

ポスター会場（2日目） | 一般セッション：S17. 津波

■ 2019年9月17日(火) 17:00 ~ 18:30 | 会場 時計台国際交流ホールII・III
S17P

17:00 ~ 18:30

[S17P-01] 2018年インドネシア・パル津波の複数の種類の津波記録から推定された海底地すべり源

*中田 健嗣¹、勝間田 明男¹、Muhari Abdul² (1. 気象庁気象研究所、2. インドネシア海洋水産省)

17:00 ~ 18:30

[S17P-02] 南海トラフ巨大地震検討に向けた1854年安政東海地震の津波解析

*宇野 花蓮¹、谷岡 勇市郎¹、山中 悠資² (1. 北海道大学地震火山研究観測センター、2. 東京大学社会基盤学専攻)

17:00 ~ 18:30

[S17P-03] 理論津波波形を用いた断層すべり分布のインバージョンの検討

*中村 嘉孝¹、吉岡 祥一^{2,1}、馬場 俊孝³ (1. 神戸大学 大学院 理学研究科 惑星学専攻、2. 神戸大学 都市安全研究センター、3. 徳島大学 大学院社会産業理工学研究部 社会基盤デザイン系)

17:00 ~ 18:30

[S17P-04] 日本近海に設置された海底圧力計が捉えた2010年チリ地震に伴う地震レイリー波と津波の群速度分散

*久保田 達矢¹、齊藤 竜彦¹、近貞 直孝¹、鈴木 亘¹ (1. 防災科研)

17:00 ~ 18:30

[S17P-05] DONET水圧計記録のアレイ解析による津波位相速度の計測

*水谷 歩¹、蓬田 清² (1. 北海道大学大学院理学院、2. 北海道大学大学院理学研究院)

17:00 ~ 18:30

[S17P-06] MT/CMT解を用いた東日本太平洋沿岸域の津波予測

豊田 晶大¹、*河原 純¹、齊藤 竜彦² (1. 茨城大学大学院理工学研究科、2. 防災科学技術研究所)

17:00 ~ 18:30

[S17P-07] 北太平洋を波源とする遠地津波振幅の時間推移

*山本 剛靖¹ (1. 気象庁気象研究所)

17:00 ~ 18:30

[S17P-08] 岩手県山田町における1896年明治三陸地震津波の人的被害

*行谷 佑一¹、蝦名 裕一²、今井 健太郎³ (1. 国立研究開発法人 産業技術総合研究所、2. 東北大学 災害科学国際研究所、3. 海洋研究開発機構)

17:00 ~ 18:30

[S17P-09] 北海道霧多布湿原における13世紀および17世紀頃の海岸地形復元と津波堆積物調査

*伊尾木 圭衣¹、澤井 祐紀¹、行谷 佑一¹、谷川 晃一朗¹、松本 弾¹、中村 淳路¹、嶋田 侑真^{1,2} (1. 産業技術総合研究所地質調査総合センター、2. 筑波大学)

17:00 ~ 18:30

[S17P-10] 日本海東縁部の北海道沖・東北沖で20世紀に発生した地震の津波断層モデルの検証

*室谷 智子¹、佐竹 健治²、石辺 岳男³ (1. 国立科学博物館、2. 東京大学地震研究所、3. 地震予知総合研究振興会)

17:00 ~ 18:30

[S17P-11] 津波シナリオ作成のためのランダム不均質断層すべり分布の導入

*中野 優¹、Murphy Shane²、縣 亮一郎¹、五十嵐 康彦³、岡田 真人³、堀 高峰¹ (1. 海洋研究開発機構、2. Ifremer, France、3. 東京大学新領域創成科学研究科)

2018年インドネシア・パル津波の複数の種類の津波記録から推定された海底地すべり源

Submarine landslide sources estimated by multiple types of tsunami records of the 2018 Palu tsunami, Indonesia

*中田 健嗣¹、勝間田 明男¹、Muhari Abdul²

*Kenji Nakata¹, Akio Katsumata¹, Abdul Muhari²

1. 気象庁気象研究所、2. インドネシア海洋水産省

1. Meteorological Research Institute (MRI), Japan Meteorological Agency (JMA), 2. Ministry of Marine Affairs and Fisheries, Indonesia

2018年スラウェシ島の地震後にパル湾沿岸を津波が来襲し、甚大な被害を生じた。先行研究では、地震時の断層運動に基づく津波の高さは、現地調査の遡上高さを説明できず、海底地すべりの可能性も指摘されている (Heidarzadeh et al. 2018)。これまでに、津波の観測記録として、現地調査高さ (e.g., Muhari et al. 2018; BMKG 2018; Omira et al. 2019)、検潮所での波形記録の他にビデオ映像を基にした波形も報告されている (Carvajal et al. 2019)。本研究では、津波源を地すべりによるものに起因させ、津波の二次元計算により津波の記録を説明しうる海底地すべり源を探索した。その結果、ビデオ映像と現地調査高さに合うモデルとして、3つの波源モデルの組み合わせ (放物面の半径がそれぞれ1.6km、1km、0.6km) が推定された。これは、地震後しばらくの時間をおいて発生させたものを含む。ただし、このモデルでは、検潮所での津波の振幅に矛盾はないものの、振幅の大きい波の到達時刻は合わない。本研究により、沿岸付近の海底の斜面での局所的な小さい海底地すべりが、地震直後のパル湾内での短い周期の大きな波を説明しうることを示した。

南海トラフ巨大地震検討に向けた1854年安政東海地震の津波解析 Source model of 1854 Ansei-Tokai earthquake using tsunami waveform to understand a future Nankai earthquake

*宇野 花蓮¹、谷岡 勇市郎¹、山中 悠資²

*Karen Uno¹, Yuichiro Tanioka¹, Yusuke Yamanaka²

1. 北海道大学地震火山研究観測センター、2. 東京大学社会基盤学専攻

1. Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, 2. Department of Civil Engineering, The University of Tokyo

The great earthquake has repeatedly occurred at the Nankai Trough subduction zone and has caused severe disasters in southwest Japan. Existing studies indicated that the 1944 Tonankai earthquake re-ruptured the large slip area of the 1854 Ansei-Tokai earthquake except the plate interface along the Sagami trough (Tokai area). However, recent studies also showed the large variability of the rupture models for repeated great earthquakes in this region. Although the source process of the 1944 Tonankai earthquake has been studied vigorously using the seismological data and tsunami records, that of the 1854 Ansei-Tokai earthquake has been insufficiently discussed because of the lack of quantitative instrumental data. A tsunami generated by the 1854 earthquake, on the other hand, arrived at San Francisco, USA, and was observed at the tide gauge station of San Francisco. This study, therefore, examined the source process of the 1854 Ansei-Tokai earthquake using the observed tsunami waveform.

We fixed the fault length of 115km, fault width of 70km, and the slip amount of 4m along the Sagami trough and also the fault length of 150km, fault width of 61.4km, and the slip amount of 4m at deeper part of the plate interface in Nankai trough as same as a previous study, suggested by Ishibashi (1981), so the surveyed coseismic crustal deformation data should be explained. A slip amount of the shallower part of the plate interface near the trough was set to be an unknown parameter. Next, a tsunami propagation due to the above fault models was simulated based on a linear dispersive model. Then, we applied a wave dispersion curves estimated by Watada et al. (2014) to consider seawater compressibility, the elasticity of the Earth, and geopotential perturbations for a far-field tsunami simulation. To estimate the slip amount of the shallower fault, the observed tsunami waveform at San Francisco was compared with the computed ones. Because the earthquake occurred in 1854, the origin time of the earthquake was not accurately observed. Bache (1856) indicated that the Russian Frigate *Diana*, which was buffeted by tsunami at Simoda, felt shake at a quarter past nine. To determine the origin time of the 1854 earthquake and the slip amount of the shallow fault, we shifted computed waveform at 1-minute intervals and calculated RMSE between computed and observed tsunami waveforms.

The result (Figure1) showed that the slip amount at the plate interface near the trough was 5m, larger than the slip amount of 4 m at the deeper part of the fault model, and the earthquake were assumed to occurred at 9:29am which is consistent with the origin time suggested by Bache (1856). This indicated that the large slip area of the 1854 earthquake was different from that of the 1944 earthquake estimated by the previous studies. Especially, the shallow part of the plate interface ruptured by the 1854 earthquake was not re-ruptured by the 1944 earthquake. The stress may have been accumulated at that part of the plate interface since 1854.

References

1. Watada, S.; Kusumoto, S.; Satake, K, Traveltime delay and initial phase reversal of distant tsunamis coupled with the self-gravitating elastic Earth, *J. Geophys. Res.*, 119, doi:10.1002/2013JB010841, 4287--4310, 2014.
2. A. D. Bache, Notice of Earthquake Waves on the Western Coast of the United States, on the 23d and 25th of December, 1854, *American Journal of Science and Arts.*, Vol. XXI., 1856.

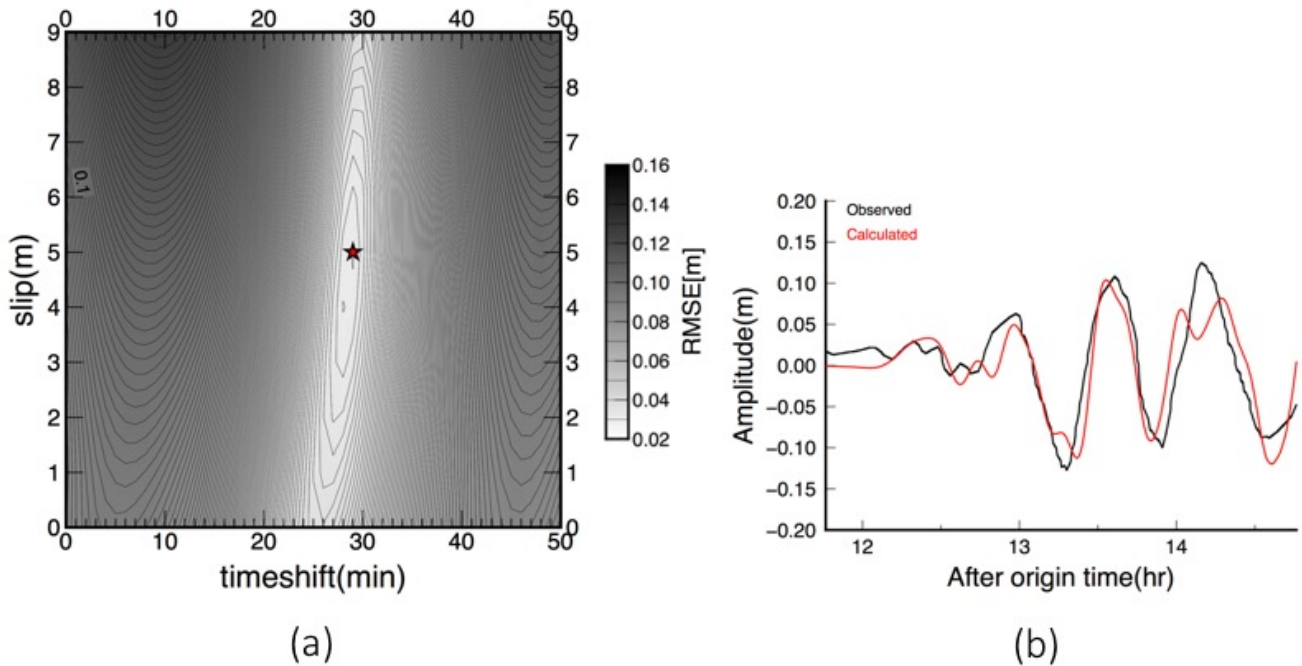


Figure1. (a) Distribution of RMSE at interval of slip amount 1m and timeshift 1min. The lowest RMSE residual is about 0.03m when we assumed the slip amount is 5m and the timeshift is +29min (red star). (b) Comparison of the computed waveform with the observed waveform at San Francisco.

理論津波波形を用いた断層すべり分布のインヴァージョンの検討

Investigation on fault slip inversion using theoretical tsunami waveforms

*中村 嘉孝¹、吉岡 祥一^{2,1}、馬場 俊孝³

*Yoshitaka Nakamura¹, Shoichi Yoshioka^{2,1}, Toshitaka Baba³

1. 神戸大学 大学院 理学研究科 惑星学専攻、2. 神戸大学 都市安全研究センター、3. 徳島大学 大学院社会産業理工学研究部 社会基盤デザイン系

1. Department of Planetology, Graduate School of Science, Kobe University, 2. Research Center for Urban Safety and Security, Kobe University, 3. Graduate School of Science and Technology, Tokushima University

1. はじめに

本研究では、極座標系において、津波の理論波形を計算し、断層のすべり量分布を求める線形インヴァージョンプログラムを作成した。ここでは、線形長波、線形分散波、さらには、非線形長波、非線形分散波のそれぞれに対して、その精度の検討を行った。津波波形の計算にはオープンソースのJAGURS (Baba et al., 2015) を利用した。さらに、非線形長波の理論波形を観測データとして、線形長波でグリーン関数を計算した場合のインヴァージョン結果についても評価を行った。

2. 方法とモデル

まず、断層面上のすべり分布によって生じた津波が、断層面を格子状に区切った複数の各小断層でのすべりによって生じる津波波形を断層面全体にわたって足し合わせることで表現できるものと仮定した。ここでは、大断層、及び各小断層のすべり角は既知として、同一の値を与えた。このとき、を大断層でのすべり分布に伴う各観測点での理論津波波形(既知量)、を各小断層での単位すべりによって生じる各観測点での理論津波波形(グリーン関数、既知量)、を各小断層でのすべり量(未知量)とすると、これらは \mathbf{G} の行列の関係式で書き表すことができる。両辺に左からグリーン関数の行列の転置行列をかけ、ガウスの消去法を用いることによって、未知パラメータを求めた。

本研究では、関東地方の沖合いの海底地形を用い、観測点は、銚子漁港、布良、八丈島(神湊)、南伊豆の4点とした。房総沖の海底地形データとしてGEBCOの30秒データを使用した。非線形分散波の場合は、それに加えて、沿岸部をより細かく区切る地形ネ스팅のために、2011年東北地方太平洋沖地震後に内閣府の南海トラフ巨大地震モデル検討会で用いられたメッシュデータを沿岸部に適用した。提供されているデータのうち日本平面直角座標系第9系の30m、90m、270mの3種類のメッシュデータを使用した。元のデータは直交座標系であるが、GEBCOと組み合わせるためにXYBL TOOL4を用い、緯度・経度へ変換して使用した。断層を房総半島沖合いに配置し、断層パラメータは、断層の長さ250 km、断層の幅125 km、深さ0 km、傾斜角20°、すべり角90°、走向190°とし、すべり量は1.0 mと0.0 mを格子状(チェッカーボード)に与えた。断層面を5×5の25個の50 km×25 kmの大きさの小断層に区切り、4観測点での津波の理論波形を4000秒まで計算し、第1波のみを用いたインヴァージョンを行った。

3. 結果と考察

線形長波、線形分散波、非線形長波、非線形分散波のそれぞれの場合に対して、各小断層でのすべり量25個を未知数とするチェッカーボードテストを行ったところ、これら4種類のいずれの津波の場合でも、小数点以下3桁の精度で解を求めることができた。ちなみに、非線形長波と非線形分散波の場合で、4000秒までの波形を用いてインバージョンを行ったところ、正しい解を得ることはできなかった。これは、非線形の津波データを用いて、線形インバージョンのスキームで問題を解こうとしたためと考えられる。別の言い方をすれば、非線形長波や非線形分散波であっても、第1波のみを用いることで、線形性が成り立ち、線形インバージョンのスキームで解くことができることを示している。

また、非線形長波で上記のを、線形長波で上記のを計算して、第1波のみを用いたインバージョンを行ったところ、との理論波形は、多少の誤差はあるものの両者でほぼ一致し、与えたすべり量と得られたすべり量も、小数点以下1桁の精度で一致した。このことは、上記のような海岸に観測点が位置している場合で、非線形長波を仮定して得られた津波波形に対して、線形長波でグリーン関数を計算して、第1波のみを用いてインバージョンを行った場合、断層面上で概ね正しいすべり分布を求めることができる、ということを示唆している。

謝辞：末永伸明氏（神戸大学）には、JAGURSの動作に関する技術的支援を頂きました。また、長田史應氏（大阪大学）には、海底地形のデータを使用させて頂きました。記して感謝致します。

日本近海に設置された海底圧力計が捉えた2010年チリ地震に伴う地震レイリー波と津波の群速度分散

Group velocity dispersion of teleseismic tsunami and seismic Rayleigh wave observed by ocean bottom pressure gauges installed off Tohoku

*久保田 達矢¹、齊藤 竜彦¹、近貞 直孝¹、鈴木 亘¹

*Tatsuya Kubota¹, Tatsuhiko Saito¹, Naotaka Chikasada¹, Wataru Suzuki¹

1. 防災科研

1. NIED

沖合で発生した地震に伴う津波の観測には、沿岸の検潮記録が古くから用いられてきた (e.g. Satake & Kanamori 1991 PAGEOPH). 1980年代になると海底圧力計が海域に展開されるようになり、津波の観測に用いられてきた (e.g. Rabinovich & Eblé 2015 PAGEOPH). このように海底圧力計は津波、あるいは海底の地殻変動の観測を主目的として展開されてきたが、近年、海底圧力計の観測記録のうち、海洋音響波の卓越周期 (~10 s) より低い周波数帯域の成分は海底上下動加速度に比例することが理論的に示され (e.g. An et al. 2017 GRL; Saito 2019 Springer Geophys), 海底圧力計が海底上下動加速度計として活用可能であることが示されつつある (Kubota et al. 2017 GRL).

巨大地震に伴う津波が海底圧力計で観測されるという事例はこれまで数多く報告されている (e.g. Saito et al. 2010 GRL). Saito et al. (2010) は、日本近海海底圧力計によって観測された2010年チリ地震 (Mw8.8) による津波には、短周期の波ほど遅れて到達する津波分散性を確認した。しかし、海底の地震動に起因する圧力変動については詳細に調べられていなかった。本研究では、2010年チリ地震について、日本近海での海底圧力計の記録に観測点の記録を解析し、かつ、沿岸検潮記録など他の記録と比較を行い、海底圧力計により捉えられているシグナルの成因について詳細に検討した。

本研究では、釧路沖、室戸沖、相模湾に展開されたケーブル式海底圧力計 (Eguchi et al. 1998 MGR; Hirata et al. 2002 IEEE Journal) および東北大学により設置された自己浮上式海底圧力計 (e.g. Kubota et al. 2017 EPJL) の記録を用いた。潮汐成分を取り除くため1Hzサンプル波形記録にカットオフ3時間のハイパスフィルタを適用し、スペクトログラム (1024sの時間窓を10sずつ移動してフーリエスペクトルを計算) を作成した。

海底圧力計のスペクトログラムでは、地震発生から24-72時間後にかけて、明瞭な分散性を示す波群 (周期 ~60-1000秒) が確認できる。これはSaito et al. (2010) で指摘されものと同じく、津波による圧力変動であり、チリから日本までの平均水深4 kmと伝播距離約17000 kmを考慮することにより説明できた。さらに、地震発生から約20分後に周期 ~5-15秒程度の波群が到達する。波群の初動の到達時刻は、近傍の沿岸に設置されたF-net陸上地震計に到達するP波到達時刻とよく一致することから、これらの波群は実体波 (body wave) に伴う圧力変化と考えられる。さらに、地震から約70分後に明瞭な分散性を示す波群 (周期 ~10-50 s) が観測された。この波群について、AK-135構造モデル (Kennet et al. 1995 GJI) から期待される地震波レイリー波の群速度によりこの分散性が非常によく説明できた。したがって、この波群はレイリー波による海底の上下動加速度に由来する動圧変動である。

比較のため、沿岸の検潮記録についても同様の手順でスペクトログラムを計算したところ、津波の分散性は明瞭に確認できなかった。これはサンプリング間隔が粗い (~30-60秒) ことと、沿岸地形などのサイト効果 (e.g. Geist 2018 PAGEOPH) が原因と考えられる。F-net陸上地震計の記録においては、実体波・レイリー波によるシグナルは明瞭に確認できたが、上下動成分から津波の分散性は確認できなかった。

これまで、海底圧力計は、沿岸地形の影響を受けないことから津波波動現象の理解に貢献してきた (Saito 2019)。海底圧力計は遠地地震による表面波の分散性も詳細に捉えていたことから、海域における地震波動現象の理解にも貢献しうること示している。さらに、震源域の直上に圧力計がある場合には海底永久変位も観測可能であることを考えると、海底圧力計は非常に広い周波数帯域での地震現象を観測可能である。地震の発生から地震波の伝播および津波の発生から伝播までの地震現象の一連の過程を詳細に調べるためには、海底圧

力計が重要な役割を果たすことを示している。

謝辞：本研究ではJAMSTECと東北大学と防災科学技術研究所の海底圧力計，国土地理院と海上保安庁の沿岸検潮の記録を使用しました。記して感謝いたします。

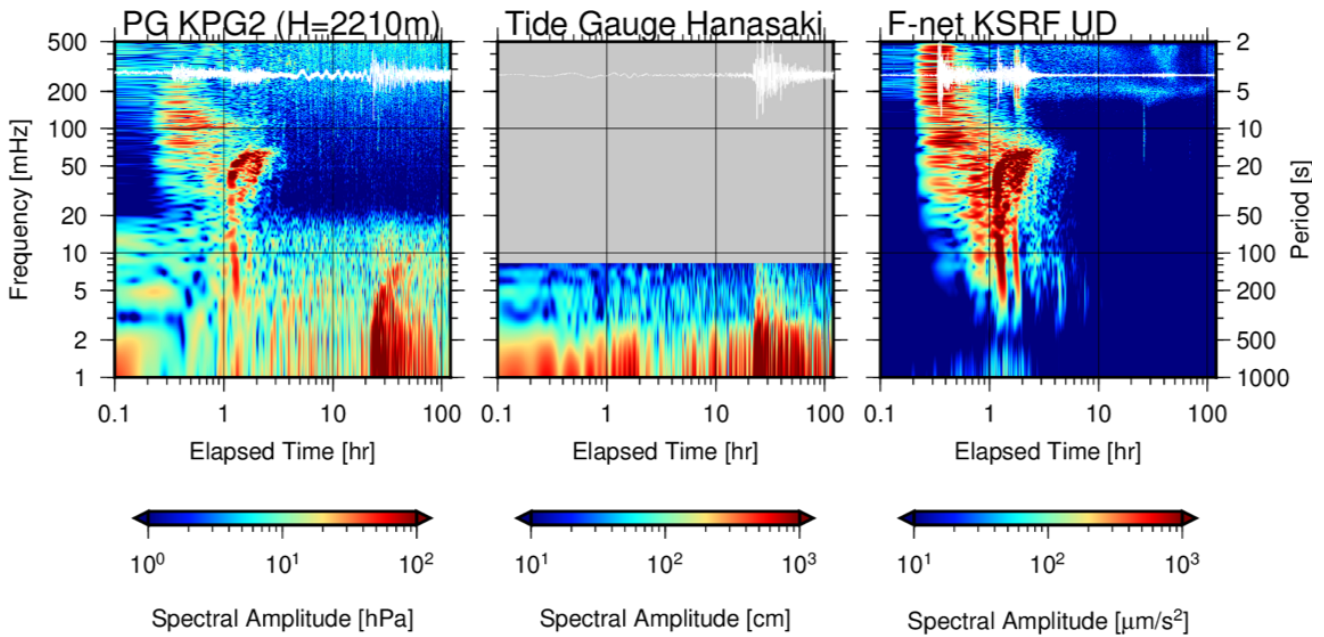


図. 2010年チリ地震に伴う，釧路沖海底圧力計KPG1，花咲港における沿岸検潮記録 (60sサンプリング)，F-net釧路観測点の上下動加速度記録のスペクトログラム。観測波形に3時間のカットオフのハイパスフィルタをかけた波形 (振幅は規格化してある) も同時に示した。

DONET水圧計記録のアレイ解析による津波位相速度の計測

Array based measurements of tsunami phase speed with DONET OBP records

*水谷 歩¹、蓬田 清²

*Ayumu Mizutani¹, Kiyoshi Yomogita²

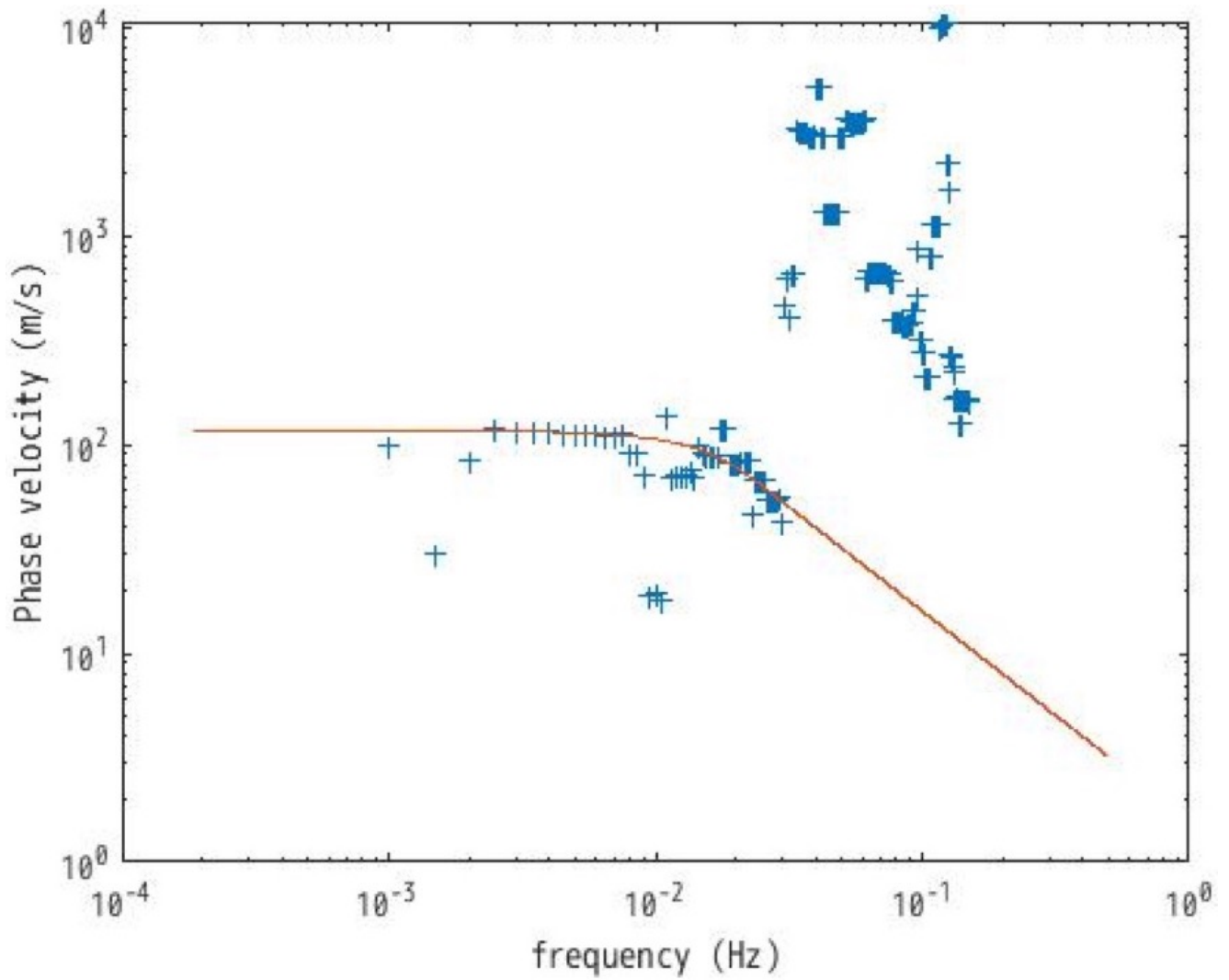
1. 北海道大学大学院理学院、2. 北海道大学大学院理学研究院

1. Graduate School of Science, Hokkaido University, 2. Faculty of Science, Hokkaido University

日本列島太平洋沖に整備されているDONETやS-netといった広域かつ稠密な沖合津波観測網によって、津波の発生・伝搬を面的に捉えることが可能になりつつある。つまり、従来地震学などの分野で多く用いられているアレイ解析手法が津波記録にも適用可能な状況となった。

本研究では、2016年4月1日に三重県南東沖で発生したMw6.0の地震によるDONET2水圧計の記録についてアレイ解析をおこない、津波の位相速度を計測した。計測には表面波の計測手法のひとつであるAki (1961) の多点法を用いた。このとき、散乱によるコーダ波の影響を小さくするために、理論群速度と震央距離から直達波のみと考えられる時間窓で波形の切り出しをおこなった。この手法はアレイ内で地震波が大円方向に伝搬する平面波として扱えることを仮定している。そのため、DONET2内でこの条件に大きく外れない観測点を選択するために、観測網が展開されている領域で波線追跡をおこない、水深の変化で波線が複雑に交錯していないことを確認した。波線追跡には、Satake (1988)と同様に表面波の波線追跡法を適用した。

得られた位相速度の分散曲線を図に示す。0.03 Hzより長周期の周波数帯では、津波の理論位相速度（使用した観測点の平均水深1356 mに対する線形長波理論による、実線）とよく一致し、精度よく測定できることがわかった。それより短周期帯では、理論速度と比べて最大2桁程度大きな位相速度が得られた。海底水圧計には、海面変動である津波だけでなく海底加速度変化（海水からの反作用）や海洋音響波（海中P波）が記録されることが指摘されており（例：Saito and Tsushima, 2016）、特に海底加速度変化は、0.1 Hz付近の周波数帯で観測されている（例えばMatsumoto, 2012）。したがって、0.03 Hzより短周期では、主に地震表面波が位相速度1~4 km/sで伝搬しているものを検出していると考えられる。一方で、見かけ速度が10 km/sを超えるものがあるが、これは地震表面波の散乱波が、波形切り出しのときに仮定している大円経路とは別方向（特に、大円と直角方向）から入射してくるために生じているものだと考えられる。DONETには地震計も設置されているので、それと組み合わせることで、津波成分のみを抽出できる可能性がある。



図：理論位相速度(実線)と測定した位相速度(+)

MT/CMT解を用いた東日本太平洋沿岸域の津波予測

Near-field tsunami forecast based on MT/CMT data for the Pacific coast of eastern Japan

豊田 晶大¹、*河原 純¹、齊藤 竜彦²

Akihiro Toyoda¹, *Jun Kawahara¹, Tatsuhiko Saito²

1. 茨城大学大学院理工学研究科、2. 防災科学技術研究所

1. Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University, 2. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

はじめに

地震による津波の波高や浸水域を即時予測するために、多様な手法が提案されている。例えば、多数の津波伝播シミュレーションの結果をデータベース化して検索する方法(館畑1996, 近貞・他2019)、沖合津波計などのデータを用いた津波の初期波形の逆解析と伝播の順解析(Tsushima et al. 2009, 2014)やデータ同化による順解析(Maeda et al. 2015, Wang et al. 2017)、沖合に対する沿岸の波高増幅率を求める方法(Baba et al. 2004, 2014)などである。一方、Inazu et al. (2016)はSWIFTシステム(Nakano et al. 2008)で自動決定されたCMT解に基づいて波源域を設定して津波伝播を計算するシステムを開発し、海外3地域で発生した津波の予測値と観測値の比較を行った。中村・他(2017)はAQUAシステム(松村・他2006)によるMT/CMT解を用いて、速報性に重点を置いた予測システムを開発した。これらの研究では線形長波近似に基づく差分計算を行っており、遡上・浸水の予測は行っていない。

本研究では、東日本太平洋沿岸域を対象として、Inazu et al. (2016)と同様な手法による津波予測を行い、観測値との比較検討を行った。またMw等のパラメータの違いが結果に与える影響を検討した。データにはAQUA-MT/CMT解を使用し、津波の計算には移流や海底摩擦も考慮した非線形長波近似に基づく差分法(Saito et al. 2014)を使用した。

データと手法

解析には、東日本太平洋沖で発生し、津波が観測されたMw 6.5–7.2の7つの地震のMT/CMT解を用いた。Inazu et al. (2016)に準じて、1つのMT/CMT解に対し、宇津(2011)またはMurotani et al. (2013)のスケーリング則に基づき、それぞれ2つの共役断層面のモデルを設定した。これらの計4つの断層モデルのそれぞれについて津波の初期波形を推定し、津波伝播シミュレーションを行った。計算に際してはInazuらと同様、ETOPO1 (Amante and Eakins 2009)の海底地形データを用いた。ただし彼らがデータを5分角間隔でリサンプルしたのに対し、本研究では予測精度向上のため500 m間隔にリサンプル(内挿)したものを利用した。計算結果を、東日本太平洋側の沿岸・沖合の各種観測点の水位データと比較した。

結果

沿岸の験潮場・検潮所で観測された最大波高データを予測値と比べた結果をFig.1に示す。予測値は観測値の3–1/3倍の範囲に概ね収まっており、Inazu et al. (2016)の同様な比較の結果(5–1/5倍)に比べて精度の

向上が見られたが、全体としてやや過小評価の傾向も認められた。Fig.2はNOWPHASの沖合GPS波浪計データに関する同様な比較の結果である。この場合は予測値が概ね観測値の2-1/2倍の範囲に収まっており、Inazuらの結果と同等であった。なお、第1波の到来時間については、全体として観測より計算結果の方が若干早い（数-10分）傾向が見られた。

予測結果に対するモデルパラメータの誤差の影響を見るために、各パラメータを若干変動させる実験も行い、断層モデルを規定するMwや震源/セントロイドの深さの誤差が波形や波高に有意な影響を及ぼすことを確認した。特に沿岸での波形の場合、観測点の位置の小さな誤差（例えば1グリッド間隔のずれ）が結果に大きな影響を与えることが示された。これは沿岸付近の地形データの空間解像度が予測精度に強く効くことを示唆する。今後、遡上・浸水を伴うケースについても検討する。

謝辞

防災科学技術研究所が提供するAQUA-MT/CMT解および地殻変動計算プログラム(Okada 1992)、米国NOAAのETOPO1データ、国土地理院の験潮場の波形データ、気象庁の検潮所の最大波高データ、国土交通省港湾局NOWPHASのGPS波浪計による波形データを使用させていただきました。

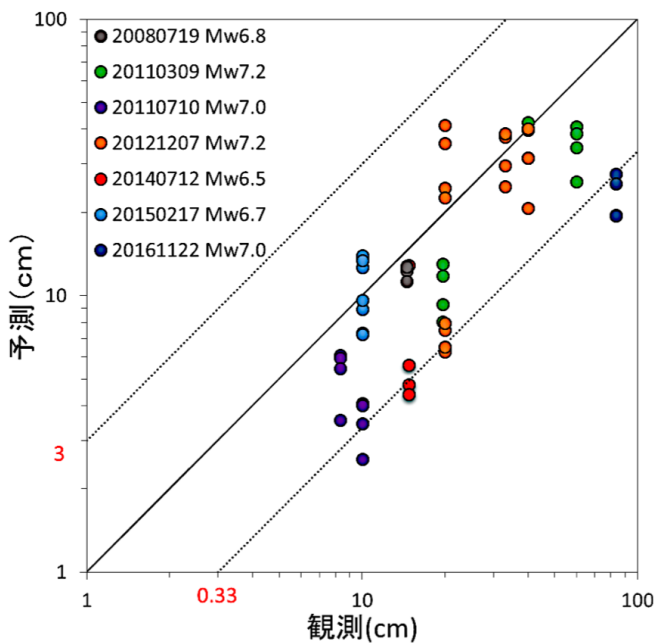


Fig. 1

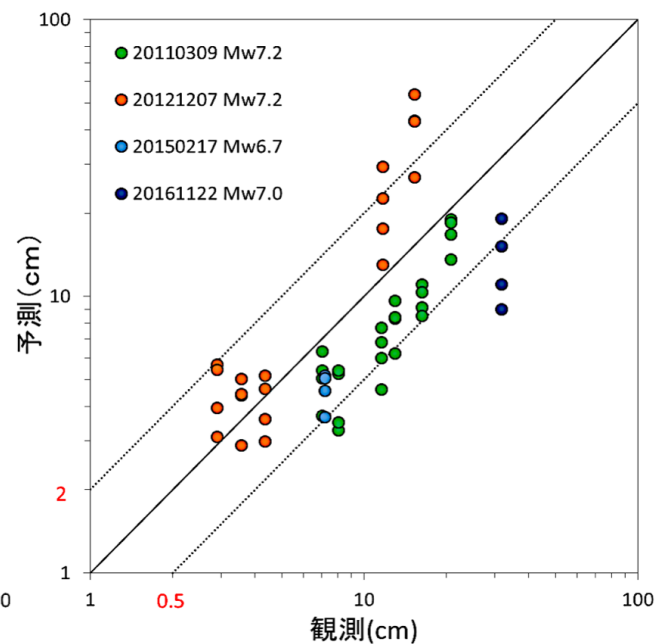


Fig. 2

北太平洋を波源とする遠地津波振幅の時間推移

Far-field Tsunami Decay Processes in the Cases of North Pacific Ocean

*山本 剛靖¹

*Takeyasu Yamamoto¹

1. 気象庁気象研究所

1. Meteorological Research Institute

山本・他(2018, JpGU)は、南米チリ及びペルー沿岸を波源とし日本に到達した遠地津波の振幅時間変化について、林・他(2010)によるMRMS振幅を用いて調査した結果、第1波到達時刻から12時間後まで(初期部)の津波振幅の増加・減少の様相がチリ中部沿岸とチリ北部沿岸・ペルー沿岸とで異なる一方、12時間後以降(後期部)の減衰の様相は両者似通っていて、その大きさは地震のマグニチュードと相関があることを示した。次に山本(2018, 地震学会)は、南太平洋西部を波源とする場合について同様の調査を行い、初期部の様相が、サンタクルーズ諸島付近がチリ中部沿岸型、サモア諸島付近がペルー沿岸型に似ており、パプア・ニューギニア北部沿岸は異なること、後期部の様相は南米沖の事例と概ね整合することを示した。しかし、後期部の減衰過程における津波振幅と地震のマグニチュードとの関係については、調査対象とした地震の大半がMw7.0~8.4の範囲で、2010年チリ中部沿岸(Mw8.8, ここまでMwはGCMTによる)や1960年のチリ地震(Mw9.5)との間が空いていること、他の海域を波源とする事例について明らかでないことが課題であった。そこで、北太平洋を波源とする巨大地震津波を対象として津波振幅の増加・減少の様相を調査した。調査の対象とした地震津波は、1952年カムチャツカ半島(Mw9.0)、1957年アリューシャン・アンドレアノフ諸島(Mw8.6)、1964年アラスカ(Mw9.2)、1965年アリューシャン・ラット諸島(Mw8.7)の4例である(MwはUSGSのまとめによる)。花咲、函館、宮古、小名浜、高知における地震後5~7日間程度の検潮記録から1分間隔の読取値を用い、これまでの調査と同じく時間幅64分のMRMS振幅を計算した。ただし、1957年の事例については、対象期間中の背景潮位変動が大きく、増加・減衰過程を十分に明らかにできなかったため、以下の検討対象からは外した。

南米沖及び南太平洋西部を波源とする津波のMRMS振幅変化の様相が第1波到達から数時間のうちに最大値となって減衰過程に移行していくのとは異なり、北太平洋を波源とする津波のMRMS振幅は、ゆっくりと増加して突出した最大を示さない状態が第1波到達から12時間以上継続した後、減衰していく。特に、1964年アラスカの事例では第1波到達から48時間後近くまで高い状態が継続してからようやく減衰していくように見える。1964年アラスカについては、Hatori(1965)が日本における最初の48時間の検潮データから減衰が極めて小さいと述べ、Van Dorn(1984)が北東太平洋の検潮データから初期部の変化が他の事例と比べて特異だとしている。Van Dorn(1984)はまた40時間程度経過後の減衰が他の事例と大きな違いはないことを示している。日本の検潮データからは減衰開始後、背景潮位変動を上回っている期間が短いため定量評価は難しいが、2010年チリ中部沿岸とほぼ同程度の推移を示す。

地震のマグニチュードと減衰後期部の津波振幅の大きさとの関係について、1952年カムチャツカは南米沖波源から求めた傾向と整合するが、1965年アリューシャン・ラット諸島はやや小さめである。1964年アラスカもそのMwに比して小さくなることに相当するが、Van Dorn(1984)が北東太平洋の検潮データから求めた tsunami energy indexでも1964年アラスカの方が1952年カムチャツカ半島より小さいことから、一般的な傾向かもしれない。

岩手県山田町における1896年明治三陸地震津波の人的被害

Human damage in Yamada town, Iwate prefecture, due to the 1896 Meiji Sanriku earthquake tsunami

*行谷 佑一¹、蝦名 裕一²、今井 健太郎³

*Yuichi Namegaya¹, Yuichi Ebina², Kentaro Imai³

1. 国立研究開発法人 産業技術総合研究所、2. 東北大学 災害科学国際研究所、3. 海洋研究開発機構

1. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2. International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, 3. JAMSTEC

§1. はじめに

1896年明治三陸地震津波による三陸海岸沿岸の被害の記録は山奈宗真による調査記録が代表的である。しかしながら、調査日数に対する情報量の多さの観点から、今後の精査の後、取捨選択が必要であるとされている（首藤・越村, 2005）。

一方、岩手県山田町立図書館所蔵の『山田警察分署所轄海嘯記事』（以下、海嘯記事と呼ぶ）には同津波による山田町内の被害の様子が津波前の人口数も含めて記録されている。海嘯記事には具体的な被害分布が記されていることや、浅利氏をはじめとする警察分署職員が実際に現場で救助活動に携わったことが記録されていることから、海嘯記事の信憑性は高いと思われる。

本研究ではこの資料に基づき、死亡率と推定される浸水深との関係を検討したので報告する。

§2. 海嘯記事に記された海嘯前人口と死者数

海嘯記事の構成は当時の山田警察分署の巡査部長である浅利和三郎氏による手記と被害明細図からなる。被害明細図には、山田町内の大澤、船越、大浦、田の浜、織笠および飯岡の各集落における詳細な流失家屋分布や全壊家屋分布などが記された上、各集落の海嘯前人口や死者数などが整理されている。具体的には、大澤：（海嘯前人口：1,196名、死者数：415名、以下同）、船越：（622名、208名）、大浦：（205名、33名）、田の浜：（1,108名*、483名）、織笠：（1,900名、72名）、および飯岡：（3,746名、828名）と記録されている（*は「死亡人口」と「負傷」、および「現存者」の合計を記した。）。

なお、前述の山奈による死者数（例えば、宇佐美・他, 2013）は海嘯記事の死者数と異なっている。具体的には、大澤：（海嘯前人口：1,197名、死者数：415名、以下同）、船越：（749名、208名）、大浦：（455名、34名）、田の浜：（1,128名、562名）、織笠：（1,902名、72名）、および飯岡（山田）：（4,413名、828名）である。

§3. 浸水深の推定

一般的に、家屋の被害は海面上の高さである浸水高や遡上高よりも、地盤からの高さである浸水深が直接的に関与していると考えられる。

まず、伊木（1986）により明治三陸地震津波の津波の高さ（海面上）が報告されている。各集落の平均地盤高を計算し、伊木による津波の高さから差し引くことで浸水深を推定した。

平均地盤高の算出には、まず、各集落で津波が来襲したさい、津波の海面上の高さは各集落内では平坦であると仮定した。つまり、各集落で得られた伊木による海面上の津波の高さは、その集落内ではどこでも同じ高さであると仮定した。次に、各集落内のその津波の高さよりも低い地盤標高について、その平均と標準偏差を計算した。例えば、大澤の場合、伊木による津波の高さは4 mとなっているので、この集落の4 m以下の地盤について平均標高を算出すると2.1 m（標準偏差0.8 m）となり、浸水深を1.9 mと推定した。このような手順により各集落の浸水深を推定した。

§4. 被害と浸水深との関係

各集落で得られた死亡率と浸水深との関係を見ると、基本的には浸水深が2 m–3 mを境にして死亡率が0.0程度から0.3程度に急激に上昇する結果となった。もっとも死亡率が高かったのは田の浜集落の0.44であり、推定される浸水深は4.9 mであった。

一方、海嘯記事には前述の通り海嘯前の家屋数と流失戸数も記録されている。田の浜の例で言えば海嘯前の戸数は238軒であったのに対し、流失戸数229軒となり流失率（流失戸数／海嘯前戸数）は0.96である。要するに、田の浜ではほとんどの家屋が流失したが、約6割の人々は生き残った。津波が来襲したのは午後8時付近であり、起きている人が恐らく多かったため、異変に気づいて早く逃げられた人が助かったものと思われる。

謝辞

各集落の平均標高の算出については国土地理院の基盤地図情報（数値標高モデル）を利用致しました。本研究の一部は科学研究費助成事業（科学研究費補助金）課題番号：16H03146（研究代表者：今井健太郎）を利用致しました。記して感謝致します。

北海道霧多布湿原における13世紀および17世紀頃の海岸地形復元と津波堆積物調査

Reconstruction of coastal topography around the 13th and 17th centuries and tsunami deposits survey at Kiritappu marsh, eastern Hokkaido

*伊尾木 圭衣¹、澤井 祐紀¹、行谷 佑一¹、谷川 晃一郎¹、松本 弾¹、中村 淳路¹、嶋田 侑真^{1,2}

*Kei Ioki¹, Yuki Sawai¹, Yuichi Namegaya¹, Koichiro Tanigawa¹, Dan Matsumoto¹, Atsunori Nakamura¹, Yumi Shimada^{1,2}

1. 産業技術総合研究所地質調査総合センター、2. 筑波大学

1. GSJ, AIST, 2. Univ. of Tsukuba

千島海溝南部ではM8-9クラスの巨大地震が繰り返し発生している。北海道東部では、先史時代に堆積した津波堆積物が報告されており、最新の巨大津波は17世紀、その一つ前のものは13世紀頃に発生したと考えられている。本研究では13世紀および17世紀頃に発生した地震の規模の再評価のため、北海道霧多布湿原において津波堆積物調査を行った。霧多布湿原の浜中湾と琵琶瀬湾の海岸周辺において、過去の海岸地形復元のため、津波堆積物調査を行い、13世紀および17世紀頃の海岸線の位置を推定した。その結果、13世紀頃の海岸線は現在より400 m程度、17世紀頃の海岸線は現在より300 m程度内陸に位置していたと推定された。そして国土地理院による基盤地図情報数値標高モデルを利用して17世紀頃の海岸地形を考慮したDEMを作成し、津波の浸水計算を行い、当時の海岸線の位置によって浸水範囲がどのように変化するかを検討した。また霧多布湿原の一番沢奥部において、津波堆積物の分布限界を明らかにするため、津波堆積物調査を行い、13世紀および17世紀頃の津波がどれほど内陸まで到達したかを確認した。その結果、先行研究より内陸で17世紀頃の津波堆積物が確認された。これよりさらに内陸で13世紀頃の津波堆積物が確認された。よって霧多布湿原一番沢では、17世紀の津波より13世紀頃の津波の方がより内陸まで到達した可能性がある。

日本海東縁部の北海道沖・東北沖で20世紀に発生した地震の津波断層モデルの検証

Tsunami source models of earthquakes which occurred in 20th century off-Hokkaido and off-Tohoku of the eastern margin of the Sea of Japan

*室谷 智子¹、佐竹 健治²、石辺 岳男³

*Satoko Murotani¹, Kenji Satake², Takeo Ishibe³

1. 国立科学博物館、2. 東京大学地震研究所、3. 地震予知総合研究振興会

1. National Museum of Nature and Science, 2. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 3. Association for the Development of Earthquake Prediction

日本海東縁部には多くの海底活断層が存在することから、「日本海における大規模地震に関する調査検討会」（以下、日本海検討会）や「日本海地震・津波調査プロジェクト」（以下、日本海プロジェクト）によって、海域構造調査等に基づいた海底活断層のパラメータが推定されている。本地域では20世紀に大地震が発生し、日本海沿岸域に津波被害をもたらしていることから、過去に発生した地震の津波断層モデルを調べる事が重要である。本研究では、1993年北海道南西沖地震（Mj 7.8）、1983年日本海中部地震（Mj 7.7）、1940年積丹半島沖の地震（Mj 7.5）の3地震を対象として、既往研究による断層モデルに加え、日本海検討会や日本海プロジェクトの断層モデルによる津波を計算し、日本沿岸およびロシア沿海州・サハリン沿岸で記録された津波波形との比較を行った。

1993年北海道南西沖地震については、Tanioka et al. (1995, GRL: 検潮・測地データ)、Mendoza and Fukuyama (1996, JGR: 近地・遠地地震波形)、高橋ほか (1995, 土木学会東北支部技術研究発表会: 沿岸津波高) による断層モデルに加え、日本海検討会が北海道南西沖地震相当としたモデル (F14, F15断層)、日本海プロジェクトで得られた海底活断層から設定したモデルを用い、Tanioka et al. (1995) が用いた日本と韓国の沿岸18点に加え、ロシアのVladivostok, Pos' et, Nakhodka, Uglegorskでの津波波形を計算した。1983年日本海中部地震については、Satake (1989, JGR: 検潮データ)、Fukuyama and Irikura (1986, BSSA: 近地地震波形)、日本海検討会が日本海中部地震相当としたモデル (F24断層) を用い、Satake (1989) が用いた日本沿岸8点に加え、ロシアのVladivostok, Pos' et, Nakhodka, Rudnaya Pristanでの波形を計算した。1940年積丹半島沖の地震については、Satake (1986, PEPI: 検潮データ)、Okamura et al. (2005, JGR: 海底地形調査・検潮データ)、Ohsumi and Fujiwara (2017, JDR: 沿岸津波高)、日本海プロジェクトで海底活断層から設定したモデルを用い、Okamura et al. (2005) が用いた日本沿岸7点に加え、ロシアのVladivostok, Bolshoy Kamen, Nevelskでの波形を計算した。日本海検討会や高橋ほか (1995)、Ohsumi and Fujiwara (2017) では、検潮記録との比較は行われていないため、断層モデルの検証は重要である。日本海プロジェクトで得られた断層モデルに対してはすべり量の検討が行われていないため、地震本部による「震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」）」のうち、「(ア) 過去の地震記録や調査結果などの諸知見を吟味・判断して震源断層モデルを設定する場合」（以下、レシピ (ア)）の方法を用いてすべり量を設定した。以上の断層パラメータからOkada (1985, BSSA) によって計算した海底地殻変動を初期条件とし、津波計算コードJAGURS (Baba et al., 2015, PAGEOPH) を用いて非分散の非線形長波式で津波波形を計算した。海底地形は、JTOPO30とM7000シリーズから30秒（約900 m）メッシュのグリッドデータを作成した。

その結果、津波波形インバージョンによって得られた断層モデルが、いずれの地震に対しても最も良く観測波形を再現した。地震波形インバージョンによる断層モデルでは、津波初動が反転する観測点も見られた。日本

海検討会は、各海底活断層の最大クラスのすべり量（6 mで飽和）を設定しているため、計算された津波波形の振幅は観測波形に比べてかなり大きい。またレシピ（ア）で計算されたすべり量を用いた場合でも、津波波形等のインバージョン結果による値よりも大きく、同様の結果となった。ロシア沿岸の観測波形については、検潮所付近の詳細な地形データがないため再現性が低い観測点があり、今後の課題である。1940年の地震については、検討対象とした各モデルによって断層の位置、走向、傾斜がかなり異なるが、日本沿岸での津波計算波形には顕著な差は見られなかった。一方で、ロシアの観測記録を説明するためには、津波波形インバージョンではすべり量が小さかった断層において、大きなすべりが必要である可能性が示唆される結果となった。

本研究は文部科学省委託事業「日本海地震・津波調査プロジェクト」によって行われた。

津波シナリオ作成のためのランダム不均質断層すべり分布の導入 Self-similar and random slip distributions on a non-planar fault for tsunami scenarios for megathrust earthquakes

*中野 優¹、Murphy Shane²、縣 亮一郎¹、五十嵐 康彦³、岡田 真人³、堀 高峰¹

*Masaru Nakano¹, Shane Murphy², Ryoichiro Agata¹, Yasuhiko Igarashi³, Masato Okada³, Takane Hori¹

1. 海洋研究開発機構、2. Ifremer, France、3. 東京大学新領域創成科学研究科

1. JAMSTEC, 2. Ifremer, France, 3. Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

Megathrust earthquakes along the Nankai trough in southwest Japan, such as the 1944 Tonankai and 1946 Nankai events, have caused severe damage due to strong ground motion and the generation of large tsunamis. Since such devastating earthquakes have repeatedly occurred throughout history in this region, we should prepare for future large earthquakes. However we cannot exactly predict slip distributions of future earthquakes and ensuing tsunamis. Previous efforts to characterize tsunami damage have involved the computation of theoretical tsunamis based on a set of scenario earthquakes. Additionally, tsunami early warning systems have also been developed based on correlations of coastal tsunami heights and offshore tsunami observations (Baba et al. 2014; Igarashi et al. 2016). These studies also involved the computation of theoretical tsunamis where thousands of earthquake scenarios of various magnitude earthquakes with uniform slip distributions are considered. However, actual earthquakes have heterogeneous slip distributions which affect coastal tsunami heights and distributions. In general, fault slip distributions have fractal dimension of about 2 (Herrero and Bernard, 1994) with a corner wave number depending on earthquake magnitude, but we cannot exactly estimate the distributions in future earthquakes. One of possible solution to resolve this difficulty is to create a set of scenario earthquakes based on a slip probability density function (SPDF, Murphy et al., 2016), in which heterogeneous slip distributions on the source fault are stochastically generated based on a given probability density function. The generated earthquake slip distributions differ from event to event, but their average for a large ensemble of models converges to a predefined SPDF.

In this study, we create a set of scenario earthquakes considering self-similar slip distributions based on the composite source model (Herrero and Murphy, 2018) on the Nankai trough. We also consider surface ruptures, where the fault slip is not tapered to zero at the free surface. The location of the rupture area is assigned according to the probability defined by SPDF; and the extent of the source area is based on an empirical relation obtained for subduction zone earthquakes (Strasser et al. 2010). Families of asperities which contain a power law distribution of sizes given by Zeng et al. (1994) are placed based on the same SPDF in the defined source area to obtain a self-similar slip distribution.

Assuming the SPDF is similar to the slip deficit rate (SDR) obtained by Yokota et al. (2016), which may represent long-term average of slip on the target fault, we generated sets of 200 scenario earthquakes for $M_w \geq 8.0$. We found that the average slip for a family of $M_w 8.5$ mostly converges to the SDR. For $M_w 8.0$ more earthquakes are required to observe a similar convergence due to its smaller source area.

The next step is to compute tsunamis based on the scenario earthquakes generated in this way in order to create a tsunami database which will be used to forecast potential tsunami damage and improve the accuracy of the tsunami early warning systems in Nankai region.

Acknowledgments: This work is supported by CREST project “Establishing the most advanced disaster reduction management system by fusion of real-time disaster simulation and big data assimilation” from the Japan Science and Technology Agency.