

極域から地球を知る

渡邊興亞

総合研究大学院大学極域科学専攻長／国立極地研究所所長



探検から観測へ

南極域の本格的な観測・研究は、1957～58年のIGY (International Geophysical Yearの略：国際地球観測年) に始まった。第二次大戦後、極域、とくに南極の科学的空白を埋めようという気運が高まり、それまで50年間隔だった「国際極年」を25年間隔に短縮し、あらたにIGYとして南極を中心とした国際共同観測を実施することになったのである。

IGY加盟12カ国の中で、日本は唯一の敗戦国であった。IGYの情報を日本に伝えたのは、朝日新聞の記者である。紆余曲折ののち、日本学術会議がとりあげる計画となり、国民的支持の後押しを受けて、日本は晴れて国際共同の南極観測に参加することになった。当時の文部大臣・松村謙三は、大蔵大臣が財政上から反対を表明したのに対し、「戦後の暗雲立ちこめる空に、明るい雲間を開けることが必要である」と答えたといわれている。

私が南極観測に初めて参加したのは、1970年の第11次越冬隊である。第7次観測隊から大型雪上車が導入され、本格的な内陸旅行の計画が始まっていた。第9次隊は、その雪上車を使い、往復5000kmの南極点旅行に成功した。

極点旅行の成功は、日本の南極観測における一大転換点となった。内陸進出の実績と、大型雪上車という高性能移動手段の確保は大きな資産となり、第10次から内陸広域観測が始まった。こうして日本も「探検の時代」を“卒業”し、名実ともに「観測の時代」を迎えたのである。

また、1966年の第2代砕氷観測船「ふ

じ」の導入で、南極への輸送量は燃料を含めて拡大、昭和基地の発電量は、近代的な技術による科学観測ができるまでに増えた。基地の設営面が充実し、越冬も「越冬生活」から「越冬観測」の時代となったのである。

観測の主役は、私を含めて大学院を出たばかりの若手研究者たちであった。本や論文でしか知らなかった南極氷床の雪面に初めて立ったとき、私は世界の海の水位を変える巨大な氷の質量を実感するとともに、南極条約の下、どの国にも属さないこの広大な内陸雪原で、思い切り研究ができる幸運を噛みしめたのである。

1960年代の後半、日本が南極氷床の研究を始めたとき、内陸部の様子はほとんど未知に近いものであった。初期から行われていた気象、オーロラ、重力などの観測を引き継ぎながら、まず、地形図から始め、氷の厚さを測り、しだいに雪氷環境のさまざまな現象に手を広げていった。

日本隊は、昭和基地南方氷床を中心とする詳細な「雪氷学図」を残しているが、これは約20年にわたって続けた地道な調査の成果である。

極域を知ること、地球を知ること

IGY以降、極域の科学的空白は急ピッチで埋められていった。

1966年、アメリカ隊は、北極グリーンランド氷床で1387mの氷床全層の掘削に成功し、1968年には西南極大陸、バード基地で2164mの全層掘削にも成功する。この両極域の氷床コア(氷柱のサンプル)を解析することによって、過去十数万年

にわたる極域の気候変動が明らかにされ、さらに、南極と北極とで、氷期規模の気候変動が同じ時期に重なっていることがわかったのである。

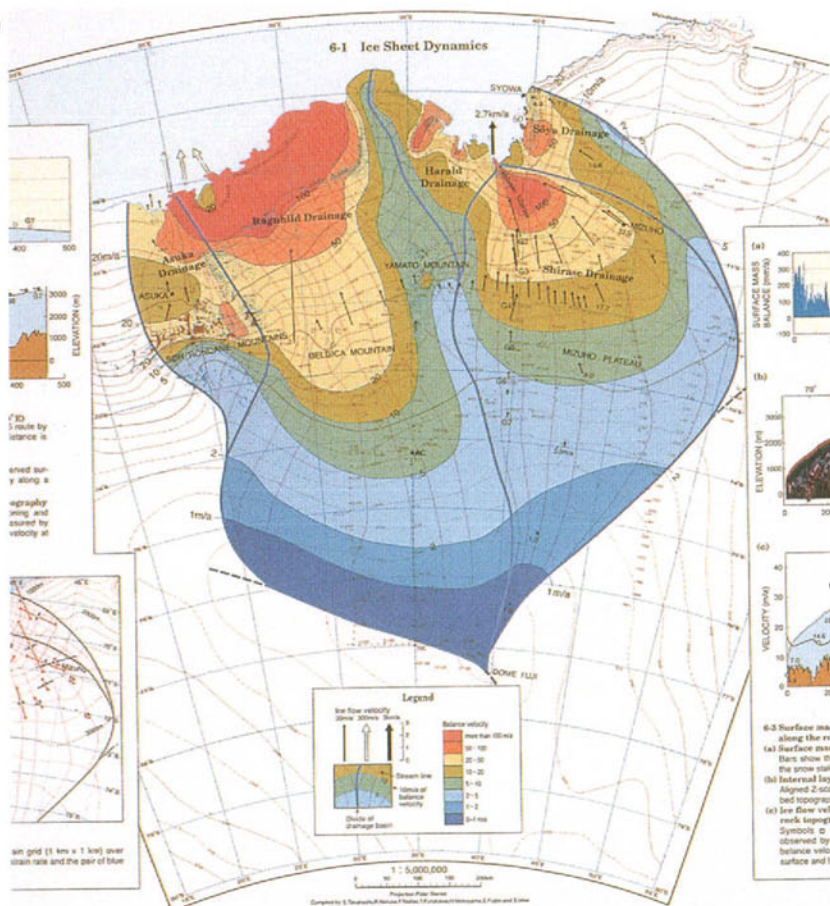
氷床は雪が堆積して氷の層になったものだが、雪とともに、大気ガスやさまざまなエアロゾル(大気中に漂う微細な固体や液体の粒子)が堆積する。氷床の各層に閉じ込められたこれらの物質を分析することによって、過去の大気環境の変化を時系列で追うことができるのである。

この地球科学の成果は、世界中の科学者に大きな衝撃を与えた。氷床掘削の重要性を予測した私たちも、1970年頃には初の内陸基地(みずほ基地)を建設、氷床ボーリングを開始した。初めは150mの深さがやっとならったが、1984年には700m、1万年前までの堆積層の掘削に成功し、深層掘削への自信を深めた。

氷床の形成には気象現象が深く関わっているが、1960年代の終わりから90年代にかけての30年近くの観測で、南極大陸の気候や南極氷床が形成されるしくみについてはほぼ理解できるようになった。

そして、氷床の内陸部に、硝酸塩など成層圏に存在する物質が多く見つかったことから、南極域では成層圏から対流圏への大気の流れが存在することが明らかになった。夏期を除いて対流圏上部や成層圏では、強い西風によって低温の渦、「極渦」が生じる。このために圏界面(境界)のバリアーが弱まり、成層圏大気と対流圏大気がつながった循環構造、極域大気循環系が出現するのである。

一方、地球全体で見ると、南極域は、北極域とともに「冷源域」である。この南



昭和基地南方氷床の流量と質量収支を示す「雪氷学図」
 1960年代後半以降、20年以上にわたって行われた内陸部探査の総面積は約10万km²、東南極大陸の5%に及ぶ。このような広範囲かつ詳細な雪氷学的情報の集積は、世界に類を見ないものである。
 出典：国立極地研究所フォリオ・シリーズ編集委員会

北の冷源域に向けて、赤道を中心とした「熱源域」から暖かい大気の流れ込むことによって生じるのが「大気大循環」である。中緯度から高緯度に向かう低気圧が極域大気循環系と結びつくと、内包した水蒸気は雨となり、潜熱を放出して極域大気を暖める。また、大気大循環により運ばれた水分子やエアロゾルは、太陽光を吸収したり反射したりして地球の熱収支に影響を与えると同時に、雲の形成にも関わっている。これらがさらなる大気循環のダイナミズムを生じ、気候変動に影響を与えていく。

このように極域は、大気の水平方向の循環にも垂直方向の循環にも非常に重要な役割を担っており、まさに極域を知ることには地球全体の気候、気象、気候変動を知るようになるのである。

さて、昭和基地を中心とする南極域の

観測、調査態勢が整うにつれ、日本隊の研究成果は着実に増えていった。なかでも、各国を驚かせたのが、隕石の集積機構の発見とオゾンホール発見である。

隕石は、太陽系惑星の成り立ちを知る「窓」としてたいへん貴重な資料である。その隕石を見つけるのに、南極大陸が最適の場所であることがわかったのである(14~15ページ参照)。

オゾンホールの発見は、日本の研究者による持続的な観測の成果である。昭和基地では、すでに1961年からオゾン層の観測が行われていた。1970年代なかば、初めてオゾン量の年間変化を捉えることに成功し、そのグラフから、南極の春期にオゾン量が異常に低くなることに気づいたのである。最初は観測ミスではないかともいわれたが、後にアメリカとイギリスの観測結果と照らし合わせて、

ようやくオゾンホールの存在が確認された。オゾンホール現象の観測は、地球環境の監視システムの1つとして、今日、さらに重要性を増している。

極域科学とは何か

1993年に国立極地研究所は総研大の基盤機関として参加することになった。このとき専攻の構成に関して「極域科学とは何か」という議論が盛んに行われた。伝統的な「地域科学」は、南極の自然現象の解明に主眼を置いてきた。これに対し、南極域の水床やその周辺海域に見られる大気、海洋現象は、地球気候システムの中で連結する現象として理解すべきであるという考え方が強くなってきたのである。こうして、「極域科学」は地球システム科学の枠組みの中で再構築されることになった。

たとえば、1995年に始まった「氷床ドーム深層掘削計画」では、東南極大陸の頂上域(ドームふじ)で2500mの深さ、32万年前の過去に遡る氷床堆積層が抜き取られた。この氷床コアでは、降水による水分子が32万年間にわたる気温の記録を、エアロゾルの濃度と組成比が地球環境の変動を記録している。また、気泡には、大気成分の変動が記録されている。

これらの情報は、大気科学、雪氷学の科学分野に、地球の気候、環境変動に関する貴重な資・試料を提供することになる。また、海洋環境、とくに海洋生物の活動は気候変動によって大きな影響を受けるが、エアロゾル情報の一部には、この分野に関するものが含まれている。氷床コアには、地球環境にかかわるさまざまな学問分野の現象が反映されており、こうした現象を全体として「極域科学」として捉えようとしているのである。

北極の自然現象についても、極域科学として同様に捉えられるのはいうまでもない。北極域も南極域と同じように、地球の冷源域として地球気候システムの駆動域となっているが、その地理的、地形的条件は、南極とはかなり異なっている。

南極域には平均標高2300mの氷床があるのに対し、北極海の中心域には、南

極大陸とほぼ同面積の、比較的暖かい北極海が存在する。氷期から残存するグリーンランド氷床も、南極域の10%にすぎない。こうした海陸分布の差によって、オゾンホール現象のように、南北極域では発生状況が異なる場合もあり、こうした違いの比較研究によって、極域の自然の成り立ちそのものが解明されつつある。

このように極域科学で地球を総合的なシステムとして捉えようとする、地球環境問題は必然的なテーマとなり、大気環境の変化を“敏感に”察知する極域は、地球環境観察・監視システムの最前線基地であるともいえる。

極域科学の展開

南極観測は、極地研創設以来、5カ年計画で進められてきており、現在、第6期計画が進行中である。今期の目標は、3つのキーワードにまとめられているが、いずれも「地球システム科学としての極域科学」を視野に入れたものである。ここから、極域科学がどのように進められているかがわかるだろう。

第1のキーワード「南極域からみた地球規模環境変化」は、「北極域における気候・環境変動の研究」と呼応して行われる、全地球的スケールのシステム観測を目指している。まさにこれは極域科学の原点である。

地球温暖化は高緯度域でも深刻化しつつあり、とくに北極域では、急速に事態が進行している。ツンドラ帯は、植物や土壌からのCO₂の放出が温帯域よりも10分の1から100分の1少ない「CO₂シンク(吸収)域」とされているが、地域によっては、「ソース(放出)域」に変わることすらあり、草本が低木にかわった地域もある。

南極では、温暖化によって海水が溶けると、そこで生活している植物プランクトンが減って、さらに温暖化が進むのではないかといった懸念もある。また、植物プランクトンはオキアミの餌になることによって、魚類やペンギン、アザラシ、鯨などの生存にも深く関係している。いま、南極海域では、植物プランクトンの現存量の変化を綿密にとらえる調査・観

察体制の強化がはかられているところである。

また、最近、大気圏を含む地球大気全体の変動システムの中で、超高層大気が占める役割の大きさが認識されはじめている。極域科学という新しい視点の導入の中で、対流圏、成層圏、中間圏、熱圏を結びつける共通の物理法則の解明が待たれている。

第2のキーワードは、「南極域から探る地球史」である。前述の氷床コア研究と並び、岩石研究も地球史を探る重要な手段である。南極大陸の東南域がかつて Gondwana 大陸の一部を形成していたこと、そこに地球最古の大陸地殻が分布していることは、すでに IGY 以前から明らかになっていた。たとえば、昭和基地付近では、約30億年前の岩石を5億年前のものが包み込んだ“歳”の異なる岩石セットがたくさん採集されている。これは、30億年前の岩石が5億年前になんらかの激しい変成作用を受けたということをも物語っている。

しかしながら、南極大陸で岩石が地上に出ている露岩域は3%不足である。45.6億年前に遡る壮大な地球史全容の解明は、内陸氷床下の岩盤深層掘削も含めて今後の課題と言えらるだろう。

第3のキーワード「南極の窓から見る宇宙・惑星研究」では、隕石研究のほか、低温・低湿度の南極の自然を生かした、地上リモートセンシングによる火星、金星などの惑星大気研究や、南極周回気球

を使った宇宙線の観察が計画されている。

これまで見てきたように、極域科学が対象とする領域は、地球磁気の発生源と考えられている地球中心部のコアからはじまって、マントル、地殻、生物圏を含む陸・海の表層、対流圏、成層圏、中間圏、熱圏さらに地球磁気圏を超える惑星空間にまで広がっている。「地球システム科学」から「惑星科学」にまで拡大しつつあるといえるだろう。

極域科学の若い担い手たちへ

地球システム科学としての「極域科学」は、いまスタートしたばかりであり、その発展の担い手が若い研究者たちであることは言うまでもない。そして、これらの科学分野のフロントは、いまでも人類生存域のフロントである。

これは私たちの科学分野の基本的な特性であり、こうした領域への果敢な対応には、極域の自然の魅力を理解する感性もまた必要であろう。私は、科学的知力とともに、フィールド・ワーカーとしての資質を培うことも、総研大極域科学専攻の果たすべき重要な役割であると思っている。観測基地・拠点の共同利用、観測への相互参加など、国際交流研究の加速する今日、若い研究者が「現場」で活躍する機会はますますふえてきている。南極で、北極で、氷床・海洋・大気の息吹、鼓動、色彩に接するとき、彼らの地球観が広がるにちがいない。

雪上車による氷床内部構造のレーダー観測。2台の雪上車の屋根に設置したアンテナから、真下の氷に向けて電波を放射し、跳ね返ってくる反射・散乱波を受信する。写真は、昭和基地と南極点のほぼ中間に位置する「ふじ峠」。

