

12 - 12 海域稠密観測時代の津波即時予測研究とその展望

Perspectives on real-time tsunami forecast by dense ocean-bottom tsunameter network

前田拓人（東京大学地震研究所）

Takuto Maeda (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

1. はじめに

海域における地震・津波観測網の整備が急速に進んでいる。海域の観測網の拡充は世界的な潮流ではあるが、特に日本周辺においては、紀伊半島沖の DONET および DONET2、さらには北海道から南関東にかけての S-net といった、他に類を見ないきわめて稠密な観測網が構築されつつある。これらの観測網に含まれている海底水圧計は、複雑な海岸線形状や浅水深部の非線形効果を受けない比較的扱いやすい津波波形記録が震源域近傍で測定でき、直接的な津波観測記録に基づく信頼性の高い津波即時予測につながると期待されている。

2. 津波データ同化

海底に密な津波観測網があれば、そこで検知した津波波形からその波動伝播の物理モデルを立て、沿岸に來襲する前に津波を予測することが可能である。このような津波予測技術は、震源断層面の破壊の推定に伴う不確実性を避け、津波生成をより直接的に規定できる地震発生後の初期水位や海底地殻変動量を推定する方向に発展してきた。我々はこれをさらに推し進め、数値シミュレーションによる予測結果を稠密な観測網の津波記録と同化することによって、現在時刻の津波波動場そのものを直接推定する「津波データ同化法」を開発した¹⁾。この方法は、常時行われる津波の数値シミュレーションによって観測点を含む領域の津波を予測し、観測記録と数値予測との差をシミュレーションにフィードバックすることで、逐次的に数値シミュレーションモデルを更新するものである。このような特性から、津波データ同化法は震源や震源断層に関わる情報を必要とせず、したがって定常的な津波のモニタリングに適した方法であると考えられる。S-net による観測を模した 2011 年東北地方太平洋沖地震津波の数値実験（図 1）の結果、シミュレーションによる予測と観測記録との差異を通じて津波到達を検知した観測点群から、逐次的に津波波動場が再構築されていく様子が確認され、初期条件を用いずに津波そのものを推定する本手法の有効性が示された。また、2012 年 Haida Gwaii 地震にともなう津波の再現²⁾など、実津波観測記録への適用も進んでいる。

3. 稠密海底圧力観測に伴う直上観測問題

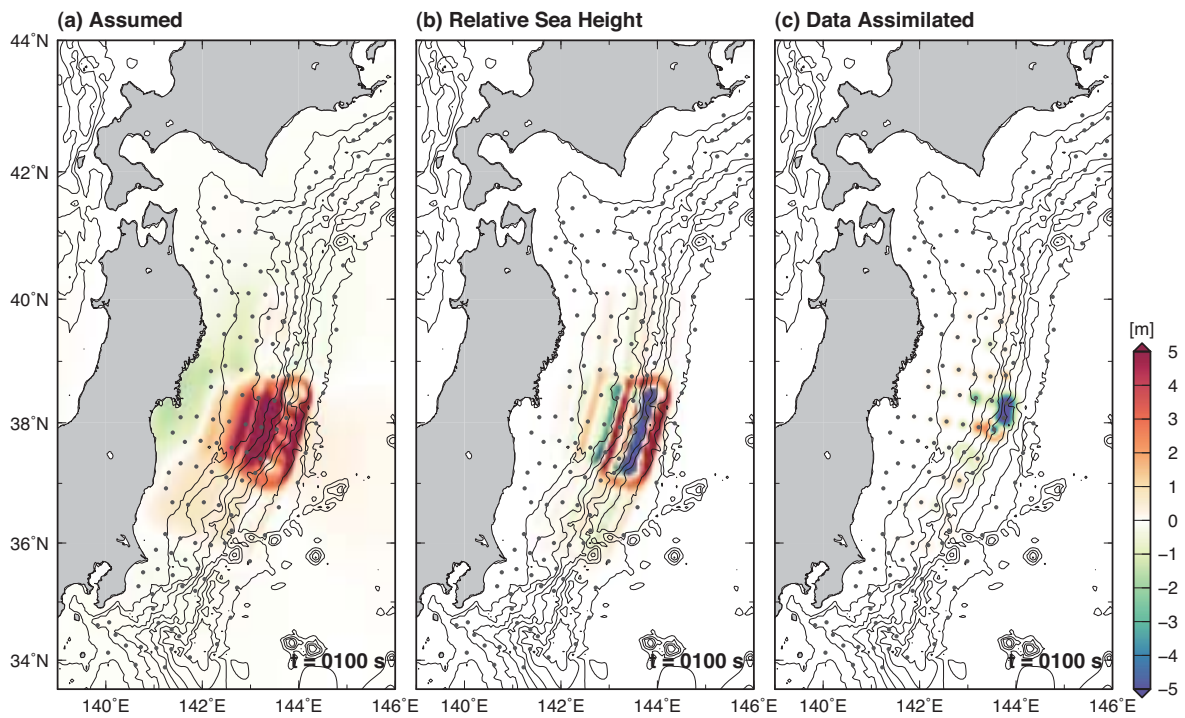
一方、沈み込み帯の巨大地震震源域直上の海底圧力計観測網が整備されるにつれ、これまで十分に考えられてこなかった観測点直下の地殻変動や地震動の影響を考慮する必要性が認識されてきた。水圧計による津波観測は、水圧を海底から海面までの相対距離に換算するものである。したがって、地震発生直後に海底と海水層が同期して運動しているあいだには、水圧計では津波をほとんど観測することができないという問題がある³⁾。また、震源域直上においては、地震動・海中音波など^{4,5)}の影響も考慮に入れる必要がある。すでに完成しつつあるあらたな観測網の記録を活用した実記録解析を着実にすすめることが重要なのはもちろんのことであるが、低頻度巨大災害である津波はデータの蓄積速度が地震波記録とくらべて相対的に遅い。それを補完しうる大規模な数値シミュレーションを用いた仮想記録による数値実験、直上観測網に現れる影響を考慮したさらなる即時予測・推定手法の高度化や、それらを支える津波発生の理論的研究や数値シミュレーション技法

研究など，多面的な研究開発が望まれる。

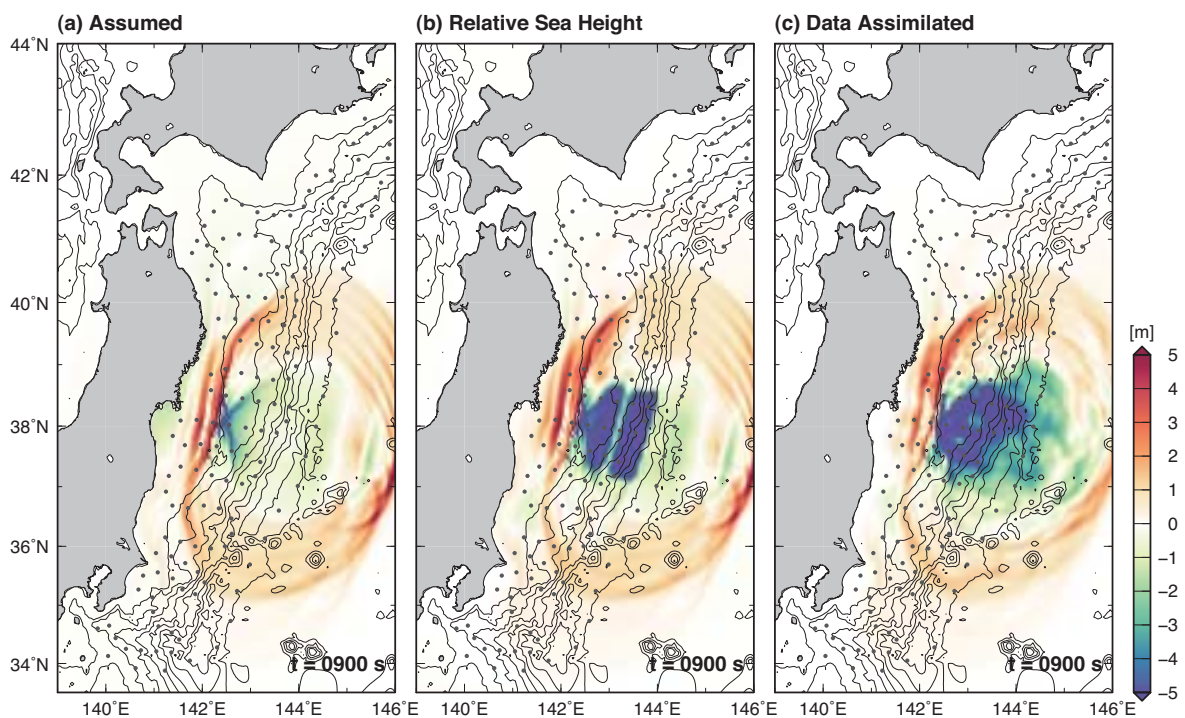
参考文献

- 1) Maeda, T., K. Obara, M. Shinohara, T. Kanazawa, K. Uehira (2015), Successive estimation of a tsunami wavefield without earthquake source data: A data assimilation approach toward real-time tsunami forecasting, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 7923-7932, doi:10.1002/2015GL065588.
- 2) Gusman, A. R., A. F. Sheehan, K. Stake, M. Heidarzadeh, I. E. Mulia, and T. Maeda (2016), Tsunami data assimilation of high-density offshore pressure gauges off Cascade from the 2012 Haida Gwaii earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 43(9), 4189-4196, doi:10.1002/2016GL068368.
- 3) Tsushima, H., R. Hino, Y. Tanioka, F. Imamura, and H. Fujimoto (2012), Tsunami waveform inversion incorporating permanent seafloor deformation and its application to tsunami forecasting, *J. Geophys. Res.*, 117(B3), doi:10.1029/2011JB008877.
- 4) Maeda, T., and T. Furumura (2013), FDM simulation of seismic waves, ocean acoustic waves, and tsunamis based on tsunami-coupled equations of motion, *Pure Appl. Geophys.*, 170(1-2), 109-127, doi:10.1007/s00024-011-0430-z.
- 5) Saito, T., and H. Tsushima (2016), Synthesizing ocean bottom pressure records including seismic wave and tsunami contributions: Toward realistic tests of monitoring systems, *J. Geophys. Res.*, 121(11), 8175–8195, doi:10.1002/2016JB013195.

(A) $t = 100$ s



(B) $t = 900$ s



第 1 図 2011 年東北地方太平洋沖地震を模した S-net 観測点による津波データ同化の数値実験。(a) 仮定した仮想津波波高分布 (b) 海底水圧計で観測されると期待される海面と海底の相対波高 (c) S-net 観測点 (黒点) の相対波高記録だけから逐次的に再構築した津波波動場。本図は Maeda *et al.* (2015) の数値実験結果に基づき再作成されたものである。

Fig.1 Tsunami data assimilation for the 2011 Tohoku earthquake with S-net stations. Forward simulation (a) is used for prepare hypothetical observation of pressure records by subtracting coseismic deformation (b) at S-net stations (black dots). Every 1 elapsed time, the pressure tsunami data is assimilated to numerical model (c). Reproduced from a numerical experiment of Maeda *et al.* (2015).