

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題（または観測項目）名：

逐次津波波形解析による津波励起波源の推定

(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：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(3) 地震・火山現象に関するデータベースの構築

ア．地震・火山現象の基礎データベース

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

現在の津波解析および津波波高予測は地震波データ等から推定される地震断層モデルを利用して行われる。しかし、海底地すべりや海底噴火等、津波の励起は地震波の励起から予測することが難しい場合がある。本研究では、地震断層モデルを用いるのではなく、観測された津波波形から直接海面変動を推定し、津波波高を予測する手法を開発する。さらに、リアルタイムで予測を行うために、観測津波波形の増加とともに再推定を行い、津波波高の予測精度を逐次に改善していく手法を開発する。最後に、巨大津波被害発生時には津波予測改善を目指し、国際協力研究として緊急津波調査研究を実施する場合がある。

近地津波に対しては、モデルケースとして 2003 年十勝沖地震の際に発生した津波を対象に沿岸での波高予測を試みる。この地震は海底ケーブル式津波計が設置されている場所で発生し、それらの津波計で地震により発生した津波の波形が観測されており、手法の妥当性を評価する上で最適な津波である。津波数値計算及び逆解析によって津波を励起した海面変動を迅速に精度良く推定する手法を開発し、この地震による津波波高予測を行う。

遠地津波のモデルケースとして 2006 年中千島地震によって発生した津波を対象に日本沿岸での波高予測を試みる。この地震による津波は NOAA・PMEL が太平洋に設置したブイ式津波計によって観測されており、太平洋を伝播して日本沿岸に被害を及ぼす遠地津波に対する本手法の妥当性を評価する上で最適な津波である。遠地津波を対象とし、観測津波波形から海面変動を迅速に推定する手法を開発し、2006 年中千島地震による津波波高予測実験を行う。

さらに、上記の 2 つの津波に対し、地震発生後最初に津波第 1 波が震源に最も近い観測点で観測された時点で日本沿岸での津波波高予測を行い、その後他の観測点で津波第 1 波が観測される毎に予測を改善して行く手法を開発する。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

21 年度

近地津波に対し日本沿岸の観測津波波形から海面変動を予測し、沿岸での津波波高を予測する手法を開発する。

22 年度

開発された手法を 2003 年十勝沖地震により発生した津波に適用し、実際の津波予測が適切にできるよう改善する。

23 年度

遠地津波に対し太平洋での観測津波波形から海面変動を予測し、日本沿岸での津波波高を予測する手法を開発する。

24 年度

遠地津波に対し開発された手法を 2006 年中千島沖地震により発生した津波に適用し、実際の津波予測が適切にできるよう改善する。

25 年度

早期に津波予測を行うために、津波第 1 波観測時点から逐次に予測を改善していく手法を開発する。

(7) 平成 23 年度成果の概要 :

● 津波予測向上に向けた 2011 年東北地方太平洋沖地震の震源過程解析

2011 年東北地方太平洋沖地震の震源過程と津波波形データ・GPS 地殻変動データ・海底地殻変動データと用いて解析した。津波波形としてまず海底津波計 (TM1, TM2 (東京大学・東北大学) , KPG1, KPG2 (JAMSTEC)) , GPS 津波計 (GPSB802, GPSB804, GPSB803 , GPSB806) , DART-NOAA (21401, 21413, 21418, 21419) , 検潮記録 (えりも、森、勝浦 (GS11) , 伊東 (GS19)) で記録された津波波形を使用する。陸上 GPS の地震時地殻変動観測記録は図 7 に示す ([JPLftp://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/urs/ARIA](http://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/urs/ARIA)) を使用した。それに加え海上保安庁が観測した海底 GPS 音響結合式地殻変動観測データ (釜石沖 1 , 2 , 宮城沖 1 , 2 , 福島沖 , 海上保安庁) も使用した。小断層は長さ 50km 幅 40km とし 45 個断層面上に配置した。走行 202 ° に固定した。傾斜角はプレートの形状に沿って変化させた。GSP データ・海底 GPS データ・津波波形データの同時インバージョンにより各小断層のすべり量とすべり角を推定した。インバージョンにより得られたすべり量分布を図 1a に示す。最大で 44m のすべり量が推定され、最も海溝よりでも 40m を越えるすべり量が推定された。地震モーメントは $5.5 \times 10^{22} \text{Nm}$ (Mw9.1) と推定された。長周期の津波は非常に良く再現されているが、海底津波計 TM1, TM2 や GPS 津波計 GPSB2, GPSB4 に見られる短周期の津波はまだ波高が足りない。Tanioka and Seno (2001) が明治三陸津波地震の津波波形解析に用いた海溝軸近傍のバックストップ前の堆積物の変形による効果を計算し再インバージョンを実施した。結果を図 1b に示す。図 2 に観測津波波形と計算津波波形の比較を示す。短周期の津波はすべり量分布だけよりも上手く説明できているのが分かった。短周期の津波の成因は明治三陸津波地震の津波が大きくなった原因として提案された付加体の効果があったと思われる。

● 2011 年東北地方太平洋沖地震の津波遡上高及び津波堆積物調査

2011 年東北地方太平洋沖地震の津波の津波浸水高・津波遡上高調査は全国の大学及び関連機関が合同で調査を実施しているが、ここでは北海道大学で実施した調査結果だけをまとめる (図 3) 。図 3 には 1896 年明治三陸津波地震による津波遡上高と 1933 年昭和三陸地震による津波遡上高も合わせて示す。今回の津波は岩手県沿岸で 30m を超える津波となっていることが分かる。さらに宮城県や福島県でも 20m 近くの津波となっており、明治や昭和の三陸津波よりも広範囲で津波が大きくなっている様子が分かる。さらに白浜や綾里では今回の地震による津波よりも明治や昭和の三陸津波が大きかったことも明らかになってきた。今後数値計算等により、その原因を明らかにする必要がある。

2011 年東北地方太平洋沖地震の津波で形成した堆積物の分布、層相、堆積構造について詳細な野外調査をおこなった。調査範囲は、青森県三沢海岸、および、岩手県久慈市から大槌町で、なるべく自然の状態に近い海岸で調査した。下記のような特徴が明らかになった。

1) 津波が押しよせた海岸では、砂丘や段丘崖の侵食が顕著であった。

- 2) 津波堆積物は、侵食域の背後で厚く堆積しており、侵食域から離れると層厚は一気に薄くなるが、浸水限界まで分布する。
- 3) 海岸付近に侵食されやすい地形がないと、津波堆積物は薄く、分布はパッチ状である。また、分布域に防潮堤、崖、密度の高い森林があると、層厚は減衰する。
- 4) 津波堆積物は主に砂で、海岸からの距離に応じて細粒化する。また、軽鉱物の割合が増加する。
- 5) 津波の波高と、堆積物の厚さ・粒径の間には、顕著な関係は見られない。

● 超巨大地震による津波遡上高即時推定手法の開発

東北地方太平洋沖巨大地震の発生を受けて、巨大津波の予測は、地震発生から津波遡上高の予測までリアルタイムで予測する手法を開発することが重要であることが明らかになった。東北地方太平洋沖地震による津波遡上高分布を見ても明らかなように津波高はローカルな地形の影響を受け大きくばらつく。本研究では巨大地震の震源が決まってからリアルタイムで津波遡上高と遡上域を推定する手法の研究開発を実施した。

本手法は超巨大地震の震源が決まると同時に 1) W フェーズを利用したインバージョンを実施し地震メカニズム・地震モーメント・セントロイドを推定、2) それを基に Hanks and Bakun(2001) の式を用いて断層幅 W と断層長 $L = 2W$ を決め矩形断層モデルを作成、3) 推定断層モデルを用いて津波数値計算を実施し、津波遡上域・津波遡上高を予測することとした。これらをリアルタイムで実施する手法を開発した。本手法を東北地方太平洋巨大地震に適用し、その有効性を評価した。まず、地震発生後 5 分間に F-Net で観測された W フェーズの地震波形 10 観測点を用いて地震メカニズム・地震モーメント・セントロイドを推定し、断層モデルを推定した(図 4 黄緑)。走行が 221 度と少し実際の走行からずれて推定されたが M_w は 9.0 と良好に推定された。次に地震発生後 10 分間の地震波形(18 観測点)を用いて同様に地震メカニズム・断層モデルを推定した(図 4 青)。走行 207 度、 M_w は 9.0 と比較的良好な結果が得られた。図 4 には遠地波形を含めた 69 観測点の地震波形を用いた解析結果も赤で示す。図 5 には図 4 で推定された断層モデルから南三陸町で計算された津波遡上域と津波高を示す。走行のずれから地震発生後 5 分間の地震波形を用いた解析では津波遡上域・津波高とも過小評価になっていることが分かる。しかし地震発生後 10 分間の地震波形を用いた結果では比較的上手く津波遡上域と津波高を予測できていることが分かる。仙台平野での結果も同様であった。つまり、今回の地震においても地震発生後 10 分間の地震波形を用いることで地域の津波遡上を比較的上手く再現できることが分かった。本津波遡上リアルタイム予測手法の有効性が確かめられた。

(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) :

- [1]Gusman, A. R., Y. Tanioka, and T. Takahashi, Numerical experiment and a case study of sediment transport simulation of the 2004 Indian Ocean tsunami in Lhok Nga, Banda Aceh, Indonesia, Earth Planet Space, in press.
- [2] Tanioka, Y., and A.R. Gusman, Slip distribution of the 2011 Tohoku-oki earthquake, The 7th Taiwan-Japan Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation in 2011 ? Typhoon MORAKOT & 311 Earthquake in Japan, ed. C. Shieh, published DPRC, NCKU, 1-9, 2011.

(9) 平成 24 年度実施計画の概要 :

W フェーズからインバージョンにより得られる地震メカニズム・地震モーメント解析結果から断層モデルを作成し、津波波形が観測された時点ですべり量分布に反映させ、逐次モデルを改善させ、地域の津波遡上域・遡上高の推定精度を上げる手法の開発を実施する。遠地津波に対し太平洋での観測津波波形から海面変動を予測し、日本沿岸での津波波高を予測する手法を開発する。遠地津波に対しては観測津波波形から日本への津波を予測する手法を開発し 2006 年中千島沖地震により発生した津波に適用する。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

谷岡勇市郎・西村裕一

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所

(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：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

電話：011-706-3591

e-mail：mccopy_mm@mail.sci.hokudai.ac.jp

URL：http://www.sci.hokudai.ac.jp/grp/isv/isv-web/

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：谷岡勇市郎

所属：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター

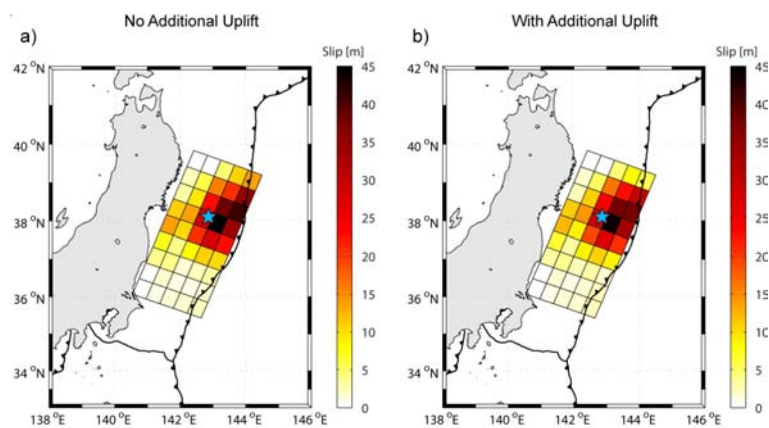


図1 津波波形とGPS観測・海底GPS観測による地震時地殻変動の同時インバージョンにより推定した2011年東北地方太平洋沖地震のすべり量分布(a)と海溝軸近傍での堆積物の変形を考慮したすべり量分布(b)

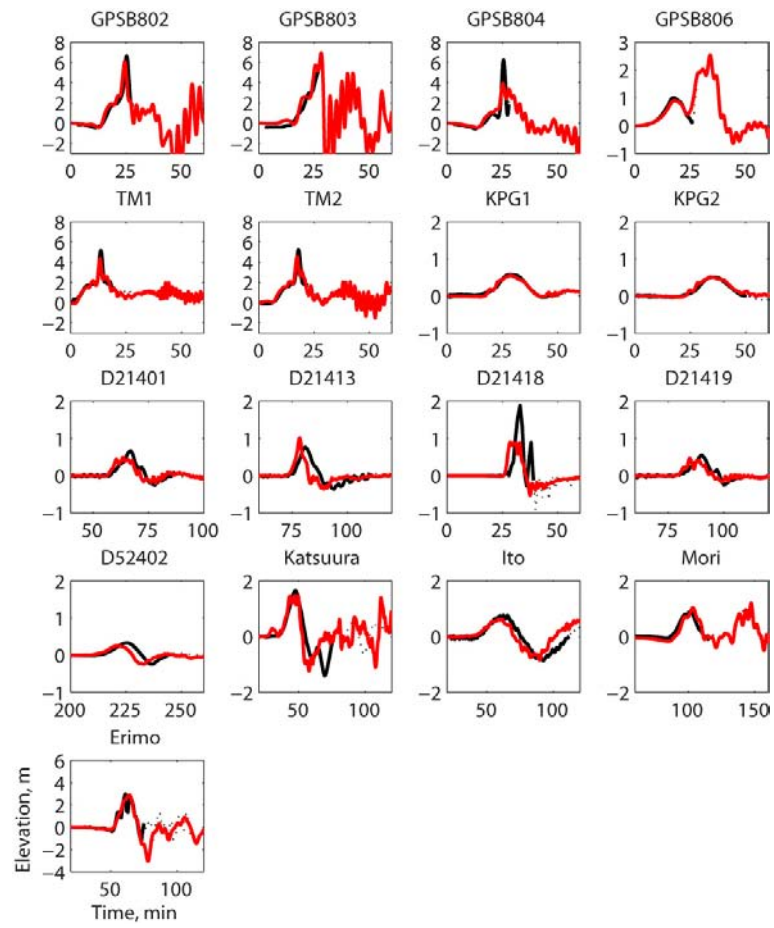


図2 海溝軸近傍での堆積物の変形を考慮した場合の観測津波波形（黒）と計算津波波形（赤）の比較。

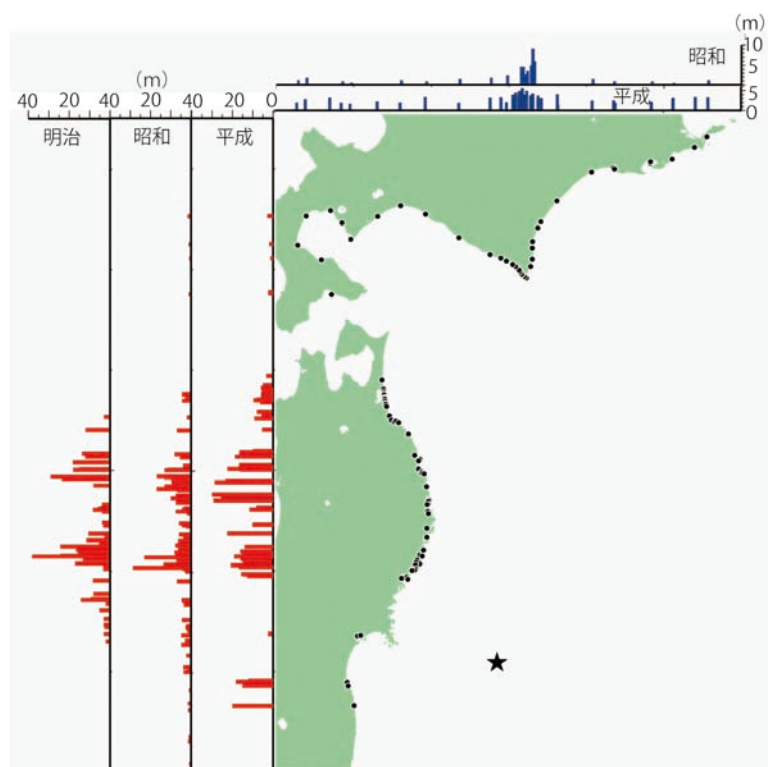


図3 2011年東北地方太平洋沖地震による津波遡上高調査結果と1896年明治三陸津波や1933年昭和三陸津波との比較

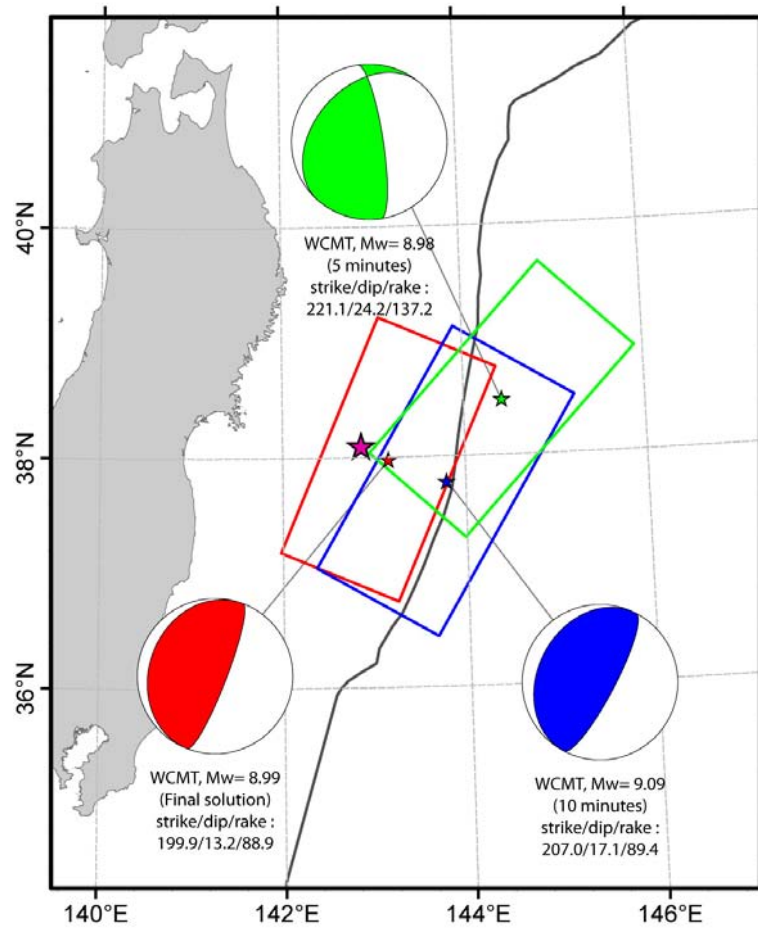


図4 W フェーズを用いた地震波形インバージョンの結果と推定された断層モデル。黄緑は地震発生から 5 分間の地震波形を用いて推定。青は地震発生から 10 分間の地震波形を用いて推定。赤は遠地地震波形を含めて推定。

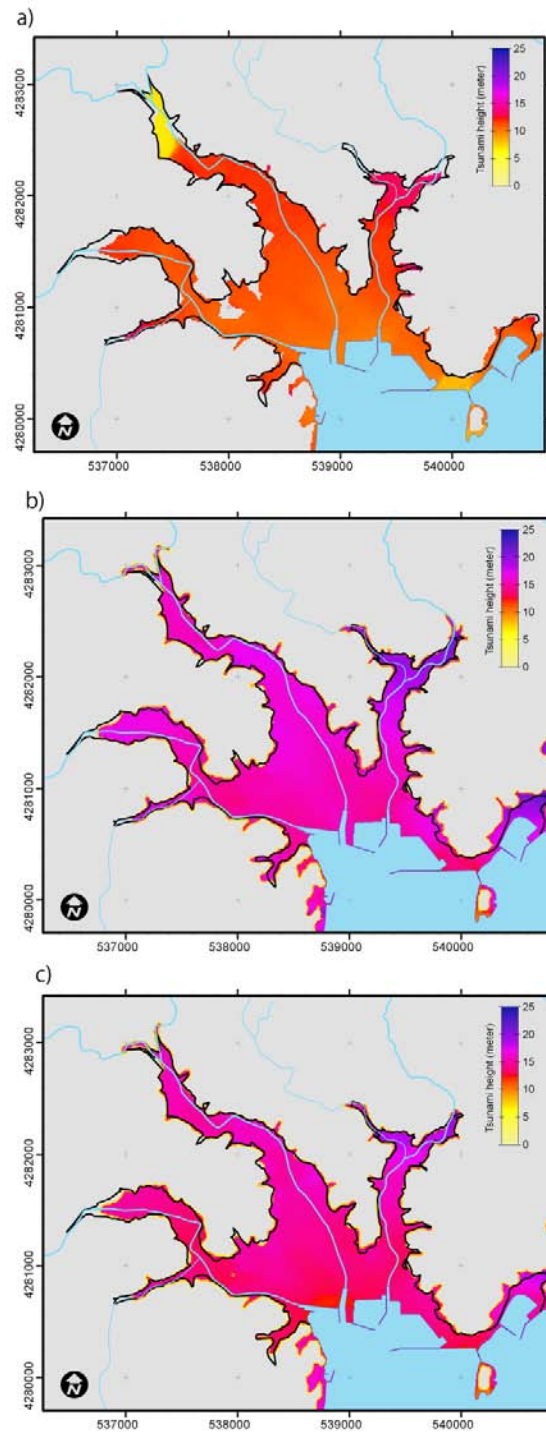


図5 南三陸町での津波遡上予測結果。a) 地震発生から5分間の地震波形から推定された断層モデルから計算された津波遡上域と津波高。b) 地震発生から10分間の地震波形から推定された断層モデルから計算された津波遡上域と津波高。c) 遠地波形も含めた断層モデルから計算された津波遡上域と津波高。太線は東北地方太平洋沖地震の津波遡上域