

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21841

研究課題名(和文)無人潜水機を用いた外洋域表層環境の微細スケール構造の実態解明

研究課題名(英文) Detection of fine scale structure in the offshore surface environment using an autonomous underwater vehicle

研究代表者

小松 幸生 (Komatsu, Kosei)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：30371834

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、従来の手法では観測が困難であった外洋域表層の微細スケール構造を自動観測する手法の開発を目的とした。そこで、(1) 水中ドローン(SEASAM/Notilo Plus社)にメモリ式水温・塩分計(A7CT2-USB/JFEアドバンテック社)を取付けて、(2) 海面に係留したGPS搭載ブイ(SEASAM-Navigator/Notilo Plus社)経由で、(3) 調査船上からコントローラ上で設定した水中ドローンの移動経路をWiFiで水中ドローンに送信することで、水平方向を5 m、鉛直方向を0.1 mの解像度で水温・塩分を3次元的に自動観測するシステムを新たに開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で新たに開発した水中ドローンによる海洋表層微細構造の自動観測システムは、従来の観測手法ではアプローチが困難であった、潮目、海上風の吹送作用、波浪のストークスドリフトやラングミュア循環等に伴って海洋表層に生じた水塊の3次元微細構造を直接観測することが可能である。本システムは、水中ドローンに航行に支障のない範囲で多様な複数種のセンサ類を追加することが可能であり、沿岸域から外洋域まで、注目する環境因子の3次元微細分布構造を直接明らかにすることで海洋環境研究に革新的な進展をもたらすことが期待される。

研究成果の概要(英文)：This study aims to develop an automated method for observing the fine-scale structure of the open ocean surface layer, which has been difficult to observe using conventional methods. A new observing system was developed to automatically measure the 3D structure of water temperature and salinity with a resolution of 5 m in the horizontal direction and 0.1 m in the vertical direction. The system consists of an underwater drone (SEASAM/Notilo Plus) with a memory-type CT meter (A7CT2-USB/JFE Advantech) attached and a GPS-equipped buoy (SEASAM-Navigator/Notilo Plus) moored at the sea surface. We can observe the target area at any resolution by pre-setting the underwater drone's movement path on the controller and transmitting commands to the drone via WiFi.

研究分野：海洋環境学

キーワード：海洋表層微細構造 自動観測 水中ドローン

1. 研究開始当初の背景

最近、研究代表者のグループは、黒潮域の栄養塩や魚類の卵稚仔等の輸送に重要な表層の水平流速の水平勾配(水平シア)に伴う(水平)分散係数に関して、GPS 漂流ブイを用いた観測を実施したところ、水平スケールと分散係数との関係が、 $O(1)$ km を境にして不連続に変化することを見出した(小松・廣江, 2018)。比較的静穏な海域で行われた染料の拡散実験データを整理した Okubo (1971) によれば、分散係数は水平スケールの $4/3$ 乗に比例すること (Richardson の $4/3$ 乗則) が分かっており、研究代表者の結果でも $O(1)$ km より大きいスケールでは $4/3$ 乗則が成立している。しかし、興味深いことに、Okubo (1971) でも $O(1)$ km を境に水平スケールと分散係数との関係が不連続に変わることが分かっている。この観測事実は、 $O(1)$ km を境にして、スケール相似則が成立せず、支配的な力学過程が異なっている可能性を示唆しており、この点の詳細を系統立てて調べた研究は、研究代表者の知る限り存在しない。既往の理論研究によると、 $O(1)$ km より大きいスケールの表層の運動は、準地衡流近似と 2 次元乱流による記述が可能で、そのエネルギーは波数の $-5/3$ 乗に比例した Kolmogorov 型のスペクトルを示すこと (Kraichnan, 1967)、分散係数は水平スケールの $4/3$ 乗に比例することも分かっている (Poje et al., 2017)。一方で、 $O(1)$ km 未満のスケールでは、観測データが不足していることもあり、支配的な力学過程も、運動エネルギーのスペクトル構造も不明である。もし、本研究で $O(1)$ km 未満のスケールの海洋構造の実態が解明され、運動エネルギースペクトルの構造の詳細やエネルギーフラックスの実態が分かれば、新しい海洋力学の構築に大きく貢献することが期待できる。

図 1 に示すように、本研究が対象とする微細スケールの海洋構造は、生物のパッチ形成以外にも、 CO_2 の交換、汚染物質の拡散、ダストの流入など、生物地球化学循環の主要舞台であり、地球温暖化等の気候変動の影響予測の精度向上には、これらの高精度なパラメータ化が不可欠である。近年、外洋域を対象とした数値モデルは $O(1)$ km 以上のサブメソスケールを解像できるようになり (e.g., Capet et al., 2008)、そのインパクトの理解も進んでいるが (e.g., Levy et al., 2013)、一方で、外洋域を対象とした $O(1)$ km 未満のスケールを解像する数値モデルの研究は現状では試作段階に留まっている。今後その精度を検証するためにも、現場観測による実態解明が急務である。前述の通り、外洋域における $O(1)$ km 未満の微細スケール現場観測のスキームは確立されておらず、本研究課題で計画している観測は試験的要素が強く、その意味で非常に挑戦的である。しかしながら、ドローンや ROV などの IoT 関連の技術開発が急激に進展している今こそ、挑戦すべき絶好の機会と考える。

2. 研究の目的

本研究は、従来手法では観測が困難であった外洋域表層環境の微細スケール構造の実態を現場での直接観測により解明することを目的とする。本研究で対象とする表層環境とは、海面から水深数 10 m までの層を表し、風の吹送作用、波浪のストークスドリフトと砕波散逸の影響が直接及ぶ範囲を含む。そして、微細スケールとは、水平スケールとして $O(10)$ m ~ $O(1)$ km の範囲を差す。つまり、本研究は、近年海洋学分野で注目され、研究の進展が著しいサブメソスケール ($O(1)$ km ~ $O(10)$ km) よりも 1 ~ 2 オーダー小さい現象を対象とする。

3. 研究の方法

従来手法では観測が困難であった外洋域表層の微細スケール構造を自動観測する手法とし

て、以下のようにシステムの開発を計画した。システムは、(1) 水中ドローン (SEASAM/Notilo Plus 社) にメモリ式水温・塩分計 (A7CT2-USB/JFE アドバンテック社) を取付けて、(2) 海面に係留した GPS 搭載ブイ (SEASAM-Navigator/Notilo Plus 社) 経由で、(3) 調査船上からコントローラ上で設定した水中ドローンの移動経路を WiFi で水中ドローンに送信することで、水温・塩分を 3 次元的に自動観測するものである。

システムの開発に当たって、2022 年 6 月に岩手県大槌湾内で、2022 年 7 月に東シナ海の沖合域で運用試験を行い、2023 年 5 月に大槌湾内で最終調整を実施した。

4. 研究成果

本研究では、沿岸域から外洋域の表層において、水中ドローンを用いて、水平方向を 5 m、鉛直方向を 0.1 m の解像度で水温・塩分を 3 次元的に自動観測するシステムを新たに開発した。このシステムは、従来の観測手法ではアプローチが困難であった、潮目、海上風の吹送作用、波浪のストークスドリフトやラングミュア循環等に伴って海洋表層に生じた水塊の 3 次元微細構造を直接観測することが可能である。本システムは、水中ドローンに航行に支障のない範囲で多様な複数種のセンサ類を追加することが可能であり、沿岸域から外洋域まで、注目する環境因子の 3 次元微細分布構造を直接明らかにすることで海洋環境研究に革新的な進展をもたらすことが期待される。

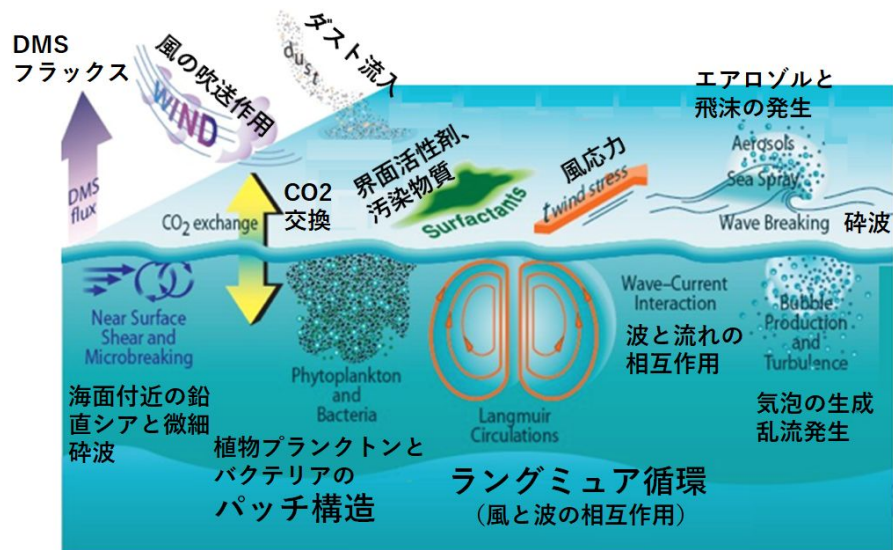


図 1. 外洋域表層における代表的な微細スケール現象 (Loeb 2012 を改編)

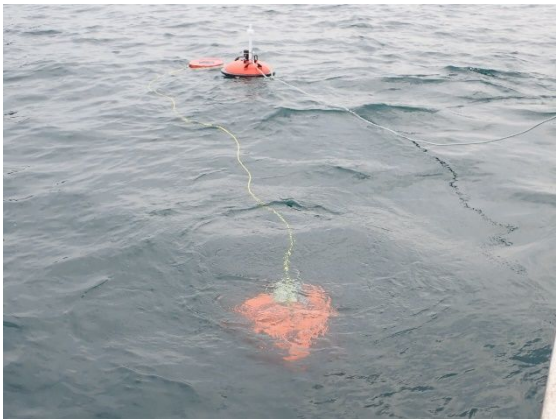


図 2. 大槌湾内での運用試験の様子 (2023 年 5 月撮影)

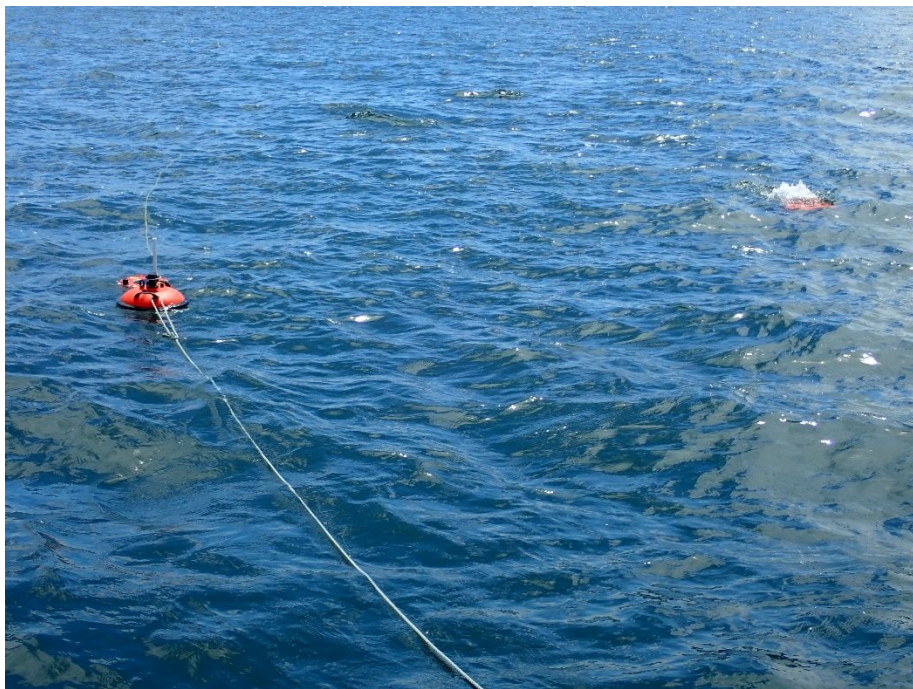


図 3. 東シナ海での運用試験の様子 (2022 年 7 月撮影)

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 6件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Wang, Y., Yamashita, R., Matsumura, Y., Ito, S., Komatsu, K.	4. 巻 63
2. 論文標題 Dynamics of microplastic transport and accumulation in a rural coastal area: Insights from the Otsuchi Bay, a small ria in Sanriku, Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Regional Studies in Marine Science	6. 最初と最後の頁 102964
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.rsma.2023.102964	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 Sakamoto, T., Takahashi, M., Chung, M. T., Rykaczewski, R. R., Komatsu, K., Shirai, K., Ishimura, T., Higuchi, T.	4. 巻 13
2. 論文標題 Contrasting life-history responses to climate variability in eastern and western North Pacific sardine populations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5298
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-022-33019-z	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 Nishikawa, H., Toh, S., Yasuda, I., Komatsu, K.	4. 巻 2
2. 論文標題 Overlap between suitable nursery grounds for Japanese anchovy (<i>Engraulis japonicus</i>) and Japanese sardine (<i>Sardinops melanostictus</i>) larvae	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 AQUACULTURE, FISH and FISHERIES	6. 最初と最後の頁 179-188
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/aff2.39	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 -
1. 著者名 Uesaka, L., Goto, Y., Yonehara, Y., Komatsu, K., Naruoka, M., Weimerskirch, H., Sato, K., Sakamoto, K. Q.	4. 巻 200
2. 論文標題 Ocean wave observation utilizing motion records of seabirds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress in Oceanography	6. 最初と最後の頁 102713
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.pocean.2021.102713	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 Nagai, T., Quintana, G. M. R., Gomez, G. S. D., Hashihama, F., Komatsu, K.	4. 巻 77
2. 論文標題 Elevated turbulent and double-diffusive nutrient flux in the Kuroshio over the Izu Ridge and in the Kuroshio Extension	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 55-74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-020-00582-2	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 Agostini, S., Harvey, B. P., Milazzo, M., Wada, S., Kon, K., Flocc'h, N., Komatsu, K., Kuroyama, M., Hall-Spencer, J. M.	4. 巻 27
2. 論文標題 Simplification, not " tropicalization ", of temperate marine ecosystems under ocean warming and acidification	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Global Change Biology	6. 最初と最後の頁 4771-4784
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/gcb.15749	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 Sakamoto, T., van der Lingen, C. D., Shirai, K., Ishimura, T., Geja, Y., Peterson, J., Komatsu, K.	4. 巻 77
2. 論文標題 Otolith 180 and microstructure analyses provide further evidence of population structure in sardine <i>Sardinops sagax</i> around South Africa	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ICES Journal of Marine Science	6. 最初と最後の頁 2669-2680
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/icesjms/fsaa130	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

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Wang, Y., Yamashita, R., Matsumura, Y., Ito, S., Komatsu, K.
2. 発表標題 Dependency of microplastic horizontal distribution on the size and density of particles accumulated on the seafloor in Otsuchi Bay, Japan
3. 学会等名 American Geophysical Union 2022 Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富田博隆, 近藤文義, 小松幸生
2. 発表標題 黒潮流路上における水蒸気フラックスの実態解明
3. 学会等名 日本海洋学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wang, Y., Yamashita, R., Ito, S., Komatsu, K.
2. 発表標題 半閉鎖性内湾域の海底に堆積したマイクロプラスチックの水平分布における粒子サイズと密度に対する依存性
3. 学会等名 日本海洋学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小松幸生, 田中潔
2. 発表標題 大槌湾内の波浪に対する四波共鳴相互作用の検証
3. 学会等名 日本海洋学会2022年度秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Komatsu, K., Kuwano-Yoshida, A., Ariyoshi, K.
2. 発表標題 Detection of fine-scale internal disturbances generated at the Kuroshio front during the recent large-meander period
3. 学会等名 JPGU Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Komatsu, K., Fujii, T., Tanaka, K.
2. 発表標題 Swell waves directionally selected at the bay mouth of rias facing the western North Pacific
3. 学会等名 JPGU Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wang, Y., Yamashita, R., Ito, S., Komatsu, K.
2. 発表標題 Spatiotemporal distribution of microplastics in sediments of Otsuchi Bay, Japan
3. 学会等名 JPGU Meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小松幸生
2. 発表標題 大槌湾内で観測された波浪の4波共鳴相互作用について
3. 学会等名 名古屋大学宇宙地球環境研究所の共同利用研究集会「海洋波および大気海洋相互作用に関するワークショップ」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wang, Y., Yamashita, R., and Komatsu, K.
2. 発表標題 Spatiotemporal variation of microplastics in water columns of Otsuchi Bay
3. 学会等名 International OnlineWorkshop on Microplastics Issues, Plastic pollution in Asian waters - from Land to Ocean (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Komatsu, K., Fujii, T., and Tanaka, K.
2. 発表標題 Unidirectional Swell Waves Selected at the Bay Mouth of Rias Facing the Western North Pacific
3. 学会等名 Ocean Science Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Wang, Y., Yamashita, R., and Komatsu, K.
2. 発表標題 Horizontal distribution of concentration and composition of microplastics in sediments of Otsuchi Bay, Japan
3. 学会等名 The 18th Japanese-French Oceanography Mini-Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Uesaka, L., Goto, Y., Yonehara, Y., Komatsu, K., Naruoka, M., Weimerskirch, H., Sato, K., Sakamoto, K. Q.
2. 発表標題 Ocean wave characters obtained from logger-mounted floating seabirds
3. 学会等名 The 7th International bio-logging science symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小松幸生, 廣江 豊
2. 発表標題 黒潮域における 水平拡散係数のスケール依存性
3. 学会等名 水産海洋学会2021年度研究発表大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小松幸生, 吉田 聡, 有吉慶介
2. 発表標題 海底圧力計による黒潮域の海洋内部擾乱の伝播特性について
3. 学会等名 日本海洋学会2021年度秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小松幸生, 藤井孝樹, 田中 潔
2. 発表標題 三陸リアス海岸のうねり性波浪の起源について
3. 学会等名 JPGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Komatsu, K., Kuwano-Yoshida, A., Ariyoshi, K.
2. 発表標題 An integrated observation system from the ocean bottom to the atmosphere to study air-sea interaction in the Kuroshio region south of Shionomisaki
3. 学会等名 JPGU-AGU Joint Meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Komatsu, K., Omatsu, H., Tanaka, K.
2. 発表標題 Effect of swells on the development of wind waves in the real ocean
3. 学会等名 JPGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Komatsu, K., Kuwano-Yoshida, A., Ariyoshi, K.
2. 発表標題 Detection of fine-scale internal disturbances generated at the Kuroshio front
3. 学会等名 PICES 2020 Annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小松幸生, 尾松弘嵩, 田中潔
2. 発表標題 大槌湾内においてうねりが風波の発達に与える影響の実態について
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小松幸生
2. 発表標題 大槌湾内の波浪・風モニタリングの総括
3. 学会等名 九州大学応用力学研究所「日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小松幸生
2. 発表標題 大槌湾のうねりの特性と風波との関係
3. 学会等名 名古屋大学宇宙地球環境研究所共同利用研究集会「海洋波および大気海洋相互作用に関するワークショップ」
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

水中ドローンの試験運用
<http://lmr.aori.u-tokyo.ac.jp/feog/kosei/photo.html>
新青丸KS-21-11航海
<http://lmr.aori.u-tokyo.ac.jp/feog/kosei/photo.html>
研究Topics
<http://lmr.aori.u-tokyo.ac.jp/feog/kosei/>

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
---------	---------