

津波起因海洋ダイナモ効果の三次元計算から示唆される津波励起の電離層電流系

南拓人 [1]; 藤浩明 [2]; 市原寛 [3]

[1] 東大・地震研; [2] 京都大学・大学院・理学・地磁気センター; [3] 名古屋大学地震火山研究センター

Tsunami-generated electric current system in the ionosphere constrained by simulations of tsunami motional induction

Takuto Minami[1]; Hiroaki Toh[2]; Hiroshi Ichihara[3]

[1] ERI, Univ. Tokyo; [2] DACGSM, Kyoto Univ.; [3] Nagoya University

<http://eri-ndc.eri.u-tokyo.ac.jp/jp/ohrc/member.html>

Earthquakes and tsunamis cause a variety of electromagnetic (EM) phenomena. Especially, tsunamis trigger two major phenomena: (1) tsunami motional induction, where EM variations are generated by conductive seawater moving in the geomagnetic main field, and (2) tsunami-atmosphere-ionosphere (TAI) coupling, where rapid sea surface deformations due to tsunamis cause atmospheric gravity waves reaching ionosphere and driving electric current system there. Although both phenomena are important because of their potential to contribute to tsunami early warning, it is sometimes difficult to distinguish these effects in magnetic data observed at ground/seafloor observatories, based on the frequency or the starting time of the variations (Minami, 2017). To identify these effects, we require an accurate model for either of tsunami motional induction or of TAI coupling. However, magnetic variations obtained from previous TAI simulations are not reliable at ground level because they do not include the effect of conductivity structure of the Earth's interior and of conductive seawater (e.g., Kherani et al., 2016). On the other hand, it is known that EM variations due to tsunami motional induction are not affected significantly by conductivity structures beneath the seafloor (Shimizu and Utada, 2014), which allows us to calculate the fields accurately when a reliable tsunami source model is available. We have already developed a three-dimensional simulation code for EM fields generated by tsunami motional induction. In this study, we try to constrain the form of electric current system in the ionosphere from the perspective of ground and seafloor magnetic observations, by subtracting the effect of tsunami motional induction, for the case of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake tsunami.

We first calculated tsunami seawater velocity by using the modified COMCOT code (Kawashima and Toh, 2016) with an existing source model (Satake et al., 2013). Secondly, our developed code was applied to calculate EM fields associated with tsunami motional induction. Finally, we subtracted the obtained magnetic variations due to motional induction from the observed magnetic data at the on-land observatory, ESA, and the seafloor one, B14, which are located at 180 km west and 200 km east of the epicenter, respectively. As a result, we found that ESA and B14 have the opposite peak in the eastward component at 12 - 15 min after the tsunami origin, while they have similar negative peaks in the downward component at 15 - 20 min. For both the eastward and downward peaks, each peak at ESA precedes that at B14 by a few minutes. Note that we have already subtracted the magnetic variation not related to the tsunami from the magnetic data by using magnetic transfer functions between B14 or ESA, and the Memambetsu observatory. The resulting variations at ESA and B14 can be accounted for by a pair of southward and northward electric currents in the ionosphere that exists respectively in the west and east of the epicenter and propagates outward. Although the distances from the epicenter to ESA and B14 may correspond to the peak-time differences, we need to investigate the effect of induction associated with the conductivity structure of the Earth's interior and conductive seawater.

In the presentation, we show the magnetic variations at ESA and B14 due to tsunami-generated electric current system in the ionosphere, which are obtained after subtraction of the estimated effect of tsunami motional induction. Furthermore, we plan to report some results of attempts at representing the variation associated with the TAI coupling by a numerical simulation with the pair of southward and northward electric current in the ionosphere mentioned above.

巨大地震・津波の発生時には、多様な電磁気学的現象が生じる。中でも、巨大津波の発生時には、海水が地球主磁場を運動することで生じる海洋ダイナモ効果 (e.g., Toh et al., 2011) に加え、津波による海水面変動が引き起こす大気重力波が電離層に到達することで生じる電離層ダイナモ効果 (e.g., Tsugawa et al., 2011) が知られている。これら二つの現象は、いずれも津波早期予測への応用が期待される重要な現象であるが、地上・海底の観測磁場データにおいて、変動周期や変動開始時刻から上記の効果を区別するのは困難な場合がある (Minami, 2017)。磁場変動の原因特定のためには、上記二つの現象いずれかの高精度なモデルが必要であるが、津波による電離層ダイナモ効果の数値計算は、これまでのところ、固体地球の電気伝導度構造を考慮しておらず、地上・海底観測のデータと比較することが難しい (e.g., Kherani et al., 2016)。他方、津波による海洋ダイナモ効果は、地殻・マンツルの電気伝導度構造の影響をほとんど受けないことが知られており (e.g., Minami et al., 2015; Shimizu and Utada, 2014)、高精度な津波モデルが利用可能な場合には、数値計算を用いて地上・海底磁場変動を精度よく再現することが可能である。我々は、これまでに三次元有限要素法を採用した海洋ダイナモの電磁場計算コードを完成させている。本研究では、2011年東日本太平洋沖地震津波を対象に、海洋ダイナモ計算結果を地上・海底の観測磁場データから差し引くことで、磁場データ中の津波励起電離層電流に起因する変動を明らかにし、さらに、津波イベント中の電離層内の電流分布に対し地上・海底磁場データから拘束をかけることを目指した。

本研究ではまず、既存の津波ソースモデル (Sakake et al., 2013) を用いて、修正 COMCOT コード (Kawashima and Toh,

2016)による津波シミュレーションを行った。次に、得られた海水速度場をソースとして三次元電磁場計算を行い、海洋ダイナモ起因の電磁場を計算した。計算された海洋ダイナモ由来の磁場変動を、津波波源西側の陸上観測点である江差(ESA)、並びに、波源東側の海底観測点 B14 から差し引いた結果、津波発生後 12 分頃と 15 分頃に ESA と B14 の東西成分が異符号(ESA で東向き、B14 で西向き)のピークを持つこと、また、津波発生後 15 分頃と 20 分後に、ESA と B14 の鉛直下向き成分が同様の負(鉛直上向)のピークを持つことが明らかとなった。すなわち両観測点において、水平成分のピークの後に、鉛直成分のピークが現れている。(ここで、ESA、B14 のデータからは、あらかじめ津波に関連しない外部起因磁場変動分を、女満別観測点との磁場 transfer function を用いて差し引いてある。)この結果は、震央から ESA、B14 までの距離がほぼ同じ(ESA まで約 180 km、B14 まで約 200 km)であるため、波源で発生した一対の南北電流(西側に南向き電流、東側に北向き電流)が、波源から各々東西外向きに伝搬したと仮定すれば、定性的に説明できる。両観測点の変動ピークの時刻は水平・鉛直成分とも、ESA が数分先行していたが、このピーク時刻の解釈には、波源からの距離だけでなく、良導体である海水による誘導効果等を含めた詳細な議論が今後必要と考えられる。

本発表では、ESA と B14 観測点を中心に、津波海洋ダイナモ効果による磁場変動を陸上・海底観測データから差し引いた後に現れる、津波起因の電離層電流による磁場変動を紹介する。また、本研究では今後、上で述べた対となる電離層内の南北電流を数値計算で表現し、ESA と B14 の変動ピークの再現を試みる予定であるが、その結果も併せて報告したい。