

(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 22 年度成果の概要：

平成 22 年度においては、現在稼働中の沖合観測網の津波データを近地津波予測に活用するための取り組みとして、本研究でこれまでに開発した、ケーブル式海底水圧計の波形データの逆解析に基づく津波予測手法に、GPS 波浪計のデータを加えた場合、沿岸の津波予測精度がどのように変化するかを数値実験により調べた。

実験では、千島・日本海溝における津波マグニチュード 8.6 のプレート境界地震を想定した。Tanioka and Satake (1996) による 1896 年明治三陸地震の断層パラメタの推定値(ただし、断層位置は約 100 km

ほど北に移動)を用いて津波波形を計算し、これらを沖合および沿岸観測点での観測波形とした。地震発生後 20 分に津波予測を行うことを想定して、既存の 4 点のケーブル式海底水圧計の波形のみを用いて予測したところ(図 1 a), 波源の隆起域が波源短軸(東西)方向に大きく広がるとともに初期波高が過小評価され(図 1 b), 結果として観測波高の大きい HCM(八戸湊)などの沿岸観測点での波高予測が過小評価になった(図 1 c, d)。この傾向は、時間が経過しても改善しなかった。一方で、地震発生後 32 分を想定して、東北地方の太平洋岸で現在稼働中の 5 点の GPS 波浪計の波形も予測計算に用いると、この過小評価を低減できた。津波輻射の強い波源短軸方向(西側)に位置する GB3(青森東岸沖の GPS 波浪計)で引き波の最大波高が観測されると(図 2 a), 波源域の西側部分に沈降域が推定され、結果として、波源短軸方向の波高分布の空間パターンに拘束がかかり、初期波高や沿岸波高の過小評価が改善されたと考えられる(図 2 b, c)。この結果は、海底水圧計の波形によって波源域の長軸方向の広がり拘束されていれば、GPS 波浪計で津波が一部でも観測された時点で、沿岸の波高予測精度が向上しうることを意味しており、両データを予測計算に併用することの有用性を示す。また、こうした波源モデルの推定精度向上に伴って、GB3 の背後の海岸に位置する HCM のみならず、UR(浦河)の沿岸観測点における波高予測精度も向上した(図 2 d)。これは、GPS 波浪計を設置することが、その付近の沿岸地域だけでなく、より広範囲における津波波高予測の精度向上につながりうることを示す。

一方で、ケーブル式津波計で観測される海底圧力データに現れるノイズ除去技術の開発を行った。中小津波の予測精度向上は、被害軽減だけでなく、一般市民の津波予測情報に対する信頼度を向上させる意味で重要である。小規模津波を対象に津波予測をする際には、観測データにおける S/N 比が低い場合、津波以外の圧力変化を津波と認識して予警報を発令するリスクを十分に考慮する必要がある。ケーブル式津波計のデータには、圧力測定値と温度に強い相関があり、温度変化による「偽の」圧力変動が記録されることがある。こうした「偽の」圧力変動イベントは、小規模津波として検知される可能性があり、false alarm の発令につながる可能性があった。そこで、観測開始以来蓄積された、10 年間以上にわたる圧力データを用いて、温度 - 圧力間の相関を求め、経験的に温度変化の影響を補正する方法について検討を進めた。その結果、ケーブル式津波計による圧力データには明瞭な温度依存性があるものの、その依存性には周波数依存性があるほか、依存関係が経年的に変化することがわかった。ただし、中小の津波が観測される、数時間程度より短周期側では、温度応答は比較的安定であり、経験的に求めた圧力 - 温度相関関係を用いることにより、温度変動に起因するノイズの低減が可能であることが明らかとなった。さらに、この手法を実データに応用し、小規模津波と紛らわしい「偽の」圧力変動が低減できることを示した(図 3)。

==== 平成 23 年度の成果 ====

「課題番号：9100」

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る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 程度であるため、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 4 は、リアルタイム

ム GPS データによって地震発生後 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じゅうぶん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される。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。

- (8) 平成 22 年度の成果に関連の深いもので、平成 22 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等) :
対馬弘晃・平田賢治・林豊・前田憲二・日野亮太・藤本博己・今村文彦・谷岡勇市郎, 2010, 海底圧力・GPS 波浪計データによる近地津波予測, 日本地震学会講演予稿集, P3-50 .
稲津大祐・日野亮太, 2010, Hewlett Packard 社の海底圧力計のノイズレベルを評価する, 日本地震学会講演予稿集, P1-35 .

- (9) 平成 23 年度実施計画の概要 :

平成 23 年度においては、海溝付近の大深海域で発生する地震に伴う津波を早期に高精度で予測するためのアルゴリズムの開発を行う。こうした地震に伴う地表変位は、陸上 GPS 観測では検出することが困難であるため、陸上 GPS データの代わりに地震波データを水圧計データと統合解析できるように予測アルゴリズムを改良する。また、大深海域で発生する津波は、その波長が水深に比べて十分に長くないため、これまで用いてきた伝播アルゴリズムの近似条件が成立せず、津波予測精度の低下につながる可能性がある。そこで、より高精度の計算手法を適用し、沿岸における津波到達時刻と波高の予測精度の向上を図る。

- (10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

日野亮太・藤本博己・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.geophys.tohoku.ac.jp

URL : <http://www.aob.geophys.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

電話 : 022-795-3916

FAX : 022-264-3292

e-mail : hino@aob.geophys.tohoku.ac.jp

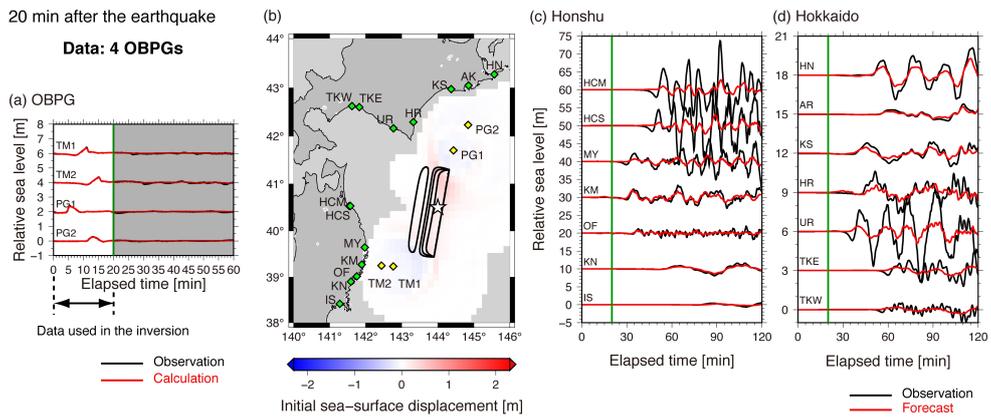


図 1

津波マグニチュード 8.6 のプレート境界地震に伴う津波を、現在稼働中の 4 点の海底水圧計の波形データを用いて予測することを想定した数値実験における、地震発生後 20 分の予測結果。(a) 逆解析で用いた水圧計での観測波形 (黒線) と計算波形 (赤線) の比較。(b) 逆解析により推定された初期波高分布。推定量をカラスケールで示した。黒線は仮想観測データ生成時に与えた初期波高分布を示す。(c), (d) (b) に示した推定波源モデルから計算した予測津波波形 (赤線) と観測津波波形 (黒線) の比較。(c) が本州, (d) が北海道の沿岸津波観測点での比較。(a), (c), (d) の緑線は予測を行う時刻を示す。(b) の星印は震央位置を示し、逆解析における空間ダンピング拘束の基準位置として用いた。

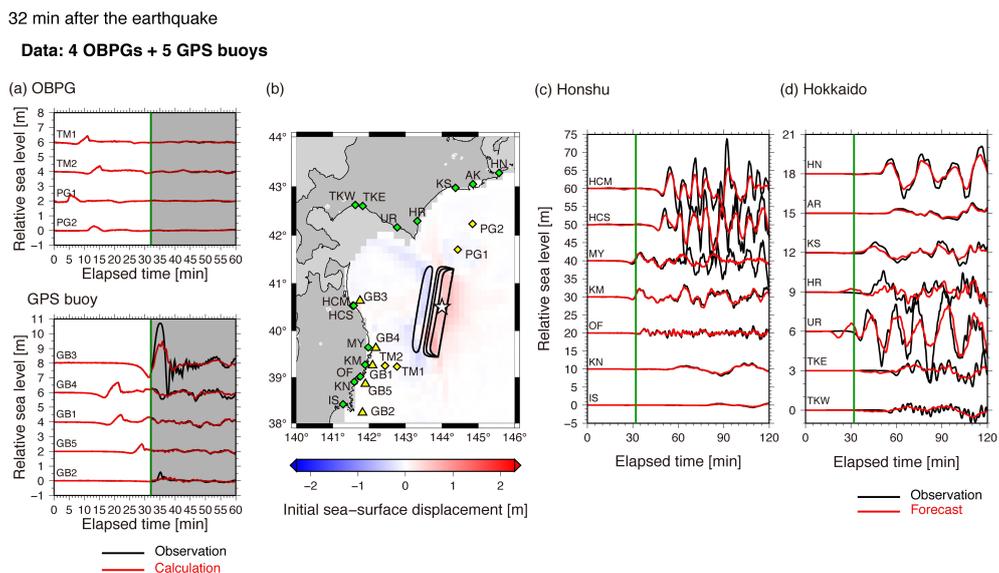
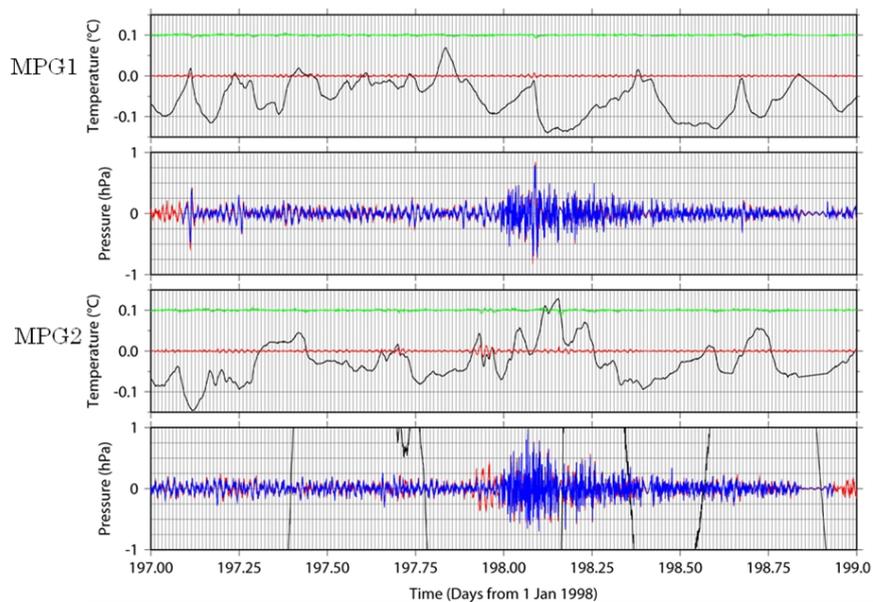


図 2

図 1 と同様の地震津波を、現在稼働中の 4 点の海底水圧計と 5 点の GPS 波浪計の波形データを用いて予測することを想定した、地震発生後 32 分の予測結果。図の見方は、図 1 と同じ。



1998年07月17日 Papua New Guinea (Mw7.0)

図 3

1998年パプアニューギニアの地震による津波の記録．室戸沖の海底圧力計でのもの（2観測点，MPG1とMPG2）．温度データは，黒（絶対値），緑（時間微分），赤（ハイパスフィルタ後）．圧力データは，赤（ハイパスフィルタのみ，温度補正なし），青（温度補正あり）．MPG2では，津波到来直前に温度変化による「偽の」圧力変動が未補正の時系列（赤）に見られるが，補正後ではそうした影響が低減できる．

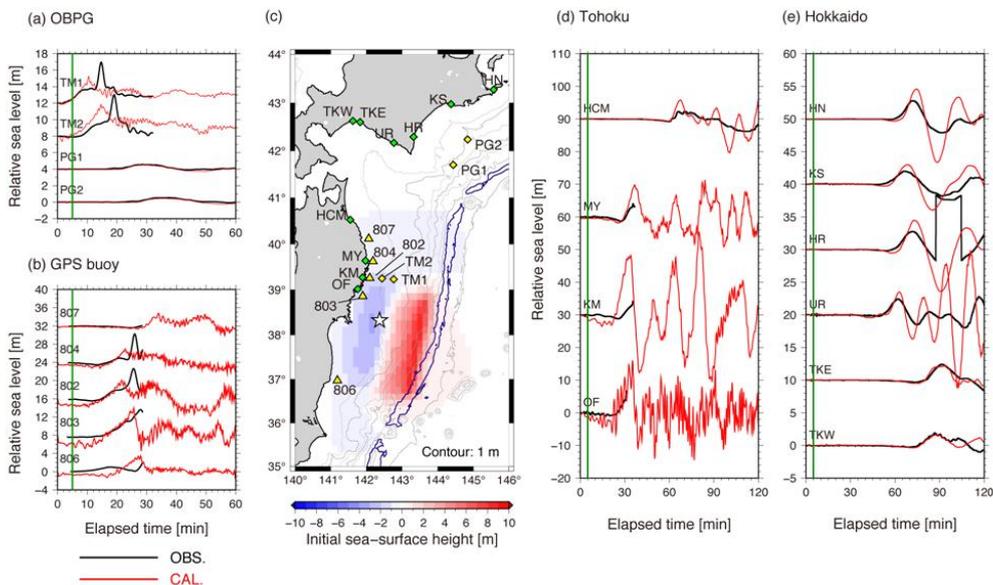


図 4

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．