

平成22年 5月 6日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007年度～2009年度

課題番号：19405002

研究課題名(和文) 環境変動に対するベーリング海・チャクチ海の海洋生態系の応答

研究課題名(英文) Marine ecosystem responses to global climate change
in the Bering and Chukchi Seas

研究代表者

平譯 享 (HIRAWAKE TORU)

北海道大学・大学院水産科学研究院・准教授

研究者番号：70311165

研究成果の概要(和文)：2007年および2008年に実施された現場観測と衛星リモートセンシングデータを利用することにより、海氷が最も後退した2007年には、それ以前よりも小型の植物プランクトンが優占していたこと、地球温暖化が進むとシロザケの現在の分布域は著しく狭まり、海氷が減少した北極海などの北方へ移動せざるを得ないこと、海氷の張り出しに対して底棲魚類の種に大きな変動は認められないことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)： *In situ* investigations in 2007 and 2008 and satellite remote sensing data revealed the following: 1. Smaller phytoplankton was dominant in 2007 compared with past years. 2. Remarkable decrease in distribution area of chum salmon is anticipated and the salmon will have to move toward north such as the Arctic Ocean where sea will be shrunk. 3. Significant change in species of demersal fishes with rapid decline of sea ice extent was not recognized.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
20年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
21年度	2,100,000	630,000	2,730,000
年度			
年度			
総計	13,200,000	3,960,000	17,160,000

研究分野：海洋光学・基礎生産

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：海洋生態系，ベーリング海，チャクチ海，北極海，海氷，海洋環境，
生物生産，生物多様性

1. 研究開始当初の背景

北極圏縁辺海には季節海氷が存在するため、海氷の張り出し・後退と密接な関係をもつ独自の生態系が作り上げられていると考えられる。その氷海域生態系では、高い基礎生産力を基にする高い生物生産力を示し、将

来の人類への食料供給を考える上でも極めて重要な海域である。近年、北極における大気・海洋に大きな変化の兆候が示唆されており、大気変動モードである Arctic Oscillation (AO)の上昇傾向が報告され、その傾向が地球温室効果を予測する指標になり得ることが

明らかとなってきた(Thompson and Wallace, 1998, 2000)。また、人工衛星による観測データから、最近のグリーンランド氷床の急速な減少(Velicogna and Wahr, 2006; Chen et al., 2006)、氷河の後退、ここ数年の冬季海氷面積の急激な減少(Comiso, 2006)なども認められている。これらの雪氷圏における大規模な現象は海洋への融解水流入の増加を意味し、海洋の鉛直混合の低下、物質循環の変化、さらに生物群集への影響が懸念される。とりわけ海水の変動は、直接的に氷海生態系へ多大な影響を与えらる。

このように、地球規模での海洋環境の変化が多様性に富む海洋生態系へどのように影響しているか、国際的な関心が高まり、様々な国際観測計画やプロジェクトが進展し、ベーリング海やチャクチ海においても、米国、カナダ、ロシアが中心となった観測が実施された。

これまで実施されてきたこれらの北極圏縁辺海研究では、対象海域の物質循環や比較的低次の生物生産を解明することに重点が置かれてきたため、特にチャクチ海、ベーリング海における魚類を含めた生態系については未解明な部分が多い。それに対し、我々は、1996年よりベーリング海大陸棚縁辺域におけるグリッド観測を練習船「おしよる丸」により継続的に実施し、一次生産、二次生産、魚類生産および海洋環境情報についてデータを蓄積してきた。また、1991年および1992年にはチャクチ海およびベーリング海において底生魚類についての研究航海を実施し、その分布を明らかにした。さらに国際極年(IPY)の観測航海として、2007年および2008年には「おしよる丸」による南東ベーリング海およびチャクチ海の海洋観測航海を実施する予定である。トロール採集を実施可能な「おしよる丸」は、両海域における魚類、底生生物までも含めた生態系全体の把握を可能とする。

2. 研究の目的

本研究では、季節海氷域である南東ベーリング海およびチャクチ海において、海洋環境変動と海洋生態系の応答を明らかにすることを目的とし、南東ベーリング海およびチャクチ海の海洋環境と生物生産との関係および多様性調査、1991年および1992年との比較による海洋環境および生物相の変化の解明、生態系構造の環境変動に対する応答に焦点を当てて研究を実施した。

3. 研究の方法

2007年7-8月および2008年6-7月の間、南東ベーリング海およびチャクチ海の米国領海内または公海上で、北海道大学水産学部附属練習船「おしよる丸」による調査を実施

した(図1)。

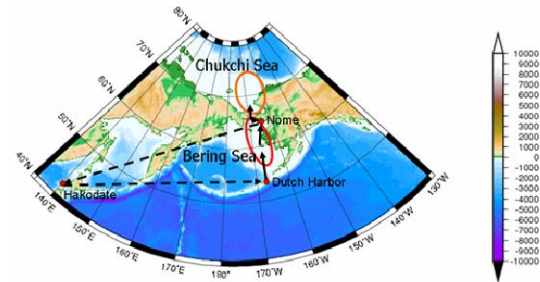


図1. ベーリング・チャクチ海調査海域

本調査では、CTDによる水温、塩分の測定を行うと同時に採水を行い、栄養塩、植物色素、基礎生産力、植物プランクトン種組成を測定した。また、海色衛星データを利用するための光学観測を実施し、植物プランクトンのサイズ別分布を衛星から推定した。

さらに、プランクトンネットおよび各種ネットを使用した動物プランクトンと幼稚魚の採集、オッタートロール、ビームトロール、流し網、延縄、釣りによる魚類、底生生物の採集を行った。また、DNA分析用組織を採取し、マイクロサテライトまたはミトコンドリアDNA塩基配列を解読し、既知の集団の塩基配列との比較による集団遺伝学的解析を行いサケ属魚類の系群識別を行った。底生生物は固定した後、その分類と計数を行った。

最終年度にはワークショップを開催し、本航海で得られた成果について議論を行った。

4. 研究成果

(1) 海洋環境および低次生産の応答

初年度にあたる2007年は、海水の張り出しが非常に弱く9月には過去最低を記録した。観測海域には全く海氷を見ることは無かった。さらに物理観測ではアラスカ沿岸において12~14°Cの高水温が観測された。これは、海氷の張り出しが過去最小となった原因の一つをいち早く捉えた重要な結果である。

また、衛星リモートセンシングを利用した観測を実施し、アラスカ沿岸の高水温、海氷の後退および植物プランクトンブルームの様子が海洋観測期間中を含めモニタリングした。太平洋水流入が海水の挙動に影響を与えていると考えられるバロー沖をモデルとして解析を行ったところ、植物プランクトンブルームの時期と規模が海氷融解と太陽放射増加のタイミングに依存していることが明らかとなった。

さらに、光学観測データを利用し、植物プランクトンサイズを海色リモートセンシングデータから推定するアルゴリズムを開発した。2007年および2008年の調査によって検証した結果、推定方法に改良が必要なものの大型/小型の植物プランクトンが優占する海域を判断することができた。その後の改

良により、大型/小型の優占度を 67%の確率で推定することが可能となった。

このアルゴリズムを利用し、過去数年間の優占植物プランクトンサイズとクロロフィル a バイオマスの経年変化をまとめた。海水が最も後退した 2007 年には、それ以前に比べて小型の植物プランクトンが優占していたことが明らかとなった (図 2)。しかしながら、現場において局所的に基礎生産および種組成を見ると、それぞれの場所で異なる応答をしていることが示された。

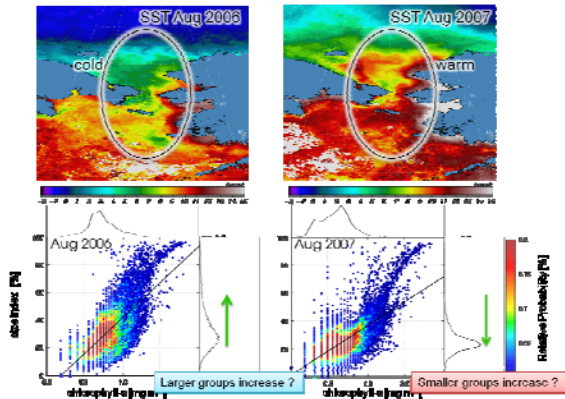


図 2. 2006 年および 2007 年の海面水温 (SST) 分布およびクロロフィル a 濃度とサイズ指数との関係。

ワークショップでは動物プランクトンの研究者と議論を行った。2007 年の動物プランクトンのバイオマスと多様性は 1991 年、1992 年、2008 年に比べ共に高く、太平洋種のチャクチ海への流入も確認された。したがって、今後は植物プランクトンの増殖のみならず、動物プランクトンによる捕食も考慮して調査・解析を進める必要がある。

(2) サケ科魚類の応答

本調査では十分なサンプルが得られなかったため、北海道系シロザケについて、60 年間 (1945-2005 年) にわたる鱗分析と成長バックカリキュレーションを行った。1990 年代以降地球温暖化のプラスの影響を受け 1 年目の成長量が増加し生残率が高くなり個体群サイズが著しく増加したこと、その結果、ベーリング海での限られた環境収容力により密度依存効果が顕著になったことが分かった。

IPCC/SRES-S1B シナリオによる亜寒帯海域の SST 予測から、このまま地球温暖化が進むとシロザケの分布域は著しく狭まり、北極海などの北方へ移動せざるを得ないこと、密度依存効果が益々顕著となるであろうことがモデル研究から明らかになった。また、衛星画像からも北極海周辺の海氷の減少が明瞭に観察され、上記の予測の妥当性が示唆された (図 3)。

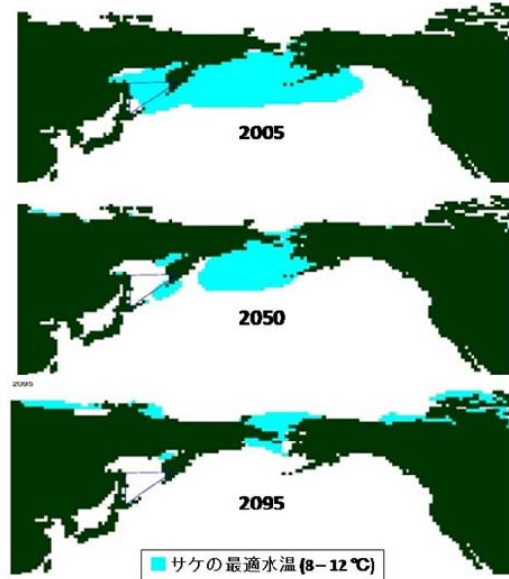


図 3. IPCC/SRES-S1B シナリオに基づくシロザケ海洋分布に及ぼす地球温暖化の影響予測図。

また、密度依存効果を個体群レベル、ANCOVE を用いてメタ個体群レベルおよび種レベルで比較検討したところ、密度依存効果は個体群レベルにおいて顕著であり、メタ個体群レベルおよび種レベルに及ぼす影響はそれほど大きくないことが示唆された。このことは、孵化場魚と野生魚との生物学的相互作用がそれほど顕著ではない可能性をも示唆している。

(3) 底棲魚類の応答

2007 年と 2008 年の 2 年間実施した船尾オッタートロール調査で採集された魚類うち合計 933 個体をサンプルとして持ち帰り、分類学的に精査した。その結果、7 目 15 科 51 種の魚類が分類同定され、両海域での生息が確認された。このうちベーリング海から確認された魚類は 43 種であり、チャクチ海から確認された魚類は 33 種であった。また、チャクチ海だけから確認された魚類はトゲギンポ *Eumesogrammus paraecis*、コオリメダマギンポ *Lumpenus fabricii*、ホッキョクゲンゲ *Lycodes turneri*、マユガジ属の 1 種 *Lycodes* sp.、ツノシャチウオ *Hypsagonus quadricornis*、オナガトクビレ *Podothecus veterinus*、ヒメキリカジカ *Trichocottus brashnikovi* およびヨメカジカ *Arteidiellus scaber* の 8 種であった。さらに、アカガレイ属 *Hippogossoides* に含まれ互いに著しく類似するウマガレイ *H. elassodon* とドロガレイ *H. robustus* では、前種がベーリング海南部の調査域だけで生息が確認された一方、後種はベーリング海北部のポリニア海域とチ

ヤクチ海から確認され、分布域が重複しないことが明らかになった。調査した2年間のうち、2007年は北極海が過去最小の海水面積となった年であり、海水面積が例年並みになった2008年とでベーリング海ならびにチャクチ海での魚類の出現種と分類群構成を比較したが、両年で顕著な差異は確認されなかった。なお、これらの分類学的に調査された魚類サンプルは北海道大学総合博物館に学術標本として登録し、保管されている。

(4)まとめ

2007-2008年は国際極年であったため、北極海における多数の調査が欧米各国によっても実施されたが、低次生産から高次捕食者まで渡る調査はほとんど無い。本研究の成果は環境変動、特に2007年の急激な海水減少に対する生物の応答を、植物プランクトンから底棲魚類まで、幅広く調べることができた。

以上の成果は、海水の激減が低次生産過程に短時間のうちに直接的に影響を与えているが、さらに高次の生物はそのような短い時間スケールで明確な応答を示さないことを示唆するものであり、観測・評価方法を改良しつつ今後の長期にわたり当該海域の監視をすることが必要である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計11件)

- ① Mizobata, K. Shimada, K. Woodgate, R. Saitoh, S. Wang, J., Estimation of heat flux through the Eastern Bering Strait, *J. Oceanogr.*, 査読有, 66, 2010, 405-424.
- ② Drinkwater, K. F. Kaeriyama, M. et al., On the processes linking climate to ecosystem changes, *J. Mar. Sys.*, 査読有, 79, 2009, 374-388.
- ③ Seo H. Kudo, H. Kaeriyama, M. et al., Spatiotemporal change in growth of two populations of Asian chum salmon in relation to intraspecific interaction, *Fish. Sci.*, 査読有, 75, 2009, 957-966.

[学会発表] (計19件)

- ①藤原周, 平譚享, 鈴木光次, 齊藤誠一, ベーリング海およびチャクチ海陸棚域における植物プランクトンサイズの空間的季節変動特性, 日本海洋学会春季大会, 2010年3月27日, 東京海洋大.
- ② Seo, H. M. Kaeriyama ほか, Long-term variations in body size and relative abundance of Pacific salmon during 1943-2007, PICES 18th Annual Meeting,

2009/10/29, Jeju, Korea.

③ Kudo, H., Morphological development and molecular expression of the olfactory organ in chum salmon (*Oncorhynchus keta*), 23rd Northeast Pacific Pink and Chum Salmon Workshop, 2008年2月20日, 米国 ベーリンハム.

④ Yabe, M., Species diversity and distribution of the cottid genus *Porocottus* (Osteichthyes: Perciformes), The International Symposium on the Origin and Evolution of Natural Diversity, 2007年10月3日, 札幌.

⑤ Hirawake, T., Fujiwara, A., Saitoh, S., Discrimination of dominant size in natural phytoplankton community in sub-Arctic waters, Ecosystem Study of Subarctic Sea (ESSAS) Workshop, 2007年6月6日, 函館市.

[図書] (計4件)

① 帰山雅秀 (川崎健, 花輪公雄, 谷口旭, 二平章編), 成山堂書店, 東京, レジーム・シフトー気候変動と生物資源管理 p131-139, サケ類の生態系ベースの持続的資源管理と長期的な気候変動, 2007.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ
<http://odyssey.fish.hokudai.ac.jp/IPY/クルーズレポート、ルーチンデータ> (乗船者
にのみ公開)

報道関連情報

- ① 2007年8月25日朝日新聞 全国版 朝刊および夕刊 おしよろ丸北極海航海について掲載
- ② 2007年8月30日-9月3日 朝日新聞 北海道版朝刊 おしよろ丸北極海航海研究内容について連載
- ③ 2008年7月19日 北海道新聞朝刊 おしよろ丸ダッチハーバー入港時に実施された地元住民向け講演
- ④ 2008年9月1日 北海道新聞夕刊 帯広市で開催された講演会

アウトリーチ活動情報

- ① おしよろ丸北極海研究航海パンフレット
- ② ホームページ作成
- ③ 2008年7月17日 ダッチハーバー住民向け講演会 平譚ほか3名による講演
- ④ 2008年9月1日 講演「南極や北極にみる温暖化現象」、帯広市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平譚 享 (HIRAWAKE TORU)

北海道大学・大学院水産科学研究院・准教授

研究者番号：70311165

(2) 研究分担者

齋藤 誠一 (SAITOH SEI-ICHI)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授

研究者番号：70250503

梶山 雅秀 (KAERIYAMA MASAHIDE)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授

研究者番号：80305937

工藤 秀明 (KUDO HIDEAKI)

北海道大学・大学院水産科学研究院・准教授

授

研究者番号：40289575

矢部 衛 (YABE MAMORU)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授

研究者番号：801742572

(3) 連携研究者

研究者番号：