

(1) 実施機関名：

東北大学災害科学国際研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）海洋物理モデルと連携したウェーブグライダーを用いたGNSS-A観測の高度化

（英文）Development of GNSS-A survey using a waveglider with oceanographic model

(3) 関連の深い建議の項目：

6 観測基盤と研究推進体制の整備

(1) 観測研究基盤の開発・整備

イ. 観測・解析技術の開発

(4) その他関連する建議の項目：

2 地震・火山噴火の予測のための研究

(1) 地震発生の新たな長期予測（重点研究）

ア. プレート境界巨大地震の長期予測

6 観測基盤と研究推進体制の整備

(1) 観測研究基盤の開発・整備

ア. 観測基盤の整備

(5) 本課題の5か年の到達目標：

海洋研究開発機構と東北大学は、無人海上プラットフォームであるWGによる観測システムを開発・実用化して実観測に導入した。今後、より効果的な観測のため、海流による航行性能の低下や音響測距用の基準音速プロファイル計測ができないなどの、船舶観測に対するWGの短所を克服する必要がある。一方で、WGの長所を活かした長期連続観測や災害時の機動観測でのリアルタイムデータ取得などの、次世代観測が可能な技術開発も望まれる。本研究では、海洋物理モデルと連携し、海流の変動を予測した観測実施計画の動的最適化および海中音速構造の正確な推定による測位精度向上に加え、WG上での即時解析によるリアルタイムデータ取得を実現し、災害時にも役に立つシステムへと発展させることを目標とする。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

本課題では、上記の目的を達成するため以下の(a)～(d)の研究を実施する。また、海洋モデルとの比較のための海中音速データの取得や、実証のためのWGおよび船舶によるGNSS-A観測は、北海道大学、東北大学理学研究科、東京海洋大学、東京大学地震研究所の課題とも連携し、観測で得られた成果を共有する。実証試験は千島海溝から日本海溝にかけて実施する。

(a)海洋研究開発機構が運用しているJCOPE2Mなどの海洋再解析モデルを利用し、基準音速プロファイルのほか海中音速場の空間不均質の先見情報を与えた解析方法を確立する。(b)WG上でのリアルタイム解析&データ伝送を完成させるため、走時検出を行う音響波形処理を完全自動化する。(c)逐次更新のリアルタイム解析結果と海流予報を把握した上で、移動観測の長さや測線などを動的に最適化できるようにする。(d)理論と実証観測から、船舶とWGの同時観測などの新たな観測形態について、検討を続ける。

【令和6-7年度】：海洋再解析モデルについて、過去のGNSS-A観測データで推定した音速場と比較し、その分解能と、時間・空間位置の確度について特徴を把握する。また、観測航海の回航時を利用しXCTD等による側線に沿った音速プロファイルを得て、モデルとの乖離具合を把握する。過去の海流

の履歴をモデルから抽出し、WGによる観測が困難な状況の発生場所・頻度に関する基礎情報を得る。音響波形処理の完全自動化のアルゴリズムを開発し、後処理解析に取り入れて性能を評価する。観測精度を上げる観測形態を考案し、主に理論により実効性を検討する。

【令和8-9年度】：海洋再解析モデルを海中音速構造の先見情報として組み入れた測位解析アルゴリズムを開発し、精度の改善度合いを確認する。XCTD等による側線に沿った音速プロファイル取得を多くの海域で継続する。音響波形処理アルゴリズムをWGのCPUで処理可能なまでにカスタマイズし実装する。WGの観測時のPPP-RTKの利用も視野に入れ、リアルタイムの地殻変動データの取得を実証する。船舶との同時観測の機会を利用し、様々な観測形態を試しつつ多様な観測手法を実証していく。

【令和10年度】：先見情報を入れた解析を過去にまで遡って実施し、これまでの地殻変動の推定値をアップデートし、キャンペーン観測ごとのばらつきが低減するか確認する。その結果を反映し、プレート境界の挙動、特に時間変化現象の解明に役立てる。海流予報とリアルタイム観測値から動的に観測形態を変える運用を実施しノウハウをまとめる他、災害時の即時観測の実効性を評価する。

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

広域の海底地殻変動をモニターし続けるためには、無人機の安定した長期運用による観測の継続と、計測の高精度化が欠かせない。

2024年度のウェーブグライダー（WG）の運用では、ペイロードのデータ通信に利用していた衛星自体に回復不能な障害が運用初期の段階で生じたため、リアルタイムデータ取得に困難をきたした。しかし、観測進捗を確認できる最小限のデータをナビゲーション用の別系統の衛星通信で伝送できるよう確保したため、観測自体は成功した。最小限のデータ伝送で済ますため、オンボードでの即時データ解析・加工の度合いを高め、WGの動揺や気象・海象時系列データも統計量に加工するなど、将来の完全にリアルタイム観測に向けたソフトウェアの設計が進展した。さらに、低消費電力化のためヘッダ信号を返信せず、短い測距信号のみ返す海底局を開発し、運用を開始した。それに合わせ、リアルタイムの走時検出による測距の成立状況確認のためのソフトウェアの開発に着手した。

現場でのXBT等による基準音速プロファイルを取得できないWG観測において、実際の音速が過去のデータベースによるプロファイルと大きく異なっていた場合、測位結果に影響することを把握し、データ同化海洋モデルによるプロファイルを採用することで、統計的に改善することを示した。また現場実測がある場合でも、内部潮汐によりプロファイルの形状が時間変化することを示すとともに、日本周辺の内部潮汐の規模であれば測位への影響が小さいことを確認した。その際に実際のプロファイルと用いた基準プロファイルの乖離による走時計算への影響が、プロファイル形状に依らず単一のスカラー量で表現可能なことを見出し、このスカラー量自体を未知数として解き得る可能性を示した。

WGの長期安定運用のためには、転覆などの頻度や姿勢回復の把握が必須であるが、転覆時にGNSSアンテナが水没し位置データが途切れる問題を、加速度データを積分することで内挿し、転覆時の詳細なWGの挙動の再現に成功した。また、WGは波による推進速度が海流より小さくしなければ、時間がかかっても指示した通りの航跡で進むことが可能であるが、海流が強い場合ヘディングは必ずしも進行方向を向かず、荒天時に転覆しづらいとされる波向に対して直交させるコース取りが有効に機能していないことを示した（図1）。さらに、過去の運用データから、転覆頻度と波向とヘディングの差および有義波高との関係について抽出した結果、ヘディング関連では明確な傾向が見られなかったが、有義波高が4mを超えると転覆が発生し始めることがわかった（図2）。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

GNSS-A観測による広域の海底地殻変動観測を定常的に将来にわたって継続させるため、観測の自動化・高精度化に資する進展があった。

(8) 令和6年度の成果に関連の深いもので、令和6年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

Tomita, F., 2024, Enhanced GNSS-acoustic positioning method implementing with constraints on underwater sound speed structure, Earth Planets Space, 76, 178.

<https://doi.org/10.1186/s40623-024-02120-6>,査読有,謝辞無

Tomita, F., M. Kido, T. Iinuma, Y. Ohta, 2025, GNSS-Acoustic positioning error in the vertical component considering the uncertainty of a reference sound speed profile, Marine Geophysical Research, in press.,査読有,謝辞無

・学会・シンポジウム等での発表

村井菜々海・木戸元之・飯沼卓史・中東和夫, 2024, GNSS-A観測中のウェーブグライダーの転覆頻度に対する波浪の向きとヘディングの関係について, 日本測地学会142回講演会 10月31日

Kido, M., 2024, Sound speed profile oscillation due to internal tide and its effect on traveltimes in GNSS-A measurement, AGU Fall Meeting, G23B-3583

(9) 令和6年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報：

(10) 令和7年度実施計画の概要：

GNSS-A観測時のオンボードでの波形の自動読み取りと、複数の返信波形が重合した場合の分離アルゴリズムの開発（WG用・船舶用）。

WGのリアルタイム伝送データの高度な統計加工の実装。

実測での内部重力波の継続観測と音響測距への影響のシミュレーション及び実測に基づく定量評価。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

木戸元之（東北大学災害科学国際研究所）,富田史章（東北大学災害科学国際研究所）,Chi-Hsien Tang（東北大学災害科学国際研究所）

他機関との共同研究の有無：有

太田雄策（東北大学大学院理学研究科）,飯沼卓史（海洋研究開発機構）

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等：東北大学災害科学国際研究所

電話：

e-mail：zisin-yoti@irides.tohoku.ac.jp

URL：https://irides.tohoku.ac.jp/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：木戸元之

所属：東北大学災害科学国際研究所

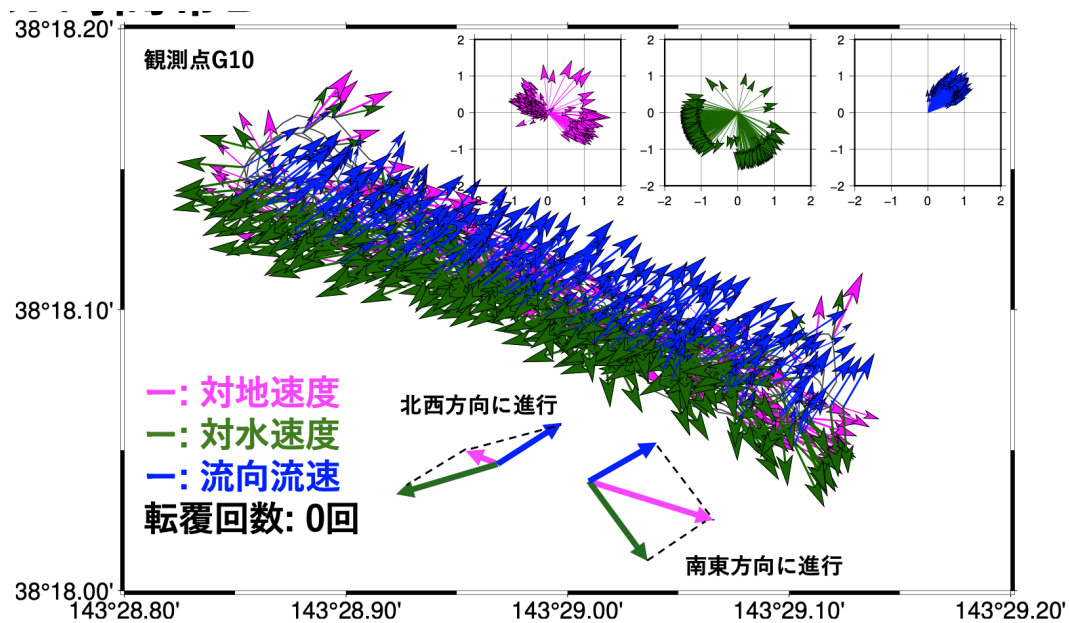


図1：WGの航跡・ヘディング・対水速度から推定した海流との関係

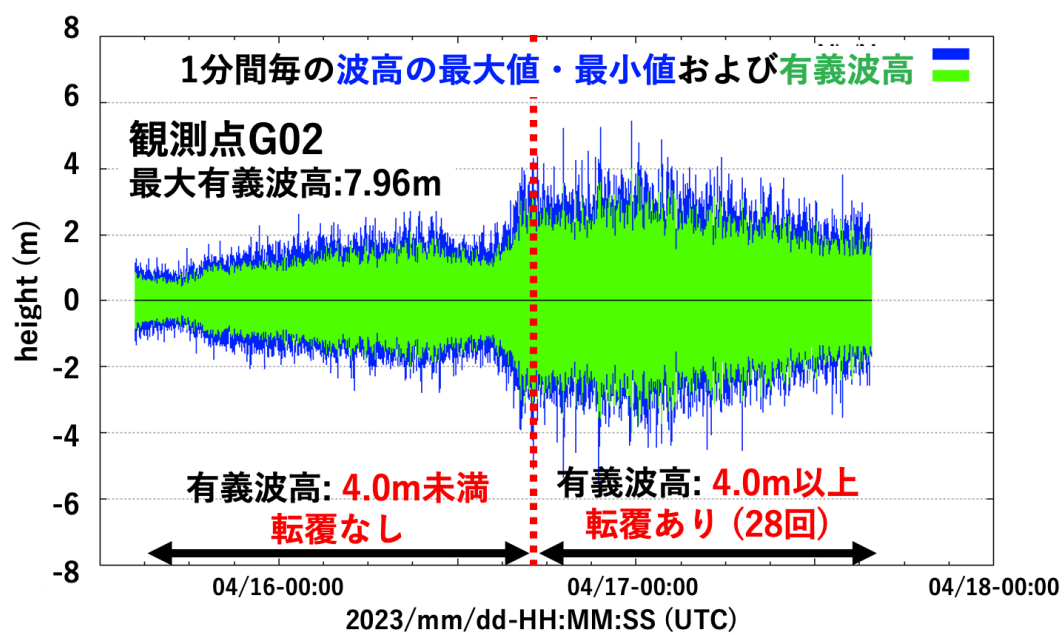


図2：WGの高度データから推定した有義波高の時系列と転覆頻度の関係