

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01156

研究課題名(和文)カムチャツカ半島の淡水供給が制御する環オホーツク陸海結合システム

研究課題名(英文) Freshwater discharge from the Kamchatka Peninsula controls Pan-Okhotsk land-ocean linkage system

研究代表者

三寺 史夫 (Mitsudera, Humio)

北海道大学・低温科学研究所・教授

研究者番号：20360943

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,400,000円

研究成果の概要(和文)：親潮域は、世界でも稀な豊かな海である。その要因は「アムール川流域の湿原から流出し、オホーツク海大陸棚から海洋中層循環を通して供給される鉄分」を介した「陸海結合システム」にある。本課題では、大気変動を海洋に伝えるカムチャツカ半島の降水・雪氷・河川に着目し、海洋子午面循環を駆動する塩分変動の要因、またそれに基づく「陸海結合システム」に対する制御メカニズムの解明を目指した。その結果、(1)カムチャツカ半島からの河川流出量は、アムール川の約80%という大きなものであること、(2)中層循環を駆動する塩分に対して、アムール川よりはむしろカムチャツカ河川流出水からの影響が大きいこと、が明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、カムチャツカ半島からの淡水供給に注目して、親潮海域の植物プランクトン増殖に必須な鉄分輸送に対する制御メカニズムの解明を目指した。従来、オホーツク海への淡水供給といえばアムール川が注目されてきた。しかし本研究で、カムチャツカ半島からの河川流出量が全体で見るとアムール川に匹敵すること、また地理的条件から鉄分を輸送する中層循環に重要なのはむしろカムチャツカ半島河川水であることを見出した。親潮海域は世界で植物プランクトン生産が最も大きく豊かな水産資源を支えているのと同時に、CO<sub>2</sub>吸収も膨大である。本研究はこの高生産海域の将来予測やSDGsにつながる研究であり、社会的意義が大きい。

研究成果の概要(英文)：Oyashio is one of most highly productive ocean in the world. This is owing to the Pan-Okhotsk land-ocean linkage system that provides the Oyashio with iron, an essential micronutrient, originating in wetlands in the Amur River basin via intermediate-layer circulation in the Sea of Okhotsk. This project aimed to elucidate roles of precipitation, snow and glacier over the Kamchatka Peninsula, which transfers information of atmospheric variations to the ocean through riverine discharge. We hypothesized that the riverine discharge from the peninsula may control the Pan-Okhotsk land-ocean linkage system. We have found that (1) the total amount of discharge from the Kamchatka Peninsula is approximately 80% of that of the Amur River, and (2) freshwater from the Kamchatka Peninsula gives more impacts on salinity of the dense shelf water that drives the intermediate-layer circulation than that from the Amur River does.

研究分野：海洋物理学

キーワード：カムチャツカ半島 河川流出 海洋塩分 オホーツク海 子午面循環 淡水

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

親潮域は、世界でも稀な豊かな海である。その要因は「アムール川流域の湿原から流出し、オホーツク海大陸棚から海洋循環を通して供給される鉄分」を通した「陸海結合システム」にある。鉄分を運ぶ海洋循環の駆動源は、表層を亜熱帯から亜寒帯に流入した海水がオホーツク海で海水生成時に高塩化して沈降し、北太平洋中層水となって亜寒帯へと還る、北太平洋の子午面循環である(図1)。オホーツク海で沈降する海水(高密度陸棚水; DSW)の塩分(密度)は、子午面循環の上流側に位置するカムチャツカ半島の降水量に敏感であることがわかってきた(Uehara et al., 2014)。すなわち、半島から流出した河川水が DSW 塩分を通してこの子午面循環の変動を引き起こす可能性が高い。以上より、本研究では、大気変動を海洋に伝えるカムチャツカ半島の降水・雪氷・河川に着目し、DSW の塩分調節を通した子午面循環および「環オホーツク陸海結合システム」に対する制御メカニズムの解明を目指す。

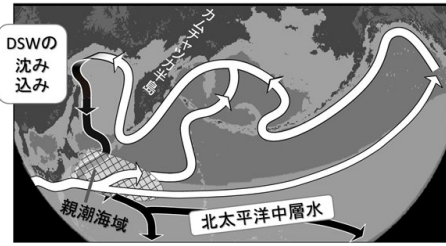


図1 表層と中層を繋ぐ北太平洋子午面循環の模式図。白が表層、黒が中層経路を表す。

### 2. 研究の目的

図2に示すようなプロセスを通し、カムチャツカ半島から流出する河川水が北太平洋規模の海洋循環・物質循環に及ぼす制御機構を明らかにする。具体的には以下のとおりである。

(1) カムチャツカ半島から流出する河川流量の推定: ロシアの研究機関が測定した河川流量など水文データセット、領域気象モデル、大気再解析データ、衛星による山岳氷河データ等を解析することにより、カムチャツカ半島の河川の流量を明らかにする。

(2) カムチャツカ半島からの淡水供給による「陸海結合システム」の制御と波及の解析: カムチャツカ半島およびオホーツク海における沿岸流の形成と陸起源水供給過程、およびオホーツク海北部での DSW 塩分の形成過程を、(1)の解析結果との比較、沿岸海洋モデル、衛星データ解析により明らかにする。さらに、北太平洋海洋循環・物質循環モデルによる実験を通し、北太平洋中層循環、親潮域の生物生産に対するカムチャツカ半島河川のインパクトを評価する。

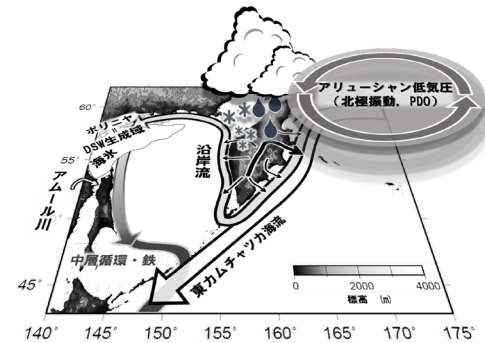


図2 本研究で対象とするカムチャツカ半島のプロセス。沿岸流と中層循環は図1の子午面循環につながる。

### 3. 研究の方法

#### (1) カムチャツカ半島の河川流量

##### ①河川データ解析および陸域水文モデルによる河川流量推定

ロシア ROSHYDROMET から取得した 11 の観測河川の月別流出量データを解析し、さらに次の2つの方法を用いて未観測河川の月別流出量を算出することで、カムチャツカ半島の全河川流量を推定した。(i) 観測河川で求めた比流量(河川流量÷流域面積)を未観測河川に適用し、流域面積既知の半島全河川の年間流出量を算出した。(ii) SWAT(陸域水文・物質循環)モデルを用い、米国 NCEP 再解析データを入力値として、カムチャツカ半島からオホーツク海に流出する全河川の月別流出量を算出した。その際、オホーツク海に流出する8河川のモデル出力を ROSHYDROMET 観測データと比較し各種パラメタの調整を行った。

##### ②領域気象モデルによる河川流量推定

領域気象モデル Polar WRF (Hines et al., 2015; Skamarock et al., 2008) による降水量、蒸発量、融雪量を用い、ROSHYDROMET データを参照することで、半島から流出する河川水・淡水量を見積もった。8月から翌年7月までの1年間の計算を1982/83年から2016/17年の35年分を行い、気候学的な流出量を算出した。北西太平洋およびオホーツク海を覆う水平解像度 25 km の親ドメインに対して、カムチャツカ半島の急峻な山地を再現する水平解像度 5 km をネスティングした(図3)。

##### ③山岳氷河質量損失の定量化と淡水流出

衛星データを用いて表面標高変動解析を行い、淡水流出量を見積もった。解析には、2006-2016年に取得された ALOS/PRISM および Terra/ASTER のステレオペア画像を計 12 組使用した。これら画像ペアを3次元モニタ上で実体視し、デジタル写真測量法によって数値標高モデル(DEM)を作成した。標高変化の測定精度は、ALOS DEM で 2.3-8.5 m、ASTER DEM で 6.7-22.6 m である。

##### ④素過程研究

カムチャツカ半島の河川流出量の理解には、低平な湿原の貯留過程と感潮域における流出過程

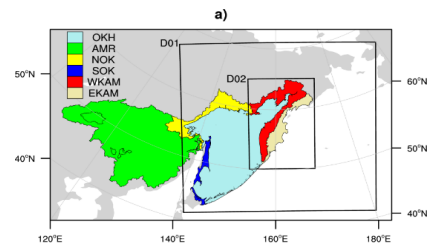


図3 オホーツク海の集水域と領域気象モデルの計算範囲

の理解が必要である。河川から海洋への流出時期を左右するこれらの素過程を理解すべく、カムチャツカ半島の河川に類似した北海道東部の別寒辺牛川を対象に、調査・観測を実施した。また、海洋への流出過程を衛星観測、数値実験により調べた。

## (2) カムチャツカ半島からの淡水供給による「陸海結合システム」の制御と波及の解析

### ①オホーツク海への淡水供給量および DSW 塩分に対するカムチャツカ半島河川の寄与

(1) で求めた河川流量を用いて、海洋への影響を評価した。河川流出量は、年平均した場合、年間降水量と年間蒸発量の差 (P - E) で近似される。この関係を用い、(1) で得たカムチャツカ半島河川流量と様々な大気再解析データを比較することで最適データを探査し、オホーツク海全体に淡水供給量へと繋げた。また、(1) で得た年別河川流出量と Uehara et al. (2014) の DSW 塩分変動と比較することで、DSW 塩分に対するカムチャツカ半島河川の影響を考察した。

### ②カムチャツカ河川水輸送過程の解析

オホーツク海北部海域を、非構造格子の FVCOM (Chen et al. 2003) を使用し、数値計算を行った。グリッド距離は南境界の約 9.0km から北岸の 1.4km まで小さくしてある。大気外力・河川データには大気再解析値 JRA55-do (Tsuji et al., 2018) を用いた。河川の流入の有り無しの実験を行うことで、河川の影響の広がりを調べた。具体的には、2010 年 6 月から 2011 年 6 月の外力を繰り返して 10 年間計算を行い、定常状態を見た。

### ③北太平洋海洋循環モデル・物質循環モデルによる解析

オホーツク海北西部の DSW 形成を解像し (格子幅 2km 程度)、オホーツク海から北太平洋にかけては中規模渦を解像 (格子幅 10km 程度) する曲線格子の海洋大循環モデルを用い、カムチャツカ河川水のインパクトを見た。このモデルに鉄化学モデルを組み込み、渦や沿岸流による鉄輸送を表現する、高解像度物質循環モデルの開発も進めた。

## 4. 研究成果

### (1) カムチャツカ半島の河川流量

#### ①カムチャツカ半島の河川流出の特徴

観測された 11 河川の気候学的な年間流出量の総和は 2,684 m<sup>3</sup>/s であった。カムチャツカ半島で最も大きな流域面積を持つペンジンナ川 (流域面積 71,600km<sup>2</sup>: 観測期間 1957-2012 年) とカムチャツカ川 (流域面積 53,000km<sup>2</sup>: 観測期間 1937-1994 年) のハイドログラフおよび月別気温を図 4 に示す。オホーツク海北部に流出するペンジンナ川は 6 月に突出した流出量のピークを持つが、太平洋に流出するカムチャツカ川は 7 月にピークを持つ。また、冬季には、ペンジンナ川では基底流出量がほぼゼロとなる一方、カムチャツカ川の冬季基底流出量は 500m<sup>3</sup>/s で維持されている。この違いは、寒冷・小雪・低平で流域に永久凍土が発達するために流出応答が早いペンジンナ川流域と、温暖・多雪・山岳地形による高標高を有し、融雪による流出応答の遅延が発生するカムチャツカ川流域の気候・陸面条件に依っていると考えられる。

#### ②カムチャツカ半島から周辺海域に供給される河川流出量の定量評価

比流量を用いて計算されたカムチャツカ半島全域からの平均流出量は 8.95 × 10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/s であった。海域毎の内訳は、半島から太平洋への流出量が 4.29 × 10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/s であり、オホーツク海へは 4.66 × 10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/s である。一方、SWAT モデルを用いて計算された半島からオホーツク海への流出量は、1984 年から 2013 年の平均値で 4.69 × 10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/s であり、比流量から求めた値と近い。また、領域気象モデルによる河川流量の見積もりも行った。モデル出力から観測された 11 河川を取り出してみると、約 0.4% 過剰ではあるものの、観測された流出量を良い精度で再現した。高解像度化により、カムチャツカ半島の複雑地形による降水・降雪を概ね表現した結果といえる。半島西部からの年間淡水供給量は 5.01 × 10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/s、一方半島東部は 4.44 × 10<sup>3</sup>m<sup>3</sup>/s となった。したがって、比流量や SWAT モデルによる推定と良い一致を示しており、流出量の定量化は十分な確からしさをもって実現したと考える。半島東部は西部に対して流域面積が約半分となるが、同程度の流出量を持っている。これは、太平洋からの暖湿な空気の移流と、急峻な山地が半島東部に集中しているため、降水・降雪が西部に比べ多いことによる。

#### ③山岳氷河の質量損失による淡水流出

半島内を 5 つの地域 (クロノツキー半島、クリチェフスカヤ火山群、イチンスキー火山、アルネイ山、中央山脈北部) に区分して解析を行った結果、それぞれの地域内での平均で 1.21 ± 0.37、0.31 ± 0.83、0 ± 1.00、0.1 ± 0.61、0.6 ± 0.19 m w. e. a<sup>-1</sup> の氷損失速度が得られた (図 5)。この結果を世界各地の中緯度から亜極地域における平均的な値と比較したところ、東海岸近くの低標高に位置するクロノツキー半島では、130-330 % と著しく大きな質量損失が判明した。この結果は、2000 年以降の著しい気温上昇を受けて、気温変化の影響を受けやすい低標高域でより顕著な質量減少が生じたためと考えられる。またクロノツキー半島、クリチェフスカヤ火山群、中央山脈北部では、観測期間の後半に質量損失速度が増加し、半島内の広い範囲で質量損失が増加

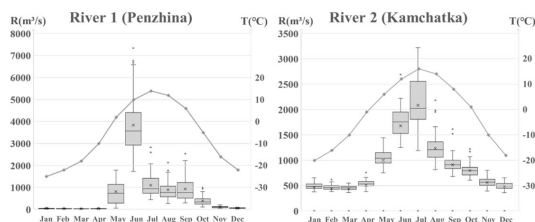


図 4 ペンジンナ川とカムチャツカ川のハイドログラフおよび月別気温の平均値。データは ROSHYDROMET の観測値による。

傾向にあることが明らかになった。

本研究で示された氷河の質量減少傾向は、河川を通じて海洋に供給される氷河融解水が将来的に減少することを示すものである。特に夏季降水量が少ない半島中央部や北西部において、水文環境に大きな変化が生じる可能性がある。

#### ④素過程研究：北方湿原河川の流出特性

低平な湿原地帯を流れる河川の流出応答を理解するため、2年間にわたり北海道別寒辺牛川の5地点に自記水圧式水位計を設置するとともに、流量の現地観測を定期的実施することにより、水位-流量曲線の作成を試みたが、成功しなかった。その理由は、低平な湿原では潮汐の影響が中流域まで及び、一般的な河川で見られる水位と流量の比例関係が成り立たないためである。また、多量の降水に際しても、流域の湿原の貯留機構が極めて大きく、流出応答が遅い特徴が見られた。このことは、カムチャツカ半島の河川でも同様と考えられ、流域における河川流出過程を考慮した流出モデル作成の必要性を確認した。また、別寒辺牛川からつながる厚岸湾では、河川水流出時にキノコ状の渦対構造を伴うことを見出した。渦対はその中に河川流出物質を閉じ込めながら自走するため効率の良い物質交換過程である。このような現象は多くのカムチャツカ半島河川で生じている可能性が高い。

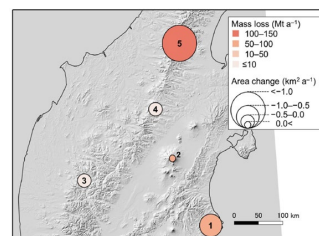


図5 カムチャツカ半島内各地域における2000-2016年の氷河質量損失速度(カラー)(Mt a<sup>-1</sup>)、および氷河面積変化(円の大きさ)(km<sup>2</sup> a<sup>-1</sup>)。(1:クロノツキー半島、2:クリチェフスカヤ火山群、3:イチンスキー火山、4:アルネイ山、5:中央山脈北部)。

### (2) カムチャツカ半島からの淡水供給による「陸海結合システム」の制御と波及の解析

#### ①オホーツク海への淡水供給量

領域気象モデルが精度よく観測河川流量を再現したことから、その半島西部の流出量を参照データとして大気再解析データのP-Eと比較を行い最適な再解析データを探索した。米国NASAの再解析値MERRA2が年間153 km<sup>3</sup>と最も近い流出量を示した。これをもとに、オホーツク海に流入する淡水集水域を、カムチャツカ半島西部(WKAM)、オホーツク海北部沿岸(NOK)、アムール川(AMR)、オホーツク海自身(OKH)、樺太・北海道北西部(SOK)の5つに分割して(図3)年間淡水供給量を見積もると、オホーツク海への淡水供給量は全体で年間に1,287 km<sup>3</sup>であり、その約半分はオホーツク海上での降水、約4分の1がアムール川、残りがその他の集水域からという結果を得た(図6)。カムチャツカ半島西部(WKAM)とオホーツク海北部(NOK)は、流域面積が全体の14%であるのに関わらず、年間流出量は全体の21%と大きい。一方、カムチャツカ半島東部からの流出も南部のクリル海峡を経てオホーツク海に流入する。半島全体からの河川流出量は年間298 km<sup>3</sup>であり、アムール川の80%程度である。

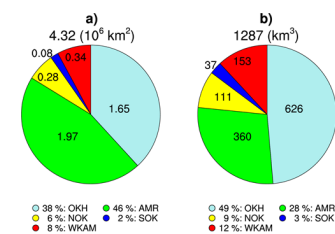


図6 各集水域の面積(A)と年間淡水供給量(B)。上の数字は合計値。

#### ②河川水流出の沿岸への影響とDSW海域への輸送

このようなカムチャツカ半島からの淡水流出が周辺の海洋の塩分変動にどれほど寄与するかを見積もった。海洋塩分はWorld Ocean Atlas 2018(WOA)を用いて、半島周辺の夏季表層塩分が32.5以下の領域を淡水の影響範囲と仮定したところ、表層塩分は流量の極大時期となる6月を中心に大きく低下していた。主に20m深までの低塩化が大きいことから、塩分32.5以下の領域で20mの深さを持つ立体を仮定し、各月の河川流出量をもたらす塩分変化を見積もった。その結果、流出が大きくなる5月以降は、WOA塩分の時間変化と同程度の塩分変化を河川流出がもたらすこと、特に6月には月0.3もの低塩化が生じることを見出した。すなわち、半島周辺における海洋の季節塩分躍層は、河川水に起因することが明らかとなった。

そのカムチャツカ半島河川水の海洋における輸送過程を見るために、沿岸海洋モデルを用いて数値実験を行った。カムチャツカ半島西部からの河川流入有り場合、流入無しの場合に比べて最大1以上の塩分低下が見られた(図7a)。塩分の低下は、河川が直接に流入するオホーツク海東部だけでなく、オホーツク海北部にも広がり塩分が0.3以上低下する所もあらわれる。一方、アムール川を含むオホーツク海西部の河川流入の効果を見ると(図7b)、その流入量の大きさから塩分低下が大きいものの、影響はオホーツク海西部にとどまる。オホーツク海北部の河川の効果はDSWが生成するオホーツク海北部を中心に、一部西部に広がる(図7c)。これらの結果は、オホーツク海の反時計回りの

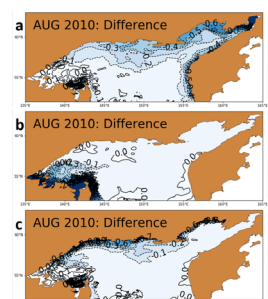


図7 沿岸海洋モデルによる数値実験。河川を入れた場合と河川を入れない場合の海面塩分の差(8月)。対象河川は(a)カムチャツカ西岸(オホーツク海東部)、(b)オホーツク海西部、(c)オホーツク海北部

沿岸流のため、カムチャツカからの河川水流入は、半島周辺にとどまらず、DSW 形成海域を含む沿岸域の広範囲に影響を及ぼすことを意味する。

### ③カムチャツカ半島からオホーツク海に流出する河川水が DSW 海域に与える影響評価

上記より、カムチャツカ西岸からの河川水は DSW の塩分に影響を及ぼす可能性がある。SWAT モデルを用いて計算したオホーツク海に流入する河川流出量とオホーツク海北西部の DSW 塩分 (Uehara et al., 2014; 100m 以深、 $-1.5^{\circ}\text{C}$  以下の海水の塩分) とのラグ相関関係を調べたところ、DSW 形成海域に最も近い河川で 2 ヶ月、遠い河川で 6 ヶ月遅延した時に最も有意な負の相関関係が見出された (図 8)。さらに、領域気象モデルで見積もられた半島規模の年間流出 (1 月~12 月) と DSW の塩分変動との相関関係を 1983 年から 2004 年までの期間を対象に調査した。5 年の移動平均をした長期変動でみると、カムチャツカ半島の流出は 1990 年代半ばに非常に大きな流出量を示す時期が存在し、全体として 10 年規模の周期を持っている (図 9)。これは、DSW がもつ長期変動ときれいに逆位相となっており、北緯 58 度以南の半島東部及び西部で見積もった半島規模の年間流出と、DSW との相関係数は、同時相関でそれぞれ  $-0.77$ 、 $-0.62$ 、河川水流出が先行するラグ相関の場合では、 $-0.61$ 、 $-0.57$  と高い負相関を示した。以上より、カムチャツカ半島からオホーツク海に流出する河川水は、DSW 形成海域の海水塩分の決定要因の一つであることが示唆された。

次に半島内で DSW の塩分変動と特に関係を持つ地域 (河川) を調べるため、領域気象モデルで見積もられた面的な年間表面流出との相関解析を行った。流出が先行するラグ相関の場合は半島中心部および西部、特に北緯 56~58 度付近でオホーツク海に流れるチギリ川周辺に高い負相関が見られた (図 9 右)。チギリ川付近は、Uehara et al. (2014) による前年降水量との相関図においても周囲に比べ高い負相関を示している領域であり、整合的な結果と考えられる。また、東西を合算した半島規模流出の長期変動と、季節降水の分布との相関関係をみると、冬季は半島東部の降水、春季~夏季は半島中心部からチギリ川付近で正相関となった。すなわち、半島東部の流出変動は主に融雪水によって、半島西部は夏季降雨によってもたらされていることを示している。

カムチャツカ半島からの河川流出水が到達するオホーツク海北部は DSW 形成の中心海域であり、DSW 塩分を通して海洋中層にその影響を伝える。図 10 は、沿岸海洋モデルを用いた河川流出有り無し実験の結果で、 $26.8\text{--}27.2\sigma_{\theta}$  層 (水深 300m 程度) おける塩分差の季節変化を示している。カムチャツカ半島からの河川水流入有無 (図 10 青線) の場合に、DSW が形成される冬季に海洋中層の塩分に対する影響が大きいことがわかる。特筆すべきことは、カムチャツカ西岸の河川の効果は、アムール川を含むオホーツク海西部の河川より DSW および中層への影響が大きいことである。これは、アムール川からの流出水が海氷生成の中心であるオホーツク北部沿岸にほとんど到達しないためである (図 6b)。また、オホーツク海北部河川からの寄与はアムール川と同程度であり、その結果、カムチャツカ西部河川は中層塩分に対して最も大きな変化をもたらすことが示唆される。

以上の通り、本課題では (1) カムチャツカ半島からの河川流出量を複数の手法で求めたところ互いに整合的で、アムール川の約 80% という大きなものであること、(2) DSW および中層循環の塩分に対して、アムール川よりはむしろカムチャツカ河川流出水からの影響が大きいこと、が明らかとなった。現在開発中の高解像度北太平洋海洋循環モデルを用いてアムール川より東方のオホーツク海沿岸・カムチャツカ半島沿岸の河川水供給を無しにした場合、オホーツク海の中層水温に約  $2^{\circ}\text{C}$  もの影響が現れた。このモデルをベースに、植物プランクトン増殖に必須の鉄分を含む物質循環モデルの開発を進めている。近年、オホーツク海周辺地域では地球温暖化の影響が顕著であり、オホーツク海中層では顕著な低塩化が進んでいる。親潮に恵みをもたらす「アムール川から流出しオホーツク海中層を通し供給される鉄分輸送」とその制御機構である「カムチャツカ半島」、それらを包含する「環オホーツク陸海結合システム」の地球温暖化に対する影響評価は喫緊の課題であり、その解明に開発中の物質循環モデルの貢献が期待される。

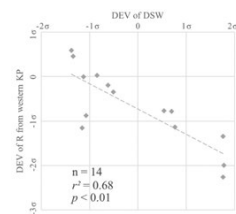


図 8 SWAT モデルによるカムチャツカ半島西岸からの河川流出量の経年変化と DSW 塩分の経年偏差とのラグ相関 (1985-2004 年)。経年偏差が  $0.5\sigma$  以上の年をプロット

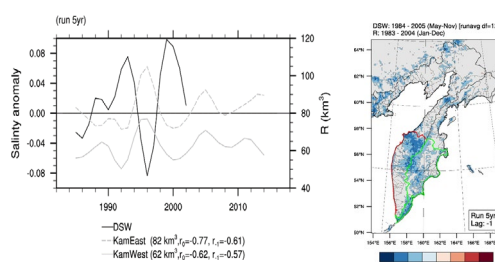


図 9 (左) 5 年移動平均した DSW 塩分 (黒線)、半島東部 (破線)、西部 (灰色線) の流出。(右) 河川流出 1 年先行の時の DSW 塩分との相関

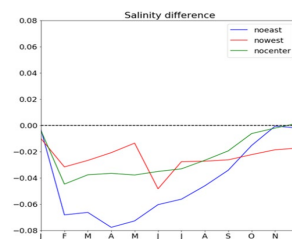


図 10 河川を入れた場合と河川を入れない場合の  $26.8\text{--}27.2\sigma_{\theta}$  層の塩分の季節変化の差。対象河川はカムチャツカ西岸 (青線)、オホーツク海西部 (赤線)、オホーツク海北部 (緑線)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 13件）

1. 著者名 Katsura, S., H. Ueno, H. Mitsudera, S. Kouketsu	4. 巻 50
2. 論文標題 Spatial Distribution and Seasonality of Halocline Structures in the Subarctic North Pacific	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physical Oceanography	6. 最初と最後の頁 95-109
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.1175/JPO-D-19-0133.1">https://doi.org/10.1175/JPO-D-19-0133.1</a>	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 Tachibana, Y., K. K. Komatsu, V. A. Alexeev, L. Cai, and Y. Ando	4. 巻 9
2. 論文標題 Warm hole in Pacific Arctic sea ice cover forced mid-latitude Northern Hemisphere cooling during winter 2017-18	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5567
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-41682-4	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 福本 峻吾, 波多 俊太郎, 斉藤 潤, 杉山 慎	4. 巻 38
2. 論文標題 ロシア・カムチャッカ半島・クロノツキー半島の氷河群における表面高度変化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 北海道の雪氷	6. 最初と最後の頁 31-34
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Mitsudera H., T., Miyama, H. Nishigaki, T. Nakanowatari, H. Nishikawa, T. Nakamura, T. Wagawa, R. Furue, Y. Fujii and S. Ito	4. 巻 9
2. 論文標題 Low ocean-floor rises regulate subpolar sea surface temperature by forming baroclinic jets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Communications	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） 10.1038/s41467-018-03526-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 -

1. 著者名 Miyama T., H. Mitsudera, H. Nishigaki, and R. Furue	4. 巻 48
2. 論文標題 Dynamics of a Quasi-Stationary Jet along the Subarctic Front in the North Pacific Ocean (the Western Isoguchi Jet): An Ideal Two-layer Model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physical Oceanography	6. 最初と最後の頁 807-830
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1175/jpo-d-17-0086.1	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 -

1. 著者名 Karaki, T., H. Mitsudera, H. Kuroda	4. 巻 74
2. 論文標題 Buoyancy shutdown process for the development of the baroclinic jet structure of the Soya Warm Current during summer.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 339-350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-018-0465-1	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 -

1. 著者名 Nakanowatari, T., K.I. Ohshima, V. Mensah, Y. Mitani, K. Hattori, M. Kobayashi, F. Roquet, Y. Sakurai, H. Mitsudera, and M. Wakatsuchi	4. 巻 13
2. 論文標題 Hydrographic observations by instrumented marine mammals in the Sea of Okhotsk	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 56-65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2017.06.001	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., Nakamura T., Uchimoto K., Nishioka J., Mitsudera H., Wakatsuchi M.	4. 巻 122
2. 論文標題 Importance of Ekman transport and gyre circulation change on seasonal variation of surface dissolved iron in the western subarctic North Pacific	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Oceans	6. 最初と最後の頁 4364-4391
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/2016JC012354	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 中村知裕, 三寺史夫, 内本圭亮, 中野渡拓也	4. 巻 81
2. 論文標題 環オホーツク圏の海洋シミュレーション	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 化学工学	6. 最初と最後の頁 246-249
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 -

1. 著者名 Tanaka T., Yasuda I., Kuma K., Nishioka J.	4. 巻 143
2. 論文標題 Evaluation of the biogeochemical impact of iron-rich shelf water to the Green Belt in the southeastern Bering Sea	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Continental Shelf Research	6. 最初と最後の頁 130-138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.csr.2016.11.008	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 Yasunari T. J., Niwano M., Fujiyoshi Y., Shimizu A., Hayasaki M., Aoki T., da Silva Arlindo M., H. Brent N., Matoba S., Murao N., Yamagata S., Kim K.-M.	4. 巻 13
2. 論文標題 An Unreported Asian Dust (Kosa) Event in Hokkaido, Japan: A Case Study of 7 March 2016	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SOLA	6. 最初と最後の頁 96-101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2151/sola.2017-018	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42件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 27件)

1. 発表者名 Mitsudera H., H. Iida
2. 発表標題 Dynamics of water exchange processes at a deep submarine canyon off the western coast of the Sakhaline which causes the origin of the cold water belt along the Soya Warm Current
3. 学会等名 JpGU 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1 . 発表者名 Mitsudera, H., T. Miyama, T. Shiraiwa, Y. Tachibana, K. Komatsu, H. Nishikawa
2 . 発表標題 Surface water pathways and land-ocean freshwater linkages associated with the meridional overturn that ventilates the intermediate layer of the Sea of Okhotsk and North Pacific Ocean
3 . 学会等名 The 35th International Symposium on the Okhotsk Sea & Polar Oceans ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Nishikawa H., H. Mitsudera, H. Yoshinari, T. Nakanowatari, T. Nakamura, K. Uchimoto, H. Hasumi
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 OSM 2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Nishikawa H., H. Mitsudera, H. Yoshinari, T. Nakanowatari, T. Nakamura, K. Uchimoto, H. Hasumi
2 . 発表標題 Reproduction of iron-rich intermediate water in the Sea of Okhotsk by high resolution biogeochemical model
3 . 学会等名 IWMO 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Nishikawa H., H. Mitsudera, H. Yoshinari, T. Nakanowatari, T. Nakamura, K. Uchimoto, H. Hasumi
2 . 発表標題 Reproduction of iron-rich intermediate water in the Sea of Okhotsk by high resolution biogeochemical model
3 . 学会等名 JpGU 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Nishikawa H., H. Mitsudera, H. Yoshinari, T. Nakanowatari, T. Nakamura, K. Uchimoto, H. Hasumi
2 . 発表標題 High-resolution modeling of iron and phosphate transport in the subarctic North Pacific
3 . 学会等名 SOLAS 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H.W. Chou, H. Mitsudera, K. Yamazaki, H. Nishikawa
2 . 発表標題 Improvement and Dynamics of Water Exchange between the Sea of Okhotsk and the Pacific through tidal effects in OGCM
3 . 学会等名 4th International Joint Workshop on Computationally Intensive Modeling of the Climate System and 9th OFES International Workshop ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H.W. Chou, H. Mitsudera, H. Nishikawa K. Yamazaki
2 . 発表標題 Impact of Tidal Vertical Mixing to Barotropic Water Exchange between the Sea of Okhotsk and Pacific through Diffusive Adjustment with Turbulent Closure Scheme: Can Vertical Diffusivity Vale represent the Tidal Impact in OGCM?
3 . 学会等名 JpGU 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 H.W. Shu, H. Mitsudera, K. Yamazaki, T. Kawasaki, T. Nakamura, H. Sasaki, H. Nishikawa
2 . 発表標題 Reveal of Dynamics of Barotropic Exchange between the Sea of Okhotsk and North Pacific through Tidal forcing in HighResolution Ocean General Circulation Model: the Modification of the Western Boundary Current Pathway by Tidal Rectification
3 . 学会等名 Ocean Science Meeting 2020 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Shi, M. and Shiraiwa, T.
2. 発表標題 Estimation of freshwater discharge from the Kamchatka Peninsula to its surrounding oceans
3. 学会等名 日本地理学会2020年 春季学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ding, M., Shiraiwa, T., Osanai, T. and Nakata, M.
2. 発表標題 An analysis of hydrological characteristics in the tidal zone of Bekanbeushi river
3. 学会等名 日本地理学会2020年 春季学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tachibana, Y., K. K. Komatsu, V. A. Alexeev, L. Cai, and Y. Ando
2. 発表標題 Warm hole in Pacific Arctic sea ice cover forces mid-latitude Northern Hemisphere cooling during winter
3. 学会等名 AGU Fall meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福本 峻吾, 波多 俊太郎, 斉藤 潤, 杉山 慎
2. 発表標題 ロシア・カムチャッカ半島 Koryto 氷河における末端変動と氷厚変化
3. 学会等名 雪氷学会北海道支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福本 峻吾, 波多 俊太郎, 斉藤 潤, 杉山 慎
2. 発表標題 ロシア・カムチャッカ半島中東部クロノツキー半島における氷河表面高度変化
3. 学会等名 雪氷研究大会2019山形
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toru Miyama, Humio Mitsudera
2. 発表標題 Role of river inflows from the Kamchatka Peninsula in the Okhotsk Sea
3. 学会等名 PICES-2019 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 美山透, 三寺史夫
2. 発表標題 オホーツク海におけるカムチャッカ半島からの河川流入の役割
3. 学会等名 大槌シンポジウム・「陸域・沿岸海域・外洋域をつなぐ数値モデリングシステムの構築に向けて」合同セッション
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toru Miyama, Humio Mitsudera
2. 発表標題 Role of river inflows from Kamchatka Peninsula in the Okhotsk Sea
3. 学会等名 The 11th International Workshop on Modeling the Ocean (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 美山透, 三寺史夫
2. 発表標題 オホーツク海におけるカムチャッカ半島からの河川流入の役割
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomohiro Nakamura, Yusuke Takahashi, Takuya Nakanowatari
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 2020 (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 親潮海域におけるリン酸塩濃度の十年規模変動
3. 学会等名 2019年度水産海洋学会研究発表大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nishioka, J., H. Obata, I. Yasuda
2. 発表標題 Iron supply from the marginal seas to the North Pacific Ocean
3. 学会等名 IMBeR Open science conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019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
2. 発表標題 北太平洋亜寒帯域における物質循環の高解像度シミュレーション
3. 学会等名 2017年度海洋学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Chou, H.-W., H. Mitsudera and H. Nishikawa
2. 発表標題 Hypothesis of dynamics of water exchange between the Sea of Okhotsk and the Pacific from a point of view of tidal effects
3. 学会等名 The 33rd International Symposium on the Okhotsk Sea and Polar Oceans 2017 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahashi, Y., T. Nakamura, T. Nakanowatari
2. 発表標題 Impact of interannual variations of sea ice area in the Sea of Okhotsk on the atmosphere and ocean
3. 学会等名 The 33rd International Symposium on the Okhotsk Sea and Polar Oceans 2017 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nakamura, T., H. Mitsudera, H. Yoshinari, T. Nakanowatari, H. Nishikawa, K. Uchimoto.
2. 発表標題 Effects of sedimentary supply on iron distribution in the North Pacific: Sensitivity experiments with a high-resolution model
3. 学会等名 Ocean Sciences Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nishioka, J., Y. Yamashita, H. Obata, K. Ono, I. Yasuda, A. Scherbinin, Y. N Volkov
2. 発表標題 Iron distribution in the East Kamchatka Current and its influence to the NPIW
3. 学会等名 Ocean Science Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Isada, T., A. Hattori-Saito, H. Saito, Y. Kondo, J. Nishioka, K. Kuma, H. Hattori, R. Michael L. McKay and K. Suzuki,
2. 発表標題 Responses of phytoplankton photophysiology to iron stress and mixing water masses during the spring bloom in the Oyashio region, NW Pacific
3. 学会等名 Ocean Science Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

環オホーツク観測研究センター <a href="https://sites.google.com/view/pan-okhotsk/home">https://sites.google.com/view/pan-okhotsk/home</a>
---

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
研究分担者	白岩 孝行  (Shiraiwa Takayuki)  (90235739)	北海道大学・低温科学研究所・准教授    (10101)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	立花 義裕 (Tachibana Yoashihiro)  (10276785)	三重大学・生物資源学研究所・教授  (14101)	
研究分担者	的場 澄人 (Matoba Sumito)  (30391163)	北海道大学・低温科学研究所・助教  (10101)	
研究分担者	杉山 慎 (Sugiyama Shin)  (20421951)	北海道大学・低温科学研究所・教授  (10101)	
研究分担者	美山 透 (Miyama Toru)  (80358770)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・アプリケーションラボ・主任研究員  (82706)	
研究分担者	中村 知裕 (Nakamura Tomohiro)  (60400008)	北海道大学・低温科学研究所・講師  (10101)	
研究分担者	西岡 純 (Nishioka Jun)  (90371533)	北海道大学・低温科学研究所・准教授  (10101)	