

Correlation between Tsunami Height and Strong Ground Motions

Correlation between Tsunami Height and Strong Ground Motions

*Petukhin Anatoly¹、Gusev Alexander²、Chebrov Victor³

*Anatoly Petukhin¹, Alexander Gusev², Victor Chebrov³

1.(一財)地域地盤環境研究所、2.Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences、3.Kamchatka Branch, Geophysical Service, Russian Academy of Sciences
1.Geo-Research Institute, 2.Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, 3.Kamchatka Branch, Geophysical Service, Russian Academy of Sciences,

When a large earthquake occurs off a coast, the resulting ground motion can soon be followed by the arrival of tsunami waves. This interrelationship can be useful for issuing tsunami alerts. This study aims at detecting correlative relationships between the intensity (runup) of a tsunami at a site along the coast and ground motion parameters at the same site due to the earthquake that produced the tsunami. Our estimates were derived by combining historical and instrumental data for eight sites along the Pacific coast of Japan (Figure 1).

Our regression analysis of collected and systematized data used the tobit model, which is able to incorporate all tsunami data, including censored data below the tsunami-detection threshold. We show that if such tsunamis are neglected by the standard regression model, the result is to overestimate the height of predicted tsunamis (Figure 2).

Analysis of the regression results (Figure 2) shows that when a tsunami generating-earthquake has occurred, a tsunami with runup that is equal to or greater than 50 cm should be expected if peak ground motion velocities greater than 7 cm/s have been recorded at the same site, with the probability of the failure to predict being 16%.

However we should notice that large standard deviation of data, around +/- 4 times, results in large percent of false alarm cases and makes practical prediction problematic. In order to analyze possible reasons of such a large scattering of data, we grouped them according to type of ground condition, shore line and earthquake source. It is found that effects of ground conditions and shore line are minor in comparison with tsunami-genic effect of particular source.

Acknowledgments. Data from databases of next institutions and agencies are used: IVMiMG, NOAA, NIED, JMA, PARI, Tohoku Univ. We are grateful to T.V. Shkinder for help with Japanese text sources. Figure 1. A map of the study area. The triangles mark the selected sites with copious data, with a number of observations of 20 or more. The inclined crosses mark the epicenters of earthquakes analysed.

Figure 2. A summary of tobit regression for individual sites (light lines) and for all of the data at the eight sites combined (long-dashed line). The short-dashed line shows the mean plus standard error for all of the sites combined. The heavy solid line is the mean for the standard regression without the censored data.

キーワード : strong ground motions、tobit regression、tsunami forecast

Keywords: strong ground motions, tobit regression, tsunami forecast

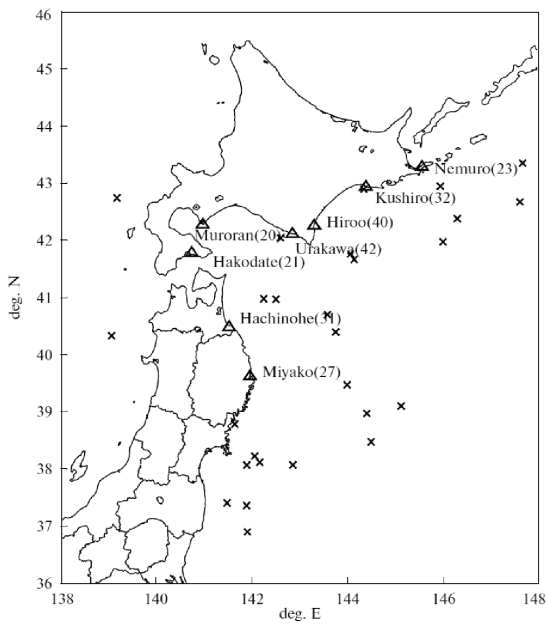


Figure 1

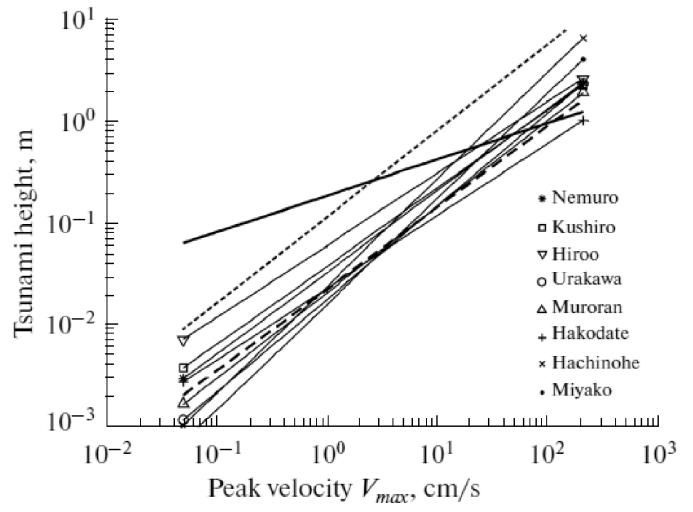


Figure 2

沖合と海岸の観測点での津波高の経験的関係の更新

Updated empirical relationship of large tsunami height between offshore and coastal stations

*林 豊¹*Yutaka Hayashi¹

1. 気象研究所

1. Meteorological Research Institute

1993年北海道南西沖地震津による最初の探知例（高山ほか，1994）以降，全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）で検知される沖合津波観測データが蓄積されてきた。私の以前の研究（Hayashi, 2010）では，沖合の観測点と海岸の潮位観測施設の組で得られる観測値から，津波第一波と最大津波全振幅について，津波の高さの経験的な関係を導いた。これには，1993～2007年に8津波について波高計やGPSブイおよびその近傍の海岸の検潮所等での観測値が用いられて，用いられた観測データからは，沖合から海岸への津波の高さの増幅率が両観測点における水深の1/4に比例するという経験則を導いた。しかし，この研究で使われたデータセットには，RTK-GPSブイによる観測値を含むのは津波第一波と最大津波全振幅とも2組に限られ，全データでの津波高さの範囲は0.05m～2.4mの間に限られていた。本研究では，2010年チリ地震（河合ほか，2010）と2011年東北地方太平洋地震（河合ほか，2011）に伴う津波で得られた沖合と海岸で得られた最大の津波の高さの観測値を含めることによって，沖合と海岸の観測点での津波高の経験的関係を更新する。その際，2011年の津波では海岸の施設が損害を受けており，これらの観測点については，潮位観測施設の近くを対象に行われた現地調査（阿部・平松，2012）で得られた浸水高で代用したが，これは，潮位観測施設による正常な観測値とその近くの現地調査地点で測量された浸水高との差は1m以内と小さい（林，2014）からである。沖合の観測点（GPSブイや波高計）と近傍の検潮所（欠測の場合は近くの現地調査点）における最大の津波の高さの組からなる新しいデータセットは，沖合から海岸への津波の高さの増幅率が水深比の1/4乗に比例するという概念に基づいた以前の関係式（Hayashi, 2010）では，海岸で3m以上の大きな津波の場合に，増幅率を大きく過大評価することをしめしている。しかし，津波が水深の1/3以上に達すると津波の高さの増幅が飽和すると仮定すれば，このような増幅率の過大評価を防ぐ改善ができることが分かった。本研究で新たに導かれた経験則は，各種の津波予測手法において一般に必要とする部品である沖合での津波の観測または計算に基づいた海岸での津波の高さの換算を改善するだろう。例えば，シナリオ型津波データベース（Kamigaichi, 2009）や沖合津波に基づく近地津波予測アルゴリズムtFISH（Tsushima et al., 2009）などの予測で用いられる部品である。

キーワード：GPS波浪計、全国港湾海洋波浪観測網（ナウファス）、検潮所、津波増幅率

Keywords: GPS buoy, Nationwide Ocean Wave information network for Ports and Harbours (NOWPHAS), tidal stations, tsunami amplification factor

波源推定に基づく津波即時予測手法の系統的な予測性能評価とリアルタイム精度判定指標の開発
Systematic evaluation of performance of real-time tsunami forecasting method based on
tsunami source inversion and development of indication for real-time assessment of the
tsunami forecasting accuracy

*対馬 弘晃¹、山本 剛靖¹

*Hiroaki Tsushima¹, Takeyasu Yamamoto¹

1. 気象庁気象研究所

1. Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震の発生後、日本周辺では沖合津波観測網の増強が急速に進められており、その津波観測データから沿岸の津波を即時に予測するための手法が、多くの研究者によって精力的に開発されている。我々は、沖合津波波形データの逐次逆解析によって初期水位分布をリアルタイムに推定して、沿岸の津波波形を予測する手法tFISHを開発し、その実用化に向けた取り組みを進めている。tFISHによる津波予測の精度は、波源と津波観測点の位置関係に依存する (Tsushima et al., 2009)。そのため、南海トラフ沿いやS-net稼働前の日本海溝沿いのように、沖合観測点配置に空間的な偏りがあると、こうした予測精度の波源位置への依存性が強くなると予想される。また、それに伴って、高信頼度の警報更新に寄与する高精度な予測結果が得られるタイミングも、波源位置によって異なると考えられる。本研究では、波源位置を系統的に変えながら津波即時予測実験を行い、波源位置がtFISHの予測性能に与える影響を系統的に調べる。また、予測結果を警報更新に円滑に活用できるようにするため、予測精度が向上するタイミングをリアルタイムに判断するための指標の開発を行う。

2. 数値実験

数値実験では、まず断層運動を仮定し、それによる初期水位分布を求め、津波伝播計算によって沖合・沿岸観測点での津波波形を計算し、それらを模擬的な観測データとみなす。次に、沖合の模擬観測波形にtFISHを適用して津波予測計算を行う。そして、沿岸における観測波高と予測波高の比較に基づいて、予測精度を評価する。

ここでは、択捉島沖から房総半島沖にかけての千島・日本海溝沿いの地震発生域に、Mw8.1の均質すべりのプレート境界地震13イベントを仮定した。断層パラメータはGica et al. (2008)を参考に設定し、津波伝播はJAGURS (Baba et al., 2015)を用いて線形長波式を差分法で解くことで計算した。予測計算は、地震発生後10分から50分まで10分おきに実施した。波形逆解析で用いる沖合津波観測点の配置は、東北沖地震発生時、S-net稼働後の計2つの場合を仮定した。予測波形合成では、地震発生から3時間後までの波形を計算した。予測精度の評価は、北海道から関東地方にかけてのForecast Points (FP: 気象庁が津波予測で用いる沖合の仮想点)における最大津波高を、気象庁が発表する予想される津波の高さの区分(津波注意報, 津波警報, 大津波警報3段階の計5段階。ここではグレードと呼ぶ)に換算し、観測と予測を比較することで行った。

3. 予測精度の系統的な評価

まず、沖合で津波が十分観測された後にどのくらいまで予測精度が向上するか(予測精度の最終値)を把握するため、地震発生後50分の結果に着目する。東北沖地震時の沖合観測点配置の場合、すべてのイベントについて全FPでのグレードが誤差±1の範囲に収まり、なかでも、沖合観測点密度の高い海域で発生する津波については、グレードの適中数が増加する傾向がみられた。また、グレードの予測誤差のずれ方を細かく見ると、過小評価になる傾向が強い。これは、tFISHの波形逆解析で課している空間的な滑らかさの拘束条件に起因するものと考えられる。一方で、S-net配置で予測を行うと、過小評価の傾向が改善され、グレードの適中数が大幅に増加した。次に、予測精度が最終値に達するタイミングに着目する。波源がケーブル式海底水圧計の付近にあれば地震発生後20分で精度が最終値に達することもあるが、30分以上かかるイベントも多数みられ、地震発生後10分などの早期段階においては、グレードにして2段階も過小評価になることもあった。他方、S-net稼働後の

配置を予測に使うと、地震発生後10分で予測精度が最終値に達することがわかった。

4. リアルタイム精度判断指標の開発

前節の数値実験においては、予測結果が最終解に達して精度が頭打ちになるタイミングは、全時刻(ここでは地震発生後50分まで)の結果を俯瞰することで、容易に判断できる。しかし、迅速さが重要な実際の津波の予測においては、各時刻に得られる予測結果が警報更新に活用するにふさわしい精度を有しているかどうかを、リアルタイムに判断する必要がある。それを支援する判断指標の一つとして、ここでは「現時点の解析で得られた予測波高と、一つ前の時点の予測波高との差」を考える。波源を推定するのに十分な観測データが得られれば、それ以降は、前時点との予測結果がほとんど変わらなくなり、指標値が小さくなると期待される。この指標を数値実験に適用した結果、予測値が最終解に達するに従い、指標値が減少する傾向がみられ、リアルタイム精度判断指標として機能しうることがわかった。一方で、この指標だと、実際に予測精度が高くなっても、それを判断できるのは次の予測解析のタイミングになるため、迅速性の観点では必ずしも十全ではない。今後は、この点を補足できるようにするため、経験ベイズ法(例えば、高川・富田, 2015)等を用いた別の指標の開発も進める必要がある。

キーワード：津波警報、津波即時予測、沖合津波観測、近地津波、災害軽減、逆問題

Keywords: Tsunami early warning, Real-time tsunami forecasting, Offshore tsunami observation, Near-field tsunami, Disaster mitigation, Inverse problem

海底水圧記録のデータ同化に基づく津波波高と地殻変動の分離の試み

A trial separation between tsunami height and coseismic deformation from ocean-bottom pressure gauge records using data assimilation method

*前田 拓人¹

*Takuto Maeda¹

1. 東京大学地震研究所

1. Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

はじめに

沿岸の稠密な津波海底記録を数値シミュレーションに逐次的に同化することで、初期条件である震源での破壊やそれに伴う初期水位でなく、現時刻の津波波高そのものを直接推定することが可能であることが示されている。このデータ同化による方法は、震源での断層すべり分布推定に伴う不確実性を避けられ、また地震動にも依存しないため津波地震や遠地地震のような近傍地震観測でトリガーされにくい津波にも対応できるなど、津波の常時監視や即時予測に適した側面がある。しかし、現在の深海における多くの津波観測は海底水圧計によるものであり、地震の断層運動に伴う地殻変動が、その直上の観測点において津波波高に対する観測オフセットになってしまう。これは多くの津波即時予測手法について共通の問題であり、データ同化による推定も例外ではなかった。特に地震直後においてこの問題は深刻で、津波が震源断層域から十分に離れてからでないと即時予測への利用が困難であった。本研究では、データ同化による津波即時推定をさらに進め、海底水圧記録のみから津波波高と海底地殻変動成分とを近似的に分離する方法について検討した。

波動方程式に現れる海底水圧観測の効果

線形長波近似の下で、海底水圧から推定した津波波高（水圧波高）を用いることによる影響を考察した。海底水圧計では、真の津波波高と海底地殻変動の差が観測される。一方で線形長波の方程式に従うべきであるのは真の津波波高である。海底地殻変動は断層運動のような外的な要因によって定まる境界条件であることに注意すると、水圧波高は地殻変動に伴う項を見かけの非斉次項として持つ波動方程式に従うことがわかる。この非斉次項の存在が、データ同化において津波推定のオフセットを生じていた原因であった。地震断層破壊後には地殻変動は時間変化しないため、少なくとも破壊終了後の地震波S波到達後は、その地殻変動に伴う非斉次項の中に現れる時間微分項は0とみなすことができる。一方、非斉次項の空間微分項は時間が経っても有限の値を持ち続けてしまうため、特に影響が大きい。

データ同化と逐次的波動方程式残差モデリング

海底水圧観測記録から真の津波波高と海底地殻変動を分離推定するために、データ同化に基づく2段階の推定法を考察した。まず、データ同化により海底水圧記録を津波の方程式に同化する。具体的には、既存の津波波高推定値より1離散時間ステップ先の数値予測を行い、その観測点における観測記録とを比較する。そして、予測値と観測記録との残差を元に、その周辺地点の津波波高振幅を最適内挿法によって修正する。この手続きを毎離散時間ステップ繰り返すことにより、記録にシミュレーションモデルを同化させていく。

圧力波高を用いるため、同化された津波波高には必然的に地殻変動の影響が混入している。そこで、同化された津波波高の時間及び空間の2階微分から波動方程式の斉次項を数値的に評価し、その残差として波動方程式の非斉次項振幅を抽出する。地殻変動の2階の時間微分項を無視すると残差項はLaplace方程式に従うので、これを数値的に解くことで地殻変動成分が得られる。推定された地殻変動成分をデータ同化の結果から差し引くことで、真の波高の推定値が得られ、津波波高振幅と地殻変動とを分離することができる。さらに、推定された真の津波波高振幅の空間微分から、真の流速分布を再推定することもできる。

数値実験

単純な1次元津波モデルを用いて、提案手法のデータ同化数値実験を行った。一様水深3000 mの媒質に観測点を30 km毎に配置し、そこでのシミュレーション結果を仮想観測データとした。その離散的な観測記録のみから、毎秒の津波波高と流速の空間分布を逐次的に推定した。第1段階である圧力波高のデータ同化においては、初期波源近傍から十分に広がるまでは津波が検知できない。また、津波が伝播した後には震源近傍にオフセットが残り、それが推定された流速の人為的な増大を招く様子が確認された。しかし、今回提案した2段階の

分離結果ではこれらの問題が解消した。第1段階のデータ同化結果よりやや推定誤差が多くなるものの、真の津波と地殻変動とが海底水圧記録のみから分離できている様子が確認された。特に、初期水位の上昇が始まった直後から、その変動が地殻変動として推定されていることは特筆に値する。地震動や海底変化の動的な項を無視した近似の下ではあるが、津波が震源域の外に伝播するよりも前に地殻変動成分が推定できており、津波即時予測のさらなる時間短縮につながる可能性がある。

キーワード：津波、即時予測、データ同化、海底水圧計、地殻変動

Keywords: Tsunami, Realtime forecasting, Data assimilation, Ocean bottom pressure gauge, Coseismic deformation

Data assimilation of high-density offshore pressure gauge observations for tsunami forecast simulation of the 2012 Haida Gwaii earthquake

*Aditya Gusman¹, Anne F. Sheehan², Kenji Satake¹, Mohammad Heidarzadeh¹, Iyan E. Mulia³, Takuto Maeda¹

1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2.Department of Geological Sciences, University of Colorado Boulder, 3.Department of Ocean Civil Engineering, Kagoshima University, Japan

Here, we use a total of 57 tsunami waveforms recorded on the DARTs and a dense array off Oregon and California from the 2012 Haida Gwaii, Canada, earthquake (Sheehan et al., 2015, SRL) to simulate the performance of two different real-time tsunami-forecasting approaches. In the first approach, the fault slip distribution of the earthquake is estimated by inversion of recorded tsunami waveforms. In the second approach, the recorded waveforms on the dense tsunami array are continuously assimilated to produce tsunami wave fields within the vicinity of the stations. These tsunami source model and tsunami wave fields are then used to estimate the tsunami along the coast of Oregon and California. The dense array provides critical data for both methods to produce timely (> 30 minutes lead time) and accurate (> 94% confidence) in both timing and amplitude of tsunami forecasts.

In the first approach, we use tsunami waveform inversion (Satake et al., 2013, BSSA; Gusman et al., 2015, GRL) to estimate the slip distribution of the 2012 earthquake. The fault geometry is based on the W phase solution for the earthquake. Large slip amounts (4 -5 m) are located near the Haida Gwaii trench. The synthetic tsunami waveforms of the fault slip distribution match well the tsunami observations. Therefore, the fault model is suitable for tsunami warning purposes.

In the second approach, the tsunami waveforms are used in tsunami data assimilation method (Maeda et al., 2015, GRL), which does not require any assumption about the tsunami source mechanism. Tsunami wave field is created at every 1 sec, and it can be used as an input for tsunami forward modeling. Realistic tsunami wave fields begin to emerge after the tsunami passes through 5 stations. As more tsunami data are assimilated, the wave fields from this method are gradually become similar to that produced in the first approach that utilized tsunami waveform inversion.

High accuracies of more than 94% in average are produced from data-assimilation wave field at stations near the shoreline. As an example, using the 130 min data-assimilated wave field, the tsunami waveforms at station FS12B is forecasted with an accuracy of 98% about 30 min in advance. The tsunami data assimilation method that we present can be run continuously in real-time and does not require a fault model. Remarkably, the tsunami forecast accuracy from the tsunami data assimilation method is as good as that from the traditional tsunami forecasting method that assumes a fault model. Real-time tsunami data on dense arrays and data assimilation delivers a new generation tsunami warning system.

Keywords: Tsunami data assimilation, Dense tsunami array, The 2012 Haida Gwaii earthquake tsunami, Tsunami forecast, Earthquake source model

ガウス過程を用いたDONET水圧データによる沿岸津波高予測

Maximum tsunami height prediction using pressure gauge data by a Gaussian process at Owase in the Kii Peninsula, Japan

*五十嵐 康彦¹、村田 伸¹、馬場 俊孝²、佐藤 憲一郎³、堀 高峰³、岡田 真人¹

*Yasuhiko Igarashi¹, Shin Murata¹, Toshitaka Baba², Ken-ichiro SATO³, Takane Hori³, Masato Okada¹

1.東京大学大学院新領域創成科学研究科、2.徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部、3.海洋研究開発機構地球津波海域観測研究開発センター

1.Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, 2.Institute of Technology and Science, The University of Tokushima,, 3.Research and Development Center for Earthquake and Tsunami, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

In Japan, the Dense Oceanfloor Network System for Earthquakes and Tsunamis (DONET) was recently developed in the Nankai trough (Kaneda et al., 2015). DONET1 is equipped with seismometers and ocean-bottom pressure gauges at 20 points on the sea floor and submarine data can be acquired in real time. We studied the relationship between offshore and coastal tsunami heights with the aim of using DONET1 ocean-bottom pressure gauges for early tsunami prediction.

Previous works focused on the average of maximum absolute values of the hydrostatic pressure changes during a tsunami (Baba et al., 2013). Although compressing time series of pressure gauges data, they revealed a clear relationship between the average waveforms of DONET and tsunami heights at the coast. However, since they assumed linear relationship and used only the average of the data at all the DONET stations, it may be inadequate to take accurate tsunami prediction.

Here, using a standard nonlinear regression method, Gaussian process (GP), we construct an algorithm to predict maximum tsunami height. We found a greatly improved generalization error of the maximum tsunami height by our prediction model. The error is about one third of that by a previous method. Moreover, by optimizing each sensor's weight of GP, we investigate the contributions of each ocean-bottom pressures on the predictions, which enables us to take more accurate prediction of tsunami height and could provide the design criteria of ocean-bottom sensors in the future.

キーワード：津波高予測、ガウス過程、DONET

Keywords: Tsunami height prediction, Gaussian Process, DONET

線形回帰とL1正則化を用いた津波高予測

Tsunami height prediction using multiple linear regression and L1 regularization

*村田 伸¹、五十嵐 康彦¹、馬場 俊孝²、佐藤 憲一郎³、堀 高峰³、岡田 真人¹

*Shin Murata¹, Yasuhiko Igarashi¹, Toshitaka Baba², Ken-ichiro SATO³, Takane Hori³, Masato Okada¹

1.東京大学大学院新領域創成科学研究科、2.徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部、3.独立行政法人海洋研究開発機構・地震津波海域観測研究開発センター

1.Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, 2.Institute of Technology and Science, The University of Tokushima, 3.R&D Center for Earthquake and Tsunami, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

The Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis (DONET) is constructed in the Nankai trough for real-time earthquakes and tsunamis monitoring (Kaneda et al., 2015). DONET1 has 20 monitoring points with seismometers and ocean-bottom pressure gauges on the ocean floor. It is important to make an accurate estimate of maximum tsunami height from monitoring data of the DONET1, because real-time tsunami forecasting could reduce the damage of tsunami disaster. In previous studies, Baba et al., used linear regression to model the relationship between the maximum tsunami height and the average of maximum absolute values of the hydrostatic pressure (Baba et al., 2013). Although the clear linear relationship has been shown in the previous work, we consider that the prediction is more accurate by using the data observed at all the 20 points rather than using only the average value of the sensors.

We use the data observed at all the 20 stations to make an accurate tsunami prediction by applying multiple linear regression. Multiple linear regression provides the relationship between two or more explanatory variables, e.g. the observed data, and a response variable, e.g. the maximum tsunami height. Moreover, we also adopt L1 regularization. L1 regularization is widely used to identify unnecessary input variables in regression and enables us to find useful sensory points for the tsunami prediction.

We found that the generalization error of the predictions in this study is smaller than that of the previous study. Furthermore, linear regression with L1 regularization provides more accurate predictions. Using L1 regularization, we also found that almost all the sensor constructing DONET1 are necessary for making the prediction and it indicates evidence to the value of all the 20 points DONET stations for tsunami prediction. Furthermore, we compare the linear regression with the nonlinear regression, Gaussian Process (GP) [Igarashi et al., submitted] for the tsunami prediction of expected tsunami scenarios. We found that the linear regression provides better prediction when the prediction data is beyond the observed data.

キーワード：津波高予測、線形回帰、L1正則化、DONET

Keywords: Tsunami height prediction, Linear regression, L1 regularization, DONET

多数の船舶によるGNSS海面高度測位による巨大津波の波源の逆解析と即時予測利用の可能性
GNSS-based height positioning derived from multiple ships for measuring and forecasting
great tsunamis

*稲津 大祐¹、早稻田 卓爾²、日比谷 紀之³、太田 雄策⁴

*Daisuke Inazu¹, Takuji Waseda², Toshiyuki Hibiya³, Yusaku Ohta⁴

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科学研究科、3.東京大学大学院理学系研究科、4.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

1.UTokyo Ocean Alliance, The University of Tokyo, 2.Graduate School of Frontier Sciences, University of Tokyo, 3.Graduate School of Science, University of Tokyo, 4.Research Center for Prediction of Earthquakes and Volcanic Eruptions, Graduate School of Science, Tohoku University

航行する船舶のGPS/GNSS位置情報、特に高度（時系列）を用いる沖合巨大津波の検知とその予測利用への可能性を検討してきた。まず、航行する船舶のGNSS高度データのノイズレベルを評価した。精密単独測位法（PPP）を用いれば、沖合で10¹ cm以上の巨大津波を検知できそうであることがわかった。AIS（Automatic Identification System）データを参照すると、将来発生が懸念される南海トラフ巨大地震の震源域直上には、現在常時、数十隻のタンカー・貨物船が航行していることがわかる。今回、これらの船舶にPPPが実装された状態で、南海トラフ巨大地震津波が発生し、その津波が船舶高度に記録されたと仮定し、即時津波予測にどのように寄与できるかを調査した。津波予測はTsushima et al. (2009, 2012) によるtFISHと同様な方法で行う。地震発生後20分間の津波（船舶高度）データを用いる場合、92隻のタンカー・貨物船によるPPP高度計測が利用できる場合の津波予測能力は、現状で南海トラフ領域に設置されている海底圧力やGPSブイ（71点）による津波計測に基づく予測能力と同程度であると期待できることがわかった。一方、巨大地震発生の際には、震源近傍の沿岸AIS受信局が被災し、位置情報を含むAISデータが、その沿岸沖で領域的に取得不能に陥り得る。実際の巨大地震発生の際には、地震・測地データのリアルタイム解析により、地震波源が独立に推定されると期待される。この地震波源の推定結果を津波データ逆解析に利用することで、領域的なデータ不足による予測能力の低下を軽減できる可能性がある。

キーワード：GNSS、船舶高度、津波予測

Keywords: GNSS, ship height, tsunami forecast

沖合観測データを用いた津波のアンサンブル浸水予測手法の開発

Development of ensemble tsunami inundation forecasting method using ABIC

*高川 智博¹、富田 孝史¹

*Tomohiro Takagawa¹, Takashi Tomita¹

1. 港湾空港技術研究所

1. Port and Airport Research Institute

非線形の強い現象である津波浸水現象を沖合津波観測波形データから予測し、予測のあいまいさを区間推定する手法を構築した。手法は階層ベイズモデルに基づく津波波源の区間推定、区間推定結果からの津波波源のモンテカルロサンプリング、複数サンプル波源による津波浸水シミュレーションに基づくアンサンブル解析からなる。階層ベイズモデルにおいては、赤池ベイズ情報量基準に基づきハイパーパラメーターを最適化した。南海トラフ巨大地震津波を想定した双子実験により開発手法の妥当性を検証した。その結果、10分間のGPS波浪計の観測データに基づき、名古屋港周辺の津波浸水面積を誤差10%の精度で予測可能であること、区間推定結果を用いることで、過小評価のリスクを適切に抑えた予測情報の提供が可能であることが示された。

キーワード：アンサンブル予測、赤池ベイズ情報量基準、津波

Keywords: ensemble forecast, ABIC, Tsunami

相模トラフにおける確率論的津波ハザード評価のための特性化波源断層モデル
Characterized Fault Models for Probabilistic Tsunami Hazard Assessment in the Sagami Trough

*鬼頭 直¹、平田 賢治²、藤原 広行²、森川 信之²、長田 正樹²、根本 信¹、松山 尚典¹、村田 泰洋³、秋山 伸
—⁴

*Tadashi Kito¹, Kenji Hirata², Hiroyuki Fujiwara², Nobuyuki Morikawa², Masaki Osada², Makoto Nemoto¹, Hisanori Matuyama¹, YASUHIRO MURATA³, Shinichi Akiyama⁴

1.応用地質株式会社、2.防災科学技術研究所、3.国際航業株式会社、4.伊藤忠テクノソリューションズ
1.OYO Corporation, 2.NIED, 3.KOKUSAI KOGYO CO., LTD, 4.CTC

防災科学技術研究所では、東北地方太平洋沖地震を契機として、日本全国の沿岸を対象とした確率論的津波ハザード評価の研究を進めている（藤原・他，2013，JpGU）。平成24年度から開始され、これまで日本海溝、南海トラフにおいて特性化波源断層モデルを設定し、津波伝播計算結果を用いて津波高としてのハザード評価を実施した。

今回、相模トラフを対象として、首都圏を中心とした津波ハザード評価のための特性化波源断層モデルを設定したので、その設定方法とモデルの例を紹介する。

相模トラフでは、南側からフィリピン海プレートが沈み込み、その下方で東側から太平洋プレートが沈み込んでいる。地震調査委員会による長期評価（2014年）で、陸側の北米プレートとフィリピン海プレートの境界で発生する地震を「相模トラフ沿いのM8クラスの地震」として分類しており、本研究ではこれに属する地震を「震源をあらかじめ特定して設定する波源断層モデル」（126モデル）として扱う。このカテゴリーには大正関東地震（1923年）や元禄関東地震（1703年）に相当する地震も含まれ、領域全体が破壊するM8.6の地震を最大としている。相模トラフでの想定震源域は、長期評価によって5つの領域に分けられているが、これらの領域の組み合わせによる連動パターンに首都直下地震モデル検討会（内閣府）による「元禄関東地震（1703年）」と「元禄関東地震（1703年）—大正関東地震（1923年）」に相当する2領域を加え、合計11/パターンの想定震源域で波源断層モデルを作成した。すべり量不均質の表現方法として、平均すべり量の2倍のすべり量を持ち断層全体の30%の面積を占める大すべり域と平均すべり量の4倍のすべり量を持ち断層全体の10%の面積を占める超大すべり域を配置し、波源断層モデルを特性化した。超大すべり域は大すべり域が海溝軸に接する場合に限定して配置した。各大すべり域と超大すべり域のアスペクト比は1:2、海溝軸の方向（東西）で隣接する大すべり域の重複率は約50%とし、海溝軸と直行する方向（南北）には浅部、中部及び深部の3か所に大すべり域を設定した特性化波源断層モデルを作成した。これらのモデルの一部については、国府津—松田断層をプレート境界からの分岐断層としてモデル化した。

長期評価で「プレートの沈み込みに伴うM7程度の地震」として評価されている地震については、震源域を特定するのが困難なため、本研究では「震源をあらかじめ特定しにくい地震」（928モデル）として、フィリピン海プレート上面に一様に波源断層モデルを敷き詰めるように設定した。敷き詰める波源断層モデルの位置は全国地震動予測地図（2014年）を参照し、波源断層の中央に面積比30%の大すべり域を設定した。

現在は、作成した特性化波源断層モデル群を用いた津波伝播計算を実施中で、得られる沿岸での最大津波水位から津波ハザード評価を実施する予定である。本研究は防災科研の研究プロジェクト「自然災害に対するハザード・リスク評価に関する研究」の一環として実施している。

キーワード：津波ハザード評価、特性化波源断層モデル、相模トラフ

Keywords: Tsunami Hazard Assessment, Characterized fault model, Sagami Trough

「海域における断層情報総合評価プロジェクト」にもとづく日本海海域の震源断層モデル群の構築
Construction of Fault Model for the Japan Sea Area based on the "Off Shore Fault
evaluation Project"

大角 恒雄¹、*乗松 君衣²、松山 尚典²、藤原 広行¹

Tsuneo Ohsumi¹, *Kimie Norimatsu², Hisanori Matsuyama², Hiroyuki Fujiwara¹

1.防災科学技術研究所、2.応用地質株式会社

1.NIED, 2.OYO Corporation

文部科学省が平成25年度より開始した「海域における断層情報総合評価プロジェクト（海域断層PJ）」では、日本周辺の海域における断層についてこれまで実施されてきた調査および探査を統一的に処理し、解析した結果にもとづいてデータベース化していくことがすすめられている。また、海域断層PJでは、データベース化された断層のうちM7規模をこえる地震を発生させる可能性があるものについては、地震動および津波の発生源として断層モデルを構築し、それらを検証することとしている。

本研究は、この海域断層PJのサブテーマとして、海洋研究開発機構（JAMSTEC）が反射法探査データを再解析して得た断層情報から、それらをモデル化するためのパラメータ設定方法のルール化を検討し、震源断層モデル群の設定をおこなったものである。

本研究において設定する震源断層モデルは、海域断層PJによって得られた断層情報にもとづき設定するモデルを「基本モデル」とし、基本モデルどうしの連動を考慮したモデルを「連動モデル」とした。連動モデルでは、基本モデルのみでは表現できない地下深部での連続性や断層間の地震の連動の可能性を考慮し、既往地震の再現性等についても考慮した断層モデルとした。

基本モデルを設定するうえで、パラメータは認識論的不確定性および偶発的不確定性を考慮し次のように設定した。

「断層の位置、長さ、走向」については、海域断層PJの解析結果から設定した。ただし、断層の長さについては、データの断層長が短いものは18kmに延長した設定とする。「断層上端深度」の設定は、断層上端深度を変えて、その影響度をしらべたパラメータスタディの結果から基本的に海底面とする。「断層傾斜角」の設定は標準的な値を用い、逆断層 = 45°、正断層 = 60°、横ずれ断層 = 90°とする設定と、縦ずれ断層については、音波探査で得られた断層の断面形状から深部と浅部で傾斜角を変化させた設定の2通りの設定をおこなった。「断層下端深度」については、海域断層PJにおいてOBS等をもとに作成された海底下の3D速度構造モデルのデータにおける上部地殻/下部地殻の境界面深度分布からの設定と、既往震源断層モデルの下端深度等を考慮した、より深めの設定の2通りとした。「断層の幅」は、断層の傾斜角と下端深度の関係から設定し、断層の長さとの比率が1:1以下になるようにした。「すべり角」の設定は逆断層 = 90°、正断層270°、右横ずれ断層 = 0°、左横ずれ断層 = 180°として設定し、ばらつきの幅を考慮する。「すべり量」の設定は、断層面積とMwの関係式として、入倉・三宅（2001）のスケールリング則の平均値をもちいて設定した。このとき、断層破壊は、地震調査推進本部による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（レシピ）」にしめされるような、長大断層の破壊に対する考えも考慮した。また、大すべり域は、このレシピにしめされるアスペリティの設定方法にもとづき、ひとつの断層に1個の大すべり域を設定し、断層の面積の30%の範囲に平均すべり量の2倍のすべり量を設定した。なお、大すべり域の設定は断層上端部の中央に設定する場合と、断層中心部に設定する場合の2通りとした。

このような方法で設定した基本モデルの数は、日本海全体で約240、そのうち、能登半島より東の領域で約155、能登半島より西の領域で約80、大和堆で10となった。

これらの基本モデルの組み合わせによって設定する連動モデルは全体で約550パターンとなる。連動モデルの設定にあたっては、地質学的、地球物理学的データの検討により設定した震源断層モデルが、どれだけ既往の地震にたいして再現性をもつかを検証するため、津波シミュレーションによる検討もおこなっている（大角・齋藤ほか、2015、地震学会）。

海域断層PJでは今後、南西諸島海域における震源断層モデルの構築に移行する予定である。

キーワード：海域における断層情報総合評価プロジェクト、断層モデル、日本海

Keywords: Off Shore Fault Evaluation Project, fault model, Japan Sea area

過小な日本海「最大クラス」津波断層モデルとその原因

Underestimated fault models for 'maximum-class' tsunami in the Japan Sea, resulted from Irikura and Miyake (2001) scaling relation

*島崎 邦彦¹

*Kunihiko Shimazaki¹

1. 東京大学

1. University of Tokyo

日本海西部（能登半島以西）の「最大クラス」津波の断層モデル（国交省，2014）は、過小評価であり再検討が必要である（島崎，JpGU，2015）。過小評価の原因は、入倉・三宅式（2001）にある。この式は断層面積から地震モーメントを推定する際に用いられるが、西日本に多く分布する、上部地殻を断ち切るような高角の断層では地震モーメントが過小評価となる。長さが同じ断層で比べると、低角の断層に比べて高角の断層では、断層面積が小さく、地震モーメントや、ずれの量の平均値が小さくなる。島崎（JpGU，2015）は過小となる理由として次の二つをあげた。

1. 断層の長さや面積などの断層パラメーターは、地震発生後に得られるものであって、事前に推定できる値とは異なり、大きくなることが多い。

2. 断層の幅を14kmと固定した場合、入倉・三宅式を変形して得られる式（地震モーメントが断層長さの二乗に比例する式）の係数が、武村式（1998）や山中・島崎式（1990）の係数の1/4程度となる。

本講演では、2.をさらに検討した。すなわち、静的変形の実測値が、入倉・三宅式を用いた断層モデルで説明可能かどうかを調べた。測量によって地震時の静的変形が観測されている1927年北丹後地震、1930年北伊豆地震、1943年鳥取地震について、既存の断層面積の推定値（Abe, 1978; Kanamori, 1973）から、入倉・三宅式を用いて平均的なずれの量を求め、これから推定される変形が実測値と調和的かどうかを検討した。その結果、入倉・三宅式では実測値の1/4以下の変形しか説明できないことがわかった。以上から、次のように結論することができる。日本の上部地殻を断ち切るような高角の断層で発生する大地震の地震モーメントの推定には入倉・三宅式を用いるべきではない。

キーワード：「最大クラス」津波、日本海、相似則

Keywords: 'maximum-class' tsunami, Japan Sea, scaling relation

津波が引き起こす大阪湾での海底堆積物・物質の巻き上げ

Suspension of marine sediment and materials caused by tsunami in Osaka Bay

*林 美鶴¹、中田 聡史²

*Mitsuru Hayashi¹, Satoshi Nakada²

1.神戸大学自然科学系先端融合研究環内海域環境教育研究センター、2.神戸大学大学院海事科学研究科
1.Research Center for Inland Seas, Kobe University, 2.Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University

The Nankai Trough Earthquake will hit within 30 years, and a huge tsunami will be caused. Marine sediment will be suspended and transported by the tsunami. Not only cysts but also heavy metals are contained in the marine sediment in the inner part of Osaka Bay. We calculated the temporal variation of concentrations of heavy metals, nutrients and so on in the water column while a tsunami caused by the Nankai Trough Earthquake attacks Osaka Bay, and discussed these characteristics. When huge tsunami attacks Osaka Bay, marine sediment will be suspended and there is possibility that the concentrations of heavy metals exceed the environmental criteria for the seawater.

キーワード：津波、海底堆積物、巻き上げ

Keywords: Tsunami, Marine sediment , Suspension

巨大津波襲来時における避航のための渦場の解析

Analysis of eddy fields for the vessel evacuation from the giant tsunami

*中田 聡史¹、林 美鶴²、小林 英一¹、越村 俊一³*Satoshi Nakada¹, Mitsuru Hayashi², Ei-ichi Kobayashi¹, Shunichi Koshimura³

1.神戸大学海事科学研究科、2.神戸大学自然科学系先端融合研究環内海域環境教育研究センター、3.東北大学災害科学国際研究所

1.Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University, 2.Research Center for Inland Seas, Kobe University, 3.International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

内閣府は、将来30年以内に70%の確率でマグニチュード8~9程度の南海トラフ地震が発生すると想定している。被災後の復興に必要な船舶を巨大津波からどのように避航させるかは喫緊の課題である。津波の流速が2ノットを超えると船舶の操船が困難となる。また、渦場が発生しても操船は格段に難しくなる。ところが渦場については未評価である。本研究では、津波襲来時において避航に危険である強流帯や渦場が発生する海域を同時に抽出しマッピングするため、港湾や埋立地を分解可能な高解像度の津波シミュレーションを実施した。大阪湾を実験海域として設定し、南海トラフ地震を想定した計算結果に基づいて、巨大津波による渦の発生と消長について調べた。

使用したモデルは、内閣府が新想定した南海トラフ断層モデル、東北大学工学部で開発された津波モデルである。埋立地など複雑な海岸地形を表現するため、3段階のネスティング手法を用いて50 m分解能で大阪湾全域を表現した。陸上への遡上計算は行わず全反射させている。断層モデルを強制力として津波シミュレーションを実施した。計算期間は地震発生後10時間とした。

本発表では国際拠点港湾である堺泉北港周辺海域に注目した。当海域において地震発生から10時間後までに空間スケール900m~2500mの渦が発生していることがわかった。AISの座標データ(2012年9月1日~9月8日)から判別した主要航路上にも強い渦が発生していた。特に港湾入口付近においては津波流速が2ノット以上の渦が発生しており、操船が極めて困難な危険海域となる。このような強い渦は、第一波の押し波来襲時に急速に発達しはじめていた。渦の強さの指標として渦度の絶対値を計算したところ、地震発生から約80分後から渦度の絶対値が増加し、第一波の引き波開始時(地震発生120分後)から緩やかに減少するものの、発生した強い渦が港湾周辺海域に継続して残っていることを示唆していた。船舶避航の観点からみると、港外へ避航する場合は地震発生80分後までに堺泉北港入り口を通過しなければならないことを示唆する。例えば、堺第5区南部の最奥バースに停泊中の大型船(オイルタンカー等)が港外へ避航するとした場合、港内を通常平均5ノットで移動できると想定した時間を差し引くと、地震発生後27分以内に離岸しなければならない。

本研究成果は、津波シミュレーションの海事分野への実利用の一例として、これまで未評価であった津波による渦の発生域と強流帯を同時に評価することの重要性を示唆しており、巨大津波襲来時における避航方法を改善するために有用である。本研究グループでは、海域において発生しうる津波被害を津波マリンハザードと定義し、分野横断的な減災防災策を見出すことを急務としている。今後はあらゆる津波マリンハザードを想定可能としていくためには現実的な気象海象にも着目する必要があるだろう。

キーワード：避航、渦、南海トラフ地震

Keywords: Vessel Evacuation, Eddy, the Nankai Trough Earthquake

多重ネスト型海洋モデルによる東シナ海上の気象津波に関する数値実験

Numerical experiments on the meteorological tsunami over the East China Sea

*田中 健路¹、伊藤 大樹²*Kenji Tanaka¹, Daiki Ito²

1.広島工業大学環境学部地球環境学科、2.広島工業大学大学院工学系研究科環境学専攻

1.Department of Global Environmental Studies, Hiroshima Institute of Technology, 2.Graduate School of Science and Technology, Hiroshima Institute of Technology

気象津波(meteorological tsunami)とは、地震津波と同程度の周期帯を持つ海洋長波の一種であり、海面気圧や風速などの気象外力によって発生する。九州西岸では、気象津波の到来によるものと見られる全振幅1m以上の顕著な潮位副振動が度々観測されている。本研究では、東シナ海全域スケールから、九州沿岸の中小規模の内湾スケールまでの気象津波の伝播増幅過程の詳細を明らかにすることを目的として、多重ネスト型海洋モデルによる数値実験を行った。

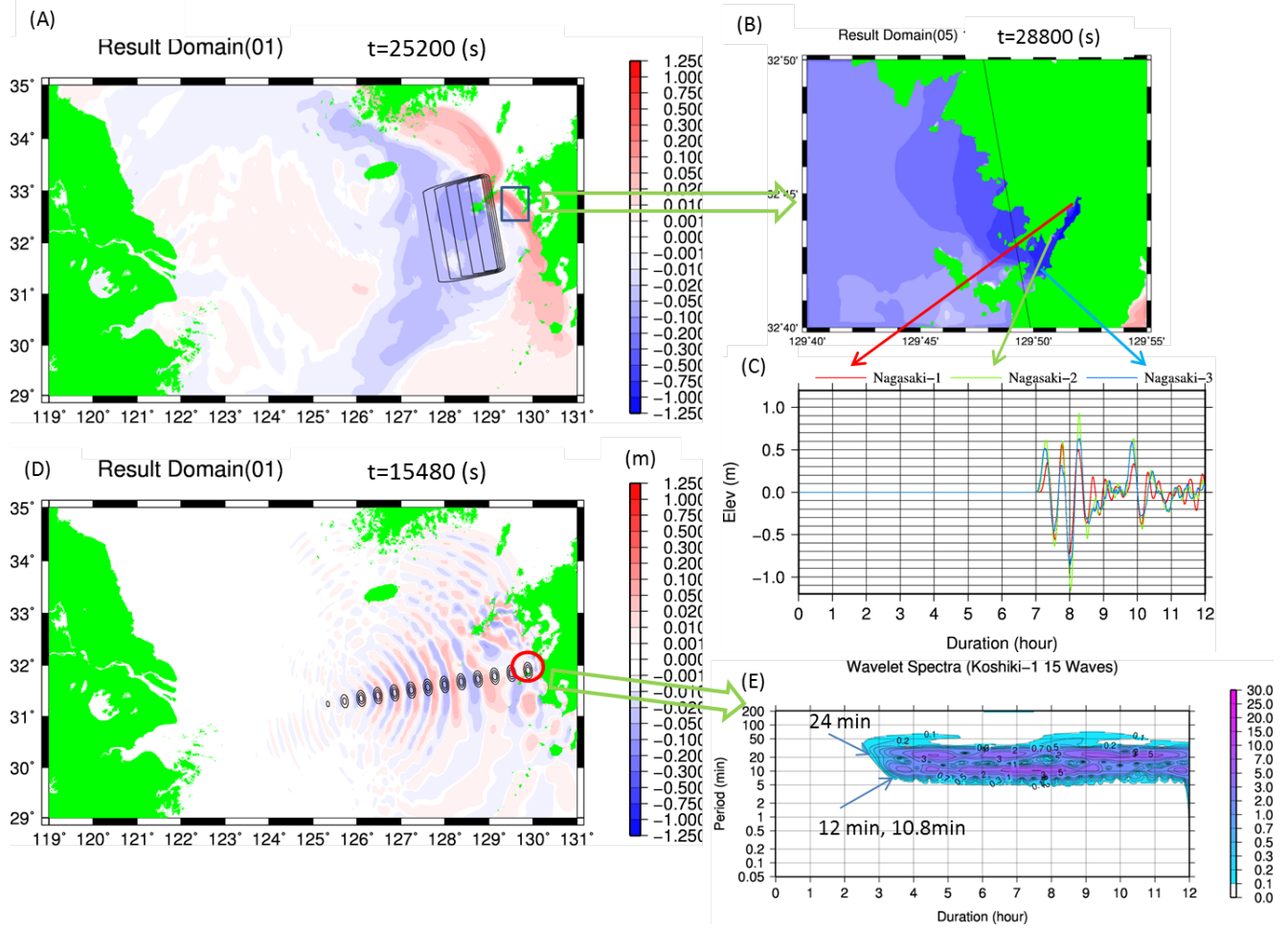
数値モデルは、プリンストン大学開発のPOM(2008年版)を基本モデルとして、多重ネスト化させたプログラムを構築した。親領域の計算値と子領域の計算値を子領域の境界からの距離に応じて指数関数的に配合比を変化させることで、ダウンスケール化を円滑に行えるようにした。

今回の数値実験では、大きく2種類の気圧波のパターンに分けて計算を行った。水平スケール300km、正の気圧偏差3hPaの単一の気圧波が中国大陸側で発生し、東シナ海上を横断するパターンについて計算を行った。東シナ海上を30m/s前後で東進する気圧波の進行方向で押し波が発達し、九州西方沖の沖縄トラフを通過する際に速度を上げ、気圧波に対して30~50分程度先行して沿岸部に到達する。長崎湾での副振動の発生に関しては、五島列島によるブロッキングの影響を受けにくく、かつ、湾口と湾奥部を結ぶ直線方向に最も近い東北東方向への進行時に最も増幅しやすい。第3波目において、湾内の引き波のタイミングと正の気圧偏差の海面の押し下げ効果のタイミングが合致し、最大で全振幅2.1mの副振動が生じる結果が得られた。

2つ目のパターンとして、水平スケール 30km~100km前後の小規模な気圧波を1波~20波分連続的に発生して、九州西岸に到達する場合の計算を行った。発生点は北緯31.2°東経125°の東シナ海上とし、正の気圧偏差の最大値を2.0hPa、20分周期で気圧波を発生させ、甕島上空を通過させるように個々の気圧波を移動させた。全振幅30cm以上の気象津波が九州西岸に到達し、気圧波が対象港湾よりも100km以上離れた場所を通過した場合にも顕著副振動が観測されうる。また、小規模な湾内に入ると、気圧波の周期の振動よりも湾の固有振動周期の海水面の振動が選択され、気圧波到達後数時間にわたって振動が持続することが明らかとなった。

キーワード：気象津波、東シナ海、気圧波、多重ネスト海洋モデル、共鳴

Keywords: Meteorological tsunami, East China Sea, pressure wave, multi-nested ocean model, resonance



津波電離圏ホールから推定する初期津波高

Initial tsunami height estimated by observing tsunami ionospheric hole

*富田 悠登¹、鴨川 仁¹、金谷 辰耶¹、豊田 淳史²*Yuto Tomida¹, Masashi Kamogawa¹, Tatsuya Kanaya¹, Atsushi Toyoda²

1.東京学芸大学教育学部物理学科、2.中部電力株式会社技術開発本部原子力安全技術研究所

1.Department of Physics, Tokyo Gakugei University, 2.Nuclear Safety Research and Development Center, Chubu Electric Power Co., Omaezaki, Japan .

地震および津波によって大気中に音波が励起され、その音波は約9分かけて電離圏の高度300kmに到達し、波として電離圏内を伝搬することが知られている。この変動はGPS(Global Positioning System)等の測位衛星と受信機間での総電子数(Total Electron Content: TEC)観測で検知することができる。2011年の東北地方太平洋沖地震(M9.0)では、津波発生源のほぼ直上の電離圏においてTEC変動が始まり、その周辺の半径約数100kmの範囲で波動現象とは異なるTECの大きな減少が約1時間観測され、津波電離圏ホールと名付けられた[Kakinami and Kamogawa et al., 2012]。本研究では日本およびチリの津波地震の初期津波高と津波電離圏ホールにおける定量的関係を示し、10~20分弱で初期津波高を見積もれることによる津波早期予測の可能性を示す。

キーワード：電離圏ホール、内陸地震、津波

Keywords: Ionospheric hole , Inland earthquake, Tsunami

和歌山県西岸における昭和南海地震津波（1946）及びチリ地震津波（1960）の津波高現地調査
 Heights of the Tsunamis of the 1946 Showa-Nankai and the 1960 Chilean Earthquakes on the
 West Coast of Wakayama Pref.

*矢沼 隆¹、都司 嘉宣²、門田 寛¹、佐藤 雅美³、芳賀 弥生³、今村 文彦³

*Takashi Yanuma¹, Yoshinobu Tsuji², Hiroshi Kadota¹, Masami Sato³, Yayoi Haga³, Fumihiko Imamura³

1.株式会社パスコ、2.深田地質研究所、3.東北大学災害科学国際研究所

1.PASCO Corporation, 2.Fukada Geolog. Inst., 3.IRiDeS, Tohoku Univ.

チリ地震津波（1960）は北海道～沖縄に至る広域の太平洋沿岸各地において観測された。和歌山県沿岸においても津波が観測されており、痕跡調査については、和歌山県すさみ町以東で密な調査が行われているが、和歌山県西岸（和歌山市～串本市）では、調査記録が限られている。チリ地震津波（1960）については、津波来襲時の和歌山新聞の記事、市町村誌に、和歌山県西岸における津波浸水の記事がある。和歌山県西岸におけるチリ地震津波の詳細な痕跡記録を得るために、これら記録の測量調査を行った。

今回の調査では、チリ地震津波（1960）と並んで近代に和歌山県に大きな被害を及ぼした昭和南海地震津波（1946）についても調査を行った。昭和南海地震津波（1946）では種々の現地調査が報告されているが、「昭和紀伊洪浪の記」（同胞援護会和歌山県支部、1948）という文献があり、沿岸集落における津波浸水の状況を詳細に示した図や当時の役場・学校からの報告が掲載されているものの、測量調査までは行われていない。よって、「昭和紀伊洪浪の記」の浸水状況の図から現在の位置を割り出して測量調査を行い、新たな津波高記録を得た。また、測量調査に併せて、チリ地震津波（1960）体験者並びに昭和南海地震津波（1946）体験者が高齢化していることに鑑み、これら津波来襲の体験を記録化するために、沿岸部の集落における聞き取り調査を並行して行った。その際、東北地方太平洋沖地震津波（2011）の来襲状況についても聞き取りを行い、痕跡地点が特定できるものについては測量調査も行った。

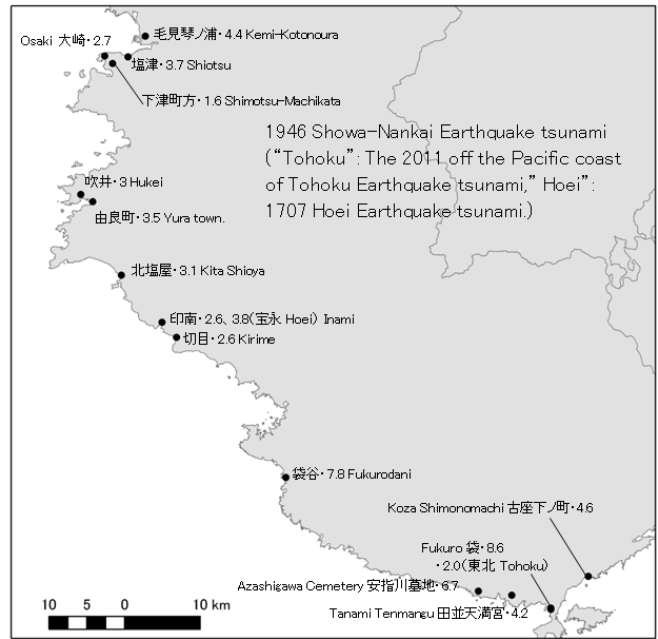
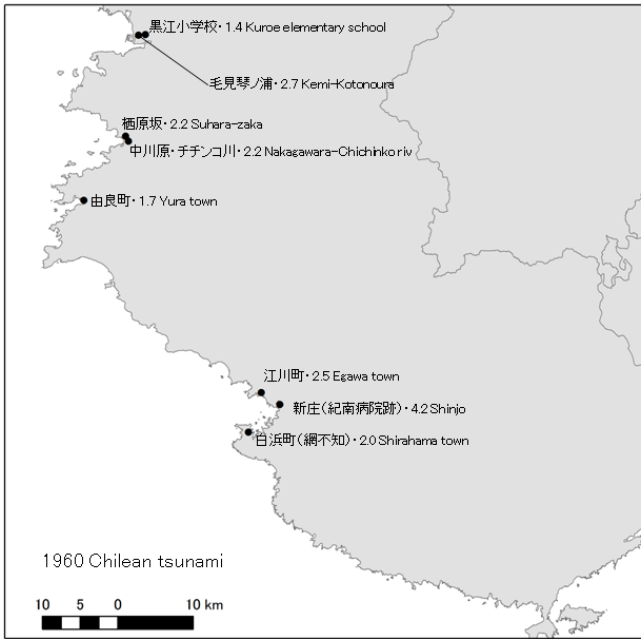
調査は2015年1月14日から16日にかけて行った。チリ地震津波（1960）については、和歌山市毛見琴ノ浦で2.7m、海南市黒江小学校で1.4m、湯浅町栖原坂で2.2m、中川原・チチンコ川で2.2m、由良町網代地区で1.7m、田辺市では江川町で2.5m、紀南病院跡地で4.2m、白浜町網不知で2.0mという痕跡記録を新たに得ることができた。昭和南海地震津波（1946）については1.6m～8.6mの津波高が得られ、特に現地での証言により白浜町袋谷で7.8m、串本町安指川の墓地で6.7mの津波高が得られた。なお印南の印定寺では、昭和南海地震津波（1946）の記録に併せて宝永地震津波（1707）の記録も得られ、3.8mの津波高が測定された。

東北地方太平洋沖地震津波（2011）に関しては、聞き取り調査では、感知されなかったか、海面の動揺が見られた程度の地点が多かったが、串本町袋では津波の遡上が観測され、津波高さ2.0mが測定できた。得られた成果を付図にまとめる。

本調査は、原子力規制庁からの委託業務「平成26年度 原子力施設等防災対策等委託費（津波痕跡データベースの高度化）（代表：東北大学・今村文彦）」の成果の一部をとりまとめたものである。

キーワード：チリ地震津波（1960）、昭和南海地震津波（1946）、和歌山県、紀伊半島

Keywords: the 1960 Chilean tsunami, the 1946 Showa-Nankai earthquake tsunami, Wakayama Prefecture, Kii Peninsula



慶長9年12月16日(1605 II 3) 関東沖地震による房総半島での津波高さ分布

Height Distribution of the Tsunami of the South Kanto Earthquake of February 3rd, 1605

*都司 嘉宣¹*Yoshinobu Tsuji¹

1.公益財団法人深田地質研究所

1.Fukada Geolog. Inst.

慶長9年12月16日の深夜、本州の南方海域で起きた地震による津波は、房総半島から四国・鹿児島に至る海岸に大きな影響をもたらした。この地震はしばしば、東海沖、南海沖に起きる巨大地震と解釈され、あるいは関東沖と南海沖の離れた2海域に生じた二元地震と理解されることもあった。たしかに、この地震による津波は、四国の阿波、土佐の二国と、八丈島、および房総半島で特に大きかったためこう理解されることには一理あった。しかし、この地震が明白に京都で無感であったこと、近畿・中部地方に地震の揺れによる被害記録が全くないこと、東海地方、あるいは紀伊半島の海岸で明白な大きな津波の来襲を示す記録が湖西市白須賀をのぞいてほとんどなかったことは、この地震が東海地震、あるいは南海地震であるという見解には大きな疑問を抱かせるものであった。このように見解の分かれる慶長九年の地震像に対して石橋ら(2013)は、この地震が小笠原海溝のプレート境界に生じた巨大地震ではないかという作業仮説を提案し、この地震が東海沖、および南海沖に震源がないモデルによっても既知の津波高分布を説明しうることを示した。この地震が、房総半島に大きな津波被害をもたらしたことは、『房総治乱記』などの軍記物の記録に記載があることが知られていた。そこには「潮災に逢しは、辺原、新官. . .」に始まる文章で、津波に被災した35個の集落名が記されている。この文章の文末に「都(すべ)て四十五ヶ所也」とあるが、写本が書き写されるうちに10カ所の村名が脱落したらしく、現在の写本に見る集落名は35カ所である。この津波記録が軍記物にしか記されていないことから、文書としても信頼度が劣るとみなされてきたのはやむを得ないことであった。しかしながら、筆者らは被災35カ所の一つである鴨川市天面(あまづら、「尼津」)の西徳寺のご島津実隆住職から、この寺の縁起に地震・津波の生々しい現地記載があるとのお知らせを受け、その記載を調査した。その結果、この寺で大きな揺れを感じたこと、金属製の本尊が津波で流され、後に付近の井戸で発見されたと記された、この寺の縁起記録を検証することが出来た(伊藤ら、2005)。これによって『房総治乱記』の記載の真実性をしめす具体的な現地記録を得たこととなった。しかしながら、この時は当時この本尊の仏像が安置されていた場所が不明で、正確な津波浸水値を測定することまでは出来なかった。昨年、同御住職から、寺の敷地の借り受けのいきさつを示す江戸時代以前の記録が新たに見つかったとの御連絡を得た。筆者はさっそく同寺に出向き、記録文献を閲覧させていただき、慶長津波当時、同寺の本堂は既に今と同じ位置にあり、そこにあった本尊が津波に流失したことの確証を得た。慶長津波の時に本尊が置かれていた台座の標高を測定したところ、ここでの津波浸水高さは17.3mであることが判明した。この調査の後、筆者は、津波被災があったと記録される房総沿岸35ヶ所のうちに、集落の形態から、そこでの津波の浸水高さの最小値が推定できる場所があることに気付いた。例えば矢指戸(やさしど、現いすみ市大原字矢指戸)は津波被害が起きた村の一つであるが、矢指戸の明治期の5万分の一地形図と現代の住宅地図を見ると、集落で一番低い家屋の前の道路の敷地の標高はすでに7.7mであり、そこから一気に海岸汀線に下りる地形をしている。いっぽう、津波によって家屋の全壊流失が生ずるには敷地上2.0mの冠水は必要であるとされる(越村ら、2009)。このことから、矢指戸で家屋被害を生ずるためには、津波浸水高さは最小限9.7mあったことが知られるのである。同様の考察によって、岩船で7.7m、日在(ひあり)で6.8m(以上現いすみ市)、一宮町東浪見(とらみ)で、6.4m、一宮で6.9mが津波浸水の下限值であることが判明する。以上のことから、慶長九年地震の津波の房総半島での浸水高さ(の下限)の分布図として図2を得る。宝永(1707)、安政東海(1854)、昭和19年(1944)東南海地震など、東海沖の海域に震源のある地震の津波が、房総半島の中部および北部でこのように大きな津波高となったことはなく、この津波起こした地震の震源の位置は関東地方の南部沖にあったことが示唆される。

謝辞：鴨川市天面の西徳寺のご島津実隆住職には、同寺所蔵の貴重な文献を閲覧する機会を与えていただき、感謝申し上げます。

参考文献

石橋克彦・原田智也, 2013, 1605 (慶長九) 年伊豆-小笠原海溝巨大地震と1614 (慶長十九) 年南海トラフ地震という作業仮説, 地震学会秋季大会, 108

伊藤純一・都司嘉宣・行谷佑一, 2005, 慶長九年十二月十六日(1605.2.3)の津波の房総における被害の検証, 歴史地震, 20, 133-144.

越村俊一・行谷佑一・柳沢英明, 2009, 津波被害関数の構築, 土木学会論文集B, 65(4), 320-331.

キーワード：慶長南関東地震津波(1605)、房総半島、寺院記録

Keywords: The 1605 Keicho south Kanto Earthquake-Tsunami, Boso peninsula, old documents kept in a temple

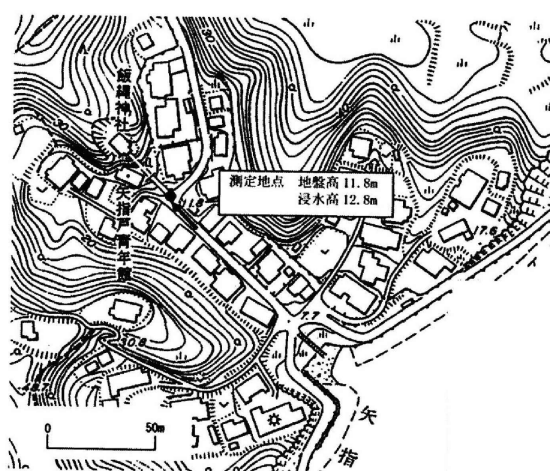


図1 千葉県いすみ市大原字矢指戸の2,500分の一住宅地図

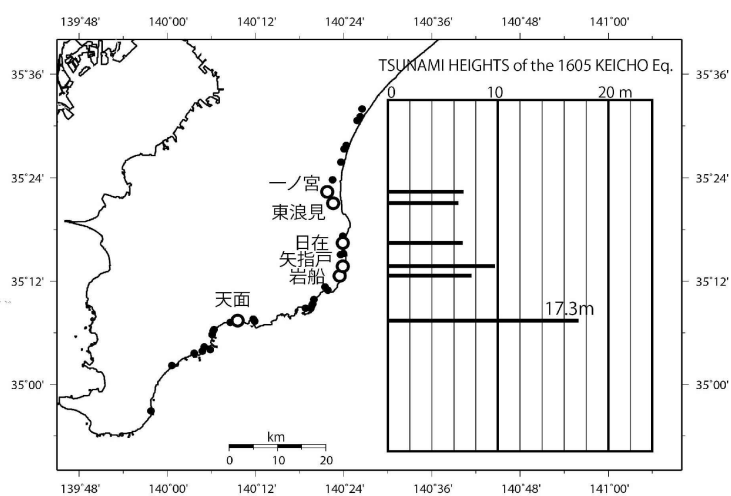


図2 『房総治乱記』に記載の35ヶ村(丸印)。白丸は津波浸水高さを推定しうる村で、右グラフは推定津波浸水高

千葉県銚子市の古文書記録に基づく1703年元禄関東地震津波の波源モデルに関する考察
Modeling of the 1703 Genroku Kanto earthquake tsunami based on historical documents in
Choshi City, Chiba prefecture

*柳澤 英明¹、高森 良文²、後藤 和久³、鈴木 海斗¹

*Hideaki Yanagisawa¹, Yoshifumi Takamori², Kazuhisa Goto³, Kaito Suzuki¹

1. 東北学院大学教養学部地域構想学科、2. 銚子市立銚子高等学校、3. 東北大学災害科学国際研究所
1. Department of regional Management, Faculty of Liberal Arts, Tohoku Gakuin University, 2. Choshi
Municipal Choshi High School, 3. International Research Institute of Disaster Science, Tohoku
University

元禄十六年(1703)に関東地方を襲った元禄関東地震では、地震のみならず巨大な津波によって甚大な被害が発生した。元禄関東地震の断層は、主に陸の地殻変動量からのインバージョン解析により推定される場合が多い。ただし、相模トラフ沿いの沖合を震源とする断層においては、陸の地殻変動量に対する影響は小さく、地殻変動量から断層を決定することは困難となる。そのため、相模トラフ沿いにおける断層を推定するには、津波痕跡高の情報が必要となる。しかしながら、千葉県東部の元禄関東地震津波に関する痕跡データは少なく十分な情報が整っているとは言えない。そこで本研究では、関東東端部に位置する千葉県銚子市に着目し、まだ十分な調査が行われていない銚子市の古文書から津波痕跡高を推定する。元禄関東地震津波を記述した銚子市の古文書としては、①「田中玄蕃 先代集 乾巻」②「慶長以来銚江略年代記(宝満寺古文書)」、また間接的な記述として、③「渡海神社古文書」がある。これらの記述に基づき津波痕跡高を調査した結果、伊勢地T.P. 5.9 m (信頼度C)、小畑池T.P. 11.7m (信頼度A)、長崎T.P. 7.7 m (信頼度C)、外川T.P. 10.8 m (信頼度C)、名洗T.P. 4.8 m (信頼度C)となった。既往研究では、銚子市の津波高は0.9 m~4.0m (東北大学津波痕跡データベース)と推定されていたが、詳細調査から巨大な津波が銚子市に襲来していたことが明らかとなった。次に、銚子市における津波痕跡高を条件とし、元禄関東地震津波の波源モデルの検討を行う。まずは信頼度Aの小畑池に、既存モデル(内閣府, 2013; 行谷ら, 2011; 佐竹ら, 2008 (宍倉ABC))の津波が到達するかを検討した。その結果、既往モデルでは小畑池まで津波が到達しないことが分かった。銚子市における津波高に強く影響する断層は、相模トラフ沿いの沖合の断層であることから、行谷ら(2011)のモデルをベースに、相模トラフ沿いの断層長さ(50 km~)を大きくしていった結果、断層長さが120 kmとなったときに、銚子市の小畑池に津波が到達することが分かった。この結果より、元禄関東地震では、相模トラフ沿いの沖合120 km程度まで断層の破壊が進行していた可能性が示唆された。今後は、他の地域の古文書記録を精査し、より詳細な断層モデルを検討していく必要がある。

キーワード：元禄関東地震津波、古文書、数値シミュレーション、断層モデル、千葉県銚子市

Keywords: The Genroku Kanto earthquake tsunami, Historical document, Numerical simulation, Fault model, Choshi city, Chiba prefecture

太平洋で観測される津波後続波での反射波の特定-2011年東北津波

Identification of dominant phases as reflected waves in tsunami observed on Pacific Ocean-Application to the 2011 Tohoku Tsunami

*阿部 邦昭¹、岡田 正実²、林 豊²*Kuniaki Abe¹, Masami Okada², Yutaka Hayashi²

1.なし、2.気象研

1.none, 2.MRI

(序言) 2011年東北津波の検潮記録で、想定した反射体から伝搬図を描くことで走時をもとめて、反射波の観測状態を調べている。その結果、チリ反射波の日本への伝搬、コディアック島で最大波となったガラパゴス諸島の反射波、及び2回反射波(ミッドウェイ・日本、バヌアツ・ハワイ、チリ・メキシコ)が記録されていることなどが明らかになった。反射波の到達をより詳細に論じるためには、反射波の水位時間変化、特に押し波発達の時系列に着目すると好都合であることが分かってきた。反射波として観測される大振幅の波(群)は、初動ではなく、その後の顕著な押し波が反射・伝播したものと考えられる。そこで反射体近傍で観測された波を元の反射波とし、その波形を押し波の発達段階に応じて、初動から最大波までの間を最大4段階に分けて、各段階のピークの時刻を反射波の出発時刻として、観測された極大水位をすべての段階からの反射波と対応させて説明することを試みる。(方法) 仮定する反射波源、反射波の走時の求め方は従来と変わらない。想定反射体は、2次反射体として扱う日本を除き、21体である。使用した検潮所は65地点である。反射波は反射体近傍の検潮記録で得られた初動から最大波までの水位変化である。従来は反射波の発達を初動と最大波の2段階だけであったが、今回は押し波の発達段階に応じて1-4段階にわけ、それぞれに対応する反射波を考えたことである。各段階の反射波について走時を求め、観測で得られる後続波の極大位相の走時と一致するものを探し、これを観測された反射波とするものである。複数の反射体が該当する場合は隣接する観測点でも同じことを行い、共通に走時を満たすものを反射波とする。(結果) この方法を2011年東北津波の検潮記録に適用した。すべての想定反射体に対して反射波を特定したのは日本の4地点、南鳥島を含む洋上の3地点、バルパライソを含む南北アメリカの8地点である。図1は日本の4地点の記録で反射体を特定したもので、津波後続波における極大水位時とその起源となった反射体を示したものである。これを見るとほとんどすべての極大水位に対して、想定反射体からの反射波が対応していることが分かる。図1では、反射波の起源として認定した反射体は10体で、内訳は南北アメリカのメキシコからチリにかけての海岸、ツアモツを含むハワイ周辺の島々などである。南北アメリカで特定した反射ではメキシコまたはチリなど同一の反射体からの複数回の反射波の放射が確認される。これは反射波を4段階に細分化したことで識別可能になったことである。15点で延べ118個の反射が確認されて、全体で一致の程度を示す走時の差の標準偏差は0.52時間である。結局、4段階に区切ることで、解の数が増加し、選べる自由度が増すことで、より詳しい反射波の描像を描けることになった。隣接する点で独立に求めても近い時間で到達する波が同じ反射体起源の波として識別されることは実際に伝搬していることの証拠である。これら一連の結果は、反射波が大振幅の波の到達で発生し、伝わること、間歇的に入射する場合は反射波も間歇的に送り出されていることもわかる。日本で観測される反射波は波源に直交する方向の反射体から反射されたものが多いことから、反射波が観測されるには波源から放射されるエネルギーの大きい方向に反射体があることが重要であることを示している。またほとんどの極大水位が反射波で説明できることは、卓越反射波が想定した反射体内で起こっていることを示唆している。

キーワード：2011東北津波、検潮記録、太平洋、反射波、仮想反射体、

Keywords: 2011Tohoku Tsunami, Tide gauge records, Pacific Ocean, Reflected Waves, Reflectors

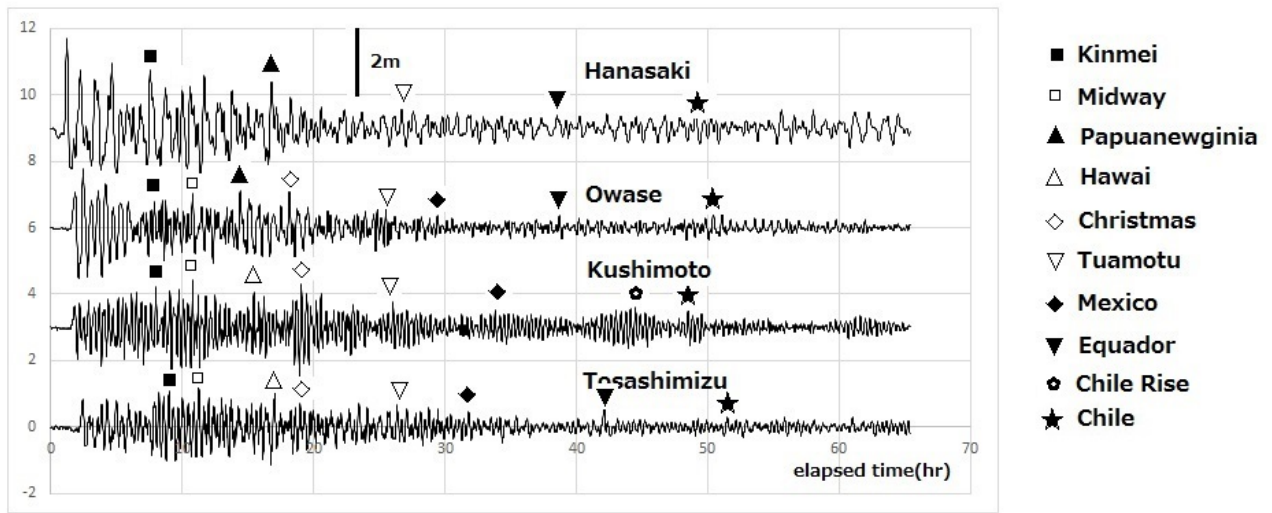


Fig.1

位相補正した津波波形インバージョンによる2006年・2007年千島列島沖地震のすべり分布
Slip Distribution of the November 2006 and January 2007 Kuril Earthquakes from Inversion
of Phase-corrected Tsunami Waveforms

堂山 俊貴¹、楠本 聡¹、綿田 辰吾¹、*佐竹 健治¹、藤井 雄士郎²

Toshiki Doyama¹, Satoshi Kusumoto¹, Shingo Watada¹, *Kenji Satake¹, Yushiro Fujii²

1.東京大学地震研究所、2.国立研究開発法人建築研究所

1.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 2.Building Research Institute

Along the Kuril-Kamchatka trench, two Mw 8-class earthquakes occurred at a two-month interval: an intraplate underthrust earthquake in November 2006 (Mw 8.3, the Global Centroid-Moment-Tensor (CMT) Project) and an outer-rise normal fault earthquake in January 2007 (Mw 8.1, the Global CMT Project). Tsunamis generated by the two earthquakes were recorded at far-field observation stations in Hawaii (e.g. Hilo) and the west coast of the United States (e.g. Crescent City) as well as in and near Japan and Russia.

We usually forecast and invert tsunami waveforms by assuming the linear long waves. However, we could not use far-field tsunami waveforms for inversion because simulated tsunamis arrive earlier than observed ones, and the initial phases of simulated and observed ones show the reverse polarity at far-field stations. Recently, Watada *et al.* (2014) completely explained the observed tsunami delay and developed a model to correct the initial phases of synthetic waveforms. In this study, we estimated the fault slip distribution of the two earthquakes from tsunami waveform inversion using the tsunami phase correction method (Watada *et al.*, 2014).

The slip distribution of the November 2006 Kuril earthquake estimated by using phase-corrected tsunami waveforms indicates that a main rupture area is located in the shallower side, which is different from the slip distribution estimated by using uncorrected tsunami waveforms (e.g. Fujii and Satake, 2008), where the deeper side has a large slip amount, and agrees well with the inversion results of previous studies estimated from teleseismic body waves (e.g. Lay *et al.*, 2009). For the January 2007 Kuril earthquake, the location of a main rupture area estimated by using phase-corrected tsunami waveforms also approximately coincides with the inversion results of previous studies estimated from teleseismic body waves. At far-field observation stations as well as at near-field observation stations, the phase-corrected synthetic waveforms agree very well with the observed waveforms. Furthermore, by using phase-corrected tsunami waveforms for inversion, the seismic moment and moment magnitude become larger and closer to the Global CMT solution and previous inversion results estimated from teleseismic body waves. Therefore, through the tsunami phase correction method, far-field tsunami waveforms can be used for the inversion for the slip distribution estimation.

キーワード：千島列島沖地震、千島・カムチャツカ海溝、断層すべり分布、津波波形インバージョン、津波位相補正法、遠地観測点

Keywords: Kuril earthquakes, Kuril-Kamchatka trench, Fault slip distribution, Tsunami waveform inversion, Tsunami phase correction method, Far-field observation stations

2015年鳥島津波地震：海底水圧計アレーによる近距離での津波観測

2015 Torishima tsunami earthquake: Tsunami observation at short distances by an array of ocean bottom pressure gauges

*深尾 良夫¹、杉岡 裕子²、伊藤 亜紀³、塩原 肇⁴、三反畑 修⁴、綿田 辰吾⁴、佐竹 健治⁴

*Yoshio Fukao¹, Hiroko Sugioka², Aki Ito³, Hajime Shiobara⁴, Osamu Sandanbata⁴, Shingo Watada⁴, Kenji Satake⁴

1.地震津波/海洋研究開発機構、2.理学/神戸大学、3.地球深部/海洋研究開発機構、4.地震研/東京大学

1.CEAT/JAMSTEC, 2.Science/Kobe Univ., 3.D-EARTH/JAMSTEC, 4.ERI/Univ. Tokyo

The 2015 May 02 Torishima earthquake generated tsunamis with heights as large as 60 cm at Hachijo Island, 180km to the north of the epicenter, yet the seismic magnitude was only 5.7 and there was no report of seismic intensity of 1 or more. The earthquake can be regarded as a tsunami earthquake. The epicenter is located closely near the Smith Caldera and the focal mechanism is of CLVD-type. The seismic and tsunami waves were recorded by our pressure gauge array deployed at the bottom of the open sea about 100km to the NNE from the epicenter. Here we report the results of our observation.

(1)The array consists of 10 ocean bottom pressure gauges using ParoScientific quartz resonators which can measure absolute water pressure at 7000m depth with nano-resolution. The array configures equilateral triangles with minimum and maximum lengths of 10 and 30km, which was in operation for a year from May 2014 to May 2015. Sampling rate was set at 4Hz, with which the response to pressure disturbance is almost flat below 0.2Hz.

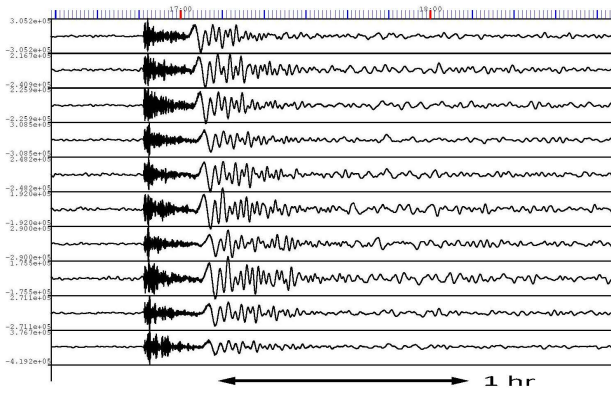
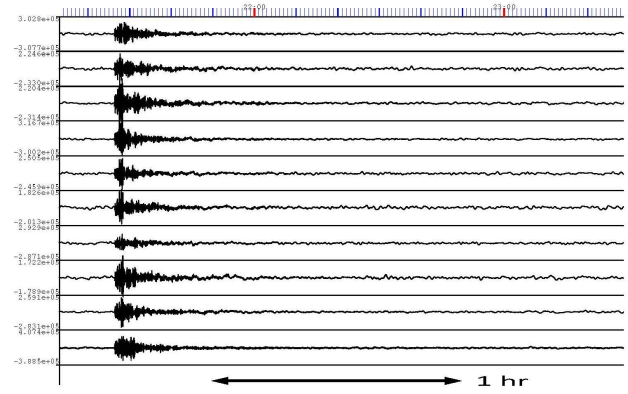
(2)The tsunami trace at each site starts with positive onset (pressure increase) and reaches a maximum amplitude of about 200Pa (\approx 2cm in tsunami height). Records of ordinary thrust earthquakes with similar magnitudes at similar epicentral distances show comparative amplitudes of seismic waves but no visible tsunamis (Fig.1).

(3)Tsunami slowness vector is measured under the plane wave approximation. The measured slowness varies as a function of frequency in a consistent way with the linear dispersion theory. The slowness vector orientation deviates clearly from the great circle path and changes slowly as a function of frequency as expected from the frequency-dependent ray tracing (Sandnabata et al., 2016, JpGU). This ray tracing also demonstrates strong ray focusing towards Hachijo Island and no such focusing towards the array, explaining qualitatively the marked contrast in tsunami height between the array (\sim 2cm) and Hachijo Island (\sim 60cm).

(4)The tsunami spectrum at each station shows consistently a broad peak around 3.5mHz and sharp double peaks around 8mHz. We interpret the first broad peak as due to the primary tsunami source associated with seafloor uplifting and the sharp double peaks as due to wave resonance inside the Smith Caldera.

キーワード：津波地震、津波観測、水圧計

Keywords: tsunami earthquake, tsunami observation, water pressure gauge

**A: 2015 Tsunami earthquake
M5.7 Depth 12km****B: 2015 Near-trench thrust earthquake
M5.6 Depth 18km**

2015年鳥島津波地震：分散性を考慮した津波波線追跡

2015 Torishima tsunami earthquake: Ray tracing analysis of dispersive tsunami wave

*三反畑 修¹、綿田 辰吾¹、佐竹 健治¹、深尾 良夫²、杉岡 裕子³、伊藤 亜妃²、塩原 肇¹

*Osamu Sandanbata¹, Shingo Watada¹, Kenji Satake¹, Yoshio Fukao², Hiroko Sugioka³, Aki Ito², Hajime Shiobara¹

1.東京大学地震研究所、2.海洋開発研究機構、3.神戸大学大学院理学研究科

1.Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2.Japan Agency for Marine-Earth Science Technology, 3.Department of Planetology, Kobe University

2015年5月2日に鳥島の近海で発生したM5.7の地震は、震央から約100km北方の八丈島では60cmの津波が観測されるなど、地震の規模から想定されたよりも大きな津波を引き起こした「津波地震」であったと言える。Global CMT解の震源は、伊豆・小笠原海溝に沿った火山体である須美寿カルデラ付近の地下浅部に定まっている。この地域では規模・震源メカニズムの類した地震が、1984年、1996年、2006年に観測され、同様に津波を発生させている(Satake and Gusman, 2015, SSJ)。1984年の地震に関して、Satake and Kanamori (1991, JGR) は長波近似を用いた津波伝播シミュレーションにより、円形の隆起の津波波源モデルを提案した。震源メカニズムは地下浅部でマグマ貫入に伴う水圧破碎(Kanamori et al., 1993)や、カルデラの環状断層(Ekström, 1994, EPSL)の火山活動に伴うCLVD型の地震モデルが推定されている。

2015年の鳥島地震による津波は、海洋研究開発機構が設置した10の海底水圧計から成る観測点アレーによって観測された。水圧計アレーでの観測波形は、波束の到達時間が長周期ほど遅くなる分散波としての特徴を示しており、特に位相波面の到来方向が観測点と震源を結ぶ方向から、低周波の位相波面ほど大きく外れるという特異な傾向が確認された(深尾ほか, 本大会)。

本研究では、津波を分散性の線形重力波として扱い、周波数ごとの位相波面およびエネルギー波束の波線追跡をおこなった。まず、線形重力波の理論式と平滑化した水深データを用いて、各周波数での二次元位相速度場・群速度場を反復計算により帰納的に計算した。位相速度・群速度の両速度場を用いることで、周波数ごとの位相波面およびエネルギー波束の伝播時間の測定が可能になる。そして、球面上の地震波表面波の波線方程式(Sobel and Seggern, 1978, BSSA; Jobert and Jobert, 1983, GRLなど)と同様な方程式について数値積分を行い、須美寿カルデラを波源とする各周波数の波線を追跡した。

周波数に依存する波線追跡の結果、低周波の波ほど水深の影響を受けて波線が大きく曲がる様子が確認された。特に、波源から北東へ射出した波線が北側に大きく曲がり、周波数が低いほど波面の進行方向が変化する傾向が見られた。この結果は、水圧計アレーに入射する位相波面の到来方向が周波数に依存して変化するという観測結果と調和的である。また、波線追跡に基づくエネルギー波束(群速度)の到達時間は、水圧計アレーの各周波数帯における波束の最大振幅の到達時間によく一致した。さらに、周波数帯によらず波源の北方向で波線が集中する様子が確認された。この結果は、北側の広い方向に放射された波が地形変化による速度勾配によりエネルギーが集中することで、八丈島での振幅が大きくなった可能性を示唆している。

本手法による周波数に依存する波線追跡により、長波近似がよく成り立つ長周期の波動だけでなく、分散効果により後続波として到達する高周波の波についても同様に波線を追跡し、津波伝播の特徴をより詳細まで捉えることができる。例えば、周波数帯ごとの津波の伝播経路上の特徴的な地形が波形に与える影響を考察することや、高周波の後続波を含むエネルギー波束の到達時間を、少ない計算量で推定することが可能になる。

キーワード：津波、波線追跡、津波地震、分散、火山性地震

Keywords: tsunami, dispersion, tsunami earthquake, ray tracing, volcanic earthquake

GPS津波計データ伝送用衛星通信アンテナ設置機構の改良

An improvement of the antenna installation mechanism for satellite communication of the GPS tsunami meter

*寺田 幸博¹、山本 伸一²、岩切 直彦²、岩崎 匡宏³、越川 尚清³、多田 光男⁴、和田 晃⁵、加藤 照之⁶

*Yukihiro Terada¹, Sin'ichi Yamamoto², Naohiko Iwakiri², Tadahiro Iwasaki³, Naokiyo Koshikawa³, Mitsuo Tada⁴, Akira Wada⁵, Teruyuki Kato⁶

1.高知工業高等専門学校、2.情報通信研究機構、3.宇宙航空研究開発機構、4.弓削商船高等専門学校、5.日立造船株式会社、6.東京大学地震研究所

1.Kochi College, National Institute of Technology, 2.National Institute of Information and Communications Technology, 3.Japan Aerospace Exploration Agency, 4.Yuge College, National Institute of Technology, 5.Hitachi Zosen Corporation, 6.Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

東北地方太平洋沖地震津波において、釜石沖に設置されていたGPS波浪計（国交省ナウファス）は第1波の波高6.7mを表示した後、発信が途絶えた。これは、停電によるインターネット網の寸断のため、陸上基地局からサーバーまでの間のデータ伝送ができなかったためである。これに対して、技術試験衛星（ETS-VIII）による衛星通信の有効性を実験的に確認してきた。

津波計ブイに搭載した装置が使用する電力はバッテリーと太陽電池から供給される。このため、搭載するブイ上の地球局も消費電力を低く抑え、アンテナは追尾が不要な無指向性アンテナを用いる必要がある。これまでの衛星通信実験において、ブイから基地局への回線では、ブイの動揺による衛星方向のアンテナ利得の変動がデータ伝送の品質に影響を与えることが明らかになった。この変動を小さくするためのアンテナ設置機構を試作し、船舶を用いてその効果を検証した。

試作したアンテナ設置機構は、アンテナをジンバル機構上に取付け、ブイの動揺による傾きを機構的に補償でき、取り付けたアンテナを概ね水平に保つことができる構造である。アンテナはS帯の小型平面アンテナ（直径84mm、高さ14.8mm、重量150g）である。実験ではジンバル機構に取り付けたアンテナを、弓削商船高専の練習船（弓削丸 240t）に設置し、技術試験衛星（ETS-VIII）から送信される信号を船で受信してその受信電力を記録した。また、比較のために同型のアンテナを固定して設置した場合のデータも同時に取得し、その効果を検証した。

船の動揺による受信電力の変動の測定では、固定のものと比較して受信電力の変動の幅が小さくなる結果が得られた。ブイに設置する地球局は堅牢、小型軽量、低消費電力など多くの制約がある。このため衛星回線は十分な回線マージンを得ることが難しく、ブイの動揺による信号のレベル変動程度でも回線品質に影響を与える。試作したアンテナ設置機構は重りによってアンテナを概ね水平に維持する簡単なものであるが、その効果を確認することができた。

本実験は東京大学地震研究所所長裁量経費で実施した。また、弓削商船高専の弓削丸関係者による実験サポートを受けたことを記し、謝意を表します。

キーワード：GPS津波計、技術試験衛星VIII型、衛星通信

Keywords: GPS tsunami meter, ETS-VIII, satellite data transmission

津波警報装置の試作 (3)

Tsunami alarm equipment (3)

*勝間田 明男¹、林 豊¹、宮岡 一樹¹、対馬 弘晃¹、馬場 俊孝²

*Akio Katsumata¹, Yutaka Hayashi¹, Kazuki Miyaoka¹, Hiroaki Tsushima¹, Toshitaka Baba²

1.気象庁気象研究所、2.徳島大学

1.Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 2.Tokushima University

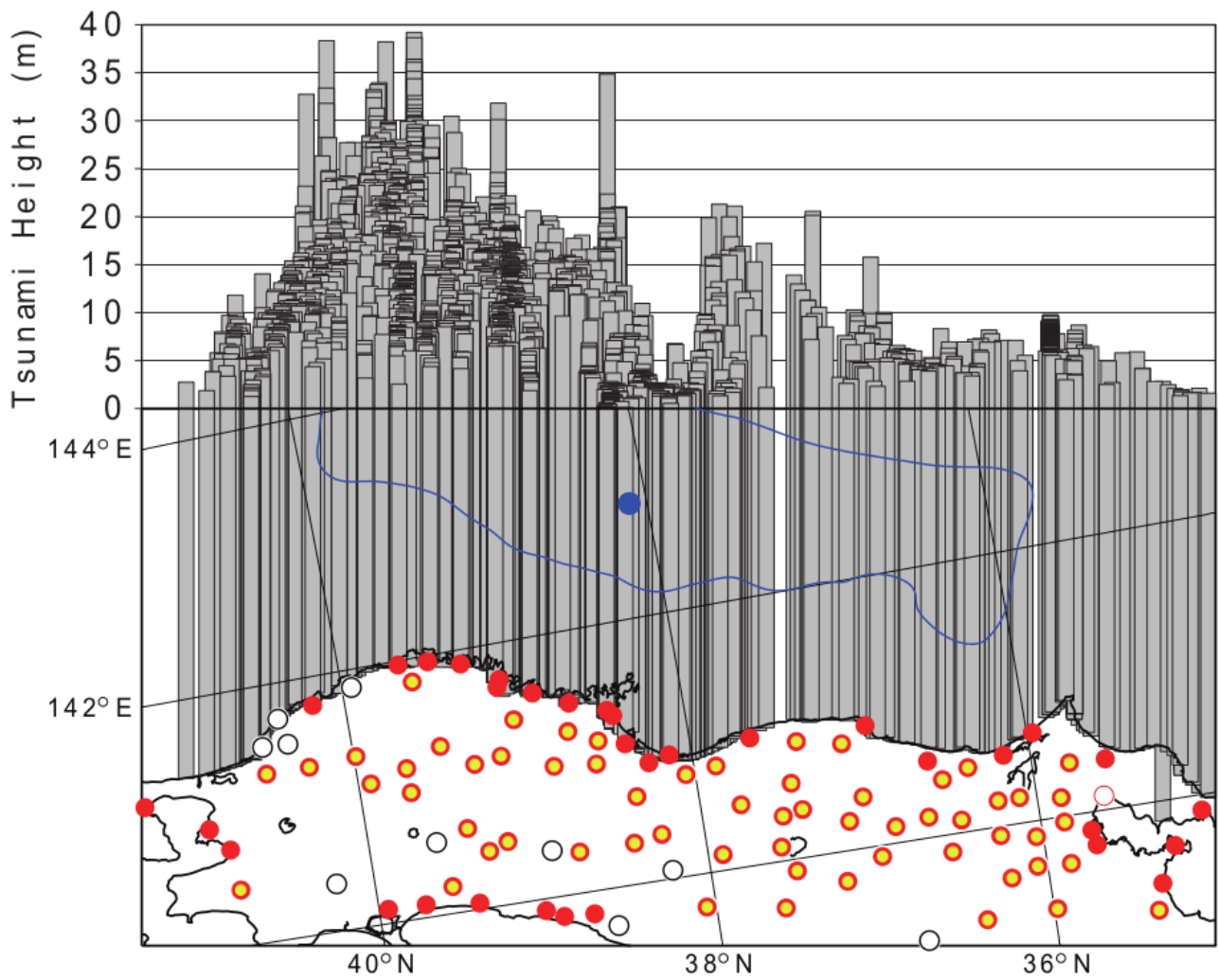
単一観測点の地震動から津波を警告する装置の可能性について検討を行っている。ゆれを感じたらすぐ高所に移動することは、最も早い津波からの避難方法の一つである。もし、地震直後にその地点のゆれから、津波来襲の危険性を判定する装置があると、津波避難の助けになると考えられる。強い地震動があるということは、震源断層が近くまで伸びていることを意味する。

ここでは、震源域からの範囲を限定するために、改訂メルカリ震度相当値を用いている。震度値はPGVから変換して求める。ここでは改訂メルカリ震度として5.5の範囲を対象と考える。これは、Mw8.0の地震にして震央距離140kmほどの範囲に対応している。測定量の候補として、強震動継続時間・PGV・PGD、あるいはそれらの積を想定している。スレツスコアを用いて津波の危険性のある地震であるかどうかを判定するための最適量を求めた。強震動継続時間もしくは、長周期変異が被害津波の可能性を測定するための量として適している結果となった。Mw7.8及び8.5の二つのマグニチュードを識別対象として設定したが、結果として得られる測定量に両者の差が実質的になかった。

この手法を最近の主な地震に適用し、その実効性を確認した。図に2011年東北地方太平洋沖地震への適応例を示す。赤い丸が震度相当値・計測量ともに閾値を越えた海岸沿いの観測点である。赤丸にオレンジの塗りつぶしは、震度相当値・計測量ともに閾値を越えた内陸の観測点である。白抜き赤丸は震度相当値は閾値以上であるが、判定の計測量が閾値以下の観測点である。なお、ここで津波高さは東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループの結果を参照している。2011年東北地方太平洋沖地震の北部のように、震源域が観測点から離れている場合には、必ずしも適正な警報にならない例も認められたが、補助的な警報としてこのような方法が効果があると認められる。

キーワード：津波警報器、計測震度、単独観測点処理

Keywords: tsunami alarm, instrumental seismic intensity, single station processing



1998年パプアニューギニア津波を起こした海底地すべりは地震計で検知可能か？

Was the submarine landslide which caused the 1998 Papua New Guinea tsunami detectable by a seismograph?

*勝間田 明男¹、中田 健嗣¹、藤田 健一¹、田中 昌之¹、小林 昭夫¹、吉田 康宏²

*Akio Katsumata¹, Kenji Nakata¹, Kenichi Fujita¹, Masayuki Tanaka¹, Akio Kobayashi¹, Yasuhiro Yoshida²

1.気象研究所、2.気象大学校

1.Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency, 2.Meteorological College, Japan Meteorological Agency

1998年7月にパプアニューギニアにおいて発生したMw 7.0の地震の後に発生した10mを超える津波により2,200名を超える犠牲者が出ている(Tappin et al., 2008). この津波は、地震の規模に比べて大きすぎること、津波の発生が地震の発生よりも約10分ほど遅れているとみられること、海底地形において地すべりを起こしたとみられる場所が確認されていることなどから、海底地すべりが発生源であるとみられている(例えば,Tappin et al., 1999). 通常の地震による津波の場合には、地震計で記録される地震波が警戒や避難の最初のトリガとなることが多い。しかし、この1998年のパプアニューギニアのような事例が発生した場合には、地震波から予測される規模の津波には備えるものの、それを越える規模の津波への警戒は通常なされない。リアルタイムモニターの沖合津波観測網が整備されている場合には、それがトリガとはなりうるが、津波の観測点までの伝播を待つ必要がある。もし、海底地すべりが地震計で捉えられるならば、この種の津波に備えることが可能となる。ここでは、1998年のパプアニューギニアのような海底地すべりが地震計で検知可能であるかどうかについて議論する。

Watts et al. (2003)の津波発生源モデルによると、この規模の津波を発生させることができる地すべりは長さ4.5km、幅5km、厚さ760mの規模のものであった。それが傾斜角12度の下で特性時間32秒の地すべりを起こしたとされる。すべりを引き起こす力は重力である。また、停止させる力は摩擦力と流体の抵抗であると考えられる。地すべりが始まる前までは静止摩擦力で保持されていた地塊が、すべり始めた後は動摩擦力による大地からの力の作用を受けていたと考えられる。そのためすべり開始に伴い、静止摩擦と動摩擦の力の差の分だけ、大地に作用する力が変化したと考えられる。

その力は以下のように見積もられる。

$(\rho_1 - \rho_2)Va$

ここで、 ρ_1 は地塊の密度($2.15 \times 10^3 \text{kg/m}^3$)、 ρ_2 は水の密度($1.0 \times 10^3 \text{kg/m}^3$)、 V は地塊の体積($4,500 \text{m} \times 5,000 \text{m} \times 760 \text{m}$)、 a は初期加速度(0.36m/s^2)である。その力を見積もると $7 \times 10^{12} \text{N}$ となる。1980年のセント・ヘレンズ山の山体崩壊では 2.6×10^{12} の力が作用していたと見積もられている(Kanamori et al., 1984)。1987年の伊豆大島の三原山におけるドレインバックでは $4 \times 10^{11} \text{N}$ の力が作用したとされている(Takeo, 1990)。1998年パプアニューギニアの海底地すべりにおいても、同程度以上の大地への力の変化があった可能性が考えられる。 $7 \times 10^{12} \text{N}$ ほどの水平方向の力が30秒程度の継続時間で作用したとすると震源から900kmにあるPMG観測点において、他の震動源がない状態であれば地震波形が検知可能とみられる。しかし、地震による震動がはるかに大きなものであり、PMG観測点の地震記録を調べたが、周期数10秒の長周期の地震波に地震以外のイベントらしき地震波形は確認できなかった。

キーワード：地すべり津波、地震記録、1998年パプアニューギニアの津波

Keywords: tsunami by landslide, seismic record, 1998 Papua New Guinea tsunami

1741年渡島大島噴火に伴う地すべりモデル

Landslide model of the 1741 Oshima-Oshima eruption

*伊尾木 圭衣^{1,2}、谷岡 勇市郎¹、川上 源太郎³、加瀬 善洋³、仁科 健二³、廣瀬 亘³、石丸 聡³、柳澤 英明⁴
*Kei Ioki^{1,2}, Yuichiro Tanioka¹, Gentaro Kawakami³, Yoshihiro Kase³, Kenji Nishina³, Wataru Hirose³, Satoshi Ishimaru³, Hideaki Yanagisawa⁴

1.北海道大学地震火山研究観測センター、2.産業技術総合研究所、3.北海道立総合研究機構地質研究所、4.東北学院大学教養学部地域構想学科

1.Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, 2.National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 3.Geological Survey of Hokkaido, 4.Department of Regional Management, Faculty of Liberal Arts, Tohoku-gakuin University

1741年に北海道渡島大島付近で発生した津波は、渡島半島や津軽半島の日本海沿岸に大きな被害をもたらした。この津波は渡島大島の山体崩壊に伴う地すべりによって、海域へ大量の土砂が流入することにより発生したと仮定し、山体崩壊に伴う土砂移動の計算をおこなった。渡島大島北側の海底地形調査データ(Satake and Kato, 2001)を用い、山体崩壊堆積物の分布、崩壊前の山体地形の推定、崩壊堆積物の体積の再見積もりをおこなった。これらの見積もりをもとに、地すべり・津波統合モデル(柳澤他, 2014)を用いて山体崩壊シミュレーションをおこなった。その結果、計算による崩壊堆積物の分布と、海底地形データから判読した崩壊堆積物の分布は、比較的良い一致を示す。しかし詳細を見ると、計算による崩壊堆積物の分布は、判読した分布より下流側(北側)に大きく広がっており、側方(特に西側)へは広がりが少ないことがわかった。また計算による崩壊堆積物の厚さも分布と同様、判読した厚さより下流側(北側)に多くみられる。今後、モデルパラメーターや崩壊前地形の調整などをおこない、改良した地すべりモデルを用いて津波シミュレーションをおこない、津波痕跡との比較をする。

キーワード：地すべり、津波、渡島大島

Keywords: landslide, tsunami, Oshima-Oshima

明和の大津波の際の宮古地区の被害状況に関する再考察

Re-estimation of damages in the Miyako District Okinawa by 1771 Great Meiwa Tsunami

*松本 剛¹*Takeshi Matsumoto¹

1. 琉球大学理学部

1. Faculty of Science, University of the Ryukyus

1771年3月10日（新暦4月24日）に南西諸島域で発生した明和の大津波は、八重山地方・宮古地方に死者約12,000人、家屋流出約2,000件と云う甚大な被害をもたらした。2004年スマトラ地震や、2011年東日本大震災以降、長さ数百kmに亘る地震断層の存在が注目され、明和の大津波についても、南西諸島域での同様の地震断層が原因と見られることから、沖縄県では津波浸水予測の再計算を行い、平成27年に最新の成果が公表されている（以下、「津波浸水想定」と云う）。また、石垣島南岸部でのトレンチ掘削による津波堆積物調査も進められている。その一方で、宮古地区での被害状況の検証は進んでいなかった。宮古地区での被害状況の概要は「球陽」に見られるが、1987年に発見された「御問合書（おといあいがき）」にはより詳細な記載があることが明らかとなった（加藤、1989）。本研究では、御問合書の記載をもとに、平成27年度の津波浸水想定の結果と対比することによって、原因となる地震断層の推定の適否について、考察を行った。なお、津波浸水想定では複数の地震断層について評価を行っているが、八重山地方の被害状況を考慮し、最も可能性の高い南西諸島海溝南西端の3断層連動による津波を前提とした。

御問合書には「地震仕一刻程間を置大波統様三度揚・・・」との記載がある。「一刻」は30分であることから、津波浸水想定の結果の宮古地方への到達時間である20~40分とほぼ一致する。津波の遡上高が明記されているのは、宮古島の宮国・新里・砂川・友利地区とともに3丈5尺（10.6m）、池間島の池間・前里地区とともに2丈5尺（7.6m）、伊良部島で3丈5尺（10.6m）、下地島で12~13丈（約38m）である。下地島ではこの他、島の南端から高さ10尋（18m）の高台に石が打ち揚げられているとの記載がある。これら4箇所の津波浸水想定結果では、それぞれ、26.5~28.3m、17.3m、13.4m、及び25.9m（但し、佐和田・渡口から侵入した津波のため、一部は伊良部島の方に遡上したものと推定される）である。下地島を除き、全体として津波浸水想定結果の方が高めに出ており、八重山地区での津波被害状況が克明に記された「大波之時各村之形行書」とは逆の傾向が見られる。下地島の最高地点は、西海岸沿いの崖の21.6mであるので、12~13丈と云うのは明らかに過大評価と見られる。実際の遡上高が想定高よりも少ない場合、地震断層の滑り量が八重山沖と宮古沖とでは異なり、宮古沖の方がより滑り量が少ない、或いは、地震断層に沿って八重山から宮古方面に破壊が伝搬し、宮古沖が破壊の終端であったことが推定される。

キーワード：明和の大津波、遡上高、宮古地区

Keywords: Great Meiwa Tsunami, run-up height, Miyako District

寛保元年(1741)渡島大島の噴火に伴う津波の北海道江差、松前地方の海岸での浸水標高の精密調査
 Accurate measurement of the tsunami heights of the Kanpo Tsunami of 1741 caused by the volcanic eruption of Oshima-Ooshima Island on the coasts of Esashi and Matsumae districts, Hokkaido

*都司 嘉宣¹、畔柳 陽介²、成田 裕也²、木南 孝博³、白石 睦弥⁴、佐藤 雅美⁵、芳賀 弥生⁵、今村 文彦⁵

*Yoshinobu Tsuji¹, Yosuke Kuroyanagi², Yuya Narita², Takahiro Kinami³, Mutsumi Shiraishi⁴, Masami Sato⁵, Yayoi Haga⁵, Fumihiko Imamura⁵

1.公益財団法人深田地質研究所、2.パシフィックコンサルタンツ(株)、3.頸城技研、4.北日本歴史災害研究所、5.東北大災害科学国際研究所

1.Fukada Geological Institute, 2.Pacific Consultants Co. Ltd., 3.Kubiki Technology Co. Ltd., 4.Kita-Nihon Historical Disaster Institute, 5.IRIDEs, Tohoku Univ.

[はじめに] 寛保元年7月18日(西暦1741年8月28日)の未明、北海道江差沖の渡島大島の噴火活動に伴う津波は、松前地方および江差地方の海岸に大きな津波被害をもたらした。この津波の北海道の海岸での浸水・遡上高さの推定や調査は、羽鳥(1984)、今村ら(1998)、都司ら(2002)によって既に行われている。

[本研究の着眼点] 本研究では上述のような先行研究があることを念頭において、漫然と先行研究と同様な方法で調査に当たるのではなく、それらの先行研究では行われなかった手法によって津波浸水標高の調査を進めることを意識した。すなわち、本研究では津波による村ごとの家屋被災数が、その村の全戸数の何%に相当するかに注目し、これが数%以下ならその集落地盤高さが最も低い場所の標高を測定することとした。逆にほぼ100%が被災した場合には集落市街地で最も高い位置を測ることとした。集落毎の流出家屋、および死者の数は、松前藩によって、被災の後数日以内に各集落毎に集計整理されている。一方『津軽一統志』によって被災した大多数の村毎の総戸数や人口を知ることが出来る。被害数と家屋、人口の両方がわかると、流失家屋と死者の総数に対する割合が推定できる。寛保津波当時の各村の集落の居住地の形態については、明治・大正期の五万分の一地図の初版に表示された集落の広がりから判断した。江戸期と明治大正期とでは差異はあれども、おおまかな傾向は把握できると考えたからである。

[神社、寺院の情報から] 北海道側の沿岸の集落の被災状況を記録した文献にはしばしば、ある集落のほぼ全戸が流失したと記されたものがある。一方、北海道の江差、松前地方の海岸では、この津波の発生による古い時代に神社が建てられた場合、その神社は集落の一番標高の高い位置に建てられていることが多い。すると、「全戸が流失した集落」では、少なくとも神社のすぐ前面までは海水が浸水したと考えられる。この場合、その神社と集落最上端の間の土地の標高は津波浸水(あるいは遡上)の下限値である。この場合、下限値とはいえ従来の「家屋浸水であるから地面標高プラス2m」式の判断(信頼度C)より信頼度は高いと判定される。本稿ではこの場合の信頼度はBとした。

[現地での測量] 我々はこうして知り得た各集落の被災状況の情報から、浸水限界線を推定し、現地でその限界線上にGPS測量器械を据え付け、そこで標高を測定した。従来、被災状況から、集落の中心点の標高を測定して、被害程度から津波標高を推定していた調査より、信頼度の高い津波の浸水高さ値を得たと考えることが出来る。上述の集落最奥の神社の場合もこの例の一つである。このようにして得た数値は、たとえ津波浸水の下限値しか判明しない場合であっても、その下限値が確かであることから信頼度はBとした。

[結果] 以上のような方針によって我々は、2015年12月14日~16日にかけて、北海道熊石(現八雲町熊石)を起点とし、およそ30地点を測定して、最後は松前町に至り調査を終了した。津波浸水、あるいは遡上高さの調査結果を図に示す。図で白丸を付した地点は、測定結果の信頼度の高い地点で(信頼度A,B)、津波浸水・遡上高さを示す棒グラフでは太線が描かれている。黒丸を付した地点は、被災戸数の全戸数に対する割合による測定点の決定による測定法が適用できず、集落の中心代表点の標高値と被害状況から地上冠水厚さを推定する従来の方法にとどまるなど、信頼度の劣る点(信頼度C,D)である。

なお、図で上ノ国町石崎の館野の19.4mというのは「突き出た岬状地形」の上を津波が越えたという地元伝承に基づく。この場所には、1440年から16世紀ころまで比石館とよばれる城があり、16世紀の中国製の陶片が出土する場所で、津波による浸食はこの城の廃止以後のことと考えられる。現状は津波によって岬状地形は前後両

面が浸食によって削られ、車一台が通過できる狭い堤防状の地形である。これが1440年以前の未知の津波によるものであって、これ以後にわざわざここが築城の地と選定されたとは考えがたい。よってこの伝承に言う津波とは寛保津波であると推定する。

謝辞：本稿は、原子力規制庁からの委託業務「平成27年度原子力施設等防災対策等委託費（日本海沿岸の歴史津波記録の調査）事業」（代表：東北大学 今村文彦）の成果の一部をとりまとめたものである。

キーワード：火山活動による津波、津波高の精密測量、寛保渡島大島津波

Keywords: tsunami caused by a volcanic eruption, accurate measurement of height of a tsunami, the tsunami generated by the 1741 Oshima-Ooshima volcanic eruption

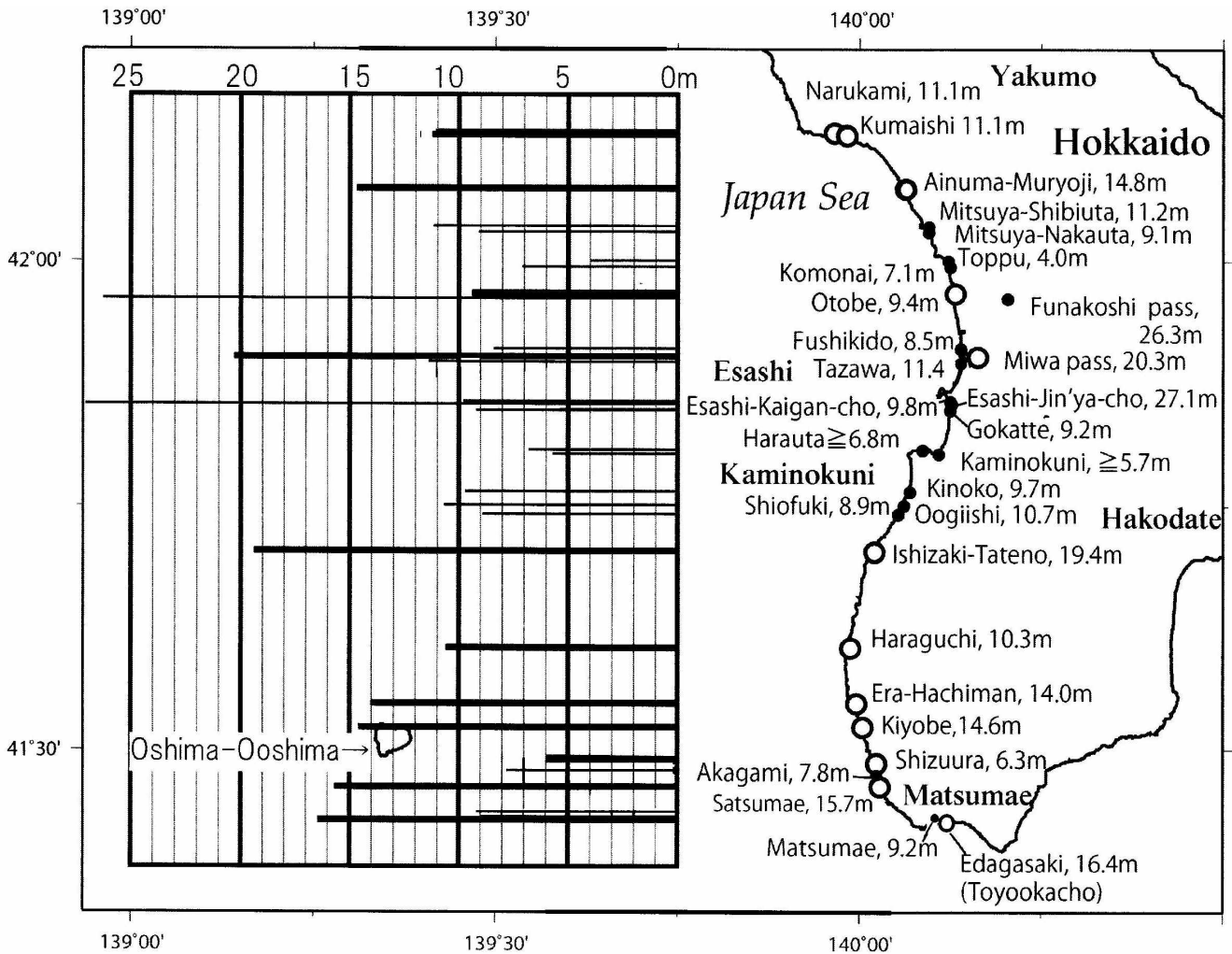


Fig. 1 Height Distribution of the tsunami caused by the volcanic eruption of Oshima-Ooshima in 1741.

「津波痕跡データベース」およびその他の津波痕跡データにもとづく岩手県沿岸における歴史津波の津波高

Tsunami heights of historical tsunamis based on the "Japan Tsunami Trace database" and other tsunami trace data along the Pacific Coast of Iwate Prefecture

*高田 圭太¹、柴田 秀則²、小田島 淳²、今井 健太郎³、蝦名 裕一⁴、後藤 和久⁴、越谷 信⁵、山本 英和⁵、宍倉 正展⁶、五十嵐 厚夫¹、市原 季彦¹、木下 博久¹、池田 哲哉¹

*Keita Takada¹, Hidenori Shibata², Atsushi Odashima², Kentaro Imai³, Yuichi Ebina⁴, Kazuhisa Goto⁴, Shin Koshiya⁵, Hidekazu Yamamoto⁵, Masanobu Shishikura⁶, Atsuo Igarashi¹, Toshihiko Ichihara¹, Hirohisa Kinoshita¹, Tetsuya Ikeda¹

1.復建調査設計株式会社、2.岩手県県土整備部河川課、3.海洋研究開発機構、4.東北大学災害科学国際研究所、5.岩手大学工学部、6.産業技術総合研究所

1.Fukken Co.,Ltd., 2.River Division,Department of prefectural Land Development,Iwate Pref Govt, 3.JAMSTEC, 4.IRIDeS Tohoku University, 5.Faculty of Engineering, Iwate University, 6.Institute of Earthquake and Volcano Geology, AIST

はじめに

岩手県では、津波新法に基づく今後の津波浸水想定にむけて、過去に岩手県沿岸を襲った津波の履歴や来襲状況を把握するための津波痕跡調査を平成25年～平成27年にかけて実施した。この中で「津波痕跡データベース」収録データおよび論文等で報告されている歴史津波の痕跡データを整理し、岩手県沿岸における既往津波の津波高の比較を行った。

まず、沿岸を148地区に区分し、岩手県沿岸で近代以降に発生した5つの主な津波（2011年東北地方太平洋沖津波、1896年明治三陸津波、1933年昭和三陸津波、1968年十勝沖地震津波、1960年チリ津波）について、「津波痕跡データベース」のデータを地区別に集計した。次に、各津波の地区別の津波高最大値を抽出し、横軸を地区名、縦軸を津波高とした津波高分布図を津波毎に作成した。この津波高分布図に歴史津波の痕跡高を重ねることで、その分布傾向を比較した。

岩手県沿岸における近代以降に発生した主な津波

< >2011年東北地方太平洋沖地震津波が最大の津波高を記録している。しかし、岩泉海岸より北では1896年明治三陸津波もほぼ同等の津波高を記録しており、一部の地区では2011年津波を上回る津波高も見られる。また、麦生（侍浜南部）や太田名部（岩泉海岸）では、1933年昭和三陸津波も2011年津波に匹敵する津波高を記録している。<!-- --> < >2011年東北地方太平洋沖地震津波が1896年明治三陸津波および1933年昭和三陸津波の倍以上の津波高を記録している。ただし、唐丹湾～大船渡湾外洋にかけては、1896年明治三陸津波と1933年昭和三陸津波の津波高がやや高い。<!-- --> < >年明治三陸津波と1933年昭和三陸津波は、吉浜湾や綾里湾の奥部、広田半島の先端など、特定の場所で非常に大きな津波高を記録している。記録が誇張されている可能性もあるが、これらの場所では津波高が増幅されやすい条件が存在する可能性がある。<!-- --> < >30mを越える津波高については、被害状況から判断した誇張が含まれている可能性が高い。<!-- --> < >年十勝沖地震津波および1960年チリ津波は、外洋と内湾で津波高の差は小さく、岩手県沿岸では一様に5m程度以下の津波高が記録されている。また、大きく湾入する宮古湾や大船渡湾、広田湾では、わずかであるが湾口部より湾奥で津波高が高くなっている。これは、長周期の波が卓越する津波の特徴を示しているものと考えられる。<!-- --> < >年慶長奥州（三陸）津波は、田野畑海岸、岩泉海岸、田老海岸、船越湾、吉浜湾、越喜来湾で非常に高い津波高が記録されている。沿岸北部だけでなく、船越湾や越喜来湾でも高い津波高が見られることから、その分布傾向は2011年東北地方太平洋沖地震津波に類似する。この津波に対比される津波堆積物は、岩手県沿岸の各所に認められ、沿岸全域で浸水を生じたことを示唆する。<!-- --> < >年貞観津波の岩手県沿岸における具体的な被害状況を記録した古文書等は残されていない。したがって、その津波高を推定することはできないが、津波堆積物が沿岸各所で認められることは、岩手県の沖合にまで波源が広がるような連動型の巨大地震津波であったことを示唆する。<!-- --> < >年安政八戸沖津波の津波高およびその分布傾向は、1968年十勝沖地震津波の津波高と類似している。また、データは少ないが、1763年宝暦八戸沖津波、1677年延宝八戸沖津波も同程度あるいは

それ以下の津波高であり、八戸沖を波源とする津波が岩手県沿岸に与える影響は比較的小さいことを示す。ただし、1677年延宝八戸沖津波は、摂待で13mの津波高が推定されており、地形条件等によっては10mクラスの津波となる可能性があることを示唆する。

1793年寛政三陸津波は、三陸沖南部海溝寄りと宮城県沖の領域が連動した地震津波と考えられているが、岩手県沿岸における津波高は多くの場所で1968年十勝沖地震津波と同程度である。沿岸南部では1968年十勝沖地震津波より若干高い津波高を示すが、岩手県沿岸に与える影響は比較的小さいと考えられる。ただし、両石では9mの津波高が推定されており、地形条件等によっては10mクラスの津波となる可能性があることを示唆する。

キーワード：津波高、津波痕跡データベース、歴史津波、貞観津波、慶長奥州（三陸）津波、岩手県

Keywords: tsunami height, "Japan Tsunami Trace database", historical tsunami, Jogan tsunami, Jogan tsunami, Keicho Oushu (Sanriku) tsunami, Iwate Prefecture

線形長波および線形分散波の津波数値シミュレーションのための効果的なPML吸収境界条件

The effective PML absorbing boundary condition for linear long-wave and linear dispersive wave tsunami simulations

*前田 拓人¹、対馬 弘晃²、古村 孝志¹

*Takuto Maeda¹, Hiroaki Tsushima², Takashi Furumura¹

1.東京大学地震研究所、2.気象庁気象研究所

1.Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, 2.Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

はじめに

日本近海の津波の数値シミュレーションにおいては、全地球ではなく、震源や観測点近傍の有限範囲の津波のみを計算するのが一般的である。そのとき、計算モデルの最外部に吸収境界条件を置き、最外縁に到達した津波が反射して内部の津波波動場を汚染するのを防止する必要がある。津波シミュレーションの吸収境界条件としては、Sommerfeldの放射条件や毎離散時間ステップにダンピング係数を乗ずるスポンジ境界条件の二種類が広く用いられている。本研究では、電磁波や音波、弾性波のシミュレーションで近年広く用いられるようになったPerfectly Matched Layer (PML) 境界条件を線形長波津波に適用することで、従来よりはるかに高い吸収境界の性能を達成できたことを報告する。また、より現実的な津波モデルである線形分散波においても、近似的ではあるが同様な境界条件を適用できることを紹介する。

PMLとその利用

PMLは、数値計算モデル外縁付近に一定の厚さの吸収層を置き、そこに到達した波を十分に速く減衰させることで人工反射を防ぐ、いわゆるスポンジ境界条件の一種である。ただし、津波伝播の支配方程式を境界面に平行な方向への空間微分をもつ部分と鉛直な方向への微分をもつ部分とに分解し、鉛直な方向のみについて粘性項を導入してその振幅を減衰させる、という特徴がある。これが、全方向の波動を減衰させる従来のスポンジ境界との最大の違いである。弾性波における理論的な検討から、このように微分方向による方程式の分解を通じて特定方向に伝わる波動のみを減衰させることで、吸収境界と内部領域との境界の反射係数が原理的には0になり、人工反射波の生成を効果的に抑制できることが示されている。

まず、線形長波の津波モデルにこのPMLを適用した。線形長波の津波を構成する連続方程式と運動方程式のうち、連続方程式の波高を水平2方向に分解し、東西南北4つの境界面にそれぞれ鉛直な方向に伝わる津波のみを減衰させた。次に、線形分散波の津波モデルの場合には、分散をもたらす複数次元の高階微分項が運動方程式に現れるため、そのままではPMLを適用できない。そこで、吸収境界領域内でこの高階微分項が外側に向かって徐々に小さくなる重み項を新たに導入した。吸収境界スポンジの最外縁では線形長波のPMLに、内側の計算領域との接続部分では減衰無しで線形分散波方程式に、それぞれなめらかに接続されるように配慮して、近似的にPML条件を適用した。

数値シミュレーションによる検証

新たに開発した吸収性能条件を、単純な傾斜地形と西南日本の現実の海底地形を持つ2つの津波シ

ミュレーションで検証した。比較のために、津波計算でよく用いられるSommerfeldの放射条件と、毎離散時間ステップにダンピング係数を乗ずるスポンジ条件の二種類を用いたシミュレーションも行った。性能評価のため、より広い領域を用いた人工反射が存在しないシミュレーション結果を参照解として用いた。

単純な傾斜地形と現実の海底地形どちらのシミュレーション結果においても、提案手法のPMLによる吸収境界条件がもっとも良い性能を示した。放射条件に基づく吸収境界手法は、強い分散波に対して大きく性能劣化した。これは、境界において津波が線形長波の一定の位相速度で外向きに伝播することを仮定しているのに対し、分散性の津波速度が一定でないためであると考えられる。スポンジ条件に基づく吸収境界では津波の分散性の有無による違いはないが、境界付近の津波の伝播方向が境界に平行に近づくにつれて性能が悪化する様子がみられた。これらに対し、PMLはどのような条件下でも卓越した性能を示した。近似的にPMLを適用した線形分散波シミュレーションでも吸収性能は良好で、シミュレーションされた津波波形記録は参照解と区別がつかないほどであった。

現実の海底地形を用いた数値シミュレーションでは、吸収境界条件が設定される沖合は一般に水深が深く、したがって津波速度が速い。そこで生じた人工反射波は急速に沿岸に向けて伝播し、水深が浅くなるにつれて振幅が大きくなり計算モデル領域全体を汚染してしまう。計算コストが小さい線形長波シミュレーションであれば、人工反射波を避けるために領域を十分に広く取ることも可能であるが、線形分散波の計算量は線形長波の50-100倍程度もあり、領域の拡大は容易ではない。本研究で提案した吸収境界条件は、計算量をほとんど増大させずにその性能を大幅に向上させることができると期待される。

キーワード：津波、数値シミュレーション、差分法、吸収境界条件、PML

Keywords: Tsunami, Numerical simulation, Finite difference method, Absorbing boundary condition, PML

震源の破壊過程と波数分散性を考慮した2011年東北津波の数値計算

Simulation of the 2011 Tohoku earthquake including rupture process of seafloor motion and wave dispersion

*嶋原 良典¹、樋渡 康子²

*Yoshinori Shigihara¹, Yasuko Hiwatashi²

1.防衛大学校、2.東京海洋大学

1.National Defense Academy, 2.Tokyo University of Marine Science and Technology

The 2011 Tohoku earthquake tsunami gave us a lot of physical data to study the generation process of mega-tsunami. After this event, tsunami scientists tried to make an initial tsunami source model by using tsunami waveform inversion analysis, so that some of models are used for the tsunami damage estimation in practice. Although a number of seismic source models also have been derived by seismologists by using geodetic data, teleseismic data and strong motion data, few studies used their models for the tsunami simulation. It is generally believed that fault models, which are determined by the tsunami inversion analysis and by the seismic inversion analysis, do not correspond with each other, however a series of phenomena such as earthquakes and tsunamis should be expressed as a single model. In this study, we conducted a numerical simulation of the 2011 Tohoku tsunami using the seismic source model, and discuss an importance of considering rupture processes of seafloor motion and wave dispersion effects of tsunami propagation.

In order to describe tsunami generation from detailed seafloor deformation, we adopted the seismic source model by Yagi and Fukahata (2011), which is estimated the rupture process from teleseismic P-wave data using the newly inverse method that takes into account the uncertainty of the Green's function. This model provides rupture velocity and rise time to prescribe kinematic seafloor deformation with the planar fault model of Mansinha and Smylie (1971). Tsunami waves are computed using the dispersion potential model (Shigihara and Fujima, 2014), which is based on the staggered leap-frog implicit scheme; dispersive terms in the equation of motion is solved separately. The grid nesting method that we newly developed for the dispersion potential model are used for the bathymetry dataset with three levels of grid resolution (1350m, 450m and 150 m). The computed results were compared to the time history of the sea surface elevation observed at GPS buoys where are located along off the Sanriku coast. Considering the rupture velocity and the rise time makes the tsunami generation process slowly, and contributes the reproducibility of overall wave profiles. In addition, the wave dispersion effects on decrease of the leading wave height. The computed results agree well with observation, we found that both of the physical processes, that is the rupture process of the seafloor and the dispersion effect, must be considered if we want to simulate tsunami propagation using the seismic source model precisely.

キーワード：2011東北津波、津波数値解析

Keywords: 2011 Tohoku Tsunami, tsunami simulation

海溝型巨大地震を対象とした津波浸水域データベースの構築：石巻市の例

Database construction of Tsunami inundation zone for large subduction-zone earthquakes: A case of Ishinomaki City

*津野 靖士¹、岡本 京祐¹、橋本 紀彦²、藤原 了²、是永 眞理子²

*Seiji Tsuno¹, Kyosuke Okamoto¹, Norihiko Hashimoto², Satoru Fujihara², Mariko Korenaga²

1.鉄道総合技術研究所、2.伊藤忠テクノソリューションズ

1.Railway Technical Research Institute, 2.ITOCHU Techno-Solutions Corporation

沿岸近傍及び海岸線汀線の最大津波水位等を即時予測すること(例えば、Tsushima et al., 2009)は、避難行動を取る際の余裕時間や最大津波水位の程度を把握する上での早期警報としては非常に有効であるが、必ずしも市民や各種事業者が利用しやすい早期津波警報の情報とはなっていない。市民や各種事業者がより利用しやすい早期津波警報を出力するためには、対象領域で想定される海溝型巨大地震の津波浸水シミュレーション結果を利用して、沿岸近傍水位と津波浸水域の関係をデータベース化し(例えば、本間・片田、2009)、沿岸近傍の津波水位から内陸の津波浸水域を瞬時に抽出し、津波浸水域を可視化することが有効である。

本報告では、宮城県石巻市を例として、日本海溝巨大地震を対象とした津波浸水域のデータベースを構築した。具体的には、東北沖のプレート境界域にM8-M9レベルの海溝型巨大地震によるシナリオ津波波源モデル(地震本部、2011)27つを設定し、石巻市を対象に津波浸水シミュレーションを実施した。数値計算には非線形長波理論を用いており、沖合では格子サイズ1215m・時間刻み0.9秒、陸域では格子サイズ15m・時間刻み0.1秒とした。初期水位はOkada(1992)により算出された地殻変動量を適用し、境界条件は沖合では完全透過、陸域では小谷ら(1998)の遡上境界条件とした。今後は、津波浸水域と沿岸近傍(水深50m程度)域の津波水位を連動させ、マッチング手法を適用することにより津波浸水域の即時予測手法について検討を行う。

キーワード：津波浸水域、データベース、石巻市

Keywords: Tsunami inundation zone, Database, Ishinomaki City

気象庁防災情報XMLを活用したデータベース検索型津波浸水予測システムの試作

A prototype of database-driven system for tsunami inundation prediction using the JMA's disaster information XML

*馬場 俊孝¹、坂東 淳²

*Toshitaka Baba¹, Makoto Bando²

1.徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部、2.徳島県

1.Institute of Technology and Science, The University of Tokushima, 2.Tokushima Prefecture

南海トラフ巨大地震などによる大規模津波災害の場合、人命救助のために、災害応急体制を迅速かつ適切に構築し、対応を開始しなければならない。このため、津波の浸水範囲などの情報を可能な限り早く把握することが求められる。半日から1日程度経過すれば、被害の全貌がヘリコプターなどによる調査によって明らかになってくるものの、半日までの間はリアルタイム観測情報に基づく予測に頼るほかない。本研究では、この実現を目的として、徳島県を対象としたデータベース検索型の津波浸水予測システムの開発を行っている。本システムの基本的な設計は気象庁の量的津波データベースを用いた津波警報システムに似ている。震源位置とマグニチュードを検索キーとして、予め構築しておいたデータベースから最適なシナリオを抽出し、予測結果を提示する。最大の違いは、津波警報は沿岸の津波高の予測にとどまっているが、本システムは最大浸水深分布と啓開が必要な道路まで予測する点にある。地図上に浸水分布を表示する必要があるため、プラットフォームはオープンソースのJoruriDmsを採用した。JoruriDmsは徳島県などですでに採用されている災害時情報共有システムで、GIS機能のみならず、災害時の自治体の対応をサポートする様々な機能を備えている。これまでに、南海トラフで発生するM6.5からM9.0のすべりの空間的不均質性をある程度考慮した約220断層シナリオを定義し、地形分解能約10mで徳島県全沿岸部を対象とした津波浸水計算を実施、結果をデータベース化した。シナリオ抽出は、ある震源とマグニチュードに対してどのシナリオを選ぶかを定義したロジックツリーを予め作り、リアルタイムで配信される気象庁防災情報XMLに基づいて行われる。さらに、これでは破壊域の広がり情報が欠如しているし、津波地震には対応できないため、一旦、震源とマグニチュードで検索した後、続報の気象庁防災情報XMLに掲載されている津波観測情報を基に、シナリオ再検索し、浸水予測を更新する機能も付け加えた。発表では本システムの詳細と、さらなる高度化に向けて、断層シナリオの拡充、検索アルゴリズムの高度化、地震津波観測監視システム（DONET）データの活用についての方針を紹介する。なお、本研究は総務省「G空間防災システムとLアラートの連携推進事業」の一部として実施されました。

キーワード：津波、即時予測

Keywords: Tsunami, Early prediction

津波シミュレーション結果の画像解析による特徴抽出

Feature extraction from result of tsunami simulation by applying image analysis

*山本 剛靖¹*Takeyasu Yamamoto¹

1. 気象研究所

1. Meteorological Research Institute

津波伝播シミュレーションの結果を視覚的に表示する場合、津波の高さから等高線図や陰影図を描いたスナップショットや動画が用いられる。色で塗り分けられた等高線図は、大きな値をもつ領域（最大波）の把握は容易だが、それに比べて小さい局所極大値をもつ領域（最大波以外の波）までを視覚的に把握することは難しいことが多い。津波伝播シミュレーションの結果は格子上で得られるので、結果から特徴を抽出するに数値的に処理することが容易である。中田他(2015, JpGU)は、津波伝播シミュレーション計算により各計算格子で得られる水位の時系列波形をアレイ観測データと見立てて処理し、最大主要波群ごとに伝搬経路（波線）追跡することを試みた。本報では、地形解析や画像解析で用いられる手法を用いて、津波伝播シミュレーションの結果得られる格子上の水位分布から、波峰線などの特徴的形状を抽出することを検討した。

波の特徴的形状の一つとして波峰線を抽出する場合は、数値地形モデルから地形解析によって尾根線を抽出する手法を援用できると考えられる。そこで、4-近傍を用いたラプラシアンと3x3近傍格子のメディアンフィルターを応用した方法（岩橋、1994）を、地震（津波）発生から時間経過した後の水位分布に適用した。ラプラシアンを適用した場合は、閾値の設定に依るが、峰部を含む幅広い領域が抽出される一方、鞍部で抽出されにくい。メディアンフィルターを応用した方法では、波源周辺の波峰線を途切れなく抽出でき、海底地形の高まりなどによる屈折効果を反映した二次的な波峰線も区別できた。しかし、峰部ではないところも抽出されており、それらを除外するような別のフィルターを適用する必要があるが残されている。

日本海で発生したM7クラスの地震の津波断層モデルの検証

Validation for tsunami source model of large earthquakes occurred in the Sea of Japan

*室谷 智子¹、佐竹 健治²、原田 智也²*Satoko Murotani¹, Kenji Satake², Tomoya Harada²

1.国立科学博物館、2.東京大学地震研究所

1.National Museum of Nature and Science, 2.Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

日本海で発生した1964年男鹿半島沖地震 (Mjma 6.9) , 1971年サハリン西方沖地震 (Mjma 6.9) , 1983年青森県西方沖地震 (Mjma 7.1) に対して, これまで室谷ほか (2015, JpGU ; 2015, SSJ) によって, 遠地実体波インバージョンによる不均質すべりモデルや「日本海における大規模地震に関する調査検討会」(以後, 日本海検討会) によって得られている一様すべりモデルなどを基に, 津波波形を再現するための断層モデルの検討を行ってきた。その結果, 分散・非分散による計算や, 不均質すべり・一様すべりモデルによる計算において, それほど大きな違いは見られなかった。そこで本研究では, それらの断層モデルの妥当性を定量的に検証するため, 観測波形と計算波形の比較を行った。M7クラスとそれほど規模の大きい地震ではないため, 津波の後続波部分には, 検潮所の設置場所によっては, 湾内など地形的な影響を受けやすく, 波形の全体を比較することは難しい。そのため, Aida(1978, JPE)の評価方法にならい, 観測点*i*ごとの第一波と第二波の観測波形と計算波形の振幅比 $K(i) = \text{Obs}(i)/\text{Cal}(i)$ の幾何平均*K*と, そのばらつきを示す対数標準偏差*k*を検証に用いた。

1964年男鹿半島沖地震に関しては, 地震波インバージョンモデル, そのモデルより平均すべり量を大きく与えた一様モデル, すべり量の補正を行った日本海検討会モデルなどを含む6モデルに対して比較を行った。地震波インバージョンで求めた断層モデル (断層サイズ: 50 km x 40 km, $M_0 = 1.5 \times 10^{19}$ Nm, 最大すべり量: 1.4 m, 平均すべり量: 0.2 m) の平均すべり量を大きくした一様すべりモデル (すべり量: 0.4 m) によって計算された津波波形が, 最もばらつきが小さく ($k=1.65$), 与えたすべり量も最もよく観測波形の振幅を再現した ($K=1.11$)。1971年サハリン西方沖地震に関しては, 地震波インバージョンモデル, そのモデルより平均すべり量を大きく与えた一様モデル, 走向を変えたモデルなど5モデルに対して比較を行った。地震波インバージョンによって得られたモデル (断層サイズ: 50 km x 30 km, $M_0 = 1.3 \times 10^{19}$ Nm, 最大すべり量: 1.2 m, 平均すべり量: 0.2 m) が, 第一波, 第二波ともに相対的にはばらつきが小さかったが ($k=2.42$), 計算波形の振幅はかなり小さく ($K=2.41$), 与えたすべり量が小さすぎることを示している。すべり量を一様に 0.5mと与えた場合, ばらつきは少し大きいが ($k=2.80$), $K=1.13$ と観測波形の振幅をよく再現した。第一波のみを対象とした場合は, 地震波インバージョンモデル (走向329°) から走向21°と変更した2枚矩形断層 (北側断層サイズ: 30 km x 20 km, 平均すべり量: 0.2 m ; 南側断層サイズ: 30 km x 20 km, 平均すべり量: 1.5 m) のばらつきが最も小さかった ($k=2.01$)。1983年青森県西方沖地震に関しては, 地震波インバージョンモデル, その一様すべりモデル, すべり量の補正を行った日本海検討会モデルを含む6モデルに対して比較を行った。地震波インバージョンで求めた断層モデル (断層サイズ: 50 km x 30 km, $M_0 = 3.1 \times 10^{19}$ Nm, 最大すべり量: 2.2 m, 平均すべり量: 0.5 m) が, 最もばらつきが小さく ($k=1.64$), 与えたすべり量も比較的観測波形の振幅を再現した ($K=1.33$)。しかし, 1971年の地震はかなりばらつきが大きいので, もう少し検証する必要がある。

謝辞: 本研究は, 文部科学省受託研究「日本海地震・津波調査プロジェクト」の一環によって実施されました。日本での検潮所の記録は, 東京大学地震研究所の津波波形画像検索システムのデータを使用させていただき, サハリンでの検潮記録は, IMGGのG. Shevchenko氏とA. Loskutov氏にご提供いただきました。

キーワード: 日本海東縁部、津波波形解析、断層パラメータ

Keywords: eastern margin of the Sea of Japan, tsunami waveform analysis, fault parameters

南海トラフを対象とした確率論的津波ハザード評価のための津波予測解析

Tsunami simulations toward probabilistic tsunami hazard assessment in the Nankai Trough

*高山 淳平¹、鬼頭 直²、橋本 紀彦³、齊藤 龍¹、村田 泰洋¹、井上 拓也¹、村嶋 陽一¹、松山 尚典²、秋山 伸一³、中村 洋光⁴、平田 賢治⁴、藤原 広行⁴

*JUMPEI TAKAYAMA¹, Tadashi Kitou², Norihiko Hashimoto³, Ryu Saito¹, Yasuhiro Murata¹, Takuya Inoue¹, Yoichi Murashima¹, Hisanori Matsuyama², Shinichi Akiyama³, Hiromitsu Nakamura⁴, Kenji Hirata⁴, Hiroyuki Fujiwara⁴

1.国際航業株式会社、2.応用地質株式会社、3.伊藤忠テクノソリューションズ、4.防災科学技術研究所
1.KOKUSAI KOGYO CO., LTD., 2.OYO Corporation, 3.CTC, 4.NIED

防災科研は、日本全国の沿岸において想定される津波ハザードの確率論的な評価を行うための手法の検討を平成24年度から着手した（藤原・他、2013、JpGU）。全国をいくつかの地域に分け、それぞれの地域の沿岸全域の津波高さ（ハザード）を、日本周辺海域で津波波源となる可能性のある全ての地震を対象に津波予測計算し、確率論的に評価するものである（平田・他、2015、JpGU）。本研究では、南海トラフ沿いで発生する地震を対象に津波予測解析を実施し、鹿児島から千葉県までの沿岸での解析結果を整備したデータセットについて紹介する。

考慮する地震は津波を起こし得る地震を対象にしているため、海溝から沈み込むプレートの境界やその近くで発生する地震を主に扱うこととした。海域活断層についてはその正確な位置や過去の地震活動が調べられていないものが多いため現在別途検討中であり対象外とした。プレート境界やその近くで発生する海溝型の大地震に加え、プレート境界近傍で発生すると考えられる巨大地震や、震源の特定が困難な中小地震も対象とした。南海トラフ沿いの断層の種類は、長期評価で例示された南海トラフの地震をトラフ軸方向に6つ、プレート沈み込み方向に3つの計18領域に分割し、その組み合わせから想定震源域を、東海地域と南海地域のプレート境界が同時破壊する場合と、東海地域と南海地域に2つの地震が時間差を置いて発生する場合の15種類に分類した。その15種類の想定震源域に対し1442個の特性化波源断層モデルを設定した（遠山・他、2015、JpGU；平田・他、2015、地震学会）。その内訳は、①基本モデルの地震として、既往研究に基づき過去に起きた大地震の大すべり域の位置・形状を参照した24個、②拡張モデルの地震として、既往研究から推定される大すべり域以外の大すべり域を様々な位置に配置することで、すべり分布の多様性を考慮した1411個、③再現モデルの地震として、長期評価された地震のうち、宝永地震タイプ3個、南海地震タイプ2個と東南海地震タイプ2個である。また、15種類の想定震源域以外の70種類の震源域に対し2455個の拡張モデルも設定した。

これら3897波源を使い津波予測解析を実施した。震源域から沿岸域までを一括して計算するため、外洋から陸域に近づくほど細かい格子間隔となるように計算領域を細分化し、各計算領域の格子間隔を外洋部から順に1350m、450m、150m、50mで接続した。津波伝播解析の支配方程式として海底摩擦及び移流を考慮した二次元非線形長波理論式を考え、Staggered grid, Leap-frog差分法で解いた。境界条件としては、海域では完全無反射の透過境界を、陸域では遡上を考慮した。初期水位は、鉛直方向と水平方向の地殻変動成分を考慮し計算し、海底地盤変動量はOkada (1992) を用いて計算した。

このように実施した予測解析結果を、沿岸の最大津波水位のデータセットとして整備する。これらのデータセットは、不確実性の見積もりや不確実性を考慮した沿岸の津波ハザード評価の検討（阿部・他、2015、JpGU）で利用されるなど、確率論的な基礎研究などへ貢献できる。今後、幅広い利用促進に向けたデータベースの検討などにも取り組む。

本研究は、防災科研の研究プロジェクト「全国を対象とした津波ハザード評価」の一環として実施した。

キーワード：津波ハザード評価、津波解析、南海トラフ、データベース

Keywords: Probabilistic tsunami hazard assessment (PTHA), Tsunami simulation, the Nankai Trough, Database

波源断層モデルの多様性を考慮した南海トラフの確率論的津波ハザード評価

Probabilistic Tsunami Hazard Assessment along the Nankai Trough considering the diversity of earthquake fault models

*阿部 雄太¹、是永 真理子¹、秋山 伸一¹、松山 尚典²、村田 泰洋³、平田 賢治⁴、藤原 広行⁴

*Yuta Abe¹, Mariko Korenaga¹, Shinichi Akiyama¹, Hisanori Matsuyama², Yasuhiro Murata³, Kenji Hirata⁴, Hiroyuki Fujiwara⁴

1.伊藤忠テクノソリューションズ株式会社、2.応用地質株式会社、3.国際航業株式会社、4.防災科学技術研究所

1.ITOCHU Techno-Solutions Corporation, 2.OYO-corporation, 3.KOKUSAI KOGYO CO., LTD, 4.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

防災科研において2012年度から開始した全国を対象とする津波ハザード評価業務「全国津波ハザード評価」の一環として、将来南海トラフ沿いで発生すると考えられる地震について、震源の多様性などの様々な不確実さを考慮した上で津波の危険性を定量的に評価するため、確率論的津波ハザード評価を実施した。

従来の南海トラフの地震の長期評価では、「ほぼ同じ領域で同様の規模の地震が繰り返し発生する」という固有地震モデルに基づいて評価されてきたが、2011年東北地方太平洋沖地震の発生を機に、地震調査委員会（2013）は発生し得る最大クラスも含めた地震の多様性を考慮した評価に改めた。同委員会は南海トラフの震源域をトラフ軸と平行方向に6つのセグメントに分けた上で、セグメント間の連動を考慮して15種類の想定震源域を例示している。我々はこれまでに、15種類の想定震源域に対してそれぞれすべり不均質パターンの異なる複数個の波源断層モデルを設定し（遠山ほか、2015）、数値計算によって沿岸での最大津波水位を求め、これに発生確率を設定して津波ハザード評価を実施した（平田ほか、2015、是永ほか、2015）。

同委員会の想定震源域は過去に南海トラフで発生した地震の震源域を元に例示されたものであるが、同委員会も認めているとおり、次の南海トラフの地震は例示された15種類の想定震源域とは異なるパターンで発生することも考えられる。すなわち、過去に発生が確認されていないような震源域パターンの地震も評価に含める必要がある。そこで、本研究では15種類の想定震源域に加えて70種類の震源域を新たに設定し確率論的津波ハザード評価を実施した。その結果、震源域の組み合わせの総数は85パターン、波源断層モデルは合計3928個となった。

各波源断層モデルで表される地震に対する重み設定方針は、まず15種類の想定震源域に対して、全国地震動予測地図2014年版（地震調査委員会、2014）における重み分配の考え方と同様に、過去に発生した地震を参照して重みを設定した。次に、想定震源域以外の地震の中で東西方向の連動領域数が3連動以上のものを、想定震源域の地震の一部と見なして重みを分配した。東西方向の連動領域数が2連動以下のものは、震源を予め特定するのが困難な地震として、GR則に基づいて発生確率を与えた。

最後に、評価結果の空間的な分布を得るため、全沿岸地点で津波高さのハザードカーブを計算し、ハザードカーブから30年超過確率の値を参照して沿岸最大津波水位の値を求め、ハザードマップを作成した。参照する30年超過確率の値としては、是永(2015)と同様の試みとして、南海トラフで発生する地震の30年発生確率を100%とした場合の50.0%、15.87%、2.28%に相当する値を選択した。これらの値は、南海トラフの地震による最大津波水位の条件付き確率密度分布が対数正規分布に従うと仮定した場合に、それぞれ対数正規分布の平均値、平均値+1 σ 、平均値+2 σ に相当する値である。

キーワード：津波ハザード評価、確率、南海トラフ、長期評価、津波解析

Keywords: tsunami hazard assessment, probability, Nankai trough, long-term evaluation, tsunami simulation