

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：82708

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2018～2021

課題番号：17KK0014

研究課題名（和文）海氷・海洋結合データ同化システムを用いた極域海洋における基礎生産の予測可能性研究

研究課題名（英文）A study of predictability of marine ecosystem in the Arctic Ocean and its adjacent regions based on an ice-ocean coupled data assimilation system

研究代表者

中野渡 拓也（Nakanowatari, Takuya）

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産資源研究所（釧路）・主任研究員

研究者番号：20400012

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 6,900,000円

渡航期間： 7ヶ月

研究成果の概要（和文）：北極海やその周辺海域における基礎生産量の1週間から数十年スケールの大気変動に対する応答特性とその予測可能性について、高解像度の海氷・海洋結合データ同化システム、及び低次生態系モデルを用いた数値シミュレーションによって調査した。北極海では、北極低気圧の発達によって駆動される混合層の発達とそれに伴う栄養塩供給プロセスが基礎生産量を実質的に増加させることが明らかになった。一方、オホーツク海では、長期的な海氷面積の減少によって春季の基礎生産量が増加する半面、北太平洋亜寒帯西部ではオホーツク海の熱塩循環と亜寒帯循環の弱화에伴い、春季ブルームの勢力が弱化している可能性が提示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、地球温暖化をはじめとする気候変動に対する海洋低次生態系への影響が指摘されているが、その変動要因やその将来予測については未解明な部分が多い。本研究では、高解像度の海氷・海洋結合低次生態系モデルを用いた数値実験によって、大気によって励起される海洋表層の混合や風成循環の変化が基礎生産量の変動において実質的なインパクトを持つことを明らかにした。特に、北太平洋亜寒帯域では、黒潮主流からの高塩分水の輸送量の増加が冬季海洋混合層の深化をもたらす、光環境の悪化を通して春季ブルームの遅延をもたらすことが示された。これらの結果は、海洋低次生態系の近未来将来予測には気温だけでなく風の変化の重要性を提示する。

研究成果の概要（英文）：We evaluated the impact of medium-range to decadal time-scale atmospheric variability on the primary production in polar oceans and its adjacent regions by using numerical model simulations based on an ice-ocean coupled low-trophic level ecosystem model and the technique of data assimilation. In the Arctic Ocean, we found that synoptic-scale meteorological fluctuation has the significant impact on the enhancement of primary production in sea ice melting season through the vertical mixing process and the resultant nutrient-rich water supply to the surface. In the Sea of Okhotsk, accompanied with the sea ice decline, the primary production in spring season has increased for the past 37 years due to the improvement of light availability. On the other hand, the primary production has decreased in the subarctic North Pacific by the combination effects of the weakening of thermohaline circulation in the Sea of Okhotsk and the wind-driven ocean circulation in the subarctic North Pacific.

研究分野：海洋物理学

キーワード：海氷 北極海 オホーツク海 低次生態系モデル 予測可能性 データ同化 気候変動 HNLC

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1970年代から人工衛星による海氷観測が始まって以来、北極海の家氷は通年で顕著な減少傾向が続いており(引用文献)。今世紀中頃には夏季の家氷面積が完全に消失する可能性が気候モデルを用いた温暖化数値シミュレーションによって提示されている(引用文献)。温暖化に伴い海氷が減少することによって、植物プランクトンの光環境が向上する半面、外洋域では海洋成層化に伴う栄養塩供給の減少によって、全球の基礎生産量は2090年には2 - 16%減少することが報告されている(引用文献)。一方で、近年頻発している北極低気圧(以下、AC)のような勢力の大きい総観規模気象擾乱によって励起される海洋の攪拌効果による栄養塩の鉛直的な輸送やアリューシャン低気圧のような大規模な大気循環が駆動する風成循環による水平的な栄養塩輸送が極域やその周辺海域における基礎生産量に対してどのような影響を持つのかについては十分明らかになっていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、2つの極域海洋(北極海とオホーツク海・ベーリング海を含む北太平洋)を対象とした高解像度海氷・海洋結合低次生態系モデルを用いることによって、短・中期から長期の大気変動(主に、風応力の変動に伴う水塊混合や栄養塩輸送の影響)に対する基礎生産量の応答やその予測可能性を定量的に評価することを目的として研究を行った。特に、北極海では海氷分布や厚さの再現性に注力したことに加えて、現業機関の気象予報データを活用することによって、数日から1週間スケールの総観規模の気象擾乱に伴う海氷融解や海洋の攪拌効果による栄養塩供給の影響を定量的に調査した。一方、北太平洋では微量金属元素である溶存鉄サイクルを考慮した低次生態系モデルを用いることによって、高栄養塩低クロロフィル(HNLC)海域における基礎生産量の10年スケール変動に対して、オホーツク海を起源とする鉄輸送や北太平洋の風成循環の変化の影響を定量的に評価した。

3. 研究の方法

北極海における海氷融解期の基礎生産量に対する数日から1週間スケールの総観規模の気象擾乱のインパクトを定量的に明らかにするために、北極海で発生した2つのACの発達事例(図1a)に着目した基礎生産量の2週間予測実験を実施した。この実験では、北極海の家氷分布の再現性で定評のあるノルウェーのナンセン環境リモートセンシング研究センターで開発した北極海の家氷海洋結合データ同化システム(TOPAZ4)の家氷・海洋結合モデル(引用文献)に低次生態系モデル(ECOSMO-II)(引用文献)を結合させたモデル(以下、TOPAZ4 + ECOSMO-II)を使用した。海氷・海洋結合モデルはHYCOM ver. 2.2に基づいた北極海と大西洋の領域モデルで、空間解像度は水平12-16km、鉛直28層のハイブリッド等密度面座標系の渦解像度大循環モデルである。海氷モデルは雪と海氷の熱力学モデルとEVPレオロジータイプの力学モデルから構成されている。ECOSMO-IIは、NPZDタイプの低次生態系モデルで、主栄養塩3種、及び3種類の植物プランクトンと2種類の動物プランクトンの相互作用を含む13要素で構成されている。

一方、オホーツク海を含む北太平洋亜寒帯域における基礎生産量に対する数十年スケールの気候変動の影響を評価するために、オホーツク海の家氷プロセスや潮汐混合過程の再現性において優れている高解像度の海氷・海洋結合低次生態系モデルを用いた数十年間の過去再現実験を実施した。この実験では、東京大学大気海洋研究所の羽角博康氏が開発した海氷・海洋結合モデル(Iced COCO ver. 4.2)をベースに構築した北太平洋高解像度モデル(引用文献)に溶存鉄とリン酸塩のサイクルを考慮した生物地球化学モデル(引用文献)(以下、Fe-Parekhモデル)を結合させることによって、オホーツク海から北太平洋亜寒帯域における長期気候変動に伴う海氷・海洋プロセスの変化の低次生態系システムへの影響を定量的に評価した。

4. 研究成果

(1) 海氷融解期における基礎生産量に及ぼすACの影響と予測可能性

気象擾乱に伴う海氷融解や海水の攪拌に伴う海洋表層への栄養塩供給の影響を評価するために、2017年8月10日に北極海で発生したACの発達前後(図1上)における基礎生産量の2週間予測実験をTOPAZ4とECOSMO-IIを用いて実施した。大気の前報データは、世界で最も予報精度が高いヨーロッパ中期予報センター(ECMWF)の6時間毎の現況解析値、及び標準予報値を使用した(引用文献)。モデルの初期条件には、TOPAZ4のアンサンブルカルマンフィルター(EnKF)を用いたデータ同化システムに基づいて、観測された海氷密度、及び海氷厚などの海氷パラメータに加えて、海面水温や海面高度、そして現場水温、塩分プロファイルを同化した値を使用した。

ECMWF現況解析値を用いたハインドキャスト実験の結果、ACが発達した8月10日の4日後にボーフォート海の氷縁に沿って40mgC/m³/日の高い基礎生産量が見られ、海氷融解期のブルームイベントの強度や分布が再現された(図1下)。ACの発生の有無に対するこのボーフォート海のブルーム強度の応答感度を調べるために、大気前報データからACが予報されるケースと予報できないケースを用いた予測実験を実施した。その結果、ACの発生が再現されているケースでは、

現況解析値と類似した基礎生産量の増加のピークが再現されるのに対して、予報できないケースでは、予報期間において基礎生産量の値はほとんど変化がなかった。ACが予測できるケースでは、ACが予報できないケースに比べて基礎生産量は1.5~2倍高い結果が得られた(図1下)。この結果は、ACの予測精度は、海洋融解期における基礎生産量の予測精度に実質的に影響することを意味する。

ポーフォート海における基礎生産量の増加メカニズムについて、栄養塩供給量と光環境の影響の2つの観点から調査した。まず、前者について、硝酸塩濃度の鉛直構造の変化を調べた結果、基礎生産量が増加している海域では、氷縁域の後退と共に表層の硝酸塩濃度が増加していた。表層の栄養塩濃度の増加は、海洋混合層下部における栄養塩濃度の減少を伴っていることから、エクマン吹送流による鉛直混合過程が表層の栄養塩濃度に関係していることが彰になった。実際、ACの発生するケースでは、表層10-20mに見られる強い成層構造が消えており、上述の物理プロセスと整合する。一方、光環境の影響については、ACの発達後の基礎生産量の増加は氷縁から少し離れた海域に限られることから、海水分布の変化に伴う光環境の改善の影響は小さいと考えられる。海水融解期の基礎生産量に対するACイベントのインパクトの妥当性を確かめるために、2018年7月にラプテフ海で発生したACの事例に着目した予測実験を実施したが、2017年の予測実験の解析結果をサポートする結果が得られた。このことから、海水融解期における基礎生産量はACの予測精度に対する感度が極めて高く、温暖化シナリオに基づいた気候モデルによる将来予測においては、海水の減少だけでなくACなどの気象擾乱の発生頻度や規模についても検討する必要があることが示唆される。

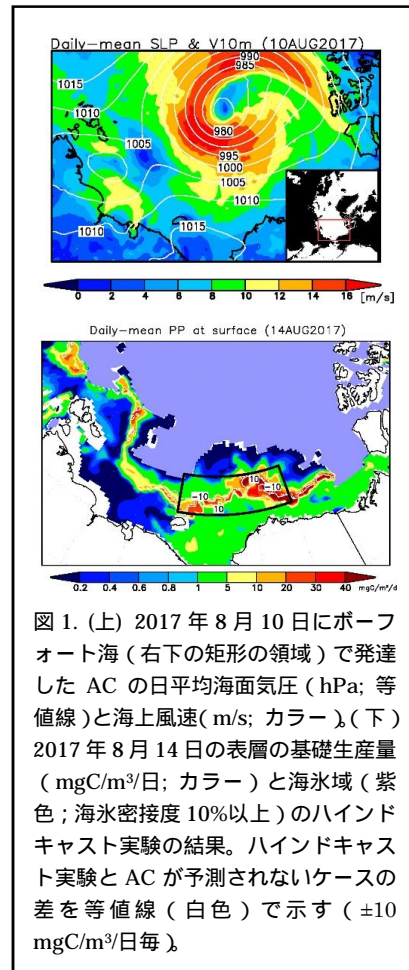


図1. (上) 2017年8月10日にポーフォート海(右下の矩形の領域)で発達したACの日平均海面気圧(hPa; 等値線)と海上風速(m/s; カラー)、(下) 2017年8月14日の表層の基礎生産量(mgC/m³/日; カラー)と海水域(紫色; 海水密度10%以上)のハインドキャスト実験の結果。ハインドキャスト実験とACが予測されないケースの差を等値線(白色)で示す(±10 mgC/m³/日毎)。

(2) オホーツク海・北太平洋亜寒帯域における基礎生産量に対する気候変動の影響

高解像度低次生態系モデルを用いたハインドキャスト長期積分実験

オホーツク海を含む北太平洋亜寒帯域における基礎生産量の長期変動に対して、オホーツク海の水氷生成・融解プロセスやアリューシャン低気圧の長期変動に伴う風成循環の影響を評価するために、基課題で整備した高解像度海氷・海洋結合低次生態系モデルを用いた過去38年間(1979-2016年)のハインドキャスト実験、及び大気外力に関する感度実験を実施した。海洋モデルはz面座標系の北太平洋全域の領域モデルで、空間解像度はオホーツク海で2-7km、北太平洋亜寒帯域で10-20km、鉛直84層の渦解像モデルで(引用文献)、オホーツク海と北太平洋間の海水交換量や沿岸親潮等のメスケールの海洋現象の再現性が基課題で用いたモデルよりも優れた特徴がある。また、日周潮と半日周潮に伴う順圧起潮力をモデルの海面変位として与えることによって、潮流や地形との相互作用によって生じる水塊混合の影響(以下、潮汐混合)が定量的にモデルに組み込まれている。Fe-Parekhモデルは、主栄養塩であるリン酸塩の生物過程と大気ダストと堆積物からの供給とスキャベンジングによる粒子化による除去過程を考慮した溶存鉄のサイクルが結合されている。本課題では、混合層変化に伴う光強度の変化を考慮するために、海面の光強度を混合層内で均一にするスキームを適用している。

この実験では、北太平洋中層循環のスピナップのために、物理モデルを気候値の外力を用いて30年スピナップした後、Fe-Parekhモデルを結合させて90年スピナップさせた結果を初期として用いた。ハインドキャスト実験には、ECMWFの月平均大気再解析データに加えて、月の軌道傾斜角の18.6年周期変動に伴う潮汐混合の影響も与えることによって、10年規模変動の再現性も考慮した。鉄の供給源は基課題で実施した数値実験の結果(引用文献)に基づいて、月平均ダストフラックスデータから計算された大気由来の溶存鉄フラックス(引用文献)に加えて、オホーツク海の北西陸棚とベーリング海の堆積物由来の溶存鉄フラックスを与えた。一方、大気由来の溶存鉄フラックスの経年変動成分と海水由来の溶存鉄フラックスの影響は比較的小さいことが基課題の研究結果から示されたので、本研究ではこれらの影響は無視した。基礎生産量の推定には、モデルのリン酸塩の取り込み速度に対してレッドフィールド比を仮定して算出した値を用いた。

本研究では、堆積物由来の溶存鉄フラックスによる溶存鉄ドリフトの影響を考慮して、大気と潮汐混合の経年変動成分を除いた実験(コントロール実験)を基準として、38年間のモデルのトレンド成分を見積もった。また、大気外力の感度実験として、オホーツク海における海水生産

量の減少の影響と亜寒帯循環の弱化的影響を評価するために、海面熱塩フラックス(淡水フラックスも含む)と風応力に関する感度実験も併せて実施した。

高解像度低次生態系モデルの再現性

本研究で用いた高解像度低次生態系モデルの再現性について、World Ocean Atlas 2013 のリン酸塩の気候値データ(引用文献)に基づいて評価した。その結果、モデルでは北太平洋における夏季の表層リン酸塩の空間分布が高い精度で再現されていた。特に、クリル海峡やアリューシャン列島周辺では、モデルは $1.6\mu\text{M}$ の高い栄養塩濃度を示しており、海峡周辺における潮汐混合に伴う下層からの栄養塩供給が定量的に再現されていることを意味する。表層の鉄濃度については、親潮海域において 1.5nM をピークとした明瞭な季節変動が再現され、観測と整合的な結果が得られた。モデルの基礎生産量の再現性について、人工衛星データの基礎生産量プロダクトと比較した結果(引用文献)、北太平洋亜寒帯域におけるバンド上の高い基礎生産の分布が概ね再現されていると共に(図 2a)、親潮海域においては 4 月と 10 月に基礎生産量のピークが見られ、春季ブルームと秋季ブルームが定量的に再現できることが分かった。

1980 - 2016 年の基礎生産量の長期変化傾向

北太平洋亜寒帯域における基礎生産量の過去 37 年間(1980-2016 年)の変化傾向を線形トレンド解析によって調べた結果、北太平洋亜寒帯域では年平均で $48\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ の減少、オホーツク海では $42\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ 増加傾向が見られた(図 2b)。この変化傾向は、北太平洋亜寒帯域とオホーツク海のそれぞれの海域における年平均基礎生産量の約 10%に相当する。特に、北太平洋亜寒帯域における基礎生産量の減少傾向は、衛星観測データから見積もられた基礎生産量の鉛直積算量の変動の範囲内にあり、観測データとも概ね整合的であった。各海域における基礎生産量の変動に対する各制限因子の寄与を調べた結果、北太平洋亜寒帯域では鉄制限と光制限が卓越していることがわかった。亜寒帯域における基礎生産量の減少は特に、春季(3-5月)に顕著であった。

北太平洋亜寒帯域における溶存鉄濃度の減少について、オホーツク海の海水生成に伴う高密度陸棚水起源の水塊輸送と風成循環の変動の影響を評価するために、海面の乱流熱フラックスと淡水フラックス(HEAT 実験)及び風応力に関する感度実験(WSTR 実験)を実施した。その結果、溶存鉄濃度の変化で説明される基礎生産量の変化は、HEAT 実験と WSTR 実験でそれぞれ $-15\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ と $-58\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$ であった。HEAT 実験の溶存鉄濃度は、 $150^\circ\text{--}160^\circ\text{E}$ において有意な低下が見られた。溶存鉄濃度の減少傾向は、オホーツク海を起源として中層($26.9 - 27.1\sigma_\theta$)で顕著に起こっていることから、オホーツク海起源の中層鉄濃度の減少に起因していると考えられる。一方、WSTR 実験の溶存鉄濃度は、HEAT 実験と類似して $150^\circ\text{--}160^\circ\text{E}$ で顕著であるものの、 170°E 付近まで広がっていた。また、 45°N よりも北側では表層の溶存鉄濃度は逆に増加する傾向が見られた。力学高度場の変化傾向を調べた結果、黒潮続流以北で力学高度場の増加が確認された。このことは、WSTR 実験の表層溶存鉄濃度の減少には、比較的溶存鉄濃度の低い亜熱帯系の水塊の北上が関係していることを意味する。実際、1990 年以降のアリューシャン低気圧の勢力の弱化的に伴い、亜寒帯循環の勢力が弱まり、亜熱帯循環の北上が指摘されていることが先行研究(引用文献)で指摘されている。この結果は、風応力の変化に伴う風成循環の変化は、循環境界における水平的な水塊交換の変化を通じて、基礎生産量が高い移行領域における低次生態系に実質的な影響をもたらすことを意味する。

興味深い点は、溶存鉄濃度の減少に加えて、光環境の悪化も北太平洋亜寒帯域における基礎生産量の減少に対して実質的な影響を持つことである。光環境の悪化の原因について、海面の短波放射に密接に関係する雲量と混合層深度の変化に着目して解析した結果、北太平洋亜寒帯域において過去 37 年間で混合層深が 30m も増加していることが分かった。一方で、雲量には明瞭な変化傾向は見られなかった。混合層深度が増加している海域では、海面塩分が有意に増加していることから、亜熱帯循環の北上に伴う高塩分水の増加が冬季の海面冷却を通して混合層深度を増加させていることが示唆される。これらの数値実験の結果より、亜熱帯循環の北上は表層の溶

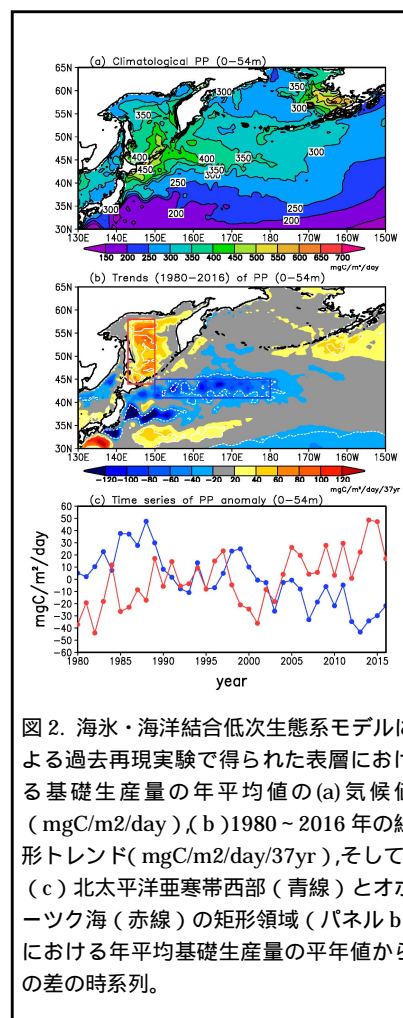


図 2. 海水・海洋結合低次生態系モデルによる過去再現実験で得られた表層における基礎生産量の年平均値の(a)気候値($\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}$), (b)1980~2016年の線形トレンド($\text{mgC}/\text{m}^2/\text{day}/37\text{yr}$),そして、(c)北太平洋亜寒帯西部(青線)とオホーツク海(赤線)の矩形領域(パネルb)における年平均基礎生産量の年平均値からの差の時系列。

存鉄濃度を減少させるだけでなく、混合層深度の増加を通じて光環境の悪化をもたらしている可能性が提示される。

一方、オホーツク海の基礎生産量の増加には、光環境の改善が大きく関係しており（経年変動の90%を説明）特に春季（3 - 5月）で顕著であった。オホーツク海の春季の光環境の変動は、海氷被覆率の変動と連動していることから、オホーツク海の光環境の改善には、春季の海氷後退が早まっていることに起因していることがわかった。興味深い点は、夏季（6 - 8月）の基礎生産量は逆に減少していることであった。このことから、オホーツク海における春季の基礎生産量の増加には、春季ブルームの早期化も影響している可能性がある。

以上の結果より、北太平洋亜寒帯域における基礎生産量の長期変化に対して、風応力の変化に伴う風成循環の変化は水平的な栄養塩や塩分フラックスを通じて、実質的な影響を持つことが明らかになった。したがって、HNLC 海域である北太平洋亜寒帯域における海洋の基礎生産量の将来予測には、地球温暖化に伴う海氷融解や海洋成層化による鉛直的な栄養塩輸送の変化に加えて、オホーツク海の中層循環を経由した溶存鉄輸送の変化や亜熱帯循環の北上に伴う栄養塩や塩分の水平的な輸送量の変化の影響も考慮する必要があることが示唆される。

<引用文献>

Meier, W. N., et al. (2014), Arctic sea ice in transformation: A review of recent observed changes and impacts on biology and human activity. *Rev. Geophys.*, 51, 185–217, doi:10.1002/2013RG000431.

Massonnet, F., Fichet, T., Goosse, H., Bitz, C. M., Philippon-Berthier, G., Holland, M. M., and Barriat, P.-Y. (2012), Constraining projections of summer Arctic sea ice. *The Cryosphere*, 6, 1383–1394, <https://doi.org/10.5194/tc-6-1383-2012>.

Fu, W., Randerson, J. T., and Moore, J. K. (2016), Climate change impacts on net primary production (NPP) and export production (EP) regulated by increasing stratification and phytoplankton community structure in the CMIP5 models. *Biogeosciences*, 13, 5151–5170, <https://doi.org/10.5194/bg-13-5151-2016>.

Xie, J., Bertino, L., Counillon, F., Lisæter, K. A., Sakov, P. (2017), Quality assessment of the TOPAZ4 reanalysis in the Arctic over the period 1991–2013. *Ocean Sci.*, 13, 123–144, doi:10.5194/os-13-123-2017.

Daewel U., Schrum C. (2013), Simulating long-term dynamics of the coupled North Sea and Baltic Sea ecosystem with ECOSMO II. Model description and validation. *J. Mar. Sys.*, 119–120, 30–49, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.03.008>.

Matsuda, J. et al. (2015), Overturning circulation that ventilates the intermediate layer of the Sea of Okhotsk and the North Pacific: The role of salinity advection. *J. Geophys. Res. Ocean.* 120, 1462–1489.

Parekh, P., Follows, M. J., and Boyle, E. A. (2005), Decoupling of iron and phosphate in the global ocean. *Global Biogeochem. Cycles*, 19, GB2020, doi:10.1029/2004GB002280.

Swinbank, R. et al. (2016), The TIGGE Project and Its Achievements. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 97, 49–67.

Nakanowatari, T., Nakamura, T., Uchimoto, K., Nishioka, J., Mitsudera, H., and Wakatsuchi, M. (2017), Importance of Ekman transport and gyre circulation change on seasonal variation of surface dissolved iron in the western subarctic North Pacific. *J. Geophys. Res.*, 4364–4391, 122, doi:10.1002/2016JC012354.

Mahowald, N. M., Baker, A. R., Bergametti, G., Brooks, N., Duce, R. A., Jickells, T. D., Kubilay, N., Prospero, J. M., and Tegen, I. (2005), Atmospheric global dust cycle and iron inputs to the ocean. *Global Biogeochem. Cycles*, 19, GB4025, doi:10.1029/2004GB002402.

Garcia, H. E., et al., (2014), *World Ocean Atlas 2013, Volume 4: Dissolved Inorganic Nutrients (phosphate, nitrate, silicate)*. S. Levitus, Ed., A. Mishonov Technical Ed. NOAA Atlas NESDIS 76, 25 pp.

Behrenfeld, M. J., and Falkowski, P. G., (1997), Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnol. Oceanogr.*, 42, doi: 10.4319/lo.1997.42.1.0001.

Nakanowatari, T., Nakamura, T., Uchimoto, K., Uehara, H., Mitsudera, H., Ohshima, K. I., Hasumi, H., & Wakatsuchi, M. (2015), Causes of the Multidecadal-Scale Warming of the Intermediate Water in the Okhotsk Sea and Western Subarctic North Pacific. *J. Climate*, 28, 714–736.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 3件）

| | |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名 Nakanowatari Takuya, Inoue Jun, Zhang Jinlun, Watanabe Eiji, Kuroda Hiroshi | 4. 巻 35 |
| 2. 論文標題 A New Norm for Seasonal Sea Ice Advance Predictability in the Chukchi Sea: Rising Influence of Ocean Heat Advection | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Climate | 6. 最初と最後の頁 2723 ~ 2740 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/JCLI-D-21-0425.1 | 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 Nakanowatari T., Xie J., Bertino L., Matsueda M., Yamagami A., Inoue J. | 4. 巻 209 |
| 2. 論文標題 Ensemble forecast experiments of summertime sea ice in the Arctic Ocean using the TOPAZ4 ice-ocean data assimilation system | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Environmental Research | 6. 最初と最後の頁 112769 ~ 112769 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.envres.2022.112769 | 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 Nakanowatari Takuya, Nakamura Tomohiro, Mitsudera Humio, Nishioka Jun, Kuroda Hiroshi, Uchimoto Keisuke | 4. 巻 197 |
| 2. 論文標題 Interannual to decadal variability of phosphate in the Oyashio region: Roles of wind-driven ocean current and tidally induced vertical mixing in the Sea of Okhotsk | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Progress in Oceanography | 6. 最初と最後の頁 102615 ~ 102615 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pocean.2021.102615 | 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 中野渡 拓也, Jiping Xie, Laurent Bertino, 松枝未遠, 山上晃央, 猪上淳 | 4. 巻 35 |
| 2. 論文標題 Ensemble forecast experiments of summertime sea ice in the Arctic Ocean using the TOPAZ4 ice-ocean data assimilation system | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of The 35th International Symposium on the Okhotsk Sea and Polar Oceans 2020 | 6. 最初と最後の頁 92-95 |
| 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 Mensah Vigan, Ohshima Kay I., Nakanowatari Takuya, Riser Stephen | 4. 巻 144 |
| 2. 論文標題 Seasonal changes of water mass, circulation and dynamic response in the Kuril Basin of the Sea of Okhotsk | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers | 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) 10.1016/j.dsr.2019.01.012 | 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 Nakanowatari Takuya, Inoue Jun, Sato Kazutoshi, Bertino Laurent, Xie Jiping, Matsueda Mio, Yamagami Akio, Sugimura Takeshi, Yabuki Hironori, Otsuka Natsuhiko | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Medium-range predictability of early summer sea ice thickness distribution in the East Siberian Sea based on the TOPAZ4 ice-ocean data assimilation system | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 The Cryosphere | 6. 最初と最後の頁 2005 ~ 2020 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/tc-12-2005-2018 | 査読の有無 無 |
| 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11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takuya Nakanowatari, Jiping Xie, Laurent Bertino, Mio Matsueda, Akio Yamagami, Jun Inoue |
| 2. 発表標題 海氷融解期における生物生産に及ぼす北極低気圧の影響 |
| 3. 学会等名 日本海洋学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 中野渡拓也, 猪上淳, Jinlun Zhang, 黒田寛 |
| 2. 発表標題 初冬チュクチ海の家氷拡大遅延の要因とその予測可能性 |
| 3. 学会等名 日本海洋学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 周宏偉, 三寺史夫, 山崎開平, 中村知裕, 川崎高雄, 中野渡拓也, 西川はつみ, 佐々木英治 |
| 2. 発表標題 Tidally-modified western boundary current drives crossing straits exchange transport |
| 3. 学会等名 日本海洋学会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 佐伯立, 三寺史夫, 中野渡拓也, 黒田寛, 岩本勉之 |
| 2. 発表標題 海洋 海水結合オホーツク海領域モデルに現れる宗谷海峡の流速の日変動と北海道沿岸の海水分布との関連性について |
| 3. 学会等名 紋別流水シンポジウム2021連携学術セミナー(国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takuya Nakanowatari, Jiping Xie, Laurent Bertino, Mio Matsueda, Akio Yamagami, Jun Inoue |
| 2. 発表標題 Ensemble forecast experiments of summertime sea ice in the Arctic Ocean using the TOPAZ4 ice-ocean data assimilation system |
| 3. 学会等名 第35回北方圏国際シンポジウム(国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Takuya Nakanowatari, Jiping Xie, Laurent Bertino, Mio Matsueda, Akio Yamagami, Jun Inoue |
| 2. 発表標題 Ensemble forecast experiments of summertime sea ice in the Arctic Ocean using the TOPAZ4 ice-ocean data assimilation system |
| 3. 学会等名 Sixth International Symposium on Arctic Research(国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 西川はつみ, 三寺史夫, 吉成浩志, 中野渡 拓也, 中村知裕, 内本圭亮, 羽角博康 |
| 2. 発表標題 Reproduction of Iron-rich Intermediate Water in the Subarctic North Pacific by High-resolution Biogeochemical Model |
| 3. 学会等名 Ocean Sciences Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 中村知裕, 高橋祐輔, 中野渡 拓也 |
| 2. 発表標題 Far-reaching effects of sea ice extent in the Sea of Okhotsk on sea-surface turbulent heat flux and their possible influence |
| 3. 学会等名 Ocean Sciences Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 中野渡 拓也, 中村知裕, 三寺史夫, 西岡純, 黒田 寛 |
| 2. 発表標題 親潮海域における表層リン酸塩の10年規模変動メカニズムに関する数値シミュレーション研究 |
| 3. 学会等名 東京大学大気海洋研究所共同利用研究会「2019年度海洋生態系モデリングシンポジウム」 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 中野渡 拓也, 中村知裕, 三寺史夫, 西川はつみ, 西岡純, 黒田 寛 |
| 2. 発表標題 オホーツク海の海洋・海水変動と物質循環システムにおける役割 |
| 3. 学会等名 低温科学研究所共同研究会シンポジウム「変化する環オホーツク陸域・海域環境と今後の展望」 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Nakanowatari Takuya, Inoue Jun, Jinlun Zhang |
| 2. 発表標題 Influence of autumn ocean heat flux on sea ice advance in the Chukchi Sea |
| 3. 学会等名 第34回北方圏国際シンポジウム(国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 Takuya Nakanowatari, Humio Mitsudera | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 Springer | 5. 総ページ数 320 |
| 3. 書名 Changing Asia-Pacific Marginal Seas | |

〔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 |
|-------------------|-------------------------------------|--|----|
| 主たる渡航先の主たる海外共同研究者 | ベルチーノ ローラン (Bertino Laurent) | ナンセン環境リモートセンシング研究センター・データ同化グループ・研究リーダー | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------------------|---|--|----|
| 主たる渡航先の主たる海外共同研究者 | シャー ジーピン (Xie Jiping) | ナンセン環境リモートセンシング研究センター・海洋モデリンググループ・研究者 | |
| 主たる渡航先の主たる海外共同研究者 | サムウェルセン アネッタ (Samuelson Annette) | ナンセン環境リモートセンシング研究センター・海洋モデリンググループ・研究リーダー | |

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 | | |
|---------|-----------------------|--|--|
| ノルウェー | ナンセン環境リモートセンシング研究センター | | |