

令和 4 年 5 月 16 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12305

研究課題名(和文)海面塩分場に見られる中規模渦活動とそのグローバルマップの作成

研究課題名(英文) Activity of mesoscale eddy observed in sea surface salinity field of the world ocean

研究代表者

阿部 泰人 (Abe, Hiroto)

北海道大学・水産科学研究院・助教

研究者番号：40627246

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、近年入手が可能となった人工衛星による海面塩分データを用いて、海面塩分場に見られる中規模渦の活動度を全球海洋において評価した。太平洋、大西洋、インド洋のいずれの海域でも、中規模渦の回転流に伴う塩分輸送を捉えることができた。この中規模渦による塩分輸送は、従来から知られている降水や蒸発、エントレインメント(下層からの水塊取り込み)等と比べても、無視できないほどのインパクトを持つことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年利用可能になった人工衛星による海面塩分データを用いて、海洋中規模渦による回転流が背景の塩分場に及ぼす影響について調査した。中規模渦による塩分輸送は、先行研究によっても特定海域で断片的には報告されていたが、本研究はそれを包括的に取り扱い、さらに塩分収支解析によって蒸発や降水等と比較することで、中規模渦による塩分輸送が塩分変動に無視できない影響を持つことを明らかにした点に学術的な意義がある。本研究で得られた観測的知見は、今後数値モデルの改善に役立てられるものと期待される。

研究成果の概要(英文)：The present study revealed global distribution of mesoscale eddy activity using sea surface salinity (SSS) observed by satellite. Salinity transport due to rotating current of the eddy can be detected in Pacific, Atlantic, and Indian Oceans. SSS can change through the influence of precipitation, evaporation, horizontal transport, and entrainment, but contribution of mesoscale eddy was found to have not negligible impact on SSS variability.

研究分野：海洋物理学

キーワード：海面塩分 中規模渦

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

塩分は水温と並び海洋の主要な物理パラメータである。従来海洋における塩分の研究は、船舶観測や Argo フロートといった現場観測に基づくものが主流であったが、近年の人工衛星の観測技術の向上により、衛星による海面塩分の観測が可能となった。海面では、降水や蒸発、河川水流出、その他の影響によって大きく塩分が大きく変動するが、その変動を時間・空間的に連続に、かつ高い空間解像度で捉えられるようになった。赤道不安定波動による塩分前線の蛇行(Lee et al., 2012)や、マッデンジュリアン振動に伴う降水帯の移動(Grunseich et al., 2013)、大陸河川からの流出(Gierach et al., 2013)、フロント域における中規模渦による塩分輸送(Melnichenko et al., 2017)など、従来の観測機器では捉えきれない現象が見えるようになってきた。さらに研究代表者による研究により、降水後に見られる低塩分水が、中規模渦によって周囲の海水とかき混ぜられ、回転模様を呈することが明らかになった(Abe et al., 2019)。塩分観測データの高解像度化が進む中で、海面塩分場に見られる小規模の現象や、それが大規模な場に与える影響の解明が求められている。

2. 研究の目的

塩分衛星データの空間解像度は 100km 程度と、水温などの他の衛星データと比べると解像度は落ちるものの、全球に展開されている Argo フロート(300km 格子に配置)と比べると、十分に高い。この空間解像度の差異によって、海洋に存在する中規模渦の解像の可否が決まる。中規模渦に着目した海面塩分の研究は、Melnichenko et al. (2017)や Abe et al. (2019)があるが、全球海洋に着目して行った研究はほとんど無い。そこで本研究では、これまで海域が限定的であった海面塩分場に見られる中規模渦の活動度の評価を全球海洋に展開するとともに、蒸発や降水、水平移流、エントレインメント(下層からの水塊取り込み)といった塩分場を変化させる各要素を塩分収支解析によって評価し、中規模渦による影響との比較を行う。さらに海洋から大気への熱の放出を妨げるバリエイヤーの形成において、中規模渦をはじめとした海流系が及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、次の3点を解決すべき科学的課題として設定する。

1. 全球マップの作成

Abe et al. (2019)が行っている北太平洋亜熱帯域ハワイ沖の解析を全球に展開する。具体的には、中規模渦の重心を原点とした渦座標を導入し、全ての中規模渦に対して渦座標上での海面塩分マップを足し合わせ、その合成図を作る。この合成図は、結果に一般性を持たせることに一役買う。各中規模渦の重心の位置は、Schlax and Chelton (2016)による公開データを利用する。この解析を、高気圧性渦および低気圧性渦各々に対して実施する。形成される海面塩分のパターン(例えばダイポール、モノポール構造)を判別し、その信号の強さを全球にマッピングする。

2. 絶対評価と相対評価

海面塩分を変動させる要素は、蒸発・降水、エントレインメント、塩分移流等が挙げられるが、上記の中規模渦による水平移流は、3番目の塩分移流の一部に該当する。中規模渦による塩分移流の効果が、全要素の中でどの程度の割合を占めるのかという相対的インパクトについて、塩分収支解析を通して評価する。その値を全球海洋にマッピングする。

3. 応用課題(バリエイヤー形成への影響)

バリエイヤーとは、海面付近に見られ、塩分成層によって上下の海水の混合が妨げられている層のことであり、海面を通して海洋から大気に熱が放出されるのを防ぐ役割を果たす。中規模渦は一般的に、傾圧構造を呈し、海面に近いほど流速が速いので、低塩水の水平輸送により、バリエイヤーとしての塩分成層が海面付近に形成される可能性がある。そこで、水温と塩分の鉛直プロファイルを取得する Argo フロートを用いて、衛星データ同様に渦座標における水温・塩分プロファイルの合成図を作成し、バリエイヤー形成に対する中規模渦の移流の影響について検討する。

4. 研究成果

(1) 全球マップの作成

人工衛星 Aquarius/SAC-D による週平均海面塩分を用いて計算した気候値マップと標準偏差を図1に示した。平均場は 30~40psu の範囲を取っており(psu とは塩分の濃度を表す単位で、‰ とほぼ同じ値になる)、亜熱帯循環の中央部で塩分が高く、熱帯域や高緯度域で低い分布になっている。標準偏差は低中緯度の広範囲で 0.5psu 以下となっている。中規模渦による塩分輸送を評価するための海域を 9 つ設置した。設定海域は、太平洋、大西洋、インド洋の 3 大洋において、満遍なく分布するように設置した(北部北太平洋 NNP、中部北太平洋 CNP、東部赤道太平洋 EP、南太平洋 SP、北部北大西洋 NNA、中部北大西洋 CNA、南大西洋 SA、南インド洋 SI、南大洋 SO)。設定海域間で緯度経度の格子数を等しくするため、一部重なっている海域もある。中規模

渦の位置データを用いて、高気圧性渦および低気圧性渦各々について、渦の中心を原点とする渦座標で、海面塩分の合成図を作成した。図2にその一例を示す。図2は南半球に位置する南インド洋 SI における結果であるが、高気圧性渦の海面高度偏差は正の値を取っており、低気圧性渦は負の値を取っている。その渦の周りで、南北に勾配を持った背景塩分場が、高気圧性渦の周りでは反時計回りに低気圧性渦では時計回りに回転していることが分かる（北半球では流れが逆向きになる）。実際にその差を取り(a マイナス b)、背景の塩分場を差し引くと、塩分場が双極子構造を呈することが確認される。その各々の極の塩分値の差を取ると 0.12psu 程度となる。

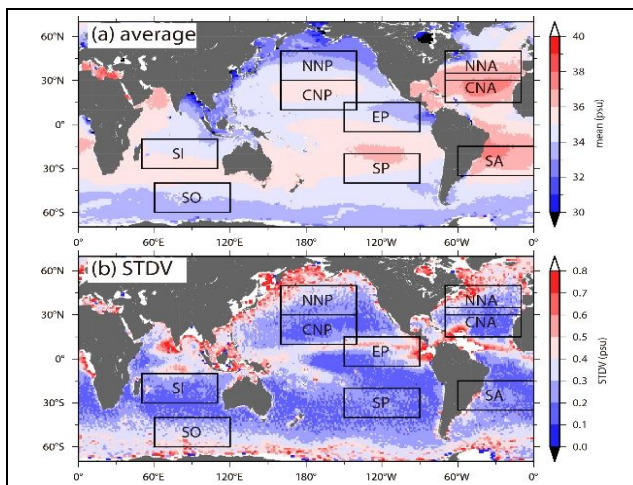


図1：人工衛星が観測した全球海洋における海面塩分の(a)平均値 (psu), (b)標準偏差 (psu)。中規模渦の解析を行う 9 つの領域をボックスで示している。

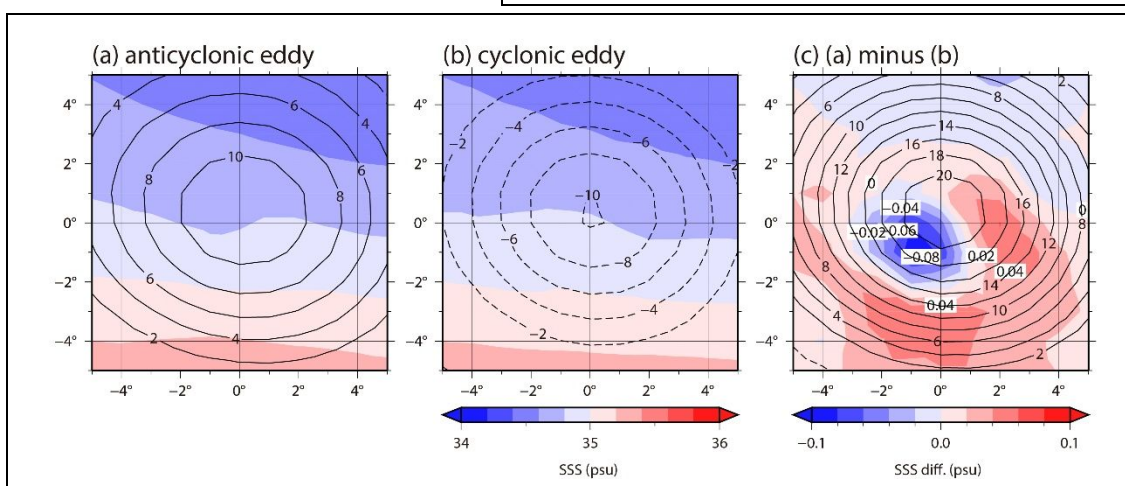


図2：中規模渦周りの海面塩分場の例。南インド洋において計算した(a)高気圧性渦周りの海面塩分合成図, (b)低気圧性渦周りの海面塩分合成図, (c) (a)マイナス(b)。色は海面塩分 (psu) を表す。等値線は海面高度偏差 (cm) であり、正の値を実線で、負の値を破線で示している。

(2) 絶対評価と相対評価

図2に示した合成図マップを、南インド洋のみならず、他の8つの海域でも作成した。中規模渦によって歪められる塩分場の強さを、図2(c)で示したように渦中心部で見られる塩分差によって評価する。双極子構造が見られる場合は各々極の差によって、単極構造の場合はその中心の値とした。図3は、全球9つの海域で見積もった塩分差を表す。各々のボックスに書いてある数値がその塩分差 (psu)、括弧内のパーセントは各領域内で平均した図1(b)の標準偏差に対する塩分差の割合を表す。どの海域でもおおむね双極子構造が見られた。塩分差は、南インド洋で 0.12psu と最も大きく、次いで北部北大西洋, 南大西洋の 0.10psu, 中部北太平洋の 0.08psu, 北部北太平洋, 南太平洋の 0.06psu と続き、最も小さかったのが南大洋の 0.02 psu である。割合を見ると 6%~52% であり、塩分差が大きかった領域、特に南インド洋と中部北太平洋, 南大西洋で 40%を超える大きな値が見られた。南大洋では値も割合も小さかったが、これは寒冷な海域で観測精度が下がる衛星側の問題である可能性もある (Abe and Ebuchi, 2014)。

次に Yu et al. (2014)の手法に倣って、全球海洋において塩分収支解析を行った。海面塩分の時間変化は、蒸発・降水、水平移流、エントレインメント、拡散の4つのプロセスによって変化すると考えられるが、これを一つの方程式で表現し、各々の項がどの程度塩分の時間変化に寄与するのかを見積もった。海面塩分データとして Aquarius による観測データを用いた。また水平流は、風によるエクマン流と、地衡流の2つに分けた。図4は、その海面塩分変動に最も寄与した項を地図上にマッピングしたものである。15°S~15°N では水平流による塩分輸送が卓越していることが読み取れる。特に北太平洋では紫色、つまり風によって生じるエクマン流が、塩分

の等値線を横切ることで塩分が変化する ($u_e \cdot S$) ことが読み取れる。水色で示すように、地衡流による輸送 ($u_g \cdot S$) も見られる。各海盆の亜熱帯域では蒸発と降水の差 ($E-P$) が卓越項となっている。それ以外の海域、特に高緯度域では、エントレイメントが卓越項となる場所が多い。同様の計算を Aquarius 海面塩分データに代わりに Argo フロートによる現場観測データ (Hosoda et al., 2008) も用いて調べたが、衛星データと同様の結果が得られた(not shown)。

中規模渦は流れの時間偏差で表現され、かつその流れは地衡流バランスが成立すると考えられるので、中規模渦による塩分輸送は水色で表される $u_g' \cdot S_m$ として表される。前述した通り、中規模渦による塩分変動は南インド洋や中部北太平洋、南大西洋で比較的大きな値を示したが、塩分収支解析においても比較的大きな範囲で卓越項となっている。

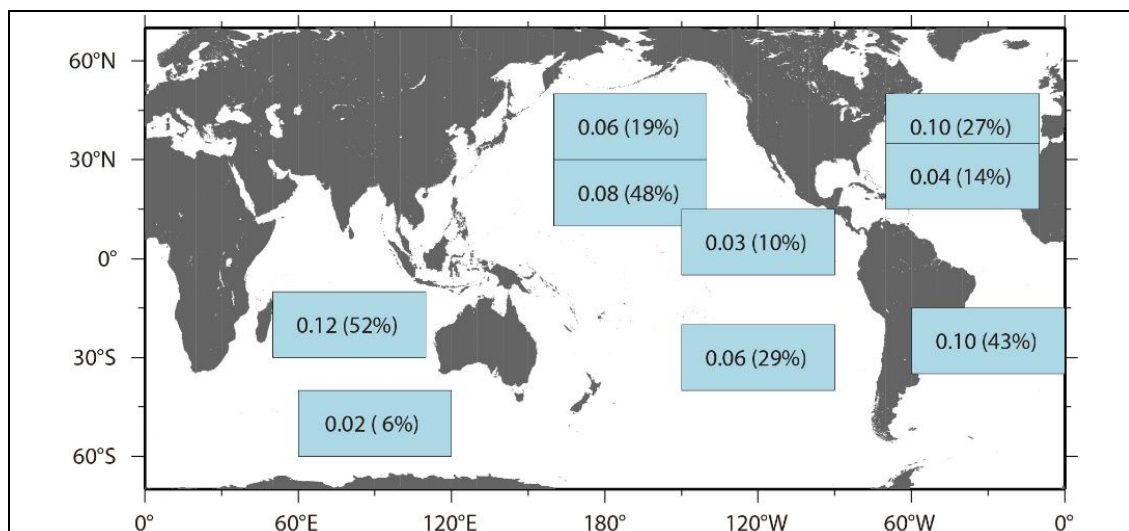


図 3：図 2(c)に示した高気圧性渦と低気圧性渦における塩分の差から見積もった塩分場の歪みを定量化し、マッピングした図。歪みは双極子構造の極間の塩分差から計算した。単位は psu。括弧内の数字は、図 1(b)に示した背景の塩分変動に対する双極子塩分差の割合 (%)。

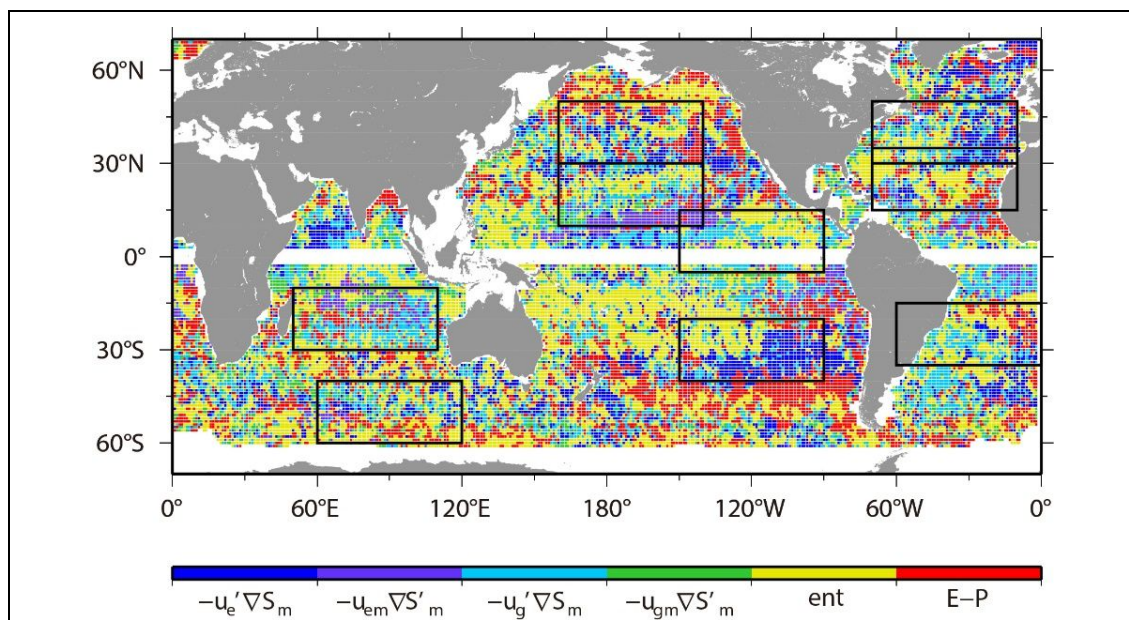


図 4：塩分収支解析において最も塩分変動を説明する卓越項の分布。移流項 ($u \cdot S$)、エントレイメント項 (ent)、蒸発-降水項 ($E-P$) の 3 つを示している。このうち移流項は、流れを風が駆動するエクマン流 ($u_e \cdot S$) と地衡流 ($u_g \cdot S$) の 2 つに分けて評価しており、それぞれに対して流れの偏差 (u') が塩分平均場 (S_m) の等値線を横切るパターンと、流れの平均 (u_m) が塩分偏差場 (S') の等値線を横切るパターンの 2 つに分けている。中規模渦周りの流れは地衡流であり、時間平均からの差の流れとして表現されるため、中規模渦の流れによる塩分変動は、水色の $u_g' \cdot S_m$ に含まれる。

(3) 応用課題（バリアレイヤー形成への影響）

この課題は塩分の鉛直構造と関わるため、全球に 3000 台以上展開されている Argo フロートを用いて調査する予定だったが、衛星データとは異なり、現場観測データから中規模渦内の鉛直プロファイルを抽出する困難さから達成することができなかった。図 4 に基づくと、低緯度海域では、風による表層流や中規模渦を含む水平輸送が大きく塩分変動に寄与する。流れが表層で卓越する場合、低塩分の輸送によってバリアレイヤーが形成され、海洋から大気への熱放出を抑制する可能性がある。今回はこの点を明らかにすることができなかったが、重要な課題なので今後の課題としたい。

< 引用文献 >

Abe, H., and N. Ebuchi (2014) Evaluation of sea-surface salinity observed by Aquarius, *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 8109-8121, doi:10.1002/2014JC010094.

Abe, H., N. Ebuchi, H. Ueno, H. Ishiyama, and Y. Matsumura, 2019: Aquarius reveals eddy stirring after a heavy precipitation event in the subtropical North Pacific. *J. Oceanogr.*, 75, 37-50, <https://doi.org/10.1007/s10872-018-0482-0>.

Hosoda, S., T. Ohira, and T. Nakamura (2008), A monthly mean dataset of global oceanic temperature and salinity derived from Argo float observations, *JAMSTEC Rep. Res. Dev.*, 8, 47-59.

Gierach, M. M., J. Vazquez-Cuervo, L. Tong, and V. M. Tsonos (2013) Aquarius and SMOS detect effects of an extreme Mississippi River flooding event in the Gulf of Mexico, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 5188-5193, doi:10.1002/grl.50995.

Grunseich, G., B. Subrahmanyam, and B. Wang (2013) The Madden-Julian oscillation detected in Aquarius salinity observations, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 5461-5466, doi:10.1002/2013GL058173.

Lee, T., G. Lagerloef, M. Gierach, H-Y. Kao, S. Yueh, and D. Dohan (2012) Aquarius reveals salinity structure of tropical instability waves, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L12610, doi:10.1029/2012GL052232.

MeInichenko, O., A. Amores, N. Maximenko, P. Hacker, and J. Potemra (2017), Signature of mesoscale eddies in satellite seasurface salinity data, *J. Geophys. Res. Oceans*, 122, 1416-1424, doi:10.1002/2016JC012420.

Schlax, M. G., and D. B. Chelton (2016) The “Growing Method” of Eddy Identification and Tracking in Two and Three Dimensions.

Yu, L. (2014), Coherent evidence from Aquarius and Argo for the existence of a shallow low-salinity convergence zone beneath the Pacific ITCZ, *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 7625-7644, doi:10.1002/2014JC010030.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ueno Hiromichi, Komatsu Mizuki, Ji Zhaoqianyi, Dobashi Ryo, Muramatsu Miaki, Abe Hiroto, Imai Keiri, Ooki Atushi, Hirawake Toru	4. 巻 181-182
2. 論文標題 Stratification in the northern Bering Sea in early summer of 2017 and 2018	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography	6. 最初と最後の頁 104820 ~ 104820
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dsr2.2020.104820	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 Abe Hiroto, Nomura Daiki, Hirawake Toru	4. 巻 198
2. 論文標題 Salinity regime of the northwestern Bering Sea shelf	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress in Oceanography	6. 最初と最後の頁 102675 ~ 102675
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pocean.2021.102675	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 Nomura Daiki, Abe Hiroto, Hirawake Toru, Ooki Atsushi, Yamashita Youhei, Murayama Aiko, Ono Kazuya, Nishioka Jun	4. 巻 196
2. 論文標題 Formation of dense shelf water associated with sea ice freezing in the Gulf of Anadyr estimated with oxygen isotopic ratios	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress in Oceanography	6. 最初と最後の頁 102595 ~ 102595
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pocean.2021.102595	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4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 阿部泰人, 野村大樹, 平譚享
2. 発表標題 アナディール湾における水塊の経年変動: Dense Shelf Waterと太平洋起源水の影響
3. 学会等名 2020年度日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野村大樹, 阿部泰人, 平譚享, 大木淳之, 山下洋平, 村山愛子, 小野数也, 西岡純
2. 発表標題 酸素安定同位体比を用いたベーリング海北部アナディール湾における高密度陸棚水形成の評価
3. 学会等名 2020年度日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上野洋路, 小松瑞紀, 吉兆千一, 土橋稜, 村松美幌, 阿部泰人, 今井圭理, 大木淳之, 平譚享
2. 発表標題 2017・2018年北部ベーリング海における成層強度の時空間変動とその要因
3. 学会等名 2020年度日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ueno, H., M. Komatsu, Z. Ji, R. Dobashi, M. Muramatsu, H. Abe, K. Imai, A. Ooki and T. Hirawake
2. 発表標題 Stratification in the northern Bering Sea in early summer of 2017 and 2018
3. 学会等名 ESSAS Webinar Annual Science Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究代表者が2021年度日本海洋学会秋季大会において「日高論文賞」を受賞。 https://www2.fish.hokudai.ac.jp/infomation/11019/ 受賞対象論文 Abe, H., N. Ebuchi, H. Ueno, H. Ishiyama, and Y. Matsumura, 2019: Aquarius reveals eddy stirring after a heavy precipitation event in the subtropical North Pacific. J. Oceanogr., 75, 37-50.</p>
--

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