最近の研究から

南極気候研究 (ACR) の成果(Ⅱ)¹⁾

日本雪氷学会極地雪氷分科会 ACR 計画委員会²⁾³⁾

要 旨

この報告は前号 (55巻, 3号) に引き続き ACR の研究成果の全体を現時点で集約したものである。今号では、第2章のうち2.4雪氷観測、2.5海洋・海水観測について各課題の実施状況と成果の概要が文献とともに示されている。更に第3章では成果のまとめと評価、各観測間の相互関係、将来展望等について述べられている。

2. 計画の実施状況と成果の概要

2.4 雪氷観測

古川晶雄, 藤田秀二, 東 信彦, 遠藤辰雄
本山秀明, 藤井理行, 庄子 仁

ACR期間中 (1987-1992) 雪氷の研究は昭和-みずほ-ドームルートを中心としたみずほ高原地域における研究と、セルロンダーネ地域周辺における研究の二つに分けられる。みずほ高原地域では、古川ら(1990)は内陸旅行中、ルート沿いに氷床表面形態と堆積量を詳細に調べ、衛星画像との比較を行った。表面形態を光沢雪面、平坦雪面 (サスツルギの高さ30cm以下)、サスツルギ (サスツルギの高さ30cm以上) の三つに分類し、みずほ基地～前進拠点間のIMルート沿いに雪面形態分布図を作り、雪面形態と堆積量との比較を行っている。その結果、このルート沿いでは概してサスツルギの発達著しいが、みずほ基地から160km、300km、200kmの付近には10～数10kmのスケールで光沢雪面が発達することを見出している。さらに、サスツルギが発達している所では堆積量が多く、光沢雪面が発達している所ではほとんど堆積が起こっていないことが分かった。また衛星画像と比較を行ったところ、堆積量と衛星画像から得られたアルベ

ド値との間には相関関係がみられ、堆積量が多いほどアルベドが高いことを見出した (瀬古ら, 1990, 古川ら, 1990)。また彼らは光沢雪面のアルベドの平均値はサスツルギや平坦平面のアルベドの平均値より約4%低いという結果を得ている。これら衛星画像に関する研究の詳細は2.1.5.項に述べられている通りである。

またみずほ高原地域での年間積雪量や積雪中の化学諸成分の年間堆積量と堆積過程を推定するとともに、それらが地域および時期によってどのように変化するかを調べる目的で、上記ルート上の数カ所で積雪層位観測および降雪・積雪サンプリングが行われ、現在化学分析結果の検討が行われている。

セルロンダーネ山域周辺地域では山脈を挟んで上流側の内陸氷床とあすか基地が位置する下流側氷床における堆積環境と近年の氷床変動をしらべる目的で以下の研究が実施された (図1)。

1. L0-あすか-A246ルート沿いの雪尺観測および降雪・積雪サンプリング
2. L0, あすか基地, A165での浅層掘削
3. セルロンダーネ山岳氷河の質量収支および流動調査
4. ナンセン氷原の流動観測

本山ら (1992) は過去4年間のL,Aルート沿いの雪尺測定データを分析し次の結果を得た。L0付近では年涵養量は60cm程度であり、L0から百数十キロ内陸まで若干の変動はあるものの約50cm程度の年涵養量があるが、A20を境にセルロンダーネ山地に近づくにつれて急速に年涵養量が減少する。セルロンダーネ山地より内陸側のナンセン氷原では年涵養量は20cm以下で質量収支がマイナスになるところが多い。またあすか基地の過去4年

1) Reports on Antarctic Climate Research (II)

2) Antarctic Climate Research Planning Committee, Panel of Snow and Ice in Polar Regions, Japanese Society of Snow and Ice.

3) 東 信彦, 牛尾収輝, 榎本浩之, 遠藤辰雄, 大島慶一郎, 大畑哲夫, 小野延雄, 河村俊行, 菊地時夫, 小西啓之, 庄子 仁, 瀬古勝基, 高橋修平, 滝沢隆俊, 中尾正義, 中川清隆, 成瀬廉二, 西尾文彦, 藤井理行, 藤田秀二, 古川晶雄, 本山秀明, 村本健一郎, 森永由紀, 山内 恭, 渡辺興亜, 和田 誠 (50音順)

図1 セロンダーネ周辺図

間の越冬中の36本雪尺測定データによると、この地域での積雪は一年中を通して平均して起きるのではなく、1月から3月にかけての夏期に積雪が集中し、冬期は消耗期となることが明らかとなった。これはみずほ基地での観測結果と共通している。

東ら（1991）はL,Aルート沿いに10km毎に表面積雪をサンプリングし、固体微粒子濃度、酸素同位体比、電気伝導度、主イオン濃度を測定した。電気伝導度や主イオン濃度はブライド湾に面したL0から内陸に行くに従って指数関数的に減少するのに対して、固体微粒子濃度はセルロンダーネ山脈を境に、沿岸側では低く内陸側では非常に高くなるという結果を得た。セルロンダーネ山脈より沿岸側では常にカタバ風が山脈側より吹き付けているにもかかわらず、固体微粒子濃度が山脈上流側より極端に低くなるという結果から、少なくとも微粒子の起源はセルロンダーネ山脈ではないらしい。

L0、あすか基地、A165ではそれぞれ65m、105m、50mの浅層コアが掘削された。それぞれ層位、密度、酸素同位体比、ECM、主イオン濃度等の分析が行われている。現在コア解析は完了していないが、これまでの結果では、あすかコア中には氷板は見られないが、L0コアにはかなり多く存在し、特に近年その傾向が大きい。あすかコアの層位と密度プロファイルから年涵養量を求めると、水当量で約20cmであすか基地の雪尺データから得た値とほぼ一致する（東ら、1993）。あすかコアの化学分析結果からは次のようなことが明らかとなった（東ら、1993）。塩酸、硝酸、硫酸イオンの濃度は周期的に変動し、その周期は年涵養量とほぼ一致する。しかしながらあすか基地の積雪は前述のように夏期に集中する。従って積雪が一年を通してまんべんなく起きるグリーンランドと違い降雪中の不純物濃度の季節変動で説明することはできない。あすか基地の雪尺付近の表面ピットの

層位観察と各層の積雪の化学分析を詳細に行ったところ、表面付近では層位と主イオン濃度との相関はあまりはっきりしないが、深くなりシモザラメ層としまり雪層が交互に発達するにつれ主イオン濃度の変動が一致してくるという結果を得た。つまり、シモザラメ層では濃度が低く、しまり雪層では高い。したがって、これら相変態の激しい地域では、一見降雪中の各種含有濃度の季節変動と見えるものは、実は堆積後の積雪の変態によって再分配されたものである可能性が高い。今後これらのコアの酸素同位体比等の分析が進むにつれ、さらに明らかになるであろう。

この研究には、渡邊興亜・瀬古勝基・青木輝夫の方々が特に関与した。
(文責：東 信彦)

文 献

- 東信彦・丸橋雄一・東久美子・中尾正義, 1991: 東クイーンモードランド・セルロンダーネ周辺の表面積雪の電気伝導度および固体微粒子濃度, 平成三年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 89.
- 東久美子・東信彦・山口勇人・中尾正義・渡辺興亜・藤井理行・中村秀臣, 1993: あすか浅層コアおよび表面ピットの化学的性質, 平成五年度日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 92.
- 古川晶雄・瀬古勝基・渡辺興亜・藤井理行, 1990: 東クイーンモードランドにおける氷床表面形態と堆積量の分布特性, 第13回極域気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨, 33.
- 本山秀明・東信彦・藤田秀二・白石和行, 1992: あすか基地周辺の堆積環境について, 第15回極域気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨, 99.
- 瀬古勝基・古川晶雄・渡辺興亜・藤井理行・西尾文彦, 1990: 南極氷床上の堆積環境と地形変動, 第13回極域気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨, 60-61.

2. 5 海洋・海水観測

滝沢隆俊, 牛尾収輝, 河村俊行, 大島慶一郎
中川清隆, 遠藤辰雄, 森永由紀, 村本健一郎
榎本浩之

ACRの中心課題の一つである大気-海水-海洋相互作用の研究は主に第31-32次隊で行われた。南極沿岸海域の通年にわたる(特に冬季の)海洋および海水の観測は、そのロジスティックな面での困難さから世界的にもほとんど行われていない。そこで、定着氷域・沿岸ポリニヤ域において、将来的にも基礎データとなりうる、通年の海洋・海水データを取得することを第一の目的とし

た。

定着氷域では、リュツォ・ホルム湾を横断する3つの観測線を中心として、CTD・採水観測、氷厚・積雪観測、海水コアサンプリングなどを行った。観測線上のいくつかの点では流速計やサーミスタチェーンの長期係留や無人気象海象アルゴスブイによるモニタリングも行った。沿岸ポリニヤ域では、航空機によるAXBT観測・衛星とのトルース観測・漂流アルゴスブイの投下などを行った。

その他、「しらせ」を利用して、海水域での海水状況の観測や海上保安庁水路部との協力によるコスモノートポリニヤ出現域での海洋観測も行われた。

衛星を用いての海水の分布や表面アルベードなどの研究については2.1.4を参照されたい。

2.5.1 エンダービーランド沖の南極沿岸水および南極沿岸流の特性とその季節変動

南極沿岸・陸棚域においては、これまで夏季のみの観測から海洋構造がある程度分かっていただけで、その季節変動や流れの場についてはよく分かっていなかった。

昭和基地沖の氷板に設置した海洋漂流ブイおよび氷山の漂流データなどから、この沿岸域にはかなり強い西向流が、海底地形に沿うようにして存在しており、この西向流(南極沿岸流)の強さが季節変化(秋に最大、夏に最小)することが示唆された。AXBT(航空機搭載型XBT)およびCTDの観測によると、南極沿岸域では低温・低塩の南極表層水の厚さが夏季(11-3月)に減少し、秋季(4,5月)に厚くなると同時に表層の塩分が著しく低下することが分かった。(Ohshima et al., 1993a).

以上の南極沿岸陸棚域の季節変化は、沿岸域の卓越風である東風の強さの顕著な季節変化(夏季に著しく弱まる)によると考える(大島, 1993)。秋季、東風の強まりに伴うエクマン収束が強化されると低塩の表層水は沿岸に蓄積され、初夏に東風が急激に弱まるとその効果が減じ南極表層水の厚さが薄くなる。風の変化は沿岸流の季節変化にも関わってくると考えられる。

2.5.2 沿岸ポリニヤの生成機構

南極大陸沿岸に沿う海域には、しばしば沿岸ポリニヤ(海水域内の開水面)が出現し、そこは大気と海洋の極めて活発な熱・物質の交換場として重要と考えられている。NOAA画像データより抽出した昭和基地沖およびブライド湾沖の沿岸ポリニヤの面積の増減と、カタバ風およびシノプティックな風との関係を調べたところ、ポリニヤ面積はシノプティックな風の場合に強く関係していることが分かった(石川, 1991)。

航空機によるポリニヤ域での目視観測とAXBT観測に

よると、ここでは新生氷が次々に生成されており、上層数100mは常に結氷温度にあることも分かった(牛尾 他, 1993). ポリニヤが生成されるのは熱的な要因でなく、流れのシアーによる定着氷の割れ、およびシノプティックな風による流水の運搬が重要と考えられる。

2.5.3 リュツォ・ホルム湾内の海洋構造

観測は、①リュツォ・ホルム湾の東半分を東西に横切る3測線、②オングル海峡、③ホブデ湾、において、CTD、採水、電磁流速計等を用いて行われた。1990-1991年の丸2年間、①は秋、冬、春の年3回、②はほぼ毎月、③は主に春先に観測が行われた(Takizawa et al., 1992; Ohshima et al., 1993b). 湾内の水は外洋域との海水交換が活発であることが分かった。特に夏に外洋の周極深層水の流入が顕著であることが示唆された。また、湾の奥ほど下層の周極深層水系の水と上層の南極表層水が混合されている。1990年と1991年では、ほぼ同様な季節変動を示した。過去のオングル海峡の海洋観測からも、毎年同じ様な季節変動をすることが示唆される。

2.5.4 リュツォ・ホルム湾定着氷下の流速変動

リュツォ・ホルム湾定着氷下において、パッダ島東沖、オングル海峡およびラングホブデ西方沖で長期係留測流を行った。流速変動の特徴として、ローカルには外力がないのに少なからず流れ(0.1-0.4m/s程度)があること、オングル海峡では平均流が5月を境に南流から北流に変化すること、流れは風との間において比較的強い相関があることなどが分かった。

これらの特徴的な結果に対し、順圧で海底地形変化を考慮したモデルを用いて、力学的解釈を試みた。それによると、定着氷下の流速変動は風による陸棚波が支配的であり、定着氷縁の位置によって、その卓越モードが異なり、陸棚上および湾内の循環も大きく異なることなどが分かった。

2.5.5 コスモノートポリニヤ出現海域の海洋構造

ポリニヤがしばしば出現するコスモノート海域(南緯63-66度;東経40-60度)において、XBTを中心に海洋観測を行った。比較的浅い海底地形が張り出した海域に低温低塩の南極沿岸水が張り出しており、一方そのすぐ沖には周極深層水の湧昇域が存在し、互いに接した形となっていた。また、この両者の水塊のフロント域で、しばしば水平貫入現象が生じていた。SSM/Iによる海水の密度分布から、ポリニヤは沿岸水の張り出し域で生ずるものと沖の湧昇域で生ずるものの2種類あることが分かった(Takizawa et al., 1993)。

2.5.6 氷山と海洋の相互作用

定着氷にトラップされている氷山のごく近傍で、海洋

観測を行なったところ、水温・塩分の鉛直プロファイルが顕著なステップ構造を示すことを発見した(Ohshima et al., 1993c). ステップ構造は氷山の喫水している深さの範囲内でのみ見られ、氷山の影響を示唆している。室内実験においては、塩分成層中での氷の融解過程は調べられており、氷の融解は海水に層構造を誘起することが示されている。観測結果は、現実の海でも実験室でみられるような層構造が氷山の融解に伴って誘起されることを示唆している。

2.5.7 南極域における大気-海水相互作用

DMSFのマイクロ波(SSM/I)による観測から、春から夏の海水面積の減少時に、海水周縁部では次第に密接度が小さくなっていくが、大陸沿岸部では逆に密接度が増加する。海水の移流による圧縮と考えられる。また、SSM/Iからは、海水域内の低密接度域が渦列的に出現するのが観測される。環南極低圧帯(Circumpolar Trough:CPT)に注目して、この季節変化と海水分布の関係を調べた。海水縁とCPTの相対的な位置は季節的に入れ替わり、海水域の卓越風向も季節的に変化する。CPTより低緯度側で西風、高緯度側で東風となる。海水縁とCPTの、相対的位置の逆転する時期に、海水面積の急激な減少が観測される(Enomoto and Ohmura, 1990)。

2.5.8 リュツォ・ホルム湾内の広域海水観測

海洋と海水に関する観測旅行が、1990,1991年の4月、8月および10月に各3回、リュツォ・ホルム湾内の定着氷上で実施された。海水観測では湾内を東西に横切る3測線で、雪尺・積雪深・氷厚の測定と海水コアの採取が行われた。積雪深および氷厚には地域特性が認められた。積雪は大陸から離れるに従って厚さを増し、沖合いで1mから1.5mに達する。氷厚は積雪深の増大に対応していた。積雪の少ない地点の氷厚は、冬の間に増大し、春から夏にかけて前年の氷厚まで減少し、それを繰り返していた。一方、多雪域の海水は冬の間でも殆んど成長していないが、夏の時期に極めて大きな氷厚の増大がみられた。この夏期の氷厚増大は、雪尺・積雪深・氷厚の測定および海水コアの解析(結晶構造および塩分・ $\delta^{18}\text{O}$ の測定)結果から、海水上に溜まった雪の融解水の再凍結および雪の融け水や海水が積雪の中へ浸透した層の再凍結により形成されたものと推定された(河村, 1993; 河村他, 1993a)。

2.5.9 オングル海峡での海水観測および微気象観測

オングル海峡を横切る南緯69度線上の3点において海水観測が1990年4月から1991年12月まで時間的に密に(ほぼ1月毎)行われた。積雪深の違いにより海水も異な

る成長を示した。多雪域の海水は冬よりもむしろ春に成長していた。海水コアの解析などはこの海水の成長は snow ice によるものであることを示唆していた。夏期の氷厚減少も積雪の深さにより異なり、積雪が海水の成長および融解に極めて大きな役割を果たしていることが明らかになった (Kawamura et al., 1993)。また、採取された海水コアを用いて、成長・融解に伴う海水中の主イオン濃度の分布の変動も調べられている (河村他, 1993b)。

オングル海峡の中央部において1990年3月から12月まで風速・気温・氷温・湿度および放射量の測定などの微気象観測が行われた。全天日射量とアルベドの逆相関関係、卓越風向の風速の増大に対応して気温と湿度が増大する関係や放射収支が得られた (中川, 1993)。

2.5.10 船上からの海水観測

「しらせ」の氷海航行中の海水状況を把握するための種々の観測が行われた。

上部操舵室前方に設置されたビデオカメラからの海水の映像を画像解析し、海水の密接度と海水の大きさの分布を測定する方法が開発された (Muramoto et al., 1992, 1993)。下田他 (1991) はこの方法で得られた密接度を解析し、1988年12月のブライド湾進入時と昭和基地への回航時の密接度に周期性のあることを見いだした。

また、船側に下向きに取り付けられたビデオカメラの映像から海水の厚さが連続的に計測された。1989年12月ブライド湾進入時には平均氷厚は94cmで、緯度が高くなるにつれ氷厚は増大した。32次隊進入時リュツォ・ホルム湾の定着氷の平均氷厚は158cmで、30次隊の時に比べ42cm増大していた (下田他, 1992)。

甲板に取り付けられた放射計・温度計の連続記録から海水域のアルベドおよび鉛直気温傾度が測定され、海水の密接度による違いが議論されている (遠藤他, 1990, 遠藤・下田, 1991)。

この研究には、下田春人氏が特に関与した。

(文責：河村俊行・大島慶一郎)

文 献

- 遠藤辰雄・下田春人・森永由紀・小野延雄, 1990: 海水域におけるアルベドの船上観測, 第13回極地気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨, 50-51.
- 遠藤辰雄・下田春人, 1991: 南極海水域の表面気温傾度の観測, 第14回極地気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨, 30-31.
- Enomoto, H. and Ohmura, A., 1990: The influences of atmospheric half-yearly cycle on the sea ice extent in

the Antarctic, *J. Geophys. Res.* **95**, 9497-9511.

- 石川貴之, 1991: 南極クイーンモードランド沖の沿岸ポリニヤの特性と変動, 北海道大学修士論文, 56p.
- 河村俊行, 1993: 南極域の海水, 月刊海洋, **25**, 588-596.
- 河村俊行・大島慶一郎・牛尾収輝・滝沢隆俊, 1993a: リュツォ・ホルム湾の海水成長(II), 第16回極地気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨, 31-32.
- 河村俊行・大島慶一郎・牛尾収輝・滝沢隆俊, 1993b: オングル海峡の海水成長と海水中のイオン濃度, 第16回極地気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨, 63-64.
- Kawamura, T., Ohshima, K.I., Ushio, S. and Takizawa, T., 1993: Sea-ice growth in Ongul Strait, Antarctica, *Ann. Glaciol.*, **18**, in press.
- Muramoto, K., Matsuura, K., Endoh, T., Shimoda, H. and Ono, N., 1992: Analysis of sea ice compactness by image processing, *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.*, **6**, 126-131.
- Muramoto, K., Matsuura, K. and Endoh, T., 1993: Measuring sea-ice concentration and floe-size distribution by image processing, *Ann. Glaciol.*, **18**, in press.
- 中川清隆, 1993: オングル海峡海上上の微気象観測, 第16回極地気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨, 25-26.
- 大島慶一郎, 1993: 南極海洋場における季節サイクルー最近の現場海洋観測の成果よりー, 月刊海洋, **25**, 547-581.
- Ohshima, K.I., Takizawa, T., Kawamura, T. and Ushio, S., 1993a: Seasonal variations of the flow and oceanic structure under fast ice in Lützow-Holm Bay, Antarctica, *Proc. 4th Int. Conf. So. Hem. Met. Oceanogr.*, **4**, 467-468.
- Ohshima, K.I., Kawamura, T., Takizawa, T., Ushio, S., Ono, N. and Kawaguchi, S., 1993b: Seasonal variations in ocean structure and current in Ongul Strait, Antarctica, in 1991, *Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol.* **7**, 51-59.
- Ohshima, K.I., Kawamura, T., Takizawa, T. and Ushio, S., 1993c: Step-like structure in temperature and salinity profiles, observed near icebergs trapped by fast ice, Antarctica, *J. Oceanogr.*, in press.
- 下田春人・村本健一郎・遠藤辰雄・小野延雄, 1991: 船上ビデオ撮影による海水観測, 第14回極地気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨, 11-12.
- 下田春人・遠藤辰雄・滝沢隆俊・牛尾収輝・河村俊行・大島慶一郎・小野延雄, 1992: 船上ビデオ撮影による海水観測 (その3), 第15回極地気水圏シンポジウムプログラム・講演要旨, 3-4.
- Takizawa, T., Ushio, S., Kawamura, T., Ohshima, K.I., Ono, N. and Kawaguchi, S., 1992: Preliminary results of hydrography under fast ice in Lützow-Holm Bay,

- Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol., 6, 106-125.
- Takizawa, T., Ohshima, K.I., Ushio, S., Kawamura, T. and Enomoto, H., 1993: Thermal structure of the Cosmonaut Polynya region in the Antarctic, Proc. Int. Symp. ISY Polar Ice Extent, 82-86.
- 牛尾収輝・滝沢隆俊・大島慶一郎・河村俊行, 1993: AXBTによる南極大利根水路の水温プロファイル測定, 南極資料, 37, 印刷中.

3. まとめ

遠藤辰雄, 河村俊行, 山内 恭, 和田 誠
菊地時夫, 東 信彦, 小野延雄

およそ気候の研究とは時間的空間的にスケールを幅広くとらえ定常なものの変動するものとを分けて捉えることから, その静態と動態を理解することに尽きる. しかし広大な地域に亘って, 数多くの要素の観測を展開することには, 自ずと限界がある. そこでこれまで, ほとんど手が着けられていない海洋・海水の観測を意識的にとりあげ, これと大気を結んで大気と海洋の相互作用を柱として, これに本格的な観測手段・設備を投入するために, 内陸への勢力の拡散を控えることになった. それで, たとえ局所的であっても時間スケールとして少なくとも通年のサイクルで閉じることの出来る変化を捉えることで, その地の気候値としてとりあえず確立することを目指した. 従って, そのような観測は当面はzonalな範囲に限定して海岸部に重点を置いて, 展開することを最小限の目標として計画された. その限りでは, 雪氷の目標とする内陸におけるコア解析による気候変動の研究はこのフェーズにおいて, 到底満たされるものではなく, 次期に展開すべき遠大な計画に視点を合わせて, その準備として技術と人材の蓄積に留まざるを得なかった.

3.1. 成果の評価

衛星によるモニタリングは, 観測点の少ない南極域において, 長期, 広域の同時観測を可能とする必要不可欠の手段として, 全期間に亘って実施された. その膨大なデータベースの蓄積と多くの研究成果と研究者の函養において成功したものといえる. 特に写真集「NOAA衛星から見た南極—雲・氷・雪—」(山内・瀬古編, 1992)の発行はその解析や研究を促進するうえで極めて効果的であったと評価され, そこに多くの成果が既に納められている. その主なものは雲や海水と雪氷面に関わる問題であり, 放射収支の評価やグランド・トルースなどの地道な研究も進められている中で, 雲が海水域の沖合いで多いのに比べて, 沿岸部では晴れ間が良く見られること, カタバ風そのものによる現象が衛星で見えることも出来る

こと, その集積効果としての雪氷面の模様が解析されたこと, 海水域では大気海洋相互作用において最も重要な役割を担うと期待されるポリニヤの形成を衛星画像から調べ, 沿岸では氷棚の破壊分離とカタバ風の力によるものに分類集計された等の興味ある知見が得られている.

雲と降水の観測においては, 世界で初めて南極域に鉛直・水平の2種類のレーダとマイクロ波放射計を導入して, 特に降水に関する水収支の評価に供されたことは画期的なことである. 昭和基地周辺に襲来する擾乱の形態と時空間規模および季節的な特徴などが初めて明らかにされた. また幸い, その2ケ年は最近の気候変動の特異性において両極年に相当していることが分かり, 降水に関する年々の変動幅とその気候学的な位置づけを調べるうえで貴重なデータとなるので, この点に関する今後の更なる研究が期待されるところである.

無人気象観測の展開は諸般の事情により限られた範囲であるが, 衛星経由でデータが送信されるアルゴシステムにより無人化を余儀なくされた「みずほ」基地の観測が期間中ほとんど欠測なく継続されたことは評価に値することである. また同様にブライド湾から「あすか」観測拠点への入り口に当たる, 30マイル地点においても, 同じ期間に観測が継続され, それは現在でもデータが送信されている状態である. ここでは途中で送信不能になったが, 衛星経由で, そのことに気付いた国内からの要請で「あすか」隊員が駆けつけ, みごとに復旧したと言う快挙もあった. これらのデータを集計した結果から, zonalな比較として見ると, 同じ海岸部でも昭和基地に比べて30マイル地点では風が強いことなどの気候的な特徴が指摘されている. さらにこのデータは「あすか」ルートに頻発する強風帯の顕在化と, これが衛星から見られる, いわゆる「ダークストリーム」そのものであることの証拠として役立てられている. 海洋・海水の観測期間には3台のアルゴシステムがブイに取り付けて漂流させて観測されているが, その解析結果は今後に待たれる.

一方では, データロガーに記録を蓄積して回収するタイプの無人観測も数点設置された. 「あすか」観測拠点近くの「シール岩」では裸氷原の形成機構の解明に, またブライド湾のL0地点では沿岸ポリニヤの形成機構との関係の研究にそれぞれ役立てられている.

雪氷観測では表面形態と堆積量が調べられ, 今後の衛星観測のための貴重な基礎データとなった. この期間に得られた氷床コアは, 今までのコアを含めそれらとの比較によって, 化学的手法による物質循環の研究に生かされるであろう. しかし, それらのコアは100m程度と浅

く、気候変動を論ずるには不十分であり、気候変動の研究は今後のドーム計画に期待されている。この間に進められた内陸調査に於いて培ってきた若手の研究者の函養と、液封ドリルの試験をはじめとして、来るべきドーム計画に向けて払ってきた環境整備にかけた関係者の絶え間ない努力とその成果については特記に値するものである。

南極海水域では現場海洋データは乏しい。ことに海水に覆われる冬季間のデータは殆ど無い。一般に知られているこの海域の海洋場は殆ど夏の観測から作られたものである。海水の観測も越冬観測は殆ど無く、主に観測船を用いての観測である。特に冬季の観測は1980年代になってやっと始められた。しかも、その観測は不定期であるため、例えば海水のコア解析でも、そのサンプルは成長の履歴の不明なものである。また、海洋観測でも同一測線で定期的に観測している例は少ない。

冬季あるいは通年の現場観測の必要性が強く認識される中で、現場海洋データの空白地帯である南極沿岸海域において通年（2年間連続）にわたり海洋観測を行ったことは世界でも殆ど無く、特筆される。単年度の観測では、その年特有の現象が毎年繰り返している現象なのかの識別が困難である。そのことから、2年連続して観測を行ったことは成功であり、それにより明らかになった事柄は多い。

大気-海水-海洋相互作用に関しても、現場データの乏しい南極沿岸定着水域において、微気象のデータから狭域・広域のデータまで幅広く得ることができ、所期の目的を達成した。

3.2. 問題点

衛星データの観測は昭和基地で受信した気象衛星NOAAと海洋衛星MOS-1によるものが主であり、その膨大な資料の整理と管理は、極地研究所の限られた人員の努力でなされている。今後ともこれまで以上に活用されることが期待されるところであるが、しかし、これを活用出来るまでに至るために越えなければならないハードルは観測に参加した者にとっても、いまだに高いもので、このデータは広く一般にも開放されているとは言え、閉鎖的の域を脱し切れないうところである。

降水の観測で活躍したレーダのデータもDETA REPORTの形で公表の努力がなされているにもかかわらず、その利用となると、管理が個人的レベルで留まり、はるかに難しい状態にある。逆に降水のデータを抱えている研究者にとっても、衛星のデータを十分に活用するには並々ならぬ努力をしなければならない状況である。このことは先端技術を導入する時に、最近多くの場面で

見られるさけられない共通の悩みでもある。計画の段階で成果の有効利用を目的として、掛けた投資が十分に還元されるか否かの判断とそれに必要な方策を構えるに至るだけの精神と予算が潤沢でないことからくる宿命であると考えられる。

無人気象観測は最も重要な設置作業が下請けであったり、その時だけで引き上げてしまう夏隊の者が、忙しい夏作業の間に、低いプライオリティの下で、必要な時間的精神的余裕のない状態で強行される結果、若干のトラブルや不完全さが避けられないと言う問題がある。「みずほ」と「30マイル」のアルゴスのデータは、現地更正が、いまだに取られていないものであり、回収測器による低温室試験が出来れば幸いである。また回収型のものは、途中のチェックが出来ないので、初めから失敗して放置されたままであるものもいくつかあった。

なお、「みずほ」以南に耐える無人観測器の展開の努力は若干為されたが、その技術的な進展はこの5ケ年には見られていない。

31,32次隊では幸いなことに海水の状態は極めて安定していた（厚い氷厚とクラックが殆ど無かったこと）ので、春の観測旅行も可能であった。しかし、29次隊の時のように夏に湾内の海水が流出した直後では、危険で秋の観測旅行は不可能であった。従って、広域の海洋・海水の変動の研究に支障を来したであろう。定着水上を雪上車を用いて行う観測旅行のスタイルでは、渡ることの出来ないクラックが一本でもあれば、それ以遠の観測は不可能となる。また、観測効率も極めて悪かった。今後の海水・海洋観測では是非ともヘリコプターの導入を考えるべきであろう。

相互作用に関しては、大気・海水・海洋のうちの2者の相互作用を扱ったものが多く、厳密に言うと、3者間の相互作用の研究は一部のみであった。しかし、3者の相互作用を総合的に研究するためには、現在の人員では到底不可能であり、将来の課題であろう。

上記の相互作用に加えて、今後は生物を含めた相互作用も考えるべきである。生物系の観測には同様な観測点・観測手法（CTD・係留観測等）のものも多く、相互に協力でき、大気-海水-海洋-生物相互作用の研究も可能なのである。そのためには、生物・医学系のプロジェクトとの調整が是非とも必要であろう。

昭和基地への補給活動を第一義的任務とする「しらせ」を用いての観測は、海水や天候を含む観測隊全体のオペレーションの進捗状況に大きく左右される。「しらせ」での海洋観測の問題点については、道田他（1993）によって指摘されている。

全般的に言って、大気-海洋相互作用を軸として、その他の分野間も含む総合的な研究報告は、未だに煮詰まるところにまで至っていない。これは、それぞれの研究が出そろった時点で改めて考慮されなければならない問題であろう。

3.3. 海外の情勢

衛星資料の解析作業として、米国では国際機関の ISCCP (国際衛星雲気候計画) が1983以来、南極も含めて全地球的に雲分布濃度分布等のデータセットが作成されている (cf. Rossow and Garder 1993, Schiffer and Rossow 1983). また米国では、Dutton et al.(1988) や Numesure et al. (1993) が南極点基地において放射収支観測と衛星データとの対比を1986-1988年に集中的に行って、最近それを報告している。降水に関する研究は Bromwich and Parish (1988) や Bromwich (1988) による報告があるが、ACR期間中の諸外国における雲と降水の研究は特に見られていない。

無人気象観測は従来から、米国がロス海周辺や南極点を含めて大陸全域に多数展開している。その詳細は Keller et al.(1993) による報告に記されている通りである。またオーストラリアでは Allison and Wendler(1993) による彼らの無人観測の研究を報告している。

南極外洋域の海洋・海水の総合的観測は、今まで観測の行われていない冬季に焦点を当て、WWSP (Winter Weddell Sea Project; 1986), WWGP (Winter Weddell Gyre Project; 1989), ISW (Ice Station Weddell Project; 1992) の一連のプロジェクトによって行われた。それらの成果は例えば Gordon and Huber (1990) に報告されている。一方、南極沿岸域における海洋・海水の総合観測はドイツが中心となり1985~1993年西経10~30度において行われている (例えば Fahrback et al. (1992))。

3.4. 将来の展望

前述の事情により、コア解析による気候変遷の研究は、このフェーズでは大々的に展開され得なかったのであるが、全球的な古気候の変遷や南極氷床の成因など多くの興味ある課題を掲げて、現在「ドーム計画」として実施されている最中であり、その成果が期待されているところである。

南極域の気候研究の問題は、このACR計画の期間に飛躍的な発展を遂げた局面もあるが、すべてが完成されたとは言えず、むしろこれから始められたと言わなければならない方が多いのではなかろうか。あるいは気候の研究、特に気候変動の研究に終わりは無いとまでいえるものである。それを思うと、現在ここでPost ACRを積極的に考えていかなければならない時点にある。このこと

は当学会の極地雪氷分科会の傘下の極地雪氷将来計画委員会の正式議題として上程するものであり、この報告の掲載は、新しい構想を新規の構成員を持って計画検討を開始していく上で、最適の機会を提供したと言える。また日本気象学会の極域研究連絡会でも「今、南極でどんな研究をすべきか? したいか?」と言う問題を取り上げる兆しもあり(1993年10月: 仙台大会)、これらと有機的な連携を持って、効果的に議論を進めることも望まれる。

この「ACR計画の研究成果」は暫定的な中間報告であり、紙面の制約もあって、おもに参考文献の形でしめされている。雪氷学会の会員のたいなる関心を仰ぐと共に、特に若手の研究者の研究の興味と原動力となれば幸いである。なお現在国立極地研究所の内部の呼びかけを軸として、ACR計画参加者および関連の研究者全般を含めた執筆により、1994年3月以降に、より全般にわたる成果報告書の編纂が準備されているので、さらに進んだ解析結果を含めた総合的な成果の発行がなされる予定である。それに向けて、ここに寄稿された関係者の更なる研究の邁進と努力に本報告が一助となれば、更に幸いな事である。

(文責: 遠藤辰雄・河村俊行)

文 献

- Allison, L., Wendler, G. and Radok, U., 1993: Climatology of the East Antarctic ice sheet (100°E to 140°E) derived from automatic weather stations. *J. Geophys. Res.*, **98**, 8815-8823.
- Bromwich, D.H., 1988: Snowfall in high southern latitude. *Rev. Geophysics*, **26**, 149-168.
- Bromwich, D.H. and Parish, T.R., 1988: Mesoscale cyclone interactions with the surface windfield near Terra Nova Bay, Antarctica. *US Antarctic Journal*, 172-175.
- Dutton, E.G., Stone, R.S. and DeLuisi, J.J., 1989: South pole surface radiation balance measurements, April 1986 to February 1988. NOAA Data Report ERL ARL-17, Air Resources Laboratory, Silver Spring, Maryland, 49p.
- Fahrback, E., Rohardt, G. and Krause, G., 1992: The Antarctic coastal current in the southeastern Weddell Sea. *Polar Biol.*, **12**, 171-182.
- Gordon, A.L. and Huber, B.A., 1990: Southern Ocean winter mixed layer. *J. Geophys. Res.*, **95**, 11655-11672.
- Keller, L.M., Wendner, G.A. and Stearns, C.R., 1993: Antarctic automatic weather station data for the calendar year 1991. *Dep. Atmos. Ocea. Sci., Univ. Wisconsin.*
- 道田 豊・若松昭平・寄高博行・菱田昌孝, 1993: 南極海域における定常観測の成果と展望, 月刊海洋, **25**,

561-568.

- Nemesure, S., Cess, R.D., Dutton, E.G., DeLuisi, J.J., Li, Z. and Leighton, G., 1993: Impact of cloud on the short-wave radiation budget of the surface-atmosphere system for snow-covered surface, to be published.
- Rossow, W.B. and Garder, L.C., 1993: Cloud detection using satellite measurements of infrared and visible radiances for ISCCP. *J. Climate*, in press.
- Schiffer, R.A. and Rossow, W.B., 1983: The international satellite cloud climatology project (ISCCP): The first project of the world climate research program. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, **64**, 779-784.
- 山内恭・瀬古勝基編, 1992: 「NOAA衛星から見た南極-雲・氷・雪-」. 国立極地研究所発行, 91p.