

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2010～2014

課題番号：22221003

研究課題名(和文)北極海の海水激減 - 海洋生態系へのインパクト -

研究課題名(英文) Catastrophic reduction of sea-ice in the Arctic Ocean - its impact on the marine ecosystems in the polar region-

研究代表者

原田 尚美 (HARADA, Naomi)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境観測研究開発センター・研究開発センター長代理

研究者番号：70344281

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 152,300,000円

研究成果の概要(和文)：近年、海水融解が最も激しく生じている西部北極海において、海水減少に伴う低次生態系の生産量変化を時系列に把握し、海洋生態系モデルにこれら現場データを組み込み、低次生物の生産変化の再現や魚類資源の応答の予測を目的として研究を実施してきた。特筆すべき成果として、冬季の海水下において生物由来粒子が多く沈降しており、海洋中の渦と循環を介した陸棚起源水の輸送が重要であることがわかってきた。またモデルによる理想化実験の結果、陸棚からの輸送が海水減少によって活発化していることがわかった。以上の知見は、海水に覆われているため生物にとって不毛の地と見なされていた北極海盆域で生息環境が向上していることを意味する。

研究成果の概要(英文)：The marine ecosystem surrounding the Arctic Ocean is complicated and difficult to predict the future because “disadvantage” phenomena (e.g., ocean acidification) and “advantage” phenomena (e.g., improving light condition) for marine organisms, respectively, are simultaneously progressing. The aims of this study are 1) to estimate the temporal changes in biogenic particle fluxes in the western Arctic Ocean, 2) to develop a new model for marine ecosystems in the Arctic Ocean, and 3) to understand the response of marine ecosystems on the catastrophic environmental changes caused by rapid sea-ice reduction. The specific results of this study is finding a new important mechanism that lateral transporting nutrient-rich water mass from shelf break area to oceanic basin by eddies contributes to enhance the Arctic marine productivity in the Arctic basin. The findings imply that lower trophic level organism's habitats are enlarging in the Arctic Ocean due to recent sea ice reduction.

研究分野：生物地球化学、有機地球化学

キーワード：北極海 海洋生態系 セジメントトラップ 海水海洋物理モデル 海水融解

## 1. 研究開始当初の背景

北極域における古環境研究から、太陽の日照量逓減などにより 2000 年前から -0.22 /1000 年と長期にわたり寒冷化傾向にあった気温の変化が 20 世紀以降、上昇に転じた事が明らかとなってきた[ ]。IPCC2007 によると、北極域は地球温暖化の影響を最も強く被る地域とされる。海洋研究開発機構では、北極海にて海水分布域やその減少量の実態把握を行ってきた。その結果、海水減少メカニズムを明らかにしつつある[ ]。また、海洋酸性化の予測研究によれば、高緯度海域は、生態系への影響を早く被る海域であるとともに[ ]、温暖化に伴う海水融解が北極域の酸性化を促進する懸念も報告されている[ ]。一方、北極海の西部カナダ海盆周辺海域においては、植物プランクトンの生産は増加し、海水消失による生物ポンプの強化が示唆された[ ]。この結果は、海水消失によって北極海が大気中二酸化炭素のリザーバーの役割を持つ可能性を示唆する。このように、北極域の海洋生態系を取りまく環境変化は、地球上で最も深刻かつ急激であるとともに、二酸化炭素吸収能力の変化も予想され、北極海における海水の有無の海洋生態系への影響の解明と今後の海洋生態系像をモデルによって予測することが喫緊の課題である。

## 2. 研究の目的

海洋観測によって、海水減少に伴う北極海の環境変化を捉え、海洋生物はどう応答するのか生態系変化の黎明を捉え、培養飼育実験によって北極海の疑似環境を作り出し、動・植物プランクトンの生理・機能変化を理解することを目的とする。さらに、現場観測と培養飼育実験結果を新しく構築する生物資源モデルに利用し、餌環境変化から魚類資源の将来像の予測を目的とする。

### (1) 北極域の海洋構造及び海洋生産量の時系列変化の把握

係留系を用いた海洋物理場（水温・塩分・流向流速）の通年観測を行い、海水の成長・融解に伴う海洋物理環境の年変化を明らかにする。さらにセジメントトラップ係留系を設置し、本研究期間内で可能な限り長期間の沈降粒子試料を採取するとともに、プランクトンネット試料に含まれる生物の群集解析、元素分析等を実施し、群集及び生産量、季節変化、年変化について明らかにしていく。

### (2) 海水融解に伴う低次生産者の生理機能の応答把握

培養・飼育実験による植物生理学的手法を用い、低次生産者、特に海洋酸性化の影響を大きく被ると考えられる炭酸塩殻を持つ円石藻や浮遊性有孔虫を中心に、温度、塩分、二酸化炭素濃度変化に応答して生理機能がどう変化するのかを明らかにする。

### (3) 海洋生態系モデルによる生物生産変化の予測ならびにサケ族魚類の回遊経路変化予測

北極海の海水-海洋物理モデルに北太平洋

低次生産の標準モデル NEMURO をカップリングさせ、北極海海水-海洋物理-生態系モデル北極海版を新たに開発する。さらに、浮き魚資源モデルを結合した NEMURO・FISH を基盤に、資源変動モデルも構築する。これらの生態系モデルを用い、現場の海洋生態系の応答を記述するとともに、昇温、餌生物の変化によって、低次生態系の生産の応答や高次捕食生物の分布域がどう変化するかを定性的・定量的に予測する。

## 3. 研究の方法

### (1) セジメントトラップ係留系

2010 年 10 月から 2014 年 9 月にかけて、ノースウィンド深海平原の南部 Station NAP (75°N 162°W, 水深 1975 m) にセジメントトラップ係留系を海底設置し、沈降粒子の捕集実験を行った。設置深度は、年によって若干異なり 180-260m と 1300-1360m の 2 層である。防腐剤の中和ホルマリン濃度 5% を含む海水を捕集瓶に充填している。試料の捕集期間は 10-14 日である。

分析項目は、全粒子フラックス、粒子の主成分組成、炭素・窒素安定同位体比、有機化学組成、主なプランクトンの沈降遺骸群集等である。係留系の設置・回収には、海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」及びカナダ沿岸警備隊の砕氷船を用いた。

### (2) 結合モデル（物理環境と低次生態系）

本研究で用いた海水海洋物理モデルは、COCO [ ]で、「西部北極海モデル（水平 2.5 km 格子）」と「北極海全域モデル（水平 5 km 格子）」をそれぞれ整備した。低次海洋生態系モデルは、北太平洋海域の研究用に開発された NEMURO [ ]を北極海仕様で改良した上で COCO に結合させた。「西部北極海モデル」の領域は、チャクチ陸棚域およびカナダ海盆南部で、研究分担者の先行研究[ ]によって渦生成が活発化することが示されている 2003 年を対象とする実験を行った。「北極海全域モデル」では、2010 年を対象とする実験を行った。いずれも大気境界条件は NCEP 再解析データから作成し、ベーリング海峡では観測に基づく流量・水温・塩分・栄養塩濃度（硝酸塩/珪酸塩）の太平洋起源水を流入させた。また気候値の水温・塩分・栄養塩濃度を初期条件および側面境界条件に用い、陸棚堆積物の影響を考慮するために海底からの栄養塩フラックスも与えた。

### (3) 生物エネルギーモデル（シロサケ）

本研究で用いた生物エネルギーモデルは、シロサケ 1 個体あたりの成長率（体重増分）を主に捕食、代謝、排泄の関係式に基づいて計算するもので、北太平洋海洋科学機構のモデルタスクチームにより開発されたニシンおよびサンマのモデルをベースとしている。本研究では現在気候下と地球温暖化後の生物応答を比較するために、IPCC 第 4 次報告書における A1B シナリオで計算された全球気候モデルの海水温偏差データを生物エネ

ルギーモデルに入力することで、シロサケ生息可能域の変化を調べた。

#### 4. 研究成果

##### (1) セジメントトラップ観測

セジメントトラップ観測では、10月以降の初冬期に新鮮な二枚貝の稚貝を多く含む有機物粒子が大量に捉えられていた。沈降粒子の中には鉱物や沿岸性の珪藻種も存在することから、水深が浅い大陸棚からの海水輸送の関与が示唆され、Station NAPの沈降粒子フラックスと粒子組成には、表層海洋循環の動態が強く反映されることが分かった[雑誌論文]。

2010年10月4日から2012年9月17日までのセジメントトラップ試料の分析結果について、珪藻殻の沈降粒子フラックス(珪藻フラックス)と群集組成は、現場の海洋表層循環の経年変動を反映していたことが分かった[雑誌論文]。珪藻フラックスは、全粒子フラックスの時系列変動と同様に、2010年および2011年の10月から11月にかけて極大を示した(図1)。10月から11月のフラックス極大には、チャクチ海の陸棚水に多く含まれている *Chaetoceros* 属とその休眠胞子の優占が寄与した。北極海において生物生産と生物源粒子の沈降量が一年で最大になる夏季においては、2011年8月から9月にかけて、*Fossula arctica* など海水関連種を主体とする珪藻フラックスの増加が観測された。*F. arctica* は、北極海陸棚域の海水藻類および陸棚表層堆積物の遺骸群集から主な種群の一つとして報告されている。2012年夏は珪藻フラックスの増加が2011年夏よりも小さく、海水関連種の優占は見られなかった。2010年および2011年は、珪藻群集が陸棚水の影響を示し、さらに粘土~シルトサイズの微細な鉱物粒子が、重量にして全沈降粒子の約半分を占めたことから、陸棚水の影響が示唆された。2010年11月から12月にかけての陸棚物質の海盆輸送過程には、陸棚縁辺

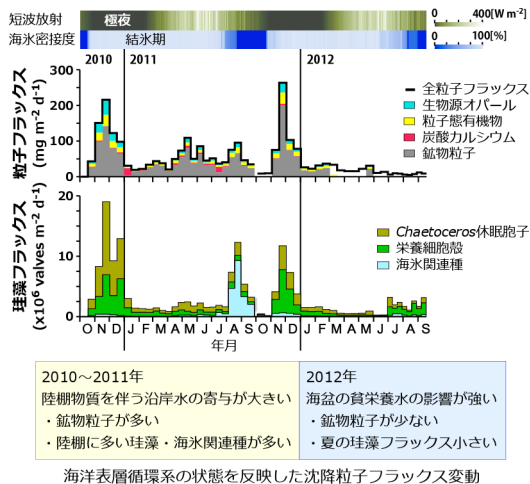


図1. Station NAPの180 - 260m深度における全粒子フラックスと組成、珪藻フラックスおよび珪藻群集と海洋表層水塊との関係

のパロー峡谷沖合で発生する渦による陸棚物質の取込と、その渦の陸棚縁辺に沿った西方移動[雑誌論文]が重要な役割を果たしていた。

2012年の全粒子フラックスや珪藻フラックスは2010年および2011年よりも少なかった。夏季カナダ海盆の海面高度計算値の2011年と2012年の比較から、2012年夏はポーフト海洋循環が前年夏よりもより西側に広がったために、貧栄養な海盆の表層水がStation NAPに輸送されやすい条件にあった。この水塊分布の違いが全粒子フラックスや珪藻フラックスに反映されたと考えられる。

動物プランクトンスイマー群集は、大型カイアシ類が優占し、クラスター解析から3つの種群(A, B-1, B-2)に分類された[雑誌論文]。種群Aは7-10月の海水氷がなく生物生産の活発な時期、種群B-1は11-1月の結氷期で陸棚物質の供給が多い時期、種群B-2は3-6月の結氷期で餌となる植物プランクトンにとって光環境が改善する時期にそれぞれ優占した。カイアシ類の優占種は4種で、その発育段階の季節性は、種によって異なっていた。この季節性には、植食性が肉食性かといった各種の食性の違いが関係していると考えられる。2011年8-9月には、北極海では生息しておらず太平洋に固有の大型カイアシ類 *Neocalanus cristatus* が多数出現した。この時期には、陸棚域の海水関連珪藻種も増加しており、動植物プランクトンの動態観測から、チャクチ海陸棚からカナダ海盆に向けた水塊の一時的な張り出しが示唆された。

沈降粒子に含まれるカイアシ類群集は、*Oncaea parila* が夏の一部試料を除き群集の半数以上を占め、ほかに *Metridia longa* や *Calanus hyperboreus* など4種もそれぞれ1-4%程度見られた[雑誌論文]。*O. parila*の沈降フラックスは、全粒子フラックスの時系列変動に同調していた。このことは、*O. parila*の鉛直遊泳能力が弱く、粒子態有機物に付着する生態特性と関係があるとみられる。ほかの4種は種によって、各発育段階の個体が増加する時期に違いがあることから、鉛直移動とライフサイクルに各種特有の季節性が存在し、前述の食性の違いも含め、うまく棲み分けていることが示された(図2)。比較的多く見られた4種の中で、雑食性で水中の懸濁

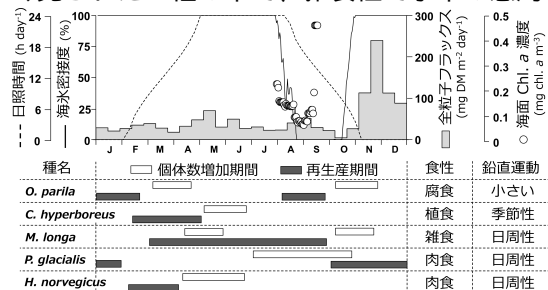


図2. Station NAPの約200m深度で実施した沈降粒子観測に基づく主要カイアシ類の出現期間と再生産期間、および全粒子フラックス、日照時間、海水密度、海面クロロフィル濃度の季節変動[雑誌論文]

粒子を捕食する *M. longa* は、陸棚物質の供給が高い10 - 2月にかけて油球を体内に蓄積し、3 - 9月にかけて再生産をしていた。7ヶ月に及ぶ *M. longa* の再生産期間は、ポーフォート海やバレンツ海など他の高緯度海域の事例より長い。基礎生産が活発なチャクチ海の陸棚物質の Station NAP への供給が、*M. longa* の約半年にわたる長期間の再生産を支えている可能性がある。

## (2) 結合モデル（物理環境と低次生態系）

太平洋起源水がチャクチ陸棚域からカナダ海盆域に流入する際に発生する直径数十kmの海洋渦と植物プランクtonの基礎生産の関係について解析を行った [雑誌論文]。「西部北極海モデル」による季節変動実験の結果は、植物プランクtonの海水縁ブルーム・垂表層クロロフィル極大・サイズ組成といった当該海域の主たる時空間変動特性をよく捉えていることを確認した。次に植物プランクtonの基礎生産に対する海洋渦の役割を調べたところ、バロー峡谷の下流域で夏季に発生する海洋渦の生成期から成長期にかけては、渦自身の移流および回転流によって基礎生産性の高い陸棚水が取り込まれることで、渦内部で光合成活動が継続し、渦成熟期には、渦中心部の鉛直混合や外縁部の湧昇流によって、下層から表層付近に栄養塩が供給されており、渦自身の力学によって基礎生産が促進されている様子も捉えられた。

次に、Station NAPにおいて、沈降粒子量が初冬に極大となる機構を調査した [雑誌論文]。その結果、ノースウインド深海平原に加えて、東側のカナダ海盆南部でより多くの粒子が沈降しており、海洋中の渦活動が重要な役割を担っていることが明らかとなった（図3）。本実験結果からは、上記の海洋渦 [雑誌論文] によって栄養塩豊富なチャクチ陸棚水が海盆域に輸送されるとともに、渦内部では動・植物プランクtonが活発に活動していることが示唆された。極夜時期の海水下では北極海の多くの海域でプランクton活動が休止状態だが、流入する海洋渦の中では生物の生産活動が継続されることにより、渦が通過する初冬期の海盆域で生物粒子沈降量が極大となったと考えられる。

本研究ではさらに、海水の厚さの条件を変える数値実験を行い、今回明らかになった渦活動とそれに伴う生物起源粒子の沈降が、海水減少に伴って徐々に活発化していくメカニズムも明らかにした（図4）。栄養塩が比較的豊富に存在するチャクチ陸棚域では、海水で覆われる時期が短くなることで植物プランクtonの生産が促進される。また海水の流れを抑える蓋の役割を果たしていた海水が減少すると、海洋表層の海流や渦などの海水の動き

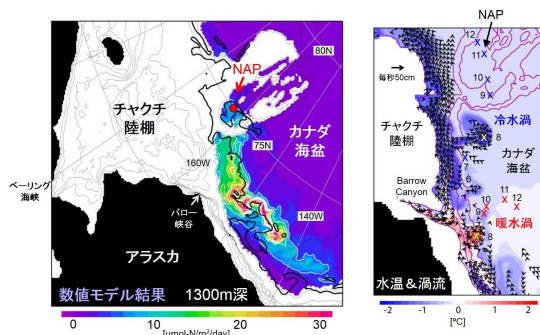


図3. 北極海全域を対象とした海水海洋結合モデルで計算された（左）粒子状有機窒素 PON の沈降フラックス（1300m 深、11月中旬）と（右）海水温および海洋流速場（100m 深、8月中旬）。右図の数字と×は各月の渦の位置（移動経路）を表す。

が強化される。それらの結果、陸棚域の栄養塩の豊富な海水が渦により海盆域に多く運ばれ、陸棚水の経路上では魚類等の餌となる動・植物プランクtonの生息環境が向上し、それに伴って生物由来粒子の海洋深層への沈降も増えると考えられる。これは北極海における「生物ポンプ」の活発化も意味する。

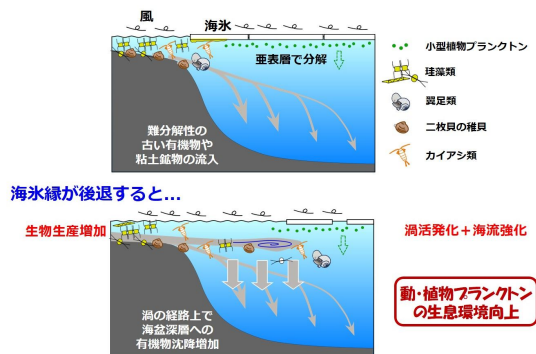


図4. 海水減少に対する海洋生態系の応答を示した模式図。海水で覆われる時期が短くなることで、陸棚上では生物生産が活発化、海盆域では渦活動および海流が強化されることで海洋深層への有機物沈降が増加すると考えられる。

## (3) 生物エネルギーモデル（シロサケ）

西部北極海におけるシロサケ生息可能域について、生物エネルギーモデルを用いた解析を行った [雑誌論文]。日本系のシロサケは北海道周辺の河川を主たる産卵・孵化水域とし、ベーリング海での索餌回遊（夏季）と北太平洋東部での越冬を繰り返す。やがて最終成熟を迎えると南下し、日本に母川回歸することが知られている。しかし地球温暖化に伴って、生息に最適な水温帯が高緯度へ移動すれば回遊経路が変化し、一部は北極海に流入することも推察される。本研究では、現在気候下と地球温暖化が進行した21世紀末の生息可能域をモデル実験の結果を評価した。

本研究ではシロサケの「生息可能域」を生物エネルギーモデルで計算されたシロサケ1個体あたりの成長率が正の海域として定義す

る。この成長率は餌となる動物プランクトンのバイオマスが多いほど増加する一方で、最適環境を上回る水温上昇が起これば減少傾向を示す。最適水温帯は個体体重にも依存するが、約4-12 g WWなので、現在気候下であれば、水温上昇が生息可能域の拡大につながる。一方、21世紀末を想定した実験では、餌量は全体的に増加するが、ベーリング海峡周辺において水温が著しく上昇し、夏季の生息可能域が限定されるという結果も得られた(図5)。

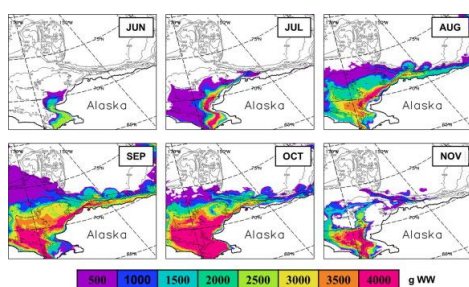


図5. 21世紀末の西部北極海におけるシロサケの生息可能域分布。カラーバーは個体体重を示しており、大きな個体ほど生息可能域が限られる。

#### (4) まとめ

時系列の植物・動物プランクトンの沈降に関わる観測データと海水海洋物理生態系モデルの連携により、北極海の海水融解に伴って、生物生産が増加することを見出した。加えて、機構として渦の重要性を提唱した点で新規性が高く、西部北極海が海水の融解に伴って生産する海に変わりつつあることを定量的に示した画期的な成果である。研究期間中、8回の招待講演を受けるなど、本研究に携わった面々は、国内外の北極海の海洋生態系研究をリードする位置に居る。加えて、日本経済新聞を始め24社から研究成果が記事となって掲載され、一般社会に対してもインパクトの高い成果を得ることができた。また、シロサケのモデルによる生産量の予測結果は、北太平洋へ回帰するサケの減少を示唆し、北極海の生態系変化が日本を含めた北太平洋の生態系変化とも密接に関係していることがわかる。北極海域における時系列観測の継続や数値モデルのさらなる改良を重ねていくことで、北極海の海洋生態系に関するさらに詳細なプロセスの解明が期待される。

#### <引用文献>

- Kaufman et al. (2009) *Science*, doi:10.1126/science.1173983.  
 Kikuchi et al. (2007) *Deep Sea Res.*, 54, 1675–1686.  
 Orr et al. (2005) *Nature*, 437, 681–686.  
 Yamamoto-Kawai et al. (2009) *Science*, 326, 1098–1100.  
 Nishino et al. (2009) *JO*, 60, 871–883.

Hasumi, H. (2006) *CCSR Ocean Component Model (COCO) version 4.0*, Center for Climate System Research Report, Univ. of Tokyo, 25, 103pp.

Kishi, M. J., et al. (2007) *Ecol. Model.*, 202, 12–25, 2007.

Watanabe, E. (2011) *J. Geophys. Res.*, 116, doi:10.1029/2010JC006259.

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計23件)

Matsuno, K., Yamaguchi, A., Fujiwara, A., Onodera, J.ほか3名 (2015) Seasonal changes in the population structure of dominant planktonic copepods collected using a sediment trap moored in the western Arctic Ocean. *J. Natural History*(査読あり). doi:10.1080/00222933.2015.1022613. (印刷中)

Ikenoue, T., Bjørklund, K.R., Kruglikova, S.B., Onodera, J., Kimoto, K., Harada, N. (2015) Flux variations and vertical distributions of siliceous Rhizaria (Radiolaria and Phaeodaria) in the western Arctic Ocean: indices of environmental changes. *Biogeosciences* (査読あり) 12, 2019–2046. doi:10.5194/bg-12-2019-2015.

Onodera, J., Watanabe, E., Harada, N., Honda, M.C. (2015) Diatom flux reflects water-mass conditions on the southern Northwind Abyssal Plain, Arctic Ocean. *Biogeosciences* (査読あり) 12, 1373–1385. doi:10.5194/bg-12-1373-2015.

Yoon, S., Watanabe, E., Ueno, H., Kishi, M.J. (2015) Potential habitat for chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in the Western Arctic based on a bioenergetics model coupled with a three-dimensional lower trophic ecosystem model, *Prog. Oceanogr.* (査読あり) 131, 146–158, doi:10.1016/j.pocean.2014.12.009.

Matsuno, K., Yamaguchi, A., Fujiwara, A.ほか6名 (2014) Seasonal changes in mesozooplankton swimmers collected by sediment trap moored at a single station on the Northwind Abyssal Plain in the western Arctic Ocean. *J. Plankton Res.* (査読あり) 36, 490–502. doi:10.1093/plankt/fbt092.

Park, Y.-H., Harada, N. (6番目/10人中) (2014) Distribution, source and transportation of glycerol dialkyl glycerol tetraethers in surface sediments from the western Arctic Ocean and the northern Bering Sea. *Mar. Chem.* (査読あり) 165, 10–24, doi:10.1016/j.marchem.2014.07.001.  
 Watanabe, E., Onodera, J., Harada, N.ほか8名 (2014) Enhanced role of eddies in the Arctic marine biological pump, *Nature Comm.* (査読あり) 5, 3950,

doi:10.1038/ncomms4950.  
Matsuno K., Yamaguchi, A., Fujiwara, A.,  
Onodera, J., Imai, I., Chiba, S., Harada N.,  
Kikuchi, T. (2013) Seasonal changes in  
mesozooplankton swimmers collected by  
sediment trap moored at a single station of  
Northwind Abyssal Plain in the western  
Arctic Ocean. *J. Plankton Res.* (査読あり)  
36, 490–502, doi:10.1093/plankt/fbt092.  
Watanabe, E. (2013) Linkages among  
halocline variability, shelf-basin interaction,  
and wind regimes in the Beaufort Sea  
demonstrated in pan-Arctic Ocean modeling  
framework, *Ocean Model.* (査読あり) 71,  
43–53, doi:10.1016/j.ocemod.2012.12.010.  
Watanabe, E., Kishi, M.J., Ishida, A., Aita,  
M.N. (2012) Western Arctic primary  
productivity regulated by shelf-break warm  
eddies, *J. Oceanogr.* (査読あり) 68, 703–718,  
doi:10.1007/s10872-012-0128.

〔学会発表〕(計 66 件)

Onodera, J. ほか 2 名, Settling diatom flux  
reflecting hydrographic change in the  
western Arctic Ocean, ISAR-4 Meeting,  
2015 年 4 月 27 日, 「富山国際会議場(富  
山県富山市)」  
Kimoto, K., ほか 7 名, Seasonality of shell  
dissociation of marine calcifiers in the Arctic  
Ocean. *Arctic Change*, 2014 年 12 月 9 日,  
「オタワ(カナダ)」  
Watanabe, E., Arctic modeling study on  
bio-physical hot spots along the pathway of  
Pacific water, Gordon Research Conference  
on Polar Marine Science, 2013 年 3 月 10 日,  
「ベンチュラ(米国)」招待講演  
Harada N., ほか 14 名, Catastrophic  
reduction of sea-ice in the Arctic Ocean-its  
impact on the marine ecosystems in the polar  
region- The 3rd International Symposium on  
the Arctic Research (ISAR-3), 2013 年 1 月  
15 日, 「日本科学未来館(東京都江東区)」  
基調講演  
Watanabe, E., ほか 5 名 Biological hot  
spots emerging along the pathway of Pacific  
summer water in the western Beaufort Sea,  
PICES Annual Meeting, 2012 年 10 月 20 日,  
「広島国際会議場(広島県広島市)」招待  
講演

〔その他〕

- (1) Web を利用したもの  
<http://www.jamstec.go.jp/arctic-eco/index.html>
- (2) 新聞掲載等  
朝日新聞朝刊 2013 年 3 月 16 日ほか 23 件
- (3) パンフレット  
Blue Earth 120号 2012年12月発行  
海洋研究開発機構が出版している一般向  
けの科学雑誌。高校等へ6700部配布。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原田 尚美 (HARADA, Naomi)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境観  
測研究開発センター・研究開発センター長代  
理  
研究者番号: 7 0 3 4 4 2 8 1

(2) 研究分担者

木元 克典 (KIMOTO, Katsunori)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境観  
測研究開発センター・主任技術研究員  
研究者番号: 4 0 3 5 9 1 6 2

菊地 隆 (KIKUCHI, Takashi)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境観  
測研究開発センター・グループリーダー  
研究者番号: 3 0 3 5 9 1 5 3

白岩 善博 (SHIRAIWA, Yoshihiro)  
筑波大学・生命環境科学研究科(系)・教授  
研究者番号: 4 0 1 2 6 4 2 0

田中 裕一郎 (TANAKA, Yuichiro)  
独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報  
研究部門・副研究部門長  
研究者番号: 5 0 3 5 7 4 5 6

岸 道郎 (KISHI, Michio)  
北海道大学・大学院水産科学研究院・特任教  
授  
研究者番号: 9 0 2 1 4 7 6 7

渡邊 英嗣 (WATANABE, Eiji)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境観  
測研究開発センター・研究員  
研究者番号: 5 0 7 2 2 5 5 0

(3) 連携研究者

西野 茂人 (NISHINO, Shigeto)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境観  
測研究開発センター・主任技術研究員  
研究者番号: 1 0 4 2 1 8 8 5

鈴木 石根 (SUZUKI, Iwane)  
筑波大学・生命環境科学研究科(系)・教授  
研究者番号: 1 0 2 9 0 9 0 9

広瀬 侑 (HIROSE, Yu)  
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 3 0 6 1 6 2 3 0

伊東 素代 (ITOH, Motoyo)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境観  
測研究開発センター・技術研究員  
研究者番号: 6 0 3 7 3 4 5 3

山口 篤 (YAMAGUCHI, Atsushi)  
北海道大学・大学院水産科学研究院・准教授  
研究者番号: 5 0 3 4 4 4 9 5

小野寺 丈尚太郎 (ONODERA, Jonaotaro)  
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境観  
測研究開発センター・主任研究員  
研究者番号: 5 0 4 6 7 8 5 9