

オホーツク海と周辺陸域における 大気－海洋－雪氷圏相互作用

Atmosphere-Ocean-Cryosphere Interaction
in the Sea of Okhotsk and the Surrounding Environment

—北海道大学低温科学研究所COE研究プロジェクトと外部評価（Ⅱ）—



北海道大学低温科学研究所

1998

オホーツク海と周辺陸域における 大気－海洋－雪氷圏相互作用

Atmosphere-Ocean-Cryosphere Interaction
in the Sea of Okhotsk and the Surrounding Environment

—北海道大学低温科学研究所COE研究プロジェクトと外部評価（Ⅱ）—

北海道大学低温科学研究所

1998

はじめに

研究プロジェクト「オホーツク海と周辺陸域における大気 - 海洋 - 雪氷圏相互作用」は、低温科学研究所が平成8年度にCOE (Center Of Excellence) 研究機関に指定されると同時に開始された研究プロジェクトである。このプロジェクトは、低温研が長い歴史の中で培ってきた海氷や氷河の研究をベースに、これまで個別に研究されてきた大気、海洋、雪氷、植生等を総合的に研究しようという目論見である。しかし、これは非常に大きな研究テーマであり、短期間で達成できるものではない。持続的な研究の推進を図らねばならないが、同時に、常に広い視野でこれを見直すことが必要である。本プロジェクトはまず5ヶ年計画としてスタートした。COE支援プログラムの限られた予算規模で、しかも5年という短い期間で大規模な研究ができるわけではないが、この5年が当該研究の助走となって、新たな展開に結びつくことを期待している。

本プロジェクト遂行のためには、内外の研究者との連携が不可欠であり、これまでは、予備的な観測や共同研究集会等を通して、共同研究体制の構築に多くの労力を割いてきた。幸い多くの方々に興味を持って頂き、というより多くの方が以前から興味を持っていて、活発な討論が行われてきた。この過程で、研究計画が練り直されて、平成8年度の報告書の時点ではおぼろげであった計画も、今ではかなり具体的になってきた。オホーツク海の観測に関して、戦略的基礎研究費が認められ、日露米共同の画期的な観測計画が具体化しつつある。また、国際学術研究として進めているカムチャッカにおける雪氷研究は、国内の共同研究体制およびロシア側研究者との連携も軌道に乗り、1998年の氷冠掘削が具体的な日程に上っている。この種の研究は、予期せぬ障害を覚悟して進めねばならないが、内外の連携がこれを克服する力になると信じている。

本報告書は、前年度の報告書にその後の進展を書き加えたものである。ただし、他の報告書等との重複は避けた。カムチャッカにおける雪氷研究に関しては、研究面の成果が「Cryosheric Studies in Kamchka I」としてまとめられており、オホーツク海の観測計画に関しては、戦略的基礎研究費の報告書等に計画の詳細が述べられている。また、ウシュコフスキー氷冠掘削を前に、今回新たに2名の方に雪氷圏研究計画の外部評価をお願いした。日本の北極圏研究の立場から、国立極地研究所・北極圏環境研究センター長・藤井理行教授に、国際的な立場から、フランスLGGE所長・Dominique RAYNAUD博士に來札して頂いて、様々な角度から検討して頂いた。お二方をはじめ、貴重なアドバイスを頂いた多くの方に、感謝申し上げますと共に、一層厳しい目で本プロジェクトの行く末を見て頂きたいと念願し、本報告書をお送りする次第です。

平成10年3月

北海道大学 低温科学研究所
所 長 本堂 武夫

目 次

	頁
1. COE 研究プロジェクト (総論)	1
2. 各研究プロジェクト	4
(1) 大気-海洋相互作用の物理機構の解明	4
(2) 北太平洋中層水の起源水の生成機構の解明	6
(3) 海氷の成長履歴、変動機構の解明	9
(4) 大気と海洋の生物地球化学的相互作用の解明	12
(5) カムチャッカにおける植生動態と物理環境の相互作用の解明	19
(6) 陸域雪氷圏の維持機構、変動機構の解明	23
(7) 氷コア解析による古環境復元	26
3. フィールド観測風景 (写真)	31
4. 外部評価委員会 (平成8年度・平成9年度) 委員名簿	37
5. 評価と提言	39
6. 国際シンポジウム (プログラム)	86
7. 研究業績	91

1. 北海道大学低温科学研究所COE研究プロジェクト（総論）

研究課題

オホーツク海と周辺陸域における大気—海洋—雪氷圏相互作用

研究目的

オホーツク海は、地球温暖化の影響が最も顕著に現われる場所として最近注目されている。その主な原因として、オホーツク海が海氷を有する海としては地球上で最も低緯度に位置している事が挙げられる。このオホーツク海氷と大気や周辺の陸域雪氷圏との相互作用の結果として、この地域特有の気候システムが形作られ、維持されている。雪氷圏の南限に位置する事を特徴に生じるこの地域の気候システムは、地球温暖化などの気候変動に対して鋭敏に応答し、変化を受け易い事が指摘されている。そのため、短期間の観測でも集中的に実施していけば複雑な相互作用のメカニズムを解明出来る可能性が高い。

本研究は、観測を主体に推進し、相互作用のメカニズムを解明するための鍵を握る以下の課題に取り組み、この地域特有の気候システムの実態を明らかにする。

- (1) 大気—海洋相互作用の物理機構の解明
- (2) 北太平洋中層水の起源水の生成機構の解明
- (3) 海氷の成長履歴、変動機構の解明
- (4) 大気と海洋の生物地球化学的相互作用の解明
- (5) カムチャッカにおける植生動態と物理的環境の相互作用の解明
- (6) 陸域雪氷圏の維持機構、変動機構の解明
- (7) 氷コア解析による古環境復元

研究組織

			専門分野	役割分担
研究代表者	若土 正暁	教授	海洋物理学	総括
研究分担者	竹内 謙介	教授	気候学	(1)、(2)
	河村 公隆	教授	地球化学	(4)
	藤吉 康志	教授	大気物理学	(1)
	小林 大二	教授	水文学	(6)
	本堂 武夫	教授	物理学	(7)
	原 登志彦	教授	植物生態学	(5)
	青田 昌秋	教授	海洋物理学	(2)、(3)
	遠藤 辰雄	助教授	気象学	(1)
	大島慶一郎	助教授	海洋物理学	(2)、(3)
	中塚 武	助教授	海洋化学	(2)、(4)
	成瀬 廉二	助教授	氷河学	(6)
	白沢 邦男	助教授	極域海洋学	(1)、(3)
	河村 俊行	助手	海氷物理学	(3)
	深町 康	助手	海洋物理学	(2)、(3)
	大河内直彦	助手	地球化学	(4)
	川島 正行	助手	大気物理学	(1)
	児玉 裕二	助手	水文気象学	(3)、(6)
	鈴木準一郎	助手	植物生態学	(5)
	白岩 孝行	助手	氷河学	(6)、(7)

合計 20名

研究の特色

雪氷圏（海氷、氷河、永久凍土、植生等）の低緯度における存在理由や低緯度雪氷圏の全球的気候における役割などの解明は、極域とは異なる視点からの地球温暖化研究へのアプローチであり、そこに本研究の特色がある。それらの課題を解明する上で、本研究テーマとして取り上げた、“オホーツク海と周辺陸域との間の大気や海洋、雪氷、植生などを介した相互作用の機構を一つのシステムとして理解する”ことが何よりも重要である。観測を主体に、リモートセンシングやモデル研究も取り入れた本研究の推進によって、これまで未開拓であったオホーツク海や周辺陸域の雪氷圏の実態と、この地域特有の気候システムにおけるそれらの関わりなどが明らかになるだけでなく、地球温暖化の影響がオホーツク海に顕著に現われる機構に関する理解が大いに深まる事が期待される。

研究推進への問題点

本COE研究プロジェクトを推進していくには、いくつかの大きな難題を克服していかなければならない。皮肉にも、我々の主な研究対象の一つである“海氷”の存在が、これまでオホーツク海における冬の観測を困難にさせてきた。この点は今も本質的には変わっていないし、現在、政治的・経済的に大きな課題をかかえている“ロシア”の協力を得ることも並み大抵ではない。しかし、この二つの大きな難題のために、オホーツク海やその周辺が今だに未開拓な、そしてチャレンジングな研究対象域として残されている、とも言える。

このような研究対象域での研究推進には、国内はもとよりロシアをはじめとする世界各国の研究者達との国際共同研究の実施が不可欠である。特に、オホーツク海や周辺陸域の場合、ロシアの協力と理解が得られなければ研究は先へ一步も進まない。また、本研究対象の幅の広さ、奥行きの高さから考えて、海洋物理学、大気物理学、地球化学、雪氷学、生態学、地理学などいろいろの研究分野や、現場観測、データ解析・分析、リモートセンシング、理論などいろいろの研究手法を駆使した総合研究が必要不可欠である。そのためには、それぞれの研究分野・研究手法相互間で立ち入った建設的な議論を展開し、より有機的に研究を推進していくべきである。

2. 各研究プロジェクト

(1) 「大気—海洋相互作用の物理機構の解明」

本研究計画では当面の観測対象を、夏季のオホーツク高気圧と、冬季の寒気吹き出し時の海上境界層に絞る。その理由は、オホーツク高気圧は北海道から東北の冷夏に深く関わり、寒気吹き出し時の海洋境界層の発達には海水の生成と輸送、及び雲と降雪の形成過程に深く関わっているからである。両者は一見異なったように見えるが、実は背の低い寒気の発達及び移流に伴う気団変質を研究するという意味では同じ現象と見做すことが可能である。

1) . オホーツク高気圧の観測

これまで、オホーツク海でゾンデの長期観測が行われたことが無いため、オホーツク高気圧の鉛直構造、発達過程が未解明のままである。この高気圧は、下層高気圧とブロッキング高気圧による動きの遅い背が高い高気圧とが結合して形成されると考えられているが、その結合過程は不明である。そこで、オホーツク高気圧の出現頻度が高い5～8月の内1ヶ月間、6時間毎に船上でゾンデ観測を行う。一般にオホーツク高気圧は南東進するので、ラグランジュ的に高気圧の時間変化を捉えるため、北から南に航海しながら観測を行う。しかし、オホーツク海のほとんどの領域で日本船の立入りが困難であるので、その際にはロシアの観測船をチャーターする。観測時期は、GEWEX—GAMEが行われる1998年を予定している。GAME期間中、日本、中国、韓国でもゾンデの強化観測が行われ、これらのデータを用いて、気象庁では4次元同化データを40km格子で作成することになっている。従って、GAMEと同時期に、データ空白域であるオホーツク海でゾンデ観測を行うことは、解析上大変有利である。

船上ではゾンデ観測の他に、分光計とゾンデによるオゾンの全量及び鉛直分布、マイクロ波放射計による気温、湿度の鉛直分布、太陽光を利用したエアロゾルの粒径分布と濃度、ウインドプロファイラーによる風の3成分の高度分布、短波と長波の放射強度、XBTを用いた水温と塩分の鉛直分布、の測定を行うと共に、大気と海水中の浮遊物質の直接サンプリングも可能ならば行う。

以上の観測データと、4DDAデータ、そしてモデルを組み合わせることによって、オホーツク高気圧の構造と発達過程を明らかにする。

2) . 寒気吹き出し時の海洋境界層の観測

寒気吹き出し時、海洋上には組織化されたメソスケールの流れが形成される。その典型がロール状対流であり、筋状雲である。この組織化された流れによって、海洋から大気へ、また逆に、大気から海洋にどれだけの潜熱、顕熱、運動量が輸送されるのかを定量的に明らかにする。オホーツク海で、海水の生成時期に観測を行う為には、砕氷船が必要であり、夏季のオホーツク高気圧の観測に比べて移動範囲や移動速度、気象条件など遥に厳しい。そのため、船では海水域から風下に向かって数点のゾンデ観測と、1)

で使用した測器を用いた移動観測を行う。但し、観測はADEOS（みどり）と同期させて行う。ADEOSには、大気／海洋間のエネルギーフラックスを求めることのできる、NSCAT、OCTS、IMGセンサーが搭載されており、数点とは言え、地上（海上）トランスを取得することで、広域の議論が可能となる。更に、可能であれば、ロシアの観測用航空機をチャーターして、ドロップゾンデを初めとした大気観測も行いたいと考えている。

これらの観測は、実際のオホーツク海上での大気—海洋間でのエネルギーフラックス交換を定量的に見積る為に必要である。しかし、予想される観測上の種々の制限から、物理機構を明らかにできるだけの十分なデータが得られる可能性は低い。そこで、北海道沿岸での船、航空機、地上からの観測を計画中である。その候補地は、噴火湾と流氷接岸時の紋別である。噴火湾に発生する筋雲は、寿都から長万部の陸上側では、気団変質する前の空気塊の熱的、力学的構造を観測し、噴火湾内の海洋観測及び気象観測は船及びブイで行い、発生した雲内及びその上空の観測は航空機で行う。更に、地上では複数のドップラーレーダーを配置し、航空から散布されたチャフをトレーサーとして、雲内と雲外の気流の3次元分布を観測する。流氷接岸時の紋別では、船上観測以外は、噴火湾と同様の観測を行い、大気—海氷間のエネルギーフラックスの交換量を求める。以上2地点での観測データを用いて現有の3次元メソモデルを改良し、このモデルを、オホーツク海上での観測結果の解析に用いる。

(2) 北太平洋中層水の起源水の生成機構の解明

1) . はじめに

北太平洋中層水 (North Pacific Intermediate Water, 以下NPIWと略す) は塩分極小を特徴とする水で、ポテンシャル密度にすると $\sigma_{\theta}=26.8$ がその中心で、その範囲は $\sigma_{\theta}=26.7-26.9$ 程度である。この水塊は、北太平洋の水深300-800mを中心として広く分布しているにもかかわらず、その生成域及び生成機構は今だによく分かっていない。海水密度が最大になる冬季から春季がこのような水の生成時期と考えられるが、冬季の北太平洋の表面水はどんなに重くても $\sigma_{\theta}=26.8$ 以上にはならない事で知られている。

2) . 北太平洋中層水の起源

最近のいくつかの研究は、この水の起源がオホーツク海である可能性を指摘している。その根拠として、北太平洋での種々の物質及び物理量分布を $\sigma_{\theta}=26.8$ の密度面で見ると、オホーツク海が低温・低塩・低渦位・高フロンのソースのような分布になっていることがまず挙げられる。さらに、過去に蓄積された海洋観測データから、太平洋及びオホーツク海内部における各密度ごとの体積量分布を計算したところ、NPIWの中心となる $\sigma_{\theta}=26.8$ 付近の密度の水は、オホーツク海内部に多量に存在していることが分かった。一方、数値実験でも、オホーツク海が存在しなければ現在のNPIWの特徴を持つ水は生成されない事を示す結果が得られた。いずれにせよ、オホーツク海が北太平洋の中層の水の性質を決めるのに重要な役割を果たしているのは確かなようである。

しかしながら、オホーツク海内部での水塊形成過程については、まだほとんど分かっていない。その大きな理由は、水塊形成に重要となる(水が最も重くなる)時期である冬季から春季に、海が海氷で広く覆われているため観測がほとんど行われていない事による。

オホーツク海における水塊形成の場として重要な海域は、次の三つの場所が考えられる。一つは、大量の海氷形成が起こっている北西部の広い大陸棚域。多量のブライン排出に伴って高密度水が生成され、それがNPIWの起源水になりうるという指摘もある。二つ目は、潮流の大きい千島列島周辺海域。この海域は水塊が鉛直的にかなり一様になっており、それは潮流に伴う活発な鉛直混合によると考えられる。そして、最後が宗谷暖流水の流入があるオホーツク海南西部である。

最初の二つの海域については、これまでも指摘されていた場所であるが、最後の南西部海域は、我々の最近の研究結果に基づいている。宗谷暖流は、夏季には高温のためオホーツク海の水より軽い、冬季は高塩のため逆に重くなる ($\sigma_{\theta}=26.8$ 以上になりうる)。等密度面 $\sigma_{\theta}=26.8$ でのオホーツク海における溶存酸素分布を見ると、オホーツク海南西部で最も高い値を示す。これは、 $\sigma_{\theta}=26.8$ の富酸素水の生成に宗谷暖流水が寄与していることを示唆している。北西大陸棚域では重くなりきれなかった水が南下して、宗谷暖流水を付加することにより $\sigma_{\theta}=26.8$ の水が形成されるのではないかと我々は推測し

た。

3) . 研究課題

以上のようなサイエンスとしての背景と、ロジスティック・技術面での可能性を踏まえ、今後行うべきオホーツク海内での観測項目を整理すると以下ようになる。

3) — 1. 海峡における物理量及び物質のフラックスの観測

オホーツク海が北太平洋に与える影響を理解するには、千島列島間の主な海峡で、直接流量・熱塩フラックス等を観測するのが一番である。これは太平洋の数値実験の境界条件を与えるものでもある。但し、海峡付近は複雑な地形を持つので、係留系の配置をどうデザインするかは十分な検討が必要である。ある程度の数のADCP・係留系を配置する必要があるので、多くの機関・研究者と（国際）共同して行うことが必要である。千島列島付近での流速観測は、同時にここでの潮流特性・潮流混合を明らかにするという点でも非常に重要である。

また、オホーツク海内での流量・熱塩収支を明らかにするという意味でも、 $\sigma_{\theta}=26.8$ の水の形成に対する宗谷暖流水の影響を押さえるという意味でも、宗谷海峡での長期にわたる流速計係留観測も不可欠である。

3) — 2. 海洋熱塩及び物質循環の観測

オホーツク海は、アムール川からの多量の淡水、宗谷海峡からの高塩分の宗谷暖流水、千島列島間海峡からの太平洋起源水というように、いくつかの特徴的な水が一緒になるところである。水塊形成を考える場合でも、これらの水がどう移動・混合するかが重要となる。その場合、背景としてのオホーツク海の循環がどうなっているかを知ることは不可欠である。しかしながら、オホーツク海内では直接測流がほとんど行われていないため、反時計回りの大きな循環があるようだという程度で、循環の全体像はほとんど分かっていない。

実際の観測手法は、ADCPの長期係留と中層フロート・アルゴス漂流ブイの展開の両方を考えている。海水過程やアムール川により変質を受けたオホーツク海北部の海水及び海水を南へ運ぶ役割を果たす東樺太海流あたりにまず焦点を定め、観測を開始していくのが一つの手である。循環に関しては、特に数値モデル研究を並行して行うことが有効と思われる。

3) — 3. 経年変動のモニタリング

海洋観測データが蓄積されるにつれ、海洋場は定常ではなく decadal なスケールで変動があることが報告されるようになってきた。NPIWに関する経年変動に関してはまだ十分に議論されていないが、気候変動という観点からも重要な問題である。NPIWの性質に重

要な影響を与えうるオホーツク海での海洋場の経年変動は興味深い問題である。オホーツク海の海氷は、1990年代に入って顕著な減少を示している。海洋場は海氷の変動に大きく影響を受けるので、この海域の経年変動をモニターすることは重要と思われる。特に、海氷域に唯一進入可能な、砕氷船“そうや”による観測は魅力的である。1996年と1997年の二冬、北大低温科学研究所は海上保安庁水路部との共同観測により、本格的な海洋・海氷の観測を実施した。今後とも長期的な視野に立って、モニタリング観測を継続することが望まれる。

4) . 学際的アプローチ

物質の循環を考えたとき、物理的アプローチに限界があるのは明らかである。また、二酸化炭素の海洋への吸収という観点、海氷が関与する生物過程と物質循環、等など、オホーツク海は物理・化学・生物をクロスオーバーさせた研究が特に望まれる海である。

(3) 海氷の成長履歴、変動機構の解明

1) . はじめに

海氷は、太陽からの放射エネルギーの大部分を反射してしまう上に、大気-海洋間の熱交換を著しく抑制する効果をもっている。また、海水が凍る時に生成する低温で高塩分の海水は世界の海洋の深層水の源であり、海洋大循環の駆動源でもある。このように、海氷は地球全体のエネルギーや熱の循環に大きな役割を果しているため、その変動を正しく監視し、さらにその変動機構を明らかにする事は非常に重要である。

2) . オホーツク海氷

オホーツク海が興味の対象になっている所以は、何と言っても海氷が存在するからである。しかもこの海氷は、大規模なものとしては世界で最も低い緯度に現れるものである。何故そのように低緯度で海氷が形成し発達出来るかは、オホーツク海氷研究における最も興味深い問題である。勿論、その成因として、オホーツク海が極域に匹敵した気象条件下にある事や、アムール河からの大量の淡水流入によって強い二重構造になっている事などが通説として挙げられてはいる。しかし、それら大気・海洋環境が海氷の形成や発達に具体的にどのように関わっているのか、本当のところはまだよく分かっていない。

オホーツク海氷でさらに興味深い問題は、低緯度海域における海氷の存在が、オホーツク海やその周辺域の気候や生物環境にどのような影響をもたらしているのか、という点である。これらオホーツク海に関わる興味深い問題を解決するためには、何よりもまず海氷そのものの実態を正しく把握することが必要である。つまり、海氷がどこで、どのように生まれ、育ち、消滅していくのかを解明しなければならない。また、オホーツク海における、いわゆる海氷の一生も年によって複雑に変動しており、その時空間変動のメカニズムも明らかにすることも必要である。以下に、オホーツク海氷における今後解明すべき研究課題について述べる。

3) . 海氷形成前の海洋環境とアムール河川水の寄与

オホーツク海で海氷が最初に出現する、晩秋の北西部大陸棚域の海洋構造の観測を行う。その海域では、海氷を生み易い主因の一つと言われている、二重構造が本当に存在しているのかを確認すると同時に、その特徴的な海洋構造の形成・維持にアムール河からの淡水流入がどのような役割を果しているのか、を明らかにする必要がある。そのために、秋季の海洋観測を同海域で実施する。また、アムール河の流量変動はオホーツク海氷に影響を与えている可能性があり、海氷量の変動との相関を調べる事も大きな課題である。

4) . 海水の生産・拡大過程

通常、沿岸ポリニヤ（海水域内の開水面或は疎氷域）は海水の高生産域と言われている。そこでは、冷たく強い風によるフラジルアイスの急速形成とその沖への吹き流しが絶え間なく起こり、非常に効率の良い海水生産工場になっている。この海水高生産は、同時に大量のブライン排出も伴うので、沿岸ポリニヤは高密度水の生成域でもある。しかし、オホーツク海でしばしば沿岸ポリニヤが存在する、北西部大陸棚域や北カラフト東岸沖が本当に活発な海水生産域になっているかどうか実際に確かめる必要がある。最近の人工衛星データによるオホーツク海水研究では、沿岸ポリニヤだけでなく氷縁域でも広範囲に海水形成が起こっている事が報告されている。

沿岸ポリニヤにおける海水生産過程を調べるために、我々の最終目標をロシア砕氷船による冬季現場観測の実施に置いているが、当面はリモートセンシングや海水モデリングなどの研究手法を用いて、少しでもその理解を深めていきたい。また、氷縁域結氷のプロセスについては、現在進めている海上保安庁水路部との共同研究（巡視パトロール砕氷船“そうや”による厳冬期海水域での現場観測）を今後も継続しながら明らかにしていきたい。また、この“そうや”による現場観測では、ビデオ自動撮影装置や気象観測機器さらには海洋観測機器を用いて船上からの大気・海洋・海水観測を行い、海水域における大気-海洋相互作用のメカニズムを解明する事も大きな目標の一つである。これらの観測結果は、衛星データや周辺陸域における気象データなども取り入れて検討する事によってより理解が深まると考えている。

一方、大規模な視点から海水域の拡大過程を調べるには、何といたっても衛星データを有効に活用するが大切である。いろいろなセンサーを介して送られてくる衛星画像から、出来るだけ多くの情報を得るために、アルゴリズムの改良も含めたハードな研究が今後はさらに必要になってくる。また、海水域拡大のメカニズムを理解するためには、衛星データの他に、気象データ、海洋データを用いたデータ解析による研究が中心になるが、目的を絞った現場観測や数値モデリングなどを並行させて進めていく事が不可欠である。さらに、定量的な議論を可能にするために、海水の厚さ情報を得ることが必要である。我々は、海水域の南下経路になっている樺太東岸沖を中心に、ワシントン大学で開発された Upward-Looking Sonar（定置式自動氷厚測定器）を展開する事も予定している。

5) . 海水の起源と成長履歴

まず北西部大陸棚域で最初に誕生するオホーツク海水は、その後大気と海洋から様々な影響を受けつつ、発達・後退を繰り返しながら東や南の方へ広がっていく。漂流過程で、各海水盤はもちろん成長も融解もするし、雪が積もってその重みで海水が浸み上がったたりもする。また、転倒したり、氷盤どうしが合体（衝突、のし上がり）したりする事もある。だから、北海道沖にまでやって来るような海水で、通常の一枚板海水（コンジェレーションアイス）の構造をしているものはほとんど無い。また、その起源も海水・河川水・降雪など様々な要素から成り立っている。このような複雑な構造はオホーツク海

氷に特有のものである。このため、いろいろな海域で海氷コアのサンプリングを行い、それらの結晶構造、塩分、密度、酸素同位体、脂肪酸などを調べる事によって、オホーツク海氷に特有な構造、構成要素などを明らかにしたい。

一方、現場の大気・海洋場の変動に伴う海氷の成長・融解過程、即ち、海氷の成長履歴を調べるために、気象・海洋観測漂流ステーションに取り付ける音響式氷厚計を開発・製作する。その基礎データを取得するために、既にサロマ湖での現場実験を開始している。この開発に成功すれば、それを付けた数台の漂流ブイを海氷域に展開する予定である。

6) . 海氷モデルの開発と変動予測

海氷の運動やその変動のメカニズム、さらには大気、海洋との相互作用などはいずれも複雑過ぎて、現場観測やリモートセンシングだけからそれらを解明する事は不可能である。我々は、既存の海氷・海洋モデルをオホーツク海に適用すべくパラメタリゼーションの改良、素過程モデルの作成を始めている。勿論、それらの信頼性を高めるための観測が必要な事は言うまでもない。この海氷モデルを用いて、オホーツク海における海氷諸過程の理解に役立てること、そしてモデルを予測モデルとして構築することもめざしている。

(4) オホーツク海における生物地球化学的研究

1) . 総論

オホーツク海は、最も低緯度に位置する海水域であることから、地球温暖化の影響が最も顕著に現れる場所として大いに注目されている。また、この海水域は低温低塩分の水塊を大規模に生成する場所であり、北太平洋中層水の起源水域であると考えられるようになってきた。北太平洋中層水の物理・化学の最新の研究は、この仮説を強く支持しており、人類活動によって大気中に放出された二酸化炭素（温室効果気体）がオホーツク海を吸収域として北太平洋全域に輸送されている可能性を示唆している。しかし、オホーツク海での二酸化炭素の固定、その結果生成される有機物の深層への輸送と分解など生物地球化学的な側面はほとんどわかっていない。また、「オホーツク海という比較的低緯度でなぜ海氷が生成するのか、また、そうした海氷が大気-海洋間の熱フラックス、物質フラックスに対してどのような影響を及ぼすのか」という問題は、この海域に近いわが国が取り組むべき重要課題である。本研究の目的は、こうした課題に主に有機地球化学の手法を導入し、オホーツク海で起こっている生物地球化学的な諸過程を原子・分子・物質のレベルで理解することにある。

天然に存在する有機化合物は、それを生産した固有の生物に関する情報をもっているが、こうした起源情報はガスクロマトグラフ (GC) およびGC/質量分析計 (GC/MS) を用いることにより解析可能である。さらに有機物の分子レベルでの解析は微生物過程など炭素物質の分解・再合成の情報をも提供する。こうした手法は、1960年代以降数多くの基礎的研究の積み重ねにより、現在古水温の推定、陸起源物質の寄与の評価、有機物分解の評価など、地球科学の諸課題に対して有力な方法論を提供する段階に入っているといえよう。本研究では、大気-海洋-堆積物という一連の試料に対して、有機地球化学的手法を適用するとともに、オホーツク海における大気と海洋の相互作用の個別研究から新たな研究方法論の構築も目指すものである。

本研究では、有機物とその関連物質に着目し、オホーツク海の生物地球化学的諸過程を明らかにするが、そのために以下の重点課題を設定し、大気・海氷・海水・海洋沈降粒子・堆積物の5種類のサンプルを系統的に採取する。

- ①. 海氷の成長過程と北太平洋中層水の起源水の生成機構の解明
- ②. セジメントトラップを用いた、海洋表面から海底への炭素フラックスの解明と生物地球化学過程の解明
- ③. 堆積物の安定同位体比・バイオマーカーによる過去（氷期/間氷期スケール）の気候変化の復元

物理データの解析から、北太平洋中層水の起源水の生成域として、千島海盆南部、特に北海道沿岸沖が重要であることが解ってきた。本研究では、研究船を使い、この海域を含めオホーツク海全域での大気・海水・海氷試料、海底堆積物試料を採取する。更に、

オホーツク海の水深500m, 1000mにセジメントトラップ装置を係留し、生物活動によって生成された沈降粒子の時系列試料を採取する。これら海水・堆積物・セジメントトラップ試料から海洋生物・陸上植物由来の様々な有機化合物（炭化水素、ケトン、アルコール、脂肪酸など生物によって作られ起源情報を持つもの：バイオマーカーと呼ぶ）を分離し、既存設備であるGCやGC/MSにて測定する。これらのデータより、様々な環境因子（例えば、古水温・陸源物質の寄与・海洋における生物生産等）を定量的に評価する。また、本研究で購入予定の質量分析計を用いて、個別有機分子（バイオマーカー）の安定炭素同位体比を測定し、微生物活動、酸化還元状態の評価などオホーツク海で起きている生物地球化学過程の微細構造を明らかにする。

2) . 各論

以下には大気・海氷・海水・セジメントトラップ・堆積物という個々のサンプルについて、具体的な測定項目および、それらから期待される結果について述べる。

2) - 1. 大気

研究対象としては気体成分とエアロゾル成分に分けられる。測定項目は、気体成分に関しては非メタン炭化水素およびそれらの炭素同位体比であり、エアロゾル成分に関しては、低分子ジカルボン酸、脂質化合物である。また、エアロゾル中の全炭素・全窒素・全イオウ・全有機態炭素、水溶性有機炭素も測定する。

オホーツク海は偏西風の影響下にあるので、ユーラシア大陸からの人為起源物質の影響を強く受けているものと考えられる。これらは、オホーツク海上の空気塊の化学組成にもまた反映されるであろう。本研究では、大気成分の研究から、陸起源有機物質の大気輸送を明らかにし、有機エアロゾルが雲凝結核としてオホーツク海での雲の形成に果たす役割を評価する。

2) - 2. 海氷

測定項目は、塩分、有機化合物（炭化水素・アルケノン・アルコール・ステロール・脂肪酸等）、有機炭素および窒素の同位体比、酸素および水素同位体比等。

オホーツク海における海氷の形成は、アムール川起源の淡水に起因する低塩分水の存在が主な原因とされているが、その形成メカニズムの詳細については明らかにされていない。本研究では、海氷中の有機化合物を測定するが、これまで海氷中に含まれる有機化合物について報告例はない。北海道沖のオホーツク海で採取された海氷をわれわれが試験的に分析した結果によると、石油起源と考えられる脂肪族炭化水素が大量に検出されている。これには、①この海氷がサハリンの油田の影響を被っている海域で形成された、②アムール川河口の人為起源物質で汚染された海域で形成された、などいくつかの可能性が考えられる。このように、海氷中の有機化合物はその生成場に関する情報を保

持しており、その組織的なサンプリングと分析は、海水生成および運搬のメカニズムについて従来とは異なった視点からの情報をもたらすものと期待できる。さらに海水の酸素および水素の同位体比の測定は、その海水が天水起源であるのか、海水起源であるのかなどの情報を提供することが期待され、有機物の測定結果と合わせることにより、オホーツク海の海水の形成過程の研究に、新たな切り口を与えるものと考えられる。

2) - 3. 海水

オホーツク海の海水の化学分析では、①高い新生産力を生み出す中冷水の存在に規定された表層水の栄養塩収支、②海水の存在に大きく左右されるガス態物質の大気・海洋間フラックス、③北太平洋中層水の起源水の形成過程を理解するための各種トレーサー物質の分布、④淡水の流入、ブラインの形成を定量化するための水の同位体分析等の分析が、その中心課題である。それぞれの目的を視野におき、海水分析では、その基礎となる全炭酸や栄養塩の濃度測定はもとより、それらの炭素・窒素の（水においては、酸素・水素の）安定同位体比を測定して、その物質および水収支の解析に適用する。更に、各種炭化水素やDMS等の生物起源ガス、CFC等の人為トレーサーの時空間分布から、大気・海洋間の物質フラックス及び、水塊形成の履歴を解析する。また、表層水の溶存・懸濁態の有機化合物の分析を行って、オホーツク海の海水や中冷水の存在のもとでの、表層水中の微生物過程の特徴を議論する。

2) - 4. 沈降粒子

沈降粒子は、表層から深層へと至る物質のフラックスを担うと同時に、表層水の情報深層水および堆積物へと運ぶ媒体でもある。そうした観点で、沈降粒子時系列試料の分析においては、まず、多数のトラップ係留系を用いて、炭酸カルシウム、オパール、有機態炭素、粘土鉱物等の主成分の分析から、海水変動等に伴うオホーツク海全域での新生産フラックスの季節変動を面的に定量化する。更に、その中の各種バイオマーカーの分析、及び、それらの炭素・窒素安定同位体比の測定を行って、表層水の生物地球化学的環境の季節変動を詳細に議論する。ここで得られる「沈降粒子中の有機・同位体地球化学的情報と表層水の季節変動の関係」に関する知見は、そのまま、堆積物コアを用いたオホーツク海の古環境解析に生かされる。

2) - 5. 堆積物

測定項目は、有機化合物（炭化水素・アルケノン・アルコール・ステロール・脂肪酸等）、それら個々の化合物の炭素同位体比、バルク堆積物の有機炭素および窒素の同位体比、有孔虫の酸素同位体比等。

上述の現在の大気-海洋システムで起こっている事象が、①どのように堆積物中に記録されているか、②過去の気候変動にともない、現在のオホーツク海で見られる生物地

球化学的諸過程がどのように変化してきたか、についての知見を得ることを目的に堆積物コアの分析を行う。また、様々な海域（セジメント・トラップ直下も含めて30地点程度）で採取された表層堆積物を分析し、オホーツク海における有機化合物と同位体比の分布図を作成する。海盆中心部で採取する予定の堆積物柱状試料に関しては、様々な起源をもつバイオマーカーを時系列変化を解析し、それらの氷期／間氷期スケールにおけるフラックスの変動を明らかにする。具体的には、円石藻起源の長鎖アルケノンの不飽和度（Uk37）を用いた古水温の推定を行い、さらにはこのアルケノン古水温の情報と浮遊性有孔虫の酸素同位体比の結果と合わせて、オホーツク海において海氷の形成に非常に重要な因子であると考えられ塩分の変動を復元する。また、窒素同位体比から過去の海洋表層における硝酸塩の利用効率を知り、栄養塩の濃度の変動を推定する。さらに、バイオマーカーから、海洋表層における生物生産量や陸起源物質の寄与の氷期／間氷期スケールの変化を明らかにする。

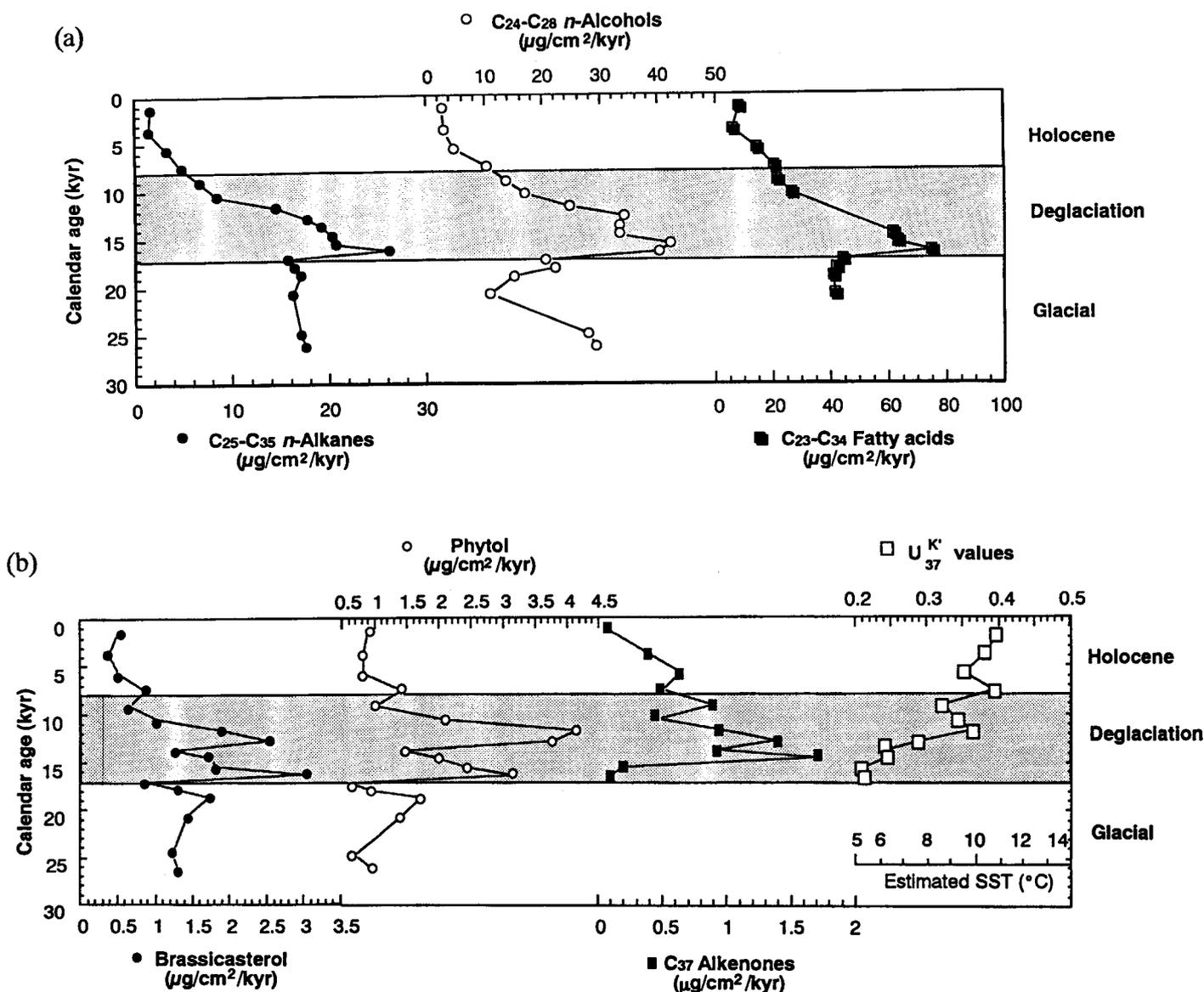


図 オホーツク海で採取した堆積物コア試料 (48° 10.1'N, 151° 20.2'E, 水深1945m, コア長325cm) の分析結果 (Y. Ternois et al., Paleoenvironmental assessment of the Okhotsk Sea: Preliminary results of a multi-biomarker investigation on the GCC-15 sediment core, to be submitted to Paleoclimatology)

(a) 氷期 (約2万年前) から完新世にむかって陸起源バイオマーカーは減少する傾向にあるが、融氷期の始まりにこれらのフラックスは急激に増加する。オホーツク海での氷期の大きなフラックスは、1) 沿岸域に堆積した陸源物質が海面低下によって地表に露出し風送塵又は河川水によって運ばれた、2) 強い風により大気輸送が強化された、3) 陸源物質に富む堆積物が氷の底面に付着されオホーツク海に輸送された、などによって説明される。又、融氷期の陸起源バイオマーカーの強いシグナルは、融氷に伴う陸起源物質のオホーツク海への流入と思われるが、今の所よくわからない。

(b) 海洋生物起源のブラシカステロール、フィトール、アルケノン、は、融氷期に増加する。この結果は、赤道域など外洋での結果とは一致しない。おそらく、オホーツク海では融氷期に陸から栄養塩が豊富に供給された結果、海洋の生物生産が大きく増加したと思われる。このことは、融氷期の陸起源バイオマーカーの高いフラックスと調和的である。一方、アルケノンから氷期の表面海水温 (SST) は、現在にくらべ約6度C低かったと計算された。氷期のオホーツク海はかなりの部分が海水によって覆われていたと考えられるが、その検証は今後の研究に待たなければならない。

研究プロジェクト(1)、(2)、(3)、(4)に関しては、オホーツク海内部での観測が中心となる。北海道沿岸沖の日本領海内(図1のA)では、1996年から二冬続けて砕氷船“そうや”を用いた、海水域現場観測(海上保安庁水路部との共同研究)を既に実施しており、今後も継続していく予定である。また、1997年からは北大水産学部“北星丸”を用いて、同学部、地球環境科学研究科などとの共同観測で通常海洋観測の他、流速計係留系を設置し、海水到来期における海の流れのモニタリングも行う。

一方、日本領海外の広大なオホーツク海ほぼ全域での観測は、ロシアの許可が無ければ実施不可能である。この度、永年の懸案であったロシア側の協力を得る事が出来、日本・ロシア・米国国際共同観測を開始する事になった。1998年から少なくとも三年連続して、ロシア船を用いた大気、海洋観測を実施する。これで、今まで進入する事さえ出来なかった海域での流速計やセジメントトラップなどの係留観測も可能になる。この共同観測に参加するのは、今のところ北海道大学、海洋科学技術センター、ロシア極東水文気象研究所、米国ワシントン大学、スクリプス海洋研究所などが中心であるが、内外の関係する研究者にも広く呼びかける予定である。図1にも示したように、オホーツク海研究の鍵を握る重要な諸海域での長期にわたる係留系観測の実施が、この共同観測の目玉である(勿論、通常の大気・海洋観測も並行して行う)。1998年の航海(図1の枠I)は最初なので、夏季に行い、主に南部海域に的をしぼり、翌年(1999年)は海水形成前の秋に、翌々年(2000年)は海水消滅後の春に実施し、海水域の発達による海洋場の変化を調べる。いずれも北西部大陸棚域(図1のII、III)まで観測域を拡げる予定で、今観測計画を練り始めたところである。

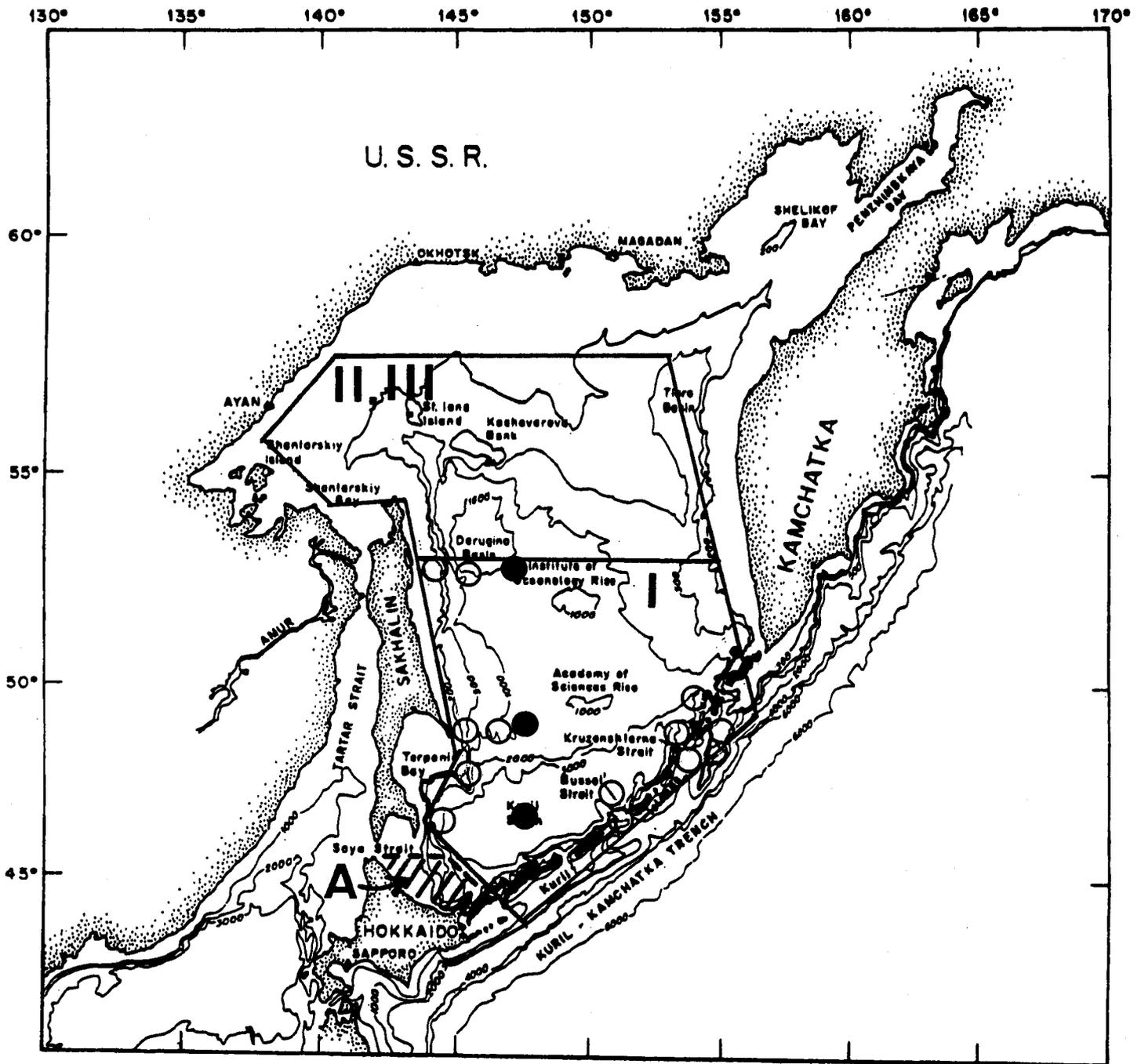


図1: オホーツク海における観測海域。枠Aは日本領海内での“そうや”や“北星丸”を用いた観測海域。枠I、II、IIIはそれぞれ1998年、1999年、2000年の予定観測海域。白丸、黒丸はそれぞれ1998年に実施予定の流速計、セジメントトラップの大まかな係留系設置場所。

(5) 「カムチャッカにおける植生動態と物理的環境の相互作用」

1) . 目的

地球規模の環境変化に伴って最も大きな影響を受けるのは冷温帯以北の植物群集であろうと言われている。現在、地球温暖化などの地球規模の環境問題に注目が集まっているが、北方域の森林植物群集に関する生態学的・環境科学的研究は緒に就いたばかりである。本研究プロジェクトでは北方域、特にカムチャッカ半島の様々な植物群集の成立過程、維持機構、更新機構に関して、各個体の生長・死亡・繁殖過程などの生態学的特性、光合成能力などの生理学的特性、集団の遺伝的構造、そして土壌、水分、気候、攪乱（特に火山活動による）などの物理的環境条件の相互関係を解明する。また、以上を統括する数理モデルの開発も行い、温暖化などの地球規模の環境変化によって北方森林の動態がどのような影響を受けるのかを予測する（例えば、緯度・高度にしたがって植生帯がどのように変化するかなど）。

2) . 方法

一般に、森林は様々な異なる遺伝子型を持つ樹木個体により構成されている。その遺伝子型の違いにより、個々の生理学的特性（光合成速度、呼吸速度など）、定着や生長様式、そして競争能力なども変化すると予想される。われわれは、これらの要因が環境条件（温度、土壌、水分、火山などによる攪乱）からどのような影響を受けているのか、そしてまた北方林植生がこれらの要因によりどのように規定されているのかを以下の方法により調査する。

- ①カムチャッカ半島の緯度と高度にそっていくつかの調査用プロットを設定する
- ②調査地は *Betula platyphylla*, *Picea*, *Betula ermanii*, *Larix* の林分である
- ③1 調査プロットの大きさは 1-2 ha (100x100 m または 100x200 m) でそれを 10x10m のサブプロットに分ける
- ④調査プロットにおける測定項目
すべての樹種の樹高 2 m 以上のすべての木
胸高直径 (DBH)、樹高 (可能であれば)
位置 (x, y 座標)
2m 以下の稚樹 (いくつかのサブプロットに設定された 5x5 -m のコドラート内で)
地際直径、樹高
- ⑤これらの項目を 2 年ごとに再測定する
- ⑥それぞれの樹種の稚樹の定着過程とその土壌条件、水分条件を調べる
- ⑦過去における攪乱の履歴 (カムチャッカでは主に火山活動による) を年輪年代学の手法で調べる
- ⑧各樹種 (可能であれば各遺伝子型についても) の生理学的特性 (光合成速度、呼

吸速度、水関係など)を測定する

- ⑨樹冠木と稚樹のそれぞれの集団の遺伝的構造をアイソザイムやDNA-RAPDなどの手法を用いて調べ、どのような遺伝的特性をもった個体が樹冠木にまで生き残れるのかを調べる
- ⑩林床の草本の動態とそれらの繁殖生態の調査を行い、樹木の稚樹との競争関係などを調べる

3) . 解 析

①緯度および高度に沿って設定されたそれぞれの調査プロットにおいて以下のような解析を行う

- (i) それぞれの種の生理学的特性との関係で、どの種がどのような環境条件(水分、土壌条件、林床の草本植生、コケ、倒木、攪乱など)のもとで稚樹の段階の定着が可能となるのかを解析する
- (ii) 以上の関係をそれぞれの種の遺伝子型のレベルでも解析する
- (iii) 稚樹および樹冠木のそれぞれの集団で種間および種内の個体間競争の様式を理論モデル(Kubota & Hara 1995, 1996)を用いて解析する
- (iv) どのような遺伝子型をもった個体が稚樹から樹冠木の段階まで生き残り、森林を形成することができるのかをそれぞれの集団の遺伝的構造を比較することにより解析する
- (v) 以上の解析結果に基づき、北方森林の生長動態、成立、維持、多種の共存、更新機構に関する理論モデルを構築する

②以上の理論モデルに基づき、北方域における緯度と高度に沿った植生動態と気候システムの間を研究する。また、将来の地球規模の環境変化に対して北方域の植生がどのように反応するのかを予測する。気候システムに関しては、低温科学研究所の他の研究グループ(海洋、雪氷、氷河、水文、凍土)が研究を行っており、最終的にはこれら研究グループと共同で、北方域の生態系-気候システムに関する総合的な環境科学的研究を行う予定である。

参考文献

Kubota, Y. & Hara, T. (1995). Tree competition and species coexistence in a sub-boreal forest, northern Japan. *Annals of Botany* 76: 503-512.

Kubota, Y. & Hara, T. (1996). Allometry and competition between saplings of *Picea jezoensis* and *Abies sachalinensis* in a sub-boreal coniferous forest, northern Japan. *Annals of Botany* 77: 529-537.

4) . 1997年度の研究経過と今後の研究計画

<研究組織>

原 登志彦 (低温研・寒冷陸域)

鈴木準一郎 (低温研・寒冷陸域)

久保田康裕 (鹿児島大・教育)

Dmitry F. Efremov (Far East Forestry Research Institute, Khabarovsk, Russia)

Leonid G. Kondrashov (Far East Forestry Research Institute, Khabarovsk, Russia)

Gennady A. Lazareff (Kamchatskaya Forest Experimental Station, Far East Forestry Research Institute, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia)

<研究経過>

1997年度は我々研究グループの最初のカムチャッカ調査の年であり、以下の日程でカムチャッカの森林の生態に関する予備調査を行った。また、関係各研究機関や役所などを訪問し、今後の共同研究に関して打ち合わせを行った。

8月17日 ハバロフスク到着

18日 ハバロフスク・極東森林研究所訪問
副所長のコンドラシヨフ氏と打ち合わせ

19日 ハバロフスクよりペトロパブロフスク-カムチャツキーへ

20日 極東森林研究所カムチャツカ・ステーション訪問 ラザレフ氏と打ち合わせ

カムチャッカ自然保護委員会・サンタロフ委員長を表敬訪問

21日 カムチャッカ営林署署長を表敬訪問、
アバチャ川上流部のダケカンバ林の予備調査

22日 ビストラヤ川上流部のダケカンバ林の予備調査

23日 ペトロパブロフスク-カムチャツキー周辺のダケカンバ林の予備調査

24日 極東森林研究所カムチャツカ・ステーションでラザレフ氏と打ち合わせ

25日 カムチャッカ自然保護委員会です予備調査結果の報告、ハバロフスクへ

26日 ハバロフスク・極東森林研究所でのIUFROワークショップで北方林の
更新・維持機構に関して研究発表：

Maintenance mechanisms of a sub-boreal forest

in Hokkaido, northern Japan. at the IGBP-IUFRO-IBFRA Workshop

"Unified Classification of Boreal Forests" (Khabarovsk, Russia).

27日 ハバロフスク・極東森林研究所の森林を見学

28日 ハバロフスク・極東森林研究所でのIUFROワークショップに参加

29日 ハバロフスク・極東森林研究所所長・エフレーモフ氏と打ち合わせ
ガイシンスキーのmodel forestへ

30日 ガイシンスキーのmodel forestを見学、ハバロフスクへ

31日 帰国

以上の予備調査の結果、カムチャッカの植生の半分以上を占めるダケカンバ林(*Betula ermanii*)の更新様式には次の2つの様式があるらしいことがわかった。

(1) 森林火災後における萌芽更新

(2) 森林火災がないところでは(町の近くなど)、実生による更新。このような林では様々なサイズの個体が生存している(サイズのCVが大)。

今後はこれらの更新様式をより定量的に調査して、森林火災などの攪乱様式とその頻度との関係をダケカンバ林の遺伝的構造、サイズ構造、生長動態との関係で解析する予定である。

< 1998年度以降の研究計画 >

- ・ハバロフスク・極東森林研究所がこれまでに蓄積してきた約30年分の森林の生長データの解析。
- ・上記の同じ調査プロットでの再測定。
- ・森林火災などの攪乱と森林更新の関係の解析。
- ・氷河の後退現象と土壌の発達過程、森林の更新・発達過程の相互関係の調査。氷河の縁から森林の方向へベルト・トランセクトを設定して、土壌の発達過程、土壌水分、気温と植生の発達過程(種組成、サイズ構造、更新様式など)を調査する。
- ・研究方針は我々が北海道で行っているものと基本的に同じであり、オホーツク海周辺陸域での比較研究を目指す。

(6) 陸域雪氷圏の維持機構解明

1) . 背景

オホーツク海は季節的に海水が発達する海域としては最も低緯度に位置している。また、オホーツク海を取り巻く周辺陸域は、季節的に積雪に覆われる季節雪氷圏であると同時に、恒久雪氷圏である氷河と永久凍土の北東ユーラシアにおける南限に相当する。氷河や永久凍土は、分布限界においては微妙なバランスの上に存在が可能となっているため、外的な環境変化によって大きく影響を受けると考えられる。特に、雪氷圏の変動はフィードバックシステムによって増幅されると予想できるので、オホーツク海周辺地域は将来起こりうる環境変動のモニタリングに対して、重要な地理的位置を占めている。

環オホーツク地域は、カムチャツカ半島、シベリア東部、サハリン、沿海州、北海道より構成される。この地域の冬期の気候条件は、ユーラシア大陸に発達するシベリア高気圧と、北太平洋を中心とするアリューシャン低気圧との勢力下に位置し、大きな気圧勾配のもと、大陸からの偏西風の吹き出しが環オホーツク地域の寒冷な気候に大きく寄与している。また、環オホーツク地域を北進する低気圧が太平洋から供給された水蒸気をカムチャツカ地域に降雪として供給している。

1970年代後半にはアリューシャン低気圧の強化が生じ、北太平洋を取り囲む陸域に影響を与えたことが知られている。この現象は、現在、大気-海洋相互作用による数十年周期の気候変動と考えられているが、周辺陸域の環境がこの気候変動に対してどのように応答するかについては不明な点が多い。特に、気候変動に対して敏感に反応すると予想される雪氷圏の応答はほとんど未解明のままである。環オホーツク陸域雪氷圏を将来起こりうるであろう気候変動のモニタリング対象と考える際、この応答機構の理解なしには的確な判断を下すことはできない。

2) . 目的

本研究は、カムチャツカ半島の氷河を中心として、水循環の視点から環オホーツク陸域雪氷圏の維持機構を解明することを目的とする。特に氷河の涵養に寄与する降雪量とその年々変動を氷河質量収支観測を通じて明らかにすると共に、氷河のダイナミクス研究を通じて氷河変動ならびに河川流出量の変動を調べ、降雪から河川流出へ至る水循環過程を追跡する。調査地域は、カムチャツカ半島におよぼす北太平洋とオホーツク海の影響を明らかにするため、太平洋側（カレイタ氷河）、内陸（ウシュコフスキー氷冠）、オホーツク海側（コズイレフカ氷河）のほぼ同緯度の3地点に設ける。また、本研究の特色として、氷河・周氷河地形調査をカムチャツカ半島内陸部を中心に実施し、過去の氷河作用の変遷から水循環過程の変遷をも考察する。これらの水循環の特性およびその変遷過程を通じ、どのような条件が雪氷圏にとって有利・不利に働くのか明らかになり、その維持機構が解明されると考える。

3) . これまでの経過

本計画は日本とロシアの共同研究として実施する。ロシア側の共同研究機関であるロシア科学アカデミー火山学研究所とは、1995年3月、および1996年12月にロシア側研究代表者であるヤロスラブ・ムラビエフ博士を招聘し、詳細な研究計画を共同で立案した。

質量・熱・水収支および氷河動力学特性を観測するクロノツキー半島のカレイタ氷河 (54°45'N, 161°40'E)、ウシュコフスキー氷冠 (56°12'N, 160°38'E)、およびコズィレフカ氷河 (55°36'N, 158°17'E) の3点は、1995年9月にヘリコプターによる空中写真撮影を実施した。1996年7～8月にかけては、上記3点において氷河の予察的な調査と、気象データモニタリングのための無人気象観測ステーションの設置を行った。また、カレイタ氷河については質量収支観測を実施し、基本的な質量収支特性を把握した。

4) . 1997年の調査概要

4) — 1. カレイタ氷河における氷河・気象・水文・地形調査

期間：1997年8月22日～9月22日

メンバー：幸島司郎・西村浩一・白岩孝行・山口悟・松元高峰・山縣耕太郎・澤口晋一・西尾文彦・成瀬廉二

Yaroslav D. Muravyev, Alexander Ovsyannikov, Igor Markov, Olga Solomina, Natasha Golub, Vladimir Mosolov, Sergey Tchumichev

行動：ペトロパブロフスクにおいて次年度以降のカムチャツカ氷河調査打ち合わせ、同近郊のアバチンスキー火山の氷河予察を行った後、エツソに移動(9月1日)。同5日、ヘリコプターにてコズィレフカ山のAWSを回収。6日、曇天の中、カレイタ氷河へヘリコプターで向かい、B.C. 設営。9月7日～15日まで、カレイタ氷河にて観測活動。16日、ヘリコプターにてエツソに帰還し、翌17日、ペトロパブロフスクへ帰着。

主な観測項目：雪尺による融雪氷観測・氷河涵養域における浅層掘削・氷河全域における流動測量・氷河末端部における流動集中観測・AWS回収・涵養域と消耗域の各点における気象観測・流出河川における水文観測・氷河上の数点における気温と湿度の短時間変動観測・氷河底面滑りの実測・モレーンの編年

4) — 2. エツソにおける地形・植生調査

期間：1997年8月15日～29日

メンバー：山縣耕太郎・西城潔・大月義徳・佐藤利幸・大川洋平・松元高峰

Peter A. Khomentovsky, Marina Vyatkin, Sergey Tchumichev, Alexander Ovsyannikov, Igor Markov

行動：ペトロパブロフスクおよび周辺地域のエクスカージョンの後、8月19日にトラックでエッソに移動し、エッソ周辺およびカムチャツカ低地帯において地形・植生調査。22日、ヘリでエッソ東側山地斜面（標高約2000m）のキャンプ地に移り、おもにキャンプ地周辺と、その北に位置するカールにて地形・植生の調査を実施。27日、ヘリでエッソに帰着。

主な調査項目：湿原における泥炭サンプリング・火山灰土とテフラ層序の記載・カールにおける地形編年・植生パターン調査（ベルトトランセクト）・植生空間分布調査（コドラート）・植生パターンの高度分布調査・斜面形および微地形と植生パターンとの関係の調査

5) . 研究計画

1998年から2000年にかけて以下のスケジュールにより研究を実施する。

(1998年)

- ・ウシュコフスキー火山ビルチェノック氷河の動力学特性の観測
- ・無人氣象観測データの収集（1地点）
- ・半島内陸部における氷河地形調査

(1999年)

- ・ウシュコフスキー火山ビルチェノック氷河の動力学特性の観測
- ・半島西部の氷河における質量収支観測
- ・半島西部における氷河地形調査

(2000年)

- ・半島西部の氷河における質量収支観測
- ・半島西部における氷河地形調査
- ・成果の取りまとめ

6) . 成果の公表

研究成果は基本的に国際科学雑誌への投稿により評価を受ける。

(7) 氷コア解析による古環境復元

1) . 背景

雪氷コアは、古気候復元において最良の媒体のひとつに挙げられる。それは雪氷コアに含まれる情報が物理情報と化学情報の多岐にわたっているからである。しかし、これらの情報が氷河・氷床中に高時間分解能で高品質のまま保存されるためには、年間の積雪による涵養量がある程度多く、かつ低温で融解が生じないことが条件となる。雪氷コア研究が、両極を中心とする高緯度地域、特にグリーンランドと南極において積極的に推進されてきたのは、これらの地域の氷床が上記2条件を満たすと共に、氷床が充分厚いため遡れる年代が長いことによる。

雪氷コア研究が極域・高緯度を中心に進展する一方、近年の気候研究は中・低緯度の気候現象に関して飛躍的に進展してきた。中でもエルニーニョを始めとする大気・海洋相互作用による地球規模の気候変動は最大の注目を集めてきた。しかし、気候研究においては使用できる実測データが過去100年程度に限定されるため、中・低緯度に発現する長期間の変動周期を有する気候現象の研究については、GCMなどに頼らざるを得ない状況である。

近年、このような中・低緯度の古気候情報を得るため、極域で進展してきた雪氷コアによる古環境復元がいくつかの地域で実施された。例えば、ペルーアンデスのケルカヤ氷冠による例ではENSOの変動が復元され、チベット高原の氷冠ではモンスーン変動が復元されつつある。これらの研究により、極域の寒冷環境に類似した条件が存在する高山の氷河・氷冠においては、雪氷コアによる高精度の古環境復元が中・低緯度においても可能であることが示された。

環オホーツク海をとりまく周辺陸域は、ユーラシア大陸に発達するシベリア高気圧と北太平洋に発達するアリューシャン低気圧の間に位置し、著しい気圧勾配のもとに置かれている。このため、シベリアや北太平洋域で生じる気候変動は、環オホーツク陸域の気候状態に敏感に反映されることが容易に予想できる。事実、1970年代後半に北太平洋の平均海面気圧の低下が生じ、アリューシャン低気圧の強化が始まった。最近の気候学・海洋学の研究成果によれば、この現象は大気・海洋相互作用によって生じる数十年スケールの周期をもつ現象であることがわかってきた。しかし、気象データは長期間の解析を可能にするだけの蓄積はなく、気象データにかわる古気候情報が、この気候現象の変動に関する有力な情報を提供し得ると考えられている。

2) . 目的

本研究では、カムチャツカ半島の氷冠において雪氷コア掘削を実施し、上述した北太平洋とシベリアに挟まれた環オホーツク地域の古気候を復元することを目的とする。カムチャツカ半島はオホーツク海と北太平洋を限る地域でもあるため、オホーツク海の海洋環境の変遷も雪氷コアのシグナルに残されている可能性もある。掘削地点は半島中央

部に位置するウシュコフスキー火山山頂部の氷冠である。1995年および1996年の予察調査により、この氷冠は氷厚200m以上あり、年涵養量は0.6mと推定された。したがって、少なくとも見積もっても500年から1000年程度の古気候情報を保存していると考えられる。この地点で掘削されるコアに対し、共同研究体制により、物理シグナル、同位体シグナルおよび化学シグナルの抽出を行い、古気候の復元を試みる。

3) . これまでの経過

本計画は日本とロシアの共同研究として実施する。ロシア側の共同研究機関であるロシア科学アカデミー火山学研究所とは、1995年3月、および1996年12月に研究代表者であるヤロスラフ・ムラビエフ博士を招聘し、詳細な研究計画を共同で立案した。

雪氷コアを掘削する氷冠は、カムチャツカ半島最大の火山であるウシュコフスキー山（標高3900m: 56°12'N, 160°38'E）山頂のカルデラを埋積する直径4 kmの氷冠である。研究計画立案にあたっては、1995年9月に現地に赴き、ヘリコプターによる空中からの氷冠の全容に関する偵察を実施した。また、1996年7月下旬には、文部省国際学術研究の助成により、氷冠において、①浅層コア（27 m）掘削および基本物理量の解析、②表層雪温の測定、③アイスレーダーによる氷厚の測定、④無人気象観測ステーションの設置、を実施した。以上の予察研究により、以下に記す計画を立案した。

4) . 1997年の調査概要

ウシュコフスキー氷冠表層掘削調査

期間：1997年5月30日～6月25日

メンバー：白岩孝行・松岡健一・堀川信一郎

Yaroslav D. Muravyev, Alexander Ovsyannikov, Andrey N. Salamatin

行動と結果の概要：今年の調査は、1)表層積雪調査、2)氷厚探査、3)雪氷コア持ち帰り実験、を目的とした。

表層積雪の調査は氷冠上の3地点で実施し、地点毎に涵養量がかなり異なる可能性を見いだした。また、調査直前の5月9日に近隣のベズィミヤニ火山が噴火したため、その降下火山灰が氷冠表面をパッチ状に覆い、そのような地点ではアルベド低下によって積雪の融解が見られた。この観察結果は、雪氷コア内に分布する氷板の形成原因として、夏期の気温状況のみでなく、火山噴火も考慮すべきであることを示唆している。

アイスレーダーによる氷厚探査では、ゴルシュコフクレーターの氷厚を再確認し(200m程度)、探査地点をクレーターからカルデラに延ばした。

雪氷コア持ち帰りについては、ウシュコフスキー山頂で採取したコアを積雪とともにプラスチックダンボールに詰め、ヘリコプターでペトロパブロフスクまで輸送した。ペ

トロパブロフスクから日本（千葉県船橋）へは漁船の冷凍庫で輸送され、国内は冷凍車で配送された。雪氷コアは無事低温研に到着し、現在、分析棟に保存されている。

5) . 研究計画

本研究に関しては1998年に以下の計画により実施する。

#ウシュコフスキー氷冠全層掘削計画

調査地点：カムチャツカ半島Ushkovsky火山山頂部氷冠Gorshkov Crater中央部（標高3900m、氷厚208-233m、10m雪温 -15.8℃、年間平均涵養量0.57m/year in W.E.）

調査期間：1998年6月1日～7月2日（内、氷冠上：6月7日～26日）

メンバー：白岩孝行・西尾文彦・亀田貴雄・高橋昭好・学生1
Y. D. Muravyev, A. Ovsyannikov

6) . 成果の公表

研究成果は基本的に国際科学雑誌への投稿により評価を受ける。

<研究組織>

「(6) 陸域雪氷圏の維持機構解明」および「(7) 氷コア解析による古環境復元」は、以下の研究組織にて実施している。

{環オホーツク陸域雪氷圏研究グループ}

- ・本堂武夫・小林大二・成瀬廉二・西村浩一・石井吉之
- ・兒玉裕二・曾根敏雄・白岩孝行・五十嵐八枝子（以上、北大低温科学研究所）
- ・田中教幸（北大大学院地球環境研究科）
- ・西尾文彦（北海道教育大釧路校）
- ・高橋修平・亀田貴雄（北見工業大学）
- ・幸島司郎（東京工業大学）
- ・佐藤利幸（信州大学）
- ・山縣耕太郎（上越教育大学）
- ・澤口晋一（新潟国際情報大学）
- ・西城潔（宮城教育大学）
- ・大月義徳（東北大学）

- Yaroslav Muravyev, Dr. (Institute of Volcanology, Russian Academy of Sciences: RAS, ロシア科学アカデミー火山学研究所)
- Gleb Glazirin, Dr., Prof. (SANIGMI, Uzbekistan, 低温研客員教授/中央アジア水文気象研究所)
- Andrey N. Salamatin, Dr., Prof. (Kazan State University, Russia)
- Olga Solomina, Dr. (Institute of Geography, RAS)
- Alexander Ovsyannikov, Dr. (Institute of Volcanology, RAS)
- Peter A. Khomentovsky (ロシア科学アカデミー生態研究所)

<関係する国際プロジェクト>

IGBP-PAGES :

「コア解析による古環境復元」研究が、IGBP-PAGESのStream I（過去2000年間の高分解能の古気候）に、氷河地形調査がStream II（氷期・間氷期サイクルの低分解能の古気候）計画と密接に関係している。

フィールド観測風景

写真右→

CTDを海中に降ろし、海水域での水温・塩分の鉛直分布を測る。
(1997年2月)



写真下↓

「そうや」に可搬型のウインチを設置し、採水器により800mまでの海水を採る。(1997年2月)





写真上↑

「そうや」の船先に上向き下向きの日射計を付け、海水のアルベド（日射に対する反射率）を測る。（1997年2月）



写真右→

海氷をサンプリングして、海氷の結晶構造・化学成分を調べる。（1997年2月）



クロノツキー半島カレイタ氷河に設置した無人気象観測器（1996年7月）



クロノツキー半島カレイタ氷河末端河川における水文観測（1996年7月）



ウシュコフスキー氷冠（標高 3900m）における雪氷コア掘削（1996 年 8 月）



カムチャッカ半島中央低地帯における泥炭サンプリング（1996 年 8 月）



カムチャツカ半島・アバチャ川上流のダケカンバ林（1997年8月）



森林火災後の萌芽によるダケカンバ林の再生（カムチャツカ半島）（1997年8月）

4. 外部評価委員会 委員名簿

平成8年度外部評価委員名簿

氏名	所属・役職	専門
花輪 公雄	東北大学大学院 理学研究科・教授	海洋物理学
池田 元美	北海道大学大学院 地球環境科学研究科・教授	海洋物理学、 気候モデリング
石渡 良志	東京都立大学 理学部・教授	地球化学
小島 覚	富山大学 理学部・教授	植物生態学
渡辺 興亜	国立極地研究所 研究主幹 教授	雪氷学
S.ライザー	米国ワシントン大学 海洋学部・教授	海洋物理学
D.キャバリアリ	米国航空宇宙局 主任研究員	リモートセンシング
S.ホンジョー	ウッズホール海洋研究所 主任研究員	地球化学
L.コンドラシヨフ	ロシア極東森林研究所 所長	植物生態学
A.サラマーチン	ロシアカザン州立大学 理学部・教授	雪氷物理学

平成9年度外部評価

第1年度の平成8年度は、まず全般的な評価という意味合いで、本研究計画の重要性、妥当性、研究グループの能力を内外10名の方に評価して頂いた。いずれの方からも、重要な研究プロジェクトとして推進すべしという激励を頂いた。ただし、評者の中に当該プロジェクトに関連の深い人が含まれていたことに対して、ご批判も頂いた。

今回は、陸域雪氷圏の研究に限って外部評価を実施した。理由の一つは、オホーツク海の海洋観測に関しては、戦略的基礎研究費で重点的に実施することになったことにある。ただし、本研究プロジェクトの下で、陸と海を総合的に見るという視点はいささかも変わっていない。もう一つの理由は、前年度の外部評価を実施してから、雪氷圏の研究計画が大幅に具体化した点にある。この間の進展を明らかにした上で、再度外部評価を実施する必要があると判断した。

以上のような経緯で、日本の北極圏研究の立場から、国立極地研究所・北極圏環境研究センター長・藤井理行教授に、国際的な立場から、IGBPなどの国際委員でもあるフランスLGGE所長・Dominique RAYNAUD博士に、今年度の外部評価をお願いした。

外部評価委員名簿

氏名	所属・役職	専門
藤井 理行	国立極地研究所 北極圏環境研究センター センター長	雪氷学
D.レイノー	フランス 雪氷・環境地球物理学研究所 所長	雪氷学 大気化学

5. 評価と提言

北海道大学低温研究所研究プロジェクト 「オホーツク海と周辺陸域における大気・海洋・雪氷圏相互作用」 の点検・評価

東北大学 大学院 理学研究科 地球物理学専攻
教授 花輪 公雄

評価担当者は海洋物理学を専門とするものであるので、以下の評価は本研究計画でも特に大気・海洋関係の部分に焦点を当てて行うものである。

(1) 研究プロジェクトの重要性、独創性に関する評価

オホーツク海は、太平洋に比較すればほんの小さな縁辺海であるが、種々の観点から極めて興味深い海域である。このような海域を対象として、大気や海洋を総合的に調査しようとする本研究は、以下に記すようにまさに時期を得たものである。

本研究計画は、海洋物理学が対象とする素過程それ自身への興味にとどまらず、地球規模の気候変動研究にとって重要な課題として、以下の3つの研究課題を柱に進めようとするものである。すなわち、(1)海氷の生成・発達・消滅の過程の解明、(2)北太平洋中層水の起源の解明、(3)海氷域における大気-海洋相互作用の機構解明、の3課題である。

これら3つの研究課題は、総合的に判断するとそのいずれもが高い重要度、緊急度を持っているものである。

課題(1). よく知られているようにオホーツク海はもともと低緯度で結氷する海域である。気候変動を調べる現在の気候モデルにはまだ十分精度の良い海氷モデルが組み入れられているとは言い難いのであるが、海氷の生成・発達・消滅の過程を詳細に調べることは、気候モデルに組み込む海氷モデルの改良に直接結びつく。また、海氷下でのブラインの放出によりこの海域内での水塊形成に大きな役割を担っていると推察されている。従って、種々の水塊を形成する過程の解明にも大いに寄与する課題とも言える。したがって、まさに重要度、緊急度の高い課題である。

課題(2). 塩分極小層で特徴づけられる北太平洋中層水は、最近の研究から人為的に増加している大気中の二酸化炭素を効率的に吸収している水塊と見なされている。また、ある気候モデルの結果では、本海域は数十年スケールの変動現象のシグナルの出現場所であると同定されており、北太平洋中層水がこの時間スケールの変動に本質的な役割を担っている可能性を秘めている。現在北太平洋中層水の母源水はオホーツク海で形成されていると推定されており、オホ

ーツク海におけるこの水塊の形成についての研究は、以上のような観点から極めて重要である。

課題(3). 海氷域における大気-海洋相互作用の機構解明については、これまで不十分な取り組みしかなくこななかった。課題(1)に述べた気候モデルに組み込む海氷モデルの改良のためには、この課題もなくはないものである。また、この課題の成果は、オホーツク海の大気大循環に及ぼす影響を解明することにも大いに寄与することが期待される。日本や北米大陸を含む広範囲の冬季の天候に大きな影響を与えるアリューシャン低気圧の消長を支配する要因の解明に役立つと思われる。

以上3つの課題はそれぞれが重要なものであるが、互いに相補的な関係にあり、1つの研究の中で、同時並行的に3つの課題が遂行されることは極めて望ましいことである。その意味で、低温科学研究所が総力を挙げて本研究に取り組むことは、他のグループの追従を許さないものであり、本研究を独創性の高いものとしている。

これまで述べてきたように、本研究計画が挙げている課題は、いずれも重要度・緊急度も高いものであるが、さらにオホーツク海内で生起している現象の解明にとどまらず、オホーツク海全体として北太平洋や北半球大気に対してどのような役割を担っているかという、より広い視点からの研究成果の呈示も同時に望みたい。

(2) 研究計画の妥当性に関する評価

前節では、本研究の課題がいずれも重要度・緊急度が高く、3つの相補的課題を同時並行的に走らせる意味での独創性の高さを評価してきた。この節では、計画の妥当性と準備状況に目を転じたい。

計画の妥当性であるが、残念ながらそれを評価できるだけの具体的研究計画が十分煮詰められているとは言い難い。前節に挙げた課題をどの程度の年限で達成しようとしているのか、さらに各年次ごとに何をどこまで達成しようとするのか等、具体的な研究計画を早急に煮詰める必要がある。特に、研究手法も、既存資料の解析、現場・リモート観測、数値モデルの3つの手法を組み合わせることが肝要であるが、バランスのとれたグループを編成する必要がある。

具体的研究計画を作るためには、所内・所外の研究者からなるワーキンググループを組織し、まず各課題ごとにアプローチの方法、目標達成に至る年次計画等を作成し、さらに3つの課題間の調整を行うことが肝要であろう。また、項目によってはフィージビリティ・スタディを行う必要があるかもしれない。是非早急に進められることを提言する。

各課題の目標達成のための研究能力のポテンシャルや人的資源は、低温科学研究所に十分に存在すると思われる。また、各課題でキイとなる観測技術の開発の面でもこれまで十分に行ってきたと判断できる。

一方、オホーツク海の大部分がロシアの排他的経済水域となっている。この面でロシアの研究者との協同研究が必要不可欠であろう。また、前節にのべたように国際的にもオホーツク海は現在注目されている海域であり、具体的研究計画を持っている国外の研究者や興味を持っている研究者が多数存在していると思われる。早急に本研究計画の情報を世界中に発信し、国際的な研究計画へと発展できる場所は発展させた方がより望ましいと思われる。この点の今後の努力を期待したい。

(3) 当該研究グループの研究実績に関する評価

低温科学研究所の海洋物理関係の部門はこれまで一貫して極域・亜極域における特に観測的研究に基づいた海洋研究を行ってきた。海氷に関する研究は、国内では本研究所の独壇場であったと言えよう。また、現在一部のグループは文部省特別事業費研究「世界海洋観測システム研究計画(GOOS)」に参加し、活発に極域・亜極域、特に海氷域における海洋観測システムの開発を行っている。こららの活動も高く評価できるものである。

また、近年、解析理論や数値モデルを駆使した研究を行ってきた若い研究者がその職につき、研究の幅も大いに広がったと評価できる。同じ問題に対し、様々な手法でアプローチできる人材を抱えていることは大いに評価できる。今後、このような特徴を活かして活発な研究を行い、その成果を論文として学術雑誌に公表していただきたい。

1 重要性、緊急性、独創性

まずオホーツク海研究が、自然科学の観点に基づいて、重要性を持っていることを申し上げます。オホーツク海は最も低緯度に位置する季節海水域で、冬季だけ氷に覆われます。温帯より高緯度では、海洋が高緯度側に運ぶ熱量は大気によるものと同じ程度になり、海洋中を運ばれた熱は大気に放出されます。しかし、もしその海が氷で覆われている場合は、氷の遮蔽効果によって大気への熱放出は著しく減少します。一方、大気による冷却が強ければより多くの海水が生成されます。このように一見大気と海水の間には正のフィードバックがあるように思えます。実際にはそう単純ではなく、オホーツク海からベーリング海にかけてはアリューシャン低気圧が発達し、この発達の仕方が大気温度と風を決めるので、海水がどのくらい大気の流れに影響をあたえるのかを知らなくてはなりません。日本近くのいわゆる西高東低の冬型気圧配置は、アリューシャン低気圧がその半分を決めていると言ってもいいくらいなので、上記の大気海洋相互作用を研究することは重要なことです。

さらに海水の下は小さな海洋生物にとって住みよい環境を提供しています。特に植物性プランクトンは、春季に海水の下側が茶色になるほど発生します。植物プランクトンは魚類の餌となる動物プランクトンを育てるばかりでなく、空気中の二酸化炭素を吸収する役目も持っています。これは炭素循環といって、人類が工業活動で生成している二酸化炭素を、海洋がどのくらい吸収しているかという重要な問題に関わってきます。

オホーツク海はその特殊性ばかりでなく、他の極域海洋と共通する物理過程も持っています。オホーツク海の固有な性質を持つ水は、太平洋の中層（500mから1000mの深さ）に分布する北太平洋中層水の起源のひとつです。この固有水は北端の大陸棚上で海水生成に伴って作られ、宗谷海峡を流れて流れ込む温かい水と混ざり合って、その性質を形作ると考えられています。海水生成は極域海洋に共通する現象ですので、北極でも南極でも同じような過程を経て、北極の中層水と南極底層水が形成されていることとなります。似た物理過程がオホーツク海にも見られるということは、北極や南極に行かなくても極域海洋研究ができることとなります。

以上の自然科学的な重要性、緊急性に加え、社会生活の観点からもオホーツク海の海水研究は重要です。北海道の気候条件が人間活動に大きな影響を与えるのは言うまでもありません。また北海道を起点とする海運交通、そして漁業船の操業期間に多大な影響をあたえます。

このように重要な課題ですから、季節海水域については国際的にもいろいろな研究がなされてきました。しかしこれまでは、研究の焦点は海水分布の観測や海水の物理的性質の理解におかれてきました。一方、低温科学研究所のオホーツク海研究の焦点は、大気海洋の相互作用と固有水塊の形成にあります。海水生成の解明のためには、化学同位体を用いるという

新しい試みもなされます。近年急速な進歩を見せている人工衛星リモート・センシングの有効な利用をめざすと同時に、これまで観測船の入ってこなかった海域ですので、アメリカ合衆国などと共に観測船を利用して海水採取、流速計設置を行う計画をたてています。もちろん、数学物理モデルを用いて現象の理解に役立てること、そしてモデルを予測モデルとして構築することもめざしています。これらを有機的に結合しようとしているところが独創的といえます。

2 研究計画の妥当性、具体性、準備状況

オホーツク海を研究の場として選んだことの妥当性は1から明らかでしょう。その研究を当研究所が行うことは、構成員を見ればまさに妥当であるとわかります。極域海洋学の専門家が集まっており、また3年前に設立された大学院地球環境科学研究科の協力講座として、研究科のスタッフの緊密な協力を得ることができます。オホーツク海の観測は、過去2年間「そうや」に乗船して経験を積みました。リモート・センシングでは、赤外画像、マイクロ波画像などを解析し、オホーツク海と南極海の海氷分布と移動速度を求めました。これらは同時期に集める観測船データと比較することで検証されるはずであり、本研究において実行されるのを待っています。

数学物理モデルを用いた研究も多角的に行ってきました。まず第一は、既存の海氷・海洋結合モデルをカナダから移植し、冬季の海氷生成期の時間変化をみごとに再現しました。今後海洋内部の変化にも注目し、固有水形成の過程を解明することに利用できるでしょう。この結合モデルに加えて、いくつかの素過程モデルも作りました。素過程モデルというのは、ある重要な現象を表現・理解するために、ある限られた過程だけを含むモデルのことです。ひとつは、北海道沿岸に見いだされる現象で、海氷域とそれより沿岸側の海氷のない海域の境界が波型をしていることに注目しました。これの原因は沿岸流の不安定現象であると想定して、海洋中規模現象を表現するモデルを作成し、波長と伝搬速度の一致を得ました。大陸棚上の高密度水が下っていく現象を解明するために、中規模現象に加えて海底に沿う粘性が重要な層も表現できるモデルを作りました。このモデルを用いて明らかにしたことは、高密度水がつくる海洋フロントの不安定によって水平混合が促進され、次に海底摩擦のために地衡流平衡を保てなくなった薄い層が深層へ張り出すという過程を経て、高密度水が広がることです。

このように準備状況は理想的に進んでおり、観測船を観測海域に確保することが急務です。低温科学研究所の努力のみでなく、日本国内のあらゆるチャンネルを通じて、観測計画を円滑に遂行しなければなりません。

3 国内外の関連した研究における本研究の位置づけ、本研究グループの研究推進へのポテンシャル

北極研究では北極気候システム研究委員会(ACSYS)という国際団体が、各国の間の調整を進めています。本研究計画は日本の研究計画のひとつとして認知されており、季節海

氷域の研究成果が期待されています。海氷生成過程、高密度水の拡散、大気海洋相互作用など、本研究の成果はどれも他の極域での物理過程を理解するために役立つはずですが、また、本研究が国際的共同研究としてのみ遂行可能であり、研究を進めていく過程で国際的に活躍している研究者と緊密な協力関係を構築していくと予想されます。

本研究グループは日本最大の極域研究グループですし、また構成員の能力も非常に高く、研究が計画どおりに進められると期待されます。ただ、さらに大きな飛躍を望むならば、研究遂行に加えて、学生を極域研究者として育てていく余力を持つことが必要です。このためには、低温科学研究所で教育に費やす時間を十分持てる時間的余裕があり、また地球環境科学研究科で極域気象海洋学を重点的に教育することを支援する体制が望まれます。

「オホーツク海における生物地球化学的研究」 に対する評価

将来の地球温暖化を正確に予測して、これに対処すべき方策を提出することは、地球環境問題に関わる研究者に対して社会から課せられた大きな課題である。中でも大気二酸化炭素に直接かかわる炭素循環、生物地球化学過程の理解と評価は、地球温暖化モデル構築の上でも重要な研究課題とすることが出来る。IGBP, JGOFSなどの研究が行なわれるにつれて、海洋の炭素循環、大気二酸化炭素、地球温暖化との関係は当初考えられた以上に複雑であり、深層水循環一つとってもまだ未知の部分が多いことが分かってきた。今日では、地球温暖化の正確な将来予測には、重要な海域について物理・化学・生物学的過程の基本的理解と地球環境変動に果たす役割評価を行ない、さらに全海洋で再構成するという研究戦略をとる必要があると考えられ始めている。

本申請者らは、オホーツク海を研究海域として、海水の成長過程、北太平洋中層水の起源水の生成機構の解明、表層で生産された有機炭素の下方への輸送過程と生物地球化学過程の解明、さらに堆積物中の有機分子およびそれらの炭素安定同位体比に基づく気候変動の復元、という意欲的な研究を計画している。

最近のJGOFS等の海洋研究によって、北太平洋の中層水の炭素循環に果たす重要な役割が示唆されつつある。しかしこの仮説の検証には事実の裏付けを必要とする。したがって、本研究が、研究海域を、注目されるオホーツク海に設定していることは時宜にかなっている。本研究は、はたしてオホーツク海が二酸化炭素のシンクとして働いているのか、その規模はどの程度か、またここではどのような有機物の生産、分解、輸送過程および生物地球化学過程が進行しているのか、など、の問題に対して有機分子の定量的な観測に基づいて解答を出そうとしている。本研究の実施計画は良く練られており、得られる成果が地球温暖化の将来予測に与える影響は極めて大きいと思われる。

次に特記すべき事項として、本研究で用いられる手法がある。手法は、主として有機地球化学的および同位体化学的手法で、非常に新しい手法である。炭素循環系の解析では、申請者が研究を予定している大気、海氷、海水沈降粒子、堆積物、中の存在状態別の炭素窒素同位体比の測定、炭素物質の動態の定量的把握が重要である。この手法を使うことによってはじめて、海洋起源有機物の生物地

球化学過程と陸上起源有機物の寄与とを明瞭に区別することができるのである。このような有機地球化学および同位体地球化学的手法は、世界的にも最近の10年間で目覚ましく進歩してきたものである。申請者らはこれら最新的手法で研究しようとしていることは、本研究の水準が高いことを示している。申請者らは有機地球化学および同位体化学の分野で多くの研究実績をあげ、国際的に高い評価を得ているので、大きな成果が期待できる。

石渡良志： 東京都立大学理学部教授

研究プロジェクト「カムチャッカにおける植生動態と物理的環境の相互作用」に関する評価

富山大学理学部 小島 寛

1. 研究プロジェクトの重要性、適切性、独創性について

近年、地球環境変化とくに気候温暖化との関連で、北方域の生態系の挙動に対して世界的に大きな関心が寄せられている。とくに地球規模の炭素循環において、湿原を含む北方域生態系の寄与度は大きく、その構造、機能、および動態の正確な解明と理解の必要性がいま強く認識されている。

カムチャッカ半島は、ユーラシア大陸の北東縁にあり、火山成因の半島である。それは日本列島、千島列島、カムチャッカ半島、アリューシャン列島等の島弧を繋ぐ要にあたる所であり、さらに東に向かってアラスカ半島を経て北米北西岸に連なる。そのため環北太平洋地域の自然の連続的変移を考察する際に、同半島は極めて重要な地理的位置にある。生態地理学的に見て同半島の大部分は、高海拔地を除くと気候的には北方林地域に区分されてよい。しかし同半島の気候は海洋の影響を強く受けているため、植生も北方林とは言え、典型的な針葉樹林は内陸部の一部に成立するにすぎない。大部分の地域では、代わってダケカンバ林が広く発達し、同半島の森林を代表する。林床植生には北日本との共通種も多い。同半島の西岸部には、低平な地形を反映して広範囲に泥炭湿原が発達している。また同半島では、活発な火山活動のため攪乱頻度が高く、一般に生態系の成熟が妨げられる。そのため多くの場合、生態系は未熟で、このこともまた同半島の生態的特性のひとつとなっている。しかしながら同半島は、ソ連邦の時代を通じて軍事上の理由から閉鎖状態にあったため、信頼できる情報も少なく、自然の実状については未知なる点も多い。たとえば、Schmithusen (1976) の世界植生図においても、同半島に森林はなく、大部分の地域は *subpolar pasture and deciduous scrub* とされる。しかし現実に同半島には立派な森林が成立している。

今般、北海道大学低温科学研究所では、カムチャッカ半島における生態学的研究プロジェクトを発足させている。そのねらいは同半島の森林について、その成立の機構、更新パターン、永続性を環境条件、攪乱作用、種内および種間競争との関係で解析することであり、さらにそのことをふまえて、地球環境変化が同半島の植生にどのような影響を及ぼし、その結果植生はどう変化するかを予測しようということにある。したがってこのプロジェクトは、環境変化に伴う植生変化予測のための基礎研究と考えられる。このプロジェクトは、地球環境変化および北方域といういずれも最も今日的課題をキーワード的に含んでおり、時宜を得た適切かつ重要な研究と思われる。

る。またその手法においても、従来の林分構造解析やデモグラフィーに加えて、アイソザイムやDNA-RAPDを用いた個体群の遺伝的解析や、年輪年代学を導入するなど、分子レベルから生態系レベルにわたる幅広いスペクトラで問題に取り組むなど、同プロジェクトの独創的な点は評価に値する。

2. プロジェクトの妥当性

本プロジェクトに参加を予定されているメンバーは、いずれもそれぞれの分野で鋭意活躍中で、研究実績においても高い水準を示している。また研究プロジェクト管理運営の経験もある。したがって、このプロジェクトの人的構成においては全く問題はない。またメンバーの一部は、すでに過去においてカムチャッカ半島での現地調査経験を有している。そのため現地の情勢をよく把握しており、人的繋がりもあり、ロジスティック等についてのノウハウも会得しているものと思われる。したがって受入側で今後大きな状況の変化が生じないかぎり、本プロジェクトの実施に関しての問題はないものと思われる。

3. 本研究グループの研究実績に関する評価

本プロジェクトの構成メンバーは、いずれも国際的に著名な学術誌に数多くの論文を発表するなど、高水準の研究実績を有している。本プロジェクトが実施されれば、今後それに基づいた多くの研究業績が発表されるであろうことは明白であり、その点での懸念は全くない。

4. 今後検討すべき諸点

本プロジェクトの目的のひとつは、地球規模の環境変化が植生にどのような影響を及ぼすかを解明し予測することにある。環境に関わる研究においては、学際的なアプローチが必須であることは言うをまたない。それも単なる異分野の研究者の寄せ集めや、個々の分野の成果の形式的な羅列ではなく、研究成果が有機的に繋がっていて、生態系の動態をある程度説明できるものであることが望ましい。その点は、おそらく低温科学研究所の別のセクションの人たちとの共同研究という形で、実現されるものと思われるが、本プロジェクトにおいて学際性という点が理念的にもっと強調されてもよいのではないだろうか。

本プロジェクトは、カムチャッカ半島における森林の構造や動態を解析することにより、環境変動に対する森林の応答様式を理解し、究極的には生態系変化の将来予測を目指している。環境変化がどのような形で植生の変化を引き起こすのか、それをどのように把握し予測に結びつけるのか、そのあたりの手法的な提示が、いままし具体的に強調されてもよいように思われる。

言うまでもなく、ロシアの国情はいま大変混乱しており、その点で予知しがたい障害なども起こり得るであろう。そのため極力現地の情勢に関する情報収集を密にしておくこと、ロシア側において信頼できる共同研究者を確保し、その協力を得ること、さらに臨機応変に対応できる体勢を固めておくことも大切であろう。

最後に、教育研究機関としての大学の一つの使命は、若手研究者の養成という点にもある。当然このプロジェクトの中にも、大学院生やPDFクラスの参加があることと思われるが、若年研究者にできるだけ現地調査等に参加する機会を与え、日本とは異なる自然に身をもって触れさせることは、若手研究者の視野を広げる点で極めて意義のあることであろう。ことにフィールド・エコロジストにとって、とにかく現場を知っておくことは、何にも増しての強みである。そのため、若手研究者をなんらかの形でできるだけ現地調査に参加させることが望ましい。

5. カムチャッカ半島研究の意義

最後に、カムチャッカ半島の自然の特殊性を活かして、どのような研究ができるか、また望ましいか、私見を述べておきたい。カムチャッカ半島の自然の特性は、1. 環北太平洋地域の要に当たる位置にあること、2. 基本的に寒冷環境のもとに成立した生態系であること、3. 活発な火山活動のため生態系への攪乱が繰り返し及んでいること等として要約できよう。したがってまず第一に、同半島を重要な拠点として、日本列島から千島列島、アリューシャン列島を経て北米大陸北西部に至る環北太平洋地域の自然の連続的変化の様相の解明が求められる。また寒冷かつ攪乱が繰り返される状況下で、生態系はどのように遷移し、ある種の安定状態に到達するのか。ことに新鮮な火山噴出物あるいは氷河堆積物を基盤とする極めて過酷な環境下において、生物はどのように侵入し定着するのか、またそこではどのような種内及び種間競争が起きているのか。またそのような生物にとって、どのような生理生態的特性が求められるのか等の解明も重要であろう。その点カムチャッカ半島は、極限環境に生きる生物の生態解明のために限らない仮説と素材を提供してくれる所である。さらに、これらの研究から得られる知見は、将来の地球環境変化が寒冷域の生態系に及ぼす影響及びその応答を予測するさい、大きく役立つはずである。植生、土壌、動物群集を含め、さらに気候、地質、地勢、地形等の関係をも考慮に入れた同半島の生態系の構造と機能、さらにその動態の研究は、いま極めて重要かつ意義のあることであろう。

「オホーツク海と周辺陸域における大気・海洋雪氷圏相互作用計画、雪氷学グループ観測計画」に関する評価

国立極地研究所 北極圏環境研究センター
センター長、教授 渡辺興亜

1. 研究プロジェクトの重要性、独創性に関する評価

オホーツク海およびその周辺陸域はユーラシア大陸東岸に位置し、日本列島、特にその北部域の気候に大きな影響を持つ地域であり、また北部太平洋の気候特性に対し大気大循環を通しての影響を及ぼす地域でもある。オホーツク海はその淡水供給源として、大流域をもつアムール河を有するがゆえに、北半球でもっとも低緯度に発達する海水域となっている。

オホーツク海自体の存在、季節によって大きく変化するその海洋としての特性は大気に対しあるいは周辺の陸域雪氷圏の形成にどのような影響を及ぼすのか、あるいはその南に位置する日本海と周辺陸域との関係とはどのような点でその気候プロセスに違いがあるのか、またそうした諸特性や引き起こされる諸現象は、気候変動と関連しどのように変動してきたかなどは地球科学の課題と言えよう。

本研究プロジェクトの研究目的はこの地域のもつ地球科学的諸課題の本質に合致したものであり、地域環境システムの解明という課題に対してもその成果は期待出来る。

研究課題の設定には必ずしも独創性は必要ではないが、問題はこの大きな課題に対する個々の観測計画の連関の方法論の創生であり、その点に関しては今後の研究の進展を見極める必要がある。本研究計画の大課題の扱う観測領域は広大であり、また個々の観測計画が想定する観測域の地理的条件から観測活動の困難さが十分予想される。ロシアとの共同研究は本研究の不可欠な条件であるが、その遂行も必ずしも樂觀を許されない。しかし、北大低温科学研究所がこれまで培ってきた知識、経験、人脈には見るべきものがあり、本研究の遂行にそれらが生かされることは十分に期待出来るし、そうでなくてはなるまい。

2. 研究計画の妥当性に関する評価

本研究は国際共同研究「環オホーツク海の大気－海洋－雪氷圏の相互作用」という大きな課題の中で、カムチャッカ半島の雪氷圏に焦点を絞り、1) その地域の寒冷環境下の水循環からみた雪氷圏の特性の理解、2) 異なった時間スケールにおける氷河変動の解明とそのモニタリング、3) 氷河コアを用いた気候変動の解明を基本課題とし、1996年からの5カ年計画である。

課題1) 氷河現象は固体水圏における水循環の陸域における過程であり、水圏循環の中で、水蒸気供給源としてのオホーツク海の役割は大きい。特に氷期に拡大したカムチャッカ雪氷圏の水蒸気源として、おそらく現在以上に拡大した海水域をもつオホーツク海がどのような役割を果たしていたか興味深い課題である。こうした課題にどのように取り組むのか

について、計画案からは十分に読み取れない面がある。カムチャッカ半島は南北に長い半島であり、水循環過程に関わる諸現象の地域特性は多様であることが予想される。観測としてそれをどのように捉えるのか、3つの氷河域周辺の観測で十分であるかについては本研究計画の大課題”環オホーツク海・・・”との整合を計りつつ具体的に示すべきであろう。無人気象観測ステーションではどのような目的で、どのような観測を行うのかについても具体的に示す必要がある。また、ロシア側のこれまでの膨大と考えられる水文観測資料をどのように活用するのか、ロシアとの国際共同研究の構想に絡めたその手だてを示す必要がある。

課題2) ; 氷河変動の実態観測および今後の変動モニタリングについては氷河・周氷河地形の調査による氷河作用の復元から、過去の氷河変動の復元が計画されている。これらは正当な観測手段であり、問題はその精度であろう。この場合問題になるのは地形の保存状況であり、火山活動の影響の有無であろう。もし可能ならば、設定されている3つの地域のみでなく、より広範囲な地域について航空機観測、衛星画像解析を導入するべきと考える。

課題3) ; 氷河コアからの過去の気候変動の復元観測成否は対象とする氷河（ウシュコフスキー氷河）の堆積・氷化過程の特性による。表面融解・内部浸透・氷化および流出の過程がどのように生じているかの予察調査を十分に行うことが望ましい。実施計画案には系統立った観測計画が立てられている。問題は予察観測の結果が望ましいものでなかった時、計画をどう転換するかである。特に、対象氷河の雪氷コアが堆積・氷化特性の観点で気候変動復元に不適當な場合、例えば年層復元によって、降水量変化の復元資料となるかどうかの検討が必要である。本計画は氷河観測より得られる水文情報とカムチャッカ半島における雪氷圏の水循環過程の結合が本研究の成否の鍵であることに留意する必要がある。

3. 研究グループの研究実績に関する評価

1996年における本計画の実施報告によれば、ウシュコフスキー火山の山頂カルデラ内の氷冠において、①27m深までの浅層コア掘削、②コアに対する基本物理解析、③表層雪温の観測、④アイスレーダーによる氷厚測定、⑤無人気象観測ステーションの設置が行われている。

本研究計画の実施初年度の観測としては十分に評価できる。ただし、これらの観測成果の評価作業を速やかに実施し、次年度以降の観測計画の再検討結果を示すことが必要と考える。計画実施グループは低温科学研究所のスタッフ、ロシア側共同研究者、国内他機関の研究者から構成されるが、今後さらに広い機関と共同して計画を推進していくことが望まれる。本観測計画案および実施報告は全体として適切な構成であるが、整理された形の成果資料、観測実施状況、カウンターパートの協力態勢などの資料添付が望まれる。

以上

EVALUATION OF OKHOTSK SEA RESEARCH PLANS

Stephen C. Riser

University of Washington

Seattle, Washington 98195 USA

1. Significance, Urgency, and Originality of the Planned Okhotsk Sea Research to General Oceanography

The Okhotsk Sea is an extremely important region of the greater North Pacific basin; it represents the most equatorward penetration of sea ice anywhere on the Earth. The economic importance of the Okhotsk Sea to the nations near it are obvious. In addition to the clear local importance, the Okhotsk Sea appears to play a major role in the subsurface circulation of the entire North Pacific Ocean between approximately 20°N and 45°N. An important component of the so-called *North Pacific Intermediate Water* that exists in the depth range 600–800 m below the surface of the North Pacific likely originates in the Okhotsk Sea, where it is formed as a consequence of ice cover and the general severity of winter in the region. Beyond its influence on the subsurface circulation of the North Pacific Ocean, there is good reason to believe that the Okhotsk Sea also is a site where a relatively large amount of CO₂ is removed from the atmosphere by the ocean. This is due to the effect of the strong seasonal cycle in the Okhotsk Sea on the biological productivity there; the very high productivity apparently results in a large atmosphere-to-ocean carbon flux. Thus, there are important climate issues that are associated with the Okhotsk Sea.

Despite this potential importance of the Okhotsk Sea, little is actually known about its circulation physics or chemistry. This is due to the fact that the wintertime environment in the Sea is generally harsh and is not conducive to making high quality measurements, and also because of historical political problems associated with carrying out work in the region. It is heartening that in recent years deep-sea instrumentation and technology have improved to the point where it is now possible to make the requisite wintertime measurements, and at the same time many of the former political obstacles to carrying out Okhotsk Sea research have diminished. As a result, for the first time it is possible to plan a comprehensive study of the Okhotsk Sea and to have a good chance of being able to carry it out successfully.

In this regard, the plan for Okhotsk Sea work put forth by the Hokkaido University group is highly significant and original, and the scientific research in the Okhotsk Sea suggested by this group represents some of the most important studies relating to the physics and chemistry of the North Pacific region that can be undertaken at this time. In recent years there have been a few pilot expeditions to the Okhotsk Sea by U.S. and Canadian groups, but it is clear that a more sustained, long-term approach is necessary in order to gain a firmer understanding of both the local and global importance of the Okhotsk Sea. The work proposed by the group at Hokkaido University is crucial to addressing this requirement for long-term observations.

2. An Examination of the Research Plans

The research plan suggested by the group at Hokkaido University calls for a series of month-long expeditions in the Okhotsk Sea beginning in the summer of 1998. After this time there are plans for additional expeditions in the autumn of 1999 and the spring of 2000. In a second experimental stage, from 2001–2004, the emphasis would be on studying the Okhotsk Sea in winter, when sea ice is present. The seasonal cycle in the Okhotsk Sea is known to be extremely strong, with variation from a polar climate in winter to a nearly subtropical climate for a short period in the summer; thus, it is important to understand the characteristics of the Sea in all seasons. The Hokkaido University group has wisely decided to carry out these studies over a period of years rather than trying to study the Okhotsk Sea intensively over a single annual cycle.

In addition, the plan for Okhotsk Sea research calls for the long-term deployment of instruments in the Sea, such as moored measurement stations and satellite-tracked drifting buoys. The use of this modern technology is absolutely crucial to improving our understanding of the physics and chemistry of the Okhotsk Sea, since the important characteristics of the Sea are likely determined during harsh weather periods when making shipboard measurements is not feasible. The instruments to be deployed in the Sea have been developed for use in such a difficult environment and have proven records of operation in the Arctic, Antarctic, and the major oceans of the world. Now, for the first time, the Hokkaido University group proposes to use such instrumentation in the Okhotsk Sea as well.

The quality of the Hokkaido University plan is very high; it is a very concrete plan, prepared after considerable discussion with a number of Japanese scientists as well as others from the US and Russia. The plans call for cruises approximately one month in duration every year between 1998 and 2004, each designed to study a specific objective, using Japanese and Russian research vessels together. On most of these expeditions long-term instrument packages would also be deployed or recovered. The simpler expeditions, in summer, spring, and fall, when environmental conditions are more favorable, are planned for the early years; the more challenging work, in winter in the presence of sea ice, is planned for the later years, after a great deal of experience will have been gained from the research carried out in the first stage. This is a very conservative and intelligent approach to studying the Okhotsk Sea, and it is a plan that has a high probability of success.

3. Relation of the Proposed Work to Other Studies of the Okhotsk Sea

There are a number of other studies of the Okhotsk Sea that are planned for the near future. In the U.S., it is likely that a group from the University of Washington and Scripps Institution of Oceanography will be supported to carry out long-term moored measurements to study the exchange of water between the Okhotsk Sea and the North Pacific Ocean during the period 1998–2000; in Japan, scientists from JAMSTEC will play an essential role in this study. A number of Japanese scientists hope to be able to deploy sediment traps in the Sea of Okhotsk during the period 1998–2000 in order to attempt to measure precisely the degree of biological productivity, so that quality estimates of the CO₂ uptake by the Sea can be made. German scientists have been studying the production of methane in the sediments of the northern

Okhotsk Sea for several years, with the goal of understanding the nature and distribution of hydrocarbons in the Sea. The work proposed by the Hokkaido University group, however, is more ambitious and comprehensive than most of these other studies in the sense that it will examine the relationship between a number of different important problems, over the course of several years. While the proposed research plan is ambitious, the scientists in the Hokkaido University group are all of very high quality and, if they receive the proper financial support, are surely capable of realizing their plan. Additionally, the other concurrent, international studies of the Okhotsk Sea will nicely complement the Hokkaido University work, and, when all of these disparate programs are concluded early in the next century, we should have a much better understanding of both the local and global impact of the Okhotsk Sea.

オホーツク海研究計画の評価

Stephen C. Riser (ワシントン大学海洋学部教授)

1) 重要性、緊急性、独創性

オホーツク海は、広大な北太平洋の中では小さな縁辺海にすぎないがその中で非常に重要な役割を果たしている。そこは、地球上の何処よりも低緯度まで拡大する海水域を有する海として知られている。オホーツク海が、その周辺に住む人々にとって生活する上で重要なことは明らかである。このような地域的重要性に加えて、オホーツク海は北太平洋における北緯20度から45度までのほぼ全域にわたる中層循環に対して、大きな役割を果たしていると考えられている。北太平洋の水深600-800m層に存在する、いわゆる北太平洋中層水の起源がオホーツク海にあり、そこでの冬の厳寒な気象条件や海水形成がその起源水の生成に大きく寄与していると思われる。北太平洋の中層循環に影響を及ぼすことだけでなく、オホーツク海はまた大気中の二酸化炭素を他の海域よりも大量に吸収している海だとも考えられている。これは、オホーツク海の強い季節サイクルがそこでの生物生産性を高め、その結果として大気から海洋への二酸化炭素フラックスが他の海域より大きくなるためである。このような点から、オホーツク海は気候における重要な問題に大きく関わっている。

もともとこのように重要な海域であるにもかかわらず、オホーツク海における海洋循環や物質循環などの実態は実際にはほとんどわかっていない。これは、オホーツク海で冬季の厳しい自然条件下でも良質なデータを取得できる測器が今まで無かったことや、旧ソ連との間で政治的な問題が存在していた事などによる。近年、深海における観測機器や観測技術が改善され、是非とも必要な冬の観測をも実施可能とする段階にきており、また同時に以前問題だった政治的障害も軽減されつつある。このため、オホーツク海における広範囲な研究計画を立案し、それを首尾良く実施できる機会が到来したといえる。

この点で、北海道大学の研究グループによって提案されたオホーツク海における観測計画は、非常に重要かつ独創的なものであり、またその研究内容についても、北太平洋北部海域で海洋物理学及び海洋化学の立場から今後取り組むべき重要な研究課題の中にいくつか取り上げられている。最近、オホーツク海で試験的な研究航海がわずかながらもアメリカ合衆国やカナダのグループ達によってなされた。しかし、オホーツク海の地域的及び全球的重要性をよりきちんと理解していくためには、もっと長期間にわたる継続したアプローチが是非とも必要である。北海道大学の研究グループによって提案された研究計画は、長期間観測というこの要求にかなったもので、その点からも極めて重要である。

2) 妥当性

北海道大学の研究グループは、彼らの提案したオホーツク海における研究計画で、年約1ヶ月間の船上観測を希望しており、時期については先ず1998年の夏、さらに1999年

には秋、2000年には春の研究航海を計画している。2001—2004年の第二期には、海水の存在する冬季の観測に力を注ぐ事を計画している。オホーツク海の季節サイクルは極めて強く、極域に匹敵する冬から亜熱帯に近い夏まで一年の間に気候が大きく変動する。このため、オホーツク海についてはすべての季節の特徴を理解する事が重要である。北海道大学グループは、一年間密に観測するというより何年間か継続した現場観測の実施を計画している。これは賢明な決断だと思われる。

さらにオホーツク海研究計画には、係留系観測ステーションや衛星追跡による漂流ブイなどの観測機器をオホーツク海で長期間展開する事なども含まれている。オホーツク海の物理や化学についての我々の理解を、このような最新技術を駆使しつつ改善していく事が極めて重要である。何故なら、オホーツク海の重要な特色は、船上観測の困難な、気象条件の厳しい時期につくられるからである。オホーツク海に設置する予定の機器は、そのような困難な状況でも使用可能なように開発されたものであり、現に北極海や南極海、さらには世界の主だった海で使用され、データの取得できる事が証明されている。今、オホーツク海でもそのような観測機器を初めて使用する事を北海道大学グループが提案している。

北海道大学の研究計画は、アメリカやロシアの研究者はもとより、日本の多くの研究者達とかなり議論をして作られた、非常に具体性のあるもので、質的にもかなり高い。これらの計画では、1998—2004年の間毎年ほぼ一ヶ月の観測航海をロシアと日本の研究船を併用させながら実施し、各航海ごとに明確な研究目的を定めている。これら多くの観測の中には、いろいろな機械の装置を長期にわたって設置しデータを取り続けるのもある。第一期(1998—2000年)の三年間は、船上観測が比較的容易な夏、春、秋に実施する計画である。一方第二期では、第一期で得た経験を生かし、もっとチャレンジングな観測、即ち海水の存在する冬期の観測を実施する計画である。オホーツク海研究を推進していく上での、このようなアプローチは非常に賢明であり、計画が成功する可能性は高い。

3) 他の研究計画との関連性

オホーツク海の研究を今後推進していこうと計画中のグループは少なからずある。米国では、ワシントン大学とスクリップス海洋研究所のグループが、オホーツク海と北太平洋との海水交換過程を調べるために、1998—2000年の三年間、長期係留観測の実施を計画している。日本の海洋科学技術センターの研究者が、この計画推進の実質的な役割を果たす事になっている。日本の多くの研究者達は、オホーツク海に取り込まれるCO₂の量を評価出来るように、1998—2000年の三年間セジメントトラップを設置して生物生産速度を正確に測定したいと希望している。ドイツの研究者達は、オホーツク海における炭化水素の性質と分布について理解する事を最終目標として、北部海域で堆積物中のメタン生産について研究してきた。しかし、北海道大学グループの研究計画は、種々の重要で互いに関連する課題を数年の長期にわたって調べようとしている点で、他の研究計画より大掛かりで広範囲なものである。提案された研究計画が大掛かりなだけでなく、

北海道大学グループは質的に高い研究者達で構成されているので、研究予算が得られれば彼らの計画はきつとうまくいくだろう。その上、他の同時進行しているオホーツク海国際研究も、北海道大学の研究をうまく補う事になるだろうし、21世紀のはじめにこれらすべての研究計画が終了した時には、オホーツク海が周辺だけでなくずっと広域にわたって、どのような影響を及ぼしているか、に関する我々の理解が大幅に深まるはずである。

Evaluation of the Research Program in the Sea of Okhotsk

Donald J. Cavalieri

Senior Research Scientist
Laboratory for Hydrospheric Processes
Code 971
NASA Goddard Space Flight Center
Greenbelt, Maryland 20771
U.S.A.

PREFACE

The Ocean and Atmospheric Sciences Research Group at the Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University has proposed a research program for the Sea of Okhotsk. The following is an evaluation of this program. The focus of my comments will be on the relevance of the sea ice remote sensing portion of this program to the understanding of two scientifically important issues.

BACKGROUND

The Sea of Okhotsk, located between 50° and 60° N latitude, is bounded by the Kamchatka Peninsula, Siberia, Sakhalin Island, and the Kuril Island chain. The Sea of Okhotsk is covered by sea ice for part of the year; thus, it is called a seasonal sea ice zone (SSIZ). The sea ice cover begins to form in late November and expands to cover much of the sea by early March. Over the following three months, the ice retreats with only small ice-covered areas by the beginning of June. The sea is ice free or nearly ice free on average for 6 months of the year, from June through November. The fact that the Sea of Okhotsk is the largest midlatitude SSIZ in the Northern Hemisphere makes this region unique and of great scientific interest.

The importance of the relationship between the Sea of Okhotsk ice cover and regional climate has long been recognized (e.g., Watanabe, 1972) and the fact that the interannual variability of its sea ice cover is large suggests that it may have an impact on large-scale oceanic and atmospheric circulations. Indeed, recent work has tied the extreme maximum and minimum wintertime extents of the sea ice cover to large scale changes in atmospheric circulation patterns (Honda et al., 1997). Other work defines the impact of this ice cover on the regional oceanography (e.g., Wakatsuchi and Martin, 1990) and identifies specific ice and ocean processes as indirect evidence of bottom water formation (Martin, Wakatsuchi, and Ono, 1995). Most recently, the idea has been put forth that the Sea of Okhotsk may be the origin of North Pacific Intermediate Water.

OVERALL PROGRAM

The Sea of Okhotsk Research Plan addresses two very important questions regarding the role

of the Sea of Okhotsk in the global climate system. These are:

- (1) How does the seasonal growth and decay of the Sea of Okhotsk ice cover influence and how is it influenced by the oceanic and atmospheric circulations?
- (2) What role does the Sea of Okhotsk play in the formation of the North Pacific Intermediate Water?

Overall, the program is well focused and will be carried out by an internationally known group of research scientists at a world renowned research institute. The research plan is strong, because there is a balance of field observations, satellite remote sensing, and modelling studies. The field plan is a coordinated program consisting of in situ atmospheric, oceanographic and sea ice observations. A particularly strong aspect of the research plan is the role that satellite remote sensing plays in the study of the sea ice cover and its variability. Their sea ice studies currently make use of and will continue to make use of state-of-the-art satellite remote sensing tools, for example, new algorithms developed for mapping the distribution of new, young and first-year sea ice in the Sea of Okhotsk. Monitoring the distribution of these ice types will help define the annual ice and salt production rates.

METHODOLOGY

The proposed research program will address the science questions through a systematic observational and modelling study of the Sea of Okhotsk and its environment. In particular, the approach will be to address the following problems:

Sea Ice

- (a) Ice growth history - when, where and how the sea ice forms, advances and disappears.
 - (b) Processes controlling the temporal and spatial variations of the sea ice cover.
 - (c) Atmosphere-ice-ocean interactions
- Oceanography
- (a) Evaluate inflow and outflow water; heat and salt budgets.
 - (b) Observe volume transports by currents;
 - (c) Observe water circulation and water mass production.

The method employed should include an observation program at various spatial scales including large-scale, regional, and small scale. The large scale program should consist of the analysis of satellite observations and a comparison of satellite observations with the results of modelling experiments. The regional and small scale observations should include data from the deployment of research vessels, including icebreakers, drifting buoys, and aircraft, where feasible. It is important that observations from each of these spatial scales be coordinated. Coordinated observations will be helpful in validating some of the satellite algorithms and in developing new and improved algorithms.

The Sea of Okhotsk field program will include meteorological observations from research vessels including an icebreaker, remote sensing, modelling and the deployment of drifting buoys with sensors for measuring temperature and salinity and ice thickness. In February 1996 in situ oceanographic and sea ice observations were made in the advancing ice covered region off the Hokkaido coast using the Japanese icebreaker Soya. Similar winter observations are planned for each year of the program. Specific observations include: (1) hydrographic observations (temperature, salinity, chemical properties), (2) Monitoring sea ice conditions with automatic video-camera systems, sea ice observations from helicopter and analyses with satellite images, (3) Collection of sea ice samples and their physical and chemical analyses to explore their origins, (4) Albedo observations from shipboard and heat budget observations in the sea ice cover and (5) Influence of sea ice cover on the CO₂ circulation.

COMMENTS AND SUGGESTIONS RELATING TO SEA-ICE REMOTE SENSING

Specific suggestions regarding the questions of the role of the Sea of Okhotsk ice cover in the global climate system include:

- (1) Map and monitor changes in the large-scale sea ice cover using data from historical, current, and future satellite passive microwave remote sensing systems (e.g., SMMR, SSM/I, AMSR).
- (2) Monitor ice extent and area; seasonal and interannual to make note of years of maximum and minimum ice extent and area. Define long-term trends in the sea ice cover.
- (3) Use extreme years of ice cover and atmospheric circulation patterns to help understand sea ice/atmosphere interactions through the utilization of global circulation models (e.g., Honda et al., 1997).
- (4) Monitor open water and thin ice areas from freeze-up to late spring to help estimate ice and salt production. Develop ice and salt budget estimates for multiyears.
- (5) Analyze the sea-ice climatology from satellite observations together with oceanographic observations for the purpose of relating large scale sea-ice and oceanographic processes.

REFERENCES

- Honda, M., K. Yamazaki, Y. Tachibana, and K. Takeuchi, Influence of Okhotsk sea-ice extent on atmospheric circulation, *Geophysical Research Letters*, in press, 1997.
- Martin, S., M. Wakatsuchi, and N. Ono, Ice and ocean processes in the Tatarskiy Strait, Japan Sea, as revealed by ERS-1 SAR, *International Journal of Remote Sensing*, 16, 3227-3243, 1995.
- Wakatsuchi, M. and S. Martin, Satellite observations of the ice cover of the Kuril Basin region of the Okhotsk Sea and its relation to the regional oceanography, *J. Geophys. Res.*, 95, 13,393-13,410, 1990.
- Watanabe, K., An average pattern of extending and retreating of an ice area in the Sea of Okhotsk, in *Sea ice*, edited by T. Karlsson, National Research Council, Reykjavik, Iceland, 1972.

オホーツク海研究計画の評価

Donald J. Cavalieri (NASA航空宇宙局主任研究員)

はじめに

北海道大学低温科学研究所大気海洋圏科学研究グループはオホーツク海における研究計画を提案している。以下に述べるのは、その計画についての私の評価である。私は、本研究計画の中で二つの重要な課題を解明する上で鍵を握る、海氷の実態を把握するための有効な手法であるリモートセンシングに焦点を当てた評価をしたいと思います。

背景

北緯50度と60度間に位置するオホーツク海は、カムチャッカ半島、シベリア、樺太、千島列島などに囲まれている。オホーツク海は一年のうち数カ月は海氷に覆われるため、いわゆる季節海氷域と呼ばれている。11月下旬に北部で最初に形成した海氷は、3月上旬にはオホーツク海の大部分を覆い尽くしてしまう。その後の三カ月で海氷域は後退し、6月初旬にはほんのわずかの海氷域だけになってしまう。残りの6カ月間、即ち6月から11月までは、オホーツク海に海氷は存在しない。オホーツク海が北半球最大の中緯度季節海氷域だという事実は、この地域を特徴的で科学的興味をそそる場所にしている。

オホーツク海とこの地域の気候との関係が重要な事は長い間認識されてきた(例えば、Watanabe, 1972)し、海氷域の年々変動が大きいという事実はそれが大規模な大気と海洋の循環にインパクトを与えている事を示唆している。事実、冬季の海氷域で最大面積だった年と最小面積だった年とでは、大気循環パターンに大きな違いの生じる事を示した最近の研究(Honda et al., 1997)もある。また、この海氷域が明らか周囲の海洋場に影響を与えている事を示した研究(例えば、Wakatsuchi and Martin, 1990)や、間接的な証拠ではあるが、特徴的な海洋・海氷過程によって底層水生成の可能性を示唆した研究(Martin, Wakatsuchi and Ono, 1995)もある。ごく最近では、オホーツク海が北太平洋中層水の起源域だとの説も出されている。

研究計画の全体像

オホーツク海研究計画は、オホーツク海の全球的気候システムにおける役割について、次の二つの非常に重要な研究課題を提出している。

(1)オホーツク海氷の季節的な発達・後退がどのような影響を与え、またそれが海洋や大

気にどのような影響を受けるか。

(2)オホーツク海が北太平洋中層水の形成にどのような役割を果たしているか。

全体的な感想として、本研究のめざす目標もよく絞られているし、この世界的に名の知れた研究所の研究者グループがうまく推進していきたくらうと思っています。研究計画も現場観測、リモートセンシング、モデル研究など、バランスのとれた研究手法を用いて推進しようとしている点で、なかなか強固なものと思います。フィールド研究についても、現場における大気、海洋、海氷の観測を互いにうまく関連づけるような実施計画になっています。また、本研究計画では、海氷域の実態やその変動を研究する上で強力な武器となるリモートセンシングを特に重視している。研究者グループが進めている海氷研究では、現在リモートセンシングを研究手法として大いに活用しているし、今後も、例えばオホーツク海におけるnew ice、young ice、first-year iceの分布をマッピングするために開発された新しいアルゴリズムを使った研究が続けられるだろう。これらice typeの分布をモニターしていけば、海氷や塩の年間生成量を知る手助けとなるであろう。

研究方法

提案された研究計画は、オホーツク海とその周辺環境について解決すべき研究課題を、系統的な観測やモデリングを中心とした手法を用いて解決していこうとしています。特に、次のような研究課題が挙げられています。

海氷

- (a)海氷の成長履歴、即ち海氷がいつ、どこで、どのように形成し、発達し、消滅するのか。
- (b)海氷域の時空間変動機構
- (c)大気-海氷-海洋相互作用

海洋

- (a)水の流入出量、熱塩収支の評価
- (b)海流の流量観測
- (c)海洋循環と水塊生成の観測

展開する観測手法も、対象とする現象の空間スケール(大規模、地域性、小規模、微細構造)に対応させるよう工夫すべきである。大規模現象に関しては、衛星データの解析や、それらを数値モデルによる実験結果と比較するなどの手法も取り入れるべきである。地域的・小規模現象については、砕氷船を含む研究船、漂流ブイ、さらに実行可能な海域では航空機などを用いた観測によるデータ取得が有効である。これら空間スケールに応じて得られた、それぞれの観測結果をすべてつぎ合わせて検討する事が重要である。衛星データの検証やアルゴリズムの改良、さらには新しいアルゴリズムを開発する

ためには、衛星観測と同期した現場観測が役に立つ。

オホーツク海のフィールド観測計画には、砕氷船を含む研究船による気象観測、リモートセンシング、モデリング、水温・塩分・氷厚測定用センサ付漂流ブイの展開なども含まれる。1996年2月、北海道沿岸沖の海氷域において、海上保安庁の砕氷船”そうや”を用いた現場海洋・海氷観測が行われた。このような冬の海氷域現場観測を毎年実施する事が計画されている。その観測項目は、(1)海洋定常観測(水温、塩分、化学成分)、(2)自動ビデオカメラ撮影装置を用いた海氷状況のモニタリング、ヘリコプターによる海氷観測、衛星画像解析、(3)海氷のサンプリングとそれらの起源を探るための物理構造解析、化学分析、(4)船上からのアルベード観測、海氷域の熱収支観測、(5)海氷域が二酸化炭素循環に及ぼす影響、等からなっている。

リモートセンシングによる海氷研究に関する提言

全球的気候システムにおけるオホーツク海氷域の果たす役割を解明するには、以下のような研究課題に取り組むべきである。

- (1)過去、現在、未来の受動型マイクロ波放射計センサ(それぞれ、SMMR、SMM/I、AMSR)からの衛星データを用いて、大規模海氷域の変動をモニタリングしマッピングする。
- (2)多(最大)氷年、少(最小)氷年の予測が出来るように、海氷域の季節変動・経年変動をモニタリングする。海氷域の長期傾向を定義づける。
- (3)極端に多氷と少氷の年の海氷データと大気循環パターンを使用する。それらが大循環モデルの中に組み込めば、海氷-大気相互作用の理解に役立つ(例えば、Honda et al., 1997)。
- (4)氷生産量と塩排出量を評価するために、結氷期から晩春までの海水面と薄氷域の面積をモニタリングする。
- (5)大規模な海氷と海洋のそれぞれの諸過程を関連づけるという目的のために、同時になされた海洋観測と衛星観測から得られたデータを用いて、海氷気候学の解析を行う。



WOODS HOLE OCEANOGRAPHIC INSTITUTION
Woods Hole, Massachusetts 02543-1541, U.S.A.
Phone: (508) 289-2589
FAX (508) 457-2175
E-mail: shonjo@whoi.edu

Columbus O. Iselin Chair
Susumu Honjo, Ph.D.

RESEARCH PROJECT:

Biogeochemical Study of the Sea of Okhotsk

Principal Investigator: Professor Kimitaka Kawamura

Co-Principal Investigators: Dr. Takeshi Nakatsuka and Dr. Naohiko Ohkouchi, Ocean Environment Research Group

Affiliation: The Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan

REVIEW

Objective, timeliness and implication statements

The long-term goal of the research group is to understand the principal biogeochemical processes in the Sea of Okhotsk with regard to global change, particularly at the atomic and molecular levels. The immediate objective of this proposal is to quantify and model the cycle and fate of natural and anthropogenic organic matter in the water layers of the Sea of Okhotsk, export fluxes of carbon and paleoproxy of the glacial/inter-glacial environment.

The reviewer is strongly supportive of this long-term and immediate objective for the following reasons:

1. Despite its southern setting, the Sea of Okhotsk is covered with fully developed sea-ice. Therefore, this ocean can be an excellent and unique proxy for the glacial ocean; from it we can learn the fundamentals of global change at the present and in the near future.
2. Because of its unique and well defined physical, chemical and biological setting, the Sea of Okhotsk is regarded as the best natural laboratory to investigate the role of the ocean in the Earth's carbon cycles.
3. As hypothesized very recently, the role of the North Pacific Intermediate Water can be extraordinarily important as a globally significant reservoir of anthropogenic CO₂. Also hypothesized is the role of the Sea of Okhotsk as the major supplier of the NPIW. A detailed investigation of the source area of the NPIW is urgently required.
4. The Sea of Okhotsk is one of the only remaining major fishing grounds in the world. Results from the above-mentioned research will help make possible the understanding of, forecasting for, and policy-making regarding how to utilize this resource-filled ocean.

Strategy statement

The PI and co-PIs suggest approaching the goal through 5 research areas, the biogeochemical studies of: 1. Atmosphere, 2. Sea-ice. 3. Ocean. 4. Settling particles and 5. The Holocene sediment of the Sea of Okhotsk.

1. Atmospheric biogeochemistry

The PI is a highly respected chemist whose initial expertise are molecular level investigation of the matter associated with aerosol which is transported over the oceans (e.g. Kawamura and Gagosian, 1987, *Nature*) particularly in the Arctic (Kawamura *et al.*, 1995, *Geophys. Res. Lettr.*). The PI's international reputation for analytical capability and his well-furnished laboratory (the reviewer had a chance to visit it in 1996) makes the reviewer confident that this part of the research will have substantial success and that the result will be useful for global interpretation of the processes of carbon. A reviewer's question is concerning their strategy for collecting aerosol samples of which distribution is highly seasonable over the open sea; I recommend using the new, continuous aerosol collecting onboard advanced air-sea interface buoys.

2. Sea-ice biogeochemistry

The biogeochemistry of sea-ice is one of most unknown areas in high-latitude oceanography. The reviewer is gratified by the PI's commitment in this area as is in this proposal. The ice cover of the Sea of Okhotsk contains a large inclusion of organic matter, mainly because sea-ice which develops in "sunny" southern areas contains a complex ice-algae-mediated ecosystem. The only well known observation regarding sea ice is that coastal Okhotsk sea ice contains high quantities of nitrite and ammonia (Maita, 1983). As the PI points out, this extremely limited report provided us with interesting information regarding sea ice chemistry. Moreover, the molecular-level study of sea-ice organic matter may lead to a discovery of useful tracers which could reliably indicate the provenience of the Okhotsk sea ice.

3. Oceanography

The processes of the NPIW are a priority subject in global oceanography. The organic chemistry of the Okhotsk dichothermal water is totally unknown. The PI's emphasis on this objective is well founded and well explained. However, this is indeed a work on a grand scale. The setting of priorities is essential for this group's success. In order to use time and resources efficiently, the reviewer recommends concentrating on testing and pursuing noble tracers with the widely used assists CFC method.

4. Export fluxes in the Sea of Okhotsk

Rediscovery of the Sea of Okhotsk as the ocean's natural environmental laboratory has been induced by the successful time-series sediment-trap experiment, 1991 to 1992. The study of export fluxes is the key to understanding this noble ocean in the present as well as to applying findings to the glacial ocean. Time-series sediment trap methods provide information regarding seasonal and other environmental variability operating in the upper oceans. Not only sediment trap method provides quantity of the export of organic matter but also offer the chance to do detail investigation of the material to be collected. We all know the outstanding capability of the PI to analyze organic matter on strapped material. In particular, we are very interested in if the PI provide us with space-temporal data on the export flux of lipid class compound such as he compared aerosol and deep sea sediment along 40 degree N in the Northern Pacific (Kawamura, 1995 in Sakai and Nozaki). This approach of the PI's is particularly welcome by the global biogeochemical community.

5. Seafloor sediment

Seafloor sediment is a part of the biogeochemical cycle which is operating in the present ocean. Meantime, it is the key to understanding the glacial past directly and to gaining knowledge to foresee the future of the Earth's environment. We are very much expecting that the PI, with his reputable analytical technique regarding organic molecular tracers, can bridge the research ramifications of aerosol, sea-ice products, export fluxes and sea-floor sediment. The PI's group includes Dr. Ohkouchi who is able to deal with carbonate stable isotopes as a co-PI. In the event that the PI is successful in producing data on the paleotemperature proxy using biomarkers from Okhotsk sediment and, further, that ground truthing is achieved in the sediment trap material, the reviewer can't think of a more desirable accomplishment as an immediate objective!

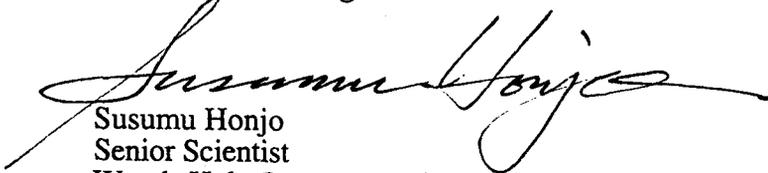
RECOMMENDATION

The PI emphatically supports PI's, Professor Kawamura's, program as it has been submitted.

This proposed program aims to clarify and important questions by attacking significant hypothesis. The PI commands the general and specific problems on the Sea of Okhotsk thoroughly. It is important that the PI plan to study from the source to sink, regeneration to production, by studying aerosol, export flux and benthic matters. He has an outstanding team of co-PIs to pursue the proposed program. Strategies are well thought out. The expectation which the PI reaches to the goal with success is high. When the program is successfully concluded, it will close the gap of unknowns on the Sea of Okhotsk, but also to assist deciphering many the global biogeochemical cycle which control the carbon cycles on this planet.

The researchers plan to test hypotheses in the area of physical oceanography as well. The reviewer has no doubt that the PI is capable of pursuing the goals with his own abilities and extraordinary team of co-PIs. However, before he steps into the next stage of planning, we would like to see three considerations: 1. Setting priorities for field research and analytical programs of the key tracer-designate. 2. Cooperating program with the other national and international oceanographers particularly with Institute of Low Temperature and Hokkaido University *per se* which have more and more become the centers of excellence in ocean environmental studies. 3. Using new field technologies which would make their studies more noble and significant.

Reviewer and Signature:



Susumu Honjo
Senior Scientist
Woods Hole Oceanographic Institution
Woods Hole, MA 02540, USA

Date Reviewed: January 30, 1997

研究計画

オホーツク海における生物地球化学的研究

主席研究員：・河村公隆

共同研究員：中塚武・大河内直彦、海洋環境グループ

所属：北海道大学低温科学研究所

レビュー

目的・緊急性・内容に関するコメント

この研究グループの長期にわたる目的はオホーツク海における生物地球化学プロセスを地球の変化という観点から特に原子や分子レベルで理解することである。この申請書の当面の目的は、オホーツク海の水塊における自然および人為起源の有機物の循環と運命、炭素のエクスポートフラックス、および氷期/間氷期における環境の古指標を定量化しモデル化することである。

査読者はこの長期的および短期的目的を以下の理由により強く支持する。

- 1 南に位置するにもかかわらず、オホーツク海はよく発達した海水によって覆われる。それゆえ、この海域は独特の氷期の海洋に対する有益でユニークな研究手段を提供する。それから、われわれは現在および近い将来の地球規模の気候変化の基礎的なことがらを学ぶことができる。
- 2 オホーツク海は、物理・化学・生物学的な場がよく明らかにされた独特な海域であるため、地球における炭素サイクルにおける海洋の役割を研究するためにもっともよい自然の実験室であるとみなすことができる。
- 3 ごく最近仮説として提案されているように、北太平洋中層水の役割は、全球的にみて人為起源二酸化炭素の重要な貯蔵庫たりうる。またオホーツク海がこの北太平洋中層水の主な供給場であることも提案されている。北太平洋中層水の起源海域に関する詳細な研究が緊急に必要とされている。
- 4 オホーツク海は世界中で唯一残された主要な漁場である。上述した研究の成果は、この資源に満ちた海域を理解すること、将来に対する予測をすること、そしていかに利用するかという点に関する政策決定を行うことを可能にするであろう。

戦略に関するコメント

主席研究者および共同研究者は、オホーツク海における生物地球化学的研究を5つの研究領域、すなわち1 大気、2 海水、3 海洋、4 沈降粒子、5 完新世堆積物から明らかにすることを示している。

1 大気生物地球化学

主席研究者は、海洋上 (Kawamura and Gagosian, 1987, Nature) を特に北極域 (Kawamura et al., 1995, Geophys. Res. Lettr.) に輸送されるエアロゾル物質を分子レベルで研究することを主たる専門としており、これまでに高い評価を受けている化学者である。主席研究者の分析技術に関する国際的な評価とよく整備された実験室 (査読者は1996年にそこを訪れる機会をえた) は、研究のこの部分が相当な成功を収めるであろうこと、また炭素のプロセスに関する地球規模の解釈に役立つであろうことを査読者に確信させた。査読者の1つの質問は、外洋では分布がきわめて季節的なエアロゾルのサンプルの収集についての彼らの戦略に関するものである。私は、大気-海洋境界で継続的にエアロゾルを収集する新しいブイを使用することをすすめる。

2 海氷の生物地球化学

海氷の生物地球化学は高緯度海洋学の中で最もよくわかっていない分野の一つである。査読者はこの申請書にあるように主席研究者がこの分野を遂行することに満足している。「太陽のあたる」南方海域で発達する海氷はアイスアルジーを媒介とした複雑な生態系を含んでいることから、オホーツク海の海氷は大量の有機物を含有している。唯一の海氷に関する観察から、オホーツク海沿岸の海氷は硝酸とアンモニアを高濃度で含んでいることが知られている (Maita, 1983)。主席研究者が指摘しているように、このきわめて限られた報告は、海氷の化学に関して興味深い情報をわれわれにもたらしている。さらに、海氷中に含まれる有機物の分子レベルの研究は、オホーツク海の海氷の起源を確実に示すであろう有効なトレーサーの発見に導くかもしれない。

3 海洋学

北太平洋中層水のプロセスは、地球規模の海洋学における最も優先順位の高い課題である。オホーツクの中層低塩分水 (dichothermal water) の有機化学は全くわかっていない。主席研究員のこの問題に対する強調はよく基礎づけがなされており、しかもよく説明されている。しかし、これは非常に大きなスケールの仕事である。優先順位の決め方はこのグループが成功するために重要なことである。時間と資源を効率よく使うために、査読者は広く使われているCFC法をも含めたよいトレーサーを試し実行することに集中することを推薦する。

4 オホーツク海におけるエクスポートフラックス

オホーツク海が自然環境下の実験室であることの再発見は、1991-1992年にかけて成功裏に終わった時系列セジメントトラップ実験によって誘発された。エクスポートフラックスの研究は、新たに明らかにされた知見を「氷期の海洋」に応用するのと同様に、このたぐい希なる海洋を理解するための鍵である。時系列セジメントトラップ法は、季節変動の情報および他の海洋表層で起こる環境変動に関する情報を提供する。時系列セジメントトラップ法は、有機物のエクスポートに関する量の情報だけでなく、採取される物質の質に関する詳細な研究を行う機会を与える。われわれは皆、採取された物質の有機物を分析する主席研究員の優れた能力を知っている。とりわけ、主席研究員が北太平洋北緯40度によって採取したエアロゾルと深海底堆積物とを比較した研究 (Kawamura, 1995) のように、彼らが脂質化合物のエクスポートフラックスに関する空間-時間的データを提供することができるかどうか非常に興味がある。この主席研究者のこうしたアプ

ローチは、地球規模の生物地球化学に興味をもつ研究者集団から特に歓迎されるであろう。

5 海底堆積物

海底堆積物は現在の海洋で駆動している生物地球化学サイクルの一部である。同時に、それは過去の氷河時代を直接的に理解するため、また将来の地球環境を予測するための知識を得るための鍵でもある。主席研究者がその評判のよい有機分子トレーサーに関する分析技術をもってエアロゾル・海水生成物、エクスポートフラックス、そして海底堆積物の研究の間に架け橋を渡すことを、われわれは非常に期待している。主席研究者のグループは炭酸塩の安定同位体比の取り扱いができる大河内博士を共同研究者に含んでいる。主席研究者がオホーツク海の堆積物からバイオマーカーを使って古水温指標に関するデータを得ることに成功し、さらにセディメントトラップで採取された物質中に新たな事実が解明されるのであれば、査読者は当面の目的としてこれ以上の成果を考えることはできない！

推薦

査読者は、主席研究員、すなわち河村教授が申請した計画を強く支持する。

この申請された計画は大きな仮説を検証することにより重要な問題を明らかにすることを目的としている。主席研究員はオホーツク海に関する一般的そして個々の問題を全て見渡している。主席研究者が、エアロゾル・エクスポートフラックス・深海堆積物を調査することにより、ソースからシンクまで、再生から生産までを研究対象とすることを計画していることは重要なことである。彼はこの申請された計画を成し遂げるために、優れた共同研究者のチームをもっている。研究戦略もよく練られている。主席研究者が成功するチャンスは高い。この計画が成功した時、オホーツク海についての未知のギャップが埋まるだけでなく、この惑星上における炭素循環を制御している地球規模の生物地球化学サイクルの多くを解読する助けとなるであろう。

研究者らは海洋物理学の分野における仮説を試すことも計画している。査読者は、主席研究者がかれ自身の能力と類希なる共同研究者らとのチームによってその目的を達成することを確信している。しかしながら、計画の次の段階に移る前に、われわれは3つの考慮すべき事柄を述べてみたい。1. 野外調査と鍵となるトレーサーの分析計画の優先順位を決めること、2. 他の国内および国外の海洋学者との共同研究、特に北海道大学低温科学研究所に所属する海洋学者との共同研究を行うこと。それ自体が低温科学研究所をして海洋環境研究のCOEたらしめる、3. 研究をよりきわだった意義深いものにするであろう新たな野外技術を使用すること。

査読者とサイン：

Susumu Honjo

Senior Scientist

ウッズホール海洋研究所

Woods Hole, MA 02540

EVALUATION REPORT ON THE PROPOSAL OF JOINT RESEARCH PROJECT 'VEGETATION DYNAMICS AND ENVIRONMENTS IN THE KAMCHATKA'

Dr. Leonid Kondrashov

Far East Forestry Research Institute Deputy Director

Kamchatka as one of the most interesting regions of the world from time immemorial attracts the attention of researchers. But only today with the help of combined efforts and newest scientific-technical methods it becomes possible to draw nearer to deep investigation and understanding of the vegetation dynamics processes, having their own specificity in Kamchatka.

The initiative of Japanese specialists to create a qualified science group of Russia and Japan representatives to study the above mentioned phenomenon deserves great attention and all-sided support. The goals put in front of the investigators seem to be well grounded allowing to reveal the mechanisms, determining the vegetation dynamics, disturbances impact on forests and other forest formations, their interrelation and interinfluence.

Such formulation of a question opens on the separate directions wide opportunities to reach real results as the foundation for forecasting this or that transformations of vegetation cover under the effect of both global environment changes and local disturbances of boreal forests.

Kamchatka constitutes one of the most favourable objects for current project implementation allowing wide interpretation of received investigation results and include them into international program network, studying boreal forests, as well as systems functioning in the zone of active volcanism and permafrost. Kamchatka individuality creates broad possibilities to study all spectrum of environment impact on physiological characteristics, composition and growth dynamics and so on.

Organization of the long-term observation and research are proposed as the main method of works on the sampling plots of Kamchatka with the predominance of various tree species : *Betula platyphilla*, *Picea*, *Betula ermani*, *Larix* which will permit objective results for reaching the goals of the project. The concrete locations of the sampling plots arranging could be determined during joint discussions and checked in the time joint expedition of the specialists involved in this project. Simultaneously it is worth to note that in Kamchatka there is already a set of sampling plots which have their own history of observations and could be used in the current project. Besides, FEFRI has in Petropavlovsk-Kamchatski its forest experimental station with a small

number of people. This station can be used as a starting point and a base spot for expedition and familiarizing with accumulated materials.

Proposed types and forms of measurements entirely are able to give needed information for following the occurring changes in the sampling plots. Meantime, the available set of methods actively used by Russian party for a long time allows to increase measurements implementation for bigger inclusion of events study parameters.

This current project has a complex character which helps to evaluate phenomena from different points of view presenting varied approaches: here the growing stands are touched upon and their interaction and interinfluence on soil, water turnover, physiological characteristics, genotype compositions, hydrologic and atmosphere regimes, consequences of natural and artificial disturbances, etc.

As one of the most important components of the proposed project the planned directions of retrospective analysis on the basis of dendrochronologic data must be considered. This will assist to follow the formation and origin of different events, the echoes of which could show themselves not only today but in the future as well.

Modelling of elements interaction in a system of forest vegetational communities can offer a qualitatively new result of studying and forecasting of forest ecosystems, making up and managing of communities persistent to external artificial and natural impacts and disturbances.

The significant direction of this project work is the investigation of spatial connection between occurring changes, singling out of global and regional interaction mechanisms. Besides, there is another big advantage of the project assuming the collaboration with groups of scientists involved in oceanography, glaciology, hydrology, permafrost from the Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University. For its part, Russian partner has the possibility to attract various specialists for all sided evaluation of received results, participation in expeditions and experiments.

Having sufficient funding, highly qualified specialists the results could be very impressive in the long-term perspective and contribute of collaborating parties into international science ties and international programs implementation. With active and diversified realization this project could be intensively introduced into a number of international programs studying different phenomena on the territory of Russia. The compatibility of results on international level presupposes the incorporation, for example, into such program as IGBP NES.

The forms of presenting results of this project are very important. It goes without saying, the research data must be regularly generalized and discussed on

seminars and symposia as well as conferences with the attraction of maximal circle of specialists involved in analogous investigations and working on the same territory. Research materials must be presented to the scientific community in a form of publications, for example, joint book called "New Aspects of Kamchatka Forests Vegetation Dynamics Study".

It is evident, that the project of such a scale must have a long-term character which is naturally connected with research object itself the forming frames of which do not give the opportunity to limit oneself to single-moment observation, presenting no character tendencies of dynamics, as well as the necessity of international coordination and the volume of received and processed information and a large group of both Russian and Japanese specialists.

The scientific and organizational participation in the proposed project is very interesting for Far East Forestry Research Institute (Russia) and FEFRI is ready to promote the realization of this project.

Estimating the project "Vegetation Dynamics of Boreal Forest in Kamchatka" as a whole, a very high level of work elaboration, clear presentation of research directions by the authors, as well as methods and methodology basis, spatial and temporal orientation for getting reliable results must be noted.

The current project can make a serious influence on further development of bilateral and international cooperation on complex ecosystems study of Russia boreal forests and other regions of the world.

研究プロジェクト「カムチャッカにおける植生動態と物理的環境の相互作用」に関する評価

ロシア極東森林研究所 副所長
レオニード・コンドラシヨフ

カムチャッカは世界でも大変興味ある地域として多くの研究者の注目を集めてきた。しかしながら、科学技術の発展により近年になってようやくカムチャッカにおける植生の動態を調査・研究することが可能となった。

日本の北海道大学・低温科学研究所を中心とする研究者とロシアの研究者が共同でカムチャッカの植生の動態を研究するプロジェクトを計画しているが、これは大変意義のあることである。この研究プロジェクトはよく計画されており、植生動態の機構、攪乱が森林などの植物群集に及ぼす影響などの解明が期待される。

この研究プロジェクトで提起されている計画はさらに、地球規模の環境変化や地域的な攪乱が植生の動態にどのような影響を与えるのかを解明し、将来の予測を行うのにも役立つものである。

カムチャッカは北方域の寒帯林の研究や火山活動や永久凍土をもった生態系がどのように機能しているかを研究するには最も適した地域である。また、カムチャッカの植生は多様性に富み、物理的環境が植物の生理学的特性や植生動態に及ぼす影響などを研究するには最適の場所である。

この研究プロジェクトでは、シラカバ、トウヒ、ダケカンバ、カラマツなど様々な樹種を含んだ大面積の調査プロットをいくつか設定して、そこにおける植生の動態を長期にわたり調査することが計画されており、研究計画の目的にかなうものである。具体的な調査地は今後の討議と予備的調査で決定される。また、カムチャッカには FEFRI (ハバロフスクの極東森林研究所) がこれまでに設定し、長期にわたって調査を続けている調査プロットがすでにいくつかあり、これらの結果も今回の研究プロジェクトに加えることも可能である。FEFRI はカムチャッカのペトロパブロフスクーカムチャツキーにも研究所を持っており、この研究プロジェクトを遂行するにあたってベース基地として使用できる。

この研究プロジェクトで計画されている調査項目は研究目的を達成するのに十分なものである。さらに、ロシアの研究者がこれまでに用いてきた方法を加えることにより、さらに大きな成果が期待できる。

この研究プロジェクトでは様々な方法により異なった視点から植生動態に関する現象を解明することが計画されている。ここでは、野外の自然林において、植物の個体間相互作用、土壌や水条件と植生との関係、植物の生理学的特性、植物集団の遺伝的構成、水文学、攪乱の植生に対する影響などが調査される。

さらに、この研究計画の重要な項目として年輪年代学的手法を用いた樹木の過去の生長パターンの解析が挙げられる。このことにより、様々な攪乱などの要因がどのようにして森林の成立に関係してきたかを解明することができ、さらに将来の植生動態の予測にも役立つ情報を得ることができる。

森林生態系におけるこれら様々な要素の相互関係をモデル化することが計画されているが、このことにより、攪乱などに対する植生の反応をより正確に予測することが可能となる。

また、北海道大学・低温科学研究所の他の研究グループ、すなわち海洋学、雪氷学、水文学、凍土学など物理的環境を扱うグループとの共同研究をも視野に入れて本研究が計画されているのも重要な点である。

十分な研究費を受けることにより、この研究プロジェクトは長期間にわたる興味深い結果を出すことが期待される。また、この研究プロジェクトはロシアにおける様々な国際共同プロジェクトのうちの期待される一つであり、国際的な研究プログラム IGBP NES の一翼を担うことも期待される。

この研究プロジェクトで得られた成果を世に問うことは重要なことである。言うまでもなく、定期的にセミナーやシンポジウム、国際会議などを開催して研究結果を公表すべきである。また、この研究プロジェクトの研究成果をまとめた「カムチャッカにおける森林植生動態研究の新側面」といったようなタイトルの本の出版も期待される。

このような研究プロジェクトでは一時点の結果だけでは植生動態に関する結論は何も得られない。したがって、長期にわたり研究を続けることが必要である。そのためにもここで計画されているようなロシアと日本の多くの研究者の国際共同研究が必要となる。

この研究プロジェクトの計画案は FEFRI にとっても大変興味深いものであり、FEFRI はいつでも共同研究を開始することができるように準備を整えている。

本研究プロジェクト「カムチャッカにおける植生動態と物理的環境の相互作用」は高い水準の共同研究計画であり、研究の目的・方向性や研究方法も明瞭に示されている。

本研究プロジェクトは、ロシア北方域の寒帯林などの複雑な生態系に関する国際共同研究のさらなる発展に重要な影響を与えることが期待される。

**EVALUATION OF THE GLACIOLOGICAL PART OF THE INTERNATIONAL JOINT
PROJECT "ATMOSPHERE-OCEAN-CRYOSPHERE INTERACTION
IN AND AROUND THE SEA OF OKHOTSK"**

**Carried on by the Institute of Low Temperature Science
(Hokkaido University, Sapporo, Japan)**

*Andrey N. Salamatin
Kazan State University
Kazan, 420008, Tatarstan, RUSSIA*

1. Significance, Urgency, and Originality of the Project

The Okhotsk Sea Region is an important climatic knot tied up by the Nature in the North Pacific Basin. It links and accumulates the influences of the Siberian High and Aleutian Low, of the Cold Asian and Warm Pacific Air masses, of the Amur River discharge and the subsurface circulation of the North Pacific Ocean. All these atmospheric and oceanic interactive processes are played on the cryospheric background in which the Okhotsk Sea represents the most southward penetration of sea ice in the Northern Hemisphere. The well recognized global role of cryosphere (terrestrial permafrost, snowcover, glaciers and sea ice), being one of the major components of the Earth climatic system, is extraordinary enhanced in the Okhotsk Region by its powerful feedback as the extreme position of polar boundary. This results in a strong seasonal cycle and makes both the local climate, as a whole, and the cryosphere, as its counterpart, very sensitive to global changes, to short and long-term external impacts.

In spite of evidently high importance of the cryospheric terrestrial processes, especially hydrological cycles and glaciation in Eastern Siberia and Kamchatka Peninsular, they have only partly been studied mainly by Russian scientists because of former political difficulties. Thus the significance and urgency of a joint research project planned and carried on by the Glaciological Group of the Institute of Low Temperature Science (ILTS) together with Russian specialists are obvious. This is going to be a first continuous international effort to discover the climatic behavior of the Okhotsk Region. The glaciological part of the Project is aimed directly at understanding the exceptional role of the cryosphere and hydrological cycle in the area, in its local climate. The principal emphasis is laid on glaciers monitoring and ice core studies at Kamchatka. Furthermore, the originality of the Project is in its complex approach to the three-faceted problem in

which glaciers are regarded not only as "actors of the play" but also as informative indicators of the present and future climate changes and unique archives of the past climate records.

2. Examination of Concreteness, Validity and Arrangement of the Research Programme

In accordance with the objectives of the Project, the research lines are set quite clearly and directly to investigate the fresh water budget and the sea ice extent in the Okhotsk Sea and their links to the principal atmospheric processes: the Siberian High and Aleutian Low. The interrelations are realized through solid and liquid precipitation, river discharge, snowmelt runoff and glacier mass balance. Kamchatka, being an intermediate geographical zone of the region separates the Siberian High and Okhotsk Sea from the North Pacific. It is obviously the most representative cryospheric area. The suggested combination of Automatic Weather Station (AWS) measurements, complex geomorphologic and geocological field works together with ice-core studies and glacier dynamics monitoring at Ushkovsky volcano (crater ice cap) and Kronotsky Peninsular (Koryto glacier) forms a definite and very concrete basis of the Glaciological Research Programme.

The Plan includes designing, construction and installation of different units of special equipment, such as the above mentioned AWS, drilling devises for ice coring, equipment for radio-echo sounding. It calls for regular summer expeditions for AWS data acquisition and maintenance, for conducting field works at separated locations and sites at high altitudes in mountainous volcanic regions. The author of the present review two times was invited by the Institute of Volcanology and took part as a Senior Researcher in the Volcano-Glaciological Expedition at Kamchatka in the areas of the Project focus. So, it is worth of noting here that the Plan is a serious and ambitious attempt to undertake complex simultaneous all-round glaciological and climatological exploration at Kamchatka. All its stages are thoroughly elaborated and scheduled. The latter peculiarities make the value and validity of the Project extremely high.

In addition, the total research program is a result of deep preliminary discussions of the problem at workshops, scientific meetings, and the international symposium recently held by ILTS. Special reconnaissance research trips to Kamchatka were organized in 1995 and 1996 to gain a better understanding of the local geographic situation, to choose the sites of observations, and to establish collaborative contacts with the Institute of

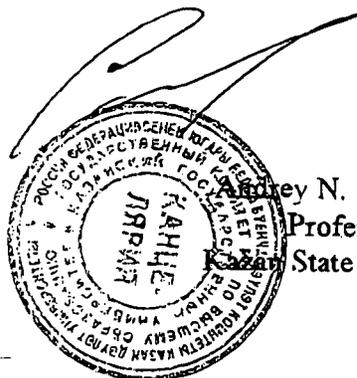
Volcanology and other environmental institutions. All these arrangements provide a reliable basis for successful implementation of the Project.

3. Evaluation of Previous Scientific Achievements

The final success of such a challenging research programme crucially depends on skill of the Glaciological Group and its close collaboration with experienced Russian colleagues. The high scientific standard of Hokkaido University and ILTS is a guaranty in the first case. All members of the Glaciological Group are well known researchers, explorers and organizers in various branches of the Science related to their new enterprise. The spectra of their recent publications cover wide range of hydrological, geochemical and glaciological processes in different environmental situations and ecological systems. They show rich experience of the staff in organizing and conducting international expeditions, all over the world, among which expeditions to Antarctica, Patagonia, and continuous field works in tundra and forested regions in Siberia and Canada are most impressive. Various original instruments and methods have been developed and used for these studies in ILTS. This is a strong well matched group, capable to perform forefront scientific projects in hydrology and glaciology.

Another point should be mentioned here, that is the scientific merits of the Russian partners involved in the considered project. All of them Dr. Ya.Muravyev, Dr. G.Glasirin, and Dr. O.Solomina are widely known leading scientists in glaciology, hydrology, and geomorphology. They are well trained and experienced in field work in different mountainous regions and difficult climatic conditions. In addition, Dr. Ya.Muravyev is undoubtedly the most competent specialist in geography and, particularly, in glaciology of Kamchatka Peninsular.

At the conclusion, it is appropriate to evaluate the reviewed glaciological part of the project "Atmosphere-Ocean-Cryosphere Interaction in and around the Sea of Okhotsk" as consistent, comprehensive and scientifically well provided research program with high probability to obtain significant and important results for better understanding of the Nature of the Okhotsk Sea Region.



Andrey N. Salamatin
Professor
Khabarovsk State University

北海道大学低温科学研究所によって推進される国際共同研究
「オホーツク海と周辺陸域における大気－海洋－雪氷圏相互作用」
における雪氷学分野に関する評価

アンドレイ・N. サラマーチン
カザン州立大学
ロシア共和国タタール州カザン 420008

1. プロジェクトの重要性、緊急性および独創性に関する評価

オホーツク海地域は、北太平洋の自然と密接に関連した気候学的に重要な地域である。この地域は、シベリア高気圧とアリューシャン低気圧、アジア大陸の寒冷な気団と太平洋の温暖な気団、アムール川の流出と北太平洋の海洋循環のそれぞれを結びつけ、互いの影響を受ける。これらの全ての大気および海洋相互作用は雪氷圏を背景に生じ、その結果、オホーツク海は北半球で最も低緯度まで海水が発達する地域となっている。すなわち、地球の気候システムにおける主要な要素である雪氷圏（陸上の永久凍土・積雪・氷河・海水）の役割は、オホーツク海において特に強調されている。これは、この地域が極域との境界に位置するので強力なフィードバックが生じているためである。この結果、オホーツク海では季節的な変化が大きくなり、この地域の局地的な気候とそれに付随している雪氷圏は、全球的な環境変化に鋭敏に反応するとともに、短期間ないし長期間の外部からの影響に対しても敏感に応答する。

環オホーツク地域の雪氷圏における陸面過程、特にカムチャツカ半島と東シベリアにおける水文循環と氷河作用はひじょうに重要であるにもかかわらず、政治的な問題から、これらの課題はこれまで主としてロシア人研究者によって研究されてきたに過ぎない。従って低温科学研究所雪氷学グループによってロシア人専門家とともに計画・推進される共同研究計画の重要性と緊急性は明らかである。この共同研究は、オホーツク海地域の気候の振る舞いを解明することを目指す世界初の恒久的な国際的取り組みである。この共同研究の雪氷学グループの計画は、オホーツク海地域における雪氷圏と水文循環の局地的な気候に果たす役割を直接的に解明することを目的としている。まず第一に、カムチャツカ半島において氷河変動のモニタリングと雪氷コア研究を推進する。この共同研究の独創的な点は、多面的な問題に対し複合的なアプローチを採用していることである。ここでは氷河を「劇を演じる役者」としてだけでなく、現在と将来の気候変化の指標として、そして古気候情報のユニークな貯蔵庫として取り扱う。

2. 研究計画の具体性、妥当性および準備状況に関する評価

実際の調査計画は環オホーツク地域における淡水収支、オホーツク海の海水分布、およびこれらと大気—すなわちシベリア高気圧とアリューシャン低気圧—との関係を明瞭にかつ直接的に解明するよう設定されており、プロジェクトの目的とよく一致している。カムチャツカ半島は、シベリアとオホーツク海を北太平洋から境する地域に位置しているため、固体および液体降水・河川流出・融雪流出および氷河質量収支を通じてこれらの相互作用を捉えることが可能である。この地域が最も代表的な雪氷圏であることは明らかである。提案されているウシュコフスキー火山（クレーター氷冠）とクロノツキー半島（カレイタ氷河）における無人気象観測（AWS）、地形・生態学的野外調査、氷床コア研究・氷河動力学モニタリングの組み合わせは、雪氷研究プログラムの根幹であり、ひじょうに具体的である。

研究計画においては、上述したAWS、雪氷コア掘削ドリル、および電波探査などの特別な装置の設計・製作・設置をも含んでいる。研究計画によると、定期的な夏期のAWSデータ回収と保守のための現地調査、およびいくつかの火山地域の高高度における野外調査も提唱している。私は2度、調査員として火山学研究所に招聘され、この研究計画が焦点を当てているカムチャツカ半島の火山—氷河調査隊に参加したことがある。この経験から鑑みると、この計画が、雪氷学・気候学を取り巻く多様な探求をカムチャツカにおいて同時に実現するひじょうに真執かつ野心的な試みであることを述べておくことも価値があるろう。計画については、全ての段階が周到に練られたスケジュールで組まれている。よく練られたスケジュールは、この研究計画の価値と確実性をひじょうに高めている。

以上のことに加え、全体的な研究計画は、ワークショップ、研究会議および最近低温科学研究所にて開催された国際シンポジウムなどによる十分な議論を経ている。1995年と1996年には特別に予察調査がカムチャツカにおいて実施され、地理的な状況をさらに理解し、観測地域を選択し、火山学研究所や他の環境研究機関などとの協力体制を確立することが意図された。これらの全ての基礎的な準備過程は、本計画が成就することを確約している。

3. 研究グループの研究実績に関する評価

このような意欲的な研究計画が成功するかどうかはひとえに雪氷グループの能力および優れたロシア側共同研究者との協力によることは言をまたない。北海道大学および低温科学研究所の科学的水準の高さは言うまでもない。雪氷グループの全ての研究者は、彼らの関係している多様な分野においてよく知られた科学者であり、フィールドワーカーであり、そして組織作りにも長けている。最近の彼らの発表論文は、様々な地理的条件において、また様々な生態系において水文学、地球化学、雪氷学の諸過程を幅広く取り上げている。また、彼らの活動をみると、南極やパタゴニアへの遠征、シベリアやカナダのツンドラや森林地帯における継続的な野外調査など、世界中の国際共同観測を企画し組織することにかけてはひじょうに経験が深い。彼らの中では、さまざまな独創的な装置や手法が開発されてきており、これらを低温科学研究所における研究において活用してきた。従って、この研究グループは本計画を遂行するのに最も適した集団であり、水文学と雪氷学における最先端の科学研究計画を遂行することが可能となるであろう。

もうひとつ指摘しておきたいことがある。それはこの計画に関わるロシア側共同研究者の科学的な実力のことである。ヤロスラフ・ムラビエフ博士、グレップ・グラジーリン博士そしてオルガ・ソロミナ博士らは、氷河学、水文学、地形学の分野では著名な最先端にいる科学者である。彼らは様々な山岳地域や気候条件下における野外活動に携わりひじょうに熟練している。特に、ヤロスラフ・ムラビエフ博士は間違いなく地理学において、とくにカムチャツカ半島の氷河については最適の専門家である。

とりまとめると、共同研究「オホーツク海と周辺陸域における大気-海洋-雪氷圏相互作用」における雪氷学分野の課題は、全体として、総合的で科学的によく練られた研究計画であり、環オホーツク地域の自然の理解をさらにすすめるような重要な結果をもたらす可能性がひじょうに高いと評価する。

アンドレイ・サラマーチン
カザン州立大学教授

「オホーツク海と周辺陸域における大気・海洋・雪氷圏相互作用計画、雪氷学グループ観測計画」に関する評価

国立極地研究所 北極圏環境研究センター
センター長 教授 藤井理行

1. はじめに

当該プロジェクトの価値および当初計画については、すでに1997年度の外部評価において、当時の渡辺センター長および他の評価委員がすでに述べているので、ここでは、主としてその後の進捗状況について評価する。

2. 1997年度までの達成度について

表題の計画は、環オホーツク陸域全体に及ぶ壮大なものである。当面の観測地域をカムチャッカに絞っている点は、やや羊頭狗肉の感があるが、現実的な対応と言えよう。長期的な計画の第一歩として、妥当な選択であることは1997年版報告書に渡辺によって述べられている通りである。

1996年度は、計画の立ち上げという段階で、特にロシア側研究者との意見交換に意義があったと推測する。この種の計画では、研究グループの構成が極めて重要であり、現時点では最善に近い共同研究態勢を構築し得たことを高く評価したい。1997年度は、ウシュコフスキー氷冠のレーダー・エコー・サウンディングと表層掘削による氷試料の採取が計画の眼目であったが、ほぼ予定通り達成している。これらはいずれも、1998年度に計画している本格的な氷冠掘削の基礎データとなるものである。

全体として、研究の進行が遅いように感じるが、限られた予算と人で、困難な観測を着実に進めているというのが、評者の印象である。

3. 1998年度以降の計画について

1998年度の大きな目標は、ウシュコフスキー氷冠での基盤に達する掘削である。氷厚200mと見積もられており、年代にして500年程度の気候・環境変動を調べることができよう。特に、産業革命以後の北半球における気候変動や大気汚染などの解明に貴重なデータが得られると期待される。このデータは、北極圏の違う場所におけるアイス・コアのデータと比較して初めてその真価が見えてくると考えられるが、この点において、もう一步踏み込んだ計画を期待したい。例えば、この計画は環北極海雪氷コア観測計画（ICAPP）の一環として位置づけられるものであろうが、他のアイス・コアとの比較をいかに進めるかという視点が希薄なように思う。

環北極海雪氷コア観測計画（ICAPP：Ice Core Circum-Arctic Paleoclimate Program）は、国際北極科学委員会（IASC）の下での国際協同研究として進められており、これまでに、グリーンランド、極北カナダ、スバルルバル諸島、ロシア北極海のセベルナヤ・ゼムリア島等で氷河・氷床の雪氷コア観測が行われてきた。中心課題は、各地の雪氷コアの分析から、低緯度からの物質輸送機構を解明することであり、北半球における気候

変動と物質輸送システムの間係を明らかにできると期待されている。本研究プロジェクトのカムチャッカ・ウシュコフスキー氷冠における掘削は、まさにICAPPの一翼を担うに相応しいものである。このような意義を踏まえて、本研究の推進を図って頂きたい。

また、カムチャッカ以降の長期的な展望が不明確である。当面の課題に集中しなければならないという状況は理解できるが、プロジェクトの表題が壮大であるだけに、それに見合った長期計画のアウトラインを描いた上で、当面の計画を位置づけるという姿勢を望みたい。

Atmospheric-Ocean-Cryosphere Interaction in and around the Sea of Okhotsk

Evaluation of the Research Proposal of Glaciological, Hydrological and Geomorphological Groups submitted on Feb. 18, 1998

1. Background

The full project aims to investigate the climatic sensitivity of the region of the Sea of Okhotsk, and in particular how such region has responded in the past and may react in the future to global changes.

The Circum Okhotsk Region (COR) is of special interest because of the competition in this area between the Aleutian Low and Siberian High and the large amount of sea ice formed in the Sea of Okhotsk, which is the southernmost region in the Northern Hemisphere where sea ice is formed. This situation makes COR potentially very sensitive to climatic changes.

The project essentially involves observations of the ocean, the atmosphere and the cryosphere. The present evaluation deals with the cryospheric part, which focus on Kamchatka with the following purposes:

- providing information about the climatic conditions and hydrological cycle in glacial environment of the peninsula;
- investigating glacier fluctuations through different time scales;
- reconstructing past environment by investigating proxy climate signals such as those recorded in ice-cores and tree-rings.

The project started in 1996. The plans are to conduct the research in Kamchatka until the year 2000 and then to extend it to Siberia.

2. Evaluation

2.1 Monitoring climatic conditions

Two complementary approaches are proposed: (i) compiling relevant meteorological data collected by former USSR and Russia, (ii) settling Automatic Weather Station in the Kamchatka peninsula.

3 AWS have been installed in 1996 in order to compare east-west change of climate, one being placed on the Ushkovsky volcano (see 2.3) with snow depth and temperature sensors. The first set of data were collected in the summer 1997 and it will be interesting to have soon at least an idea of the preliminary data in terms of climatological analyses.

The monitoring of climatic conditions is an essential step for understanding and interpreting the glacier fluctuations which is the second item of the project.

2.2 Reconstructing and monitoring glacier fluctuations

The Koryto glacier, on the eastern side of Kamchatka (by the way a map showing the different sites investigated in the project is really missing in the proposal), has been selected for mass balance ice dynamics studies. From previous studies we know that the terminus of the Koryto glacier retreated by 80 m from 1971 to 1982. But the front retreat is only one part of the mass balance. A preliminary study was performed in 1996 and more measurements performed in the summer 1997 to fulfill a full-year measurement of mass balance for 1996/1997. The results are not given in the report part of the proposal. On the other hand active basal sliding is indicated by the flow measurements and should be taken into account when simulating glacier fluctuations by climatic change. Also geomorphological work conducted in 1997 provides information of past glacial fluctuations. I could not find any indication in the proposal about the time interval which is involved by such reconstruction.

Further geomorphological and geocological works have been conducted in Esso (a basin of the central range) and its vicinity. A rather extensive glaciation was recognized and dated older than the Holocene. A peat core recovered near Kamchatka river is now studied for palynology.

2.3 Paleoclimate reconstruction by proxy records.

The ice cap at the summit of Ushkovsky volcano, because of its low temperature conditions, has been selected as a potential site for recovering an ice-core climatic record. In 1996 a 27-m firn core has been recovered in order to check if the site could be suitable for keeping a past climate record. The results of the firn core analysis have been published (Shiraiwa et al., 1997). They provide basic data and information such as the average accumulation rate over the last 27 years (0.57 m/yr water equivalent), the firn temperature at 10 m depth (-16.5°C) and the melt feature percentage. In particular it is shown that the melt feature percentage is correlated with summer mean air temperature at 700 hPa over Kamchatka. The about 200 m thick ice cover may thus reveal interesting data on past climatic history over the last centuries. An about 200 m drilling operation is planned for June 1998.

Dendroclimatological studies were also conducted in 1997 in Esso and Koryto glacier basin, which should also provide past climatic information.

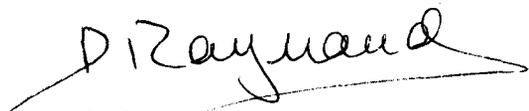
3. Conclusions

The idea of the global project is excellent and fits very well in the frame of IGBP. The understanding of the past evolution and the climatic reaction of the terrestrial cryospheric reservoir is important and should continue to be part of the project. In this context, the collaboration between Japanese and Russian scientists is essential.

The 96-97 activities and their results stress the importance of completing the drilling to bedrock at the Ushkovsky ice cap and it should be most useful to better document the glaciation in the central part of Kamtchatka (planned for summer 98). The monitoring of the recent climatic conditions is also a necessary step and the effort should of course continue to document the regional climatic variability.

On the other hand the 97-98 mass balance results for Koryoto should be provided as soon as possible (they are maybe already available). It is maybe more difficult to assess what should be the best strategy for future studies on glacier mass balance and dynamics: continue over several mass balance measurements on the same glacier, look at a variety of glaciers from different locations and nature (surging,...).

Saint Martin d'Hères, March 20, 1998

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'D. Raynaud', with a long horizontal flourish extending to the right.

D. Raynaud

Head of LGGE

6. 国際シンポジウム（プログラム）

「オホーツクおよびその周辺域における気候系と生態系」

(INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CLIMATE SYSTEM
AND ECOSYSTEM IN AND AROUND THE SEA OF OKHOTSK)

シンポジウム実行委員会

(竹内謙介、成瀬廉二、大島慶一郎、原登志彦、兒玉裕二、白岩孝行、大河内直彦)

(1) . 日時、場所

日時: 1996年11月25—27日

場所: 北海道大学低温科学研究所

(2) . シンポジウムの目的

低温研究所では改組以来、中心的な研究フィールドとしてオホーツクおよびその周辺を設定してきた。このシンポジウムは、オホーツク研究を、さらに国際的なプロジェクトに発展させる一環として行われた。そのために、内外の関連した分野での先導的な研究者を招待し、現在の研究の最前線を確認し、総括する事によって、これからの計画立案の礎とする事を目指したものである。

25日には海を中心とした研究、26、7日には陸域を中心とした研究が、海外10名、国内21名の研究者によって紹介され、議論された。シンポジウムは、なるべく実質的、非公式的に行われるように企画されたが、会場に入りきれない位の参加者があり、予想を上回る熱気のこもった研究会となった。内容については海洋、陸域に分け、後述する。

なお、このシンポジウムは文部省の中核的研究機関支援プログラムの一環として行われたものである。(竹内)

MONDAY, NOVEMBER 25

10:00-10:10 Opening remarks

*Each presentation is followed by 5- or 10-minute discussion.

Session 1 Sea Ice Research in the Okhotsk Sea

Chairman: Jinro UKITA (EORC, NASDA)

10:10-10:30 Relation between Sea Ice Extent in the Okhotsk Sea and the Atmospheric circulation

K. Yamazaki (Graduate School of Env. Earth Sci., Hokkaido Univ.)

10:40-11:00 Future Prospects for the Sea Ice Research with Satellite

H. Enomoto (Kitami Institute of Technology)

11:10-11:40 Sea Ice Variability in the Sea of Okhotsk Determined by Passive Microwave Satellite Observations

D. Cavalieri (NASA, Goddard Space Flight Center)

11:50-12:10 Current and Proposed Studies on the Okhotsk Sea and Sea Ice

M. Wakatsuchi and Y. Fujiyoshi (ILTS, Hokkaido Univ.)

Session 2 Circulation and Water Mass Formation in the Okhotsk Sea

Chairman: Kay I. Ohshima (ILTS, Hokkaido Univ.)

13:20-13:40 A coupled ice-ocean model of the Sea of Okhotsk

M. Ikeda (Graduate School of Env. Earth Sci., Hokkaido Univ.)

13:45-14:15 Water Masses of the Okhotsk Sea and Exchange with the North Pacific

S.C.Riser (University of Washington)

14:25-14:45 Annual velocity variations in the Oyashio southeast of Hokkaido

T. Khono and Y. Kawasaki (Hokkaido National Fisheries Research Institute)

14:50-15:05 Monitoring of the eddies in the southern Okhotsk Sea based on METEOR and NOAA satellites and in-situ data

O.Ryabov (Mech. Eng. Lab.), N.V. Bulatov, L.A.Kurennaya,

L.S.Muktepavel (Pacific Res. Ins. Fish. Oceangr.),

M.G.Alexanina, E.E.Herbeck (Inst. Auto. Contr.Proc.)

15:10-15:40 On the Russian Current and Proposed Studies in the Okhotsk Sea.

Y.N. Volkov and S.M. Varlamov (Far-Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute)

Session 3 Chemical Oceanography in High Latitude

Chairman: Naohiko Ohkouchi (ILTS Hokkaido Univ.)

16:00-16:15 Paleoceanography in the Okhotsk Sea: A Key to the Land-Ocean Linkages

K. Takahashi (Fac. Engineering, Hokkaido Tokai Univ.)

16:20-16:50 Late Quaternary Paleoceanography in Antarctic Ocean

P. Hesse (Macquarie Univ.)

16:55-17:15 Biogeochemical Cycles in Surface Mixed Layer of High-Latitudinal Oceans: Assessment from Geochemical Tracers obtained by Sediment Trap Systems.

T. Nakatsuka (ILTS, Hokkaido Univ.)

18:00- Banquet

TUESDAY, NOVEMBER 26

Session 4 Circum-Okhotsk Cryospheric Studies

Chairman: Renji NARUSE (ILTS, Hokkaido Univ.)

09:00-09:25 Glaciers and Climate in Kamchatka.

Y. D. Muravyev (Inst. of Volcanology, RAS)

09:35-10:00 Last Glacial Arctic Marine Ice Sheet.

M.G. Grosswald (Inst. of Geography, RAS)

10:10-10:35 International Deep Drilling Project in Greenland-Japanese, Danish, German and Icelandic Cooperation in North GRIP.

S. Johnsen (Science Institute, Univ. of Iceland), H. Shoji (Kitami Institute of Technology) and O. Watanabe (NIPR)

10:45-11:10 Understanding the Interaction of Hydrologic and Thermal Processes.

L. Hinzman (Water Research Center, Univ. of Alaska)

11:20-11:40 Role of Terrestrial Cryosphere on Climate Forming.

T. Ohata (School of Env. Sci., The University of Shiga Prefecture)

Session 5 Ecosystems in the Circum-Okhotsk Region

Chairman: Toshihiko HARA (ILTS, Hokkaido Univ.)

13:00-13:20 Ecological Zones of Kamchatka.

S. Kojima (Fac. of Science, Toyama Univ.)

13:30-13:55 The Results of Vegetation Expedition to Kamchatka.

L.G. Kondrashov (Far East Forestry Research Institute)

14:05-14:25 Vegetation History in the Circum Okhotsk Region inferred from Pollen Records.

Y. Igarashi (Earthscience Co.Ltd)

14:35-15:00 Succession Dynamics of Kamchatka Forests.

D.F. Efremov (Far East Forestry Research Institute)

15:10-15:30 Wetland Characteristics of Kamchatka in Circum Okhotsk Region.

F. Kanda (Hokkaido Univ. of Education)

Session 6 Results of the Kamchatka Expedition 1996

Chairman: Larry HINZMAN (Water Research Center, Univ. of Alaska)

15:50-16:10 Mass Balance Studies at Two Kamchatka Glaciers.

T. Shiraiwa (ILTS, Hokkaido Univ.) and

Y. Muravyev (Inst. of Volcanology, RAS)

16:20-16:40 Glacio-Hydrological Study at Koryto Glacier.

Y. Kodama (ILTS, Hokkaido Univ.) and G. Glazirin

(Central Asian Hydrometeorological Institute)

16:50-17:05 Vegetation Patterns with Micro-scaling in Central Kamchatka.

T. Sato (Fac. of Science, Shinsyu Univ.), M. Vyatkina and P.A.Khomentovsky

(Kamchatka Inst. Ecology and Nature Management, RAS)

17:15-17:30 Preliminary observation in Severnaya Zemlya.

S. Takahashi (Kitami Institute of Technology)

WEDNESDAY, NOVEMBER 27

Session 7 Glaciology and Hydro-Meteorology

Chairman: Hiroyuki ENOMOTO (Kitami Institute of Technology)

09:15-09:30 Satellite Based Cryospheric Study in the Okhotsk Region.

F. Nishio (Hokkaido Univ. of Education)

09:40-09:55 Variability of Aleutian Low and Cyclone Tracks.

K. Ueno (School of Env. Sci., The University of Shiga Prefecture)

Session 8 Present and Quaternary Terrestrial Environments

Chairman: Mikhail GROSSWALD (Inst. of Geography, RAS)

10:05-10:20 Last Glacial Equilibrium Line Altitude in and around Hokkaido.

Y. Ono (Graduate School of Env. Earth Sci., Hokkaido Univ.)

10:30-10:45 Edoma Complex- A Palaeoenvironmental Evidence in Northeastern Siberia.

M. Fukuda (ILTS, Hokkaido Univ.)

10:55-11:10 Last Glacial Environment of Hokkaido as Revealed by Fossil Periglacial Phenomena.

K. Hirakawa (Graduate School of Env. Earth Sci., Hokkaido Univ.)

11:20-11:35 Quaternary Glaciations in Bystraja River Basin, Esso, Kamchatka.

T. Sone (ILTS, Hokkaido Univ.)

11:45-12:00 Quaternary eolian deposits of Kamchatka.

K. Yamagata (Joetsu University of Education)

12:10 Closing of Sessions

(4) . 第1日目(海洋)のまとめ

海氷の関しては、マイクロ波による衛星観測の話が、NASAのCavalieri博士によって概括され、榎本氏によってその将来展望が提示された。また、オホーツク海の海氷が大気大循環場に与える影響(山崎)や、オホーツク海の海氷海洋結合モデル(池田)等、オホーツク海では今までにないアプローチからの研究が発表され、今後の発展が期待される。海洋に関しては、はじめて本格的にオホーツク海の晩冬~初春期に行った海洋観測(1995年)の成果がワシントン大学のRiser教授によって紹介された。北水研の河野氏より、親潮域における最新の研究成果が発表された。Ryabov氏他からは、ロシアによる衛星観測の成果の一部が発表された。当研究所の若土教授と藤吉教授からは、ロシアとの共同観測を想定して、今後のオホーツク海での観測計画が概括された。これを受けて、ロシアのVarlamov氏からは、研究者サイドは共同研究に積極的である旨コメントがあった。海洋化学のセッションでは、当研究所の中塚氏から高緯度での混合層におけるBiogeochemical サイクルに関する研究展望が発表された。(大島)

(5) . 第2、3日目(陸域)のまとめ

第2日目のセッション4では、大きなテーマの総説あるいは現在進行中のプロジェクトが紹介された。1996年から開始された「カムチャツカ雪氷圏研究」プロジェクトのロシア側代表者であるMuravyev氏(火山研)が、カムチャツカの氷河と気候の特徴を述べ、アイスランド大学のJohnsen氏がグリーンランドの国際共同深層掘削計画(North GRIP)の概要を紹介した。また、凍土やツンドラ地域における水・熱の循環の問題についてHinzman氏(アラスカ大学)と大畑氏(滋賀県立大)から発表があった。さらにGrosswald氏(ロシア地理研)が、かつて北極海からシベリアにかけて大氷床が存在していたとの仮説を論じ、多くの議論をよんだ。

セッション5では、カムチャツカの植物調査についてKondrashov氏(ロシア極東森林研)の報告があり、さらにカムチャツカの植生区分や特性、変遷について小島氏(富山大)、神田氏(北教大釧路)、Efremov氏(極東森林研)から、また環オホーツク各地域の花粉分析による古環境変遷について五十嵐氏(アースサイエンス株)から発表があった。セッション6では、1996年夏に実施されたカムチャツカ雪氷圏調査の内、ウシュコフスキー山頂氷冠(白岩氏:低温研)、カレイタ氷河(兒玉氏:低温研)、植生パタン(佐藤氏:信州大)の成果が報告された。また、高橋氏(北見工大)よりセベルナヤ・ゼムリヤにおける雪氷調査の序報があった。第3日目のセッション7と8には、個々のトピックスに関する最近の研究や諸問題の発表が組み込まれた。具体的には、雪氷圏研究における衛星利用(西尾氏:北教大釧路)、アリューション低気圧の変動性(上野氏:滋賀県立大)、北海道における最終氷期の平衡線高度(小野氏:北大地環研)と周氷河現象(平川氏:地環研)、北シベリアのエドマ層の特性(福田氏:低温研)、カムチャツカ内陸における氷河地形(曾根氏:低温研)と風成堆積物(山縣氏:上越教大)について話題提供があり、活発な議論が交わされた。(成瀬)

7. 研究業績

若土 正暁 (WAKATSUCHI Masaaki) ・ 教授

1 学術論文

- 1) T. Ishikawa, J. Ukita, K. Ohshima, M. Wakatsuchi, T. Yamanouchi and N. Ono : “Coastal polynyas off East Queen Maud Land observed from NOAA AVHRR data” , *J. Oceanogr.*, 52 : 389-398 (1996)*
- 2) N. Worth D. Jr., N. Smith, G. Needler, P. K. Taylor, R. Weller, R. Schmitt, L. Merlivat, A. Vezina, A. Alexiou, M. McPhaden and M. Wakatsuchi : “An ocean observing system for climate” , *Bulletin of American Meteorological Society*, 77 : 2243-2273 (1996)*
- 3) M. Wakatsuchi : “A possible location of sinking of the Japan Sea bottom water formation” , *Proc. Fourth CREAMS Workshop, Vladivostok*, 57-61 (1996)
- 4) T. Watanabe and M. Wakatsuchi : “Formation of 26.8-26.9 σ_θ water in the Kuril Basin of the Sea of Okhotsk as a possible origin of North Pacific Intermediate Water” , *Journal of Geophysical Research*, 103 (C2) : 2849-2866 (1998)*
- 5) M. Wakatsuchi, K. I. Ohshima, Y. Fukamachi and G. Mizuta : “Oceanographic observations in the seasonal sea ice zone of polar seas” , *The Fourth International Scientific Symposium "Role of Ocean Sciences for Sustainable Development"*, Okinawa, 13 (1998)
- 6) K. I. Ohshima, K. Yoshida, H. Shimoda, M. Wakatsuchi, et al. : “Relationship between the upper ocean and sea ice during the Antarctic melting season” , *Journal of Geophysical Research*, (in press)*

2 総説, 解説, 評論等

- 1) 若土正暁 : 「オホーツク海研究の展望」 (総説), 『月刊海洋』, 28 : 523-526 (1996)
- 2) 渡辺達郎, 若土正暁 : 「北太平洋中層水の起源」 (総説), 『月刊海洋』, 28 : 559-562 (1996)
- 3) 若土正暁, 大島慶一郎, 竹内謙介 : 「オホーツク海研究プロジェクトの提案」 (総説), 『月刊海洋』, 28 : 579-582 (1996)
- 4) 若土正暁 : 「オホーツク海研究の今後」 (総説), 『細氷』, 42 : 2-8 (1996)

3 著書

(2) 共著

- 1) 若土正暁 他 : 『極地の科学』, 179 (福田正巳 他編, 北海道大学図書刊行会) (1997)

竹内 謙介 (TAKEUCHI Kensuke) ・ 教授

1 学術論文

1) M. Honda, K. Yamazaki, Y. Tachibana and K. Takeuchi : “Influence of Okhotsk sea-ice extent on atmospheric circulation” , *Geophys. Res.Lett.*, 23 (24) : 3595-3598 (1996)*

2 総説, 解説, 評論等

1) 竹内謙介 : 「海洋・大気・雪氷の相互作用－地球規模気候システムにおける高緯度海洋の役割」 (総説), 『雪氷』, 58 (5) : 389-392 (1996)

2) 竹内謙介 : 「TOGA-COARE : 気象学と海洋学の出会い－1995年度堀内基金奨励賞受賞記念講演」 (解説), 『天気』, 44 : 301-305 (1997)

3) 竹内謙介 : 「海洋の観測」 (解説), 『エネルギー・資源』, 105, (印刷中)

3 著書

(2) 共著

1) 上田博, 竹内謙介, 住明正 : 「気象海洋観測」, 224-247 (平朝彦他 : 『地球の観測』, 岩波書店, 東京) (1996)

河村 公隆 (KAWAMURA Kimitaka) ・教授

1 学術論文

1) K. Kawamura, S. Steinberg and I. R. Kaplan : “Concentrations of mono- and di-carboxylic acids and aldehydes in southern California wet precipitations : comparison of urban and non-urban samples and compositional changes during scavenging” , *Atmos. Environ.*, 30 : 1035-1052 (1996)*

2) R. Sempere and K. Kawamura : “Low molecular weight dicarboxylic acids and related polar compounds in the remote marine rain samples collected from western Pacific” , *Atmos. Environ.*, 30 : 1609-1619 (1996)*

3) K. Kawamura, H. Kasukabe and L. A. Barrie : “Source and reaction pathways of dicarboxylic acids, ketoacids and dicarbonyls in arctic aerosols: one year of observations” , *Atmos. Environ.*, 30 : 1709-1722 (1996)*

4) K. Kawamura, I. Suzuki, Y. Fujii and O. Watanabe : “Ice core record of fatty acids over the past 450 years in Greenland” , *Geophysical Res. Lett.*, 23 : 2665-2668 (1996)*

5) K. Kawamura, R. Sempere, Y. Imai, M. Hayashi and Y. Fujii : “Water soluble dicarboxylic acids and related compounds in the Antarctic aerosols” , *J. Geophys. Res.*, 101 (D13) : 18721-18728 (1996)*

6) K. Kawamura, A. Yanase, T. Eguchi, T. Mikami and L. A. Barrie : “Enhanced atmospheric transport of soil derived organic matter in spring over the high Arctic” , *Geophys Res. Lett.*, 23 : 3735-3737 (1996)*

7) K. Kawamura, K. Yokoyama, Y. Fujii and O. Watanabe : “Vertical distributions of low molecular weight dicarboxylic acids in the Greenland ice core” , *Mem. Natl. Inst. Polar Res.*, 51

(Spec.Issue) : 373-383 (1996)*

- 8) N. Ohkouchi, K. Kawamura and A. Taira : “Fluctuations of terrestrial and marine biomarkers in the western tropical Pacific during the last 20,000 years” , *Paleoceanography*, 12 : 623-630, (1997)*
- 9) N. Ohkouchi, K. Kawamura, H. Kawahata and A. Taira : “Latitudinal distributions of terrestrial biomarkers in the sediments from the Central Pacific” , *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 61 : 1911-1918 (1997)*
- 10) M. Ikehara, K. Kawamura, N. Ohkouchi, K. Kimoto, M. Murayama, T. Nakamura, T. Oba, and A. Taira : “Alkenone sea surface temperature in the Southern Ocean for the last two deglaciations” , *Geophys. Res. Lett.*, 24 : 679-682 (1997)*
- 11) M. Nishikiori, K. Kawamura and Y. Fujii : “Distributions and historical records of aliphatic carboxylic acids in the H15 ice core from Antarctica” , *Proc. NIPR Symp. on Polar Meteorology and Glaciology*, 11 : 76-86 (1997)*
- 12) N. Ohkouchi, K. Kawamura and A. Taira : “Molecular paleoclimatology: reconstruction of climate variabilities in the late Quaternary” , *Org. Geochem.*, 27 : 173-183 (1997)*
- 13) N. Ohkouchi, K. Kawamura, E. Wada and A. Taira : “High abundances of hopanols and hopanoic acids in Cretaceous black shale” , *Ancient Biomolecules*, 1 : 183-192 (1997)*
- 14) 今井美江, 河村公隆 : 「東京における雨・雪及びエアロゾル中のジカルボン酸、ケトカルボン酸、ジカルボニルの分布と季節変化」 , *Res. Organic Geochemistry*, 11 : 61-66 (1996)*
- 15) 錦織睦美, 河村公隆, 林政彦, 藤井理行 : 「南極エアロゾル中のモノおよびジカルボン酸とオキソ酸」 , 『地球化学』 , 30 : 27-34 (1996)*
- 16) 大河内直彦, 和田英太郎, 河村公隆, 平朝彦 : 「アルケノン生産量と窒素同位体比の関係」 , 『月刊海洋』 , 28 : 493-497 (1996)
- 17) 大河内直彦, 河村公隆 : 「古環境を復元する指標としてのバイオマーカー」 , 『地学雑誌』 , (印刷中)*

2 総説, 解説, 評論等

- 1) 河村公隆 : 「極域エアロゾルの有機地球化学 : 有機物の長距離大気輸送と光化学的変質」 (総説) , 『地球環境』 , 2 巻 1 号 : 57-67 (1997)
- 2) 池原実, 大河内直彦, 河村公隆 : 「植物プランクトンと海水温度計」 (解説) , 『月刊海洋』 , 号外No.12 : 162-165 (1997)

3 著書

(2) 共著

- 1) K. Kawamura : “Total carbon and nitrogen contents and molecular composition of watersoluble organic matter in the marine aerosols from western North to tropical Central Pacific” , (N. Handa, E. Tanoue and T. Hama : *Dynamics and Characterization of Marine Organic Matter*, Terra Scientific Publishing Co., Tokyo) (in press)*

藤吉 康志 (FUJIYOSHI Yasushi) ・教授

1 学術論文

- 1) Y. Fujiyoshi, K. Kodama, K. Tsuboki, K. Nishimura, and N. Ono : “Structure of cold air during the development of a broad band cloud and a meso- β -scale vortex: Simultaneous two-point radiosonde observations” , *J. Meteor. Soc. Japan*, 74 : 281-297 (1996)*
- 2) Y. Fujiyoshi and K. Muramoto : “The effect of breakup of melting snowflakes on the resulting size distribution of raindrops” , *J. Meteor. Soc. Japan*, 74 : 343-353 (1996)*
- 3) B. Geng, Y. Fujiyoshi, and T. Takeda : “Evolution of a multicell thunderstorm in association with midlevel rear inflow enhanced by a midlevel vortex in an adjacent thunderstorm” , *J. Meteor. Soc. Japan*, 75 : 619-637 (1997)*
- 4) Y. Fujiyoshi, N. Yoshimoto, and T. Takeda : “ A dual-Doppler radar study of longitudinal-mode snowbands. Part I: A three dimensional kinematic structure of meso- γ -scale convective cloud systems within a longitudinal-mode snowband” , *Mon. Wea. Rev.*, 126 : 72-91 (1998)*
- 5) 藤吉康志, 武田喬男, 藤田岳人, 小尻利治, 池田繁樹, 宝馨 : 「複雑山岳地形が風下の降雪分布に及ぼす効果－濃尾平野を例として－」, 『天気』, 43 : 393-408 (1996)*
- 6) 荒生公雄, 中根重勝, 岩崎博之, 藤吉康志, 武田喬男 : 「雲仙岳に大規模な土石流を発生させた豪雨の特徴」, 『自然災害科学』, 16号 : 27-40 (1997)
- 7) 藤吉康志 : 「メソ降水観測－メソ降水雲系の研究発展と航空機」, 『天気』, 44 : 694-699 (1997)

小林 大二 (KOBAYASHI Daiji) ・教授

1 学術論文

- 1) D. Kobayashi, Y. D. Muravyev, Y. Kodama, and T. Shiraiwa : “An outline of Russo-Japanese joint glacier research project in Kamchatka, 1996” , *Bulletin of Glacier Research*, 15 : 19-26 (1997)

本堂 武夫 (HONDOH Takeo) ・教授

1 学術論文

- 1) H. Itoh, K. Kawamura, T. Hondoh and S. Mae : “Molecular dynamics studies of proton ordering effects on lattice vibrations in ice Ih” , *Physica B*, 219&220 : 469-472 (1996)*
- 2) H. Fukazawa, T. Ikeda, T. Hondoh, V. Ya. Lipenkov and S. Mae : “Aging effects on translational lattice vibrations in ice Ih” , *Physica B*, 219&220 : 466-468 (1996)*
- 3) H. Itoh, K. Kawamura, T. Hondoh and S. Mae : “Molecular dynamics studies of

self-interstitials in ice Ih” , *J. Chem. Phys.*, 105 : 2408-2413 (1996)*

4) T. Ikeda, H. Fukazawa, T. Hondoh, V. Ya. Lipenkov, P. Duval and S. Mae : “Polarized Raman spectra of clathrate hydrate crystals in deep ice cores of Antarctica” , *Proc. 2nd Int. Conf. Natural Gas Hydrates*, 117-122 (1996)

5) T. Hondoh : “Clathrate hydrates in polar ice sheets” , *Proc. 2nd Int. Conf. Natural Gas Hydrates*, 131-138 (1996)

6) T. Ikeda, T. Uchida, T. Hondoh, P. Duval, V. Ya. Lipenkov and S. Mae : “Air-hydrate crystals in cloudy bands of Vostok ice cores, Antarctica” , *Proc. 2nd Int. Conf. Natural Gas Hydrates*, 215-219 (1996)

7) H. Fukazawa, T. Ikeda, T. Hondoh, P. Duval, V. Ya. Lipenkov and S. Mae : “Molecular fractionation of air constituent gases during crystal growth of clathrate hydrate in polar ice sheets” , *Proc. 2nd Int. Conf. Natural Gas Hydrates*, 237-242 (1996)

8) T. Uchida, A. Takagi, T. Hirano, H. Narita, J. Kawabata, T. Hondoh and S. Mae : “Measurements on guest-host molecular density ratio of CO₂ and CH₄ hydrates by Raman spectroscopy” , *Proc. 2nd Int. Conf. Natural Gas Hydrates*, 335-339 (1996)

9) H. Itoh, S. Horikawa, K. Kawamura, T. Uchida, T. Hondoh and S. Mae : “Molecular dynamics studies of structure I clathrate hydrate of carbon dioxide” , *Proc. 2nd Int. Conf. Natural Gas Hydrates*, 341-346 (1996)

10) K. Satoh, T. Uchida, T. Hondoh and S. Mae : “Diffusion coefficient and solubility measurements of noble gases in ice crystals” , *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, 10 : 73-81 (1996)*

11) O. Watanabe, Y. Fujii, H. Motoyama, T. Furukawa, H. Shoji, H. Enomoto, T. Kameda, H. Narita, R. Naruse, T. Hondoh, S. Fujita, S. Mae, N. Azuma, S. Kobayashi, M. Nakawo and Y. Ageta : “A preliminary study of ice core chronology at Dome Fuji Station, Antarctica” , *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Meteorology and Glaciology*, No.11 : 9-13 (1997)*

12) T. Ikeda, H. Fukazawa, S. Mae, T. Hondoh and C.C. Langway, Jr. : “Crystal-Orientation Dependence of Raman Spectra of Natural Air Hydrate Single Crystal” , *J. Phys. Chem. B*, 101 : 6180-6183 (1997)

13) H. Fukazawa, D. Suzuki, T. Ikeda, S. Mae and T. Hondoh : “Raman Spectra of Translational Lattice Vibrations in Polar Ice” , *J. Phys. Chem. B*, 101 : 6184-6187 (1997)

14) S. Horikawa, H. Itoh, J. Tabata, K. Kawamura and T. Hondoh : “Dynamic Behavior of Diatomic Guest Molecules in Clathrate Hydrate Structure II” , *J. Phys. Chem. B*, 101 : 6290-6292 (1997)

2 総説, 解説, 評論等

1) 内田努, 本堂武夫 : 「ハイドレート中のガス含有量測定の現状」 (総説), 『月刊地球』, 18 : 679-684 (1996)

原 登志彦 (HARA Toshihiko) ・ 教授

1 学術論文

- 1) Y. Kubota and T. Hara : “Allometry and competition between saplings of *Picea jezoensis* and *Abies sachalinensis* in a sub-boreal coniferous forest, northern Japan” , *Annals of Botany*, 77 : 529-537 (1996)*
- 2) B. Li, A. R. Watkinson and T. Hara : “Dynamics of competition in populations of carrot (*Daucus carota* L.)” , *Annals of Botany*, 78 : 203-214 (1996)*
- 3) M. Yokozawa, Y. Kubota and T. Hara : “Crown architecture and species coexistence in plant communities.” , *Annals of Botany*, 78 : 437-447 (1996)*
- 4) Y. Kubota and T. Hara : “Recruitment processes and species coexistence in a sub-boreal forest in northern Japan” , *Annals of Botany*, 78 : 741-748 (1996)*
- 5) H. Skalova, S. Pechackova, J. Suzuki, T. Herben, T. Hara, V. Hadincova and F. Krahulec : “Within population genetic differentiation in traits affecting clonal growth: *Festuca rubra* in a mountain grassland” , *Journal of Evolutionary Biology*, 10 : 383-406 (1997)
- 6) T. Hara, and T. Herben : “Shoot growth dynamics and size-dependent shoot fate of a clonal plant, *Festuca rubra*, in a mountain grassland” , *Researches on Population Ecology*, 39 : 83-93 (1997)
- 7) M. Yokozawa, Y. Kubota, and T. Hara : “Effects of competition mode on spatial pattern dynamics in plant communities” , *Ecological Modelling*, (1997) (in press)
- 8) B. Li, J. Suzuki, and T. Hara : “Latitudinal variation in plant size and relative growth rate in *Arabidopsis thaliana*” , *Oecologia*, (1998) (in press)

3 著書

(2) 共著

- 1) M. Srutek and T. Hara : “*Urtica dioica* L. - a dominant plant of abandoned floodplains” , 147-153 (K. Prach, J. Jenik and A. R. G. Large : *Floodplain Ecology and Management*, SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands) (1996)
- 2) T. Herben and T. Hara : “Competition and spatial dynamics of clonal plants” , 331-357 (H. de Kroon and J. van Groenendael : *The Ecology and Evolution of Clonal Plants*, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands) (1997)

青田 昌秋 (AOTA Masaaki) ・ 教授

2 総説, 解説, 評論等

- 1) K. Shirasawa, M. Ikeda, M. Ishikawa, T. Takatsuka, M. Aota, and Y. Fujiyoshi : “Sea ice conditions and meteorological observations at Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, December 1995 - November 1996” , *Low Temperature Science, Ser. A*, 55 (Data Report) : 47-77 (1996)

- 2) M. Ishikawa, T. Takatsuka, M. Ikeda, K. Shirasawa, and M. Aota : “Distributions of pack ice in the Okhotsk Sea off Hokkaido observed using a sea ice radar network, January-April, 1996” , *Low Temperature Science, Ser. A*, 55 (Data Report) : 79-105 (1996)
- 3) K. Shirasawa, M. Ikeda, M. Ishikawa, T. Takatsuka, Y. Kodama, M. Aota, S. Takahashi, T. Takizawa, A. Polomoshnov, P. Truskov and V. Astafiev : “Meteorological data report for the sea ice studies at Val, Chaivo and Kleye Starit, northern Sakhalin” , *Low Temperature Science, Ser. A*, 55 (Data Report) : 137-203 (1996)
- 4) K. Shirasawa, M. Ikeda, M. Ishikawa, T. Takatsuka, M. Aota and Y. Fujiyoshi : “Sea ice conditions, and meteorological observations at Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, December 1996 - November 1997” , *Low Temperature Science, Ser. A*, 56 (Data Report), (1997) (in press)
- 5) M. Ishikawa, T. Takatsuka, M. Ikeda, K. Shirasawa, and M. Aota : “Distributions of pack ice in the Okhotsk Sea off Hokkaido observed using a sea-ice radar network, January-March, 1997” , *Low Temperature Science, Ser. A*, 56 (Data Report), (1997) (in press)

遠藤辰雄 (ENDO H Tatsuo) ・ 助教授

1 学術論文

- 1) T. Takahashi, T. Endoh, K. Muramoto, C. Nakagawa and I. Noguchi : “Influence of the growth mechanism of snow particles on their chemical composition” , *Atmospheric Environment*, 30 (10/11) : 1683-1692 (1996)*
- 2) K. Muramoto, K. Matsuura, M. Furukawa, T. Endoh and T. Harimaya : “Relationship between raindrop size distribution and rainfall rate” , *Proceedings of 12th ICCP (Zurich)*, 101-104 (1996)
- 3) T. Endoh and T. Takahashi : “Importance of a -15deg.C temperature level on precipitation processes in cloud” , *Proceedings of 12th ICCP (Zurich)*, 240-243 (1996)
- 4) T. Takahashi and T. Endoh : “Supercooled cloud tunnel studies on the riming growth of snow crystals” , *Proceedings of 12th ICCP (Zurich)*, 297-300 (1996)
- 5) H. Konishi, M. Wada and T. Endoh : “Studies on the characteristics of precipitation phenomena obtained by radar observations at Syowa station, Antarctica” , *Proceedings of 12th ICCP (Zurich)* , 664-667 (1996)
- 6) H. Konishi, M. Wada and T. Endoh : “Seasonal variations of clouds and precipitation at Syowa Station, Antarctica” , *Annals of Glaciology*, Vol.27, (1998) (in press)*
- 7) K. I. Ohshima, K. Yoshida, H. Shimoda, M. Wakatsuchi, T. Endoh, M. Fukuchi : “Relationship between the upper ocean and sea ice during the Antarctic melting season” , *Journal of Geophysical Research*, (in press)*
- 8) 小西啓之, 遠藤辰雄 : 「昭和基地の降水の特徴とその季節変化」, 『南極資料』, Vol.41, No.1 : 103-130 (1997)
- 9) 下田春人, 遠藤辰雄, 村本健一郎, 小野延雄, 瀧沢隆俊, 牛尾収輝, 河村俊行, 大島慶一郎

:「船上ビデオ撮影による南極沿岸域の海水状況」,『南極資料』,Vol.41, No.1 : 355-366 (1997)

10) 遠藤辰雄, 山内恭, 石川貴之, 掛川英男, 川口貞男 :「カタバ風帯にみられるダークストリーム」,『南極資料』, Vol.41, No.1 : 447-458 (1997)

大島慶一郎 (OHSHIMA Keiichiro) ・ 助教授

1 学術論文

- 1) K. I. Ohshima, T. Takizawa, S. Ushio, and T. Kawamura : “Seasonal variations of the Antarctic coastal ocean in the vicinity of Lutzow-Holm Bay” , *Journal of Geophysical Research*, 101 (C9) : 20617-20628 (1996)*
- 2) T. Ishikawa, J. Ukita, K. I. Ohshima M. Wakatsuchi, et al. : “Coastal polynyas off East Queen Maud Land observed from NOAA AVHRR data” , *Journal of Oceanography*, 52 : 389-398 (1996)*
- 3) T. Kawamura, K. I. Ohshima, T. Takizawa, and S. Ushio : “Physical, structural, and isotopic characteristics and growth processes of fast sea ice in Lutzow-Holm Bay, Antarctica” , *Journal of Geophysical Research*, 102 : 3345-3355 (1997)*
- 4) Y. Fukamachi, K. I. Ohshima, and T. Ishikawa : “Mesoscale ice features in the summer marginal ice zone off East Queen Maud Land observed in NOAA AVHRR imagery” , (M. O. Jeffries : *Antarctic Research Series, Antarctic Physical Processes, Interactions and Variability*, 74 : 317-324, American Geophysical Union, Washington, D.C., 1998)*
- 5) K. I. Ohshima, K. Yoshida, H. Shimoda, M. Wakatsuchi, T. Endoh, M. Fukuchi : “Relationship between the upper ocean and sea ice during the Antarctic melting season” , *Journal of Geophysical Research*, (in press)*
- 6) 大島慶一郎, 滝沢隆俊, 牛尾収輝, 河村俊行 :「南極沿岸海洋場の 季節サイクル」,『南極資料』, Vol.41-1 : 311-328 (1997)
- 7) 牛尾収輝, 滝沢隆俊, 大島慶一郎, 河村俊行 :「リュツォ・ホルム湾沿岸ポリニヤ域における海水生産と対流混合」,『南極資料』, Vol.41-1 : 329-334 (1997)
- 8) 滝沢隆俊, 大島慶一郎, 牛尾収輝, 河村俊行, 榎本浩之 :「コスモノート・ポリニヤ水域の水温構造とSSM/I画像から見たポリニヤの特徴」,『南極資料』, Vol.41-1, 335-346 (1997)
- 9) 宮川卓也, 大島慶一郎 :「南極クイーンモードランド沖の海水の漂流特性」,『南極資料』, Vol.41-1 : 347-354 (1997)
- 10) 下田春人, 遠藤辰雄, 村本健一郎, 小野延男, 滝沢隆俊, 牛尾収輝, 河村俊行, 大島慶一郎 :「船上ビデオ撮影による南極沿岸域の海水状況」,『南極資料』, Vol.41-1 : 355-366 (1997)
- 11) 河村俊行, 滝沢隆俊, 大島慶一郎, 牛尾収輝 :「リュツォ・ホルム湾の海水の特性と成長過程」,『南極資料』, Vol.41-1 : 367-384 (1997)

- 12) 河村俊行, 滝沢隆俊, 大島慶一郎, 牛尾収輝 : 「海洋・海氷観測」, 『南極資料』, Vol.41-1 : 395-414 (1997)
- 13) 大島慶一郎 : 「極域・亜極域の沿岸流の変動の研究、1996年度日本海洋学会岡田賞受賞記念講演」, 『海の研究』, Vol.6-2 : 111-120 (1997)

中塚 武 (NAKATSUKA Takeshi) ・ 助教授

1 学術論文

- 1) U. Tsunogai, J. Ishibashi, H. Wakita, T. Gamo, T. Masuzawa, T. Nakatsuka, Y. Nojiri and T. Nakamura : “ Fresh water seepage and pore water recycling on the seafloor: Sagami Trough subduction zone, Japan ” , *Earth and Planetary Science Letter*, 138 : 157-168 (1996)*
- 2) T. Nakatsuka and N. Handa : “ Reconstruction of seasonal variation in nutrient budget of surface mixed layer using $\delta^{15}\text{N}$ of sinking particle collected by time-series sediment trap system ” , *Journal of Oceanography*, 53 : 105-116 (1997)*
- 3) T. Nakatsuka, N. Handa, T. Sugimoto, N. Harada, and S. Imaizumi : “ Origin and decomposition of sinking particulate organic matter in the deep water column inferred from the vertical distributions of its $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{14}\text{C}$ ” , *Deep-Sea Research I*, (1998) (in press)*
- 4) T. Nakatsuka, A. Hosokawa, N. Handa, E. Matsumoto and T. Masuzawa : “ ^{14}C budget of sinking particulate organic matter in Japan Trench: a new approach to estimate the contribution from resuspended particles in deep water column ” , (N. Handa, E. Tanoue and T. Hama : *Biogeochemistry of Marine Organic Matter* , TERRAPUB, Tokyo, 1998) (in press)*

2 総説, 解説, 評論等

- 1) 中塚武 : 「有機物の炭素・窒素安定同位体比－その外洋表層環境の復元の論理」 (総説) , 『月刊海洋号外』, 11 : 148-154 (1996)
- 2) 中塚武 : 「海洋堆積物の窒素同位体比に関する研究－窒素同位体比による海洋表層環境の復元－」 (総説) , 『海の研究』, 6 : 383-397 (1997)*

成瀬 廉二 (NARUSE Renji) ・ 助教授

1 学術論文

- 1) T. Ibarzabal y Donangelo, J. A. J. Hoffmann and R. Naruse : “ Recent climate changes in southern Patagonia ” , *Bulletin of Glacier Research*, 14 : 29-36 (1996)
- 2) Y. Takeuchi, R. Naruse and P. Skvarca : “ Annual air-temperature measurement and ablation estimate at Moreno Glacier, Patagonia ” , *Bulletin of Glacier Research*, 14 : 23-28 (1996)
- 3) M. Aniya, H. Sato, R. Naruse, P. Skvarca and G. Casassa : “ The use of satellite and airborne imagery to inventory outlet glaciers of the Southern Patagonia Ice field, South America ” ,

Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 62 (12) : 1361-1369 (1996)*

- 4) R. Naruse, P. Skvarca and Y. Takeuchi : "Thinning and retreating of Glaciar Upsala, and an estimate of annual ablation changes in southern Patagonia" , *Annals of Glaciology*, Vol.24 : 38-42 (1997)*
- 5) P. Skvarca and R. Naruse : "Dynamic behaviour of Glaciar Perito Moreno, southern Patagonia" , *Annals of Glaciology*, Vol.24 : 268-271 (1997)*
- 6) R. Naruse and J. C. Leiva : "Preliminary study on the shape of snow penitents at Piloto Glacier, the central Andes" , *Bulletin of Glacier Research*, No.15 : 99-104 (1997)
- 7) O. Watanabe, Y. Fujii, H. Motoyama, T. Furukawa, H. Shoji, H. Enomoto, T. Kameda, H. Narita, R. Naruse, T. Hondoh, S. Fujita, S. Mae, N. Azuma, S. Kobayashi, M. Nakawo and Y. Ageta : "A preliminary study of ice core chronology at Dome Fuji Station, Antarctica" , *Proceedings of the NIPR Symposium on Polar Meteorology and Glaciology*, No.11 : 9-13 (1997)*
- 8) M. Aniya, H. Sato, R. Naruse, P. Skvarca and G. Casassa : "Recent glacier variations in the Southern Patagonia Ice field, South America" , *Arctic and Alpine Research*, Vol.29, No.1 : 1-12 (1997)*
- 9) S. Yamaguchi, T. Shiraiwa, Y. Muravyev, G. Glazirin and R. Naruse : "Flow of Koryto Glacier in the Kronotsky Peninsula, Kamchatka, Russia" , *Bulletin of Glacier Research*, 15 : 47-52 (1997)
- 10) 松岡健一, 白岩孝行, 浦塚清峰, 大井正行, 前野英生, 山口悟, Y. D. Muravyev, 成瀬廉二, 前信爾 : 「ロシア連邦カムチャツカ半島のウシュコフスキー氷冠におけるアイスレーダー観測」, 『雪氷』, 59, 4 : 257-262 (1997)

3 著 書

(2) 共 著

- 1) 成瀬廉二 他 : 『極地の科学』, 179 (福田正巳 他編, 北大図書刊行会) (1997)
- 2) 成瀬廉二 他 : 『基礎雪氷学講座 IV』, 312 (藤井理行 他編, 古今書院) (1997)

白澤 邦男 (SHIRASAWA Kunio) ・ 助教授

1 学術論文

- 1) K. Shirasawa, R. G. Ingram, and E. Hudier : "Oceanic heat fluxes under thin sea ice in Saroma-ko lagoon, Hokkaido, Japan" , *J. Marine Systems*, 11 : 9-19 (1997)*
- 2) K. Shirasawa, and R. G. Ingram : "Currents and turbulent fluxes under the first-year sea ice in Resolute Passage, Northwest Territories, Canada" , *J. Marine Systems*, 11 : 21-32 (1997)*
- 3) S. Taguchi, R. E. H. Smith, and K. Shirasawa : "Effect of silicate enrichment on ice algae at low salinity in Saroma-ko Lagoon, Hokkaido, Japan" , *J. Marine Systems*, 11 : 45-52 (1997)*
- 4) S. Taguchi, H. Saito, H. Hattori, and K. Shirasawa : "Vertical flux of ice algal cells during the ice melting and Breaking periods in Saroma Ko Lagoon, Hokkaido. Japan" , *Proc. NIPR Symp.*

2 総説, 解説, 評論等
青田昌秋教授に同じ

河村 俊行 (KAWAMURA Toshiyuki) ・ 助手

1 学術論文

- 1) J. Ukita, N. Tanaka and T. Kawamura : “An isotopic study on sea ice in the Sea of Okhotsk” , *Proceedings of International Workshop on The Okhotsk Sea and Arctic*, 90-94 (1996)
- 2) K. I. Ohshima, T. Takizawa, S. Ushio and T. Kawamura : “Seasonal variations of the Antarctic coastal ocean in the vicinity of Lutzow-Holm Bay” , *J. Geophys. Res.*, 101 (C9) : 20617-20628 (1996)*
- 3) T. Kawamura, K. I. Ohshima, T. Takizawa, and S. Ushio : “Physical, structural and isotopic characteristics and growth processes of fast sea ice in Lutzow-Holm Bay, Antarctica” , *J. Geophys. Res.*, 102 (C2) : 3345-3355 (1997)*
- 4) H. Fushimi, T. Kawamura and H. Iida : “Microscopic structures of acid materials in snow crystals under warm metamorphism” , *International Congress of Acid Snow and Rain*, 56-61 (1997)
- 5) O. Watanabe, W. Shimada, H. Narita, A. Miyamoto, K. Tayuki, T. Hondo, T. Kawamura, S. Fujita, H. Shoji, H. Enomoto, T. Kameda, K. Kawada and K. Yokoyama : “Preliminary discussion of physical properties of the Dome Fuji shallow ice core in 1993, Antarctica” , *Proc. NIPR. Symp. Polar Meteorol Glaciol.*, 11 : 1-8 (1997)*
- 6) 大島慶一郎, 滝沢隆俊, 牛尾収輝, 河村俊行 : 「南極沿岸海洋場の季節サイクル」, 『南極資料』, Vol.41-1 : 311-328 (1997)
- 7) 牛尾収輝, 滝沢隆俊, 大島慶一郎, 河村俊行 : 「リュツォ・ホルム湾沿岸ポリニヤ域における海氷生産と対流混合」, 『南極資料』, Vol.41-1 : 329-334 (1997)
- 8) 滝沢隆俊, 大島慶一郎, 牛尾収輝, 河村俊行, 榎本浩之 : 「コスモノート・ポリニヤ水域の水温構造とSSM/I画像から見たポリニヤの特徴」, 『南極資料』, Vol.41-1 : 335-346 (1997)
- 9) 下田春人, 遠藤辰雄, 村本健一郎, 小野延雄, 滝沢隆俊, 牛尾収輝, 河村俊行, 大島慶一郎 : 「船上ビデオ撮影による南極沿岸域の海氷状況」, 『南極資料』, Vol.41-1 : 355-365 (1997)
- 10) 河村俊行, 滝沢隆俊, 大島慶一郎, 牛尾収輝 : 「リュツォ・ホルム湾の海氷の特性と成長過程」, 『南極資料』, Vol.41-1 : 367-383 (1997)
- 11) 河村俊行, 滝沢隆俊, 大島慶一郎, 牛尾収輝 : 「海洋・海氷観測」, 『南極資料』, Vol.41-1 : 395-414 (1997)

深町 康 (FUKAMACHI Yasushi) ・ 助手

1 学術論文

1) Y. Fukamachi, K. I. Ohshima, and T. Ishikawa : “ Mesoscale ice features in the summer marginal ice zone off East Queen Maud Land observed in NOAA AVHRR imagery ” , (M. O. Jeffries : *Antarctic Research Series, Antarctic Physical Processes, Interactions and Variability*, 74 : 317-324, American Geophysical Union, Washington, D.C., 1998)*

大河内直彦 (OHKOUCHI Naohiko) ・ 助手

1 学術論文

1) M. Ikehara, K. Kawamura, N. Ohkouchi, K. Kimoto, T. Oba, and A. Taira : “ Alkenone sea surface temperature in the Southern Ocean for the last two deglaciations ” , *Geophysical Research Letters*, 24 : 679-682 (1997)*

2) N. Ohkouchi, K. Kawamura, H. Kawahata, and A. Taira : “ Latitudinal distributions of terrestrial biomarkers in the Central Pacific ” , *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61 : 1911-1918 (1997)*

3) N. Ohkouchi, K. Kawamura, and A. Taira : “ Fluctuations of marine and terrestrial biomarkers in the western tropical Pacific during the last 23,300 years ” , *Paleoceanography*, 12 : 623-630 (1997)*

4) N. Ohkouchi and E. Wada : “ Secular variations of sedimentary organic d13C during the last 35 Ma in the tropical Atlantic, Site 925 ” , *Proceedings of Ocean Drilling Program Scientific Results*, 154 : 501-505 (1997)*

5) N. Ohkouchi, K. Kawamura, and A. Taira : “ Molecular paleoclimatology: Reconstruction of climate change in the late Quaternary ” , *Organic Geochemistry*, 27 : 173-183 (1997)*

6) N. Ohkouchi, K. Kawamura, and A. Taira : “ High abundances of hopanols and hopanoic acids in Cretaceous black shales ” , *Ancient Biomolecules*, 1 : 183-192 (1997)*

2 総説, 解説, 評論等

1) 和田英太郎, 大河内直彦 : 「第5章 生態システム」 (総説), (『岩波講座 地球惑星科学 第2巻 地球システム科学』, 145-184, 岩波書店, 東京, 1996)

2) 大河内直彦, 和田英太郎, 河村公隆, 平朝彦 : 「アルケノン生産量と窒素同位比の関係」 (解説), 『月刊海洋』, 28 : 493-496 (1996)

3) 大河内直彦, 平朝彦 : 「深海底堆積物に保存される古環境情報」 (解説), 『月刊海洋』, 11 : 143-147 (1996)

4) 池原実, 大河内直彦, 河村公隆 : 「植物プランクトンが作る水温計」, 『月刊海洋』, 号外12 : 162-165 (1997)

5) 大河内直彦, 河村公隆 : 「バイオマーカーによる古海洋環境の復元」, 『地学雑誌』,

(1998) (in press)*

3 著 書

(2) 共 著

1) 大河内直彦 他：『堆積学辞典』（支岐常正編，朝倉書店），(1998) (in press)

兒玉 裕二 (KODAMA Yuji) ・ 助手

1 学術論文

1) Y. Fujiyoshi, Y. Kodama, K. Tsuboki, K. Nishimura and N. Ono : “Structures of Cold Air During the Development of a Broad Band Cloud and a Meso- β -scale Vortex: Simultaneous Two-Point Radiosonde Observation” , *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 74 (3) : 281-297 (1996)*

2) Y. Kodama, T. Matsumoto, G. Glazirin, Y. Muravyev, T. Shiraiwa and S. Yamaguchi : “Hydrometeorological features of Koryto Glacier in the Kronotsky Peninsula, Kamchatka, Russia” , *Bulletin of Glacier Research*, 15 : 37-45 (1997)

3) D. Kobayashi, Y. D. Muravyev, Y. Kodama, and T. Shiraiwa : “An outline of Russo-Japanese joint glacier research project in Kamchatka, 1996” , *Bulletin of Glacier Research*, 15 : 19-26 (1997)

4) T. Shiraiwa, Y. Muravyev, S. Yamaguchi, G. Glazirin, Y. Kodama and T. Matsumoto : “Glaciological features of Koryto Glacier in the Kronotsky Peninsula, Kamchatka, Russia” , *Bulletin of Glacier Research*, 15 : 27-36 (1997)

5) T. Kameda, S. Takahashi, H. Enomoto, N. Azuma, T. Shiraiwa, Y. Kodama, T. Furukawa, O. Watanabe, G. A. Weidner and C. R. Stearns : “Meteorological observations along a traverse route from coast to Dome Fuji Station, Antarctica, recorded by automatic weather stations in 1995” , *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, 11 : 35-50 (1997)*

鈴木準一郎 (SUZUKI Jun-ichirou) ・ 助手

1 学術論文

1) H. Skalova, S. Pechackova, J. Suzuki, T. Herben, T. Hara, V. Hadincova and F. Krahulec : “Within population genetic differentiation in traits affecting clonal growth: *Festuca rubra* in a mountain grassland” , *Journal of Evolutionary Biology*, 10 : 383-406 (1997)*

2) B. Li, J. Suzuki and T. Hara : “Latitudinal variation in plant size and relative growth rate in *Arabidopsis thaliana*” , *Oecologia*, (1998) (in press)*

3 著 書

(2) 共 著

1) J. Suzuki and M.J. Hutchings : “Interactions between shoots in clonal plants and the effects of stored resources on the structure of shoot populations” , 311-329, (H. de Kroon and J. van Groenendael : *The Ecology and Evolution of Clonal Plants*, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands) (1997)

白岩 孝行 (SHIRAIWA Takayuki) ・ 助手

1 学術論文

1) T. Shiraiwa, H. Shoji, T. Saito, K. Yokoyama and O. Watanabe : “Structure and dielectric properties of surface snow along the traverse route from coast to Dome Fuji Station, Queen Maud Land, Antarctica” , *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, 10 : 1-12 (1996)*

2) H. Enomoto, H. Warashina, T. Saito and T. Shiraiwa : “Interannual variability of sea ice concentrations in Syowa Station sector deduced from DMSP SSM/I data” , *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, 10 : 119-126 (1996)*

3) T. Shiraiwa, Y. Muravyev, S. Yamaguchi, G. Glazirin, Y. Kodama and T. Matsumoto : “Glaciological features of Koryto Glacier in the Kronotsky Peninsula, Kamchatka, Russia” , *Bulletin of Glacier Research*, 15 : 27-36 (1997)

4) T. Shiraiwa, Y. Muravyev and S. Yamaguchi : “Stratigraphic features of Firn as proxy climate signals at the summit ice cap of Ushkovsky Volcano, Kamchatka, Russia” , *Arctic and Alpine Research*, 29, No.4 : 414-421 (1997)*

5) D. Kobayashi, Y. D. Muravyev, Y. Kodama, and T. Shiraiwa : “An outline of Russo-Japanese joint glacier research project in Kamchatka, 1996” , *Bulletin of Glacier Research*, 15 : 19-26 (1997)

6) Y. Kodama, T. Matsumoto, G. Glazirin, Y. Muravyev, T. Shiraiwa and S. Yamaguchi : “Hydrometeorological features of Koryto Glacier in the Kronotsky Peninsula, Kamchatka, Russia” , *Bulletin of Glacier Research*, 15 : 37-45 (1997)

7) S. Yamaguchi, T. Shiraiwa, Y. Muravyev, G. Glazirin and R. Naruse : “Flow of Koryto Glacier in the Kronotsky Peninsula, Kamchatka, Russia” , *Bulletin of Glacier Research*, 15 : 47-52 (1997)

8) O. Watanabe, K. Kamiyama, H. Motoyama, M. Igarashi, S. Matoba, T. Shiraiwa, T. Yamada, H. Shoji, S. Kanamori, N. Kanamori, M. Nakawo, Y. Ageta, S. Koga, K. Satow : “Preliminary report on analyses of melted Dome Fuji ice core obtained in 1993” , *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, 11 : 14-23 (1997)*

9) T. Kameda, S. Takahashi, H. Enomoto, N. Azuma, T. Shiraiwa, Y. Kodama, T. Furukawa, O. Watanabe, G. A. Weidner and C. R. Stearns : “Meteorological observations along a traverse route from coast to Dome Fuji Station, Antarctica, recorded by automatic weather stations in 1995” , *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, 11 : 35-50 (1997)*

10) 松岡健一, 白岩孝行, 浦塚清峰, 大井正行, 前野英生, 山口悟, Y. D. Muravyev, 成瀬廉二, 前信爾: 「ロシア連邦カムチャツカ半島のウシュコフスキー氷冠におけるアイスレーダー観測」, 『雪氷』, 59, 4: 257-262 (1997)

2 総説, 解説, 評論等

1) T. Shiraiwa, T. Saito, T. Saito, H. Shoji, Y. Taguchi, T. Abo, Y. Yamamoto, Y. Inagawa, K. Yokoyama and O. Watanabe: “Glaciological data collected by the 35th Japanese Antarctic Research Expedition during 1994-1995”, *JARE DATA REPORTS*, 211: 1-69 (1996)

2) Y. Kodama, T. Shiraiwa, D. Kobayashi, T. Matsumoto, S. Yamaguchi, Y. D. Muravyev and G. E. Glazirin: “Hydro meteorological and Glaciological Observations in the Koryto and Ushkovsky Glaciers, Kamchatka, 1996”, *Low Temperature Science, Ser. A.*, 55 (Data Report): 107-136 (1996)

3) 秋田谷英次, 西村浩一, 白岩孝行, 尾関俊浩, 伊藤陽一, 山口悟, 須沢啓一: 「札幌の平地積雪断面測定資料—平成7年～8年冬期」(資料集), 『低温科学、資料集』, 55: 1-11 (1996)

4) 成瀬廉二, 秋田谷英次, 西村浩一, 白岩孝行, 山口悟, 須沢啓一, 天見正和, 伊藤陽一, 根本征樹: 「北海道内の広域積雪調査—1996年2月—」(資料集), 『低温科学、資料集』, 55: 13-26 (1996)

5) 白岩孝行: 「カムチャツカ氷河紀行(前編)—空からみたカムチャツカの自然—」(解説), 『地理』, 41 (3): 32-35 (1996)

