

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 13 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24340108

研究課題名(和文)新しい海底観測装置による津波発生・伝播過程の高信頼度解析

研究課題名(英文) Research on the process of generation and propagation of tsunamis based on the newly developed ocean bottom apparatus

研究代表者

浜野 洋三 (HAMANO, Yozo)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球深部ダイナミクス研究分野・特任上席研究員

研究者番号：90011709

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：津波災害軽減をめざして、海底電位磁力計(OBEM)と微差圧計(DPG)を組み合わせたベクトル津波計(VTM)を開発・製作した。VTMは津波に伴う水位変化に加えて、海洋ダイナモ効果に基づいて津波の伝播方向や伝播速度を測定できる。海底に設置したベクトル津波計と直上の海面に浮かべた自律型海上プラットフォームであるウェーブグライダー(WG)から構成されるリアルタイム津波監視システムを作り上げた。本システムを用いて東北沖で観測を実施し、2014年チリ沖地震による津波を検知することに成功した。

研究成果の概要(英文)：Towards the mitigation of tsunami disaster, we developed a new type of ocean bottom tsunami meter called Vector Tsunami Meter (VTM), which consists of the Ocean Bottom Electro-Magnetometer (OBEM) and the Deep-sea Differential Pressure Gauge (DPG), and can estimate the tsunami propagation vector as well as the tsunami height based on the ocean dynamo effect. By using the VTM, we build a real-time tsunami monitoring system, in which data collected by the VTM is transmitted acoustically to the Wave Glider (WG), an autonomous ocean-going platform, on the ocean surface, and then transferred to the shore over satellite. We deployed the system off the Pacific coast of the Tohoku area, and successfully detected the tsunami signal generated by the 2014 Chile earthquake.

研究分野：固体地球物理学

キーワード：津波 海底観測 津波計 ベクトル津波計 海底微差圧計 津波災害軽減 海底電位磁力計

1. 研究開始当初の背景

2004年スマトラ沖地震による甚大な津波災害以降、遠洋での津波の早期検知や沿岸での津波予報システムは、国際協力の下で整備され、津波の発生や伝播についての研究は進展して来た。しかし、2011年の東北地方太平洋沖地震において非常に多くの犠牲者を出すに至り、さらに正確に津波の到来時刻と規模を予測することができる新しい津波予報システムの構築が求められていた。

導体である海水が地球磁場中を流動することによって、海水中に誘導電流が流れ磁場を発生する、いわゆる海洋ダイナモ効果については、1950年代以来多くの研究者の関心を集め、研究が進められてきた。しかし、実際に海底で津波による磁場変動が観測できたのは、我々のグループによる2006年11月15日に起こった千島列島沖地震津波の磁場変動観測が最初である(Toh et al., 2011)。さらに、最近フレンチポリネシア地域に展開された地震・電磁気観測ネットワークの観測期間中に、2010年チリ地震が発生し、9台の海底磁力計による津波伝播のアレー観測に成功した(Suetsugu et al., 2011)。また、この観測では初めて、別々の装置で津波による磁場変化と圧力変化の同時観測を実施した(Hamano, Sugioka et al., 2011)。

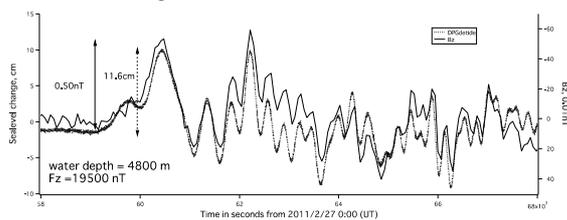


図1 フレンチポリネシアで観測した2010年チリ地震津波による水位変化と磁場変動

この同時観測の結果から、図1に示すように、磁場変動の鉛直成分(B_z)が忠実に津波による水位変化を記録し、磁場の水平2成分(B_x , B_y)は津波の到来方向を示すことが明らかとなった。さらに、比較に用いられた海底差圧計は、数100秒以下の短周期変動を測定するために開発されたものであるが、この周波数特性を補正することにより、半日周の潮汐変動を忠実に復元できるため、測定結果を理論潮汐によって校正することで、津波による水位変化を高精度に測定できることが分かった。

本研究の必要性をさらに明確に認識したのは、2011年東北地方太平洋沖地震による津波観測の結果である。この地震の際には、海溝から50 km東側の海底で磁力計によって津波シグナルがとらえられ、また200 km東側で差圧計によって圧力変化が観測された。磁力計は、本震発生4分後から始まるシャープな津波波形を記録し、一方圧力計は地震動と地

殻変動及び津波による水位変化を同時に圧力変化として記録している。この2つの記録は、それぞれの観測の特徴を表し、両者を組み合わせることで、震源近傍での津波発生・伝播過程を詳細に調べることができることを示している。また、遠地津波についても、異なる物理量を測定する磁力計と差圧計の同時測定によって、津波シグナルの信頼度を高めるとともに、水位変化と流速の測定により、津波の伝播過程についての新しい情報を得ることができる。以上の観測結果と考察に基づいて、本研究計画の開始に至った。

2. 研究の目的

津波災害軽減のためには、沿岸での津波の到来時間及び規模を、地震発生後速やかに、かつ正確に予報するリアルタイム津波監視システムを作ることが必須である。本研究では、海底磁力計と海底微差圧計を統合して、これまでに比べて格段に信頼度の高い津波監視システムを作り上げることがめざす。このために海底観測装置を製作して、観測を実施するとともに、磁場変動と圧力変化の同時観測データから津波の発生・伝播過程を明らかにするための解析方法の開発を行う。本システムの開発の過程で、既存の海底磁力計による津波観測データと海底差圧計による観測データを解析することにより、津波の発生・伝播過程についても新しい知見を得ることも目的とする。

3. 研究の方法

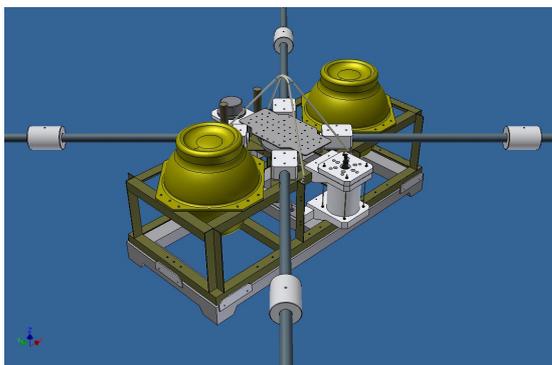
本研究計画では、海底磁力計と海底微差圧計を統合した新しい海底津波観測装置を製作し、海底観測を実施する。また水位変化と磁場変動の観測から津波伝播過程を解析する理論の定式化を行う。さらにリアルタイム津波モニタリングシステムの構築に向けて、海底観測装置と海面との通信・データ伝送を行う超音波伝送システムを装置に付加し、海面から陸上までのデータ伝送には自律型海洋プラットフォームであるウェーブライダーを中継機として用いて、データを伝送するシステムを作り上げる。

(1) 海底観測装置の製作と海底観測の開始

これまでの海底電位磁力計及び海底差圧計による津波の観測結果の解析に基づいて、震源域においても、震源から遠く離れた深海底においても、津波のシグナルを高精度に検知できることをめざした海底津波観測装置を製作して、この装置による海底観測を開始する。

遠地津波を水位変化が小さい深海底でとらえるには、装置の精度が高い必要がある。これまでの海底観測に基づき、津波の最大振幅が1 cm程度、対応する磁場変動が0.1 nTという小さな津波波形を、圧力変化と磁場変化のを同時記録できる装置を製作する。新しく製作する装置は、それぞれのセンサーの精度を

維持すると共に、現在毎分計測である磁力計のサンプリング間隔を、水圧観測と同じ1Hzサンプリングとすることにより、さらに波形間の相関の高い観測をめざしている。本装置は浮力材として耐圧ガラス球2個を用いた自己浮上型とし、1年程度の観測期間を可能とする。このように、本装置の仕様はほぼ決定しているため、研究開始後6ヶ月程度での製作が可能と見積もられ、海底への設置時期は2012年10月頃を予定している。設置場所は利用可能な航海計画の予定等を考慮し、東北日本の海溝外側あるいは南海トラフを計画している。



(2) 磁場変動と圧力変化の同時観測による津

図2 海底津波観測装置(ベクトル津波計)の外観(設計図)

波伝播の解析方法の開発

海洋ダイナモ効果の解析的な取り扱いには1950年代以降行われてきた。しかし、これらの多くは磁場の自己誘導項を小さいと考える準静的な近似を行っている。このため、主に海流や潮汐による海水の流れ等のゆっくりした流れに伴う磁場変動の解析に用いられており、津波に伴う電磁場変動の解析には不相当と考えられる。最近、磁場衛星による磁場観測から津波の伝播を調べるために、Tyler(2005)は海水層だけが導体であるという非常に簡単な仮定の下で、海洋ダイナモ効果による衛星高度で観測される磁場の定式化を行った。この定式化では、津波の伝播の位相速度が速いことを考慮して、磁場の自己誘導項を評価している。本研究では、磁場の自己誘導項と海底下の地殻・マントルの電気伝導度構造を考えて、津波の流れ、水位変化と磁場変動との関係を定式化し、観測される水位変化と磁場変化から津波の伝播特性を明らかにするための解析方法を開発する。

(3) 津波に伴う磁場変動と水位変化の観測データの解析

これまでに磁場変動と圧力変化が同時期に観測されている2006年千島列島沖地震、2009年サモア地震、2010年チリ地震、2011年東北地方太平洋沖地震の記録の解析を行い、津波の発生と伝播に関する新しい知見を得ること

を目指す。2012

年度後半には、フィリピン海中央部の観測点において、2011年東北地方太平洋沖地震の津波が記録された海底差圧計及び海底磁力計が回収される予定であり、この記録も用いて解析を進める。

(4) リアルタイム海底津波モニタリングシステムの開発

津波災害軽減に寄与するためには、リアルタイムに津波シグナルを観測することが必要となる。このため、海底と船あるいはブイとの間の通信を行う超音波伝送・制御装置を製作する。この超音波装置は、海底観測装置による観測データを海面まで伝送するために用いられる。さらに海面に浮かべたウェーブライダーを中継機として用いて、衛星通信により陸上までデータを伝送するシステムを構築する。

4. 研究成果

初年度である2012年度には、これまでの海底電位磁力計及び海底差圧計による津波の観測結果の解析を参考にして、震源域においても、震源から遠く離れた深海底においても、津波のシグナルを高精度に検知できることをめざした海底津波観測装置(ベクトル津波計)を開発・製作した。このベクトル津波計の1号機は2012年11月に完成した後、海洋研究開発機構所属の深海調査研究船「かいれい」KR12-18航海によって四国海盆の海底(25°45.94'N, 137°0.48'E, depth=4898m)に設置し、KR13-03航海によって2013年2月9日に回収された。この海底観測によって、磁場3成分、電場及び傾斜水平2成分、海底圧力変化の80日間の連続記録が得られた。この回収航海の間の2013年2月6日にソロモン諸島でM8の地震が発生したが、この地震による津波を、このベクトル津波計で検出することができた。

2013年度には、この海底観測で得られたデータを解析することによって、観測後速やかに津波を検知し、津波の特性(大きさや伝播方向)を特定し、沿岸での津波を予測するための手法を開発することができた。さらにベクトル津波計による海底観測データを陸上まで伝送することができるリアルタイム津波監視システムの構築に向けて、水中での音響伝送のテストを実施した。このため音響モデムを備えたベクトル津波計を宮城沖の水深3500mの海底に設置し、海面に浮かべた船からつり下げた音響モデムとの間で、双方向の音響通信を行うことに成功した。また海面から陸上までを、衛星通信によってデータ伝送する目的に向けて、自律型海洋プラットフォームであるウェーブライダー(Liquid Robotics社製)の実海域での長期運用試験を、2014年9月から12月までの75日間実施し、リアルタイム津波監視システムの実用化に向けて必要な知見が得られた。次に2014年3月

には、仙台沖約 200 km の海域 (水深約 3400m) に、東北海洋生態系調査研究船「新青丸」を用いて、ベクトル津波計を海底に設置し、さらにその直上の海面上にウェーブライダーを浮かべて自立運航させ、海底のベクトル津波計から信頼性の高いデータを陸上に伝送する実海域での試験運用を行った。この観測中に 2014 年 4 月 2 日 (日本時間) にチリで発生した地震に伴い日本の太平洋岸に到達した津波について、本システムは 3 日早朝にリアルタイムで津波の伝播を詳細に捉えることに成功した。

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 12 件)

Barklage, M., D.A. Wiens, J.A. Conder, S. Pozgay, H. Shiobara, H. Sugioka, P and S velocity tomography of the Marlana subduction system from a combined land-sea seismic deployment, *Geochemistry, Geophysics Geosystems*, 査読有, vol. 16, 681-704, 2015.

doi:10.1002 /2014GC005627

Toh, H. and Y. Hamano, The two seafloor geomagnetic observatories operating in the western Pacific, in *Seafloor Observatories - A New Vision of the Earth from the Abyss*, 査読有 Part III, 307-323, Springer, 2015.

doi:10.1007/978-3-642-11374-1_12

Toh, H. and A. De Santis, Modelling of regional geomagnetic field based on ground observation network including seafloor geomagnetic observatories, in *Seafloor Observatories - A New Vision of the Earth from the Abyss*, 査読有, Part IV, 585-599, Springer, 2015.

doi:10.1007/978-3-642-11374-1_22

H. Sugioka, Y. Hamano, K. Baba, T. Kasaya, N. Tada, and D. Suetsugu, Tsunami: Ocean dynamo generator, *Scientific Reports*, 査読有, 2014

doi:10.1038/srep035964//1-7

H. Ichihara, Y. Hamano, K. Baba, and T. Kasaya, Tsunami source of the 2011 Tohoku earthquake detected by an ocean-bottom magnetometer, *Earth and Planetary Science Letters*, 査読有, 382, 117-124, 2013

doi:10.1016/j.epsl.2013.09.015

T. Minami and H. Toh, Two-dimensional simulations of the tsunami dynamo effect using the finite element method,

GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 査読有, VOL. 40, 4560-4564, 2013.

doi:10.1002/grl.50823

H. Sugioka, T. Okamoto, T. Nakamura, Y. Ishihara, A. Ito, K. Obana, M. Kinoshita, K. Nakahigashi, M. Shinohara and Y. Fukao, Tsunamigenic potential of the shallow subduction plate boundary inferred from slow seismic slip, *Nature Geoscience*, 査読有, vol.33, 414-418, 2012.

doi:10.1038/NGEO1466

D. Suetsugu, H. Shiobara, H. Sugioka, A. Ito, T. Isse, T. Kasaya, N. Tada, K. Baba, N. Abe, Y. Hamano, P. Tarits, Jean-Pierre Barriot, and D. Reymond, TIARES Project - Tomographic investigation by seafloor array experiment for the Society hotspot, *Earth Planets Space*, 査読有, 64, i-iv, 2012

doi:10.5047 /eps. 2011.11.002

[学会発表](計 18 件)

H. Shiobara, A. Ito, H. Sugioka, M. Shinohara, Possibility of the observation at the sea floor by using the BBOBST-NX systems, AGU Fall Meeting 2014, 2014 年 12 月 5 日、San Francisco, USA

浜野洋三、杉岡裕子、多田訓子、藤浩明、南拓人、ベクトル津波計による微小津波の検出、第 136 回地球電磁気・地球惑星圏学会総会及び講演会、2014 年 11 月 3 日、キッセイ文化ホール、長野県松本市

浜野洋三、杉岡裕子、藤浩明、ベクトル津波計リアルタイム観測に向けた Wave Glider の長期運用、日本地球惑星科学連合 2014 年大会、2014 年 5 月 1 日、パシフィコ横浜、神奈川県横浜市

館畑秀衛、浜野洋三、津波の誘導磁場を利用した高所からの大津波遠隔間奥の可能性、日本地球惑星科学連合 2014 年大会 2014 年 5 月 1 日、パシフィコ横浜、神奈川県横浜市

浜野洋三、杉岡裕子、多田訓子、藤浩明、南拓人、川嶋一生、ベクトル津波計による海底電磁気シグナルの観測、地球電磁気・地球惑星圏学会第 134 回総会及び講演会、2013 年 11 月 3 日、高知大学朝倉キャンパス、高知県高知市

浜野洋三、杉岡裕子、藤浩明、Wave Glider を用いたリアルタイム海底津波モニタリングシステムの開発、地震学会 2013 年秋期大会、2013 年 10 月 7 日、神奈川県民ホール、神奈川県横浜市

浜野洋三、杉岡裕子、多田訓子、伊藤亜妃、藤浩明、南拓人、川嶋一生、塩原肇、馬場聖至、ベクトル津波計による初めての海底観測、日本地球惑星科学連合2013年大会、2013年5月22日、幕張メッセ国際会議場、千葉県千葉市

浜野洋三、杉岡裕子、津波によって海洋に励起される電磁場変動、第132回地球電磁気・地球惑星圏学会総会及び講演会、2012年10月21日、札幌コンベンションセンター、北海道札幌市

浜野洋三、杉岡裕子、藤浩明、ベクトル津波計の特徴について、地震学会2012年度秋期大会、2012年10月17日、函館市民会館、北海道函館市

浜野洋三、杉岡裕子、市原寛、多田訓子、藤浩明、北西太平洋に展開された海底磁力計群から推定される2011年東北地震津波の発生と伝播、日本地球惑星科学連合2012年大会、2012年5月21日、幕張メッセ国際会議場、千葉県千葉市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浜野 洋三 (HAMANO, Yozo)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球深部
ダイナミクス研究分野・特任上席研究員
研究者番号：90011709

(2) 研究分担者

杉岡 裕子 (SUGIOKA, Hiroko)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球深部
ダイナミクス研究分野・主任研究員
研究者番号：00359184

藤 浩明 (Toh, Hiroaki)

京都大学・理学研究科・准教授
研究者番号：40207519