

津波警報の改善について Tsunami Warning Improvement

尾崎 友亮^{1*}, 永岡利彦¹, 桑山辰夫¹, 中田健嗣¹, 五十嵐陽子¹, 南雅晃¹, 上野俊洋¹

Tomoaki Ozaki^{1*}, Toshihiko Nagaoka¹, Tatsuo Kuwayama¹, Kenji Nakata¹, Yohko Igarashi¹, Masaaki Minami¹, Toshihiro Ueno¹

¹ 気象庁

¹Japan Meteorological Agency

東北地方太平洋沖地震における甚大な津波被害を受け、気象庁では、有識者等よりご意見を頂きつつ津波警報改善の検討を進め、2012年3月、津波警報の改善策をとりまとめた。この改善策を踏まえた新たな津波警報の運用を、2013年3月より開始する。

東北地方太平洋沖地震の課題を踏まえた新たな津波警報の主な改善点は以下のとおりである。

(1) マグニチュード過小評価対策

東北地方太平洋沖地震においては、地震発生3分後に発表した気象庁マグニチュード(Mj)7.9に基づく津波警報第1報での津波高さ予想が実際のもを大きく下回ることとなった。Mjをはじめ短周期変位振幅を用いるマグニチュードは概ね8程度で飽和し、また、3分程度でM8を超える巨大地震のマグニチュードを推定する技術は確立していないことを踏まえ、この課題に対処するため、地震発生約3分後の津波警報第1報発表までにMjの過小評価の可能性を速やかに認識する監視・判定手法を導入し、Mjが過小評価していると判定されれば、地震が発生した海域で想定される最大マグニチュード等を適用して津波警報第1報を発表する。連合大会では、この過小評価判定手法や想定される最大のマグニチュード等の概要を紹介する予定である。

(2) 津波警報の情報文の変更

東北地方太平洋沖地震の津波警報第1報において、Mj7.9に基づいて発表した予想高さ「3m」等が避難の遅れに繋がった可能性が指摘されている。また、予想高さの区分が従来は8段階(0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10m以上)と細かく設定されており、現実に取り得る防災対応の段階等を踏まえたものとする必要がある。これらのことから、(1)により発表する第1報においては、予想高さは「巨大」等の定性表現とする。また、数値で発表する場合の予想高さ区分は5段階(1, 3, 5, 10, 10m超)とする。

(3) 警報の適切な切り替え

東北地方太平洋沖地震では、広帯域地震計が振り切れたため、モーメントマグニチュード(Mw)を速やかに計算することができなかった。また、水圧式沖合津波計データを利用した警報更新手段が不十分であった。このため、広帯域にわたって振り切れず地震波を記録できる広帯域強震計を整備するとともに、沖合津波計データの警報への活用の運用を昨年3月より開始した。また、海溝軸付近で発生した津波をいち早く捉えるため、東北地方太平洋の沖合にブイ式津波計3式を整備した。なお、沖合津波観測値については、新たに沖合津波観測情報を設け、従来のGPS波浪計に加え、水圧式沖合津波計の観測値も発表する。

上記の警報改善とともに、強い揺れや弱くても長い揺れを感じたら警報を待たずただちに避難することが何よりも重要であること等の周知・普及活動を一層進めていくこととしている。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, 津波警報の改善

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Tsunami warning improvement

最大振幅に基づく津波警報のための即時的マグニチュード決定 Rapid magnitude determination from peak amplitudes for tsunami warning

勝間田 明男^{1*}, 上野 寛¹, 青木 重樹¹, 吉田 康宏², Sergio Barrientos³
Akio Katsumata^{1*}, Hiroshi UENO¹, Shigeki Aoki¹, Yasuhiro Yoshida², Sergio Barrientos³

¹ 気象研究所, ² 文部科学省, ³ チリ大学

¹Meteorological Research Institute, JMA, ²Ministry of Education,Culture,Sports,Science & Technology in Japan, ³University of Chile

Rapidly determining the magnitude soon after a great earthquake is necessary for issuing effective tsunami warnings, as demonstrated in the great earthquake off Tohoku district in Japan on March 11, 2011. The earthquake magnitude for the first tsunami warning was underestimated due to magnitude saturation.

We present an empirical method to determine magnitude rapidly from peak velocity and displacement of long-period seismic waves up to 100 seconds at local stations. When waveform data at local stations are available, the magnitude from S-wave peaks is expected to be determined faster than that from only P-wave peaks. Velocity/displacement records are obtained from strong-motion acceleration records with numerical integration. Processing with recursive digital filters makes it possible to observe magnitude value change soon after the hypocenter determination.

It took about 140 second to estimate a magnitude of about 9 for the March 11, 2011, earthquake, which enables us to issue the first tsunami warning within three minutes after the same type of earthquakes. It was also possible to get a magnitude value of 8.8 for the 2010 Chile Maule earthquake within three minutes from the origin time.

Correction for epicentral distance is applied for the magnitude determination. Effect of the hypocenter location on magnitude value was estimated for the events on March 11, 2001. Magnitude values were calculated with assumed hypocenter locations within the source area, and the magnitude differences were no more than 0.1 in a large part of the source area. Focal mechanism also affects the observed peak amplitudes. Effect of focal mechanism is considered to be slight for local events, and it could be considerable for the case of observing events near Kuril Islands on Japanese islands.

We used data obtained by Japan Meteorological Agency, University of Chile, and National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention.

キーワード: 即時的マグニチュード決定, 最大振幅, 津波警報

Keywords: rapid magnitude determination, peak amplitude, tsunami warning

沿岸波高高精度予測システムの開発

Development of the system for high-precision prediction of coastal tsunami wave heights

林 豊^{1*}, 対馬 弘晃¹, 前田 憲二¹, 横田 崇¹, 村嶋 陽一², 村田 泰洋², 石綿 利光²

Yutaka Hayashi^{1*}, Hiroaki Tsushima¹, Kenji Maeda¹, YOKOTA, Takashi¹, Yoichi Murashima², Yasuhiro MURATA², Toshimitsu ISHIWATA²

¹ 気象研究所, ² 国際航業株式会社

¹Meteorological Research Institute, ²Kokusai Kogyo Co. Ltd.

気象研究所と国際航業株式会社では、2012年9月までに「沿岸波高高精度予測システム」を開発した。このシステムは、Windows 7ワークステーションをベースとし、津波の伝播・遡上に関する一連の津波数値解析のための統合ソフトウェアを組み込んでおり、津波数値解析に関する以下1.~6.のルーチンの作業を支援するインタラクティブ操作環境を提供する。なお、システムの機能のいくつかは、この統合ソフトウェアに汎用ソフトウェアを組み合わせて実現している。

1. 計算領域とネスティング構造の設定
2. 津波波源の設定（断層モデルから計算される地殻変動分布、または、水位分布による）
3. 水深・標高、海岸構造物、粗度パラメータの格子点データの準備（測地系の変換、データの併合などの作業を含む）
4. 各種パラメータと計算オプションの設定（例えば、津波時の潮位、遡上・非線形を考慮するかしないか、出力する計算結果の項目、観測点位置）
5. ソースプログラムと実行ファイルの生成、計算の実行
6. 計算結果を可視化（水位・流速ベクトルの分布図・時系列図、浸水分布図、およびそれらの動画などを作成）して分析

また、日本海溝または南海トラフからそれらに面する太平洋岸を対象に、津波伝播遡上計算を実行するために必要な水深・標高、海岸構造物、粗度パラメータの基礎的なデータも整備した。開発したシステムを利用すれば、津波数値解析の研究効率を改善できるだろう。大会では、このシステムのいくつかの利用例を発表する。

キーワード: 流れの可視化, 津波遡上計算, 津波伝播計算, 統合ソフトウェア

Keywords: integrated software, tsunami inundation computing, tsunami propagation computing, flow visualization

日本海溝海底地震津波観測網の整備について (2) Ocean bottom seismic and tsunami network along the Japan Trench (2)

植平 賢司^{1*}, 金沢 敏彦¹, 野口 伸一¹, 汐見 勝彦¹, 功刀 卓¹, 青井 真¹, 関口 渉次¹, 松本 拓己¹, 岡田 義光¹, 篠原 雅尚², 山田 知朗²

Kenji Uehira^{1*}, Toshihiko Kanazawa¹, Shin-ichi Noguchi¹, Katsuhiko Shiomi¹, Takashi Kunugi¹, Shin Aoi¹, Shoji Sekiguchi¹, Takumi Matsumoto¹, Yoshimitsu Okada¹, Masanao Shinohara², Tomoaki Yamada²

¹ 防災科学技術研究所, ² 東京大学地震研究所

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Huge tsunami, which was generated by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake of M9 subduction zone earthquake, attacked the coastal areas in the north-eastern Japan and gave severe casualties (about 20,000 people) and property damages in the areas. The present tsunami warning system, based on land seismic observation data, did not work effectively in the case of the M9 earthquake. It is strongly acknowledged that marine observation data is necessary to make tsunami height estimation more accurately. Therefore, new ocean bottom observation project has started in 2011 that advances the countermeasures against earthquake and tsunami disaster related to subduction zone earthquake and outer rise earthquake around Japan Trench and Kuril Trench. A large scale ocean bottom cabled observation network is scheduled to be deployed around Japan Trench and Kuril Trench by 2015. Concepts of this network are: 1) Locate one station by each M7-7.5 class seismic source region (that is minimum size tsunami generation earthquake). 2) Incorporate the land and sea networks in on observation network. The network consists of about 150 ocean bottom observation stations. Ocean bottom fiber optic cables, about 5,700 km in total length, connect the stations to land. Observation stations with tsunami meters and seismometers will be placed on the seafloor off Hokkaido, off Tohoku and off Kanto, in a spacing of about 30 km almost in the direction of East-West (perpendicular to the trench axis) and in a spacing of about 50 - 60 km almost in the direction of North-South (parallel to the trench axis).

This cable system is divided into 6 subsystems. Both ends of each cable subsystem will be landed, and electric power will be fed from both sides. And also all data will be acquired from both sides in order to ensure operation in case of cable trouble. In addition, the neighboring cables will be brought into the same landing station, and 6 subsystems are going to be finally connected into one big loop. By do this, the minimum data necessary for the warning which is acquired the whole cable subsystems can be transmitted from one landing station of somewhere.

Two sets of JAE three component servo accelerometers, a Geospace Technologies three component velocity seismometers, and two Paroscientific quartz type depth sensors and a three-component quartz type accelerometers (frequency outputs) will be installed. Tsunami data and seismometer data will be digitized at sampling frequency of 10 Hz and 100 Hz, respectively, and will be added clock information at land stations. These digitized data will be transmitted to the data centers (main at NIED and backup at ERI), JMA (Japan Meteorological Agency), universities, and so on, using IP-VPN network.

沖合展開距離制限の無い GPS 津波計の開発 ETS-VIII によるデータ伝送実験

A development of GPS tsunami meter —A data communications experiment using ETS-VIII—

寺田 幸博^{1*}, 今田 成之¹, 山本伸一², 橋本剛正³, 加藤 照之⁴, 林 稔⁵
Yukihiro Terada^{1*}, Naruyuki Imada¹, Shinichi Yamamoto², Gousei Hashimoto³, Teruyuki Kato⁴, Minoru Hayashi⁵

¹ 高知高専, ²NICT, ³JAXA, ⁴ 東大地震研, ⁵ 日立造船

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

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震津波によって、これまでに開発したGPS津波計に2項目の課題が提起された。それは、GPS津波計のさらなる沖合展開の技術開発と被災地域に情報発信基地を置クリスクの回避であった。室戸岬沖GPS津波計実証実験機を用いて、この課題への取り組みを行った結果を報告する。

前者の取り組みでは、RTK-GPS法の対流圏補正及び精密暦を適切に行うことによって、沖合100km程度までの安定したFIX解が得られた。また、陸上基準局を用いない方法として、短周期の変位に対応できる単独高精度変位測定法のPVD法及びアンビギュイティを解く精密単独測位法のPPP-AR法を適用し、観測データを約1年間継続的にリアルタイム発信 (<http://www.tsunamigps.com>) することによって、実用レベルにあることを実証した。

後者の取り組みでは、400MHz帯1Wの無線伝送の延伸距離が50km程度であることを見極め、さらなる沖合への展開には衛星通信が必要であることを再確認した。衛星通信における課題は、供給電力の制限の中で動き回るブイとの通信の利得を確保することである。そこで、通信衛星ETS-VIII(きく8号)と通信可能な無指向性アンテナを用いて、ブイ上のデータだけで計算できる単独高精度変位測定法のPVD法のデータを室戸岬沖のGPS津波計実証実験機から伝送する通信実験を行い、良好な結果が得られた。また、これによって将来の防災通信衛星の性能を明らかにするための基礎データを得ることができた。

これらの一連の検討によって、設置における距離制限の無いGPS津波計が実現出来ることを明らかにした。また、GPS津波計で観測された津波データを通信衛星に送り、ここを中継点として津波被害がない地域の陸上局で受信し、リアルタイムデータを世界に発信する方法の有効性が確認できた。

本研究は、科研費基盤研究(S)212210007で支援されている。

キーワード: GPS津波計, きく8号, PVD, PPP-AR

Keywords: GPS tsunami meter, ETS-VIII, PVD, PPP-AR

海底の荷重変形を考慮した長距離津波伝播シミュレーション Simulation of distant tsunami propagation with a loading deformation effect

稲津 大祐^{1*}, 齊藤 竜彦¹
Daisuke Inazu^{1*}, Tatsuhiko Saito¹

¹ 防災科学技術研究所

¹ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

一般的な津波のシミュレーションモデルによって大洋をまたぐ津波の伝播を表現しようとする、観測走時に比べ計算走時が1%ほど短くなることが知られてきている。我々は、ある一般的な津波シミュレーションモデルに、津波荷重による海底の変形効果を簡易な方法で導入したところ、件の走時問題は概ね解決し、また津波波形の再現性は変更しないことを、2010年チリ、および、2011年東北の両津波の事例で確認した。これらの巨大津波による荷重変形の効果はほぼ共通して津波直下で波高の約2%であった。

キーワード: 津波伝播, 走時, 荷重変形

Keywords: tsunami propagation, travel time, loading deformation

遠地津波の観測・シミュレーション波形間に生じる走時差の原因

Cause of travel-time difference between observed and synthetic waveforms of distant tsunami

楠本 聡^{1*}, 佐竹 健治¹, 綿田 辰吾¹

Satoshi Kusumoto^{1*}, Kenji Satake¹, Shingo Watada¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ERI, the University of Tokyo

遠地津波の観測波形の走時は線形長波理論に基づくシミュレーション波形より数分から数十分遅くなることが知られている。海底の水圧計で記録された2011年東北地方太平洋沖地震や2010年チリ中部地震に伴う津波でも最大15分程度の遅れが見られる。この原因として津波伝播シミュレーションに使用する地形データの影響[楠本・他(2011)]やパラメータの影響、現在のシミュレーションで考慮されていない地球の弾性や海水の圧縮性、重力ポテンシャル変化による影響[例えば、綿田・他(2011)]などが考えられる。本研究ではこれらが走時差に与える寄与をそれぞれ評価し、走時差の生じる原因を調べた。

観測波形の走時と走時差の関係は地震によって異なる。東北地方太平洋沖地震で生じる走時差は走時に対して単調増加して走時1200分では15分近くになるのに対し、チリ中部地震では走時600分まで走時差は殆ど生じず、それ以降急激に増加し、走時1200分では10分以上となる。

3種類の海底地形データ(ETOPO5, ETOPO1, GEBCO)を用いて津波伝播シミュレーションを行い、使用する地形データに起因する走時差の違いを調べた。ETOPO1とGEBCOで生じる走時差に殆ど差はなく、ETOPO5は他二つに比べて走時差が1-3分大きい。

従来のシミュレーションでは重力加速度や地球半径は定数として扱われているが、本研究では地球を回転楕円体とみなして緯度だけに依存する場所の関数として扱った。このとき走時400分以内の走時差は全く変わらないが、走時600分以上の走時差は1-2分減少する。

観測波形の位相速度を求め、基準水深(4km)で規格化して、地球の弾性や海水の圧縮性、重力ポテンシャル変化を考慮した水深4kmの海洋を持つ次元地球モデル(PREM)から求まる理論分散曲線と比較した。規格化された観測波形の位相速度は周期2,000秒以上の長周期では線形重力波の位相速度より1%以上遅く、PREMから求まる分散曲線と整合的であった。

遠地津波の走時差の主原因は、現在のシミュレーションで考慮されていない地球の弾性や海水の圧縮性、重力ポテンシャル変化によるものであることがわかった。重力加速度が全球平均より小さい赤道域を長時間伝播する津波を議論する場合には、地球を回転楕円体とみなして重力加速度や地球半径を場所の関数として扱う必要があることも明らかとなった。

実際の海底地形を用いた線形長波近似に基づくシミュレーションにおいて、上記の主原因、すなわち地球の弾性や海水の圧縮性、重力ポテンシャル変化の影響を考慮する一方法として、シミュレーション波形にPREMの理論分散曲線による位相差を与えてみた。これを観測波形の走時と比較すると、走時差はどちらの地震でも5分以内に収まった。

キーワード: 津波伝播, 走時差, 海底水圧計, 2011年東北地方太平洋沖地震, 2010年チリ中部地震

Keywords: tsunami propagation, travel-time differences, Deep-Ocean Assessment and Reporting of Tsunamis, the 2011 Tohoku-Oki earthquake, 2010 Chilean earthquake

2012年10月27日カナダ西部地震津波の規模 Magnitude of the Western Canada Earthquake Tsunami of October 27,2012

羽鳥 徳太郎^{1*}
Tokutaro Hatori^{1*}

¹ なし

¹Nnne

2012年10月27日に、カナダ西部クイーン・シャーロット諸島付近で大規模な地震が発生し、太平洋の広域で津波が観測された(WC/ATWC,NOAA)。USGSによれば、震央は52.788N,132.101W、深さ14km、M7.7である。本稿では、NOAAと気象庁の検潮記録をもとに、津波の波源域や規模、各地の波高偏差を調べ、周辺域で発生した津波と比較検討してみる。

震源周辺域での最大波の片振幅値は、3-25cmにとどまった。しかし、ハワイで43-79cm、米国西岸のクレスセント・シテイ44cm、ニュージーランド10-14cmが突出している。日本沿岸でも10~24cmの津波が観測され、久慈・鮎川・鹿児島中之島が比較的大きい。その分布パターンは、津波波源から強いエネルギーが南西と東方向に放射したことを示唆する。各地の津波初動の伝播時間(時:分)は、米国西岸2:40-3:53、ハワイ5:30前後、日本で10:30-12:00、ニュージーランドでは14:16-15:34時間であった。逆伝播図から、波源域はモレスビ島西岸沿い長さ120kmと推定される。

太平洋広域の振幅値と震央距離の関係図によれば、津波マグニチュードは $m = 1.5$ と判定され、上記観測点の波高偏差が大きい。地震の規模と比べ、 m 値は標準を下回っている。大きな津波歴があった(1700年カスケード、1899年ヤクタット)区域が、大地震の空白域になっており注目したい。

キーワード: カナダ西部, 地震津波, 規模, 2012年10月27日

Keywords: Western Canada Earthquake, Earthquake Tsunami, Magnitude, October 27,2012

2013年サンタクルーズ諸島沖の地震 (M8.0) で生じた津波分散波 Dispersive tsunami generated by the 2013 off the Santa Cruz Islands earthquake (M8.0)

三好 崇之^{1*}, 齊藤 竜彦¹, 稲津 大祐¹, 田中 佐千子¹
Takayuki Miyoshi^{1*}, Tatsuhiko Saito¹, Daisuke Inazu¹, Sachiko Tanaka¹

¹ 防災科研

¹ NIED

2013年2月6日、南太平洋に位置するソロモン諸島のサンタクルーズ諸島沖で津波を伴う巨大地震が発生した。米国地質調査所 (USGS) によれば、震源は南緯 10.7 度、東経 165.1 度、深さ 28.7km で、モーメントマグニチュードは 8.0 と推定された。発震機構解は、北東-南西圧縮の低角逆断層を示し、太平洋プレートの下に沈み込むオーストラリアプレートの上面で発生した、プレート間巨大地震であったと推定される。

齊藤・他 (2012, JpGU) では、津波のリアルタイムシミュレータの開発を目指して、地震波から推定された地震のモーメントテンソル解と適当なスケールリング則を用いて、断層面を仮定し全球津波計算を行った。本研究では 2013 年サンタクルーズ諸島沖の地震で生じた津波について、この方法論を適用して津波計算を行った。仮定した断層面は、USGS によるモーメントテンソル解とモーメントマグニチュードから、走向 309 度、傾斜 17 度、すべり角 61 度とし、長さ 119km、幅 59km、一様なすべり量 5.9m をもつ矩形断層とした。津波シミュレーションは、線形長波近似に基づく方程式系および分散性を考慮した線形分散波方程式系の 2 通りで行った。

シミュレーション結果について、最大波高分布図を作成して両者を比較した。両者の違いは、津波波源の短軸方向に顕著に現れた。例えば、波高 0.4m 以上の領域の広がりに関して、線形長波の結果では津波波源から南西方向に約 700km 延びていた。一方、分散性を考慮した結果では、約 370km しか延びていなかった。これは、津波波源の短軸の方向で、水深に比べて津波の波長が十分長いという長波近似が崩れて、分散波が生じたことによる。

震源周辺に展開された DART 海底水圧計で得られた 5 点の津波観測記録と、線形長波近似によるシミュレーションの結果を比較した。津波初動の押し引きや走時など、概ね観測記録を説明できていた。しかし、震源から南西方向の約 900km に位置する観測点 (55012) では、第 1 波と第 2 波の振幅がともに 0.1m 程度であったが、線形長波のシミュレーション結果では第 1 波が第 2 波よりも振幅が有意に大きく、観測記録の特徴を説明できていなかった。観測点 55012 は、津波波源の短軸の方向に位置しており、この方位では長波近似が崩れて分散波が生じたことが予想される。そこで、分散性を考慮したシミュレーション結果と比較した。分散性を考慮した結果では、第 1 波と第 2 波の振幅がともに同程度となり、観測波形を説明できることが分かった。つまり、観測点 55012 では津波分散波が観測された可能性が高い。一方、震源から西南西方向の約 1300km に位置する観測点 (55023) では、第 2 波以降の津波波形に関して、線形長波のシミュレーション結果との一致はよくなかったが、分散性を考慮したシミュレーション結果とはよく一致した。したがって、第 2 波以降に津波分散波が観測されたといえる。以上のことから、2013 年サンタクルーズ諸島沖の地震津波では、津波のモデリング、特に最大振幅分布および波形記録のモデリングにおいて、分散効果が無視できないことが明らかになった。

謝辞：本研究では、米国海洋大気庁 (NOAA) の DART の記録を使用しました。記して感謝いたします。

キーワード: 2013 年サンタクルーズ諸島沖の地震, 津波, 分散波, シミュレーション

Keywords: the 2013 off the Santa Cruz Islands earthquake, tsunami, dispersive wave, simulation

Analysis of Tsunami Generated by the 1994 East Java Tsunami Earthquake Analysis of Tsunami Generated by the 1994 East Java Tsunami Earthquake

Haris Sunendar^{1*}, Yuichiro Tanioka¹, Aditya Gusman¹
Haris Sunendar^{1*}, Yuichiro Tanioka¹, Aditya Gusman¹

¹ISV-Hokkaido University

¹ISV-Hokkaido University

A tsunami earthquake (Mw7.8) occurred off the south coast of Java Island, Indonesia on June, 1994. This earthquake generated a large tsunami. Average tsunami height of around 4-6 meter along the south coast of East Java and maximum tsunami height of 13 meter were measured by a field survey (Tsuji et al., 1995). Tsunami waveforms of this event were also recorded at two tide gauges in Cilacap, Central Java and Banyuwangi, East Java.

To simulate the tsunami propagation and inundation, Geoclaw model is used. Bathymetry dataset used for the simulation is assimilated from Indonesian Navy-chart, GEBCO 30 arc second, and topography data of Indonesian Geospatial Information Agency base-map with scale of 1:25.000.

The propagation and inundation is simulated using source model estimated by seismic data analysis of a previous study (Bilek and Engdahl, 2006). The simulation results were compared with the measured tsunami heights, inundation extents, and tsunami waveforms at the two stations. The seismic source model produced tsunami heights of only about 12% of the measurements. This mean that source model from seismic data could not explained tsunami heights along the coast.

Therefore, we try to add an additional source model which can explain tsunami heights and tsunami waveforms data. The additional fault model is located near the trench in the shallowest segment of subduction zone. The estimated source model produced tsunami heights of about 70% of the measured data.

キーワード: East Java Tsunami, tsunami earthquake, tsunami waveforms, tsunami heights
Keywords: East Java Tsunami, tsunami earthquake, tsunami waveforms, tsunami heights

Analysis of the doublet outer-rise earthquake and tsunami in Off-Miyagi coast occurred in 7 December 2012

Analysis of the doublet outer-rise earthquake and tsunami in Off-Miyagi coast occurred in 7 December 2012

Abdul Muhari^{1*}, Kentaro Imai¹, Anawat Suppasri¹, Fumihiko Imamura¹
Abdul Muhari^{1*}, Kentaro Imai¹, Anawat Suppasri¹, Fumihiko Imamura¹

¹International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

¹International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

An earthquake with M7.3 occurred in Off-Miyagi coast, Japan in 7 December 2013. This earthquake was reviewed differently from seismological point of view. The US Geological Survey (USGS, 2012), for instance, concluded this event as reverse faulting in oceanic lithosphere. In contrary, the Geofon program (GFZ, 2012) and Aqua project (NIED, 2012) suggested the event as the normal faulting in the subducted slab. Global moment tensor (Harvard, 2012), however, examined this event as doublet earthquake consists of two different fault mechanisms as described by the previous sources. We carried out numerical analysis to determine the appropriate source and reconstruct the tsunami by verifying the simulated waves with the observed tsunami in 4 tide gauges and one GPS buoy (central Miyagi) in off-Miyagi coast. We conclude that tsunami were generated by two earthquakes where the reverse fault occurred much deeper than the normal faulting yield a lower through followed by high amplitude peak of the first tsunami wave.

キーワード: normal fault, outer-rise earthquake, tsunami simulation

Keywords: normal fault, outer-rise earthquake, tsunami simulation

Tsunami Vulnerability Assessment of the Southern Boso Peninsula Tsunami Vulnerability Assessment of the Southern Boso Peninsula

Gerasimos Voulgaris^{1*}

Gerasimos Voulgaris^{1*}

¹University of Tsukuba, Spatial Information Science

¹University of Tsukuba, Spatial Information Science

The Southern Boso Peninsula has been affected by tsunamis during historic years and during the Holocene. This study attempted to assess the tsunami hazard in the southern Boso Peninsula city of Tateyama, and assess the vulnerability in two of Tateyama's districts of Aihama and Mera. By using GIS it was possible to establish an inundation scenario for Tateyama, as well as to roughly approach some of its potential threat to the locals. Utilizing GIS and the PPATHOMA Tsunami Vulnerability Assessment model allowed for the vulnerability assessment of buildings in the scenario floodzone of Aihama and Mera. Applying a building population estimation model in both the hazard assessment of Tateyama and the vulnerability assessment of Aihama and Mera, allowed the estimation of the population distribution in dangerous zones and buildings in different vulnerability classes. Results show that almost half of the buildings in Tateyama and more than half of its population would be affected by the tsunami of the considered worst-case scenario. For the coast of Aihama and Mera, almost half of the buildings show high or very high vulnerability to tsunamis, with the population in these buildings distributed in similar fashion.

キーワード: Tsunami, Vulnerability, Boso Peninsula, GIS, PTVA Model, Tateyama

Keywords: Tsunami, Vulnerability, Boso Peninsula, GIS, PTVA Model, Tateyama

西南日本太平洋岸で観測された津波に見られるハワイ諸島からの反射波の性質 Tsunamis reflected from Hawaiian Islands and observed at south-west Pacific coast of Japan

阿部 邦昭^{1*}, 岡田 正実², 林 豊³

Kuniaki Abe^{1*}, Masami Okada², Yutaka Hayashi³

¹ 網川原津波研究室, ² 気象研究所, ³ 気象研究所

¹ Amigawara tsunami study room, ² Meteorological Research Institute, ³ Meteorological Research Institute

はじめに) 西南日本太平洋岸では、1952年カムチャッカ地震津波や1995年奄美大島地震津波のような斜めに入射する津波において、時間減衰率が小さいことが明らかにされている(たとえば阿部・岡田、2012)。1952年カムチャッカ津波の場合、原因の一つとしてハワイ諸島からの反射波の存在が指摘された。また2006年の千島東方沖地震津波では、数値実験から欽明海山の散乱波が卓越することが明らかにされている(たとえば宗本他、2007)。ここでは欽明海山もハワイ諸島に含めてその反射波が紀伊半島突端に位置する串本にどのように及んでいるかを、串本検潮所の観測した3つの北方起源の津波(1952年カムチャッカ、2006年千島東方沖、2011年東北地方の各津波)で調べる。

方法) 串本検潮所で観測した3つの津波に対し、初動直前の正時から24時間にわたり1分間隔で読み取った。潮汐を除いた後、応答補正を施し(Satake et al., 1986)、移動平均をとって滑らかにした水位から個々の波の全振幅、周期のサンプリングを行う。波の識別にはゼロクロス法を用いる。反射波の走時を津波の伝搬図と串本からの逆伝搬図を用いて評価し、予想される到達時刻と振幅、周期の関係を見る。波形への影響はスペクトルも用いて検討する。反射波の到来によるスペクトルの変化を見るため24時間を3時間ずつずらしながら6時間に対し7ケースのスペクトルを求める。スペクトル計算には移動平均をかける前の水位を使う。スペクトルの計算は従来の方法に基づいている。各時間ごとのスペクトル成分(周期7-280分)をミッドウエイ島、ハワイ島ヒロ、カワイハエで観測した初動6時間のスペクトルの同じ成分と比較し、全体の成分間で相関係数を計算し、相関関係を検討する。

結果) ハワイ諸島の反射体を欽明海山、ミッドウエイ島、ハワイ島で代表させ、反射波の走時を求めると、いずれの津波でも走時に大きな違いはなく、それぞれ7.4-8.0, 9.7-10.3, 15.5-16.6時間になる。この時刻における振幅、周期をみると各津波について3点の変化の現れ方は一様ではないが、前2つの津波では振幅の増加が、後者では周期の変化が認められた。この結果は波源、観測点、ハワイ諸島の3者の空間配置と関連付けることができる。つまり2011年東北地方津波で振幅の大きな変化が見られなかったことは、波源から見てミッドウエイ島とハワイ島が同じ方位にあって、後者では反射体の機能を果たせなかったこととして理解される。前回に定義した減衰率で比較すると大きい順に2011年、2006年、1952年の各津波になる。津波波形が紡錘状になるのは島がとびとびにあって各島ごとに反射波が出ていることを示すものである。図1は1952年カムチャッカ津波の串本における津波スペクトルを、ミッドウエイ島、ハワイ島ヒロのスペクトルと比べて時間相関を示したものである。相関係数は前者で第2段階の5日0-6時(UT以下すべて同じ)が、後者で第5段階の5日9-15時で最大になることを示した。これは走時が前者で9.7、後者で15.5時間になることから説明できる。発震時は4日16時58分であるから前者で5日2時40分、後者で8時28分がその到達予想時刻である。この時刻以降にハワイ諸島のスペクトルの影響が出てくるはずであるから最大になる時間帯はその条件に合っている。このことからミッドウエイ島、ハワイ島から放射された津波が串本に到達し、観測されたと推測することができる。この関係は2011年東北地方津波についても成り立っていることが確認された。串本の津波スペクトルがハワイ諸島でのそれに類似するように変化することはハワイ諸島が単なる反射体の域を出て、第2の波源としてその場所特有の波を放射していることを示すものである。西南日本の代表的な観測点として串本を選んでいますが、串本は半閉鎖状海岸に位置することで斜め方向の直達波を減衰させ陸棚に直交する方向から来る波を選択的に受け入れやすい構造になっていることと、半島の突端にあることで短周期成分が集まりやすいことで、反射波の観測に有利な条件を備えているといえる。なお伝搬図、逆伝搬図は気象庁が作成したものを使用しました。また検潮記録は1952年の場合は報告書を引用し、2006年の場合は気象庁から提供されたものを使用し、2011年の場合はNOAA及び気象庁のホームページで公開している結果を使用しました。これらの協力に対し感謝いたします。

キーワード: 津波, 反射波, 串本, ハワイ諸島, スペクトル

Keywords: tsunami, reflected wave, Kushimoto, Hawaiian Islands, spectra

HDS26-13

会場:301B

時間:5月21日 11:00-11:15

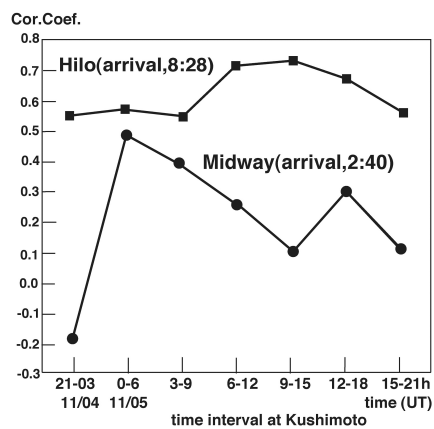


図 1

大分県における1596年豊後地震の津波痕跡に関する現地調査報告 Field Survey of the Beppu Bay Tsunami accompanied by the 1596 Keicho Bungo Earthquake

都司 嘉宣^{1*}, 松岡 祐也², 行谷 佑一³, 今井健太郎⁴, 岩瀬 浩之⁵, 原 信彦⁵, 今村 文彦⁴

Yoshinobu Tsuji^{1*}, Yuya Matsuoka², Yuichi Namegaya³, Kentaro Imai⁴, Hiroyuki Iwase⁵, Nobuhiko Hara⁵, Fumihiko Imamura⁴

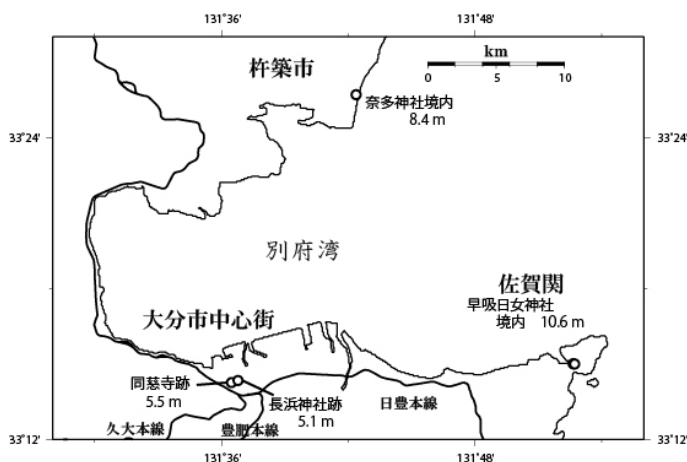
¹ 深田地質研究所, ² 仙台市博物館, ³ 産総研, ⁴ 東北大学災害科学国際研究所, ⁵ 株・エコー

¹Fukada Geolog. Inst., ²Sendai City Museum, ³AIST, ⁴IRIDeS, ⁵Echo Co. Ltd.

慶長元年閏7月12日(1596年9月4日), 別府湾で発生した慶長豊後地震(M6.9と推定されている(羽鳥, 1985))は, 別府湾内の沿岸部で津波の被害をもたらした。本稿は, 羽鳥(1985)による大分県内(図)における1596年慶長豊後地震による津波痕跡地点を対象に, より測定精度の高いRTK-GPSを利用した地盤高の再測量を実施し津波痕跡値の精度向上を検討したものである。『佐賀関史』(M-597, Mは武者史料)には, 大分市佐賀関の関神社について, 「慶長丙申年閏七月十二日地震, 海嘯大に至り関神社の鳥居倒れ, 海水社殿を浸し崖岸は崩壊し, 家屋は倒壊し(後略)」とある。関神社は, 現在の早吸日女神社である。宮司によれば, 慶長の津波で海岸に一番近い鳥居が流され, 海水が拝殿まで浸したと言う。建物は宝暦13年(1763)に建てられたが, 社殿の位置は往古から変わっていない。基礎土台前の地盤高はT.P.+8.61mとなる。社殿床面が浸されたことから津波浸水深を2mと仮定すると, 津波高はT.P.+10.6mと推定できる。大分市府内町3丁目4番地は現在大分中央郵便局の敷地であるが, ここには当時同慈寺という寺院があった。『雉城雑誌』(S-18, Sは新収日本地震史料第1巻の略)には, 「(神護山同慈寺址)(前略)慶長元年閏七月十二日水害當寺境内中の天満宮流失所在を知らず」とあり, 『豊府紀聞』(S-13)には, 「(前略)神護山同慈寺之薬師堂一宇毅然独存之。然其仏殿大傾斜。同境内菅神廟社不知流行方」とある。大分中央郵便局裏の地盤高を測量するとT.P.+3.53mとなった。天満宮の社殿が流れた事から津波浸水深を2mと仮定すると, 津波高はT.P.+5.5mと推定できる。大分市大手町3丁目1番地にある現在の大分警察本部の庁舎の付近に, 当時長浜明神社があった。『豊府紀聞』(S-13)によれば, 「(前略)長浜明神之神殿流来于春日山」とある。大分警察本部前の地盤高を測量するとT.P.+3.13mとなった。津波で流された事から津波浸水深を2mと仮定すると, 津波高はT.P.+5.1mと推定できる。別府湾の北岸, 杵築(きつき)市奈多の海岸に, 奈多八幡神社がある。『杵築郷土史全』(S-1)によれば, 「八幡奈多宮の神殿神庫社殿悉く海嘯のために流さる」とあり, 『勝山歴代・豊城世譜』では, 「奈多宮本社拝殿楼門鳥居残なく沈没す」とある。境内の地盤高を測量するとT.P.+6.36mとなった。社殿が流れた事から津波浸水深を2mと仮定すると, 津波高はT.P.+8.4mと推定できる。以上によって, 図の津波高さの分布図を得る。本調査は(独)原子力安全基盤機構からの委託業務「平成22~23年度津波痕跡データベースの高度化・痕跡データの信頼度の評価-」(代表, 東北大学 今村文彦)の成果の一部を取りまとめたものである。

キーワード: 慶長豊後地震, 津波, 別府湾, 津波浸水高, 大分

Keywords: the 1596 Keicho Bungo Earthquake, Tsunami, Beppu Bay, tsunami inundation height, Oita



ビデオ映像を用いて斜め単写真測量により得られた千葉県旭市沿岸の津波波面図と津波速度について

Maps and speeds of Tsunami measured by oblique mono photogrammetry with video image in Asahi City, Chiba Prefecture

春川 光男^{1*}

Mitsuo Harukawa^{1*}

¹ 2011年旭市の津波被害を記録する会

¹The Group of Recording for Tsunami Damage of Asahi City in 2011

ビデオ映像から取得した写真の斜め単写真測量により津波波面を図化し津波速度を算出した。ここでは第1波(15:44飯岡堤防着岸)と第3波(16:17同着岸)について報告する。カメラキャリブレーションは未実施である。

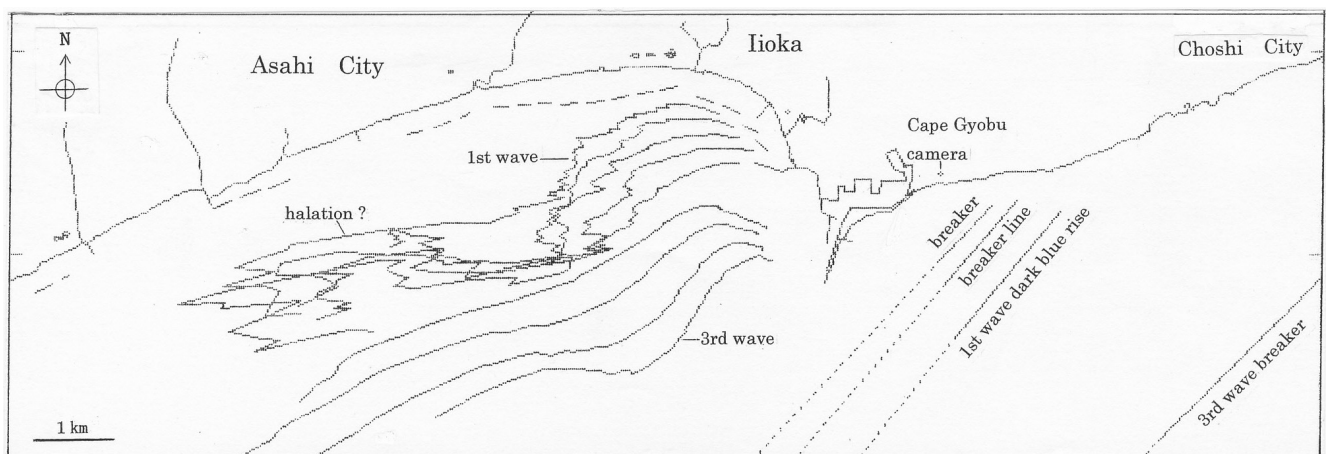
(1) 刑部岬の東方 津波は平面波で押し寄せ、その走向は第1波がN40°E、第3波がN44°Eであった。第1波は紺色の波で立ち上がり、45秒後に砕波となった。第3波は画面に砕波で現れ、約10分後にカメラの前面(刑部岬)に達した。算出された津波の群速度は第1波では8.6m/s(紺色の波から砕波)、9.4m/s(砕波間)、第3波で4.9m/sである。第3波砕波の前面にはほとんど水深が無かった。津波がカメラ方向に移動したため速度の精度が低い。

(2) 刑部岬の西方 第1波をほぼ17秒間隔で5枚、第3波をほぼ60秒間隔で4枚それぞれ図化した。算出された速度は第1波が10~12m/s、第3波が4~6m/sである。第1波では潮位が存在して上下に波立ったため凹凸の多い曲線となった。目那川南方沖では波面の北進が遅れた。さらに西部の乱れは太陽のハレーションによる可能性があるが今後の検討を要する。第3波では干上がった砂の海底を津波が低く前進したため滑らかな曲線となり、速度は第1波の2分の1程度だった。

今回の解析にはReflect Image Channel制作の「東北地方太平洋沖地震」-津波-のDVDを使用した。なお、「記録する会」では今年中の記録集の出版を予定している。

キーワード: 津波波面図, 津波速度, 写真測量, ビデオ映像, 旭市, 飯岡

Keywords: maps of tsunami, tsunami speed, photogrammetry, video image, Asahi City, Iioka



非構造格子有限体積法による「京」コンピュータを用いた高解像度津波浸水計算 High resolution tsunami inundation simulation using an unstructured mesh finite volume method and the K computer

大石 裕介^{1*}, Stephen G Roberts², 今村文彦³, 菅原 大助³, 馬場 俊孝⁴, Michael Li¹

Yusuke Oishi^{1*}, Stephen G Roberts², Fumihiko Imamura³, Daisuke Sugawara³, Toshitaka Baba⁴, Michael Li¹

¹ 欧州富士通研究所, ² オーストラリア国立大学, ³ 東北大学災害科学国際研究所, ⁴ 海洋研究開発機構

¹Fujitsu Laboratories of Europe, ²Australian National University, ³IRIDeS, Tohoku University, ⁴JAMSTEC

津波防災において数値シミュレーションは重要な役割を果たしている。例えば、都市部での浸水域を示すハザードマップの作成においては津波の浸水計算が必要になる。従来、津波シミュレーションは Leap-Frog 差分法を長波方程式に適用するのが一般的で、震源域から海岸線に向けて段階的に格子が細くなるネスティングされた直交格子が用いられる。ネスティングされる格子間の解像度の比率は 1/3 などに保たれる。また一般に、これらのシミュレーションはワークステーション等の比較的小規模な計算機を用いて実施される。

本研究では、高速計算機を用いることによる津波シミュレーション技術の高度化についての検討を行う。例えば、近年配備が進む海底水圧計や GPS 津波計による沖合津波観測に基づいて、即時的に高分解能の津波波源分布解析を行う研究が進んでいる。即時的に解析された津波波源に基づき、高速計算により浸水計算を実時間よりも十分に短く実施できれば信頼度の高い浸水情報を津波の襲来前に得ることが考えられる。また高速計算によりこれまでよりも高解像度な計算が現実的な時間内に実施できるようになる。広範囲の海岸線を高解像度にモデル化することにより、2011 年東北地方太平洋沖地震の際に見られたような、繰り返し来襲する海岸線からの反射波まで含めた高精度の評価が可能になる。さらに近年整備が進む高解像度地形データを組み込んだ高解像度モデルにより、都市部への浸水過程をより高精度に予測することが期待される。

高速計算機による計算の高速化・高精度化をより効率的に行うために本研究では非構造格子有限体積法を採用する。計算コードとして、オーストラリア国立大学と Geoscience Australia により開発されている ANUGA を用いる。従来の直交格子による方法では、ネスティングされた各格子領域は基本的には矩形である必要がある。そのため、伝播する津波の波長が長く高解像度が不必要な深海部に高解像度格子が及びタイムステップに強い制約がかかる、あるいは波が届かない標高の高い場所に格子が及び無駄な処理が必要になるなどの非効率が生じ得る。非構造格子を用いて、地形に合わせて計算格子の解像度を調整することにより、これらの非効率を回避できる。また、ネスティング格子においては、高解像度格子で発生した津波の短波長成分が低解像度格子の領域に伝播せずに境界で反射してしまうという問題が起こりうるが、より滑らかに解像度を変えられる非構造格子によりこの問題も回避できる。

本発表においては、非構造格子有限体積法による大規模津波計算を 2011 年東北地方太平洋沖地震に適用し従来の Leap-Frog 差分法による計算結果と比較を行った結果や、スーパーコンピュータ「京」上での計算性能について報告する。

2011年東北沖地震に伴う津波によって誘導された海底電場変動 Electric field variations induced by the tsunamis of the 2011 Tohoku-oki earthquake

市原 寛^{1*}, 浜野 洋三¹, 笠谷 貴史¹, 馬場 聖至²
Hiroshi Ichihara^{1*}, Yozo Hamano¹, Takafumi Kasaya¹, Kiyoshi Baba²

¹ 海洋研究開発機構, ² 東京大学地震研究所

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Earthquake Research Institute, University of Tokyo

津波の伝播に伴う海水の particle motion は電磁場を誘導する。近年の電磁気観測技術の進展に伴い、津波による磁場変動の観測例が報告されている (Toh et al., 2011; Manoj et al., 2011; Suetsugu et al., 2012; Ichihara et al., in rev)。また、2011年東北沖地震に伴って発生したパルス状の津波波源の解明にも磁場データが貢献している (Ichihara et al., in rev)。海底電磁場データの利点として、従来の観測手法では不可能であった津波の伝播方向の推定が推定可能であることが挙げられる。一方で、磁場観測値は地震に伴う磁力計の姿勢変化の影響を強く受ける他、地下の比抵抗分布の影響を受けるという欠点がある。これに対して、電場変動はこれらの影響を受けない事から、理想的な津波の観測手段となり得るが、これまでに観測例は報告されていなかった。本発表では、下記の2011年東北沖地震によって生じた津波誘導電場と考えられるデータについて報告するとともに、津波観測における電場変動データの可能性についても議論する。

2011年10月、ROV かいこうを用い、2011年東北沖地震の影響により自己浮上不可能となっていた海底電位差磁力計 (OBEM) の回収を行った。OBEM 設置点は北緯 39.1 度、東経 143.9 度であり、パルス状の津波の波源域の西側に位置する。地震動によって磁場変動の解釈は困難であったが、電場には以下の2フェーズから成る変動が観測された。1) 14:47 から 14:51 までに観測された北北東方向に卓越する変動 (振幅 8mV/km)。2) 14:48 から 15:00 までに観測された東南東方向に卓越する変動 (振幅 2mV/km)。これらの波形を津波によって誘導されたものと仮定すると、1)、2) はそれぞれ東南東方向から伝搬した波高 5.0m の津波および南南西方向から伝搬した波高 1.4m の津波と考えられる。これらは Fujii and Satake (2013) および Ichihara et al. (in rev) などによって提唱された、北緯 39 度および北緯 38 度の二つの波源域から生じた津波と調和的であり、観測された2フェーズの電場変動が津波によって誘導された可能性を支持する。

キーワード: 海底電位差磁力計, 津波, 2011年東北沖地震

Keywords: OBEM, tsunami, 2011 Tohoku-oki earthquake

断層の動的パラメータが津波波高の不確実性に与える影響の検討

Uncertainties of tsunami wave height in the tsunami simulation due to dynamic fault rupture effects

福谷 陽^{1*}, Suppasri Anawat¹, 今村 文彦¹
Yo Fukutani^{1*}, Anawat Suppasri¹, Fumihiko Imamura¹

¹ 東北大学災害科学国際研究所

¹ International research institute of disaster science, Tohoku University

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、これまでの想定を超える波高の津波が東日本太平洋沿岸に襲来し甚大な被害を発生させた。このような想定外のケースを無くす手段の一つとして、津波シミュレーションの出力である津波波高の不確実性を定量的に理解することが挙げられる。

本研究では、津波シミュレーションにおける動的パラメータ（破壊伝播速度、ライズタイム）の変化が、津波波高にどの程度影響するかを定量的に見積もった。東北地方太平洋沖地震等の破壊規模が比較的大きい地震を想定する場合には、動的パラメータの変化が津波波高に与える影響が小さくないと考えられる。

不確実性の定量的な評価手法は以下の通りである。まず、理想的な5つの小断層を設定した。ライズタイムは、過去のマグニチュード7.0以上の地震データから推定した確率分布（対数正規分布）に基づいて、モンテカルロシミュレーションにより500ケース発生させた。乱数により発生させたライズタイムを各小断層に適用し、津波シミュレーションを行った。12地点でデータを取得し、それぞれの地点において、波高の中央値からのばらつき（対数標準偏差）を計算した。破壊伝播速度は、同様な手法でモンテカルロシミュレーションにより100ケース発生させた。破壊開始点を各小断層に設定し、そこから、破壊が放射状に広がるようにして（全5ケース）、津波シミュレーションを行った。同様に12地点でデータを取得し、それぞれの地点において、波高の中央値からのばらつき（対数標準偏差）を計算した。

結果、破壊伝播速度の変化による波高のばらつきの最大対数標準偏差 = 0.14、ライズタイムの変化による波高のばらつきの最大対数標準偏差 = 0.01となった。これらから、破壊伝播速度の変化による波高のばらつきは、すべり量等の静的パラメータの変化が与える影響と比較しても無視できない程度であることが分かった。また、波高のばらつきは断層のすべり量や水深によって変化することも分かった。得られた結果は、確率論的津波ハザード評価における偶然的な不確実性の一つとして取り込み、確率論的評価手法の高度化を図る。

キーワード: 津波ハザード評価, 確率論的評価, 破壊伝播速度

Keywords: tsunami hazard assessment, probabilistic approach, rupture velocity

富士山の山体崩壊による駿河湾における津波シミュレーションの検討 Numerical simulation of tsunami in Suruga Bay by debris avalanche of Mt. Fuji

原田 賢治^{1*}, 小山 真人¹

Kenji Harada^{1*}, Masato Koyama¹

¹ 静岡大学 防災総合センター

¹Shizuoka University, Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards

東日本大震災以降、巨大地震にともなう津波の危険性についての検討が各地域で始まっており、巨大な津波高の想定結果も公表されつつある。このような巨大地震は1000年に1度とも言われる低頻度の現象であるが、一度発生すればその影響は計り知れないものになる。一方で、巨大地震がプレート境界で発生すると、近隣の火山における火山活動が活発になることも過去の事例から予想されており、巨大地震と合わせて火山活動の影響についても検討しておく事が、地域のリスクや防災対策を適切に考える上で必要となる。巨大地震が発生するプレート境界近隣の火山で山体崩壊に伴う岩屑なだれが発生した場合、局所的に大きな津波が発生する事もあり、各地域でその危険性を検討しておく必要がある。

本研究では、巨大地震の発生が危惧されている南海トラフに近い富士山が山体崩壊を起こし、岩屑なだれが駿河湾に流入した場合を想定した2つのシナリオについて検討した。具体的には、陸上の現況地形を考慮し、田子ノ浦港付近の区間、狩野川河口付近の区間の2つの区間について、岩屑なだれが海へ流れ込む状況を想定している。碎屑なだれの発生状況や津波の生成メカニズムにおいては、今回の検討では未知の要素が多いため大胆な仮定のもとに検討している。陸上の地形や既往の文献等を参考にし、流入海岸線長 3.6, 7.2km、総流入体積 0.1, 1.0km³ として、駿河湾内における津波高の変化を数値シミュレーションにより検討した。対象とした駿河湾は、湾の中央部に水深 2500m に達するトラフがあり、湾奥の田子ノ浦港、狩野川河口周辺で発生する津波は、このトラフに導かれる様に湾外に向かって伝播して行く状況が確認できた。また、焼津から御前崎の沖にある浅瀬の影響により、駿河湾西岸で局所的に津波高が 3m 程度高くなる地域が発生することを確認した。一方、駿河湾東岸の伊豆半島西側では、大きな津波高とはならなかった。駿河湾の伊豆半島側の海底地形には浅瀬は見られず、湾奥から伝播して来た津波が湾外へ抜けて行ったものと考えられる。いくつかの条件を仮定し、駿河湾における津波の基礎的な検討を行った。

キーワード: 津波シミュレーション, 岩屑なだれ, 駿河湾, 富士山

Keywords: Tsunami simulation, debris avalanche, Suruga Bay, Mt. Fuji

津波が引き起こす電磁場の非一様薄層導体近似を用いた順解問題

Forward calculation of the electromagnetic field induced by tsunamis, using non-uniform thin-sheet approximation.

川嶋 一生^{1*}, 藤 浩明², 佐竹 健治³

Issei Kawashima^{1*}, Hiroaki TOH², Kenji Satake³

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

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

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

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

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

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

References

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

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

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

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

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

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

吉田 智^{1*}, 牛尾 知雄¹, 河崎善一郎¹
Satoru Yoshida^{1*}, Tomoo Ushio¹, Zen Kawasaki¹

¹ 大阪大学工学研究科
¹Graduate School of Engineering, Osaka University

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

キーワード: 津波, リモートセンシング, マイクロ波
Keywords: tsunami, remote sensing, microwave

津波高の測定における高潮数値予測モデルの利用について

Application of numerical forecast model of storm surge to tidal correction for tsunami survey

山崎 明^{1*}, 本山龍也², 平松秀行¹

Akira Yamazaki^{1*}, MOTOYAMA, Tatsuya², HIRAMATSU, Hideyuki¹

¹ 気象庁地震火山部, ² 気象庁地球環境・海洋部

¹Seismological and Volcanological Department, Japan Meteorological Agency, ²Global Environment and Marine Department, Japan Meteorological Agency

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

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

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

キーワード: 津波, 潮位補正, 検潮所, 高潮, 津波痕跡

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

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

馬場 俊孝^{1*}, 高橋 成実¹, 堀 高峰¹, 金田 義行¹

Toshitaka Baba^{1*}, Narumi Takahashi¹, Takane Hori¹, Yoshiyuki Kaneda¹

¹ 海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

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

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

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

キーワード: 津波即時予測, DONET

Keywords: Tsunami early prediction, DONET

沖合津波観測データ同化システム用津波波形データベースの作成

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

林 豊^{1*}, 前田 憲二¹, 対馬 弘晃¹, 竹内 仁², 村嶋 陽一², 野村 出²

Yutaka Hayashi^{1*}, Kenji Maeda¹, Hiroaki Tsushima¹, Hitoshi Takeuchi², Yoichi Murashima², Izuru Nomura²

¹ 気象研究所, ² 国際航業株式会社

¹Meteorological Research Institute, ²Kokusai Kogyo Co. Ltd.

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

キーワード: 津波観測データ同化, 理論津波波形データベース, 津波予測

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

沖合津波観測データ同化システムの開発

Development of Tsunami Forecasting system based on offshore tsunami data assimilation

対馬 弘晃^{1*}, 林 豊¹, 前田 憲二¹, 横田 崇¹, 川上 博隆², 平田 怜², 吉村 健二², 遠藤 清隆², 木田 洋祐²

Hiroaki Tsushima^{1*}, Yutaka Hayashi¹, Kenji Maeda¹, Takashi Yokota¹, Hiroataka Kawakami², Satoshi Hirata², Kenji Yoshimura², Kiyotaka Endo², Yosuke Kida²

¹ 気象研究所, ² 日本電気株式会社

¹Meteorological Research Institute, ²NEC Corporation

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

キーワード: 津波即時予測, 沖合津波観測データ同化

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

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

Aditya Gusman^{1*}, Yuichiro Tanioka¹, Breanyn T. MacInnes², Hamzah Latief³
Aditya Gusman^{1*}, Yuichiro Tanioka¹, Breanyn T. MacInnes², Hamzah Latief³

¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, ²Department of Geology, Central Washington University,

³Department of Oceanography, Bandung Institute of Technology

¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, ²Department of Geology, Central Washington University,

³Department of Oceanography, Bandung Institute of Technology

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

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

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

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

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

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

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

Aditya Gusman^{1*}, Yuichiro Tanioka¹, Shin'ichi Sakai²

Aditya Gusman^{1*}, Yuichiro Tanioka¹, Shin'ichi Sakai²

¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, ²Earthquake Research Institute, University of Tokyo

¹Institute of Seismology and Volcanology, Hokkaido University, ²Earthquake Research Institute, University of Tokyo

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

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

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

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

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

吉岡 龍一¹, 松浦 律子², 山本 渉¹, 小坂 祐貴^{1*}, 鈴木 和幸¹

Ryuichi Yoshioka¹, Ritsuko S. Matsu'ura², YAMAMOTO, Watalu¹, Yuki Kosaka^{1*}, SUZUKI, Kazuyuki¹

¹ 電気通信大学, ² 地震予知総合研究振興会

¹The University of Electro-Communications, ²Association for the Development of Earthquake Prediction

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

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

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

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

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

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

2012年12月7日三陸沖地震に伴う津波の数値シミュレーション

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

青木 朝美^{1*}, 吉岡 祥一², 金野 圭祐¹

Asami Aoki^{1*}, Shoichi Yoshioka², Keisuke Kanano¹

¹ 神戸大学大学院理学研究科, ² 神戸大学都市安全研究センター

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

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

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

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

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

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

キーワード: 2012年三陸沖地震, 津波, 数値シミュレーション

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