

広域津波伝搬に伴う電磁場変動の時間領域三次元シミュレーション

南拓人 [1]; 藤浩明 [2]

[1] 京大・理・地物; [2] 京都大学・大学院・理学・地磁気センター

Time-domain three-dimensional simulations of the electromagnetic fields generated by wide-area propagation of tsunamis

Takuto Minami[1]; Hiroaki Toh[2]

[1] Geophysics, Kyoto Univ.; [2] DACGSM, Kyoto Univ.

The reports of detectable electromagnetic (EM) fields generated by tsunami propagation attract interests of researchers because tsunami EM data allows us to infer propagation directions of tsunamis from a single observation alone. This feature may be able to improve the current tsunami early warning systems and tsunami analysis techniques. So far, Ichihara et al. (2013) inferred a new tsunami source location of the 2011 Tohoku earthquake tsunami by using a seafloor EM data, which is in the northern area compared to the tsunami sources obtained only by surface elevation data. However, almost all the preceding studies of tsunami EM phenomena, including Ichihara et al. (2013), used frequency-domain calculations to estimate the tsunami-generated magnetic fields. It is difficult to estimate accurate magnetic fields generated by tsunamis, since tsunamis are inherently transient so that most of the tsunami simulation are conducted in the time domain.

We, therefore, developed a new three-dimensional simulation code of tsunami-generated magnetic fields, adopting the time-domain finite element method (FEM) with unstructured tetrahedral elements, based on the technique of Minami and Toh (2013). Tetrahedral elements have an advantage in accurate expression of real bathymetry. In this simulation code, we first calculate the oceanic flow associated with tsunami propagation, solving the Laplace equation in terms of the velocity potential of the irrotational and incompressible seawater. Then, we conduct an EM simulation using the observed oceanic velocity field as a source. Use of the same tetrahedral mesh between hydrodynamic and EM simulations allows us to obtain the self-consistent results between them. Furthermore, we adopted MPI and MeTiS (<http://glaros.dtc.umn.edu/gkhome/metis/metis/overview>) to conduct parallel computations so that wide calculation areas up to 1500 km square are allowed in our simulations.

We conducted a tsunami-generated EM simulation of the 2011 Tohoku earthquake tsunami with the tsunami source model presented by Satake et al. (2013). Approximately 5 minutes discrepancy in the tsunami arrival time at the DART observation sites (DART21418, 21401, 21419) between the observed data and calculation imply some problems in our simulation. However, the comparison between the simulation results and the magnetic data observed at the seafloor shows noticeable differences in the phase lag of the magnetic field to the sea surface elevation between on the eastern and western side of the Japan Trench, which is consistent with the implication by Minami et al. (2015). We plan to improve accuracy our simulation by comparing simulation results to analytical solutions of tsunami and tsunami-generated magnetic fields, and to reveal important features of tsunami-generate EM fields from our time-domain simulations.

In the presentation, we will report our new simulation technique in the time-domain and important features found from our tsunami EM simulations. Furthermore, we will discuss the comparison between the tsunami-generated magnetic data observed at the seafloor and the three-dimensional simulation results of the 2011 Tohoku earthquake tsunami.

津波伝搬に伴う電磁誘導現象が、陸上・海底において検出可能な電磁場変動を引き起こす事が近年注目されている。単点観測から津波の伝搬方向を推定できる点が、電磁場を用いた津波観測の大きな特長であり、従来の波高観測に加えることで、津波の早期予測、並びに、津波イベントの解析へ応用することが期待されている。これまで、例えば Ichihara et al. (2013) では、海底磁場データから津波の到来方位を推定し、2011年東北地方太平洋沖地震津波 (Mw9.0) の波源が、波高データから推定された位置よりも北の緯度 39 度付近に存在する可能性が高い事を明らかにした。また一方で、Kawashima (2015) は、薄層導体近似を用いた津波電磁場シミュレーションを実施し、従来研究では推定が困難であった 2007 年千島地震の断層傾斜面が、南東傾斜である可能性が高い事を北西太平洋の海底磁場データを用いて示している。このように応用範囲が広がりつつある津波電磁場データの利用においては、時間領域の津波電磁場シミュレーションコードが存在しない事が、波高データを併せた解析において大きな障害になってきた。Ichihara et al. (2013) や Kawashima (2015) を含む従来の津波電磁場研究では、津波電磁場の理論/数値計算を周波数領域で行っており、時間領域で行われた津波シミュレーションの結果をフーリエ変換して利用している。しかし、過渡的な津波現象に起因する電磁場変動を周波数領域で再現するのは困難であり、時間領域で津波電磁場現象を扱える三次元シミュレーションコードの開発が期待されてきた。

これを受け本研究では、Minami and Toh (2013) が開発した二次元の時間領域シミュレーションコードの三次元への拡張を試みた。拡張されたシミュレーションコードでは、時間領域の有限要素法を非構造四面体要素と共に採用している。四面体要素は、直方体要素を用いる三次元数値計算手法に比べて、精度の高い地形表現が可能である点に特長がある。本シミュレーションでは、まず、渦なしの非圧縮流体を仮定し、速度ポテンシャルのラプラス方程式を線形境界条件と共に解くことで、津波伝搬を計算する。次に、得られた津波速度場を入力として磁場の誘導方程式を解き、津波伝搬に伴う電磁場変動を計算する。流体計算と電磁場計算において同じ四面体メッシュを用いることで、自己無撞着な結果が得られる点に本シミュレーションの利点がある。本研究ではこれまでに、MeTiS (<http://glaros.dtc.umn.edu/gkhome/metis/metis/overview>)

を利用した四面体メッシュの分割、並びに、MPI を用いたシミュレーションコードの並列化を行うことにより、約 1500km 四方の領域を伝搬する津波とそれに伴う鉛直磁場変動の計算に成功している。

このコードを用いて本研究では、Satake et al. (2013) の波源モデルを初期条件とした、2011 年東北地震津波の三次元シミュレーションを行った。その結果、NOAA による波高観測点 DART 21401, 21418, 21419 において、計算された津波の到来時刻が観測データに比べて約 5 分遅れること、また、系統的に計算波高が観測データよりも小さくなる、という本シミュレーションの問題点が明らかとなった。これらの問題が残るものの、本研究のシミュレーションからは、(1) 波源近傍では、Tyler (2005) 等の津波電磁場の理論解では説明できない波高と磁場鉛直成分の振幅比の時間変化がみられること、また、(2) Minami et al. (2015) で指摘される通り、水深が大きく異なる日本海溝の東西において、波高と電磁場変動の間の位相差が大きく変化していること、が明らかとなった。本研究では今後、津波波高・津波電磁場の計算結果を単純な場合の解析解と比較することによって計算精度の向上を図り、同時に、時間領域の広域シミュレーションによって得られる津波電磁場の性質を整理していく予定である。

本発表では、本研究の時間領域津波電磁場シミュレーションの計算手法と、広域シミュレーションから得られる津波電磁場変動の特性について、並びに、2011 年東北地方太平洋沖地震津波を対象とした計算結果と波高・海底磁場データの比較について併せて報告する予定である。