

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

超巨大地震により発生する巨大津波の即時予測に向けた津波解析手法開発

(3) 最も関連の深い建議の項目：

5. 超巨大地震に関する当面実施すべき観測研究の推進

(2) 超巨大地震とそれに起因する現象の予測のための観測研究

ウ．超巨大地震から発生する津波の予測

(4) その他関連する建議の項目：

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

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

現在の津波解析及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、海底地滑りや海底噴火等、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。

北海道太平洋沿岸では津波堆積物調査研究等により、400-500 年に一度、超巨大津波に襲われてきたことが明らかになってきた。最近では 17 世紀前半に発生したとされており、北海道太平洋沿岸では巨大津波に対する津波災害対策が緊急の課題となっている。本課題は、超巨大地震による津波予測の精度向上を目標として、リアルタイムで直接太平洋沿岸の津波の高さや浸水域を予測する手法の開発を行う。さらに即時予測の推定時間短縮と予測精度向上のため最も有効な海底津波観測点の検討も行う。また、最近、2011 年東北地方太平洋沖地震による巨大津波の影響で震源域上空の電離圏が乱され、それが GPS 連続観測網(GEONET) のデータから解析される全電子数(TEC) の時系列で捕らえられていたことが分かってきた。つまり TEC の時系列解析により巨大津波が面的に捕らえることができる可能性がある。本課題では、TEC の時系列データから津波波高分布を得るための解析手法の開発を実施する。

(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

北海道太平洋沖で発生すると考えられる超巨大地震による巨大津波が発生した場合に、即時に推定された断層モデルから太平洋沿岸での津波を早期に予測するための研究を実施する。具体的には、想定されている北海道太平洋沖超巨大地震の断層モデルで計算される津波を実際に発生する津波と仮定し、津波波形の比較により、即時的に太平洋沿岸での津波の浸水予測を実施する手法を開発する。また、GPS 連続観測網 (GEONET) のデータから解析される TEC の時系列から津波波高を推定するための手法を開発する。

25 年度

北海道太平洋沖の超巨大地震に対して釧路沖の海底津波計を用いた手法開発を実施する。それに加えて、将来さらなる津波予測精度の向上と予測時間短縮のために海底津波計が増設されることを考え、それらを利用した手法を開発する。

(7) 平成 24 年度成果の概要 :

超巨大地震により発生する巨大津波の即時浸水予測に向けた津波解析手法の開発

北海道太平洋沿岸は、津波堆積物調査結果より、最近の M8 クラスの巨大地震による津波よりもはるかに大きな津波が太平洋沿岸を襲っていたことも明らかになっている。それらの超巨大津波の中で最新のものは 17 世紀に発生したとされ、津波堆積物調査データも最も多い。この巨大津波を発生させた地震の最新の断層モデルが北海道大学の課題 1002 で推定され、海溝沿いのプレート境界で大きなすべり (約 25m) が必要であることが明らかになっている。このようなプレート境界型巨大地震が発生すると、大津波を引き起こし北海道太平洋沿岸の自治体で甚大な被害が予想されている。被害を最小限に抑えるためには、この様な大津波に対応したリアルタイム津波浸水予測の開発が急務である。

津波浸水域を精度よく予想するためには、10m 以下の細かい格子間隔で津波遡上数値計算を実施する必要がある。地震が発生してから津波数値計算を実施しては、太平洋沿岸の津波を予測することができない。そこで、本研究では、あらかじめ多くの断層モデルに対して津波遡上数値計算を実施しておき、それをデータベース化することで、リアルタイムで津波浸水域を予測する手法を開発する。

巨大地震が発生し、震源とマグニチュードが気象庁により決定されれば、まず、プレート境界型地震である事を仮定し、地震のスケーリング則を利用して、断層モデルを決定する。その断層モデルを用いて線形長波近似式を用いた津波数値計算を実施する。北海道太平洋沿岸に対する上記津波数値計算は、通常のパソコンでも 1-3 分程度で完了するため、十分に津波予測に利用することができる。この結果を利用してデータベースから最適の津波浸水予測結果を抽出することでリアルタイム津波浸水予測を実現しようと考えた。

データベースの作成は様々な大きさ・規模の断層モデルをプレート境界上に仮定して実施する。その際、移動境界条件のもとで、海底摩擦を考慮した非線形長波近似式を用いた津波遡上数値計算を実施する。さらに、津波遡上計算を実施する地域の沖で水深 50m 程度の地点でかつ津波第 1 波が非線形の効果をほとんど受けないと予想される場所を、津波遡上計算地域を囲むように数か所抽出する。それら数か所での津波数値計算結果の時系列をリアルタイムで最適の津波浸水結果を抽出するための指標津波波形としてデータベースに保存する。

巨大地震発生した場合、推定された断層モデルにより、線形長波近似式を用いて計算時間 1-3 分程度で計算された津波波形とデータベースに保存された指標津波波形を比較し、計算津波波形を最もよく説明できる指標津波波形をもつ津波浸水域をデータベースより抽出し、それを予測津波浸水域とす

る。この手法を用いれば、リアルタイムで津波浸水域を予測できる。さらに、地震発生後、W-phase など地震波形解析が進み断層パラメータが推定されれば、その結果を用いた断層モデルから、線形長波近似式を用いた津波数値計算を再度実施し、データベースより最適の津波浸水域を再抽出し、予測津波浸水域を更新することができる。

上記手法を用いて、釧路市での津波浸水域をどの程度予測可能であるか実験した。まず、釧路市近傍の津波遡上数値計算を様々な断層モデル（約 300 モデル）を用いて実施しデータベースとして保存した。次に、北海道太平洋沖で 17 世紀の巨大地震が発生したとして、上記の最新の断層モデル（課題 1002）より津波遡上数値計算を実施し、その津波浸水域が実際に発生したとする（図 1）、つまり図 1 が答えとなる。データベースに保存されている津波波形は釧路近傍の 5 点（図 2）である。この地点での最新の断層モデルから計算される津波波形とデータベースに保存されている津波波形を比較して最適の予測津波浸水域を抽出した（図 3）。津波波形の比較は図 4 に示す。答え（図 2）に近い浸水が予測できていることが分かる（図 3）。この手法は、リアルタイムの津波浸水予測が可能であることが示す画期的な結果である。

GPS 連続観測網（GEONET）の全電子数（TEC）データによる津波検知

2011 年東北地方太平洋沖地震による影響で震源域上空の電離圏が乱され、それが GPS 連続観測網（GEONET）のデータから解析される全電子数（TEC）の時系列で捕らえられた（図 5）。2011 年東北地方太平洋沖地震による津波の伝播と TEC の変化を比較すると 9 分程度遅れて TEC が変化しておける様子が分かる（図 6）。これら津波による TEC の変化は、2004 年スマトラ巨大地震や 2010 年チリ巨大地震の際にも見ることができた。超巨大地震による津波は GPS 連続観測網の TEC 解析によって検知できることが明らかになった。結果は Kakinuma et al. (2012) として GRL に掲載された。

国際共同研究による日本海での津波調査研究

1983 年日本海中部地震，1993 年北海道南西沖地震，1940 年積丹沖地震の発生を見てわかる通り，日本海東縁部では津波による被害が伴う地震が発生している．さらに，日本海沿岸には原子力発電所等の施設もあり，将来の津波リスクを評価する必要性は高まっている．そこで重要なのは津波堆積物の調査であるが，北海道日本海側では上記津波の痕跡がほとんど残されていないことから推測できるように，痕跡調査には適さない場所が多い．そこで我々は，日本海を挟んで対岸にあるロシア沿海州で，北海道大学とロシア科学アカデミー極東支部との共同研究として津波堆積物調査を実施してきた．1900 年代の津波は，沿海州では 3m から 5m の高さであり，沿岸で被害があったことも記録されている．これらの近年の津波によると思われる堆積物は，手つかずの自然が広がる沿海州の沿岸湿地に砂層として検出される．また，ウラジオストックの北にあるキットベイでは，10 世紀に降下した B-Tm テフラが見つかり，その下位にも 2 層の砂層が検出された．これらが津波堆積物だとすると，津波は日本海東縁部を震源とする地震で起きたものである可能性が高く，20 世紀の被害地震を超える規模の津波が日本海で繰り返し起きていたことを示す物証が見つかったことになる．

- (8) 平成 24 年度の成果に関連の深いもので、平成 24 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：
Gusman, A. R., Y. Tanioka, S. Sakai, and H. Tsushima, Source model of the great 2011 Tohoku earthquake estimated from tsunami waveforms and crustal deformation data, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 341-344, 234-242, doi:10.1016/j.epsl.2012.06.006, 2012.
Gusman, R. A., M. Fukuoka, Y. Tanioka, S. Sakai, Effect of the largest foreshock (Mw 7.3) on triggering the 2011 Tohoku earthquake (Mw 9.0), *Geophys. Res. Lett.*, doi: 10.1002/grl.50153, in press
Kakinami, Y., M. Kamogawa, Y. Tanioka, S. Watanabe, A.R. Gusman, J.-Y. Liu, Y. Watanabe, and T. Mogi, Tsunamigenic ionospheric hole, *Geophys. Res. Lett.*, 39, doi: 10.1029/2011GL050159, 2012

- (9) 平成 25 年度実施計画の概要：

北海道太平洋沖の超巨大地震に対して釧路沖の海底津波計を用いた手法開発を実施する。それに加えて、将来更なる津波予測精度の向上と予測時間短縮のために海底津波計が増設されることを考え、

それらを利用した手法を開発する。

(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 : isv-web@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

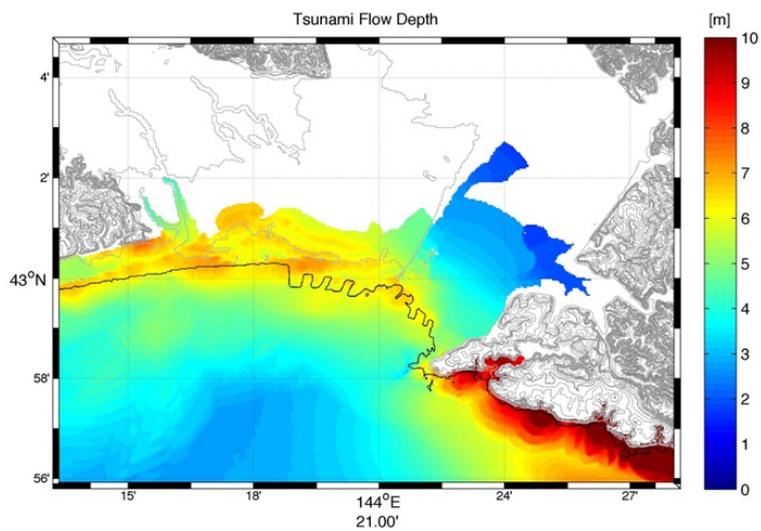


図1 17世紀の巨大地震の断層モデルから計算された釧路市の津波浸水域と浸水高。

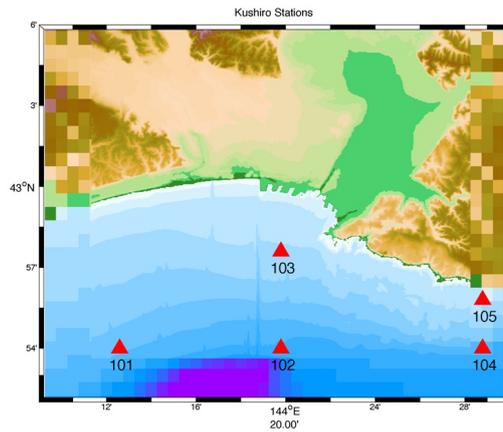


図2 様々な断層モデルより計算された津波遡上域データベースに保存されている比較のための基準津波波形を出力させた位置。

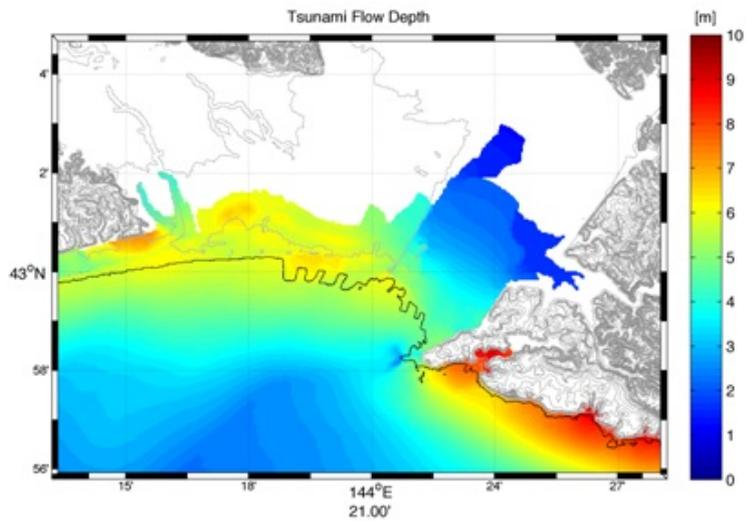


図3 データベースから選択された予想津波浸水予測図。

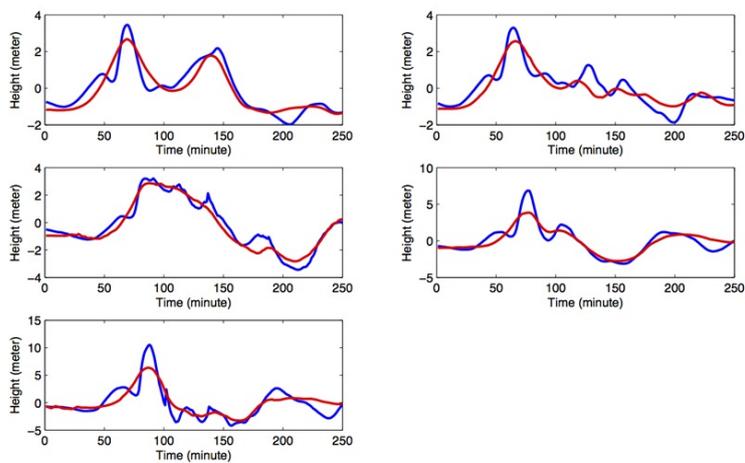


図4 17世紀断層モデルから計算された津波波形（青）とデータベースから選択された津波波形の比較。

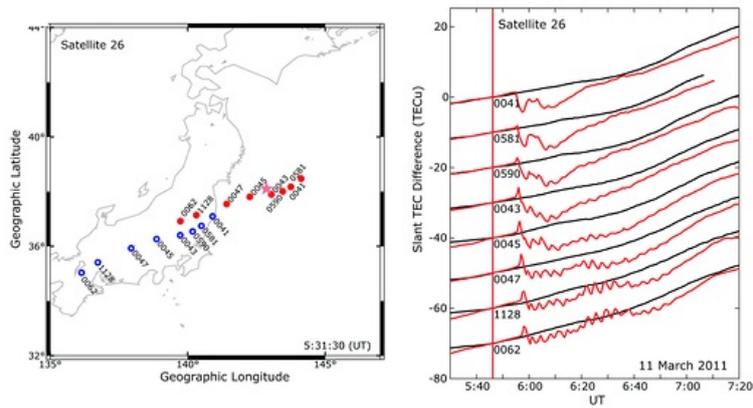


図5 左)GPS観測点(青)と全電子数(TEC)観測位置(赤)は地震の震源。右)地震が発生した日のTECの時系列(赤)と一日後のTECの時系列(黒)の比較。地震発生時で合わせている。Kakimami et al. (2012)GRLのFig1.より。

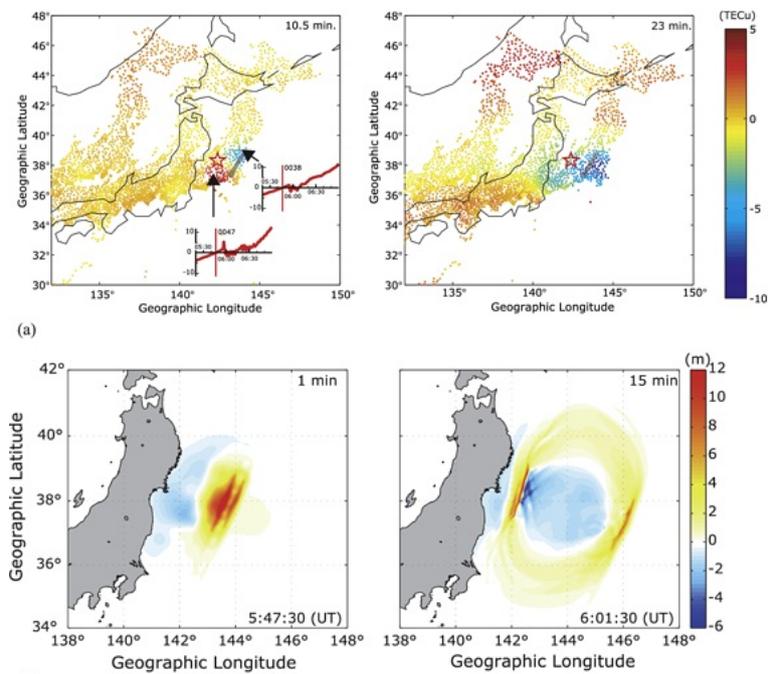


図6 2011年東北地方太平洋沖地震による津波の伝播(下)とGPS観測網で捕えられたTECの変化量の比較。Kakimami et al. (2012)GRLのFig2.より。