

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25610134

研究課題名(和文)陸上地磁気三成分データを用いた津波ダイナモ効果の検出

研究課題名(英文)Detecting tsunami dynamo effect using vector geomagnetic data on land

研究代表者

藤 浩明(Toh, Hiroaki)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40207519

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文): 現行の津波早期警戒システムの津波検知能力を向上させる目的で、海岸線に近い観測点と内陸の基準観測点との地磁気ベクトル差を用い、津波の最大波高に先行すると予想される津波起源磁場を陸上観測により検出する為の基礎研究を行った。

その結果、高知県の室戸観測点と馬路基準点間の地磁気ベクトル差リアルタイムモニタリングを実施する観測体制が整い、来るべき南海/東南海巨大地震の際に発生が想定される津波の早期警戒への新たな基礎データの提供が可能になった。

研究成果の概要(英文): In order to improve the detection capability of the existing tsunami early warning system, a basic research on detection of the tsunami-generated magnetic field on land using vector geomagnetic difference between a coastal station and an inland reference site was conducted. As a result, an observation system that monitors real-time vector geomagnetic difference between Muroto and Umaji in Kochi Prefecture has been constructed. It is now possible to provide new data for tsunami early warning at the time of the Nankai/East Nankai megathrust earthquakes.

研究分野: Geomagnetism

キーワード: 地震災害・火山災害 地磁気 津波 ダイナモ作用 ベクトル観測

1. 研究開始当初の背景

本研究の着想に至った背景には、次の図で示される「電流カーテン仮説 (Toh et al., 2011)」がある。すなわち、津波が伝搬する際、波面付近に局在したカーテン状電流が誘導され得る。

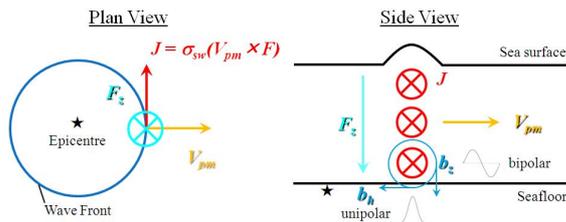


図 1. 津波による電流カーテン仮説の平面図 (左) と断面図 (右)。地球主磁場の鉛直成分 F_z と津波の粒子運動速度 V_{pm} とのカップリングにより波面に沿ってカーテン状の電流 J が海洋中に誘導され、波面付近に局在した津波による粒子運動と共に、あたかも磁場凍結しているかの如く J は海水中を波面と共に伝搬して行く。その様子を海底の固定点で観測していると、まず津波起源磁場の鉛直成分 b_z が観測され、それが一旦零となる時刻に磁場水平成分 b_h が極大に達する。その後、 b_z が逆符号の極値を迎え、第一波の変化は終了する。後続波がある場合は、同様のパターンが繰り返される。

この図から分かる通り、津波起源磁場の鉛直成分 b_z は水平成分 b_h より 90 度だけ位相が進んでいる。しかし、水深が深い深海底では自己誘導効果 (津波の伝搬速度が速い為、津波起源磁場の生成がそれ自身の時間変化によって妨げられる効果) が大きいので、電流カーテン自体が波面より位相が最大 90 度遅れる (Tyler, 2005)。従って、深海底では、 b_h ではなく波高と b_z のピークが一致する傾向にある。ところが、沿岸に近づくにつれて水深が浅くなると、自己誘導効果が薄れ b_z の位相が波高に先行するようになる。この性質を利用して、津波起源磁場の鉛直成分 b_z を検知する事により、沿岸域における津波の直前予測に役立てようとする点が、本研究における最大の挑戦であった。また、東北地方太平洋沖地震時の津波起源電磁場を海底データから抽出しようとした際に生じた最大の困難は、「外部磁場擾乱の除去」であった。すなわち、2011 年 3 月 11 日は弱い地磁気擾乱が発生していた日でもあり、それによる変化が海底観測点に津波が到来する直前の時間帯に重合していた為、津波起源電磁場の抽出に時間を要した、という経緯があった。この困難を、海岸線に直交する二点間の地磁気ベクトル差を求める事によって克服しようとする点に、本研究の新しさがあった。

本研究により沿岸域における地磁気三成分の陸上観測から津波の直前予測が可能になれば、全く新しい原理に基づいた対費用効果の非常に高い津波早期警戒システムが構

築できる可能性がある。地磁気三成分の観測は本質的に「ベクトル観測」であるから、津波のベクトル的性質 (津波に伴う海水の粒子運動速度や津波の到来方向など) を明らかにする事ができ、海底圧力計や海面高度計といった従来型の津波計では不可能であった津波に関するこれらの物理量を一点での観測から推定できる。点観測で粒子運動速度や到来方向が推定可能なのは、恐らくこの方法が初めての例である。また、 b_z と波高の間には近似的に比例関係が成り立つ事も知られており (Tyler, 2005)、検知した地磁気鉛直成分異常の振幅から到来する津波の波高予測も可能である。

2. 研究の目的

研究代表者は、地磁気永年変化や地球深部の電氣的構造を探る目的で、2001 年 8 月以来、西太平洋において海底長期電磁場観測を行っている (Toh et al., 2004; 2006)。その一環として 2007 年 6 月に北西太平洋海盆で回収した地球電磁場のベクトル時系列から、2006 年 11 月と 2007 年 1 月に千島海溝の両側で相次いで発生した津波に起因すると思われる電磁場変化を発見した (Toh et al., 2011)。これらの津波を引き起こした地震は、海溝海側 (2006 年) と陸側 (2007 年) で発生したほぼ同規模 (Mw8 クラス) の二卵性とも言うべき双子津波地震であり、発震機構はそれぞれ逆断層型と正断層型で正反対であった。

検出した津波電磁場も、それに対応した正負の符号を持ち、それぞれ津波の押し波 / 引き波に対応していた。これらの電磁場変化が地震波や津波に伴う装置の揺れによるものでは無い事は、装置に付属の高感度傾斜計が地震波の到来とその後の装置の揺れを記録しているのに対し、電磁場センサーはそれには殆ど反応せず、装置の揺れが収まった後、それぞれの津波の到来時刻になって初めて大きな変化を示し、また、その時間帯には傾斜変化が殆ど見られない事などから明らかであった。更に東北地方太平洋沖地震の際には、磁場振幅がその約 3 倍の約 3 nT に達する電磁場変化を、波源域から千数百 km 離れた北西太平洋海盆で観測する事にも成功した。これら複数の事例から、津波が観測可能な電磁場を伴う事が明らかとなり、この新たな発見を津波防災に役立てようとする所に、本研究の着想と特長があった。

本研究では、研究期間内に、

- (1) 高知県馬路村に地磁気三成分の観測点を新設し、
- (2) 取得した馬路データと国土地理院が維持している室戸地磁気観測点とのベクトル差から、
- (3) 室戸データ中の津波 (海洋) 起源磁場が検出可能かどうか

を明らかにする事を研究目的においた。すなわち、海岸線と直交方向に隣接する二点間の地磁気ベクトル差を用いれば、津波の到来予測が陸上観測によっても可能かどうかを検証しようとする研究であった。

海底観測によって津波起源の電磁場を検知しようとする際、その主要ノイズ源の一つは外部磁場擾乱である。言い換えれば、津波電磁場が発生した時間帯における地磁気時間変化には、津波とは無関係の電離圏・磁気圏に起源を持つ外部磁場変化が混入している。従って、津波検知の為には、観測時系列から外部起源の磁場を取り除く必要がある。本研究の場合、馬路は一樣外部磁場擾乱等を始めとする共通ノイズ成分の代表値と解釈でき、それとの差を取れば津波を始めとする海洋起源磁場だけを室戸データから抽出できる可能性がある。この様に、外部起源磁場と津波起源磁場の空間的一様性の違いを利用して、海岸線から離れた参照点とのベクトル差を取る事によってノイズ軽減を図る点が本研究の特色の一つであり、これにより誤報確率も将来的にかなり下げられると考えられる。また、津波以外の海洋起源磁場は、津波による変化と比べると非常に大きなタイムスケールを持っている (Sanford, 1971) か、或いは、その振幅が非常に小さい (Lilley et al., 2004) と考えられる為、津波地震や海底地滑り等、その発生原因と時刻がはっきりしている津波起源磁場との区別は容易である。本研究の結果、陸上における地磁気ベクトル観測によって津波の早期警戒が可能になれば、沿岸から海底にケーブルを張り巡らして津波監視網を設置するよりは遥かに安価な投資で、既存の津波早期警戒システムを補完する新たな観測網が整備でき、かけがえのない国民の生命と財産の保全に資する事が可能になる、と予想される。

3. 研究の方法

本研究は二ヶ年計画であり、平成 25 年度は高知県安芸郡馬路村に京都大学防災研究所及び気象庁地磁気観測所と協力して地磁気三成分の基準観測点を新設する事を、また平成 26 年度は国土地理院と協力して既存の室戸地磁気観測点から毎秒値のリアルタイムデータ転送を開始する事を、各々観測の柱とした。

国土地理院地磁気係では全国規模で三成分観測を含む地磁気観測点を維持しているが、南海/東南海地震の際に高い確率で津波被害が予想されている四国南岸では、室戸岬で地磁気三成分の連続観測を実施している。この観測点は、津波起源磁場の海側観測点として最適である。また、室戸観測点から北北西に約 30km 離れた高知県馬路村は、電磁場の人工ノイズが非常に少なく自然電磁場観測の好適地として知られており (大志万他, 2010), 室戸観測点に対する地磁気ベクトル観測基準点としてふさわしい。本研究では、

これら二点間の地磁気ベクトル差毎秒値のリアルタイム連続観測を実現する事により、津波を始めとする海洋起源磁場の検知を目指す。

4. 研究成果

まず、馬路基準点の新設状況であるが、図 2 及び図 3 に示す通り、ベクトル変化計と全磁力絶対計の設置と基準点における地磁気絶対観測を行った。



図 2. 馬路基準点におけるフラックスゲート型ベクトル変化計 (左) とプロトン全磁力絶対計 (右) の設置状況。

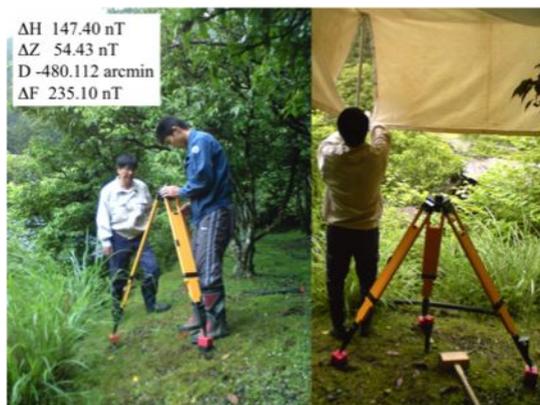


図 3. 馬路基準点における地磁気絶対測量の様子。変化計の基線値は左上の数値の様に決まった。写真中の人物は、研究協力者の山崎明氏 (右) と仰木淳平氏 (左)。どちらも気象庁地磁気観測所より来援。

この様に馬路基準点の設置は順調に進んだので、同点での連続観測を開始した。図 4 に、地磁気ベクトルデータの例を示す。

馬路基準点の新設と並行して、津波起源磁場の理論的研究も行い、鉛直成分の振幅が津波の波高に比例する事を確認すると共に、その位相が陸上では最大 90 度進む (津波の最大波高に比べ、周期にして四分の一周期だけ早く津波起源磁場の鉛直成分は最大値を取る) 事を明らかにした (図 5; Minami, Toh and Tyler, 2015)。ただし、水深が浅くなる分、津波に伴う海中の電流は弱まる為、信号雑音比を高めた観測データが必要な事はこれま

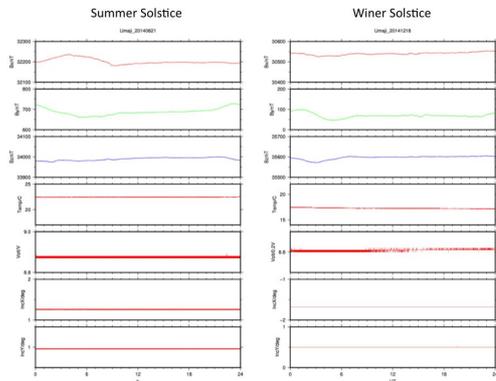


図4．馬路基準点における夏至（左）及び冬至（右）。上から順に地磁気の磁北成分，磁東成分，鉛直成分，地中温度，給電電圧，傾斜水平二成分。

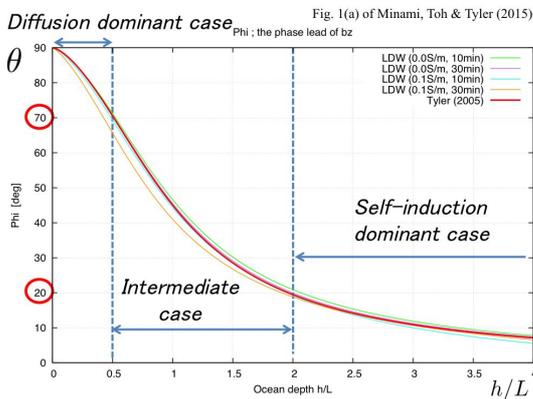


図5．津波が作る磁場鉛直成分の津波に対する位相差。水深が深い（横軸右側）と自己誘導効果が卓越し，磁場鉛直成分のピークは津波の最大波高と同期する様になるが，海岸線に近づくにつれ（横軸左側），磁場鉛直成分は津波に先行し始める。

と変わりはない。

図6に，馬路基準点における地磁気ベクトルデータの連続記録を示す。

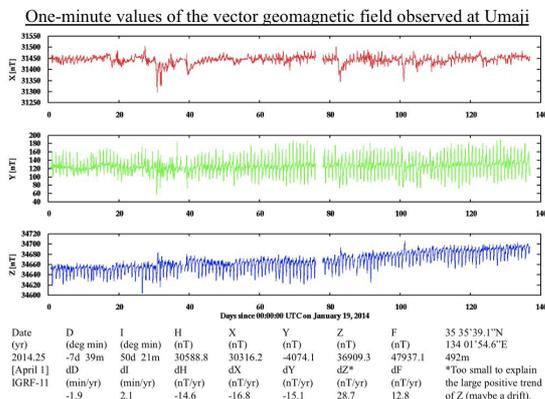


図6．馬路基準点における地磁気三成分の連続記録。下の数表は，2014年4月時点でのIGRF要素。

馬路基準点の新設が成功した為，平成26年度は室戸観測点を毎秒値化し，室戸-馬路の地磁気ベクトル差の観測を開始した。図7に，データの例を示す。

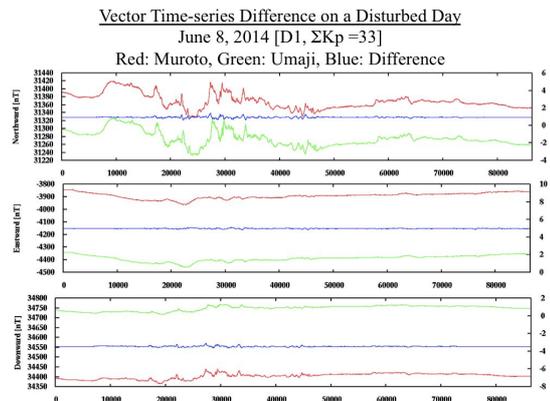


図7．2014年6月の最擾乱日（6/8）における地磁気ベクトル差。この様に，外部磁場擾乱が卓越する日であっても，ベクトル差（青線）は1nT以下にできる。

この図から分かる通り，外部磁場変化が卓越していても，二点間の地磁気ベクトル差は1nT以下となり，室戸観測点に特有な異常が発生した場合には容易に検知できる事が明らかになった。

以上の研究成果により，高知県の室戸観測点と馬路基準点間の地磁気ベクトル差リアルタイムモニタリングを実施する観測体制が整い，来るべき南海/東南海巨大地震の際に発生が想定される津波の早期警戒への新たな基礎データの提供が可能になった，と言える。

<引用文献>

Toh, H., K. Satake, Y. Hamano, Y. Fujii, and T. Goto, Tsunami signals from the 2006 and 2007 Kuril earthquakes detected at a seafloor geomagnetic observatory. *J. Geophys. Res.*, 116, B02104, doi:10.1029/2010JB007873, 2011.

Toh, H., Y. Hamano, M. Ichiki and H. Utada, Geomagnetic Observatory Operates at the Seafloor in the Northwest Pacific Ocean. *Eos*, 85, 467/473, DOI: 10.1029/2004E0450003, 2004.

Toh, H., Y. Hamano and M. Ichiki, Long-term seafloor geomagnetic station in the northwest Pacific: A possible candidate for a seafloor geomagnetic observatory, *Earth Planets Space*, 58, 697-705, 2006.

Sanford, T.B., Motionally induced electric and magnetic fields in the sea. *J. Geophys. Res.*, 76, 3476-3492, 1971.
Lilley, F.E.M., A. White, G.S. Heinson and K. Procko, Seeking a seafloor magnetic signal from the Antarctic

circumpolar current. 157, 175-186, 2004.

大志万直人・藤浩明他全43名, 西南日本背弧における海域・陸域での地磁気電位差観測の概要, 京都大学防災研究所年報, 第53号B, 181-189頁, 2010.

Minami, T., H. Toh, and R. H. Tyler (2015), Properties of electromagnetic fields generated by tsunami first arrivals: Classification based on the ocean depth, Geophys. Res. Lett., 42, doi:10.1002/2015GL063055.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

Minami, T., H. Toh, and R. H. Tyler (2015), Properties of electromagnetic fields generated by tsunami first arrivals: Classification based on the ocean depth. Geophys. Res. Lett., 42, 2171–2178. doi: 10.1002/2015GL063055.

〔学会発表〕(計2件)

川嶋 一生, 藤 浩明, 吉村 令慧, 藤井 郁子, 仰木 淳平, 阿部 聡, 津波早期警戒のための陸上地磁気三成分観測点, 日本地球惑星科学連合2014年大会, 2014年4月30日, パシフィコ横浜

藤 浩明, On the tsunami-generated EM fields. 地球電磁気・地球惑星圏学会分科会2014年度 Conductivity Anomaly 研究会, 2015年1月9日, 京都大学理学研究科セミナーハウス

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤 浩明 (TOH, Hiroaki)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号: 40207519

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

川嶋 一生 (KAWASHIMA, Issei)

南 拓人 (MINAMI, Takuto)

吉村 令慧 (YOSHIMURA, Ryokei)

藤井 郁子 (FUJII, Ikuko)

仰木 淳平 (Oogi, Junpei)

山崎 明 (YAMAZAKI, Akira)

阿部 聡 (ABE, Satoshi)