

極域気象研究の系譜と極域・寒冷域研究連絡会

山内 恭*

1. はじめに

極域気象観測・研究の歴史を概観しました。60余年になるわが国気象観測・研究の歴史と、関連する日本気象学会の中での動き、特に、極域・寒冷域研究連絡会とその系譜について、2015年度春季大会時の極域・寒冷域研究連絡会で講演した内容の記録です。私事ですが、2015年3月末をもって国立極地研究所を定年退職いたしました。身辺整理をしつつ、これを機会に研究の歴史をまとめておこうと考えていましたら、ちょうど講演の機会を与えてくださいました。そこで、南極、北極における気象・気候の研究を振り返り、さらに、日本気象学会の中での動き、特に極域・寒冷域研究連絡会の系譜についても、始めからの流れを知っている者として、残しておきたいと、お話をした次第です。ここにその要点を書き残しておきます。

2. 極地探検から極域観測へ

未知の土地へのあこがれ、アジアへの近道を探るといふ実利の両面から、北極の探検が盛んになされた。John Franklin (イギリス) の探検は134名と2隻の船で出かけた大規模なものとして有名であるが、1845年出発以来行方が知れず、カナダ北方で遭難したものと捜索隊が多数派遣された。1859年まで発見に至らなかったが、この間の捜索の際に多くの科学的知見を得ることができた。Fridtjof Nansen は、1893年フラム号で北極海を航行し、氷に閉じ込められ漂流、自らは船を降りて徒歩で北極点を目指すも実現せず (フラン

ツヨセフ島に到達し生還)。しかし、船は海水とともに流され、北極海を横切り、1896年にはスバルバルに到達、北極には大陸が無いこと、北極海を横断する海流があることを実証した。その後も北極点到達競争は続き、1909年の Robert Peary の北極点到達で幕を閉じる。

しかし、このような探検はどちらかというとなショナルリズムに基づくもので、科学の進展にはマイナスであり、北極研究のためには各国が共同しなければならないと、オーストリア人 Karl Weyprecht は「国際極年」(International Polar Year, IPY) なる国際共同研究を提唱、1882-83年に12カ国が参加して (北極へ13隊、南極へ2隊、合計15の隊が派遣された)、気象や地磁気の共同観測が実現した。これが極域 (に限らず世界中) での初の近代的な国際共同観測だろう (Wood and Overland 2006)。

南極でも大陸発見以後探検が活発化し、北極と相前後して南極点到達競争が進んだ。先の Nansen のフラム号を借りて南極に到達したノルウェイ人、Roald Amundsen がついに1911年12月14日南極点に到達。同時期に大規模な探検隊を組織したイギリス人 Robert Falcon Scott は馬ソリや雪上車まで持ち込んだものの、むしろ重厚で身動きが重く、最終的に南極点に到達したのは1カ月後の1912年1月17日であった。Amundsen に先を越され、失意のうちに帰路は遅れて3月に入り、異常な低温も原因になり (オゾンホール解明の Solomon (2001) による)、3月末に遭難した。しかし、Scott 隊は、多くの科学的観測を実施、気球による上層大気観測や初の極成層圏雲の画像 (1911年8月1日の絵で、Solomon (1999) によって極成層圏雲 (Polar stratospheric clouds, PSCs) であると評されている) が残された。実は、全く同じ時期に、日本人白瀬 轟中尉も南極点を目指していた。

* 国立極地研究所, 総合研究大学院大学.
yamanou@nipr.ac.jp

—2015年9月25日受領—
—2015年11月13日受理—

1910年日本を開南丸で出航したが、最初の年は遅れて季節が進み南極到達はならず、オーストラリアに戻り再起を期した。翌年再度向かい、南極に上陸し、1912年1月28日、南緯80度05分まで到達し（本当の大陸上ではなく棚氷上であった）、付近を大和雪原と名付けた。

1932-33年には、IPY から50年、再び極域の国際共同観測をすべしという声が高まって、特に発見されたばかりの「ジェット気流」を調べようという強い動機もあり、IPY-2（第2回国際極年）が実施された。40カ国が参加し、日本も、通信省電気試験所の平磯出張所で電波伝搬観測、中央気象台の富士山頂での測候所開設や最北の樺太・豊原での地磁気観測開始など、国内からであったが極域につながる観測が始められた。アメリカでは、既に1929年、航空機で南極点に到達していたが、ロス棚氷上での越冬気象観測を実現、初の内陸基地となった。ソ連は、1937年から観測点の無い北極海の海水上に基地を置く海水漂流基地の活動を始め、貴重な高層気象観測データを取得。以後、中断を含むものの、現在まで続いている（NP-1～NP-41；Frolov *et al.* 2005）。

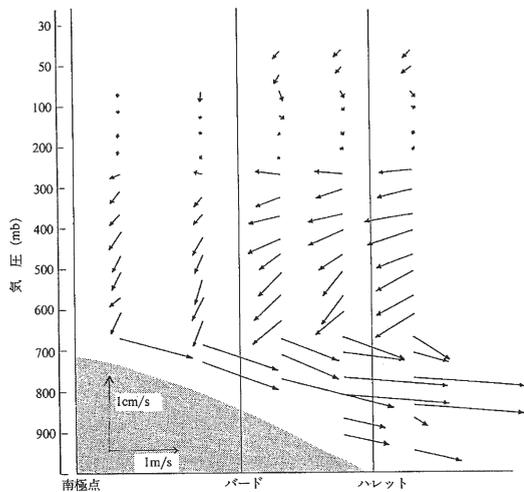
ここで、あまり知られていない、わが国の貴重な経験のことを追加しておきたい（講演時は未入手）。北見工大名誉教授高橋修平さんからの情報で、お父上、元網走気象台長高橋正吾が藤村郁雄と2名の中央気象台派遣職員として気象・海象観測のため乗船した「北氷洋航路」計画である。北極海を横断し、大西洋を南下し、喜望峰を回って南氷洋、太平洋経由帰国するという世界一周航海が企てられた。1941年6月16日（月）午前、武富栄一船長率いる快鳳丸（農林省水産局所属北洋監視船1000t、70cm砕氷可）は、東京港を出航した。北極海の海水域を突破してヨーロッパ側に到達するという案で、海水域に閉じ込められた場合には、越冬する覚悟の準備も整えていたとのこと。しかし、ドイツがソ連へ侵攻した戦争勃発のため、ベーリング海峡に達する前の7月21日に北緯64度で中止決定となり、22日から帰途につき、8月8日函館港に着した（永延・小野 2013）。戦時下で果たせぬ夢となったが、その先見性には驚くばかりである。

第二次大戦を経て、躍進した新しい技術（例えばレーダーやロケット等）を利用して地球観測をしようと、IPY-2からまだ25年であったが、Sydney Chapman, James Van Allen, Lloyd Berknerらの提唱で、IPY第3回目が、国際地球観測年（Internation-

al Geophysical Year, IGY）という名前で1957-58年にもたれた。ここでは、人工衛星観測と南極観測が大きなテーマとなった。わが国は、敗戦国でありながら、南極観測の意向を表明、数々の困難を乗り越えて、1956年11月の観測船宗谷の出航にこぎつけた。IGYで南極観測を実施した12カ国に加わることができた。その後、1959年に締結された「科学で国際問題を封じ込めようとの精神」である南極条約の12カ国の原署名国にもなれたわけである。1957年の2月から昭和基地での越冬が開始されたが、当初から気象観測は最重要観測として位置づけられていた。1959年、3次隊では、既にラジオゾンデによる高層気象観測が始められた。こうして、探検から観測の時代に入っていった。

3. 南極気象観測の歩み

IGYより遡るが1949-52年のノルウェイ・イギリス・スウェーデン3国共同探検隊に参加したG. H. Liljequist (1956) は、棚氷上のモードハイム基地において、初の本格的熱・放射収支観測を実現、その後の観測の手本となった。引き続き、1961-62年には、沿岸にあるオーストラリアのモーソン基地で詳しい放射収支観測が行われた（Weller 1967）。IGYでは各基地で気象観測が始まり、特に南極点基地での観測が興味深い。併せて、沿岸のハレー、氷床斜面上のバード基地での放射ゾンデ観測から、上層大気各層での放射収支のアンバランスを補うべく空気の流れが評価され、南極大陸子午面断面上の風の流れを導出したWhite and Bryson (1967) の図（第1図）は斜面上のカタバ風と対流圏上層でのその補償流を描いており、我々の南極大気の描像となっている。この図を越える研究はまだなされておらず、昭和基地の大型大気レーダーの一つの課題であろう。南極気象は極端な面はあるものの、地形をはじめ構造が比較的単純で、気象研究の考察がしやすい面があることから、Lettau (1971) による、「南極大気は気象理論の試験管である」との言葉も忘れられない。南極点基地は、一見、南極氷床の中心のようだが、実は斜面上にあるため、改めて氷床頂上部（ドーム）近く標高3625mにアメリカはプラトー（高原の意）基地を作り、32m観測塔を建て、境界層、熱・放射収支観測を実施した（Businger *et al.* 1977；Kuhn *et al.* 1977）。後に世界的に活躍した多くの気象学者が関わっており、内陸高原上の気象・気候を明らかにした、画期的な観測で



第1図 極夜期における南極上空の子午面循環。南極点、バード基地、ハレー基地での放射ゾンデの観測値から、放射収支のアンバランスを補う空気の流れを評価したもの。斜面上の強いカタバ風と、対流圏上部の補償流、下降流が捉えられている(White and Bryson 1967)。その後の多くの観測・研究の動機となった図。

あった。

その後多くの研究がなされていることは周知のことで、ここで全てを追うことはできないため、南極研究科学委員会 (Scientific Committee on Antarctic Research, SCAR) がまとめた、気象の研究課題を挙げておこう。IGYに際して示されたテーマは、1) 南極地域の気候学および大気循環、2) 南極大陸および南半球スケールの気象現象、3) 中間圏・成層圏・対流圏の相互作用、4) 南極大気の大気熱および水収支、5) 大気・雪氷・海洋の相互作用、6) メソスケールの気象現象、であった。今でも十分通用するテーマばかりである。

わが国の気象観測は、1章で述べた南極観測開始の時から、第2次隊での越冬断念はあったものの、第3次以降越冬観測が実現し、順次充実していった。1961年、第5次隊では、地上気象観測は1日8回、レーウィンゾンデ観測が毎日行われ、オゾン観測も始まるという、現在の定常気象観測の基本が出来上がった。第6次隊は夏隊だけで、昭和基地は1962年の2月7日をもって一旦閉鎖されてしまった。観測船宗谷の老朽化、海上保安庁による輸送担当の難しさ等があった。しかし、関係者の努力が実って、1966年2月1日、第

7次隊の越冬から昭和基地での南極観測は再開され、以後連続と続いている。ここで、定常的な地上気象や高層気象観測などは「定常気象観測」と位置づけられ、正式に気象庁が担当することとなり、一方、年次毎に目的を設定した「研究観測」を行うこととし、文部省—国立科学博物館 (1973年以降は発足した国立極地研究所) が所掌した。第1表に定常気象観測関連を、第2表に研究気象観測関連を記した。気象の研究観測としては、成層圏オゾン (Shimizu 1969) や雲物理 (Kikuchi 1970)、カタバ風などが取り上げられ (Kobayashi 1978)、先進的な観測が進められた。しかし定常気象観測が人員を増しさらに充実していったのに反し、研究気象観測は第14次をもって途絶え15次以降の計画はなくなってしまった。その後のいきさつは、4章に記す。

再び、気象研究観測—大気科学観測—が始まったのは第17次からであった。気象学会を中心に検討され、新たに「南極におけるエアロゾルおよび微量気体成分の研究」が1976年の越冬から3年計画で実施された (Ito 1985)。その後、国際的な研究計画に呼応したプロジェクトが計画されるようになり、第20次からは、初めての「極域気水圏計画」(GARP/POLEX-South) が1979年の越冬から3年計画で実施された。以後、第3表に挙げたように、プロジェクトが継続されていった。私が初めて南極観測に参加したのも、この20次隊であった。南極氷床上の境界層や放射収支の観測をすべく、内陸斜面上のみずほ基地で、30 mタワーを建て、多くの機器を持ち込んで観測を行った。私は放射収支を担当したが、日射計の入射角依存性を詳細に校正して高精度の日射測定を行ったり (Yamanouchi 1983)、日射の影響を取り除いて昼間の長波放射の直接測定を初めて実現するなど (Yamanouchi and Kawaguchi 1984)、カタバ風帯の放射収支の特徴を明らかにすることができた (Yamanouchi *et al.* 1982)。タワーや低層ゾンデ観測からは、カタバ風の興味ある盛衰 (鉛直構造) や顕熱輸送が明らかにされ (Wada *et al.* 1981; Ohata *et al.* 1985)、今は亡き井上治郎さんは雪上車でソリを引きながら広く氷床上で気象観測を実施し、広域のカタバ風構造を明らかにした (Inoue *et al.* 1989a, b)。

Middle Atmosphere Program (MAP) に呼応して、南極中層大気総合研究計画が、1982年、第23次越冬から始まった。中層大気の運動、組成、エネルギーが主テーマで、FTIR (気水圏対応) やライダー、気

第1表 南極気象(定常)観測の経過.

隊次	年	人員	主要観測項目
1次	1957	1	地上気象観測(1日3回)
2	1958		(越冬できず)
3	1959	2	地上気象(1日8回), ラジオゾンデ(約100回)
4	1960	2	地上気象(1日4回), レーウィンゾンデ(約200回)
5	1961	4	地上気象(1日8回), レーウィンゾンデ(1日1回), オゾン
6	1962		(夏隊のみ)
7	1966	2	地上気象(自動化による連続記録と毎時プリントアウト, 1日6回の目視観測), 高層気象
			(南極用レーウィンゾンデにより12Z 1回), 天気図作成, FAX 天気図受画
9	1968	3	高層観測00Z(現地時間03時)に変更, ドブソン分光器によるオゾン観測*, 特殊ゾンデ(オゾン, 輻射, 露点, 大気電気)*
12	1971	3	同上, 気象衛星 APT 受画
15	1974	4	高層気象観測を強化(1日2回), 波長別直達日射観測を開始
19	1976	4	みずほ基地へ定常気象隊員派遣(26次まで)
30	1989	4	気象資料通報装置(DCP)を導入し衛星経由気象データ通報
31	1990	5	オゾンゾンデ観測を強化(それまで, 一部は研究観測として分担), あすか基地へ定常気象隊員派遣(31, 32次)
32	1991	5	日射・放射観測を強化, BSRN(基準地上放射観測網)登録
35	1994	5	波長別紫外域日射(UV-B)観測を開始(プリューワー分光光度計)
36	1995	5	METEOSAT MDD 受信を開始, ドームふじ観測拠点へ定常気象隊員派遣(36, 37次)
38	1997	5	地上オゾン濃度の定常観測を開始, 気水圏大気微量成分モニタリング観測支援
39	1998	5	反射日射, 上向き長波放射観測追加(BSRN)
40	1999	5	エアロゾルゾンデの定常観測開始(~48次), 輻射ゾンデ観測を中止
43	2002	5	高高度レーウィンゾンデ観測の開始
49	2008	5	高層観測, 48次にてレーウィンゾンデ(00Z), GPS ゾンデ(12Z) 並行運用に続き, 49次より完全にGPS ゾンデに切り替え
51	2010	5	4月よりオゾンゾンデ, KC型からECC型に切り替え, ただし, この年間は並行運用して比較

* 第7, 8次では研究観測として行われた。また大気電気ゾンデ観測は第10次では研究観測として行われた。

第2表 気象研究観測の経過.

隊次	年	研究テーマ	担当者
7	1966	超高層大気の大気構造(オゾン観測)	清水正義
8	1967	同上(放射観測)	川口貞男
9	1968	雲物理および大気電気	菊地勝弘
10	1969	大気電気	近藤五郎
11	1970	南極高気圧の生成と構造(接地気象観測)	真木太一
12	1971	同上(接地気象観測)	安達隆史
13	1972	同上(放射収支観測)	佐々木 浩
14	1973	同上(カタバ風観測)	小林俊一
15	1974	気象研究観測中断	

デからも著しくオゾンの少ない層が観測され(オゾンホールの原因解明に貢献した Solomon *et al.* (1986) で大いに引用された), 初のオゾンホールの発見となった(Chubachi 1984; 第2図)。忠鉢による論文やオゾンシンポジウムでの発表から1年後, イギリス南極調査所(British Ant-

arctic Survey, BAS) の Farman *et al.* (1985) の Nature 論文でオゾンの急減をフロンの増加で説明したこの発表から, 俄然オゾンホールは世界の話題となり, 人工衛星 Nimbus-7 (SBUV) からのカットしていたデータの復活で上空から見ても南極大陸上にオゾン層の孔が開いているとの Stolaski *et al.* (1986) の出遅れた論文が揃って, 「オゾンホール」が確実なものとなった。MAP の主要課題では全く無く, わずか

象ロケット, 宙空ロケット, 大気球観測などが計画に上がっていた。その中では, 23次の忠鉢 繁がオゾン総合観測を担当, これまで空白域であった冬のオゾン全量を月光観測によって求めようということが主な課題で, 6/7月を極大値とする, きれいな季節変化を示した。ところが, 春先にオゾン全量が著しく低下, ドブソン分光計の故障を疑ったが, 特に見つけられず, 以前の観測値と比べ, 最低値を記録, オゾンゾン

第3表 南極大気観測計画（気水圏系研究観測）。

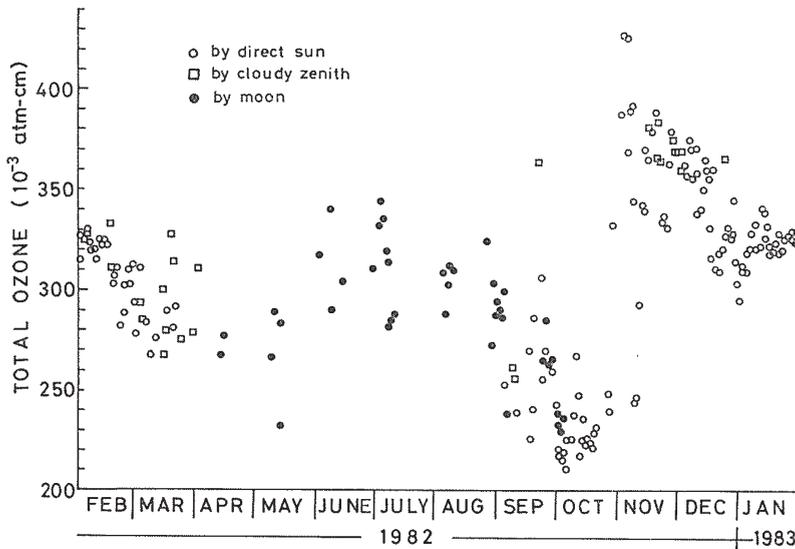
隊次	越冬年	研究課題
17-19	1976-78	南極におけるエアロゾルおよび微量気体成分の研究
20-22	1979-81	極域気水圏計画 (POLEX-South/GARP) 放射収支, 境界層と熱収支, 海水域の熱収支
23-26	1982-85	南極中層大気総合研究計画 (MAP) オゾン総合観測, FTIR 成層圏微量気体観測 ライダーによる成層圏エアロゾル観測 気象ロケットによる重力波観測
27	1986	東クイーンモードランド雪氷研究計画 FTIR による成層圏微量気体観測
28-32	1987-91	南極域における気候変動に関する総合研究 (ACR/ WCRP) 雲・放射観測, 衛星データ処理, 雲・降水観測 微量成分観測, 広域気象観測 (あすか基地, 無人) 大気-海水相互作用観測, 海水・海洋観測
33-37	1992-96	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 安定同位体比, ラドン
38-42	1997-2001	南極大気・物質循環観測 内陸ドームふじ基地重点観測 回収気球観測 航空機による子午面断面観測 エアロゾル・雲のリモートセンシング (モニタリング研究観測)
43-47	2002-06	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 雪氷海水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
48-51	2007-10	重点プロジェクト 1) 極域の宙空間-大気圏結合研究 FTIR を用いた大気微量成分, 極成層圏雲の観測 オゾンゾンデ Match 同期観測 2) 極域の大気圏-海洋圏結合研究 日独共同航空機観測 (ANTSYO-II) による大気エ アロゾル・温室効果気体の観測, 無人航空機観測 DMS (硫化ジメチル) 生成・分解過程の解明 小型クライオサンプラーを用いた回収気球実験 大気中エアロゾルの新手法による観測, 無人飛行機 観測 大気中酸素濃度の連続観測開始
52-57	2011-16	重点研究観測「南極から探る地球温暖化」 1) 中層・超高層大気を通して探る地球環境変動 大型大気レーダー (PANSY) による観測 2) 海洋生態系応答を通して探る地球環境変動 専用観測船「海鷹丸」による海洋観測 3) 氷期-間氷期サイクルからみた現在と将来の地球環 境 一般研究観測 モニタリング観測

に、オゾンホールの主因とされるようになった PSCs も、実は同じ Nimbus-7 衛星 (SAM II) で測られていたが、オゾン破壊のこととはつながらず、McCormick *et al.* (1982) が発表していた。24次の越冬で昭和基地にライダーを持ち込み、成層圏の観測をした岩坂泰信もこの論文をファックスで受け取り、自ら観測した冬の成層圏の後方散乱係数増大を納得したが、オゾンホールとの因果関係まで迫ることはできなかった (Iwasaka 1986)。

1987年の越冬から始まった南極気候変動総合観測 (Antarctic Climate Research, ACR) は WCRP (World Climate Research Programme) の一環として行われたもので、広域の雲と降水・放射収支、海水分布等が主題であった。私は、その年、第28次観測隊に参加し、それまでデータ受信のみ行われていた NOAA 衛星の可視赤外画像 AVHRR データの現場処理を実現すべく、当時は大掛かりだったスーパーミニコンを持ち込み、受信してほぼリアルタイムで (実は1パスを処理するのに数時間を要した) 南極上空の雲や海水分布を示すことができるようになった。続く ACR の中で海水

100万円ほどの予算しか用意されなかったオゾンの総合観測によってもたらされた「オゾンホールの発見」が、最終的にわが国南極観測の最大の成果と呼ばれるようになったことは皮肉としか言いようがない。さら

観測にも大いに貢献した。ただ、極域雪氷面上の雲は本来良く見えないもので、近赤外チャンネルの輝度温度差を組み合わせることで雲を識別する手法を編み出し (Yamanouchi *et al.* 1987), 当時の衛星雲気候計



第2図 昭和基地における1982年2月から1983年1月のオゾン全量観測。直達光観測 (○), 曇天の天頂光観測 (□) に加えて, 初めて実現した極夜期の月光観測 (●) の結果が示されている。9月から10月にかけてのオゾン急減と11月に入ってからオゾン急増が顕著に見られる (Chubachi 1984)。南極成層圏オゾン破壊を初めて捉えた論文の図。

画 (International Satellite Cloud Climatology Project, ISCCP) などでも議論を交わした (Raschke 1987; Rossow and Garder 1993)。

同じく, 衛星からの観測で放射収支を求める研究を進めた。Raschke *et al.* (1973) による南極を中心とした放射収支分布の図は, 正味放射がマイナスで絶対値が最も大きいのは南極大陸内陸ではなく, 沿岸域に環状に分布しているという, 大変示唆的なものであり, その意味と仕組みを調べたいと思っていた。ちょうど, 米国研究評議会 (NRC) の招聘で NASA Langley 研究センターに1年間 (1992~93年) 滞在する機会を得たので, 当時取得され, グローバルな解析に止まっていた地球放射収支実験 (Earth Radiation Budget Experiment, ERBE) のデータを解析し, 南極域を詳しく調べた (Yamanouchi and Charlock 1997)。その結果, 大気上端のアルベードは海水分布が大きく支配していること, 外向き長波放射 (OLR) は南極大陸の標高がほとんどを決めていることが分かり, 最も寒い南極内陸は冷えきっており長波の冷却能力 (即ち正味放射の絶対値) が小さいことが明らかになり, 先の Raschke の図がうまく説明されることが分かった。

わが国の南極観測でも, 昭和基地より内陸1000

km, 標高3820 m にドームふじ基地が作られた。氷床深層掘削を主目的とし, 1996年12月, 越冬2年目を終わる頃, 深さ2500 m までの氷床コアの掘削に成功した。氷期-間氷期の3つのサイクルを含む, 約34万年前までの気温や大気中二酸化炭素濃度の変遷を明らかにすることができた (Watanabe *et al.* 2003)。他にも同様のコアはあるが, 時間軸と含有空気

の分析では, 最も精度の高いものであろう。その翌年, 1997年には, 第38次隊でドームふじ基地にて初の大気の越冬観測を実施した。「南極大気物質循環観測計画」の一環で, 物質循環を大気循環との関係で調べようという画期的な計画であった。ライダーを持ち込んだ対流圏, 成層圏エアロゾルの鉛直分布観測, 地上でのエアロゾル観測, 放射観測, GPS ゾンデ観測 (年間100回以上), オゾン・エアロゾルゾンデ観測などが行われた。真冬に2日間で気温が -70°C から -30°C 以上と 40°C もの急上昇が捉えられ, ブロッキング高気圧の発生に伴い低緯度からの温かい空気が流入して起こったものであることが明らかにされた (Hirasawa *et al.* 2000)。また, 同時期, 圏界面の急上昇と共に, 対流圏上部に雲が活発化すると, 呼応するように成層圏雲も活発化する現象が捉えられた (Hayashi *et al.* 2004)。後に Palm *et al.* (2005) により衛星 GLAS ライダーによっても捉えられ, さらに Kohma and Sato (2013) によっても議論されている。私も, この隊に隊長として参加して昭和基地にて越冬しており, 冬明けの6週間の補給旅行でドームふじを訪れることができた。さらに, この観測計画では, 39次, 1998年夏, 昭和基地で回収気球実験を実施, 回収に苦労した中, 南極初の成層圏大気の採取に成功し, 温室効果気体の高度30 km までの鉛直分布を取得することができた (Aoki *et al.* 2003)。これら大気物質循環に関連する課題については, 「南極資料」特集号にまと

められているので、参照願いたい（国立極地研究所 2010）。トラジェクトリー解析を通じて大気の流れが推定されている（Suzuki *et al.* 2008など）。なお、38 次以降、これまでも長く観測を続けてきて、今後もプロジェクト毎ではなく、それを越えて長く観測する必要のあるものを「モニタリング研究観測」と位置づけることにした。CO₂をはじめとする温室効果気体の大気中濃度観測、エアロゾルの粒径別数濃度観測やリモートセンシング観測、衛星データ受信等である。

2010/11年の第52次では、昭和基地にアンテナ1000本からなる大型大気レーダー（Program of the Antarctic Syowa MST/IS radar, PANSY）を建設し（私も夏隊長として参加）、一部を使って初期観測が始まった（Sato *et al.* 2014）。対流圏、成層圏、中間圏の風とさらに上層500 km までの電離圏のプラズマパラメータを測定するもので、多くの新しい観測成果によりブレイクスルーがもたらされることが期待される（例、Tomikawa *et al.* 2015）。

今、地球温暖化の中で、極域は注目されている。本章で述べる北極では、1970年代以降、地球平均の2-3 倍の速さで温暖化が進んでおり、夏の海水域の急減やグリーンランド氷床の融解ほか、様々な影響がもたらされている。一方、南極では、南極半島から西南極（0 度方向を上にして、0 度-180度子午線より左側をそう呼び、昭和基地のある右側を東南極と呼ぶ）では激しい温暖化が現れ、棚氷の崩壊、氷河の加速・融解が進んでいる。しかし、不思議なことに、東南極、南極氷床の主要部では温暖化は明瞭ではなく、また大陸周辺の海水域の張り出しも増加気味である。これはなぜか、様々な議論が交わされている中で、オゾンホールの影響だという説が主流になっている。成層圏オゾンの減少で成層圏の寒冷化が促進され（これはCO₂増加による成層圏寒冷化と重なる）、極渦は強まり、これが対流圏にも伝わり（この成層圏・対流圏結合が最大のミソカ—PANSYでの解明が期待される）低緯度からの熱輸送が遮られ、温暖化が抑えられているという説明である（Thompson and Solomon 2002）。21世紀後半には、オゾン層破壊物質の削減によるオゾン回復が期待され、さらに地球温暖化によるブリューワー・ドブソン循環の強化で（これ自身いろいろ議論はあるが）南極域のオゾン全量は1980年レベルより50 DUも増加になるという最近の評価（WMO 2011）は驚きであり、東南極の温暖化も相当進む心配がある。南極のグローバルな気候の中で果たす役割について、

気象学者の評価が待たれている（SCAR 2009）。SCARが発表した、今後10~20年の間に進めなければならない研究課題（Horizon Scanという作業を経た）として選ばれた中でも、“Antarctic atmosphere and global connections”としてこれらが主要な項目となっている（Kennicutt *et al.* 2015）。

4. わが国の北極観測研究の歴史

北極研究に最初に取り組んだ研究者は北海道帝国大学理学部物理学教授の中谷宇吉郎であろう。人工雪結晶作成に成功し、「雪は天からの手紙である」なる言葉が有名である。第二次大戦前から凍上の研究で満州に赴いているが、北大に低温科学研究所を創立するのに尽力、その主任研究員を併任する。戦後早くも1949年、国際雪氷委員会の招きで米国・カナダ出張、1952年にはその創設に関わった米国雪氷永久凍土研究所（Snow, Ice and Permafrost Research Establishment, SIPRE）主任研究員として2年間滞在、その間にアラスカ・メンデンホール氷河の単結晶氷の研究を始める。1957年には米国IGY遠征隊としてグリーンランドに行き、Site-2の実験室にて氷の物性研究を実施、60年まで毎年参加した。さらに、1959年には、北極海の氷島T-3視察、主に海水・海洋観測を期待され、六車二郎、楠 宏、樋口敬二が2年間にわたって参加した。

以後、第4表に記したように、私は北極研究の第0ステージと位置づけているが、個人や研究室単位での小規模な観測隊の派遣が少しずつ行われるようになった。まずは中谷グループの東 晃等による北大アラスカ氷河調査隊が1960年、64年に送られ、1957年に発足した北大理学部地球物理学教室の気象学研究室から菊地勝弘が参加した。また1964年には北大低温研の楠宏等による氷島Arlis II観測が行われた。その後、1968年に北大地球物理から名大理学部に移った樋口敬二らによる北極水圏学術調査、1972年からの北大低温研の木下誠一他によるシベリア永久凍土調査等があった。1980年代に入ると、南極と呼応してGARP/POLEX-Northとして、カナダ北部で降雪観測が名大（武田、藤吉、樋口）、北大（菊地）などによって行われた。

それまで、冷戦構造の中で、非北極圏国としてはなかなか北極観測には行き難かった中で、1987年、ソ連のゴルバチョフ書記長の北極開放に関するムルマンスク宣言がなされると、いよいよ北極研究の第1ステー

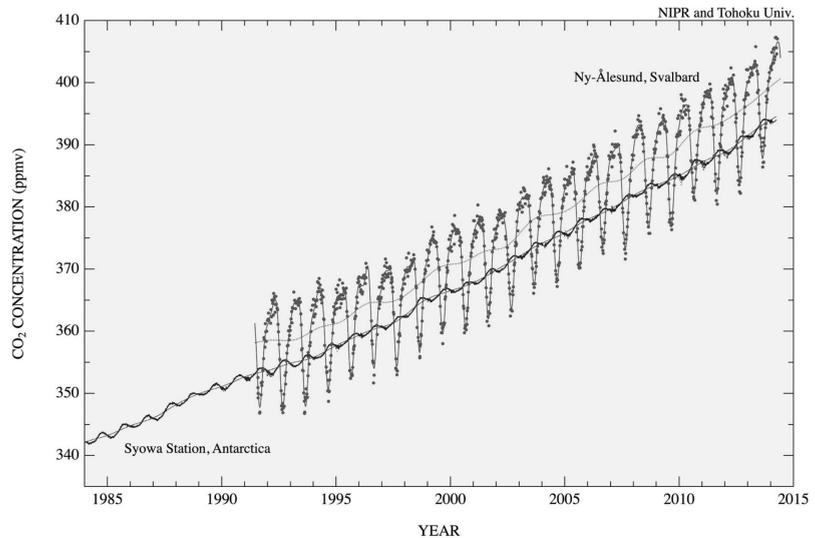
第4表 わが国北極研究の歴史（太字は国際関係の事象を示す）。

年	事象
— 第0ステージ（個別グループによる活動） —	
1957-60	中谷宇吉郎（北大）ほかによるグリーンランド調査（若浜五郎，東 晃） IGY（国際地球観測年）
1959	中谷宇吉郎（北大）ほかによる T-3（USA）観測（六車二郎，楠 宏，樋口敬二）
1972	木下誠一（北大）ほかによるシベリア永久凍土観測
1979-80	名大（武田喬男，藤吉康志），北大（菊地勝弘）らによる GARP/ POLEX North 観測 Canada
1983	オーロラ共役点観測，アイスランドで開始（国立極地研究所等）
1987	北極雪氷計画（JAGE～1998？）積雪調査や氷河・氷床掘削など
1987	ソ連ゴルバチョフ書記長，ムルマンスク宣言「北極開放」
— 第1ステージ（機関毎による活動） —	
1989	北極科学研究推進特別委員会（極地研）設置，IASC 対応の役割
1990	IASC（国際北極科学委員会）創設
1990	北極圏環境研究センター（極地研）設置
1990	国際共同研究事業「北極圏地球環境共同研究」開始（極地研；～1994）
1990	北極域に関する日加相補性研究（科技厅，文部省）
1990	科学技術振興調整費「北極圏における気圏・水圏・生物圏の変動及びそれらの相互作用に関する国際共同研究」（JAMSTEC；～1994）
1991	スバルバル・ニーオルスンに観測所を設置（国立極地研究所，ノルウェイ共同）
1991	日本が IASC 加盟（非北極圏国としては，ドイツ，フランス，イギリス，イタリア，ポーランド等と）
1991	シベリア温室効果気体観測開始（国立環境研，ロシア CAO ほか共同）
1992	IOEB（氷海用自動観測ステーション）—1/92 開始（JAMSTEC，米 WHOI 協力）
1993	INSROP（国際北極海航路開発計画；～1999）
1994	WCRP/ ACSYS（北極域気候システム研究計画）
1995	国際共同研究事業「北極環境観測共同研究」開始（極地研；～1998）
1995	第1回和達コンフェランス
1996	EISCAT（欧州非干渉散乱レーダー）参加（極地研，名大 STE 研）
1996	北極評議会（Arctic Council：AC；北極圏8カ国）発足
1996	GAME Siberia（WCRP/GEWEX；名大，北大，JAMSTEC；～2006）ロシアーティクシ，ヤクーツク
1997	NOW（国際ノースワオーターポリニア計画；カナダ他）参加
1997	ロシアーティクシ，ヤクーツクに観測タワー設置（名大，北大；RAS 共同）
1997-98	SHEBA（北極海表面熱収支観測計画）
1997-98	IOEB-2/SHEBA（JAMSTEC）
1997	観測船「みらい」北極航海（延11航海～2014年）
1998	AAMP98（北極海横断航空機観測；極地研）
1999	IARC（国際北極圏研究センター）/UAF（アラスカ大学フェアバンクス校）
1999	IARC における北極共同研究（JAXA，JAMSTEC；～2014）
1999	科研費特定領域「北極域における気候・環境変動の研究」（代表藤井理行，～2004）
2000	ASTAR 2000（北極対流圏エアロゾル放射総合観測；極地研，AWI 共同）
2000	GAME Siberia 集中観測（JAMSTEC，ロシア CAO 共同）
2000	GCCA（Global Change：Connection to the Arctic；IARC，大学連合）第1回
2001	文部省，科学技術庁統合（省庁再編）により文部科学省発足
2001	第2回和達コンフェランス
2001	極地研—JAMSTEC 統合案 → 拒否
2002	AAMP02（北極海横断航空機大気観測；極地研，AWI 共同）
2005	衛星データの取得・解析（JAXA と IARC/UAF）
2007	北極域研究検討委員会（～2011）
2007	GCCA-7，Fairbanks，Alaska
2007	地球惑星科学連合大会「北極域の科学」セッション開始（北極域研究検討委）
2007-08	IPY（国際極年）2007-2008
2008	科研費新学術領域「北極温暖化—過去・現在・未来」申請（代表山内 恭；不採択）
2008	第1回国際北極研究シンポジウム ISAR（2010，2013，2015）
2009	シベリアプロジェクト開始（総合地球環境学研究所）
— 第2ステージ（オールジャパンの活動） —	
2010	北極研究検討作業部会審議，中間とりまとめ
2011	北極研究戦略小委員会「GRENE 北極気候変動分野運用基本方針」提示
2011	JCAR（北極環境研究コンソーシアム）設立
2011	グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス（GRENE）北極気候変動研究分野開始 （NIPR/JAMSTEC/MEXT；～2015年度）
2013	日本，北極評議会（Arctic Council：AC）オブザーバ参加が認められる
2015	次期北極研究推進プロジェクト（ArCS）公募
2015	ASSW 2015（北極科学サミット週間；ISAR-4，ICARP-III など）富山開催

ジは花開くのであった。国際的にも北極研究が注目されるようになり、国際北極科学委員会 (International Arctic Science Committee, IASC) が1990年に発足、わが国も上記の早い時期の北極研究の実績が認められ、1991年に加盟している。第4表に見るように、この頃にいくつかの研究機関単位の活動が始まるのである。しかし、この時代に特徴的なことは、文部省傘下のグループの動きと科学技術庁傘下(航空・電子等技術審議会地球科学技術部会が仕切る)の動きが別々になっており、両省庁のバラバラの

縦割り行政(仲の悪さ)が大いに障害になり、現場は大いに苦労した。日加(カナダ)科学技術合同委員会を受けて開催された、1990年の「北極域に関する日加相補性研究」会合では、文部省側は腰が引けていたのか、極地研から一介の助教授である山内が前面に交渉に臨んだ(高ランクの人を出さず)。

極地研では、北極圏環境研究センターを設立するとともに、渡邊興亜や名大大大気水圏科学研究所の岩坂泰信の視察を元に、ノルウェイ極地研究所の協力の下、1991年スバルバル・ニーオルスンに観測所を設置した。ニーオルスンは元々炭坑のあった所で、新しく北極観測を行う国際観測村として整備・公開され、元々のノルウェイに加えドイツをはじめ、十数カ国が観測所を置いている。日本では、かつてオーロラ電磁気観測が東大などにより行われていたが、今回は、氷河の観測、フィヨルドの海洋観測、陸域生態系観測が行われた。さらに大気関係では、CO₂等の温室効果気体のサンプリングによる濃度分析、名大のライダーによる成層圏エアロゾル観測などが始められ、以後、長年続けられ、南極昭和基地の観測と併せ、両極観測の重要性を示すデータが出されている(Morimoto *et al.* 2006など; 第3図)。その後、エアロゾル観測、リモートセンシング観測が活発化し、またグリーンランド海・バレンツ海では海洋表層でのCO₂交換に関する観測



第3図 南極昭和基地(黒)と北極スバルバル・ニーオルスン(灰)における大気中CO₂濃度の変化。両極での異同がよく分かる、貴重な結果で、両極(bi-polar)観測の重要性を示している(提供: 国立極地研究所/東北大)。

が10年間にわたって続けられ、強いシンクの存在が明らかにされた(Nakaoka *et al.* 2006)。遡って、1989年には極地研に北極科学研究推進特別委員会が設置され、極地研だけでなく広くわが国の北極研究の検討を行うとされた。学術会議にIASC小委員会が設立される(2006年)まで、わが国からのIASCへの対応体としての役割も果たした。

北極海横断しての航空機観測が2度にわたって行われた。第1回目は、塩原匡貴によって企画され(AAMP 98)、1998年3月、名古屋小牧空港から、ダイヤモンドエアサービス社の双発ジェット機 Gulfstream-II がアラスカ・パロー経由北極点の上を通過しスバルバル・ロングイヤービンに至る飛行を実現した。サンプリングによる温室効果気体の測定やエアロゾル測定、雲物理の測定が行われた。2回目は、私が企画し、ニーオルスンで活発な観測を行っているドイツAWI(アルフレッド・ウェーゲナー極地海洋研究所)と共同で、98年と同じ経路で飛行、新たな観測はサンフォトメータによる放射に関わる大気消散計数の測定やドロップゾンデを投下して北極海の気温の鉛直分布の緯度変化観測であった。エアロゾルの消散係数は、SAGE-III衛星測定値との比較も行われ、良好な地上(エア)検証となり、また、成層圏での温室効果気体の濃度測定から、気体の重力分離の検証が行

われた (Ishidoya *et al.* 2008).

先立って2000年、ドイツAWIの飛行機Polar 4 (Dornier 228) を使った共同観測ASTAR 2000 (北極対流圏エアロゾル放射総合観測) を実施した。ニーオルスン地上観測を補完すべく、上空の大気鉛直分布を調べようというもので、輸送されてきた大気の起源によって、北極由来の大気で清浄な場合と、「北極ヘイズ」と言われた西シベリアやヨーロッパ起源の汚染大気 (上空にも多量のブラック・カーボンを含んだ) が見られる時があり (Yamanouchi *et al.* 2005), 大気の放射加熱率にも大きな違いが見られた (Treffisen *et al.* 2005)。日独で先鞭をつけたこの観測は、その後ヨーロッパ各国の参加も得てより大規模に2004年、そしてIPY 2007-2008の一環として2007年にも実施され、今では新しいPolar 5 (Basler Turbo機) によって環北極海観測として続いている。

この4回目となる国際極年 (IPY 2007-2008) は、難産の末イギリス南極調査所 (BAS) 所長のChris Rapleyらが主唱し、ようやくICSU (International Council for Science) -WMOの共催で実現。世界中から1000件を超える計画提案があり、その中から公認計画は228件に絞られ実施された。南北両極にまたがる計画となったのはもちろんであるが、研究分野としても地球科学各分野に生物科学、そして新しく人間と教育・アウトリーチという課題が加えられたことが特徴であろう。カナダを先頭に北極圏各国にとっては、先住民の問題が大きな比重を占めた。私もWMO-ICSU Joint Committeeメンバーとしてまとめの作業などを担った (IPY Joint Committee 2011)。わが国でも学術会議にIPY対応小委員会が設置され (佐藤夏雄委員長)、アジアの協力をうたった国際シンポジウムを開始日の2007年3月1日に開催した。

先に述べたように、この第1ステージの北極研究は、国立極地研究所やJAMSTEC (海洋科学技術センター、後の(独)海洋研究開発機構)、防災科学技術センターなど機関毎に活発に行われる様になった。前者は文部省所管、後二者は科学技術庁所管で、その問題は省庁再編に伴う2001年1月6日の文部省、科学技術庁統合による文部科学省発足後も尾を引く。独立行政法人化の流れと共に、国立大学法人化、さらには大学共同利用機関法人化の動きの中で、2001年末、国立極地研究所とJAMSTECとの統合案が浮上、大いに議論を呼んだが、「研究手法が全く異なる」として極地研側 (運営協議員会議、評議員会議) の強い反対

があり、さらには気象学会はじめコミュニティーの提言を時の遠山敦子文部科学大臣 (かつて文部省学術国際局国際学術課長として南極観測担当) が受け入れ、沙汰止みとなった。ちょうどこの頃、日本学術会議気象学研究連絡委員会主催のシンポジウム、気象学に開かれゆく世界シリーズ第4回、「揺れ動く21世紀の大学・研究所の将来像」(山内・中島 2001) を2000年度春季大会前日の5月22日に開催している。文部省学術国際局学術課の平野仁司補佐から「文部省における地球科学研究の歩み」を、また科学技術庁研究開発局海洋地球課の田中敏補佐 (後の文部科学省研究開発局長) から「海洋・地球・環境科学技術政策の今後の進め方」を発表いただいた。前者は「先生方のやりたい事をやっていただくためにそのサポートをしていく」という支援の姿勢に対し、後者は「地球・環境科学は投資するに足るだけの力を持っているのか」と、上から目線、官僚が主導して研究者にやらせるというトップダウンの姿勢で、その両者の違いが明瞭に浮き彫りになったと感じた。

一方、アラスカ大学の赤祖父俊一教授 (元地球物理研究所GI所長、その後国際北極圏研究センターIARC所長) の強い働きで、JAMSTECやNASDA (宇宙開発事業団、後の宇宙航空研究開発機構JAXA) の支援を受けて (元々1997年3月の橋本首相とゴア副大統領との間で交わされた日米コモンアジェンダで取り上げられた課題) 国際北極圏研究センター (International Arctic Research Center, IARC) が1999年にアラスカ大学に創設された。支援が完全な科技庁ルートであったため、当初は文部省傘下の極地研を含む大学研究者は利用し難いという足かせがあった。JAMSTECでは地球観測フロンティア研究システムの下IARCでの共同研究を推進した。しかし、池田元美代表の努力にもかかわらず、IARCとJAMSTECの思惑が食い違い、赤祖父-JAMSTEC-それに極地研は3つどもえの動きとなってしまった。遑って、1995年 (2回目は2001年)、日本の北極研究を糾合しようという赤祖父の呼びかけを受け、筑波大田中博 (元アラスカ大学地球物理研) の努力で和達コンフェレンスが開かれている。2000年代に入り、IARC-JAMSTEC関係を改善しようと、IARCにはSAC (Science Advisory Committee; 松野太郎、田中浩、大村纂などの大物に加えて山内も参加) が設けられ、議論が重ねられたが、赤祖父-JAMSTEC、文部科学省の思惑はなかなか一致しなかつ

た。そういう流れの中で、一方のIARC・大学連合としてGCCA (International Workshop on Global Change: Connection to the Arctic) というシンポジウムが開かれ、7回(2000年から2007年)にわたって続けられた。バラバラな動きをなんとか協力して、オールジャパンの北極研究をできないかと、2006年頃より、先の田中 博, JAMSTEC 地球環境変動領域・北半球寒冷圏研究プログラムの大畑哲夫, 極地研北極環境研究センターの神田啓史などが中心に研究者のボランティアで「北極域研究準備委員会」、そして2007年から「北極域研究検討委員会」を始め、地球惑星科学連合大会にて「北極域の科学」セッションを主催したり、2008年には国際北極研究シンポジウム(ISAR-1;その後2年毎に開催,2015年4月には、北極科学サミット週間 ASSW (Arctic Science Summit Week) の中で開催し多くの海外からの参加を得た)を開催したりしていた。筆者が科学研究費新学術領域研究に「北極温暖化—過去・現在・未来」を申請したのも2008年であり、不採用であったが、その後の北極プロジェクト構築の元になる発想であった。

2010年、いよいよわが国北極研究の第2ステージ開幕の前夜である。文部科学省、科学技術・学術審議会、研究計画・評価分科会、地球観測推進部会に「北極研究検討作業部会」が設置され(安成哲三主査;研究開発局環境エネルギー課所掌)、わが国北極研究のあり方、研究を効率的に進めかつわが国の存在感を増すためにオールジャパンの研究体制が必要であること、研究者コミュニティを糾合すべく北極環境研究コンソーシアムを結成することの方向性が答申された。この裏には、再び、川端文科大臣への赤祖父レターの存在があったものと思われる。これを受けて、予算申請がなされ、2011年度予算にてグリーン・ネットワークオペクセレンス(GRENE)事業の中に北極気候変動分野が認められた。今度は先の地球観測推進部会の下に北極研究戦略小委員会が設置され(小池勳夫主査)、4つの戦略研究目標を提示して、公募による共同研究の実施、研究設備等の提供、北極環境研究コンソーシアムの運営が運用基本方針として提示された。新しい北極プロジェクトの公募が行われ、国立極地研究所が代表機関としてJAMSTECの協力を得て応募、「急変する北極気候システム及びその全球的な影響の総合的解明」(2011-15年度;プロジェクト・マネージャー、山内 恭)が認められた。近年の著しい北極の温暖化、夏の海氷の急減、そしてそれらの影

響を明らかにしようというものである。改めて、極地研から研究課題を公募し、22課題の応募があり、その中から7課題が認められ、現在のGRENE北極気候変動研究プロジェクトが発足した。ここに、ようやく、分野融合、観測モデル協調によるオールジャパンに近い北極研究がスタートできた。この研究計画策定過程は、文科省からのトップダウンの戦略研究目標提示とコミュニティからのボトムアップでの研究課題の提案という両者がうまく組み合わせられたことで、大変ユニークな形になったと評価したい。なお、GRENE北極プロジェクトの中でも中心的話題の一つになった、「北極温暖化と中緯度リンク」については、以前から、わが国における研究が世界をリードする位置にあったことは喜ばしい(Honda *et al.* 2009; Inoue *et al.* 2012; Mori *et al.* 2014; Nakamura *et al.* 2015)。今、次期の北極研究推進プロジェクト(ArCS)が立ち上がろうとしている。今後を期待しよう。

5. 極域・寒冷域研究連絡会の系譜

第2章で述べた通り、第15次(1973年出発)、第16次の南極観測では気象研究観測は見送られることになってしまった。このことに危機感をいだいた日本気象学会では、1973年4月、第17次以降には再び気象研究観測ができるよう研究観測計画を再検討すべく、「南極委員会」を発足させた(天気20巻, p.259, 1973)。当初の担当理事(委員長)は丸山健人、委員は吉田菊治、清水正義、関口理郎、村井潔三、川口貞男であった。そして、17次から19次までの3年計画、「南極におけるエロゾルおよび微量気体成分の研究観測」が提案された。南極委員会では、観測の経過や成果を検討し、今後の問題を追究するため、大会時にセッションを設けることとなり、1973年度秋季大会(仙台)では「南極の気象」セッションが、1974年度秋季大会(福岡)では「極気象・寒冷地気象」のセッションが設定された。しかし、時、あたかも1973年は国立極地研究所が創立された時でもあり、「気象研究を検討するしっかりした体制が出来上がった」と解釈され、以後は気象学会の中での議論は逆に下火になってしまった。1982年2月の常任理事会にて、杉村行勇理事からの発言により、一応所期の目的を達したとして、活動を取りやめることとなった。

こうした中で、やはり気象学会でも南極観測計画を議論する場が必要との意識が持ち上がり、安成哲三(当時筑波大学)、大畑哲夫(当時名古屋大学)、山内

恭によって南極観測を考える気象学会有志の集いが1983年10月19日(仙台秋季大会中)に開かれ、新たに翌年から月例会「南極圏の気象」を発足させることとなった。特に、地球上の気象・気候をグローバルな観点で議論する必要性が生じている中、南極圏を単に南極としてだけでなく、南半球の一部、あるいは地球の極地の一つとして位置づけたグローバルな視点から議論する場を目指す研究会とした(天気31巻, p.215, 1984)。代表を菊地勝弘に、幹事に先の3名に加え石川信敬、伊藤朋之があたり、4年間に8回の研究会をもち、活発な議論がなされた。

その後、単なる研究会という「月例会」での限界を感じ、啓蒙および会員間の議論の促進、情報の流通の促進、研究計画の統合及び会員の研究機会(南極観測参加可能性)の拡大、他学会との対応等を目的に、「研究委員会」の設立を提案(安成哲三、大畑哲夫、山内 恭、遠藤辰雄、伊藤朋之が世話人)、1989年5月の総会にて初の研究連絡会「極域研究連絡会」として認められた(天気36巻, p.256, 1989)。活動内容としては、研究会の開催、他学会との共同シンポジウムの開催、「天気」にニュースレターを掲載、長期研究計画等の提案・勧告、南極地域観測隊への隊員候補者の紹介と挙げ、松野太郎を代表とし多くの幹事で発足した。まさにその活動の一環、南極シンポジウム「地球気候における南極氷床の役割」が1990年度春季大会前日の5月22日に日本雪氷学会、日本地球化学会、日本地理学会と共催で開催され(天気37巻, p.128, 1990)、オゾンホールや地球温暖化による氷床の質量収支の変化による海面水位変動の問題に重要な役割を果たす、現在の気候システムにおける南極氷床の維持機構、その役割解明を目指した。氷床はどのような大気循環をその上に形成し、またそれにより氷床自身を維持しているのか? その大気循環により、低緯度からの物質は、成層圏から対流圏、地表へと、どのように輸送され、地表に堆積するのか? 堆積した物質は、どのような過程を経て氷の中に取り込まれ、流動する氷床内で、どのように輸送されるのか? といった問題意識の下、IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme, 地球圏・生物圏国際協同研究計画)の一環として東南極内陸ドーム深層掘削研究計画が予定され、またIGAC (International Global Atmospheric Chemistry, 地球大気化学国際研究計画)の一環として大気微量成分の輸送機構の解明が目指されている時に、その相互が、いかにうまくタイアップ

して新しい成果をあげることができるかの議論を深めようと企画された。25年後の現在、この問いにどれだけ答えられているだろうか。

さて、その後、1996年になると、より広い研究領域に広げる必要性が認識され、現在の「極域・寒冷域研究連絡会」に名称を変更することとなった(平沢ほか1997)。幹事として木村龍治代表(後に山崎孝治代表)以下、20人以上の多くの気象学会員が名を連ねた。以来、今回の2015年度春季大会時の会合まで、毎年2回の会合が重ねられてきた。多くの話題が取り上げられ、様々な講演者が発表し、若い人を含む一定程度の出席を得られていることは、極域研究に対する関心がある程度は維持されていることを物語っており、心強い思いである。幹事諸氏に感謝する。しかし、翻って、最初に月例会「南極圏の気象」を立ち上げた際、さらには「極域研究連絡会」に格上げした際に期待した効果が得られているか、役割が果たしているか、については、いささか心許ない。南極観測、北極研究における大気科学・気候学を牽引し、コミュニティーを主導する役割が果たしているか、北極研究コンソーシアム(Japan Consortium for Arctic Environmental Research, JCAR)との連携も一つの道であろう。より積極的な、強力な指導性を期待するものである。

6. おわりに

古い記録をできるだけ残しておこうと細かい記述になり、長文になってしまった。客観的な極域気象研究の歴史をまとめようと企図したが、到底無理であり、実際には自分中心の歩み、自分史に近くなってしまったこと、おわびしたい。このために、2時間にもわたる特別講演の機会を与えてくださった、猪上 淳氏はじめ極寒連世話役の方々に深く感謝する。探検から始まった困難な南極観測、省庁縦割りの弊を被っていたものが次第にオールジャパンに資質を高めてくることのできたわが国北極研究の歩みを、少しでも感じ取っていただければ幸いである。南極、北極研究の中での気象研究が、そして気象学会の中での極域研究が、より盛んなものになることを期して終わりとしたい。

参考文献

- Aoki, S., T. Nakazawa, T. Machida, S. Sugawara, S. Morimoto, G. Hashida, T. Yamanouchi, K. Kawamura and H. Honda, 2003: Carbon dioxide variations in the stratosphere over Japan, Scandinavia and Antarctica.

- Tellus, **55B**, 178-186.
- Businger, J. A., 1977: Meteorological Studies at Plateau Station, Antarctica. Antarctic Research Series, Vol. 25, Amer. Geophys. Union, 155pp.
- Chubachi, S., 1984: Preliminary result of ozone observations at Syowa Station from February 1982 to January 1983. Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue, **34**, 13-19.
- Farman, J. C., B. G. Gardiner and J. D. Shanklin, 1985: Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClOx/NOx interaction. Nature, **315**, 207-210.
- Frolov, I. E., Z. M. Gudkovich, V. F. Radionov, A. V. Shirochkov and L. A. Timokhov, 2005: The Arctic Basin: Results from the Russian Drifting Stations. Springer, 272pp.
- Hayashi, M., M. Sudo, K. Shiraiishi, N. Hirasawa, T. Yamanouchi, T. Shibata, Y. Iwasaka, M. Nagatani and A. Nakada, 2004: Data of Project on Atmospheric Circulation and Material Cycle in the Antarctic, Part 3. Backscattering Properties of Tropospheric Clouds and Aerosols Observed by a Lidar at Dome Fuji Station in 1997. JARE Data Rep., (278) (Meteor. **38**), 105pp.
- 平沢尚彦, 中村 尚, 浮田甚郎, 1997: 1996年春季極域研究連絡会の報告—極域・寒冷域研究連絡会への名称変更—. 天気, **44**, 147-148.
- Hirasawa, N., H. Nakamura and T. Yamanouchi, 2000: Abrupt changes in meteorological conditions observed at an inland Antarctic station in association with wintertime blocking. Geophys. Res. Lett., **27**, 1911-1914.
- Honda, M., J. Inoue and S. Yamane, 2009: Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters. Geophys. Res. Lett., **36**, L08707, doi: 10.1029/2008GL037079.
- Inoue, J., 1989a: Surface drag over the snow surface of the Antarctic Plateau, 1. Factors controlling surface drag over katabatic wind region. J. Geophys. Res., **94**, 2207-2217.
- Inoue, J., 1989b: Surface drag over the snow surface of the Antarctic Plateau, 2. Seasonal change of surface drag in the katabatic wind region. J. Geophys. Res., **94**, 2219-2224.
- Inoue, J., M. E. Hori and K. Takaya, 2012: The role of Barents Sea ice in the wintertime cyclone track and emergence of a warm-Arctic cold-Siberian anomaly. J. Climate, **25**, 2561-2568.
- IPY Joint Committee, 2011: International Polar Year 2007-2008, Summary by the IPY Joint Committee. WMO-ICSU, 695pp.
- Ishidoya, S., S. Morimoto, S. Sugawara, T. Watai, T. Machida, S. Aoki, T. Nakazawa and T. Yamanouchi, 2008: Gravitational separation suggested by O₂/N₂, δ¹⁵N of N₂, δ¹⁸O of O₂, Ar/N₂ observed in the lowermost part of the stratosphere at northern middle and high latitudes in the early spring of 2002. Geophys. Res. Lett., **35**, L03812, doi:10.1029/2007GL031526.
- Ito, T., 1985: Study of background aerosols in the Antarctic troposphere. J. Atmos. Chem., **3**, 69-91.
- Iwasaka, Y., 1986: Lidar measurement on the Antarctic stratospheric aerosol layer: [II] The changes of layer height and thickness in winter. J. Geomagn. Geoelectr., **38**, 99-109.
- Kennicutt, M. C. *et al.*, 2015: A roadmap for Antarctic and Southern Ocean science for the next two decades and beyond. Antarct. Sci., **27**, 3-18.
- Kikuchi, K., 1970: Peculiar shapes of solid precipitation observed at Syowa Station, Antarctica. J. Meteor. Soc. Japan, **48**, 243-249.
- Kobayashi, S., 1978: Snow transport by katabatic winds in Mizuho Camp area, East Antarctica. J. Meteor. Soc. Japan, **56**, 130-139.
- Kohma, M. and K. Sato, 2013: Simultaneous occurrence of polar stratospheric clouds and upper-tropospheric clouds caused by blocking anticyclones in the Southern Hemisphere. Atmos. Chem. Phys., **13**, 3849-3964.
- 国立極地研究所, 2010: 極域大気・物質循環研究. 南極資料, **54**, 245-916.
- Kuhn, M., L. S. Kundla and L. A. Stroschein, 1977: The Radiation Budget at Plateau Station, Antarctica. Antarctic Research Series, Vol. 25, Amer. Geophys. Union, 155pp.
- Lettau, H., 1971: Antarctic atmosphere as a test tube for meteorological theories. Research in the Antarctic, Amer. Assoc. Adv. Sci., 443-475.
- 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 Polarinstittut, 1-84.
- McCormick, M. P., H. M. Steele, P. Hamill, W. P. Chu and T. J. Swisler, 1982: Polar stratospheric cloud sightings by SAM II. J. Atmos. Sci., **39**, 1387-1397.
- Mori, M., M. Watanabe, H. Shiogama, J. Inoue and M. Kimoto, 2014: Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in past decades. Nature Geosci., **7**, 869-873.
- Morimoto, S., S. Aoki, T. Nakazawa and T. Yamanouchi

- chi, 2006: Temporal variations of the carbon isotopic ratio of atmospheric methane observed at Ny-Ålesund, Svalbard from 1996 to 2004. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L01807, doi:10.1029/2005GL024648.
- 永延幹男, 小野延雄, 2013: 憧憬の水平線へ武富栄一船長: 快鳳丸両極海地球一周航海の史的考察. *東京海洋大同窓会誌「楽水」*, (841), 24-30.
- Nakamura, T., K. Yamazaki, K. Iwamoto, M. Honda, Y. Miyoshi, Y. Ogawa and J. Ukita, 2015: A negative phase shift of the winter AO/NAO due to the recent Arctic sea-ice reduction in late autumn. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **120**, 3209-3227.
- Nakaoka, S., S. Aoki, T. Nakazawa, G. Hashida, S. Morimoto, T. Yamanouchi and H. Y. Inoue, 2006: Temporal and spatial variations of oceanic pCO₂ and air-sea CO₂ flux in the Greenland Sea and the Barents Sea. *Tellus*, **58B**, 148-161.
- 南極委員会, 1973: 南極気象の観測・調査・研究の経過. *天気*, **20**, 307-310.
- Ohata, T., S. Kobayashi, N. Ishikawa and S. Kawaguchi, 1985: Structure of the katabatic winds at Mizuho Station, East Antarctica. *J. Geophys. Res.*, **90**, 10651-10658.
- Palm, S. P., M. Fromm and J. Spinhirne, 2005: Observations of Antarctic polar stratospheric clouds by the Geoscience Laser Altimeter System (GLAS). *Geophys. Res. Lett.*, **32**, L22S04, doi:10.1029/2005GL023524.
- Raschke, E., 1987: Report of the International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP). Workshop on Cloud Algorithms in the Polar Regions, 19-21 August 1986, Tokyo, Japan. WCP-131, WMO/TD-No. 170, World Meteorological Organization.
- Raschke, E., T. H. Vonder Harr, W. R. Bandeen and M. Pasternak, 1973: The annual radiation balance of the earth-atmosphere system during 1969-70 from Nimbus 3 measurements. *J. Atmos. Sci.*, **30**, 341-364.
- Rossow, W. B. and L. C. Garder, 1993: Validation of ISCCP cloud detections. *J. Climate*, **6**, 2370-2393.
- Sato, K., M. Tsutsumi, T. Sato, T. Nakamura, A. Saito, Y. Tomikawa, K. Nishimura, M. Kohma, H. Yamagishi and T. Yamanouchi, 2014: Program of the Antarctic Syowa MST/IS radar (PANSY). *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* **118**, Part A, 2-15.
- SCAR, 2009: Antarctic Climate Change and the Environment. A Contribution to the International Polar Year 2007-2008. Scientific Committee on Antarctic Research, Scott Polar Research Institute, Cambridge, UK, 526pp.
- Shimizu, M., 1969: Vertical Ozone Distribution at Syowa Station, Antarctica in 1966. *JARE Sci. Rep., Ser. B (Meteor.)*, (1), 38pp.
- 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.
- Solomon, S., R. R. Garcia, F. S. Rowland and D. J. Wuebbles, 1986: On the depletion of Antarctic ozone. *Nature*, **321**, 755-758.
- Stolarski, R. S., A. J. Krueger, M. R. Schoeberl, R. D. McPeters, P. A. Newman and J. C. Alpert, 1986: Nimbus 7 satellite measurements of the springtime Antarctic ozone decrease. *Nature*, **322**, 808-811.
- Suzuki, K., T. Yamanouchi and H. Motoyama, 2008: Moisture transport to Syowa and Dome Fuji stations in Antarctica. *J. Geophys. Res.*, **113**, D24114, doi: 10.1029/2008JD009794.
- Thompson, D. W. J. and S. Solomon, 2002: Interpretation of recent Southern Hemisphere climate change. *Science*, **296**, 895-899.
- Tomikawa, Y., M. Nomoto, H. Miura, M. Tsutsumi, K. Nishimura, T. Nakamura, H. Yamagishi, T. Yamanouchi, T. Sato and K. Sato, 2015: Vertical wind disturbances during a strong wind event observed by the PANSY radar at Syowa Station, Antarctica. *Mon. Wea. Rev.*, **143**, 1804-1821.
- Treffeisen, R., A. Rinke, M. Fortmann, K. Dethloff, A. Herber and T. Yamanouchi, 2005: A case study of the radiative effects of Arctic aerosols in March 2000. *Atmos. Environ.*, **39**, 899-911.
- Wada, M., T. Yamanouchi, S. Mae and K. Tsukamura, 1981: Temperature fluctuations in the lower boundary layer at Mizuho Station, East Antarctica. *Mem. Natl. Inst. Polar Res., Spec. Issue*, **19**, 17-26.
- Watanabe, O., J. Jouzel, S. Johnsen, F. Parrenin, H. Shoji and N. Yoshida, 2003: Homogeneous climate variability across East Antarctica over the past three glacial cycles. *Nature*, **422**, 509-512.
- Weller, G. E., 1967: Radiation fluxes over an Antarctic ice surface, Mawson, 1961-1962. *ANARE Sci. Rep. Ser. 4A, Glaciology*, **96**, 106pp.
- White, F. D. and R. A. Bryson, 1967: The radiative factor in the mean meridional circulation of the Antarctic atmosphere during the polar night. *WMO Tech. Note*, (87) (Polar Meteorology), World Meteorological Organization, Geneva, 199-224. (この掲載誌は当時の南極気象学の教科書と言われた)

- WMO, 2011: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010. Global Ozone Research and Monitoring Project - Report No. 52, World Meteorological Organization, 442pp.
- Wood, K. R. and J. E. Overland, 2006: Climate lessons from the first International Polar Year. Bull. Amer. Meteor. Soc., **87**, 1685-1697.
- Yamanouchi, T., 1983: Variations of incident solar flux and snow albedo on the solar zenith angle and cloud cover, at Mizuho Station, Antarctica. J. Meteor. Soc. Japan, **61**, 879-893.
- Yamanouchi, T. and T. P. Charlock, 1997: Effects of clouds, ice sheet and sea ice on the earth radiation budget in the Antarctic. J. Geophys. Res., **102**, 6953-6970.
- Yamanouchi, T. and S. Kawaguchi, 1984: Longwave radiation balance under a strong surface inversion in the katabatic wind zone, Antarctica. J. Geophys. Res., **89**, 11771-11778.
- 山内 恭, 中島映至, 2001: 「揺れ動く21世紀の大学・研究所の将来像」概要報告. 天気, **48**, 119-125.
- Yamanouchi, T., M. Wada, S. Mae, S. Kawaguchi and K. Kusunoki, 1982: The radiation budget at Mizuho Station, Antarctica, 1979. Ann. Glaciol., **3**, 327-332.
- Yamanouchi, T., K. Suzuki and S. Kawaguchi, 1987: Detection of clouds in Antarctica from infrared multispectral data of AVHRR. J. Meteor. Soc. Japan, **65**, 949-962.
- Yamanouchi, T., R. Treffeisen, A. Herber, M. Shiobara, S. Yamagata, K. Hara, K. Sato, M. Yabuki, Y. Tomikawa, A. Rinke, R. Neuber, R. Schumacher, M. Kriews, J. Strom, O. Schrems and H. Gernandt, 2005: Arctic Study of Tropospheric Aerosol and Radiation (ASTAR) 2000: Arctic haze case study. Tellus, **57B**, 141-152.

History of Research on Polar Meteorology and MSJ Research Group on Polar and Cold Region Meteorology

Takashi YAMANOUCHI*

* *National Institute of Polar Research and SOKENDAI (The Graduate University for Advanced Studies), 10-3 Midoricho, Tachikawa-shi, Tokyo 190-8518, Japan.*
E-mail: yamanou@nipr.ac.jp

(Received 25 September 2015; Accepted 13 November 2015)
