

## 津波が引き起こす電磁場の非一様薄層導体近似を用いた順解問題 Forward calculation of the electromagnetic field induced by tsunamis, using non-uniform thin-sheet approximation.

川嶋 一生<sup>1\*</sup>, 藤 浩明<sup>2</sup>, 佐竹 健治<sup>3</sup>  
Issei Kawashima<sup>1\*</sup>, Hiroaki TOH<sup>2</sup>, Kenji Satake<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学理学研究科, <sup>2</sup> 京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター, <sup>3</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup>Solar-Planetary Electromagnetism Laboratory, Department of Geophysics, Graduate School of Science, Ky, <sup>2</sup>Data Analysis Center for Geomagnetism and Space Magnetism, Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>3</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo

A seafloor geomagnetic observatory in the northwest Pacific detected clear electromagnetic (EM) variations associated with tsunami passage from two earthquakes that occurred along the Kuril Trench (Toh et al., 2011). Previous seismological analyses indicated that the M8.3 earthquake on 15 November 2006 was an underthrust type on the landward slope of the trench, while the M8.1 earthquake on 13 January 2007 was a normal fault type on the seaward side (Ammon et al., 2008).

We tried to simulate the frequency dependence of the observed EM signals, using a three-dimensional (3-D) non-uniform thin-sheet approximation, which can accommodate not only the inducing non-uniform source fields caused by particle motions of conducting seawater at the time of tsunami passage but also the self-induction effect within the ocean and its conductive substrata. Horizontal particle motions were calculated by Fujii and Satake (2008) with two types of hydrodynamic approximation, viz., the Boussinesq approximation and the long-wave approximation. Because the dispersion effect of each tsunami was more remarkable in the 2007 event, the observed EM variations were expected to be more compatible with the simulated EM signals using the Boussinesq approximation than the long-wave approximation.

As a result of the frequency analysis of the observed EM variations at the time of the 2006 event, the frequency of 1.04mHz is most dominant, which is consistent with the result of the frequency analysis of the simulated horizontal particle motions. Also, We confirmed that synthetic plane waves in a flat ocean induced  $\nabla$ -harmonic EM variations. The calculated EM amplitudes for the 2006 event at a period of 960s using the Boussinesq approximation were smaller than those with the long-wave approximation. This can be interpreted as reflecting the dispersive effect.

In this presentation, we will further discuss the advantages and disadvantages of conducting the simulation in the frequency domain for tsunami EM signals and describe the necessity to use the Boussinesq approximation in order to elucidate the observed EM signals at the time of the dispersive tsunami. Furthermore, we will discuss to what extent we can neglect the presence of the horizontal components of the geomagnetic main field in evaluating the source dynamo currents. Also, we will emphasize the usability and importance of the EM observation on the seafloor for tsunami forecast in comparison with the conventional tsunami-height measurements at sea and/or the geomagnetic observations on land.

### References

Dawson, T. W., and J. T. Weaver (1979), Three-dimensional electromagnetic induction in a non-uniform thin sheet at the surface of a uniformly conducting Earth, *Geophys. J.R. Astron. Soc.*, 59, 445-462.

Fujii, Y. and K. Satake (2008), Tsunami sources of the November 2006 and January 2007 great Kuril earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 98, 1559-1571, doi:10.1785/0120070221.

McKirdy, D. M. A., J. T. Weaver, and T. W. Dawson (1985), Induction in a thin sheet of variable conductance at the surface of a stratified Earth-II. Three-dimensional theory, *Geophys. J.R. Astron. Soc.*, 80, 177-194.

Sanford, T. B. (1971), Motionally induced electric and magnetic fields in the sea, *J. Geophys. Res.*, 76, 3476-3492, doi:10.1029/JC076i015

Toh, H., K. Satake, Y. Hamano, Y. Fujii, and T. Goto (2011), Tsunami signals from the 2006 and 2007 Kuril earthquakes detected at a seafloor geomagnetic observatory, *J. Geophys. Res.*, 116, B2104, doi:10.1029/2010JB007873.

## 津波監視を目指した Ku 帯広帯域レーダの開発 Development of Ku-band broad band radar for tsunami monitoring

吉田 智<sup>1\*</sup>, 牛尾 知雄<sup>1</sup>, 河崎善一郎<sup>1</sup>

Satoru Yoshida<sup>1\*</sup>, Tomoo Ushio<sup>1</sup>, Zen Kawasaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学工学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Engineering, Osaka University

We began to develop tsunami monitoring radars based on the idea of Ku-band broadband radars, which estimate precipitation with quite high range resolution. The final goal of the tsunami monitoring radars is to estimate the arrival time of tsunamis and wave heights of them. The basic idea of the tsunami monitoring radars is quite similar to the Ku-band broadband radar; center frequency, frequency band, and range resolution, respectively, are 15.75 GHz, 80MHz, and 5m. Last year we had an observation campaign with a prototype tsunami monitoring radar in Tanabe Bay, Wakayama prefecture, to test our method. We confirmed that the radar detected caps of sea waves and there was a linear relationship between radar reflectivity and the wave heights.

キーワード: 津波, リモートセンシング, マイクロ波

Keywords: tsunami, remote sensing, microwave

## 津波高の測定における高潮数値予測モデルの利用について Application of numerical forecast model of storm surge to tidal correction for tsunami survey

山崎 明<sup>1\*</sup>, 本山龍也<sup>2</sup>, 平松秀行<sup>1</sup>

Akira Yamazaki<sup>1\*</sup>, MOTOYAMA, Tatsuya<sup>2</sup>, HIRAMATSU, Hideyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象庁地震火山部, <sup>2</sup> 気象庁地球環境・海洋部

<sup>1</sup>Seismological and Volcanological Department, Japan Meteorological Agency, <sup>2</sup>Global Environment and Marine Department, Japan Meteorological Agency

襲来した津波の高さの測定では、建物等に残った津波の痕跡を調べる方法が用いられる。この津波の痕跡高は付近の海面からの高さ、もしくは近くの標高基準点からの標高として測定される。海面の潮位は常に変動しているため、より正確な津波の高さを求めるためには潮位の補正を行わなければならない。津波痕跡を海面からの高さとして測定した場合は測定時の潮位と津波の最大波到達時の潮位が必要であり、標高として測定した場合でも津波の最大波到達時の潮位が必要となる。潮位補正には最寄りの検潮所の潮位データ、もしくは天文潮位が用いられる。しかし、潮位は気圧や風の影響を受けたり、複雑な海岸線や海底地形により場所によって潮位変動が大きく違ってくることがあり、これらが潮位補正の誤差を大きくする要因になっている。

気象庁では平成10年より、主に台風通過時の高潮を予測する目的で高潮数値予測モデルの運用を開始した。観測される潮位は天文潮位に大気や海流などの影響で生じる潮位偏差が加わったものであるが、高潮数値予測モデルではまず予測地点での潮位偏差を求め、これに同じ地点で計算された天文潮位を加えることで予測潮位を求めている。現在では日本のすべての海岸線に沿った1km格子点での潮位が予測され、高潮ガイダンスデータとして気象防災情報の発表に利用されている。

高潮数値予測モデルと大気初期値から求めた高潮ハインドキャストデータでは潮位偏差が考慮されていることから、天文潮位より実際の観測潮位に近い予測値を与えられと考えられる。また、一般的には津波高測定地点は最寄りの検潮所から数10km程度離れているのに対し、高潮ハインドキャストデータでは海岸線に沿った1km格子点での潮位を与えている。よって、高潮ハインドキャストデータを利用すれば、潮位の補正精度が向上する可能性がある。今回、気象庁の高潮ハインドキャストデータが津波高測定に利用可能かどうかの調査を行った。調査は、全国69地点の気象庁所管の検潮所での2012年11月分のデータについて高潮ハインドキャストデータと潮位の観測データを比較し、高潮ハインドキャストデータの精度を調べた。その結果、多くの場合、最寄りの検潮所データを用いる補正方法よりも潮位の補正精度が向上することが確かめられた。

キーワード: 津波, 潮位補正, 検潮所, 高潮, 津波痕跡

Keywords: tsunami, tidal correction, tide gauge station, storm surge, watermark of tsunami

## DONETを用いた津波即時予測の検討：津波増幅率の推定と波源域の即時把握 Tsunami early prediction using DONET: tsunami amplification factor and area mapping of sudden pressure decrease

馬場 俊孝<sup>1\*</sup>, 高橋 成実<sup>1</sup>, 堀 高峰<sup>1</sup>, 金田 義行<sup>1</sup>  
Toshitaka Baba<sup>1\*</sup>, Narumi Takahashi<sup>1</sup>, Takane Hori<sup>1</sup>, Yoshiyuki Kaneda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

東日本大震災以降、津波即時予測の高度化を目的とした海域観測網の整備や技術開発が精力的に行われている。本研究では、海洋研究開発機構が開発および運用している地震・津波観測監視システム（DONET）の海底水圧計データを利用した津波即時予測手法について議論する。

馬場ほか（地震学会秋季大会, 2012）は、数千の断層モデルを仮定し、それらの数値計算から得られたDONET観測点での海底水圧の変化と沿岸の津波高から津波増幅率を推定した。しかし、断層モデルのパラメタセットをどう作成するかによって、得られる増幅率や推定誤差にばらつきがあるという点が課題として残されていた。本研究では、巨大な津波は海溝型地震によって発生すると考え、断層モデルのパラメタをプレート境界面上に拘束したデータベースを作成し、再解析を行った。その結果、尾鷲検潮所とDONET観測網間の津波増幅率は0.067 m/hPa、および予測値からのずれの標準偏差は0.9mと推定された。つまり、DONET観測点で1mの水圧変化が観測された場合、この関係から尾鷲では $6.7 \pm 0.9$ mの最大津波が予測される。この手法においては、DONET観測網の直下で地震が発生した場合も有効であり、地震発生後10～15分で予測が完了する。

しかし、津波警報への利用を考えた場合、地震発生後10～15分は必ずしも満足できるものではない。海底水圧計を用いた津波即時予測を、さらに高速で実施するには地震発生後急激に水圧が減少している領域をマッピングするという方法が考えられる。水圧観測点が津波波源域に存在する場合、津波励起の際に海底と海面が一緒に持ち上がるため、海底での静的な水圧という意味ではほぼ変化がない。その後、津波が伝播すると同時に、水圧が急激に低下し、津波が通過した後は地殻変動分の水圧変化が残る。つまり、地震発生後、急激に水圧が低下している範囲は津波波源とほぼ一致し、その広がりから断層長や地震のマグニチュードを大まかに推定できる。この方法であれば、地震発生後1～2分で津波波源の規模を推定できると考えられる。これを実現するためには、地震発生帯を覆うように海底水圧計を配置する必要があるが、東北日本沖では日本海溝海底地震津波観測網の整備が、南海トラフではDONET 2の構築および日向灘への拡張のための検討が進められている。

キーワード: 津波即時予測, DONET

Keywords: Tsunami early prediction, DONET

## 沖合津波観測データ同化システム用津波波形データベースの作成

## Development of the synthetic waveform database for tsunami forecasting system based on offshore data assimilation

林 豊<sup>1\*</sup>, 前田 憲二<sup>1</sup>, 対馬 弘晃<sup>1</sup>, 竹内 仁<sup>2</sup>, 村嶋 陽一<sup>2</sup>, 野村 出<sup>2</sup>

Yutaka Hayashi<sup>1\*</sup>, Kenji Maeda<sup>1</sup>, Hiroaki Tsushima<sup>1</sup>, Hitoshi Takeuchi<sup>2</sup>, Yoichi Murashima<sup>2</sup>, Izuru Nomura<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 国際航業株式会社

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute, <sup>2</sup> Kokusai Kogyo Co. Ltd.

気象研究所と国際航業株式会社では、「沖合津波観測データ同化システム用津波波形データベース」を2012年7月までに開発した。このデータベースは、沖合の津波観測データを用いた線形インバージョン解析で初期津波波源を推定することに基づく津波予測システム (tFISH; 対馬ほか、2009) の試作システム (気象研究所と日本電気株式会社によって2012年に開発) において、理論津波波形のグリーン関数のデータセットとして利用されることを意図している。データベースシステムには、主データベース、サブデータベース、データビューアソフトウェアが含まれる。主データベースは、各単位津波波源から線形長波方程式を用いて計算される各出力点の理論津波波形の集合である。対象領域は2箇所、日本海溝と南海トラフ沿いの地震発生領域である。単位津波波源の形は、 $\sigma = 10, 20$  または  $40\text{km}$  の二次元のガウス分布関数で定義し、全部で3,345の単位津波波源は規則的に両対象領域内に配置した。また、理論津波波形の出力点は両対象領域内とその周辺の664点を、海域の津波観測施設、沖合予測点 (気象庁の津波予測で使われる仮想的な沖合観測点) から選んだ。さらに、将来どこに新たな観測点が加わっても、データの内挿によって理論津波波形を合成できるように、計算格子点での水位データは一定間隔で間引いて保存した。これらの理論津波波形を計算するためのジョブ数は46,712であった。この膨大な数値計算結果を点検するため、自動品質管理サブルーチンを開発して、津波数値計算プログラムに組み込んだ。サブデータベースは、tFISHの試作システムにおける線形インバージョン解析の仕様に合わせて、メインデータベースからデータを抽出して作成することとなる。また、数値計算結果を可視化して確認できるように、データビューアソフトウェアもあわせて開発した。

キーワード: 津波観測データ同化, 理論津波波形データベース, 津波予測

Keywords: offshore tsunami data assimilation, synthetic tsunami waveform database, tsunami forecasting



## 沖合津波観測データ同化システムの開発

### Development of Tsunami Forecasting system based on offshore tsunami data assimilation

対馬 弘晃<sup>1\*</sup>, 林 豊<sup>1</sup>, 前田 憲二<sup>1</sup>, 横田 崇<sup>1</sup>, 川上 博隆<sup>2</sup>, 平田 怜<sup>2</sup>, 吉村 健二<sup>2</sup>, 遠藤 清隆<sup>2</sup>, 木田 洋祐<sup>2</sup>

Hiroaki Tsushima<sup>1\*</sup>, Yutaka Hayashi<sup>1</sup>, Kenji Maeda<sup>1</sup>, Takashi Yokota<sup>1</sup>, Hiroataka Kawakami<sup>2</sup>, Satoshi Hirata<sup>2</sup>, Kenji Yoshimura<sup>2</sup>, Kiyotaka Endo<sup>2</sup>, Yosuke Kida<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 日本電気株式会社

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute, <sup>2</sup> NEC Corporation

気象研究所と日本電気株式会社は、「沖合津波観測データ同化システム」を2012年7月までに開発した。同システムは、専用ソフトウェア及びハードウェアから構成されており、沖合の津波波形の逆解析に基づく津波の即時予測を実現するための試作システムである。ソフトウェアにおいては、沖合の津波波形を即時逆解析して初期水位分布を求め、その分布と、単位津波波源を与えた津波数値計算によりあらかじめ求めておいた理論津波波形との線形重ね合わせ計算を行って、沿岸付近の津波波形を予測する (Tsushima et al., 2009)。そして、沿岸付近の予測津波波形に、過去の津波記録から経験的に求められた津波波高の増幅率 (林, 2010) を乗じることで、予測対象である沿岸での予測津波波形を得る。ソフトウェア設計を工夫したことで、こうした一連のリアルタイム津波予測計算は3分程度で完了させることができる。この時間には、短周期圧力擾乱の除去をはじめとした純粋な津波波形の抽出処理や、逆解析を実施する際に必要な行列を理論津波波形から作成する処理等も含まれている。同ソフトウェアのリアルタイム制御を起動させると、設定した時間間隔で、外部から入力されてくる震源情報 (震源時, 震源位置, マグニチュード等) を監視し、そのマグニチュードがあらかじめ設定された閾値を超えると、自動的に津波予測計算が開始する。その後、一定時間が経過する毎に、その時点で得られている最新の観測津波波形を用いて、一連の予測計算が自動実施される。こうした計算の繰り返しは、地震が発生してから一定時間が経過すると自動で停止する。繰り返し計算を実施する時間間隔などは、パラメータ値として設定可能である。リアルタイム予測計算で得られた初期水位分布と沖合・沿岸の予測津波波形を表示した図およびそれらを掲載したウェブページは、一連の予測計算が終了する毎に自動的に生成される。さらに、事前にオプション指定しておくことにより、逆解析で求めた初期水位分布を初期波源として津波が周囲に広がっていく様子を数値化したデータもリアルタイムに計算することができる。一方、ハードウェアは、こうしたソフトウェアの機能を有効に活用できるように設計されている。観測データの受信やリアルタイム津波予測計算を実現するための複数のサーバと、大規模な理論津波波形データベースを収録するための大容量記憶装置から構成される。この大容量記憶装置には、気象研究所と国際航業株式会社が「沖合津波観測データ同化システム用津波波形データベース」として開発した理論津波波形群が収録されている。本講演では、試作システムの概要と適用例について紹介する。

キーワード: 津波即時予測, 沖合津波観測データ同化

Keywords: Real-time tsunami forecasting, offshore tsunami data assimilation

## Pre-calculated tsunami inundations for site-specific tsunami early warning Pre-calculated tsunami inundations for site-specific tsunami early warning

Aditya Gusman<sup>1\*</sup>, Yuichiro Tanioka<sup>1</sup>, Breanyn T. MacInnes<sup>2</sup>, Hamzah Latief<sup>3</sup>  
Aditya Gusman<sup>1\*</sup>, Yuichiro Tanioka<sup>1</sup>, Breanyn T. MacInnes<sup>2</sup>, Hamzah Latief<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, <sup>2</sup>Department of Geology, Central Washington University,

<sup>3</sup>Department of Oceanography, Bandung Institute of Technology

<sup>1</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, <sup>2</sup>Department of Geology, Central Washington University,

<sup>3</sup>Department of Oceanography, Bandung Institute of Technology

During the 2011 Tohoku tsunami, within only 3 minutes after the earthquake, the JMA issued three types of messages for coastal areas in Japan, which are tsunami advisory, tsunami warning, and major tsunami warning. These advisory and warning messages are visualized as color-coded lines along the Japanese coastlines on a small-scale map and broadcast on television. These messages save many lives but unfortunately, in the case of 2011 Tohoku, are not enough to convince all people to immediately evacuate. We argue that large-scale maps of predicted tsunami inundation area and height could better illustrate impending tsunami dangers and convince more victims to evacuate immediately.

To produce maps of predicted tsunami inundation, accurate information about tsunami source and pre-calculated tsunami inundation are required. In this study we focus on the pre-calculated tsunami inundation aspect. We are building a database of pre-calculated tsunami inundation and developing a method to extract the appropriate scenario from the database for tsunami warning purpose. We have simulated tsunami inundations using a high-resolution bathymetry dataset (1 arc-sec) in Kushiro, Hokkaido from 304 thrust earthquake scenarios in the subduction zone offshore of Hokkaido. The simulated maximum tsunami inundations in Kushiro and tsunami waveforms at 45 observation points within 12 km from the shoreline are stored in a database.

For a test case study, we simulated tsunami inundations in Kushiro from a hypothetical great earthquake offshore Hokkaido using the high-resolution bathymetry dataset to get a reference for validation. The tsunami waveforms at the observation points can be simulated using linear shallow-water equations on a lower resolution grid system to reduce the simulation time. Tsunami waveforms at the observation points from the scenarios in the database can be searched to find ones that best resemble those from the hypothetical event by using RMS analysis with shifting of waveforms by an optimal time shift. Then the simulated tsunami inundation of the corresponding scenario is chosen as the predicted tsunami inundation. When compared with the tsunami inundation of the hypothetical event, the predicted tsunami inundation has Aida number K that is within the threshold of  $\pm 0.4$ . To complete the linear tsunami simulation and searching process, it requires less than 3 minutes with a regular laptop computer. We found that the method worked well enough to forecast the tsunami inundation area in Kushiro.

**キーワード:** Pre-calculated tsunami inundation, tsunami early warning, tsunami waveform

**Keywords:** Pre-calculated tsunami inundation, tsunami early warning, tsunami waveform

## Slip distribution and Coulomb stress change of the largest foreshock (Mw 7.3) of the 2011 Tohoku earthquake

## Slip distribution and Coulomb stress change of the largest foreshock (Mw 7.3) of the 2011 Tohoku earthquake

Aditya Gusman<sup>1\*</sup>, Yuichiro Tanioka<sup>1</sup>, Shin'ichi Sakai<sup>2</sup>

Aditya Gusman<sup>1\*</sup>, Yuichiro Tanioka<sup>1</sup>, Shin'ichi Sakai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo

<sup>1</sup>Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, University of Tokyo

The largest foreshock of the 2011 Tohoku earthquake occurred off the coast of Miyagi at 02:45:12 on 9 March 2011 UTC. The epicenters of the largest foreshock (143.28 E and 38.328 N) and the mainshock of the 2011 Tohoku earthquake (Mw 9.0) are separated by approximately 45 km. The tsunami waveforms generated by the largest foreshock were recorded by pressure gages (TM1 and TM2) and GPS buoys (GPSB802, GPSB803, and GPSB804) deployed off the coast of Miyagi. We apply tsunami waveform inversion method and include a spatial smoothness constraint to estimate slip distribution of the largest foreshock. Earthquake parameters of strike = 192, dip = 14, and rake = 81 (USGS W phase centroid moment tensor solution) are used in this study. Then we predict the Coulomb stress change from the slip distribution and evaluate how the largest foreshock led to the rupture of the great 2011 Tohoku earthquake.

The inferred slip distribution has a major slip region with dimension of 45 km x 45 km which is located on the down-dip side of the hypocenter. The slip amounts on the major slip region range from 0.6 to 1.5 m. The major slip region is centered at a depth of approximately 19 km. The center of the major slip region is located near the centroid for this event that was determined by the USGS. By assuming the rigidity of  $4 \times 10^{10} \text{ N m}^{-2}$ , the seismic moment calculated from the slip distribution is  $1.2 \times 10^{20} \text{ N m}$  which is equivalent to Mw 7.3. The slip distribution indicates that the largest foreshock did not rupture the plate interface where the rupture of the mainshock was initiated. From the slip distribution, we calculated the Coulomb stress change on thrust faults with the same geometry as the largest foreshock. Friction coefficient of 0.4 and rigidity of  $4 \times 10^{10} \text{ N m}^{-2}$  are assumed. The calculation shows that the Coulomb stress increased by 1.6-4.5 bars within a 4 km radius of the hypocenter of the mainshock (depth = 23.7 km). This indicates that the 2011 Tohoku earthquake was brought closer to failure by the largest foreshock.

キーワード: Foreshock, the 2011 Tohoku earthquake, slip distribution, Coulomb stress change, tsunami waveform

Keywords: Foreshock, the 2011 Tohoku earthquake, slip distribution, Coulomb stress change, tsunami waveform



## 日本で発生した津波データへの統計学的一考察 Statistical investigation on tsunami occurred in Japan

吉岡 龍一<sup>1</sup>, 松浦 律子<sup>2</sup>, 山本 渉<sup>1</sup>, 小坂 祐貴<sup>1\*</sup>, 鈴木 和幸<sup>1</sup>

Ryuichi Yoshioka<sup>1</sup>, Ritsuko S. Matsu'ura<sup>2</sup>, YAMAMOTO, Watalu<sup>1</sup>, Yuki Kosaka<sup>1\*</sup>, SUZUKI, Kazuyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学, <sup>2</sup> 地震予知総合研究振興会

<sup>1</sup>The University of Electro-Communications, <sup>2</sup>Association for the Development of Earthquake Prediction

東日本大震災の教訓から改めて、津波のリスクを事前に想定すること、想定したリスクに必要な対策を打つことが重要視されている。これまで津波の研究は多くなされているが、津波の高さや規模は到達した地形の影響を大きく受け、その解析を困難・複雑なものにしている。

一方でこのような問題を取り除くことを考えた研究として Takahashi[1] がある。Takahashi[1] では太平洋側の 200m 等深線上で津波の到達エネルギーを計算することで、湾や港などの地形上の影響を取り除き、同一の基準で地域ごとに津波の危険度を算出・比較することを可能にした。

それぞれの地方、県、あるいはより狭い地域ごとに過去においてどの程度の津波のエネルギーを受けているかは津波の危険度の指標になり得るものであり、避難や防波堤の施設設計など、津波の対策に活用できる。現在は Takahashi[1] の執筆時点 (1951 年) から半世紀以上経っており、当時よりも詳細な地形や津波のデータが蓄積され、計算環境も充実している。そこで本研究では Takahashi[1] の概念をもとに、コンピュータを用いて従来よりも精密に地点ごとの津波の危険度の定量的な評価を行い、それらを比較することで、避難をはじめとする津波の対策に役立てることを目的とする。

本研究手法を適用した結果、他の地域と比べ津波の危険度が高い場所は南海トラフ付近、東北地方の北部であることが確認できた。これらの情報は避難設計ならびに施設設計のための危険度を示す一つの尺度として有効なものと考えられる。

本研究は Takahashi[1] の概念をコンピュータで実装したことにより、従来よりも容易で客観的な計算を可能にした。また地形のデータが Takahashi[1] で用いられていた当時のものより正確になっていること、60 年分の津波のデータが追加されたことから、より正確な津波の危険度を算出したと考えられる。さらに 1km メッシュごとに危険度を算出できていることから、従来よりも詳細に各地域における津波の危険度を把握しうようになった。また本研究手法は作成したプログラムにより短時間でコストをかけることなく津波の広がりを追うことができるため、複雑な計算を行う前の概算として有効に活用しうる。

[1] Takahashi, R. (1951). "An estimate of future tsunami damage along the Pacific coast of Japan", Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ. 29, 71-95.

## 2012年12月7日三陸沖地震に伴う津波の数値シミュレーション

### Numerical simulations of tsunami associated with the Sanriku-oki earthquake on December 7, 2012

青木 朝美<sup>1\*</sup>, 吉岡 祥一<sup>2</sup>, 金野 圭祐<sup>1</sup>

Asami Aoki<sup>1\*</sup>, Shoichi Yoshioka<sup>2</sup>, Keisuke Kanano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 神戸大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 神戸大学都市安全研究センター

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kobe University, <sup>2</sup>Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University

2012年12月7日、三陸沖でM7.4の地震が発生した。地震波解析によると、この地震は2つのサブイベントから成り立っていることがわかっている。1つめのサブイベントはM7.2の逆断層型、その8秒後に発生した2つめのサブイベントはM7.4の正断層型であった。東北地方の太平洋沿岸で、この地震により発生した津波が観測されている。本研究では、この三陸沖地震に伴う津波の数値シミュレーションを行い、観測された津波波形との比較を行った。

断層パラメータや震源は、気象庁による解析結果を用い、断層のすべり量は一律であると仮定した。まず、発生した津波に、大きな寄与を及ぼしていると思われる2つめのサブイベントのみを仮定して計算を行った。線形浅水方程式を仮定した計算結果を国土地理院の相馬観測点での津波波形と比較すると、第1波は引き波となり、観測波形と同じセンスであったが、振幅がかなり大きくなり、観測波形とは大きく異なる結果となった。

次に2つのサブイベントを仮定し計算したところ、上記の結果より振幅がやや小さくなったものの、波高は観測値とはかけ離れていた。また、観測波形では、第1波の谷の部分より山の部分で振幅が大きくなっていたが、それも再現できなかった。

さらに、非線形浅水方程式を仮定して、数値シミュレーションを行ったところ、計算された津波の振幅はやや小さくなったものの、観測された第1波の特徴は再現できなかった。

さらに、2つのサブイベントに対して、気象庁による地震波のインバージョン解析で得られたすべり分布をもとに、同様すべりを与えていた断層をいくつかの小断層に分割し、小断層ごとに断層パラメータを与えた。このモデルを用いることで、計算された波高は観測値より大きいものの、上記のシミュレーション結果より観測値に近い結果が得られた。また、第1波の波高も、谷の部分より山の部分の方が大きくなり、より観測波形に似た波形が得られた。今後は他の観測点での津波波形との比較検討を行っていく予定である。

キーワード: 2012年三陸沖地震, 津波, 数値シミュレーション

Keywords: 2012 Sanriku-oki earthquake, tsunami, numerical simulation