

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03965

研究課題名（和文）船舶設置GPSによる海面高度観測に基づく津波予測システム構築のための基礎研究

研究課題名（英文）Basic research for the tsunami prediction system based on sea-surface height observation using ship-mounted GPS

研究代表者

丹羽 淑博（Niwa, Yoshihiro）

国立極地研究所・国際極域・地球環境研究推進センター・特任研究員

研究者番号：40345260

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、船舶を津波観測プラットフォームとして利用できるか検証するために、岩手県大槌湾において研究用船舶に高精度GPSを設置し海面水位の観測を試みた。GPSデータを水位計データと比較した結果、10cm以下の誤差で海面水位の測定ができることが確認できた。次に、民間フェリーを使った観測も計画したがコロナ感染症の影響で実施できなかった。その代わりに、航空機を津波観測のプラットフォームとして使用する方法について数値実験で検証を行った。その結果、南海トラフ上を航行する複数の民間航空機でデータが得られた場合、既存の海底圧力計の観測よりも、短い観測時間かつ高い精度で津波予測ができることが確かめられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高精度な津波の即時予測を行うには、地震発生直後に震源に近い沖合で津波を直接観測することが必要不可欠である。本研究では、新たな津波の観測方法として、沖合を航行する船舶に搭載したGPSによって、津波検知に十分な精度で海面変位の測定ができることを示した。さらに、沖合を航行する複数の航空機を使っても、津波を高い精度で予測できる可能性があることを示した。本研究の成果は、将来、船舶や航空機を活用した比較的低コストで全海洋をカバーできる津波予測システムを構築するための基礎となり、津波による人的被害を大幅に軽減させるのに重要な貢献をするものと期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, to test offshore ships as a platform for tsunami wave observation, we attempted the sea surface elevation measurement using high-precision GPS installed on board a research ship in Otsuchi Bay, Iwate Prefecture. The results show that sea surface elevation can be measured with an error less than ten centimeters. Next, we planned the GPS observation using a commercial ferry ship, but it failed to accomplish due to the COVID-19 pandemic. Subsequently, we conducted numerical experiments to assess airplanes as a tsunami observation platform. As a result, it is confirmed that if sufficient data were obtained from multiple commercial airplanes flying over the Nankai Trough, tsunami prediction could be achieved in a shorter observation time and with higher accuracy than with existing ocean bottom pressure gauge observations.

研究分野：海洋物理

キーワード：津波 GPS 船舶観測 航空機観測 海面高度観測

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

津波をより早く正確に予測するためには、地震発生直後に震源に近い沖合で津波を直接観測しその規模をいち早く検知することが重要となる。東日本大震災の経験を受け、現在は三陸沖の日本海溝周辺や四国沖の南海トラフ周辺に海底水圧計(S-net, DONET)や GPS プイ波浪計(NOWPHAS)で構成される津波観測網などが整備されているが、これら観測網はその設置や維持に莫大な費用がかかり、観測海域に限られるという問題がある。全海洋をカバーできる津波観測網を構築するためには、コストを低く抑えた津波観測方法の確立が必要となる。

2. 研究の目的

上述の問題を解決する方法の一つとして、本研究では、沖合を航行する船舶を津波の観測プラットフォームとして利用する方法を検証した。そのために、東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センターの調査船に高精度 GPS を設置して水位変動の観測を試みた。

当初の計画では、民間フェリーにも GPS を設置し長期観測を実施する予定であったが、コロナ感染症により観測を中止せざるを得なかった。そのため代わりに、船舶と並んでグローバルな交通・輸送網を形成する航空機に着目した。報告者が関わった研究によって、航空機に搭載されている高度計レーダーを利用して海面水位の観測ができることが確かめられている[Hirobe et al., 2019]。そこで、実際に海洋を航行する多数の民間航空機を津波観測プラットフォームとして利用した場合に、どの程度正確に津波予測ができるか数値実験を行い検証した。

3. 研究の方法

(1) 船舶 GPS 観測

図 1 に示すように、岩手県大槌町にある東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センターの調査船に高精度 GPS とアンテナを設置し、GPS 搬送波データを取得した。回収した GPS 衛星データを精密単独測位法(PPP)による解析を行い船舶の鉛直変位データを求めた。こうして得られた鉛直変位データを、実際の水位データと比較することにより、GPS 観測の測定精度の検証を行った。

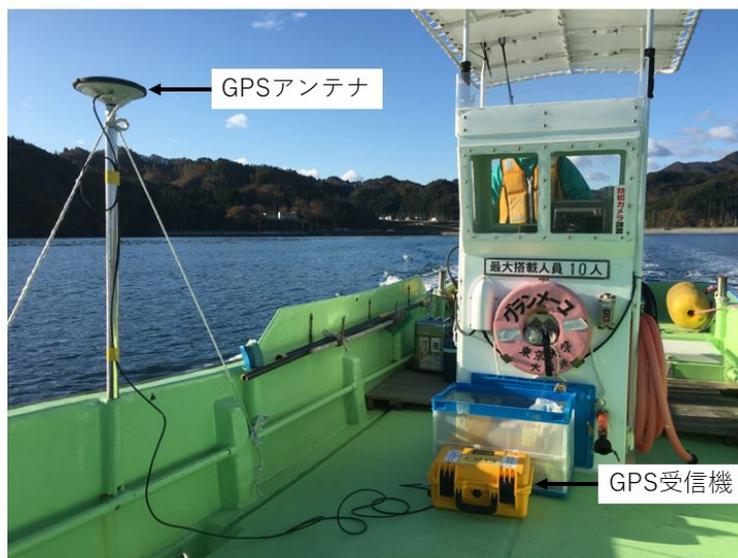


図 1 : 東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センターの調査船グランメーユで実施した船舶 GPS 観測の様子。船舶に設置した GPS 受信機と GPS アンテナを示す。

(2) 航空機による津波波形インバージョン解析

図 2 左に示した波源を初期とした南海トラフ津波の数値シミュレーションを行い、その結果を真の解として数値モデル内で複数の航空機を実際の航路(図 2 右)に沿って移動させることで仮想的な海面水位の観測データを取得した。このデータからインバージョン解析により、津波の初期波源の海面水位を推定した。そして、推定した初期波源に基づく津波シミュレーションの結果と元の真の解とを比較することで、津波の予測精度を検証した。

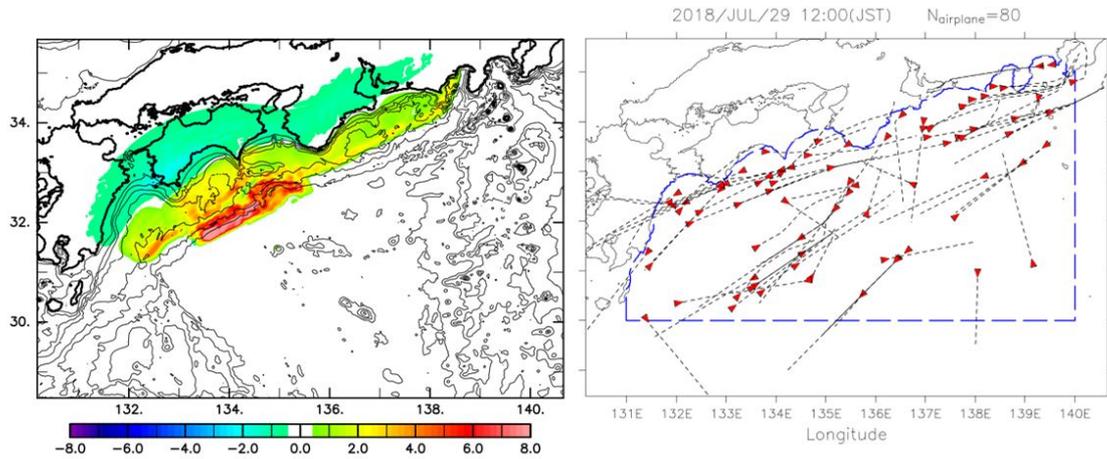


図2：数値実験で仮定した南海トラフの津波の初期波源の分布（左図）と南海トラフ上を通過する民間航空機の航路の例（右図）。

4. 研究成果

(1) 船舶 GPS 観測の結果

図3は、船舶に設置したGPSで得られた鉛直変位データ（赤線）と湾内に設置した水位計のデータ（青線）を比較した結果である。GPSデータに数分間の移動平均を施し、船の揺動成分を除去した。これを見ると、10cm以下の誤差で船舶設置GPSにより海面水位の測定ができることがわかる。半日周期の潮汐成分だけでなく、実際の津波の周期に近い周期20～30分のセイシュに伴うシグナルも捉えられていることが確認できる。このことから、船舶GPS観測によって沖合の巨大津波の検知が十分可能なことが確かめられた。

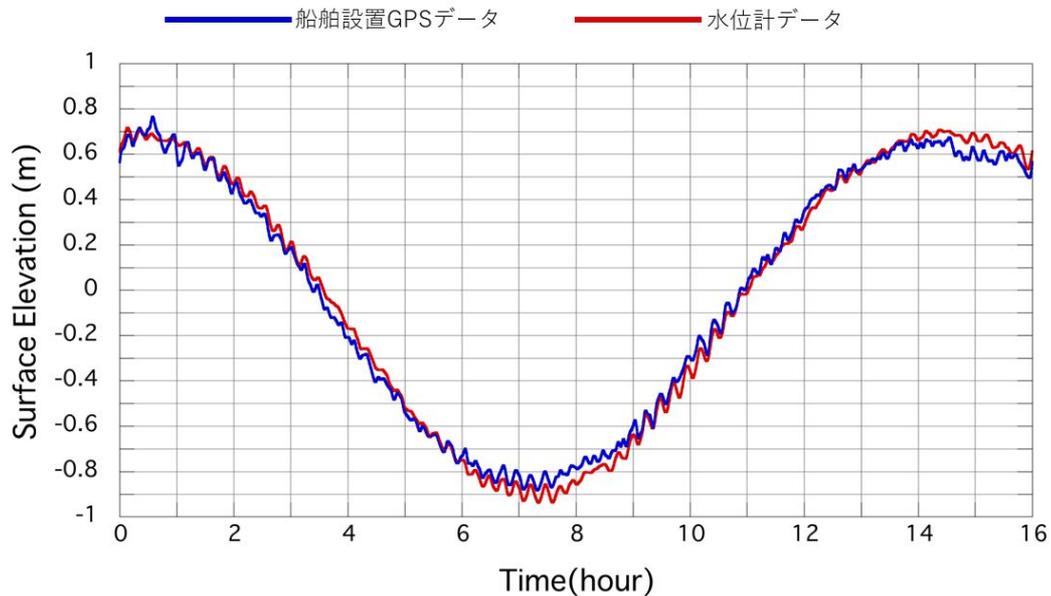


図3：船舶設置GPS観測で得られた鉛直変位データ（青線）と湾内に設置した水位計で得られた海面水位データ（赤線）の比較。

(2) 航空機による津波波形インバージョン解析の結果

南海トラフ上を通過する複数の航空機によって得られた津波発生後7.5分間の海面水位データのインバージョン解析によって推定した初期波源分布を図4左上に示す。初期波源分布（図2左）がよく再現できていることがわかる。それに対し、既存の津波観測網（DONETとGPS波浪計）のデータから同様に推定した初期波源分布（図4右上）はピーク位置が大きすぎてしまう。このことを反映して、沿岸に到達した津波の波高分布も、既存の観測網（図4右下の赤点）に比べ航空機観測（図4左下の赤点）によって真の分布（黒点）が格段によく予測されていることがわかる。

一連の数値実験の結果から、20機以上の航空機が通行する朝7時から夜21時の時間帯には、航空機レーダー観測によって、既存の津波観測網に比べて半分以下の観測時間でより高い精度の津波予測ができることが確かめられた。

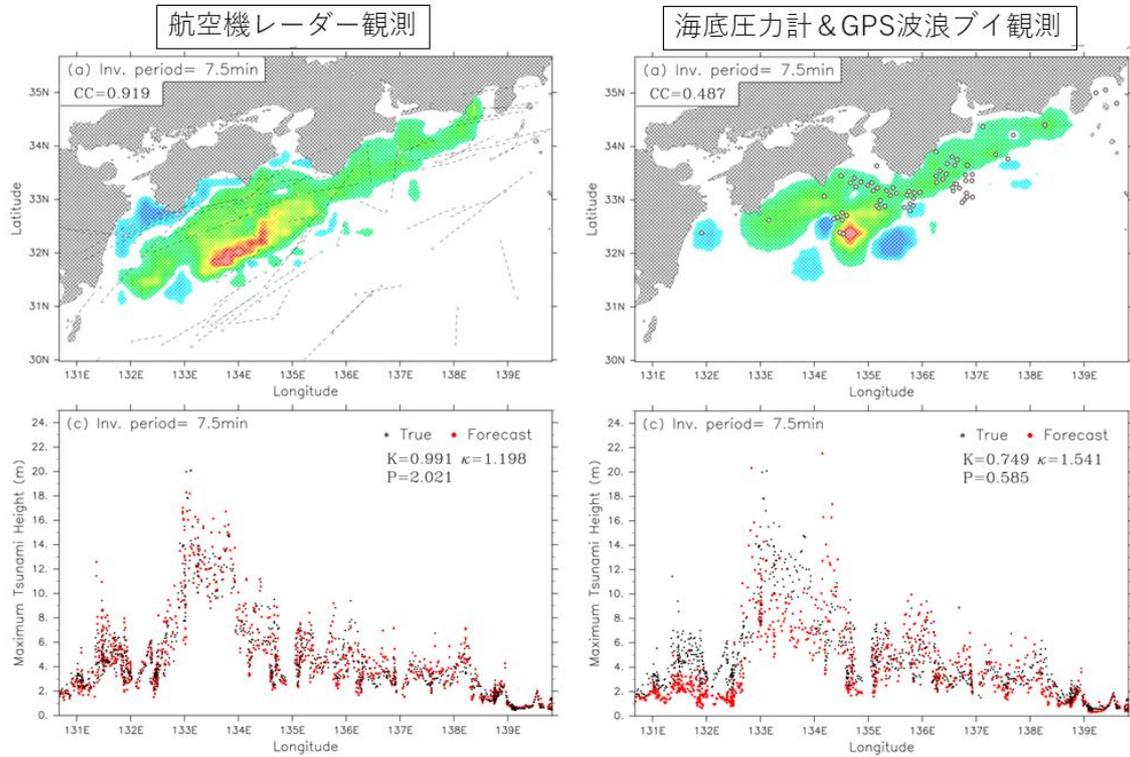


図4：南海トラフ津波の数値シミュレーションの中で仮想的に行った航空機観測で得られた海面水位データのインバージョン解析により推定した津波の初期波源(左上図)と推定した初期波源に基づいて予測した沿岸に到達する津波の最大波高の分布(左下図)。津波発生7.5分後の結果を示す。(右図)は、(左図)と同様の方法で、既存の津波観測網である海底圧力計とGPS波浪ブイで得られた海面水位データから推定した津波の初期波源と最大波高分布。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 日置光久、丹羽淑博	4. 巻 25
2. 論文標題 海洋教育における教材開発とその意義	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 学術の動向	6. 最初と最後の頁 7_88-7_93
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Tomoyuki Hirobe, Yoshihiro Niwa, Takahiro Endoh, Iyan E. Mulia, Daisuke Inazu, Takero Yoshida, Hidee Tatehata, Akitsugu Nadai, Takuji Waseda and Toshiyuki Hibiya	4. 巻 75
2. 論文標題 Observation of sea surface height using airborne radar altimetry: a new approach for large offshore tsunami detection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 541-558
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10872-019-00521-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Iyan E. Mulia, Tomoyuki Hirobe, Daisuke Inazu, Takahiro Endoh, Yoshihiro Niwa, Aditya Riadi Gusman, Hidee Tatehata, Takuji Waseda and Toshiyuki Hibiya	4. 巻 10
2. 論文標題 Advanced tsunami detection and forecasting by radar on unconventional airborne observing platforms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 2412
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-59239-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 R. Matsui, M. Kido, Y. Niwa and C. Honsho	4. 巻 40
2. 論文標題 Effects of disturbance of seawater excited by internal wave on GNSS-acoustic positioning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Marine Geophysical Research	6. 最初と最後の頁 541-555
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11001-019-09394-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 丹羽淑博	4. 巻 1
2. 論文標題 小・中学校における流体実験を活用した海洋教育	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本海洋教育学会誌	6. 最初と最後の頁 38-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 丹羽淑博、広部智之、早稲田卓爾、日比谷紀之
2. 発表標題 現実の航空機位置データに基づく津波波形インバージョン
3. 学会等名 日本海洋学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丹羽淑博、田口康大
2. 発表標題 「三陸の海の豊かさのひみつを探る」宮城県気仙沼市の小学校における海洋教育の実践
3. 学会等名 日本海洋学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丹羽淑博
2. 発表標題 実験と観測データにもとづく海洋教育の教材開発 - 気仙沼市立鹿折小学校における水産と地球温暖化の授業の事例 -
3. 学会等名 日本学術会議学術フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 丹羽淑博、毛利亮子、矢吹裕伯
2. 発表標題 ADS(北極域データアーカイブシステム)の開票データを利用した海洋教育
3. 学会等名 日本海洋学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 丹羽淑博、大山元夢、山口一
2. 発表標題 高解像度海氷・海洋モデルによる海水数値予測
3. 学会等名 ArCS II 北極海氷情報室2023年度フォーラム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高倉美帆、浅野亮、安田昌則、高田浩二、丹羽淑博、茅根創
2. 発表標題 地球温暖化に挑む海洋教育
3. 学会等名 日本海洋教育学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Yoshihiro Niwa, Akiko Mohri, Hironori Yabuki
2. 発表標題 Arctic Education using Polar Sea Ice Data from ADS (Arctic Data archive System)
3. 学会等名 The 14th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshihiro Niwa, Takashi Ishibasi, Akiko Mohri, Hironori Yabuki
2. 発表標題 Educational Practices using Polar Sea Ice Data for High School Science and Mathematics Classes
3. 学会等名 International Symposium on Data Science (DSWS-2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 丹羽淑博 (共著)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東信堂	5. 総ページ数 258
3. 書名 温暖化に挑む海洋教育-呼応的かつ活動的に-	

1. 著者名 茅根創・丹羽淑博編著	4. 発行年 2023年
2. 出版社 成山堂書店	5. 総ページ数 194
3. 書名 東京大学の先生が教える海洋のはなし	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------