

1. 南極観測の過去・現在・未来

山内 恭*

1. はじめに

今、なぜ南極観測なのか。南極観測の過去・現在・未来を通じ、21世紀の極域科学(気象学会春季大会21世紀シリーズ)を考えてみよう。未知の大陸の探検から始まった南極の観測が、今やグローバル・サイエンスとして地球環境や気候の研究に重要な役割を果たすようになってきている。南極観測の歩み、特にその中での気象/大気科学関連の研究、観測を中心に、3つの時代に分け、振り返ってみた。特に、若い読者の余りご存知ない過去、南極観測の始まった経緯等に重点をおき記した。

南極とはなんであろうか。「南極」とは南の極、地球の自転軸が地表面と交わる2つの点の南の方、つまり南極点を指すのが第一の意味である。しかし「南極圏」を指す場合がより一般的で、南緯66.5度線以南の高緯度地域全体が南極圏であり、南極大陸のほとんど、その周辺(海「南極海」を含む)のものである。3つめは「南極大陸」のことを指す。周辺の棚氷を含め面積1360万km²、日本の面積の37倍を占める広大な雪と氷の大陸である。周囲を海で囲まれた孤立した大陸で、平均標高は2290m、大陸を覆う氷の厚さが平均2450mあるため、大陸基盤の標高はわずか160mとなっている。

このような南極は、高緯度にあることで、太陽入射角の関係から太陽放射量が抑えられること、地表(海面)が雪氷面でおおわれることで太陽放射をほとんど反射してしまうこと、水蒸気が少なく空気が清浄であることから放射冷却が盛んなこと、さらに標高が高いことが南極の気象を特徴付ける根本になっている。冬期の強い接地逆転、斜面下降風(カタバ風)、そして同じく冬期の強い成層圏の極渦の存在も南極の気象の著しい特徴である。

2. 南極観測の歴史探検の時代

南極圏への人類のアプローチは18世紀になってからであった(第1表)。冒険心に富んだ航海者が南極大陸の姿を求め南の海を目指した。その1人、イギリス人J. Cookは、必ずしも大陸の存在を信じていなかったが、彼の第2回目の航海で初めて南極大陸を周航し、1773年1月17日、南緯66度33分を越え、初の南極圏突入を果たした。19世紀に入りアザラシ、クジラを求め狩猟船が南極大陸の周辺で活動し、1820年から21年にかけて、南極半島付近の陸地が初めて発見された。

大陸の厚い氷層をはがすために、数々の探検がなされた。ノルウェーのR. Amundsen、イギリスのR. F. Scottに率いられた南極点到達レースは、その究極であった。アムンゼン隊は1911年12月14日、スコット隊は1か月遅れの1912年1月17日にそれぞれ南極点に立ち、人類の足跡が初めて記された。日本の白瀬巖もまた南極点を目指した。ロス棚氷の北東端、鯨湾から上陸した白瀬隊は1912年1月28日、南緯80度05分に到達し、付近一帯を大和雪原と命名した。

この19世紀終りから20世紀初頭にかけての華々しい探検の時期は英雄時代とも呼ばれ、科学的な資料も蓄積された。スコット本人の生還はならなかったが、日記には多くの科学的記録が残されている。その中の1つは、1911年8月9日の日の出前の空に輝く雲が描かれている(第1図、E. A. Wilson 描く; Scott, 1913)ものであり、初の極成層圏雲(PSCs)の観測であると評されている(Solomon, 1999)。同行した気象学者G. C. Simpsonによるコアレス・ウインター(ナベ底型気温推移)の解釈や、初の気球観測からの強い接地逆転層の発見などもあった(Solomon, 2001)。Solomon

(具体的引用箇所は示さなかったが、他に南極の科学(シリーズ1~9、古今書院発行)、南極観測25年史(文部省1982年発行)、南極資料(定期刊行物、国立極地研究所発行)等、を参照した)。

* 国立極地研究所, yamanou@pmg.nipr.ac.jp

© 2003 日本気象学会

(2001) は, “The Coldest March” なる著書にスコットの事跡をまとめ再評価し, スコットの遭難の理由はいろいろ言われるが, 第2図のように1912年3月が異常低温であったことが最終的な原因になったと解釈している. その他, スコット以外でも, 風速100 m/s という過酷な越冬生活を送った D. Mawson の記録 (Mawson, 1930) など貴重な資料が残されている. 1928年には初めて航空機が導入され, 発見される地域が広がった. アメリカの R. E. Byrd は航空機を用いた大規模な探検隊をたびたび組織し, 1929年には早くも南極点への初飛行に成功している. 1949~52年にはノルウェー・イギリス・スウェーデン3国共同探検隊が東南極で内陸深くの人工地震調査やモードハイム基地での放射熱収支観測 (Liljequist, 1956) など現在の観測の先鞭を付ける多くの科学的調査を行った.

3. 観測の時代

1957/58年の国際地球観測年 (IGY) を迎え, 恒久的な, 組織的な調査研究を行う観測の時代が始まり, 各国 (12か国) は南極基地を整備した. わが国も1956年に「宗谷」で出発した第1次観測隊が57年1月29日にオングル島に昭和基地を開設し, 3月1日から地上気象観測を開始した. 今振り返ると, この時のわが国の南極観測への参加は画期的なことであった. その道程を第2表にて振り返る. 未だ敗戦から10年の時にここに至るには, 先人の大いなる

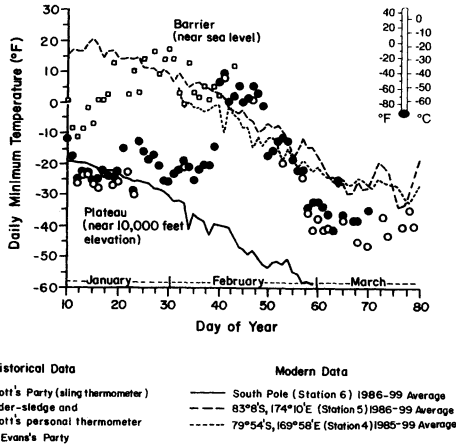
第1表 南極探検史年表.

年	人、隊、国	事項
1772-75	J. Cook (英)	南極大陸を周航
1838-42	C. Wilkes (米)	南極大陸の存在を実証
1882-83		第1回国際極年観測 (IPY)
1897-99	A. de Gerlache (ベルギー)	ベリングハウゼン海の氷海で船上初越冬
1898-90	C. E. Borchgrevink (英)	南極大陸で初越冬 (Adare 岬)
1901-04	O. Nordenskjold (スウェーデン)	南極半島東海岸2年越冬、帰途遭難、救助
	R. F. Scott (英)	Ross 島 Hut 岬で2年越冬
1911.12.14	R. Amundsen (ノルウェー)	南極点初到達
1912. 1.17	R. F. Scott (英)	南極点到達
1910-12	白瀬ノブ (日)	ロス棚氷沿岸開南湾、大隈湾発見 南緯 80°05' S 到達、大和雪原命名
1911-14	D. Mawson (豪)	Denison 岬 Schacklton 棚氷で越冬
1914-16	E. Schacklton (英)	南極大陸横断を企て、Endurance 号沈没
1929.11.29	R. E. Byrd (米)	南極点初飛行
1946-47	R. E. Byrd (米)	Operation Highjump、4700 人南極調査
1949-52	ノルウェー・イギリス・スウェーデン3国探検隊	Maudheim 基地2年越冬、人工地震観測 熱収支観測
1952	国際学術連合会議 ICSU	1957-58 年 IGY 観測、南極重点実施決定



第1図 エバンス岬から見た日の昇る前の北の空に輝く雲 (E. A. Wilson 描; Scott, 1913).

努力があった. 余り知られていないことだが, 1951年のサンフランシスコ講和条約には「南極におけるすべての権利の放棄」が記されているのである. なぜわざわざこのような1項が加えられることとなったかは, 未だ歴史のなぞであるが (白瀬中尉のマッカーサー



第2図 スコットの隊(極点旅行隊)とエバンスの隊(沿岸旅行隊)が1912年に遭遇した日最低気温の記録とほぼ同地域における現代の無人気象観測器からの記録。スコット隊が最後の3週間遭遇した気温は同地域の棚氷上の通常の気温より10°C低くなっている (Solomon, 2001)。

第2表 わが国の南極観測参加への道筋。

年月	事項
1982	国際極年 (IPY:International Polar Year 第1回)
1910-12	白瀬中尉の南極探検
1932	第2回国際極年 (IPY) 北極地域に重点をおいた気象、地磁気等の観測
1951	サンフランシスコ講和条約 「南極に関する一切の権利を放棄する」
1952	国際学術連合会議 (ICSU) 1957年からの第3回極年 (IPY-3) 実施を提唱
1953	日本学術会議も ICSU 要請を受け、第3回極年関係研究 連絡委員会(後のIGY研連委)設置、参加に向け準備
1954	ICSUはIGY特別委員会(CSAGI)設置 中緯度、赤道域観測等の計画策定
1955	IGY特別委員会(CSAGI)は南極会議開催 アルゼンチン他9か国が参加表明 学術会議IGY研連委は南極観測への振り替えを検討
9月	第2回南極会議に代表長谷川万吉、永田武はピーター一世島(90W, 68S)の打診を拒否、アデア岬(170E, 73S)、プリンスハラルド海岸(35E)に基地を作り参加する申し入れ、同会議で参加が要請された。
9月29日	学術会議IGY研連委は政府に対し、関係省庁協力のもとに南極観測実施を要望(気象、地磁気、極光・夜光、電離層、宇宙船、地震、地理、地質、他)
11月4日	閣議決定：南極観測に参加すること 南極地域観測統合推進本部を文部省に設置
1956年11月8日	「宗谷」の使用、観測計画、観測隊長、「海鷹丸」の随伴決定
1957年1月8日	第1次観測隊、宗谷にて東京港を出港
1957年1月29日	昭和基地設置、第1次隊越冬隊(11名)成立
1957-58	国際地球観測年 (IGY)

への手紙が原因かと言われている), 敗戦直後の日本で生きるか死ぬかの大事にこのような南極のことを意識した日本人は少なかったことと想像される。それからわずか5年の1956年には、第12番目の国として第一線に並んで南極観測に参加することができた。南極観測への参加を閣議決定してからちょうど1年後に宗谷が出港となったことも驚嘆に値する。しかし、やはり最後に加わった敗戦国の悲しさか、当初は西経90度のピーター一世島が基地の場所として提示されたが、大陸主要部から遠い島であるなど余りにも条件が悪い場所と受け入れず、次案であった東経40度付近のプリンス・ハラルド海岸を受け入れた。この場所も海水が発達し到達し難い場所ではあったが(そのため「宗谷」はさんざん苦しめられ、「タロージロー物語」も生まれることとなった), 両隣の基地から1000 kmの距離がある観測の空白区域を埋めるものであり、大陸へのアクセスという点からも南極大陸の典型的な場所をおさえられることになり、結局良い選択であったと私は解釈している。同地域の中でも、詳細には、オングル島の現在地にすべきか(1957年1月29日に昭和基地と宣言し日章旗を立てたのも、さらに現在地とは違う浜であった)、他の露岩域にすべきか確執があったものである(鳥居鉄也他, 1981)。

日本隊は第1次隊は予備観測で昭和基地での越冬の可能性をさぐる事が主目的であり、第2次隊がIGY

本観測を担う予定であった。南極研究科学委員会(SCAR:国際学術連合会議ICSUのもとに1957年設置、当初「南極研究特別委員会」)によって示されたIGYで行う南極の気象学のテーマ(南極地域の気候学および大気循環;南極大陸および南半球スケールの気象現象;中間圏・成層圏・対流圏の相互作用;南極大気の大気熱および水収支、大気・雪氷・海洋の相互作用;メソスケールの気象現象)に応える観測を第2次に準備した。地上気象、高層気象観測の他に、放射収支、接地気層、オゾンの研究、無人観測システムによる広域気象観測など盛りだくさんであった(川口, 1988)。しかし、宗谷が氷に阻まれ、基地に越冬物資を搬入することができず、第2次隊の越冬は断念された。以後、3次から5次隊が越冬し、当初計画の観測は徐々に増えた。第5次に到って地上気象に加え、高層気象、オゾン観測ができる態勢を整えたが、観測事業は中断さ

第3表 南極条約締結国一覧

2002年2月現在

れることとなり、1962年2月、6次隊(夏隊)で昭和基地は閉鎖された。

このように観測活動が中心となった南極地域であるが、観測を開始した12か国により、国際的な関係を規定すべく「南極条約」が締結された(1959年)。即ち、南極の活動を先んじて行っていた幾つかの国は南極に領土権を主張していたところ、第2次大戦を経て争いの絶えない世界の中で唯一の争いの無い平和な場所として南極を維持していこうとの共通の意志を確認し、平和の維持、軍事行動の禁止、領土権の凍結、科学による国際協力をうたった南極条約に結実したものである。ここでは、「科学も行おう」ということではない。あらゆることを、敢えて科学によって封じてしまおうということ、科学至上主義をとったということである。つまり、領土権の主張、軍事的な役割、資源の探査など、あらゆることを科学観測を前面に出すことで封じ込めてしまおうということであった。この政策のおかげで、いまや世界で唯一の恒久平和の場所になっているということができるのである(Joyner, 1998)。条約は1961年に発効し、現在

国名	南極条約		SCAR	COMNAP		
	◎: 原署名国 (=協定国) ○: 締約国 (●: 協定国となった日) ◇: 費控保護議定書締結日		◎: Full Member ○: Associate Member			
アルゼンチン共和国	◎1961. 6.23	(◇1993.10.28)	◎	○		
オーストラリア	◎1961. 6.23	(◇1994. 4. 6)	◎	○		
ベルギー王国	◎1960. 7.26	(◇1996. 4.26)	◎	○		
チリ共和国	◎1961. 6.23	(◇1995. 1.11)	◎	○		
フランス共和国	◎1960. 9.16	(◇1993. 2. 5)	◎	○		
日本国	◎1960. 8. 4	(◇1997.12.15)	◎	○		
ニュージーランド	◎1960.11. 1	(◇1994.10.22)	◎	○		
ノルウェー王国	◎1960. 8.24	(◇1993. 6.16)	◎	○		
南アフリカ共和国	◎1960. 6.21	(◇1995. 8. 3)	◎	○		
ロシア連邦	◎1960.11. 2	(◇1997. 8. 6)	◎	○		
英国	◎1960. 5.31	(◇1995. 4.25)	◎	○		
アメリカ合衆国	◎1960. 8.18	(◇1997. 4.17)	◎	○		
ウクライナ	○1992.10.28	(◇2001. 5.25)	○	○		
ポーランド共和国	○1961. 6. 8	(●1977. 7.29) (◇1995.11. 1)	◎	○		
チェコ共和国	○1993. 1. 1					
スロバキア共和国	○1993. 1. 1					
デンマーク王国	○1965. 5.20					
オランダ王国	○1967. 3.30	(●1990.11.19) (◇1994. 4.14)	◎	○		
ルーマニア	○1971. 9.15					
ドイツ連邦共和国	○1979. 2. 5	(●1981. 3. 3) (◇1994.11.25)	◎	○		
ブラジル連邦共和国	○1975. 5.16	(●1983. 9.12) (◇1996. 8.15)	◎	○		
ブルガリア共和国	○1978. 9.11	(●1998. 5.25) (◇1998. 4.21)	◎	○		
ウルグアイ東方共和国	○1980. 1.11	(●1985.10. 7) (◇1995. 1.11)	◎	○		
バブア・ニューギニア	○1981. 3.16					
イタリア共和国	○1981. 3.18	(●1987.10. 5) (◇1995. 3.31)	◎	○		
ペルー共和国	○1981. 4.10	(●1989.10. 9) (◇1993. 5. 8)	○	○		
スペイン	○1982. 3.31	(●1988. 9.21) (◇1992. 7. 1)	◎	○		
中華人民共和国	○1983. 6. 8	(●1985.10. 7) (◇1994. 8. 2)	◎	○		
インド	○1983. 8.19	(●1983. 9.12) (◇1996. 4.26)	◎	○		
ハンガリー共和国	○1984. 1.27					
スウェーデン王国	○1984. 4.24	(●1988. 9.21) (◇1994. 5.30)	◎	○		
フィンランド共和国	○1984. 5.15	(●1989.10. 9) (◇1996.11. 1)	◎	○		
キューバ共和国	○1984. 8.16					
大韓民国	○1986.11.28	(●1989.10. 9) (◇1996. 1. 2)	◎	○		
ギリシャ共和国	○1987. 1. 8	(◇1995. 5.23)				
朝鮮民主主義人民共和国	○1987. 1.21					
オーストリア共和国	○1987. 8.25					
エクアドル共和国	○1987. 9.15	(●1990.11.19) (◇1993. 1. 4)	◎	○		
カナダ	○1988. 5. 4		◎	○		
コロンビア共和国	○1989. 1.31					
スイス連邦	○1990.10. 3		○			
グアテマラ共和国	○1991. 7.31					
トルコ共和国	○1996. 1.24					
パキスタン共和国	○1999. 3.24					
バングラデシュ共和国			○			
エストニア共和国	○2001. 5.17		○			
	◎ = 1 2	○ = 3 3	● = 1 5	◇ = 2 9	2 6 + 6 国	2 9 国

わが国では4年間の観測の空白後、1966年から観測

が再開された。地上気象、高層気象観測などは「定常観測」として気象庁が担当するほか、年次毎に研究目的を設定した「研究観測」を行うこととした。1966~67年には「南極高層大気の熱的構造」をテーマに、オゾン鉛直分布の観測が本格的に行われたほか、南極大気の放射特性が研究された。1968~69年には「雲物理お

第4表 日本南極地域観測隊年表.

年	隊次	事項	観測船
1956	1	第1次隊東京出発	宗谷
1957	1	プリンスハラルド海岸オングル島に昭和基地建設(1月29日)	
1958	2	第2次隊接岸不能, 昭和基地越冬断念	
1959	3	第3次隊昭和基地再開越冬	
1961	5	(南極条約発効)	
1962	6	第6次隊昭和基地閉鎖	
1966	7	第7次隊昭和基地再開	ふじ
1968	9	極点旅行(9.28-69.2.15; 5180 km)	
1969	10	やまと隕石発見	
1970	11	初のロケット観測 みずほ観測拠点建設	
1973	14	(国立極地研究所創立)	
1974	15	セスナ機越冬運用	
1976	17	IMS(国際磁気圏観測)開始 みずほ基地越冬開始	
1979	20	POLEX-South(極域気圏観測計画)開始	
1982	23	MAP, BIOMASS, 東ク計画開始	
1983	25	第3の観測船就航	しらせ
1985	26	あすか観測拠点建設	
1987	28	あすか観測拠点越冬開始(-1991) ACR(WCRP)開始	
1989	30	多目的衛星受信大型アンテナ建設	
1992	33	氷床深層掘削計画開始 超伝導重力計設置	
1994	35	ドームふじ観測拠点建設	
1995	36	ドームふじ観測拠点越冬(-1997)	
1996	37	2500m深層掘削に成功	
1997	38	モニタリング観測開始	

第5表 南極大気観測計画(気圏系研究観測).

〈隊次〉	〈越冬年〉	〈課題〉
7, 8次	(1966-)	南極高層大気の熱的構造 オゾン鉛直分布の観測 南極大気の放射特性
9, 10次	(1968-)	雲物理および大気電気
11-14次	(1970-)	南極高気圧の生成と構造 境界層構造, 放射収支
====	(1974-)	=====<気象研究観測中断>====
17-19次	(1976-)	南極におけるエアロゾルおよび微量気体成分の研究
20-22次	(1979-)	極域気圏観測計画(POLEX-South) 放射収支 境界層と熱収支 海水域の熱収支
23-26次	(1982-)	南極中層大気総合研究計画(MAP) オゾン総合観測 FTIR成層圏微量気体 ライダーによる成層圏エアロゾル観測 気象ロケットによる重力波観測
28-32次	(1987-)	南極域における気候変動に関する総合研究(ACR/WCRP) 雲・放射観測 微量成分観測 広域気象観測(あすか, 無人) 大気-海水相互作用
33-37次	(1992-)	南極大気化学観測計画(IGAC/IGBP) エアロゾル, 硫黄化合物 成層圏微量成分 安定同位対比 ラドン
38-42次	(1997-)	南極大気・物質循環観測 内陸ドームふじ観測拠点重点観測 回収気球観測 航空機による子午面断面観測 エアロゾル雲リモートセンシング
43-47次	(2002-)	南極域における地球規模大気変化観測 成層圏-対流圏物質輸送 海洋-大気物質交換過程 雪氷海面状態および大気時空間分布変動 新しい観測システムの開発

および大気電気」をテーマとし、雪結晶の観測等に興味深い結果を得ている。1970~73年の4年間は「南極高気圧の生成と構造」をテーマとして昭和基地付近の海水面上および内陸氷床上の新しいみずほ基地での観測を行っている。1976~78年には、「南極におけるエアロゾルおよび微量気体成分の研究」が取り上げられ、特にエアロゾルの動態が明らかにされた。日本南極地域観測隊の年表を第4表に、また大気観測計画の課題を第5表で一覧した。この中で、1974, 75年には気象研究観測が途絶えてしまっている。危機感をいだいた日本気象学会では1973年、理事会の下に南極委員会を設け(1982年解散; 現在の極域・寒冷圏研究連絡会はこの流れを引いている)、気象の研究観測の再開を働きかけた。その成果から、1976年以降はプロジェクト的な観測が次々と盛んに行われるようになった。

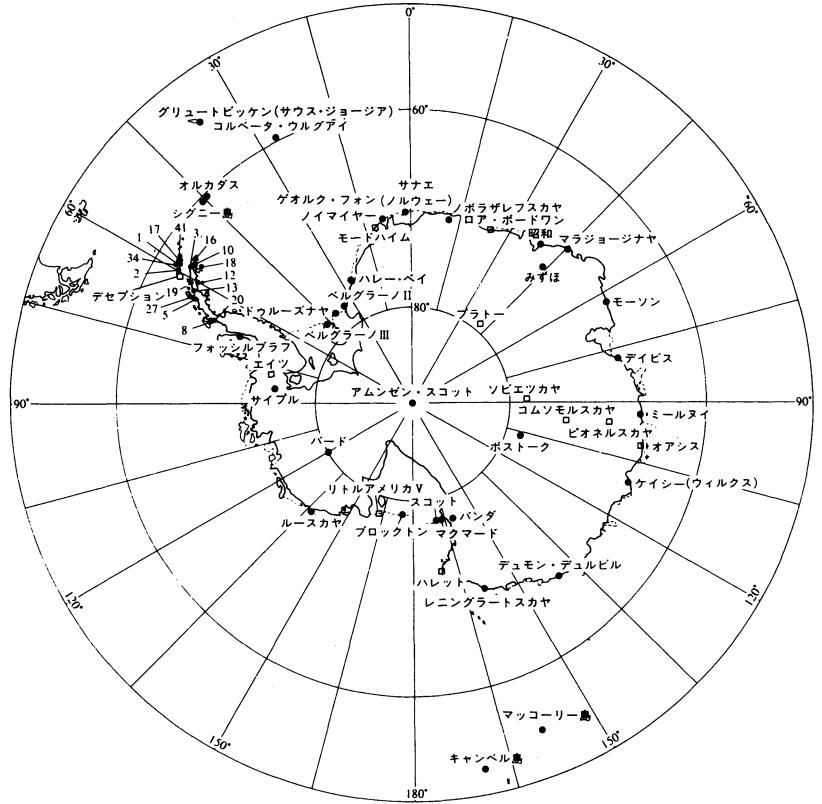
国際的には、IGY期の成果を基に南極全体の気象・気候学的描像が描かれ、多くの論文、報告が出された(例えばRusin, 1964; Rubin, 1966)。その後、1960年代当初は南極点(アメリカ基地)で多くの気象学的観測研究が積み上げられた。また、ソ連は、IGY期の観

測を経て、内陸、標高3400mの地に、ポストーク基地(II)を設置し、以後、氷床コア掘削等の仕事を続けてきた。長期間観測を継続している最も標高の高い基地として、世界の最低気温-89.2°Cが1982年に記録されている。なお、この基地の付近、氷床下には融けた水の湖があることが発見され、地上で見られぬ生命体の可能性も含め、現在の南極科学の最大の関心事の1つとなっている(Siegert *et al.*, 2001)。さらに、アメリカは、より内陸の高原域、標高3600mの地に、その名の通りプラトー基地を設置し3年間の越冬を行い、32mの観測塔を建て、境界層、放射収支の密な観測を実施、内陸高原域の特徴を明らかにした(Businger, 1977; Kuhn *et al.*, 1977)。これら、観測点の分布を第

3図に示す。

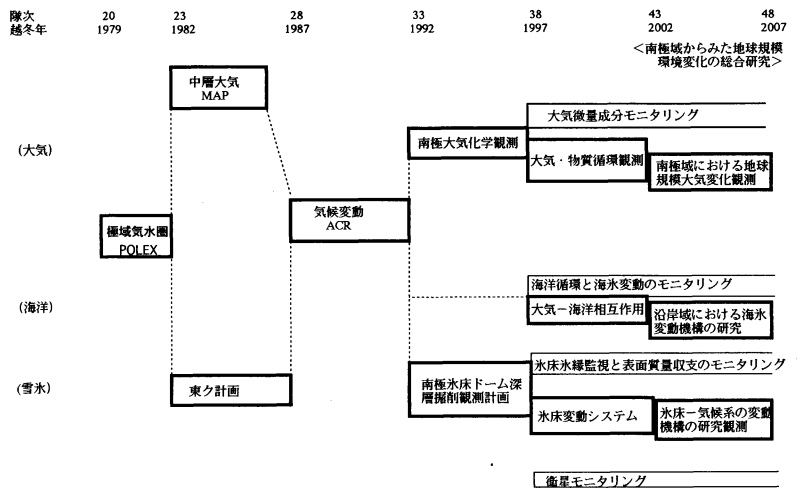
4. グローバルの時代

1979年、第20次南極地域観測隊からは「POLEX-South計画（極域気水圏計画, GARP地球大気開発計画の一環；みずほ基地に30mタワーを建て、接地境界層や放射の観測）」を実施したが、この頃より各研究分野で大型のプロジェクトが国際協同研究の一環として推進されるようになった。これは科学的知見の未知な南極それ自身の研究から、全地球上の1観測点として、地球全体のことを知る一助としての南極での観測、即ちグローバルな課題の中での研究・観測へと変遷してきた結果でもある。既に1965年のSCARの第8回会議において提唱された今後の南極気象学の課題にもその考え方が重視されている。この流れに沿ってわが国の南極観測ですすめられてきた観測課題を第5表に示す。第23次観測隊からは「南極中層大気総合研究計画(MAP)」が実施され、オゾンホールが発見につながったオゾン総合観測、赤外放射分光観測、PSCsを確認した成層圏エアロゾル・ライダー観測などが行なわれた。CO2濃度の連続観測もこの中で始められた。1987年第28次隊からはWCRP(気候変動国際研究計画)の一環として「南極域における気候変動に関する総合研究(ACR)」とし



第3図 気象観測を行っている基地の配置, 1982年当時(●). 過去に気象観測を行っていた主な閉鎖基地(□). (南極の科学9, 資料編).

気水圏関連 南極観測長期計画の系譜



第4図 南極大気科学関連研究計画の系譜。

て衛星観測、雲観測、微量気体観測、そして新しいあすか基地での気象観測の開始などが進められた。引き続き1992年からは「大気化学観測計画」がIGBP/IGAC（地球圏・生物圏国際研究計画/地球大気化学国際協同研究計画）に関連して実施され、1997年から昨シーズンまでは大気中物質の挙動を大気循環に関連して調べる「南極大気・物質循環観測」を行ってきた。さらに1997年からは、このような年次を区切って集中的に行う“プロジェクト研究観測”と並行して、より長期間の変動を調べるべく“モニタリング研究観測”を位置づけ「大気微量成分モニタリング」を開始し現在に到っている。現在越冬中の第43次観測隊からは、「南極域における地球規模変化観測」と称して成層圏対流圏の観測、海洋大気交換の観測等を始めている。これら観測計画の系譜を第4図に示した。

狭義には雪氷学の課題であるが広義にはまさに大気科学の課題である氷床深層コア掘削がわが国においても1995～96年に実施された（藤井，1999）。昭和基地から1000 kmの南極大陸内陸、標高3800 mのドームふじ観測拠点において、2500 mの氷床コアが採取され、過去32万年の気候・環境が調べられている。南極では、これまでロシアのポストーク基地で3000 mを越えるコアが採取されているが、氷床の流れの無い、一定の場所での堆積環境が調べられるドーム頂部での理想的なコアは世界に類を見ないものである。現在は、さらに3000 mを越え、70～80万年前にさかのぼれる、岩盤までのコア掘削が計画されている。この内陸ドーム頂部での大気科学の越冬観測が1997年、氷床掘削に続いて実施された（南極大気・物質循環観測）。

このような、地球規模変化における南極観測の意義としては、雪氷圏の存在、様々なフィードバック機構など、気候形成の要因を含むこと、気候の変動に対して敏感であり、地球規模の変化が増幅して現れることなどが挙げられる。また、人間活動の中心から最も遠く、バックグラウンドを監視するには最適地であること、環境条件は厳しいが単純で広域代表性があり、「気象現象の試験管である」（Lettau, 1971）と言われるように実験場所としてもふさわしいこと、氷床コアで代表される過去の気候・環境の記録が得られることなども、その意義として挙げられよう。

5. おわりに

21世紀の科学として、極域科学は何を目指していくべきであろうか。これまでは、各学問分野毎に、既存

のエスタブリッシュされた中では学問は成熟してきた。気象学/大気科学、雪氷学、超高層物理学、電磁気学、海洋学、地質学、固体地球物理学、陸上生態学、海洋生態学、生物学、または隕石学から宇宙科学まで。しかし、「極域科学」というまとめ、学際的研究には到っていないのが現状である。この中から、真の極域科学を目指す方向性が求められている。

また、フィールド観測＝南極観測＝の現場では、より効率的な輸送体制、フレキシビリティの高い観測体制が望まれている。即ち、現在は越冬観測に参加するには1年4か月を必要とするが、船の運行の高度化や（南極観測船を1シーズンに南極まで2往復する案を提案したが、予算の壁で実現には至っていない）航空機の導入等により、短期間にアクセスできるよう、あるいは必要に応じて現場に出向けるよう改善を目指している。さらに観測手法としても、様々なプラットフォームへの期待が大きい。南極観測船（現在は“しらせ”）は輸送に重点があるため、機動的な観測は難しい。昨シーズンは東京大学海洋研究所の白鳳丸の南極航海が行なわれた他、新しい試みとして専用観測船をチャーターしての南大洋での観測航海が実現した。ニュージーランドの砕氷船“タンゴロア号”により、東経140度線に沿って南下し、約1か月間の詳しい観測が行われた。今後さらに機動的な航海観測が必要である。小型の単発の航空機（ピラタス、セスナ機）は観測隊が運行しているが、搭載機器、航続距離、飛行性能に限界があり、沿岸から内陸までの、あるいは海水域をカバーしてさらに開水面までの長距離の断面図が描けるよう、より脚の長い中型双発機やジェット機、大型機の導入も求められている。1998年1月、大型の気球により大気を固化して大量採取するクライオジェニックサンプラーを飛揚・回収し高度30 kmまでの成層圏大気を採取することに初めて成功したが（「回収気球実験」；別稿参照、青木，2003）、実現の可能性は風の弱い夏期に限られている。今後は季節による違いを調べられるよう、気球観測の手法の開発が必要であると共に、制御可能な無人航空機の導入も視野に入れている。地上から、あるいは衛星からのレーダ、ライダー他のリモートセンシングや、併せて大気場観測や大気サンプリングの為の係留システムも待たれる（佐藤，2003）。そのほか、自動放球ゾンデシステムや広域観測のための無人気象観測システムの開発、展開も焦眉の課題である。観測点が極めて少ないことから（高層気象観測点は12基地と、IGY期よりも減ってしまってい

る) 客観解析にも限界があり、大変基本的ではあるが観測点の拡充が必須である。研究のサイエンス上の課題は続く報告に譲るとして、南極気象・大気科学の「観測の未来」にとっては、3次元の観測を支えるプラットフォームの実現が最も期待されるところであろうか。

前座として、イントロダクション、過去、現在の要約をお話した。後は、続く皆さんにそれぞれの具体的な観測・研究の話、未来への展望を示していただく。

参考文献

青木周司, 2003 : 地球規模の二酸化炭素循環南極観測から明らかになったこと. 天気, 50.

Businger, J. A., 1977 : Meteorological Studies at Plateau Station, Antarctica. Antarctic Research Series, vol. 25, Am. Geophys. Union, 155p.

藤井理行, 1999 : 南極氷床ドームふじジアに記録された過去33万年尾気候・環境変動, 学術月報, 54, 158-163.

Joyner, C. C., 1998 : Governing the Frozen Commons : the Antarctic regime and environmental protection. University of South Carolina Press, 363 pp.

川口貞男, 1988 : 日本の南極気象研究の概要, 南極の科学, 3 気象, 古今書院, 6-9.

Kuhn, M., L. S. Kundla and L. A. Streschein, 1977 : The radiation budget at Plateau Station, Antarctica. Antarctic Research Series, vol. 25, Am. Geophys. Union, 155pp.

Lettau, H., 1971 : Antarctic atmosphere as a test tube for meteorological theories. Research in the Antarctic, Am. Assoc. Adv. Sci., Washington, D. C., 443-471.

Liljequist, G. H., 1956 : Energy exchange of an antarctic snow-field : A. Short-wave radiation ; B. Long-wave radiation and radiation balance. Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition 1949-1952, Scientific Results, vol. 2, Part 1, Norsk Polarinstitut, Oslo, 1-184.

Mawson, D., 1930 : The Home of the Blizzard. Being the story of the Australasian Antarctic Expedition, 1911-1914. Hodder and Soughton Lmt., London, 438 pp.

Rubin, M. J., 1966 : Studies in Antarctic Meteorology. Antarctic Research Series, vol. 9, Am. Geophys. Union, 231pp.

Rusin, N. P., 1964 : Meteorological and radiational regime of Antarctica. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations, 380pp.

佐藤薫, 2003 : これからの南極観測—南極昭和基地大型大気レーダ計画. 天気50, hi-jk.

Scott, R. F., 1913 : Scott's Last Expedition, vol. I. Being the journals of Captain R. F. Scott, R. N., C. V. O., arranged by L. Huxley. Smith, Elder & CO., London, 633pp.

Siegert, M., J., J. C. Ellis-Evans, M. Tranter, C. Mayer, J.-R. Petit, A. Salamatin and J. C. Priscu, 2001 : Physical, chemical and biological processes in Lake Vostok and other Antarctic subglacial lakes. Nature, 414, 603-609.

Solomon, S., 1999 : Stratospheric ozone depletion : A review of concepts and history. Rev. Geophys., 37, 275-316.

Solomon, S., 2001 : The Coldest March, Scott's fatal Antarctic Expedition. Yale University Press, 383pp.

鳥居鉄也, 原田美道, 鈴木康編, 1981 : 南極外史. 丸善, 279pp.