがあれば 100 キロメートルを超える通信を可能とする。従来の無線モデムと異なり極めて低電力なため小さな太陽電池または乾電池での数カ月の運用が可能である。また無線なので災害時に強く、通信料もかからない。この潮位計は一本の塩ビパイプに水圧センサー、デジタイザー、MAD-SS モデム、アンテナ、電池がすべて仕込まれており設置が容易である。

我々はこのシステムを伊勢湾口の神島(写真)と、茨城県神栖市の港湾航空技術研究所波崎海洋実験施設に設置して観測実験を行った。前者は潮位計を防波堤のテトラポットの隙間に設置し、データは 45km 離れた津市の三重大学工学部に伝送している。観測は成功しデータが順調に蓄積されている。一方波崎では多点観測を想定した砂浜での潮位観測の可能性を調べる実験をおこなっている。最初の設置ではセンサーが浅すぎて低い潮位が記録できなかった。今後センサーの最適の位置と深さおよび埋設方法を試行錯誤で調べてゆく。

国内での実験と並行してフィリピンのアルバイ湾とマニラ湾、およびインドネシアの西スマトラにシステムを設置して実用化を目指す。このような潮位計を太平洋の多くの島々に設置すれば当該国のみならず環太平洋諸国全ての遠地津波警報の精度の向上に貢献できる。

(施設利用の便宜をいただきました三重大工学部の花里利一氏、港湾航空技研の中村聡志氏・柳嶋慎一氏に感謝いたします)



## GPS 全電子数観測により捉えられた東北地方太平洋沖地震後の津波に伴う電離圏変動

### Tsunami induced ionospheric disturbances detected by GPS-TEC observation after the 2011 Tohoku earthquake

津川 卓也<sup>1\*</sup>, 西岡 未知<sup>1</sup>, 品川 裕之<sup>1</sup>, 丸山 隆<sup>1</sup>, 小川 忠彦<sup>1</sup>, 齊藤 昭則<sup>2</sup>, 大塚 雄一<sup>3</sup>, 松村 充<sup>4</sup>, 長妻 努<sup>1</sup>, 村田 健史<sup>1</sup>  
TSUGAWA, Takuya<sup>1\*</sup>, NISHIOKA, Michi<sup>1</sup>, SHINAGAWA, Hiroyuki<sup>1</sup>, MARUYAMA, Takashi<sup>1</sup>, OGAWA, Tadahiko<sup>1</sup>, SAITO, Akinori<sup>2</sup>, OTSUKA, Yuichi<sup>3</sup>, MATSUMURA, Mitsuru<sup>4</sup>, NAGATSUMA, Tsutomu<sup>1</sup>, MURATA, Ken T.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構, <sup>2</sup> 京都大学理学研究科地球物理学教室, <sup>3</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所, <sup>4</sup> 電気通信大学宇宙・電磁環境センター

<sup>1</sup>NICT, <sup>2</sup>SPEL, Kyoto Univ., <sup>3</sup>STEL, Nagoya Univ., <sup>4</sup>University of Electro-Communications

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震後の津波に伴って発生した電離圏擾乱現象の発生と時間発展について、高解像度 GPS 全電子数 (TEC) 観測を用いて詳細に明らかにした。日本上空の最初の TEC 変動は、震央付近、地震から約 7 分後の 05:54UT、0.5-1TECU 程度のインパルスな TEC 増大後、05:56UT から急激な TEC 減少 (背景に対して 20%) が見られた。この TEC 減少は 30 - 1 時間程度続き、徐々に定常レベルに戻っていった。この TEC 減少領域の中心 (以下、「電離圏震央」) は USGS 発表の震央からは 170km 南東にずれており、海底津波計等で推定された津波波源とほぼ一致していた。日本上空では 06:00UT 以降 3 時間以上の間、電離圏震央から同心円状の波が波紋状に広がっていった。この同心円状の波の第一波は約 3.5km/s の伝搬速度を持ち、レイリー波の伝搬速度と同程度であった。第二波以降の波は数 100m/s で、時間と共に遅い波が観測された。また、これらの波動現象とは別に、震源付近では、06:00 UT の TEC 減少と共に、約 4 分周期の短周期変動が見られた。この短周期振動は 3 時間以上続いていた。非静水圧中性大気モデルを用いたシミュレーションとの比較から、電離圏震央付近の TEC 減少は音波モードの大気波動による電離圏内のプラズマ輸送が主要因であることが示唆された。また、同心円状の波の第一波はレイリー波が励起した音波によるもの、第二波以降の波は電離圏震央上空に伝播した音波が電離圏下部で励起した大気重力波によるものと考えられる。また、北米及び欧州上空の高解像度 GPS-TEC 観測を用いて、震源から離れた地域における地震・津波に伴う電離圏変動を調べた。北米上空では地震の約 10 時間後から西海岸上空に南北方向に伸びた波面を持つ波長数 100km、伝搬速度数 100m/s で東進する波が数時間観測された。一方、欧州上空では地震に伴うような電離圏変動は観測されないなど、震源近傍と震源から数 1,000km 離れた場所では電離圏変動に違いが見られた。本発表では、これらの電離圏擾乱の全体像を報告すると共に、その生成機構を議論する。また、リアルタイム GPS-TEC 観測を利用した津波到達予報の可能性についても触れる。

キーワード: 電離圏, 地震, 津波, 音波, 大気重力波, 波紋

Keywords: ionosphere, earthquake, tsunami, acoustic wave, atmospheric gravity wave, concentric wave

## 北西太平洋に展開された海底磁力計群から推定される2011年東北地震津波の発生と伝播

### Generation and propagation of the 2011 Tohoku earthquake tsunami inferred from the OBEM array in the North-West Pacific

浜野 洋三<sup>1\*</sup>, 杉岡 裕子<sup>1</sup>, 市原 寛<sup>1</sup>, 多田 訓子<sup>1</sup>, 藤 浩明<sup>2</sup>

HAMANO, Yozo<sup>1\*</sup>, SUGIOKA, Hiroko<sup>1</sup>, ICHIHARA, Hiroshi<sup>1</sup>, TADA, Noriko<sup>1</sup>, TOH, Hiroaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 京都大学

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>Kyoto University

The 2011 Tohoku earthquake tsunami caused a destructive damage along the shoreline from the Tohoku to Kanto districts. Because many of the tide gauge stations along the Tohoku coast were damaged by the tsunami, source process of the tsunami has not been well determined yet. After the Tohoku earthquake, several cruises of JAMSTEC research vessels recovered Ocean Bottom ElectroMagnetometers (OBEMs) from the seafloor sites in the North-West Pacific area, where the OBEMs had been installed before the earthquake. These sites are BM14 (39.058N, 144.808E, 5830m; recovered by NT11-08), NWP (41.103N, 159.952E, 5816m; recovered by KR11-07), and NM04 (38.211N, 154.190E, 5940m; recovered by KR11-10). OBEMs from these sites clearly recorded the ElectroMagnetic(EM) tsunami signals.

Seafloor measurement of the EM signals due to tsunamis had not been attained until very recently (Toh et al., 2011) because of their low signal levels. However, recent advances in technology enabled the seafloor measurements of the tsunami EM signals by using OBEMs. First simultaneous measurements of EM signals and bottom pressure during the passage of 2010 Chile earthquake tsunami in the French-Polynesia region (Hamano et al., 2011), proved that seafloor observation of EM signals is powerful tool to investigate the generation and propagation of tsunamis in the open sea, in which temporal variations of the vertical magnetic field,  $B_z$ , reproduce the variations of the sea level change due to the passage of tsunami wave, and two horizontal magnetic fields,  $B_x$  and  $B_y$ , indicate the propagation direction of tsunamis. As for the Tohoku earthquake, combination of the three OBEM stations with the tsunami monitoring stations ST2418 (38.718N, 148.698E, 5500m), ST21413 (30.528N, 152.123E, 5874m), and ST21419 (44.455N, 155.735E, 5285m) operated by NOAA, comprises an observational network for the tsunami located in the east of the fault plane of the Tohoku earthquake, which provides valuable information on the generation and propagation of the 2011 Tohoku earthquake tsunami. Among the network stations, the OBEM at site BM14 recorded the tsunami arrival after 4 minutes of the origin time of the Tohoku earthquake. This early observation at the closest place to the tsunami source enable reliable estimate of the source process of the tsunami (Ichihara et al., 2011). Here, we report the propagation process of the tsunami inferred from this tsunami observational network. By taking cross-spectra of the 24 hours signals of sea level change from each station correspond to the signals from BM14 (closest site to the tsunami source), dispersion relations of the tsunami wave across the network were calculated. The result indicates that the tsunami generated just west to site BM14 propagates across the line from BM14 through ST21418 to NM14. This west to east propagated tsunami wave shows a dispersion relation consistent with the theoretical estimate of gravity waves corresponding to the water depth of 5500 m. The dispersion shows that the decrease of phase velocity by about 15 % from the period of 20 minutes to 3 minutes. Cross-spectra of the records from ST21413 and ST21418 to that from BM14 indicate that the tsunami arrived at these sites propagate along west-east direction, suggesting the sources for the tsunami passing through these two stations are different from the source responsible for the tsunami propagated along the BM14-ST21418-NM14 line.

キーワード: 津波, 電磁気観測, 海底観測, 海洋ダイナモ効果, 2011 東北地震

Keywords: tsunami, electromagnetic observation, sea floor observation, ocean dynamo effect, 2011 Tohoku earthquake

## 2003年11月, 2011年6月アリューシャン地震津波の規模 – 太平洋各地の波高偏差 Magnitudes of the Aleutian Tsunamis in Nov. 2003 and Jun. 2011 – Deviation of Tsunami Heights on the Pacific Region

羽鳥 徳太郎<sup>1\*</sup>

HATORI, Tokutaro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 元東大地震研究所

<sup>1</sup>ex. Earthquake Research Institute

2003年11月17日06時43分(UTC),アリューシャン列島のラット島沖で中規模な地震が発生した(震央:51.40N, 178.60E, Mw 7.7, USGS)。津波を伴い,セーミヤ島で全振幅値 52cm,ハワイや南米など太平洋条地で観測された(WC/ATWC)。地震は低角逆断層型であった(中山,2003)。一方,2011年6月24日列島東部のアトカ島沖地震(52.008N, 171.860W, Mw7.2)は小津波を伴った。津波の逆伝播図と余震分布を参照すると,2003年津波の波源域は水深3000mの等深線に拾いに長さ130km,2011年津波は南北方向に60kmと推定され,それぞれ大規模な1965年,1957年津波( $m=3$ )の波源域内に位置する。震央距離-波高関係図によると,津波マグニチュードは2003年津波 $m=1$ ,2011年津波 $m=0$ と判定される。両津波とも,ハワイの波高値が大きい。なお,2007年8月2日のアムチカ島沖地震(Mw6.7)も小津波を伴った。

1946年アリューシャン津波で,ハワイ諸島が大災害に見舞われたことは知られている。ここでは5例のアリューシャン,アラスカ津波について,平均マグニチュードからの波高偏差の地域性を整理してみる。その結果,マグニチュード偏差は米国カリフォルニアと南米チリで2-3階級(波高にして5,10倍)大きい。ハワイ諸島では,3階級以上に突出した。日本ではI階線上回った地点(鮎川,串本)もあるが,多くは平均値またはそれ以下であった。各地域の波高偏差値は,指向性により震央の位置で差がある。

キーワード: アリューシャン地震津波, 津波マグニチュード, 津波の方向性

Keywords: Aleutian-Alaska tsunamis, Tsunami magnitude, Directivity of tsunamis

## 延宝5年10月9日(1677年11月4日)房総沖地震津波の浸水標高について Heights of the tsunami of the Empo Boso-Oki earthquake of November 4th, 1677

都司 嘉宣<sup>1\*</sup>, 今井健太郎<sup>2</sup>, 矢沼 隆<sup>3</sup>, 馬淵幸雄<sup>3</sup>, 大家隆行<sup>4</sup>, 岡田清宏<sup>4</sup>, 岩淵洋子<sup>5</sup>, 今村文彦<sup>2</sup>

TSUJI, Yoshinobu<sup>1\*</sup>, KENTARO, Imai<sup>2</sup>, YANUMA, Takashi<sup>3</sup>, MABUCHI, Yukio<sup>3</sup>, OOIE, Takayuki<sup>4</sup>, OKADA, Kiyohiro<sup>4</sup>, IWABUCHI, Yoko<sup>5</sup>, IMAMURA, Fumihiko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> なし, <sup>2</sup> 東北大, <sup>3</sup> パスコ, <sup>4</sup> パシフィック・コンサルタンツ, <sup>5</sup> 原子力安全基盤機構

<sup>1</sup> none, <sup>2</sup> Tohoku U., <sup>3</sup> Pasco, <sup>4</sup> Pacific Consultants, <sup>5</sup> JNES

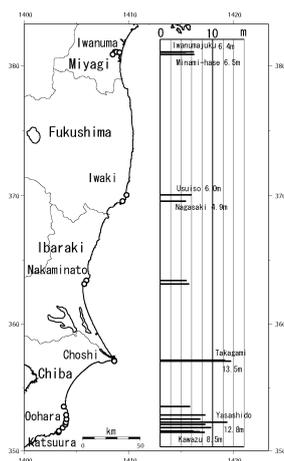
延宝5年10月9日(1677年11月14日)の房総沖地震津波については、羽鳥(1975、1979、2003)、都司(1994)、および、竹内ら(2007)がある。本研究では、房総半島、および福島県のいわき市、および宮城県岩沼市において新たな津波浸水点を加えることができた。津波浸水標高の測定に当たっては、江戸時代の村の被害数記載に対してはできるだけ平凡社『日本歴史地名大系』によって総戸数とその村の被災当時の支配関係を確認すること。江戸期の集落の様子を推定しうる明治期の5万分の一地図上に中心集落を確認すること。必ず古文書の記載点の現地を訪問し、測量器械で測量した数値を基礎とすること、以上3点の手順により決定した。そのさい、30%以下の家屋の流失があったときには敷地上2mの冠水があった、半数近い家屋の流失した村は敷地上2.5mの冠水があった、大部分の家が流失した場所は敷地上3mの冠水があったと推定した。

このうち宮城県岩沼市については、『萬天日録』(武者,1946,第1巻 p881)に「奥州岩沼領被害民屋四百九十軒余流、男女百二十三人、馬二十七匹溺死」とあったが、房総沖の震源から遠すぎることから、「岩沼」は「岩城(福島県いわき市)」の誤ではないかと判定されたせいか、これまで宮城県岩沼市の現地で測定されたことがなかった。しかし、『巖有院実記』に記された「陸奥の田村右京亮建顕も此の害にかかり」の田村右京が岩沼藩の領主であることが判明し、宮城県岩沼にも被害があったことが確認された。

千葉県大原町矢指戸で12.8m、外洋から銚子市高神の小畑池に至る鞍部で13.5m、いわき市薄磯で6.0m、宮城県岩沼宿で6.4m、旧早股村熊野神社で5.7mの浸水高さがあったと推定される。

キーワード: 歴史地震, 歴史津波, 房総沖地震, 津波地震

Keywords: historical earthquake, historical tsunami, Boso-oki earthquake, tsunami earthquake



## 2011年東北地方太平洋沖地震津波の検潮記録に現れた卓越周期の方位角による変化 Observation of azimuth dependence in dominant periods of the 2011 Tohoku Earthquake Tsunami

阿部 邦昭<sup>1\*</sup>

ABE, Kuniaki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 日本歯科大学新潟短期大学

<sup>1</sup>Nippon Dental University College at Niigata

### はじめに

海岸にある検潮所で観測される津波には波源のサイズなどを反映した周期成分よりも、検潮所近傍で励起された固有振動の周期成分が強く表れる。著者は津波の検潮記録の中で地域固有の振動を見極めるため、市販の圧力センサーを使って津波がないときの水位変動を測定し、卓越周期を調べてきた。そんな折 2011年3月11日に発生した Mw9.0 の東北地方太平洋沖地震の津波は太平洋全体に広がり、沿岸各地の検潮所で観測された。国内の波源近傍では振幅が大きすぎて測定不能になったが遠方や海外の検潮所ではオーバースケールする事なく記録が取れている。方位角が種々に異なる検潮所の水位記録からスペクトルの卓越周期を求め、波源と観測点近傍で励起された周期成分を分析した。

### 方法

使用する検潮記録は気象庁、米国海洋大気局 (NOAA) がインターネットのサイトに公表しているもので、津波の到達時刻直前の正時から6時間の記録である。全て一分間隔の水位とした後、潮位を除いてから、従来使用してきた方法でスペクトルを求めた。そしてその最大振幅の周期成分を卓越周期とする。対象検潮所は国内では花咲、父島の2点、海外ではアダック島、クレセントシティ、ラホヤ、カワイハエ、ミッドウエー島、ウエーキ島、パゴパゴ (米国)、アカプルコ (メキシコ)、カヤオ (ペルー)、パルパライソ (チリ) の10点、計12点である。花咲だけは導水管方式である事がわかっているので応答の補正を行っている。これらの記録は同じ場所で観測された静振の卓越周期と比較される。花咲、父島に関しては静振の測定結果から卓越周期が33、17分であるのでこれを使用し、海外の検潮所の卓越周期は、同じサイトで公表されている同じ場所での水位で津波が来る直前または1年前のチリ津波の直前の水位を使って静振の卓越周期を求めた。これにより津波の卓越周期と静振の卓越周期を比較する事が出来る。

### 結果

津波の卓越周期は一分台が1、10分台が2、20分台が2、30分台が3、40分台が3、60分台が1となった。最短の9.9分はミッドウエー島、最長の69分は花咲の値である。静振の卓越周期との比較では5分以内で一致する物が5カ所であった。一致が良いのはパゴパゴやアカプルコのように検潮所が湾内にある所である。この事は津波が湾のように閉じた所で固有振動を励起した事を意味する。しかし同時に一致しない所も過半数あるので、波源の影響を反映している事も指摘出来る。図1は横軸に震央からみた検潮所の方位角をとって、縦軸に津波及び静振の卓越周期をとってプロットしたものである。実線であらわした曲線は Yamashita and Sato(1974) による津波振幅の最大値が得られる周期成分の方位による変化を示したものである。計算にあたり波源断層の走向を N20E として、断層パラメータは長さ450km、幅200km、傾斜角9度、滑り角81度を仮定して、距離2000kmで振幅が最大になる周期を求めて、方位角の関数として表示したものである。この式は水深が一定の場合に限られているので水深を6000mにした場合がこの曲線にあたる。走向と直交する方向で周期が短くなる事が理論から予測されるが、観測結果もそうになっている事から明らかに方位変化が観測されたといえる。津波の来襲によって卓越周期が静振の卓越周期から津波の卓越周期に変化した所は理論曲線に近づくように変化した例が多い。ただし例外もある。波源域の平均的な水深は約3000mなので、この結果は水深がかなり深い場合に対応する事を示すものである。卓越周期を1個の数値で代表させているが波源にも測定サイトにも実際は幅があるので、幅を持ったものどうしの重なりで卓越周期が実現されたと考えればその違いは説明出来そうである。

キーワード: 方位角変化, 2011年東北地方太平洋沖地震津波, 卓越周期, 検潮記録

Keywords: azimuth dependence, 2011 Tohoku Earthquake Tsunami, dominant period, tide gage records

HDS26-13

会場:102B

時間:5月21日 14:15-14:30

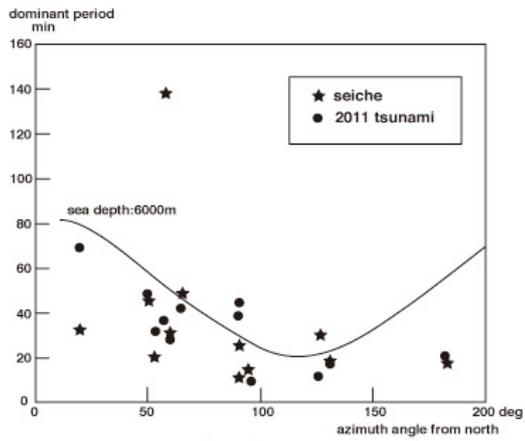


Figure 1

## 遠地津波の反転した初期振幅の起源 Origin of the reversed initial amplitude of distant tsunami

綿田 辰吾<sup>1\*</sup>, 藤井 雄士郎<sup>2</sup>, 佐竹 健治<sup>1</sup>  
WATADA, Shingo<sup>1\*</sup>, FUJII, Yushiro<sup>2</sup>, SATAKE, Kenji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所, <sup>2</sup> 建築研究所  
<sup>1</sup>ERI, University of Tokyo, <sup>2</sup>Building research Institute

Distant tsunami waveforms recorded at deep open sea from the 2010 Chile earthquake and the 2011 Tohoku-Oki earthquake show a reversed prolonged small initial tsunami phase arrival, which is easily identified by the reversed polarity of the large amplitude tsunami arrival following the small-amplitude initial phase arrival. The small reversed polarity before the main peak is visible in the original tidal pressure data and not introduced during the de-tide process. Thanks to the low noise DART data from large earthquakes, the arrival of the small initial phases at distant buoys are identified as early as 1 hour before the arrival of large amplitude tsunami with a reversed polarity. The small initial amplitude is as large as 10 % of the amplitude of the main phase at largest distances. Such an initial phase is not observed at buoys near the earthquakes.

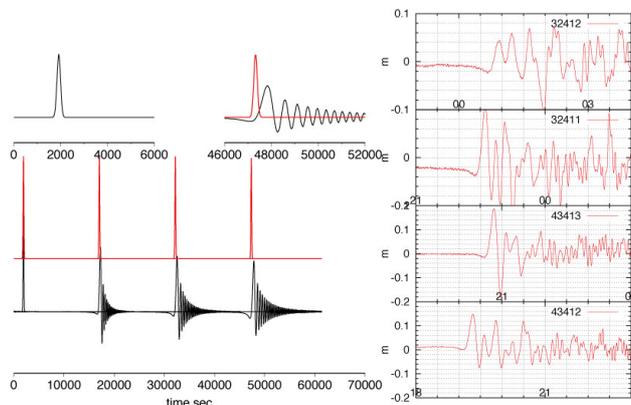
The synthetic tsunami for 1D PREM earth model including the effect of the elastic crust, mantle, and core of the earth, and the effect of the compressibility of the ocean water, and the effect of the gravity potential change caused by the motion of the mass of the water and the solid earth during the tsunami propagation, has been computed. Compared with the tsunami synthetics waveforms computed based on a conventional non-dispersive long-wavelength water waves, the tsunami for 1D earth shows a delayed arrival of the main amplitude peak of the tsunami, in addition to a prolonged small initial amplitude phase with reversed polarity before the main peak.

Two features, delayed arrival of the main amplitude peak and the small amplitude initial phase with a reversed polarity, are successfully re-produced by the tsunami computation for 1D PREM earth model.

The small initial tsunami with a reversed polarity observed at distant locations is caused by the dispersion of the long-wavelength tsunami, and should not be misinterpreted as an evidence of a precursory crustal movement prior to the large earthquakes.

Figure Left: shows synthetic tsunami waveforms of dispersed tsunami and non-dispersive tsunami. Right: observed tsunami waveform at DART buoys after the 2011 Tohoku-Oki earthquake.

キーワード: 津波伝搬, 初期振幅異常, 東北太平洋沖地震, チリ地震, GPS 津波計, 海底圧力計  
Keywords: tsunami propagation, initial amplitude anomalies, Tohoku-oki earthquake, Chile earthquake, GPS wave gauge, ocean bottom pressure gauge



## 数値モデルを用いた釜石湾港防波堤による東北地方太平洋沖地震津波の軽減効果 Numerical modeling of Kamaishi offshore tsunami barrier against Tohoku earthquake tsunami

森 信人<sup>1\*</sup>, 米山 望<sup>1</sup>, 三輪真揮<sup>1</sup>

MORI, Nobuhito<sup>1\*</sup>, Nozomu Yoneyama<sup>1</sup>, Masaki Miwa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所

<sup>1</sup> Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

### 1. はじめに

3月11日に起こった東北地方太平洋沖地震津波は、これまでにない甚大な津波被害を東北地方中心に与え、その影響範囲は北海道から九州にまで及ぶ広範囲なものであった。被害の中でも来襲した津波によるものがかなりの割合を占めることが報告されている。

岩手県釜石市の釜石港付近の被害調査結果から、周辺の地域に比べて、湾奥の被害が軽微であるという特徴が見られた。釜石湾の湾口には、波浪と津波防止のための釜石港湾口防波堤が水深63mに設置されており、痕跡調査結果から湾口防波堤内の痕跡高が3~4割程度小さくなっていることが報告されている。

本研究では、釜石湾を対象に局所的な津波のシミュレーションを行い、湾内の津波挙動および湾口防波堤の効果について数値実験を行う。得られた結果について、痕跡調査結果と比較し、その妥当性について検討を行う。

### 2. 研究手法の概略

数値計算は、静水圧を仮定した準3次元モデルと3次元Navier-Stokes方程式を用いて2種類行った。水平方向には直交座標、鉛直方向には座標を用い、解像度は水平25-50m、鉛直10層とした。沖の境界条件には、GPS波浪計等のデータを元に逆解析した結果を用いて、釜石湾沖における時系列として用いた。

### 3. 主な結論

現況（沖防波堤有）における計算を行い、陸上の痕跡高と比較を行った。その結果、計算結果はやや過大であるものの、観測結果に対して概ね良好な一致を見せた。浸水範囲についても計算結果は、観測結果に近い分布を示した。

さらに、沖防波堤がない場合の計算を行い、構造物の有用性について数値実験を行った。図1に示すのはその結果であり、沖防波堤により、釜石港内の陸上では約30~40%浸水高が小さくなっていることがわかった。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震津波, 釜石湾, 防波堤, 数値モデル, 流速分布

Keywords: The 2011 Tohoku Earthquake Tsunami, Kamaishi bay, Wave barrier, Numerical modeling, Velocity profile