

「地球変動のメカニズム」  
平成9年度採択研究代表者

若土 正暁

(北海道大学低温科学研究所 教授)

## 「オホーツク海氷の実態と気候システムにおける役割の解明」

### 1. 研究実施の概要

高緯度海域に広く分布する海氷が、世界の気候に大きな役割を果たしている事はよく知られている。なかでも、オホーツク海は地球上で最も低緯度に位置する海氷域であり、地球温暖化の影響が最も顕著に現れる場所として、近年特に注目されている。また、オホーツク海は北太平洋中層水の起源水域であり、二酸化炭素の吸収域、高生物生産域など物質循環の見地からも重要な海域である。

しかし、オホーツク海はこれまで観測が少なく、何故そのような低緯度で海氷が形成・発達できるのか等、基本的な問題が未解決である。本研究では、ロシアの協力によりロシア船を用いたオホーツク海ほぼ全域の海洋観測を中心に、リモートセンシング、モデリングなどの手段を総動員して、海氷の消長過程、北太平洋中層水の起源水の生成機構、海氷変動とそのインパクト、大気-海洋相互作用などを明らかにし、オホーツク海における海氷の実態と気候システムにおける役割の解明をめざしている。

平成11年度には、前年度に引続きロシア船「クロモフ号」を用いた第二回目の航海を海氷形成前（平成11年8月27日-9月28日）に行なった。今年の航海では、通常の海洋観測（CTD/採水）の他に、昨年設置した流速計やセジメントトラップなどの係留系の回収や、昨年同様、過去10万年の海氷変動・環オホーツク気候の復元を可能にする海底堆積物コアのサンプリングや、さらにオホーツク海の海洋循環を明らかにするためにアルゴスブイ20基を新たに展開した。特に、二回目の航海では、海氷形成が最初に起こり、高密度生成域・アムール河からの淡水供給などオホーツク海研究の鍵を握る海域ながら、今まで進入することさえ不可能だった北西部大陸棚における、初めての本格的な海洋観測を実施した。また、北海道沿岸沖での砕氷船「そうや」を用いた海氷域観測を、これまでどうり継続して実施した他、ロシア航空機を用いたオホーツク海氷域の上空からの大気・海氷観測を初めて行なった。幸いにも、今冬は厳しい冬型の気圧配置が続き、海氷も発達した。この発達した海氷域の下の海洋観測データは、二回目の航海で設置した、合計19ヶ所の係留系を今年度の航海（平成12年6月3日-7月5日予定）で回収することによって得られる。

これらの大気・海洋・海氷同時観測から、今まで未知であった冬季オホーツク海における海洋循環、海氷の漂流、さらには大気－海氷－海洋相互作用などのメカニズムの解明に迫っていくことができると共に、我々の念願とする、オホーツク海における大気－海洋－海氷結合モデルの構築化への大きな足掛かりが得られるものと期待される。

第二回目の海洋観測で得られた貴重なデータについては、現在いろいろな角度・視点からの解析が進められている。

## 2．研究実施内容

平成11年度に実施した研究項目とその内容は以下の通りである。

### (1) ロシア船「クロモフ号」による観測航海

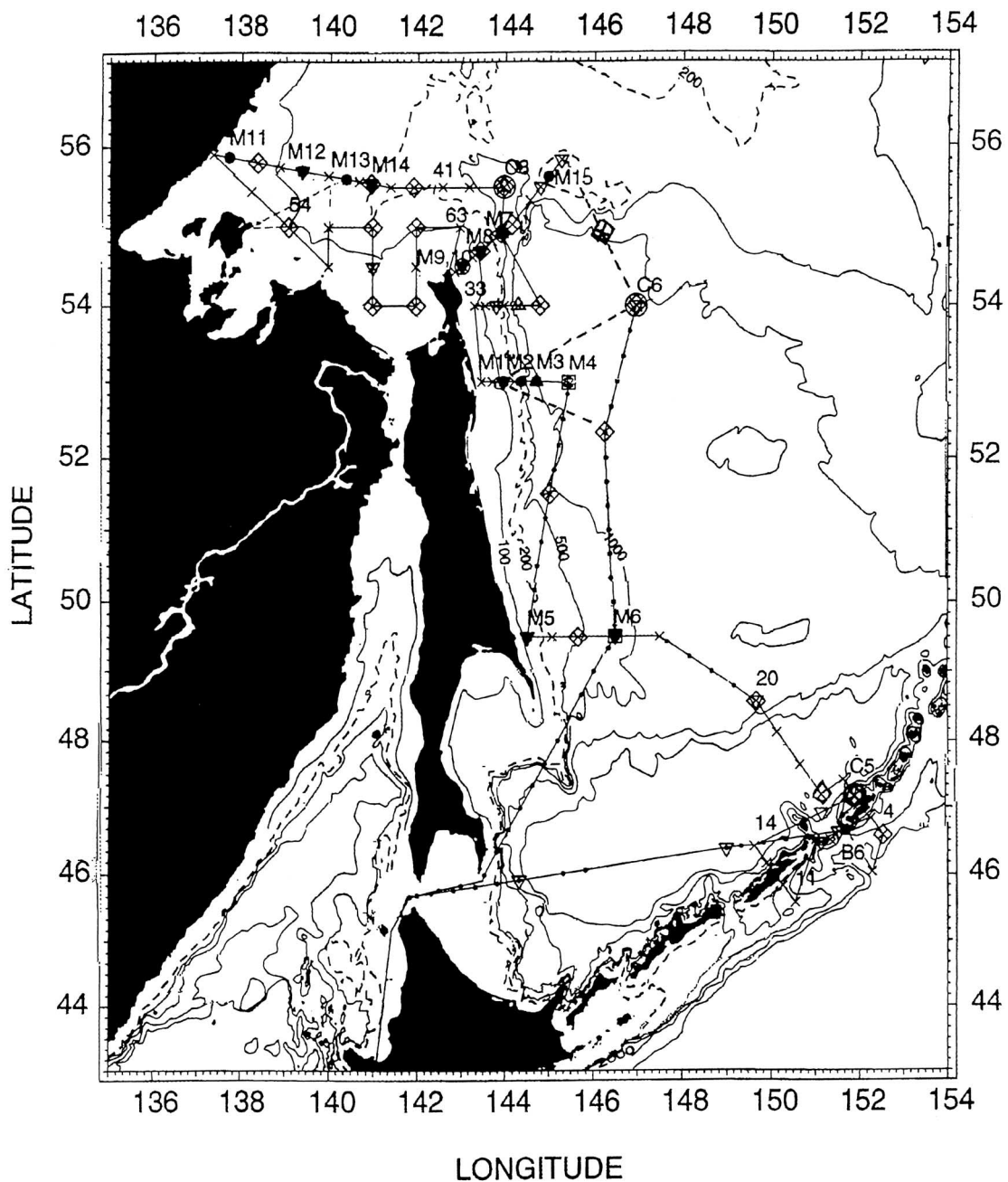
本研究の目玉である、ロシア船を用いたオホーツク海ほぼ全域の三年連続の観測航海の第二回目を平成11年8月27日－9月28日の日程で実施した。観測海域と観測点は図1に示してある。

観測項目は、海洋循環、物質循環、高生物生産性の実態把握のための流速・水温・塩分計・セジメントトラップからなる係留系の回収及び設置、CTD/採水観測、オホーツク海古海洋研究のための海底堆積物コアのサンプリング、さらにはアルゴスブイ(20基)による海洋循環の観測などである。今年の航海では、ブッソール海峡内、サハリン東岸沖の合計7ヶ所での係留系すべての回収に成功した。これら係留観測データを含むすべてのデータについて、現在解析を進めているが、今までに得られた、おおざっぱ所見としては以下の通りである。

- ・ 今まで「まぼろしの海流」と言われ、その実態が不明であった「東樺太海流」の存在を初めて確認し、その季節変動も明らかにした。
- ・ 北西部大陸棚域の海底近くに、海氷形成がまもなく始まろうとするこの時期でさえ、前年に生成した高密度水がかなりの規模で存在しているのを確認することができた。
- ・ 北西部大陸棚域の海氷形成前の海洋構造を観測した。水深40mのところ強い密度躍層が存在し、従来から言われていた通り、密度成層の非常に発達した構造していることを初めて確認することが出来た。
- ・ アルゴスブイのデータから、海洋循環に関する多くの知見が得られた。係留観測とは異なる視点(ラグランジェ的)から、「東樺太海流」の実態を明らかにした。また、ブッソール海峡周辺やカシェバロバ海盆周辺の流れの実態、特に、潮流の様子を観測で初めて明らかにすることが出来た。
- ・ 化学分析の結果から、アムール河の影響が顕著に認められた。また、オホーツク海が大気からの二酸化炭素の顕著な吸収域であると同時に、メタンの大気への顕著な放出域であることが分かった。

# CRUISE CHART

- mooring
- ◼ mooring with sediment trap
- ⊙ mooring with upward looking sonar
- ⊗ piston core
- ◇ multiple core
- ▽ ARGOS surface drifter
- × CTD
- XBT



Aug14 16:33 FILE=okh99b3.stn

- ・ 栄養塩データの解析から、表層水の栄養塩の枯渇が顕著であった。これはオホーツク海に特有のもので、この海の「生物ポンプの効率」が極めて高いことが明らかになった。また、硝酸塩とリン酸塩の濃度を用いて新たな指標を導入したところ、オホーツク海では、この指標が海水の循環、特に中層水の形成と輸送の解析に極めて有効であることが分かった。
  - ・ 1998年の航海で得られた海底堆積物コアの分析が進み、それぞれの分析結果に関する情報交換のためのシンポジウムを開催（別紙1）した。今年中に成果をまとめ、国際専門紙に特集号として掲載される方向で進めていく予定である。
- (2) 砕氷船「そうや」による冬季海氷域の大気・海洋・海氷現場観測

海氷の形成・輸送過程や大気海洋への影響を明らかにする上で海氷域の現場観測データを得ることは重要である。本研究グループでは、1996年より海上保安庁水路部との共同により砕氷型巡視船「そうや」によるオホーツク海南西部海氷域の海洋、海氷、気象観測を行なっている。海氷の厚さ、張り出し面積などは年による違いが顕著なので、毎年観測を継続することは重要であり、2000年2月にも観測を行なった。

観測は2月12日より2月18日の7日間行なった。主な観測項目は、海氷の厚さ・面積のビデオ観測、海氷サンプリング、CTD-XBT観測、バルク法による熱収支の観測、高層ゾンデ観測、である。昨年までの観測からこの海域では、厚い氷でも何枚もの薄い氷が重なり合っただけのものであること、新生氷は他の海域には見られない特異な結晶構造を持つこと、海洋の混合層は従来言われていたよりも数倍深くまで達しており、特に厚い海氷の見られる年に深くまで発達していること、この海域の現場での海氷成長速度はごく小さいこと、などが明らかになってきている。これらは、この海域の海氷がオホーツク海北部の寒冷な海域で形成され激しく折り重なりながら流されて来たものであること、海氷の輸送には風だけでなく海流が寄与していること、新しい氷は現場でもわずかに形成されていることなどを示唆している。

今回の観測期間中の海氷は張り出し面積は大きいですが、厚さは比較的薄いものであった。また海洋混合層の発達も弱かった。このような特徴的な海氷状況の年について海氷、海洋、気象の全ての分野で概ね良好なデータを得ることが出来たので、過去の観測データと比較検討しつつ現在解析を進めている。

(3) 冬季大気観測

(A) ロシア航空機（イリュージン18）によるオホーツク海上の大気観測

・ 観測目的

オホーツク海において、海洋、海氷上の潜熱・顕熱フラックスの鉛直分布を測定することにより、大気-海洋-海氷相互作用を明らかにすることを目

的とする。

- ・ 観測項目

気温、湿度、風速、風向、乱流フラックス、短波放射（上向き、下向き）、長波放射（上向き、下向き）、雲水量、雲粒粒径分布、降水粒子粒径分布、エアロゾル粒径分布、可視及び赤外線カメラによる海面撮影。

- ・ 観測結果

毎日、天気予報を基に1日先の観測を行うかどうかを日本側が決定し、樺太で待機しているロシア側に通知した。更に、毎朝9時（日本時間）までに、その日に観測を行うかどうかの最終決定を日本側で行った。その結果、2000年2月9、14、18日の3回、それぞれ樺太の南部、中部、北部の3箇所では航空機観測を行った。短時間の欠損を除けば、測定はほぼ完璧に行われた。詳細は、添付した報告書に書かれているが、風上から風下に行くにつれて、気温、湿度共に上昇し、潜熱・顕熱フラックスも海氷上に比べて海洋上では格段に大きいこと、その値は、事前に行われた数値計算の結果にかなり近いことが分かっている。また、数10kmの水平スケール（メソスケール）で潜熱・顕熱フラックスが大きく変動するという新たな現象が見つかった。この変動が、海洋表面の変動によるものか、それとも大気の影響によるものかを明らかにする予定である。

(B) 三点同時ゾンデ観測

昨年同様、海氷の南下時期に北海道斜里町でのゾンデの観測を行なった。昨年、丁度良い風が吹く事例が少なかったことと、海氷の発達する前のデータが十分でなかったことの反省から、観測期間を延長し、1月11日から2月25日までの7週間弱に渡って観測を行なった。この内、1月31日までは一日2回、それ以降は一日4回の観測を行なった。幾つか再放球の必要はあったものの、全ての場合においてデータを取得することが出来た。

同じ期間、サハリンのユジノサハリンスクおよびホロナイスクで通常一日1回の観測を2回に強化、さらに集中期間にはユジノサハリンスクで一日4回の観測に強化を依頼した。

解析はこれからであるが、昨年は次々と小さな低気圧が通過し、なかなか冬型が安定せず、解析に適した事例が少なかったのに対し、今年は冬型が安定した期間が長く、解析に適した事例が多く見つかることが期待される。

(4) 北海道湧別沖の海氷漂流・氷厚係留観測

- ・ 観測目的

海氷の量を見積もるために不可欠である厚さについて、オホーツク海の北海道沿岸域（湧別沖）で、連続した時系列のデータを取得することを目的とし

て、氷厚計・A D C P 等の係留観測を行なった。

- ・ 観測内容

1999年3月末に回収した各測器のデータ処理・解析を行なった。今回使用した氷厚計は、日本に初めて導入された測器であるため、データの処理・解析については、1999年5月に製造元のカナダA S L社に出向いて、研修を受けた。また、1999年12月には、同じ構成の係留系を、昨シーズンと同じ湧別沖の海域に設置し、2000年4月に無事に回収に成功した。

- ・ 観測結果

観測データはぼう大な量であり、今まで慎重に解析してきたが、昨年のデータについて、今までに明らかになったのは以下の通りである。2月中旬に約0.4mであった海氷の平均の厚さが、3月下旬には、約1.3mとなっており、大きな変動が明らかになった。また、厚さが10mを超えるような海氷も度々観測され、期間中で最大のものは、約17mであった。

(5) リモートセンシングによる海氷研究

S S M/I マイクロ波データを用いた海氷の分類(生まれたばかりの新生氷、少し時間の経った若い氷、かなり時間の経った一年氷)から、オホーツク海の海氷域の詳細な変動機構を明らかにした研究(Kimura and Wakatsuchi, JGR,1999)に続いて、本研究では、同じマイクロ波データを用いて、北半球全体の海氷域について、海氷の漂流ベクトルをかなりの精度で求め、その地衡風との関係を明らかにした(Kimura and Wakatsuchi, GRL, 2000)。また、これらの結果から、海氷の下の海洋の循環も導き出すことが出来た。いずれも、実測データとよく一致していることが確認された。

3 . 主な研究成果の発表(論文発表)

Kikuchi, T., M. Wakatsuchi and M. Ikeda, A numerical investigation of the transport process of dense shelf water from a continental shelf to a slope, J. Geophys. Res., 104(C1), 1197-1210, 1999.

Toyota, T., J. Ukita, K. I. Ohshima, M. Wakatsuchi and K. Muramoto, A measurement of sea ice albedo over the southwestern Okhotsk Sea, J. Meteorol. Soc. Jpn., 77, 117-133, 1999.

Kimura N. and M. Wakatsuchi, Processes controlling the advance and retreat of sea ice in the Sea of Okhotsk, J. Geophys. Res., 104(C5), 11137-11150, 1999.

Fukamachi, Y., G. Mizuta, K. I. Ohshima, M. Itoh, M. Wakatsuchi and M. Aota, Mooring measurement off Shiretoko Peninsula, Hokkaido in 1997-1998, Proc. 2nd PICES Workshop on the Okhotsk Sea and Adjacent Areas, Nemuro, Japan, 153-158, 1999.

Fukamachi, Y., M. Wakatsuchi, K. Taira, S. Kitagawa, S. Ushio, A. Takahashi, K. Oikawa, T. Furukawa, H. Yoritaka, M. Fukuchi and T. Yamanouchi, Seasonal variability of bottom-water properties off Adelie Land, Antarctica, *J. Geophys. Res.*, 105(C3), 6531-6540, 2000.