

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14357

研究課題名（和文）海洋表層ドリフターの大規模展開による沿岸流動場の把握

研究課題名（英文）Understanding coastal flow fields through large-scale deployment of ocean surface drifters

研究代表者

小平 翼（Kodaira, Tsubasa）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・講師

研究者番号：60795459

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：安価小型で高精度な波浪計測機能を持つドリフターの開発を進め、開放水面、氷上、双方の展開に応じた筐体を開発し、精度検証の上、北極、南極双方で多点展開を実施した。開発においては海洋観測分野では水密性の欠如と頑健性から活用が限定的であったラピッドプロトタイピング技術である3Dプリンターの活用を検討し方法と計測の精度検証結果を論文発表した。また、北極海カナダ海盆域での展開結果から海洋のサブメソスケールおよびメソスケールの渦の存在が示された。メソスケール渦については衛星海面高度計とドリフター軌跡を比較することで、北極海の表層流の分布の推定に対して衛星海面高度計の有用性を示唆する結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では低コストで製作でき、可搬性が高く頻繁かつ大量に投入可能な海洋表層ドリフターを検討し開発した。ラピッドプロトタイピング技術の海洋観測分野への応用という事例の少ない分野で知見を得ることができた。本研究では北極海を対象として開発した機器展開を実施したため、イリジウム衛星通信を用いたが、近年普及しているLPWAを用いたテレメトリに変更することで、オンデマンドな沿岸域の流動場の把握手法として有用となると考えられる。学術的にも既存の地衡流や吹走流のみより構成された流動場に比べて河川水や潮汐流の影響が含まれる為、新規性の高い知見の獲得が期待できる。

研究成果の概要（英文）：We developed an affordable, compact, ocean surface drifter with a function of highly accurate wave measurements. We have created housings suitable for deployment on both open water and ice surfaces. After verifying their accuracy, we conducted multi-point deployments in both the Arctic and Antarctic. During development, we explored the use of 3D printing technology, a rapid prototyping technique that had been limited in ocean observation due to its lack of watertightness and robustness. We published a paper on our methods and the verification of the wave measurements.

Deployment results in the Canada Basin of the Arctic Ocean revealed the presence of submesoscale and mesoscale eddies. By comparing satellite altimeter data with drifter trajectories, we obtained results suggesting the usefulness of satellite altimeters in estimating the distribution of surface currents in the Arctic Ocean.

研究分野：海洋物理学

キーワード：海洋表層流 ドリフター 北極海 海洋IoT

### 1. 研究開始当初の背景

台風や気候変動に重要な海洋変動を把握するため、現在ではアルゴフロートと呼ばれる自律昇降型海洋観測機器が外洋で常時約 4000 基運用されている。一方、漁業資源や水質等の観点から人間社会により直接影響する沿岸域のモニタリング網は不十分と言わざるを得ない。例えば、福島第一原子力発電所事故により放射性物質が海洋に流入したが、その拡散予測は過去の観測と数値海洋モデル結果に頼らざるを得なかった。

事故等による突発的大量の海洋汚染物質の海洋流出に加えて陸域からはプラスチックゴミを始めとした環境汚染物質が恒常的に流入している。これらの動態把握には平均的な流れに加えて拡散に結びつく乱れに関する情報も含めた海洋表層流の把握が必要不可欠である。

本研究の核心をなす問いはどうすれば海洋表層流、そして漂流物の動態を把握できるのか？というものである。外洋の地衡流に関しては衛星海面高度計による流速推定が有効で、海洋数値モデルに同化することで予報も可能となる。一方、漂流物の分散を担う海洋の渦による水平方向の乱流拡散を調べるには複数のドリフターの展開が必要となる。近年、IoT 機器や 3D プリンタの低コスト化、高性能化は目覚ましく、これら技術を海洋観測機器のプロotypingに活用できれば、流れの把握に大きく貢献すると考えられる。

### 2. 研究の目的

研究目的は、海洋表層ドリフターの大規模投入による表層流の面的観測手法の確立である。この表層流観測手法が確立されれば、例えば次の用途に活用できる。

- ・海洋汚染(原油・放射性物質の拡散)や海難事故発生時の緊急対策の為の流動場の把握
- ・特定重要海域(航海の難所、海洋資源開発地、知見の乏しい極域等)の表層流の実態解明

本研究では開発したドリフターの展開先として後者の知見の乏しい極域を取り上げ実施した。

### 3. 研究の方法

研究では主に以下の 2 つの項目に取り組んだ。

- (1) 小型低コストで多点展開可能な漂流型ブイを開発し、海上試験の実施
- (2) 開発した漂流型ブイのオホーツク海・北極海における展開

以下、それぞれについて説明する。

#### (1) 機器開発と平塚総合海洋実験場における試験

浮体形状、テレメトリを含むセンサ、電源等について検討を行い、漂流型ブイのプロotypingを実施した。テレメトリについては任意の海域の表層流をオンデマンドに把握するという本研究の目的を遂行するために全球が通信可能対象である Iridium SBD を選択した。また、電源については展開候補として考えていた極域では太陽放射が見込めない季節も存在するため、一次電池を搭載することにした。搭載するセンサについては漂流位置を特定するための GPS センサに加えて、漂流に影響すると考えられる波浪情報の取得を目的に慣性計測装置(IMU)も搭載することとした。オンボード解析プログラムでは緯度経度のみならず波浪統計量の推定を行う。

センサと電池はそれぞれ水密筐体に内蔵し、ケーブルグラントを介して接続する構成とした (Fig.1 左)。

作成した表層ドリフターを市販の小型表層ドリフターである CARTHE Drifter と市販の波浪ブイである Spotter と共に平塚総合海洋実験場にて複数回漂流試験を行った (Fig.1 右)。また、作成した表層ドリフターについてはドロッグの影響を考察するためドロッグの有無で 2 つの基体にて実施した。得られたデータから開発したドロッグ付きのドリフターは、CARTHE Drifter の軌跡と整合性があることを確認した。

また、2022 年 2 月には平塚総合海洋実験場にて 1 ヶ月の係留試験を行うことで、開発したブイの耐久性を試験した。超音波風速計(CALYPSO instruments 社)とマイコンとを Bluetooth Low Energy によって無線接続し、データを取得するシステムの構築にも取り組んだが、十分な検証をすることが叶わなかった。風速など多項目観測可能なブイであることは観測に適しているので将来的に検討する。

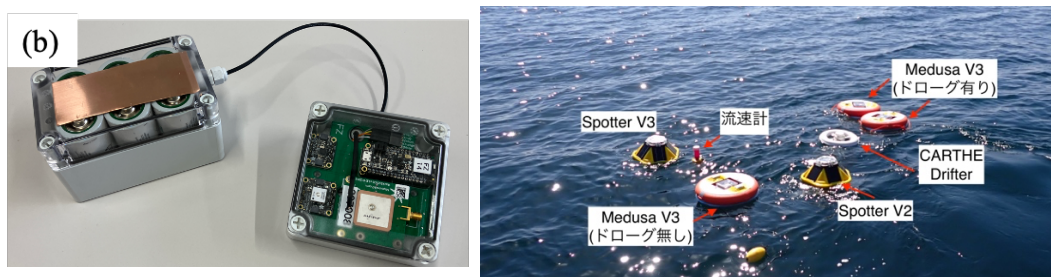


Fig. 1 開発したセンサボックス(左)と平塚総合海洋実験場での漂流試験(右)

## (2) 開発した漂流型ブイのオホーツク海・北極海における展開

2022年9月には西部北極海マッケンジー湾沖にて12個のブイの多点展開、2023年2月にはオホーツク海にて氷上設置型ブイ4基を氷上へ展開し、2023年9月には西部北極海カナダ海盆上の氷縁域へとブイを展開する機会を得られた。GPSの精度については問題ないが、IMUを用いた波浪推定については精度検証が必要なため、2022年9月の北極海展開では市販のSpotter波浪ブイを同時展開し、波浪推定精度を可能とするデータセットの作成を行なった。得られたデータの精度検証を行うとともに、展開機会毎に前回展開結果を踏まえた改善事項等を反映し、実施した。

## 4. 研究成果

安価小型で高精度な波浪ブイの開発を進め、開放水面、氷上、双方の展開に応じた筐体を開発し、精度検証の上、北極、南極双方で多点展開を実施した (Kodaira et al, 2023, 2024 小平私信)。特に、海洋観測分野では水密性の欠如と頑健性の面から活用が限定的であったラピッドプロトタイピング技術である3Dプリンターを工夫して積極的に活用した。水密性の欠陥は高い水密性を有するセンサボックスを活用することで筐体自体への厳格な水密を必要としない構造とした。また、頑健性の面についても3Dプリンターで漂流型ブイの殻構造を作成し、その中に硬質発砲ポリウレタンを注入するという方式を取り、頑健な浮力を有するとともにセンサボックスを守る構造を考案した。3Dプリンターの持つ柔軟性を活用するブイの製作方向ということで、Kodaira et al. 2023にて論文発表を行なった。ラピッドプロトタイピング技術を活用し、太陽光パネル式から一次電池式、そして水密ボックスの二重形状など、運用面で重要となる水密性と電源確保について短期かつ効果的に修正を施した (Fig. 2)。今後、台風観測や極域でのさらなる観測にも活用が期待される。

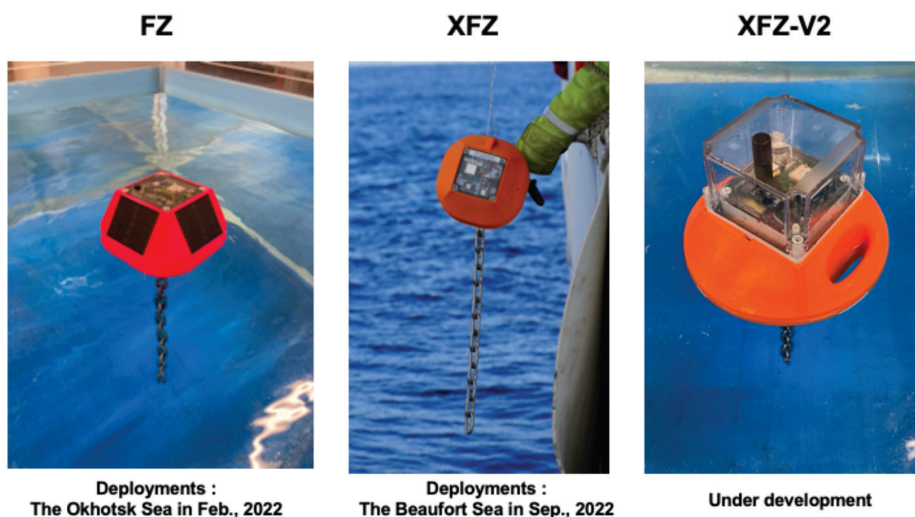


Fig. 2 漂流型ブイ形状の変遷と展開実施に関する情報 (各画像下)。

2023年北極海航海ではそれまでの展開実績を踏まえて、小型海洋表層ドリフターを開発し、計7基の展開を行なった (Fig. 3)。ドリフター形状は先行研究 (Novelli et. al., 2017) を参考に開発した。漂流軌跡より、最初の10日間はサブメソスケール渦による変形が確認できた。また、その後の漂流軌跡は直径30-40km程度の海洋渦の流れに乗った状況を示していた。つまり、展開結果によりカナダ海盆域では海洋のサブメソスケールおよびメソスケールの渦の存在が示され (Fig. 4)、また解析結果から衛星海面高度計の計測結果から推定される地衡流とドリフターの軌跡は整合的であることが示唆された。衛星海面高度計の有用性が示唆されたため、さらなる解析を行う予定である。また、計測のサンプリングの不確実性は考えられるため、海洋モデルを用いた数値実験結果等を今後検討する。

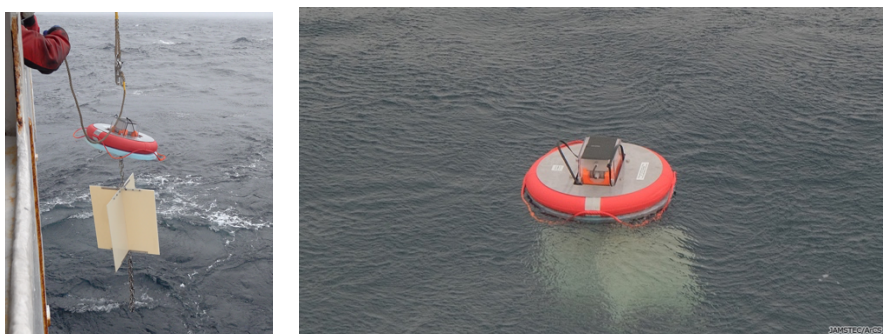


Fig. 3 開発した小型海洋表層ドリフターの展開



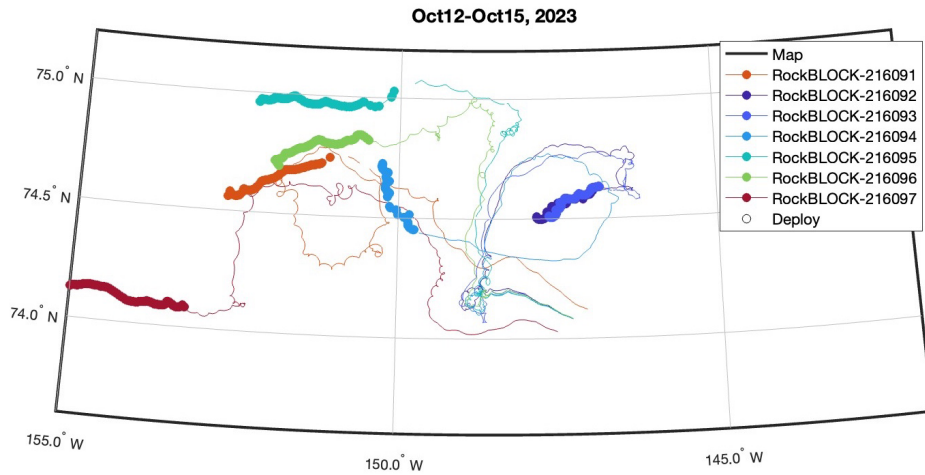


Fig. 4 北極海で展開した7基の小型海洋表層ドリフターの軌跡（展開後1ヶ月まで）

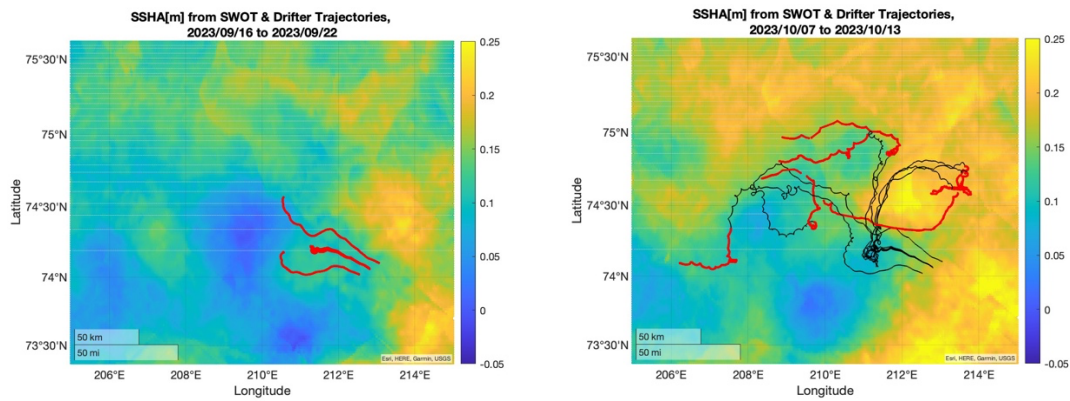


Fig. 5 北極海で展開した7基の小型海洋表層ドリフターの軌跡と海面高度計SWOT計測結果

## 5. まとめ

本研究の核心をなす問いはどうすれば海洋表層流、そして漂流物の動態を把握できるのか？というものであった。小型低コストの小型海洋表層ドリフターを開発し展開することで特定重要海域(航海の難所、海洋資源開発地、知見の乏しい極域等)に関しても知見が得られることを示唆する結果を得ることができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nose T., Rabault J., Waseda T., Kodaira T., Fujiwara Y., Katsuno T., Kanna N., Tateyama K., Voermans J., and Aleekseva T.	4. 巻 -
2. 論文標題 A comparison of an operational wave-ice model product and drifting wave buoy observation in the central Arctic Ocean: investigating the effect of sea ice forcing in thin ice cover	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Polar Research	6. 最初と最後の頁 -
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 該当する
1. 著者名 Kodaira Tsubasa, Katsuno Tomotaka, Fujiwara Yasushi, Nose Takehiko, Rabault Jean, Voermans Joey, Kimizuka Masafumi, Inoue Jun, Toyota Takenobu, Waseda Takuji	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of MEMS IMU based and solar powered wave buoy FZ	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 OCEANS 2022, Hampton Roads	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/OCEANS47191.2022.9977128	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 Rabault J, Nose T, Hope G, Muller M, Breivik O, Voermans J, Hole LR, Bohlinger P, Waseda T, Kodaira T, Katsuno T, Johnson M, Sutherland G, Johansson M, Christensen KH, Garbo A, Jensen A, Gundersen O, Marchenko A, Babanin A.	4. 巻 12
2. 論文標題 OpenMetBuoy-v2021: An Easy-to-Build, Affordable, Customizable, Open-Source Instrument for Oceanographic Measurements of Drift and Waves in Sea Ice and the Open Ocean.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geosciences	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/geosciences12030110	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 Kodaira Tsubasa, Katsuno Tomotaka, Nose Takehiko, Itoh Motoyo, Rabault Jean, Hoppmann Mario, Kimizuka Masafumi, Waseda Takuji	4. 巻 66
2. 論文標題 An affordable and customizable wave buoy for the study of wave-ice interactions: design concept and results from field deployments	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 74 ~ 88
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/21664250.2023.2249243	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 Nose Takehiko, Katsuno Tomotaka, Waseda Takuji, Ushio Shuki, Rabault Jean, Kodaira Tsubasa, Voermans Joey	4. 巻 66
2. 論文標題 Observation of wave propagation over 1,000 km into Antarctica winter pack ice	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 115 ~ 131
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21664250.2023.2283243	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 Nose Takehiko, Rabault Jean, Waseda Takuji, Kodaira Tsubasa, Fujiwara Yasushi, Katsuno Tomotaka, Kanna Naoya, Tateyama Kazutaka, Voermans Joey, Alekseeva Tatiana	4. 巻 42
2. 論文標題 A comparison of an operational wave-ice model product and drifting wave buoy observation in the central Arctic Ocean: investigating the effect of sea-ice forcing in thin ice cover	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Polar Research	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.33265/polar.v42.8874	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 Rabault Jean, Muller Malte, Voermans Joey, Brazhnikov Dmitry, Turnbull Ian, Marchenko Aleksey, Biuw Martin, Nose Takehiko, Waseda Takuji, Kodaira Tsubasa, et al.	4. 巻 10
2. 論文標題 A dataset of direct observations of sea ice drift and waves in ice	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Data	6. 最初と最後の頁 1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41597-023-02160-9	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

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Kodaira, T., Katsuno, T., Fujiwara, Y., Nose, T., Rabault, N., Voermans, J., Kimizuka, M., Inoue, J., Toyoda, T., and Waseda, T.
2. 発表標題 Development of MEMS IMU based and solar powered wave buoy FZ
3. 学会等名 OCEANS 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Katsuno, T., Kodaira, T., Nose, T., Uchiyama, R., Waseda, T.
2. 発表標題 Observation of ocean wind wave development by multiple drifting wave buoys under the off-ice condition in the Beaufort Sea
3. 学会等名 The 37th International symposium on the Okhotsk Sea and Polar Oceans (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Katsuno, T., Kodaira, T., Nose, T., Uchiyama, R., Waseda, T.
2. 発表標題 Ocean wave observation by multiple drifting buoys in Beaufort Sea of the Arctic Ocean
3. 学会等名 The 13th Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小平 翼・麻崎 和太・勝野 智嵩・野瀬 毅彦・藤原 泰・内山 亮介・Jean Rabault ・ Joey Voermans・早稲田卓爾
2. 発表標題 小型海洋ドリフター及び小型波浪観測ブイ開発の試み
3. 学会等名 海洋調査技術学会 第33回研究成果発表
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小平翼, 麻崎和太, 勝野智嵩, 野瀬毅彦, 藤原泰, 内山亮介, Jean Rabault, Joey Voermans, 早稲田 卓爾
2. 発表標題 MEMSセンサを用いた波浪計測機器開発の試み
3. 学会等名 令和3年 日本船舶海洋工学会 秋季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Katsuno, T., Nose, T., Kodaira, T., Waseda, T.,
2. 発表標題 Observation and model estimation of ocean wind wave development under the off-ice wind conditions in the Arctic Ocean
3. 学会等名 The 39th International Symposium on the Okhotsk Sea and Polar Oceans, Mombetsu (国際学会)
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 Kodaira, T., Waseda, T., Katsuno, T., Kimizuka, M., Fujiwara, Y., Nose, T., Kawaguchi, Y., Fujiwara, A.
2. 発表標題 Direct observation of submesoscale and mesoscale eddies by ocean surface drifters near the sea ice edge in the Canada Basin, Arctic Ocean.
3. 学会等名 The 39th International Symposium on the Okhotsk Sea and Polar Oceans, Mombetsu (国際学会)
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 Kodaira, T., Katsuno, T., Nose, T., Itoh, M., Rabault, J., Hoppmann, M., Waseda, T.
2. 発表標題 Development of IMU-based wave buoy for wave observations in the high latitudes
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2023
4. 発表年 2023年～2024年

1. 発表者名 Kodaira, T., Katsuno, T., Nose, T., Itoh, M., Rabault, J., Hoppmann, M., Waseda, T.
2. 発表標題 Development of IMU-based wave buoy FZ and deployments as wave buoy array over the Beaufort Sea
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会春季講演会, 気仙沼. 「みらい」
4. 発表年 2023年～2024年



1. 発表者名 Waseda, T., Tateyama, K., Uchiyama, R., Nose, T., Kodaira, T., Katsuno, T., Tamura, T., Toyota, T., Rabault, J., Hoppmann, M., Shimizu, D.
2. 発表標題 Deformation of fast-ice prior to the 2023 ice breakup event in the Lutzow-Holm Bay
3. 学会等名 The 39th International Symposium on the Okhotsk Sea and Polar Oceans, Mombetsu.
4. 発表年 2023年～2024年

〔図書〕 計0件

〔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
---------	---------