

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2010～2014

課題番号：22106010

研究課題名（和文）オホーツク海・北極域における大気海洋海水相互作用

研究課題名（英文）Atmosphere-ocean-sea ice interaction processes in the Sea of Okhotsk and the Arctic Region

研究代表者

三寺 史夫（Humio, Mitsudera）

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） 70,210,000円

研究成果の概要（和文）：冬季の季節海氷域の形成、および夏季のオホーツク海高気圧とそれに伴う下層雲の発生という、オホーツク海・北極圏における特徴的な季節性に関わる大気海洋（海水）相互作用について探求した。夏季のオホーツク海では下層雲 - 海面水温フィードバックにより、海面水温が低く維持されることが明らかとなった。また、冬季のオホーツク海に特徴的なのは、その海水変動が北極海・東シベリア海における先行する夏の海水変動と連動している、ということである。気圧偏差の年平均で定義した北極振動（Annual AO）という新しい視点から、北極域・オホーツク海域における、海域・季節を越えてリンクするフィードバックシステムの解明を進めた。

研究成果の概要（英文）：Atmosphere-ocean (-sea ice) interaction processes in the Sea of Okhotsk and the Arctic Sea were investigated, where characteristic seasonality, such as the formation of seasonal sea ice areas in winter as well as the formation of the Okhotsk High and low-level clouds in summer, is exhibited. Sea surface temperature (SST) in the Sea of Okhotsk is kept cool in summer. This is likely attributed to the feedback between the SST and the low-level clouds. As for winter, it was found that the sea ice extent in the Sea of Okhotsk is linked well with the sea ice extent of the preceding summer in the Eastern Siberian Sea within the Arctic Sea. We investigated this linkage from a novel point of view, which is the annual Arctic Oscillation (annual AO), defined by the surface pressure anomaly averaged over one year from January of each year. Feedback processes associated with the annual AO were discussed.

研究分野：海洋物理学

キーワード：大気海洋海水相互作用 オホーツク海 北極圏 下層雲 海水

1. 研究開始当初の背景

オホーツク海には、冬季の大規模な季節海水域の形成、および夏季のオホーツク海高気圧とそれに伴う下層雲の発生、という特徴的な季節性が存在する。これは、オホーツク海がユーラシア大陸と北太平洋のはざまに位置する亜寒帯の海であり、海陸間の熱的コントラストが極端に大きい海域であることが要因である。そのため冷たい海にもかかわらず大気循環に対して能動的な作用を及ぼすと考えられている。また、北極海では海水融解が急速に進んでおり、それが中緯度やオホーツク海に及ぼす影響も顕れつつある。このように、亜寒帯・北極域には海水を含む独自の大気海洋相互作用が示唆されるが、その物理過程と気候系への役割には未解明の部分が多い。そこで、本研究では、「オホーツク海を中心とする、亜寒帯から北極圏にかけての大気-海水-海洋相互作用システムとその影響の解明」を目指す。

2. 研究の目的

- (1) オホーツク海は夏季においても海表面は低く保たれており、強い海陸の温度勾配をもたらす。その原因である下層雲と海洋の相互作用を定量的に評価する。
- (2) オホーツク海海水面積の変動は、大気および海洋循環によって制御されている。逆に海水面積の大小が大気を変動させる可能性がある。このフィードバック機構を明らかにする。
- (3) 北極海の海水変動はオホーツク海の海水変動や中緯度気候にも密接に関わっている可能性が高い。北極圏を含めた北半球スケールの相互関連メカニズムを明らかにする。

3. 研究の方法

データ解析と数値モデルによる実験を主な手段として研究を行う。具体的には以下のとおりである。

- (1) 大気モデルを用いた夏季下層雲の実験。
- (2) 海洋モデルを用いた冬季オホーツク海の海洋海水相互作用の実験。
- (3) 海洋研究開発機構が開発している全球高解像度結合モデル (CFES) を用いた北極圏-オホーツク圏連環の実験。
- (4) 公開されている再解析・観測データ、およびロシア海洋データの解析。

4. 研究成果

- (1) 夏季オホーツク海：下層雲-海面水温フィードバック

オホーツク海では夏季でも海面水温が10℃前後と低く保たれ海陸の温度差が大きいため、オホーツク海高気圧の形成や経年変動の要因となる。海面水温が低い主な理由として、千島列島内の海峡やオホーツク沿岸域では潮汐混合の影響 (Nakamura et al., 2012) が顕著だが、加えて、夏季に頻繁に形成される下層雲や霧の影響も考えられる。夏季の下

層雲量を調べると、オホーツク海高気圧が発達したときに多いことが分かったので、オホーツク海高気圧が発達した時の下層雲形成過程とその影響について領域大気モデルを用いて調べた (Koseki, Nakamura, Mitsudera, 2012)。

夏季オホーツク海の下層雲形成には、低い海面水温による気温の低下が重要であった (図1上)。周囲の陸や太平洋上から来た暖かい未飽和の空気が、海面からの顕熱フラックスで冷却され、雲が形成される。下層雲が出来はじめると長波放射が増えて気温がさらに低下し、下層雲の形成が促進される。

下層雲は一度形成されると、自身を維持し続けるように作用した。雲上部は長波放射で冷却され、雲下部の気温が下がる。海面では気温が水温より低くなり、雲形成時とは逆に、海面からの乱流熱フラックスで大気が加熱される。これら上側の冷却と下側の加熱により、成層が不安定化して混合層が形成・維持されるとともに、混合層全体の熱バランスが決まる。熱輸送・熱収支を見ると、雲上部では放射冷却と海面から乱流で運ばれた熱 (雲水生成による凝結加熱) が概ねバランスし、雲下部から海面付近では海面加熱と霧雨・雲水で運ばれてきた潜熱 (蒸発冷却) が主にバランスする (図1下)。水収支を見ると、海面からの乱流フラックスが海面で蒸発した水蒸気を混合層上部に運び、霧雨等で減った水が補給される。こうして下層雲が維持されていた (図1下)。

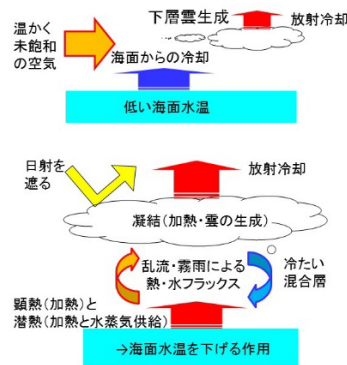


図1 下層雲形成(上)と維持(下)の模式図

したがって下層雲は海面水温を下げるように作用する。すなわち下層雲があると、気温低下により顕熱フラックスが上向き (大気を加熱し海洋を冷却) になり、上向きの潜熱フラックスも増加し、短波入射も大幅に遮蔽される。下層雲による冷却を、海洋混合層の厚さを10mとして大雑把に見積もると、0.3 K day⁻¹程度であった。仮に6月から8月のうち2割の期間が下層雲に覆われていれば、単純に計算すると、海面水温に約5 Kの差が生じることになる。

このようにオホーツク海でも、低い海面水温により下層雲・霧ができ、下層雲・霧により海面水温を低く保ちやすくなるという「下

層雲－海面水温フィードバック」が働く。海面が大気を冷却し下層雲が形成される海域と、下層雲が海面水温を下げる海域は大抵ずれており、このフィードバックは鉛直一次元過程ではなかったが、オホーツク海全体で見ると成立することが示唆された。

(2) 冬季オホーツク海の相互作用系

冬季になると、大陸から吹き出す寒気と海水温との間に40～50℃もの温度差があり、海水面は低温にもかかわらず膨大な熱源となる。海水は効果的な断熱材であるため、氷縁やポリニヤ(海水域内の開放水面)において、海洋から大気への熱の放出が特に大きく、混合層が発達する。また、海水縁の変動は熱源の大規模な移動を引き起こし、北半球の大気循環を変動させると考えられている(Honda et al., 1999)。本研究では、海水変動と海洋混合層とのかかわりについて探求した。

① オホーツク海の海水縁におけるフィードバック過程

オホーツク海の変動を、ロシア極東海洋気象研究所(FERHRI)が保有するロシア経済水域内のデータを含む水温・塩分データセット(Uehara, Mitsudera et al., 2012)を用いて取りだし、日露で共同解析を行った。混合層変動を抽出するために、水温極小層に注目した(図2)。オホーツク海中央部に高い溶存酸素濃度の水温極小層がある。これは冬季混合層の名残である。その水温・塩分は10年規模で変動しており、海水面積と有為な相関があった(水温で相関係数 $r=-0.68$ 、塩分で $r=-0.48$)。すなわち、高温高塩の海水がオホーツク中央部に達するとき、海水面積が小さいという関係がある。オホーツク海の氷縁では海洋海水間で 100Wm^{-2} もの熱交換(融解)があるので(Fujisaki, Mitsudera et al., 2010)、これは高温高塩水が流入して海水融解が進み、海水域拡大が抑制された、という関係を意味する。高温高塩水の供給源は、千

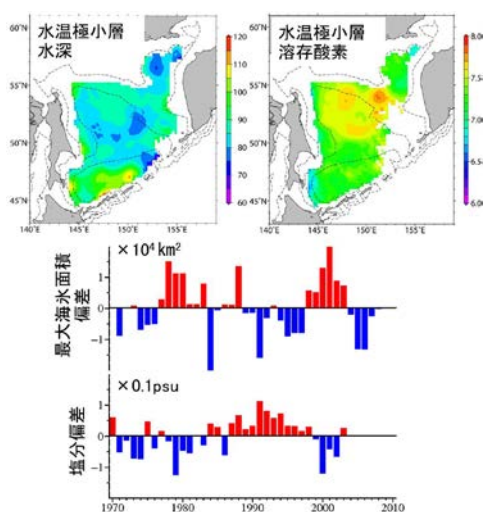


図2 水温極小層(TML)に注目したロシア海洋データの解析。(上段左) TML 水深、(上段右) TML 溶存酸素 (中段) 最大海水面積 (下段) TML 塩分の時系列

島列島の海峡部を通る北太平洋からの流入水である(Uehara, Mitsudera et al., 2014)。

大気側をみると、海水面積が小さいときには熱源はオホーツク海上にあり、そこに低気圧偏差が生じる(Honda et al., 1999)。この低気圧偏差は、千島列島周辺の海流に反時計回りの循環を生じさせて、海峡を通じて北太平洋からの高温高塩水流入を促進する可能性がある。また、オホーツク海上では東風偏差となり、海水の広がりを抑制する方向に働くことがわかる。すなわち、海水の拡大/縮小において、大気海洋海水相互作用を通して正のフィードバックが働くことを示唆する。今後、さらに定量化を目指す。

② 海水生成に伴う混合層の形成と北太平洋の子午面循環

オホーツク海北部の大陸棚上ではポリニヤが発達し海水生成が盛んに起こるため、低温高塩な水(ブライン)の供給に伴い深い対流が生じる(Fujisaki, Mitsudera et al., 2012, 2014)。これが北太平洋で最も重い混合層水(高密度陸棚水)となり、それが沈み込みながら中層循環(300m-800m深)を駆動して、最終的には亜熱帯へと向かう。一方、表層では、オホーツク海に向かって亜寒帯循環からベーリング海を経由する塩分供給経路があり、それが高密度陸棚水の密度を規定する(Uehara, Mitsudera et al., 2014)。ところがその源である亜寒帯循環では降水が過多であるため、塩の供給がないと過剰に希釈されてしまう。それゆえ循環境界を越えて、塩供給が亜熱帯循環から為される必要がある。そしてその循環間輸送の多くが北海道東方の準定常ジェット(Kida, Mitsudera et al., 2015)を経由することが分かってきた。このように、亜熱帯の表層からベーリング海を通過してオホーツク海北部に至り、そこで沈み込んで中層を亜熱帯へと戻るといふ、北太平洋を南北に横切る子午面循環の存在と構造が、本研究では具体的に見えてきた。

この子午面循環は大きな熱輸送変動を伴っている(Taguchi and Schneider, 2014)。その気候系への影響に対する定量的評価は今後の重要な課題であり、古気候においても注目されている。例えば、最終氷期退氷期(1.5万年前)に北大西洋の子午面循環が弱化した、逆に北太平洋子午面循環では強化が起こり、北半球の熱輸送の多くを担っていたことが指摘された(Okazaki et al., 2010)。

ここでは、気候系との相互作用の基礎として、まず風の変動に対する子午面循環の応答を調べた。海洋モデルを用い北太平洋全体の風を強くした実験を行うと、オホーツク海を含め亜寒帯循環が高塩化するという結果を得た(Matsuda, Mitsudera et al., 2014)。これは、偏西風による南向きエクマン輸送が亜寒帯から亜熱帯に表層の低塩水を運ぶとともに、それ補償するように地衡流が亜熱帯から亜寒帯へ高塩水を運ぶ、subpolar cell

を通した塩分輸送の強化を示している。そして高密度水の沈み込みが深くなり、流量も増加する。

北太平洋の亜熱帯循環では中層 26.8σθ の塩分がここ 50 年間で 0.05psu もの低塩化を示した(図 3)。これは 1976 年を挟んだ気候のレジームシフトによる風の強化に伴って子午面循環が強化され、オホーツク海から亜熱帯循環へと流れ込む低塩水の輸送量も増加したことによる(Nakanowatari, Mitsudera et al., 2015)。一方、亜寒帯循環は高塩化傾向にあり、上記の数値実験結果と整合的である。このように風の変動の影響は、子午面循環を通して中層循環にも及ぶことが、本研究で明らかとなった。

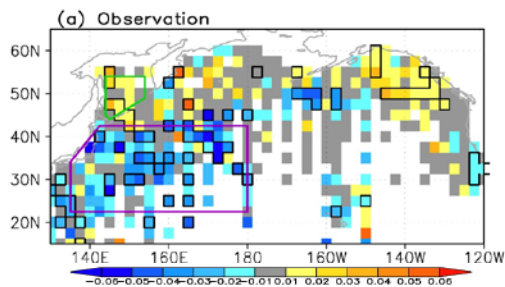


図 3 北太平洋中層 26.8σθ の塩分変化 (1977-2004 年と 1955-1976 年の平均塩分の差)。北太平洋中層水(亜熱帯)は低塩化、亜寒帯は高塩化傾向にある。

(3) 季節を越えてリンクする北極-環オホーツク圏大気海洋氷系の年々変動

北極域の夏の海水面積が近年著しい減少トレンドを示し、続く秋から冬にかけて中緯度域の気候・天候にも影響を及ぼし得ることが指摘されている。一方、日本に近接するオホーツク海は、季節海水域の南端に位置し、北極海と同様に海水面積の顕著な減少と大きな年々変動を示す。本研究ではこの両海域に着目し、季節を越えてリンクする北極-環オホーツク圏大気海洋氷系の年々変動の実態解明を目指した。

① 夏季北極海と冬季オホーツク海の海水変動と大気の関係

北極海において、海水減少トレンドが最も顕著なのは 9 月であり、この時期に海水面積の減少トレンドと年々変動が最も大きい海域が東シベリア海である。一方、オホーツク海の海水面積の年々変動が最大となるのは冬から春にかけてである。Ogi et al (2015) ではまず、異なる季節の両海域の海水面積変動に有意な相関があること ($r=0.54$) を示した(図 4 上段)。すなわち 9 月に北極東シベリア海で海水が多い年は、続く冬~春のオホーツク海での最大海水面積が大きくなる傾向がある。ここで、季節と海域が異なる海水変動が相互に相関していることから、1 年を通じてある程度持続する大規模な大気変動成分がこの両海域の海水変動を駆動しているという仮説が成り立つ。そこで、年平均した海面気圧(SLP)と各海域の海水面積時系列

の回帰係数の空間分布を調べたところ(図 4 下段左と中央)、両者の分布とも北極域の高気圧偏差と中緯度の低気圧偏差を示した。この分布は年平均した北極振動(AO)指数(Annual AO)に回帰した年平均分布(図 4 下段右)と類似している。すなわち Annual AO が、9 月の北極海の海水と翌年のオホーツク海の海水面積の年々変動を駆動していることと整合的な結果を得た。しかしながら大気変動の持続の時間スケールは短いため、1 年を通じて持続する大気変動は、海洋や海水との相互作用抜きでは考え難い。持続する AO のフィードバックについては(3)③で述べる。

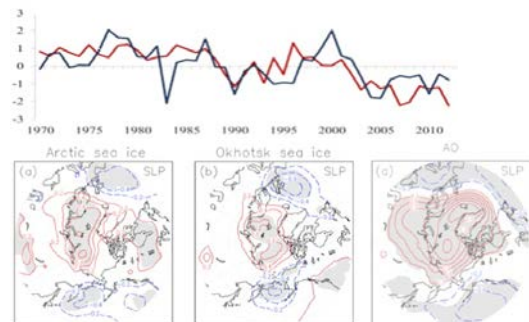


図 4 夏の北極海、冬のオホーツク海の海水面積と年平均北極振動との関係(上段)9 月の東シベリア海での海水面積時系列(赤線)及び冬のオホーツク海の最大海水面積時系列(青線)。(下段)年平均海面気圧の 9 月東シベリア海海水面積(左)、オホーツク海最大海水面積(中)、年平均北極振動指数(右)時系列への回帰係数の空間分布。統計的に有意な領域に影。

② 夏季バレンツ海と東シベリア海の海水変動と冬季の大気場の関係

北極海の海水変動が及ぼす中緯度への影響に関する研究では、バレンツ海における海水変動、或は北極海全体での海水変動が着目されており、成層圏極夜ジェットの変動を経由した北極海海水変動の影響も見出されている(Nakamura, Ukita et al., 2015)。しかしながら、北極海の中の「異なる海域の海水変動」が、どのように中緯度大気に影響するかに関しては、十分に調べられているとは言いがたい。そこで従来から注目されているバレンツ海と東シベリア海(Ogi et al., 2015)の 2 つの海域に着目し、9 月の海水変動がどのように冬季の大気場に影響しているかを調べた(Taguchi et al, to be submitted)。

まず、両海域での海水面積の時系列に有意な相関はなく($r=-0.24$)変動はほぼ独立であった。9 月の少氷年、多氷年に対して気象庁の再解析データ JRA-55 を用いて季節平均 SLP と 850hPa における気温(T850)の合成図(図 5)を作成したところ、先行する冬(DJF(0), 図 5a, d)の大気場は、バレンツ海と比べ、東シベリア海の少氷年では正の AO に類似したより環状的な気圧偏差を示した。一方、9 月の海水変動に続く秋(OND(1))から冬(DJF(1))にかけての大気場を見てみると、バレンツ海で海水が少ないとき、シベリア高気圧が強化し(図 5b-c, 等値線)ユーラシア極東域から西

日本にかけて寒冷化(図 5c, カラー陰影)する。この既往研究と整合的な結果とは対照的に、9月の東シベリア海海水面積が少ない年では、続く冬の気候応答は、むしろ先行する冬の気候偏差に見られたような正の AO 的な偏差を示す(図 5e-f, 等値線)。これに伴いユーラシア極東域ではシベリア高気圧は弱体化し、極東域からオホーツク海にかけて高温偏差(図 5e)となる一方、北米東部が寒冷化する。

これらの結果から、バレンツ海と東シベリア海の水氷変動は、全く様相の異なる気候応答を引き起こすことが分かった。特に9月の東シベリア海での水氷変動に対して先行する冬(DJF(0))から次の冬(DJF(1))まで持続する AO 的な空間分布は、Ogi et al. (2015)で示された Annual AO と整合的である。

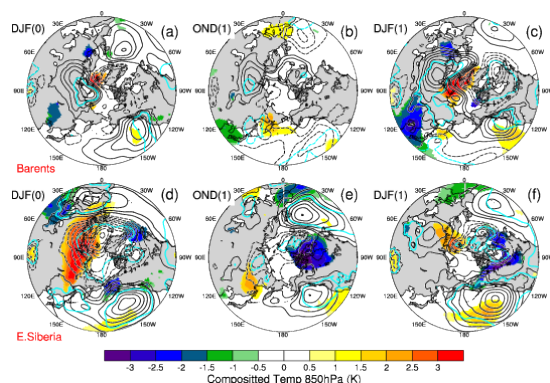


図 5 (a-c) 9月のバレンツ海の水氷面積時系列に対する、季節平均した海面気圧(等値線)と850hPaでの気温(カラー)の合成図。少氷年の平均から多氷年の平均の差(少氷年-多氷年)。(d-f) (a-c)に同じ。ただし東シベリア海の水氷時系列に対する合成図。

③ 北極圏大気海洋水氷系のフィードバックシステム

先行する冬から次の冬まで持続する上記のような気候変動のメカニズムを調べるため、JAMSTEC で開発された大気海洋水氷結合モデル CFES の 150 年積分の標準実験結果の解析とそれを用いた感度実験を実施した。まず、150 年標準実験結果を解析したところ、Ogi et al. (2015)と整合的な、夏~秋の北極東シベリア海と続く冬のオホーツク海でリンクした水氷変動が確認された。

次に、東シベリア海の水氷変動とそれに対する気候応答の因果関係を確かめるために、水氷の初期値に対する感度実験を行った。標準実験の10月1日の大気・海洋・水氷分布を初期値として、水氷面積と厚さに正偏差をのせたラン(多氷ラン)(図6左)と負偏差をのせたラン(少氷ラン)を異なる初期値で50メンバーずつ行い多氷ランと少氷ランの差を応答とみなした。10月1日における水氷の初期偏差の影響は、水氷密接度に対しては東シベリア海が水氷に覆われてしまう11月に消えてしまうが、水氷厚偏差としては12月まで情報が残る。この冬まで持続する水氷厚偏差が熱容量の増加を通じて冷源として働き、この負の熱強制に反応して極域に高気圧

性循環偏差が生じることが確認された(図6右)。この結果は、初秋の東シベリア海での水氷偏差が、Annual AO の季節を越えた持続性に寄与していることを示唆しているとともに、水氷と AO 的な大気偏差の間の正のフィードバックの存在を支持するものである。

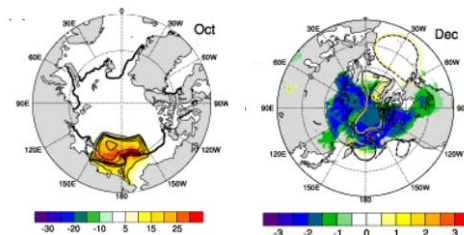


図 6 大気海洋結合モデルによる水氷感度実験。(左)10月水氷厚(等値線)と水氷密接度(カラー陰影)。多氷ラン初期値に対応。(右)12月海面気圧(等値線)と2m気温(カラー陰影)。有為な応答シグナルだけを表示。

以上の夏から冬への持続性に加え、先行する冬の水氷漂流の収束・発散が氷厚を決め、続く夏の水氷面積をコントロールするという季節進行も見出され(Kimura et al., 2013)、冬から夏への持続性も示唆されている。特に、東シベリアの水氷変動を引き起こす、先行する冬の水氷厚偏差分布は、Annual AO のパターンときわめて類似していることが分かった。このように、北極海とオホーツク海の水氷変動を季節を越えてリンクする新たなフィードバックシステムが、本研究により明らかとなりつつある。

[引用文献]

Honda et al., *J. Climate*, 12, 1999, 3347-3358.
Okazaki et al., *Science*, 329, 2010, 200-204.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 68 件) (全て査読有)

① Nakanowatari, T., H. Mitsudera, T. Motoi, I. Ishikawa, K.-I. Ohshima, and M. Wakatsuchi, Multidecadal-scale freshening at the salinity minimum in the western part of North Pacific: Importance of wind-driven cross-gyre transport of subarctic water to subtropical gyre. *Journal of Physical Oceanography*, 45, 2015, 988-1008 doi: 10.1175/JPO-D-13-0274.1.

② Matsuda, J., H. Mitsudera (2 番目), T. Nakamura (3 番目), (他 3 名), Overturning circulation that ventilates the intermediate layer of the Sea of Okhotsk and the North Pacific: the role of salinity advection. *Journal of Geophysical Research*, 120, 2015, 1462-1489 doi: 10.1002/2014JC009995

③ Nakamura, T., J. Ukita (5 番目), (他 6 人), A negative phase shift of the winter AO/NAO due to the recent Arctic sea-ice reduction in late autumn, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 2015, in press. doi:10.1002/2014JD022848

④ Ogi, M., B. Taguchi, M. Honda, D.G. Barber and S. Rysgaard, Sea ice in the Arctic Ocean and Okhotsk Sea are interconnected and controlled by atmospheric circulation. *Journal of Climate*, in press.
doi: 10.1175/JCLI-D-14-00297.1

⑤ Fujisaki, A., H. Mitsudera, J. Wang, and M. Wakatsuchi, How does the Amur River discharge flow over the northwestern continental shelf in the Sea of Okhotsk? *Progress in Oceanography*, 126, 2014, 8–20
doi:10.1016/j.pocean.2014.04.028

⑥ Taguchi, B., and N. Schneider, Origin of decadal-scale, eastward-propagating heat content anomalies in the North Pacific. *Journal of Climate*, 27, 2014, 7568–7586.
doi: org/10.1175/JCLI-D-13-00102.1

⑦ Kimura, N., (他 3 名), Influence of winter sea ice motion on summer ice cover in the Arctic, *Polar Research*, 32, 2013, 20193
doi:10.3402/polar.v32i0.20193

⑧ Nakamura, T., J. P. Matthews, T. Awaji, H. Mitsudera, Submeso-scale eddies near the Kuril Straits: Asymmetric generation of clockwise and counterclockwise eddies by barotropic tidal flow. *Journal of Geophysical Research*, 117, 2012, C12014, doi:10.1029/2011JC007754

⑨ Koseki, S., T. Nakamura, H. Mitsudera, and Y. Wang, Modeling low-level clouds over the Okhotsk Sea in summer: Cloud formation and its effects on the Okhotsk high, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 117, 2012, D05208, doi:10.1029/2011JD016462

[学会発表] (計 176 件)

① Matsuda, J., H. Mitsudera, T. Nakamura, H. Hasumi, M. Wakatsuchi, Overturning circulation ventilating the intermediate layer of the Sea of Okhotsk and the North Pacific: the role of salinity advection. AOGS 2014, July 29, Royton Sapporo Hotel, Sapporo, Japan.

② Taguchi, B., M. Ogi, K. Takaya, and H. Mitsudera, Decada-scale co-variability in sea-ice extent between summer Arctic Ocean and winter Okhotsk Sea, Davos Atmosphere and Cryosphere Assembly 2013, July 10, 2013, Davos, Switzerland.

[図書] (計 16 件)

① 三寺史夫, 中村知裕: 数値モデルを用いた環オホーツク地域の環境研究—将来予測へ向けて。「環オホーツク海地域の環境と経済」スラブ・ユーラシア叢書 田畑伸一郎、江淵直人 編, 北海道大学出版会 11, 2012,

61–88.

[その他]

<http://wwwoc.lowtem.hokudai.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 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: 2 0 3 6 0 9 4 3

(2) 研究分担者

中村 知裕 (NAKAMURA, Tomohiro)
北海道大学・低温科学研究所・講師
研究者番号: 6 0 4 0 0 0 0 8

浮田 甚郎 (UKITA, Jinro)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号: 8 0 2 7 2 4 5 9

木村 詞明 (KIMURA, Noriaki)
国立極地研究所, 国際北極環境研究センター・特任研究員
研究者番号: 2 0 3 7 4 6 4 7

小木 雅世 (OGI, Masayo)
海洋研究開発機構・地球環境変動領域・研究員
研究者番号: 5 0 3 9 2 9 5 7

金子 正美 (KANEKO, Masami)
酪農学園・農学生命科学部。教授
研究者番号: 0 0 3 4 7 7 6 7

(3) 連携研究者

田口 文明 (TAGUCHI, Bunmei)
海洋研究開発機構・アプリケーションラボ・主任研究員
研究者番号: 8 0 4 3 5 8 4 1

小守 信正 (KOMORI, Nobumasa)
海洋研究開発機構・アプリケーションラボ・主任技術研究員
研究者番号: 8 0 3 5 9 2 2 3

大島 慶一郎 (OHSHIMA, Keiichiro)
北海道大学・低温科学研究所・教授
研究者番号: 3 0 1 8 5 2 5 1

川島 正行 (KAWASHIMA, Masayuki)
北海道大学・低温科学研究所・助教
研究者番号: 1 0 2 8 1 8 3 3

高谷 康太郎 (TAKAYA, Kotaro)
京都産業大学・理学部・准教授
研究者番号: 6 0 3 9 2 9 6 6