

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題 (または観測項目) 名：

高精度リアルタイム津波予測システムの開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-2) 地震破壊過程と強震動

イ．強震動・津波の生成過程

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

本研究テーマの 5 か年の目標は、1) 中小津波の予測精度の向上、2) 限られた海底観測データを補完する陸上観測データとの統合解析法の開発の 2 点である。津波予測情報に対する一般市民の信頼度を向上させるためには、大地震にくらべて頻度が高い中小規模の津波を高い精度で予測し、「成功の経験」を蓄積することにある。そのためには、M7 程度の地震による津波に対するリアルタイム予測を実現することが必要である。また、本研究で開発を進めている、津波波源モデルの推定に基づく津波予測では、津波波源の推定精度の向上が必要不可欠であり、沖合でのリアルタイム津波波形に加えて、長周期地震波形を有効に活用する手法の開発を進める。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度においては、比較的短波長成分が卓越する中小津波の伝播アルゴリズムの改良を行うことにより、その沿岸における到達時刻と波高の予測精度の向上を図る。そのために、従来の津波波形計算で用いていたものと比べてより高精度の計算手法を波源推定ならびに沿岸津波波形予測に応用する。また、津波波形を用いた津波初期波高逆解析に、長周期地震波からリアルタイムで推定されるモーメントテンソルの情報を拘束条件に取り込むことによって、津波波形の推定精度向上を図る。

平成 22～25 年度は、21 年度に着手した予測アルゴリズムの改良を継続する。改良予測アルゴリズムを、従来の津波観測波形に応用することにより、推定精度向上の検証をすすめるとともに、その評価に基づくさらなる改良を行う。また、津波波形計算手法の改良は、長波長近似の成立が難しい、大水深で発生する大規模な津波の予測精度向上にも貢献すると期待されるため、海溝外側海域の超深海で発生した津波を用いた事例研究を行う。

(7) 平成 23 年度成果の概要：

2011 年東北地方太平洋沖地震では、東北地方沿岸各地に 10m を大きく超える津波が襲来し、甚大な被害をもたらした。残念ながら、本研究により開発してきた津波予測システムはリアルタイムに稼働できるような実装の段階に至っておらず、実際の津波予測には貢献することができなかったが、このシステムが稼働していたとすれば、沖合の津波観測データから巨大津波が沿岸に襲来する時刻と規模を、事前に高い精度で予測可能であったことが確かめられている (気象研究所・課題番号 7021 参

照)。一方で、津波の伝播速度は深海域でも毎秒数百 m 程度であって、超巨大地震の広大な震源域で発生した長波長の津波は 10 分以上の長周期の変動として観測されるために、地震発生後短時間のうちに津波波源モデルを正確に把握するのは原理的に困難である。一方で、断層モデルの即時推定については、リアルタイム GPS 時系列を用いた手法の開発が課題番号 1218 により進められている。この手法を東北地方太平洋沖地震の際に得られた 1 秒サンプリングデータに適用した結果、地震発生後およそ 3 分後に $M_w=8.7$ に相当する断層モデルが得られる。そこで、この即時推定結果に基づいて津波波形予測を行い、リアルタイム津波予測に応用可能かを検討した。津波予測は、従来の方法と同様、事前に計算されている初期海面高に対する津波波形のグリーン関数の重ね合わせによるもので、断層モデルから海面高変動場の計算（ここでは、海底面の上下変動分布と海面高分布が等しいと仮定）とあわせても、断層モデルが得られた後およそ 1 分程度で計算を完了することができる。図 1 は、リアルタイム GPS データによって地震発生 4 分後に推定された断層モデルに基づく津波波形予測計算の結果である。沿岸検潮記録にみられる大振幅の津波の立ち上がり部分の到達時刻や波高を高い精度で予測できていることがわかる。沖合の津波波形合成にかかる時間を考慮しても、地震発生の 5 分後にこの程度の精度の津波予測が可能であって、このことはリアルタイム GPS データをベースにしたリアルタイム津波予測が津波防災に十分貢献可能であることを示す。また、沖合観測点においても予測波形と観測波形の概形がよく似ていることも注目に値する。リアルタイム GPS データから推定される断層モデルを初期モデルとして、予測波形と観測波形の残差を逆解析することで、沖合津波観測データに基づく津波予測のさらなる高精度化が期待できる。

また、海底観測点で得られる良質な津波波形記録を用いた津波波源予測の高度化も行った。2011 年東北地方太平洋沖地震に伴う津波は、東北地方沿岸の GPS 波浪計や震源域に設置された自己浮上式海底圧力計ならびに NOAA が太平洋に設置した津波観測ブイシステム (DART) によって捉えられている。これらで観測された津波波形から津波波源を逆解析により推定する際に線形分散波理論に基づいて作成したグリーン関数を用いたところ、観測される津波の短波長成分の再現性が改善されることにより、波源モデルの空間解像度を向上できることが確かめられた (図 2)。

(8) 平成 23 年度の成果に関連の深いもので、平成 23 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :

Inazu, D. and R. Hino, Temperature correction and usefulness of ocean-bottom pressure data from cabled seafloor observatories around Japan for analyses of tsunamis, ocean tides, and low-frequency geophysical phenomena, *Earth Planets Space*, 63, 1133-1149, 2012.

Ohta, Y., T. Kobayashi, H. Tsushima, S. Miura, R. Hino, T. Takasu, H. Fujimoto, T. Iinuma, K. Tachibana, T. Demachi, T. Sato, M. Ohzono, N. Umino, Quasi real-time fault model estimation for near-field tsunami forecasting based on RTK-GPS analysis: Application to the 2011 Tohoku-Oki Earthquake (M_w 9.0), *J. Geophys. Res.*, doi:10.1029/2011JB008750, 2012.

Saito, T., Y. Ito, D. Inazu, and R. Hino, Tsunami source of the 2011 Tohoku-Oki earthquake, Japan: Inversion analysis based on dispersive tsunami simulations, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L00G19, doi: 10.1029/2011GL049089, 2011.

Tsushima H., K. Hirata, Y. Hayashi, Y. Tanioka, K. Kimura, S. Sakai, M. Shinohara, T. Kanazawa, R. Hino, and K. Maeda, Near-field tsunami forecasting using offshore tsunami data from the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, 63, 821-826, 2011.

Tsushima, T., R. Hino, Y. Tanioka, F. Imamura, and H. Fujimoto, Tsunami waveform inversion incorporating permanent seafloor deformation and its application to tsunami forecasting, *J. Geophys. Res.*, 2012 (in press).

(9) 平成 24 年度実施計画の概要 :

本課題は超巨大地震に関する当面推進すべき研究に申請した新課題「高精度リアルタイム津波予測システムの開発」に完全に移行する。

- ・巨大地震発生時における RTK-GPS による地震時永久変位即時推定の可用性評価

巨大地震が発生直後の通信途絶を想定し，観測点 - データセンター間の代替通信手段として衛星通信によるリアルタイム測地データ流通の基礎研究を実施する．

- ・ RTK-GPS データを取り入れた津波予測手法の開発

RTK-GPS 測位データから推定される震源断層モデルを初期波源として，リアルタイム海底津波データをフィードバックすることにより，津波予測情報の逐次改善に関する技術開発を進める．

- ・ RTK-GPS データによる震源断層モデル推定手法の高度化

RTK-GPS データから津波波源の空間的な不均質性についてどの程度の情報を抽出できるかの検討を進める．

- ・ 次世代津波予測システムの性能評価

東北地方太平洋沖地震の際に得られた実データを用いた retrospective な解析を行うとともに，プレート境界型あるいはアウトターライズ巨大地震について，シナリオを設定して，システムの性能評価シミュレーションを行う．

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

日野亮太・藤本博巳・伊藤喜宏・太田雄策・他

他機関との共同研究の有無：有

北大理（谷岡勇市郎），気象研（平田賢治），海洋研究開発機構（金田義之・3 名程度）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター

電話：022-225-1950

e-mail：zisin-yoti@aob.gp.tohoku.ac.jp

URL：http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：日野亮太

所属：東北大学大学院理学研究科

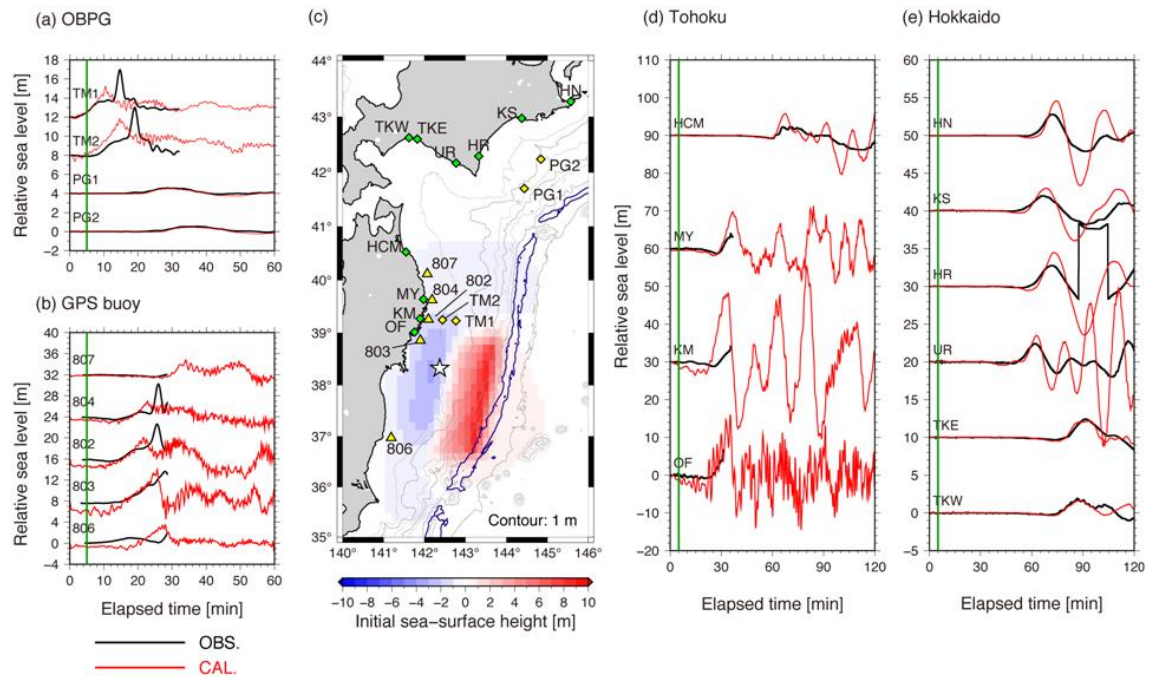


図 1

リアルタイム GPS データによって推定された断層モデルに基づく津波波形予測計算の結果．地震発生後 4 分後までの GPS データを用いた逆解析の結果を用いて津波波形合成を行った．計算時間を考慮すると地震発生後 5 分後の予測結果とみなすことができる．(a) 海底ケーブル式津波計の観測波形（黒）と予測波形の比較．(b) GPS 波浪計による津波波形．(c) GPS データによる断層モデルから計算される初期海面高分布．(c) 本州における沿岸観測点での津波波形．(d) 北海道の沿岸津波観測点での波形．(a), (b), (d), (e) 中の緑の線は，地震発生後 5 分の時点を示し，それより右側の理論波形（赤）はその時点での未来予測値に相当する．

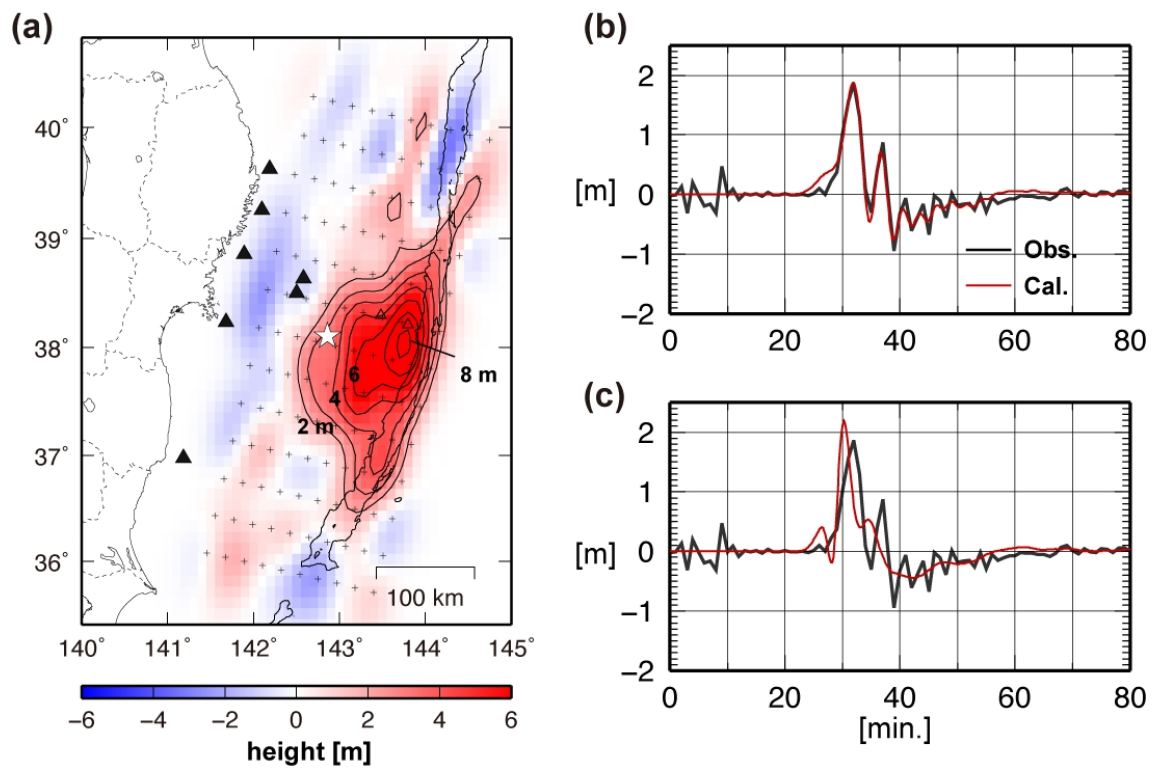


図 2

(a) 沖合津波観測 (GPS 潮位計, 海底水圧計, DART) で記録された津波波形を用いた 2011 年東北地方太平洋沖地震による津波の初期波面高分布. ▲は観測点. (b) 観測波形および (a) の波源モデルから得られた計算波形. DART21418 観測点におけるもの. 計算には線形分散波理論を用いた. (c) (b) と同じ観測点に対して線形長波近似を用いて計算した津波波形と観測波形の比較.