

## 南極における中層大気の総合観測

福西 浩\*・川口貞男\*

### Coordinated Observations of the Middle Atmosphere in the Area around Syowa Station in Antarctica

Hiroshi FUKUNISHI\* and Sadao KAWAGUCHI\*

**Abstract:** The Inter-Union Special Committee on Solar-Terrestrial Physics (SCOSTEP) has proposed to carry out the Middle Atmosphere Program (MAP) in 1982–1985 as an international scientific project. Coordinated observations of the middle atmosphere in the area around Syowa Station in Antarctica by means of ground-based station network, aircraft, balloons, rockets and satellites are now under consideration in order to study structures and seasonal and diurnal variations of the polar middle atmosphere in the altitude range of 10–120 km. The report gives an outline of this project.

**要旨:** 地上 10–120 km の成層圏から電離圏に至る大気領域の構造を明らかにするために、1982年から4年間 MAP (中層大気国際協同観測計画) が実施されようとしている。南極昭和基地でもこの計画の一環として、地上観測網、航空機、気球、ロケット、衛星を用いた中層大気の総合的な計画が立案されつつある。ここではこの計画の概要を示す。

#### 1. はじめに

現在南極においては、国際協同観測として、IMS (国際磁気圏観測計画, 1976–1979年) が進行中であり、地上 100 km 以上の電離圏から磁気圏にかけての、広大な領域で起こっているオーロラや VLF・ULF 波動等の超高層現象の総合的な観測が実施されている。これらの観測は、昭和基地だけの地上観測という従来の方法を大幅に飛躍させた観測方法によって行われている。すなわち、平面的には、昭和基地に加え、その極側 260 km に位置するみずほ基地、それらの中間点に位置する A1 無人観測所での同時観測が実施されている。また、垂直的には、地上 30 km 付近を観測する気球、地上 60–220 km の電離圏領域を観測するロケット、それに地上 1000 km 以上の磁気圏を観測する衛星を用いた立体的な観測が実施されている。これらの観測によって、地球磁気圏の構造とその中で起こっている各種の現象の

\* 国立極地研究所. National Institute of Polar Research, 9–10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

物理機構が明らかになり、太陽風エネルギーが、磁気圏・電離圏を通して地球大気へ流入する過程が解明されることが期待される。

一方、1979年からは南極において、GARP（地球大気開発計画）の副計画として、POLEX（極域観測計画）が3年間実施されることになっている（川口，1978）。この計画は、主として極域対流圏における、1) 放射収支、2) 大気・雪氷・海洋の相互作用、3) 極域大気循環、の機構を総合的に明らかにすることにより、全地球的な大気大循環や気候変動の物理機構を明らかにすることを目的としている。

1982年から始まる MAP (middle atmosphere program, 中層大気国際協同観測計画) の目的は、IMS, POLEX によって扱われない、地上 10 km から 130 km までの成層圏から電離圏に至る大気領域（これを中層大気, middle atmosphere と呼ぶ）で行われている物理化学過程を明らかにすることである。したがって IMS, POLEX に引き続き MAP を実施することにより、地上から磁気圏に至るまでの地球周辺の環境が始めて総合的に明らかにされるであろう。南極で MAP を実施する意味はとりわけ重要である。なぜなら南極地域は、広大な冷源域として大気大循環に大きな役割を演じていると予想されているし、また太陽からの放射以外のエネルギー（太陽風エネルギー）が最初に流入する地域である。

しかし、極端に少ない地上観測所と、観測の実施の困難性から、南極地域での中層大気の観測はごく少数に限られていた。日本が昭和基地で実施したオゾン ( $O_3$ ) (SHIMIZU, 1969) や一酸化窒素 (NO) のロケット観測 (WATANABE *et al.*, 1979; 岩上他, 1979) は、その中の最も大きな成果と思われる。こうした状況で世界各国が協力して MAP を実施する際、これまで空白に近かった南極という広大な領域での中層大気の構造を日本の手で明らかにすることは、国際的にみてきわめて重要なことといえよう。地上・気球・ロケット・衛星という立体的な観測体制で IMS を成功させた日本は、この経験をもとに MAP のための総合的観測を実施できる能力をすでにもっていると考えられる。

南極で MAP を実施するに際しては、中層大気の構造や組成変化、エネルギー収支が大気の運動と密接に結びついていることから、運動、組成、エネルギー収支を同時に測定することが要求される。たとえば、中層大気のエネルギー収支上大きな影響を及ぼすオゾン量は、日照の少ない冬期の高緯度で最も大きい値を示すことから、中低緯度で生成されたオゾンの高緯度地方への力学的輸送が重要な役割を荷なっていると予想されており、この機構を解明する上で、極地域での運動、組成、放射の総合的観測が必要とされる。また冬期から夏期に移る際に成層圏で起こる突然昇温は、その領域が極に向かって伝搬することが知られており

(QUIROZ *et al.*, 1975), その機構を知る上で, 衛星による極域での広範囲な温度場の観測は, 重要な意味を持つであろう。

先に述べたように, 極域ではまた太陽からの放射エネルギー以外に, オーロラ粒子の入射や電離層を流れる電流によるジュール加熱に伴うエネルギー流入があり, これらが中層大気のエネルギー収支と構造にいかなる影響を与えるかを調べることは, 中層大気の物理化学過程を明らかにする上できわめて重要である。特に, オーロラ嵐に伴って重力音波と思われる波動が発生し, それが, 低緯度側に伝搬していくことが知られており (DAVIS, 1971), これらの現象を詳しく観測することにより, 重力音波の発生機構が明らかになることが期待される。

## 2. 研究課題

南極における中層大気の総合観測から得られるデータをもとに行う研究には, 中層大気の構造や運動の解明, 運動, 組成, 放射の相互関係の解明, エネルギー収支の解明, オーロラエネルギー流入に伴う組成変化や運動の解明など様々なテーマがあるが, 現時点は, 計画の概要を検討している段階なので, 研究課題の詳細は今後の議論にゆずる。ここでは以下に示すように, 観測手段により5つの研究課題を設定するのが適当と思われる。

- 1) オーロラに伴うエネルギー流入量のモニター
- 2) 地上からの中層大気のリモートセンシング
- 3) 衛星からの中層大気のリモートセンシング
- 4) 飛しょう体 (航空機, 気球, ロケット) による中層大気の観測
- 5) 氷床ポーリングコアの分析による気候変動と太陽活動の関係の解明

第1の課題「オーロラに伴うエネルギー流入量のモニター」の目的は, (1) オーロラ強度の空間的時期的変化や電離層の電離度を測定し, オーロラ粒子の入射量とその領域を明らかにし, 粒子入射に伴うエネルギー流入量を知る, (2) 磁場変動を地上の観測網や衛星で観測することにより, オーロラ嵐に伴う電離層電流量を求め, ジュール加熱によるエネルギー発生量を知る, などである。

第2の課題「地上から中層大気のリモートセンシング」の目的は, (1) 地上からのリモートセンシング技術 (レーザーレーダー, 赤外分光計, HF ドップラー観測器, ドブソン2重分光光度計等) を用いて, 中層大気の運動と組成変化の様子を連続観測することにより, 極域中層大気のおゾン, エアロゾル, 微量成分等の振舞と大気の運動の関係を明らかにする, (2) オーロラエネルギー流入による中層大気の運動, 組成の変化の様子を明らかにする, な

どが主なものである。

第3の課題「衛星からの中層大気のリモートセンシング」の目的としては、(1) TIROS-Nで観測された水平垂直温度分布データを受信することにより、中層大気の温度分布を求め、突然昇温の機構、極域でのプラネタリー波成長過程を明らかにする、(2) NIMBUS-G, SAGE, EXOS-Cのデータを受信することにより、オゾン、微量成分、エアロゾル等の極域における中層大気中の分布とその変化の様子を明らかにする、(3) ISIS 衛星データを受信することにより、電子密度分布を観測し、上層大気と中層大気の相互作用の機構を明らかにする、等がある。

第4の課題「航空機、気球、ロケットによる中層大気の観測」の最大の目的は、これらの手段により中層大気を直接観測することであるが、それぞれの観測手段の特徴を生かし、リモートセンシングによる観測も非常に意味がある。たとえば、航空機は雲の影響なしに広範囲の観測を行うことができるので、(1) エアロゾルや大気微量成分の直接サンプリング以外に、(2) レーザーレーダーによるエアロゾルの観測、(3) 日射計による太陽紫外線強度の観測、(4) 放射計による温度分布の観測、などに効果的である。

気球観測では、(1) オゾンゾンデによるオゾンの垂直水平分布の観測、(2) 質量分析計による大気微量成分、イオン組成、エアロゾル量の観測、(3) 気球、ゾンデの軌跡から風系を求める、等の直接観測以外、(4) 日射計による太陽日射量の観測、(5) 放射計による温度分布の観測、(6) X線観測器によるオーロラ粒子入射量の観測、(7) 電場計による電離層電流量の観測、等が可能である。

ロケット観測では、(1) 分光計や質量分析計による中性大気の組成、イオン組成、エアロゾル分布等の測定、(2) 放射計による温度の垂直分布の測定、(3) Na 雲実験による中層大気の風系の観測、(4) 粒子測定器によるオーロラ粒子の入射量の観測、(5) 電場計、磁力計による電離層電流量の測定、等が興味深い。

第5の課題「氷床ポーリングコアの分析による気候変動と太陽活動の関係の解明」の目的は、南極大陸氷床ポーリングコアサンプルに含まれる酸素同位体測定および年代測定により、過去の気温、降水量を推定し、気候変動の様子を明らかにすると同時に、宇宙線生成放射性核種の測定により、過去の太陽活動の様子を知り、太陽活動と気候変動の関係を明らかにすることである(加藤他, 1978)。

## 3. 研究方法

すでに述べたように、南極における中層大気の総合観測の目的は、地上、航空機、気球、ロケット、衛星という多種類の観測手段を用いて中層大気の構造と、運動・組成・放射の関係および上下層大気との相互作用の機構を総合的に解明することである。地上観測点の非常に少ない南極地域でそれらの観測を効果的に実施するには、衛星によるリモートセンシングの手法を用いることが望ましいと考えられる。しかし、衛星での観測データは、時間変化と空間変化が混ざった形であることや、間欠的にしかデータが得られないという欠点がある。このため衛星データを有効に利用する上でも、地上からの中層大気のリモートセンシングが必要とされる。最近急速に進歩しつつあるレーザーレーダーおよび赤外分光は、この目的に最も適した手段と考えられる。この他、航空機、気球、ロケットによる直接観測は、リモートセンシングのデータの信頼性を検定する上でも、またリモートセンシングでは得られない

表 1 南極における中層大気の実験観測

Table 1. Scientific subject and instrumentation for the MAP to be carried out at Syowa Station in 1982-1985.

観測項目	地上	航空機	気球	ロケット	衛星	
組成	オゾン	ドブソン分光計		オゾンゾンデ	分光計	分光計
	エアロゾル	ライダー	ライダー, サンプルング	質量分析計	質量分析計	ライダー, 分光計
	微量成分	赤外分光計	サンプルング	質量分析計, 赤外分光計	質量分析計, 分光計	分光計
	イオン組成			質量分析計, 分光計	質量分析計, 分光計	
	電子密度	アイオノゾンデ			ラングミュアプローブ	トップサイドサウンダー
運動	潮汐波, 動力波	HF ドップラー, ライダー		ゾンデ (風)	Na 雲	
	プラネタリー波					放射計
放射	可視紫外スペクトル		日射計	日射ゾンデ		UV 分光器
	赤外放射 (温度)		放射計	放射ゾンデ	放射計	放射計
極域熱源	入射粒子	フォトメーター, 全天カメラ, リオメーター		X線観測器	粒子観測器	粒子観測器
	電離層電流	磁力計 (多点)		電場計	電場計, 磁力計	磁力計

中層大気の微細構造を明らかにする上でも重要である。

そこで、南極での観測条件を考慮し、それぞれの観測項目に対し、最も適切と考えられる測定器を表1に示す。図1は、昭和基地での中層大気観測の概要を示す。図2は、IMSの期

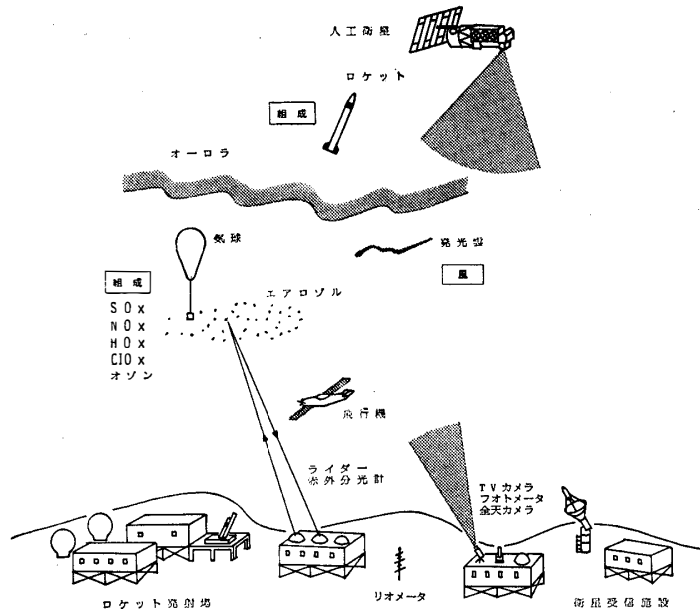


図1 昭和基地で実施される中層大気総合観測の概要

Fig. 1. Outline of coordinated observations of the middle atmosphere to be carried out at Syowa Station in 1982-1985.

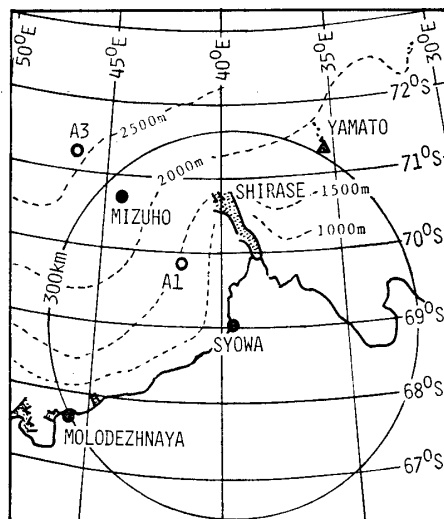


図2 IMS 期間に建設された観測網(昭和、みずほ両基地およびA1, A3 無人観測所)とソ連のマラジョージナヤ基地の位置。

Fig. 2. Location of the IMS meridian chain stations which consist of Syowa and Mizuho Stations and two unmanned stations A1 and A3.

間建設された地上観測網の位置と，MAP 期間に地上観測網を建設する際の候補地を示す。昭和基地，みずほ基地，マラジョージナヤ基地（ソ連）は，ほぼ一辺約 300 km の三角形の関係にあり，ドップラー観測や Na 発光雲実験には理想的なネットワークと考えられる。図 3 は，1980 年より昭和基地で使用される予定の航空機ピラタスポーターの写真である。その性能は表 2 に示される。従来のセスナに比べ，高高度飛行が可能で，また積載量も増えたことにより，航空機を用いた中層大気の観測に威力を発揮すると思われる。

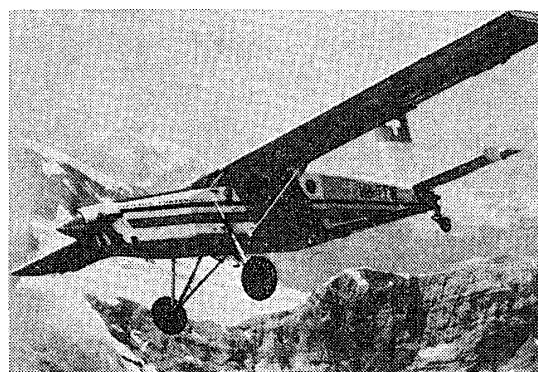


図 3 昭和基地で観測用に使用されるピラタスターボポータ PC-6 (ピラタス航空機社提供)  
 Fig. 3. Photograph of Pilatus Turbo Porter PC-6 airplane to be used around Syowa Station in 1980.

表 2 ピラタスターボポータ PC-6 とセスナ 185 の性能表.

Table 2. Specification of Pilatus Turbo Porter PC-6 and Cessna 185 airplanes.

機 種	ピラタスターボポータ PC-6	セスナ 185
離陸距離 (m)	110	235
着陸距離 (m)	73	146
航続距離 (km)	1050	1200
上昇限度 (m)	9150	5200
全備重量 (kg)	2200	1519
積載量 (kg)	1020	737
座席数 (人分)	8—11	6
機関型式, 馬力	タービン 550	レシプロ 300

気球観測は，1968年に B<sub>1</sub> タイプ (1000 m<sup>3</sup>) の実験を 3 回，69年に B<sub>2</sub> タイプ (2000 m<sup>3</sup>) の実験を 10 回行った。1970年からは，B<sub>5</sub> タイプ (5000 m<sup>3</sup>) の気球を使用しており，1977年までに合計 20 回の実験が行われている。図 4 は夏期における気球軌跡の代表的な例である（鮎川他，1978）。毎秒 10 m 程度で西向きに流されるので，約 12 時間 300 km の範囲の観測が可

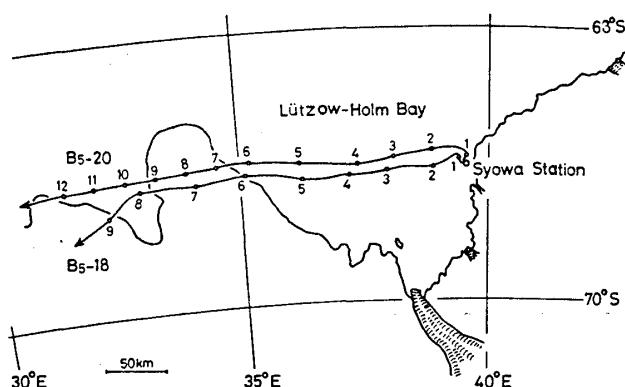


図4 B<sub>5</sub>-18 (1977年12月12日 1525 LT 放球) と B<sub>5</sub>-20 (1977年12月4日 1346 LT 放球) の航跡図. 航跡上の数字は放球後の時間を表す (鮎川他, 1978).

Fig. 4. Flight paths of the B<sub>5</sub>-18 and B<sub>5</sub>-20 balloons which were launched at 1525 LT on December 12, 1977 and at 1346 LT on December 4, 1977, respectively. Time after the launching is given in hours (after AYUKAWA et al., 1978).

能である。リレー気球を用いれば、さらに長時間広範囲のデータが得られると予想される。

昭和基地のロケット実験は、表3に示されるようにこれまで合計39機の実験が行われてきた。昭和基地のロケット実験施設は、1968年に建設が始まり、1971年に完成したが、建設後10年を経過した現在かなり老朽化してきた。MAP 期間にロケット実験を行うためには、施設の全面的な改造が必要と思われる。これまでの昭和基地での経験を生かせば、極地での実験に最も適したロケット施設をつくりあげることが可能と思われる。

昭和基地での本格的な衛星観測は、1976年 IMS 計画の一環として開始され (芳野・松尾, 1977), これまで表4に示されるように、電離層衛星 ISIS-1, 2 オーロラ観測衛星 EXOS-A (極光), 気象衛星 NOAA-3, 4, 5 の受信がルーチン的に続けられている。図5は、その 136 MHz, 400 MHz 衛星受信施設 (アンテナ部と室内) を示す。1980年からは、POLEX 計画の一環として気象衛星 TIROS-N の受信が計画されており、新たに 1.7 GHz 帯でのデータ

表3 昭和基地で1978年までに実施されたロケット実験

Table 3. Rocket experiments which were carried out at Syowa Station in 1970-1978.

1970年	S 160 2 機		
1971	S 160 1 //	S 210 6 機	
1972	S 160 1 //	S 210 6 //	
1973		S 210 7 //	
1976		S 210 5 //	S 310 1 機
1977		S 210 2 //	S 310 2 //
1978		S 210 2 //	S 310 4 //



表 4 昭和基地での衛星受信回数

Table 4. Orbit number of NOAA-3, 4, 5, ISIS-1, 2 and EXOS-A satellites received at Syowa Station in 1976-1978.

	NOAA-3, 4, 5	ISIS-1, 2	EXOS-A
1976年	462	352	
1977	356	342	
1978		326	340

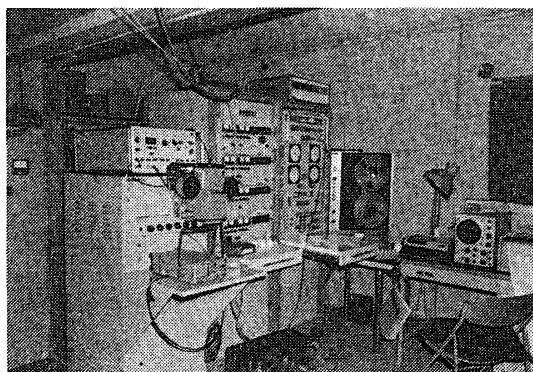
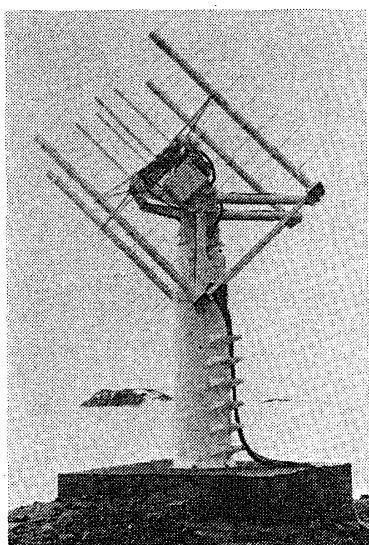


図 5 昭和基地に設置された 136 MHz, 400 MHz 帯衛星データ受信施設

Fig. 5. 136 MHz and 400 MHz satellite data acquisition facilities at Syowa Station.

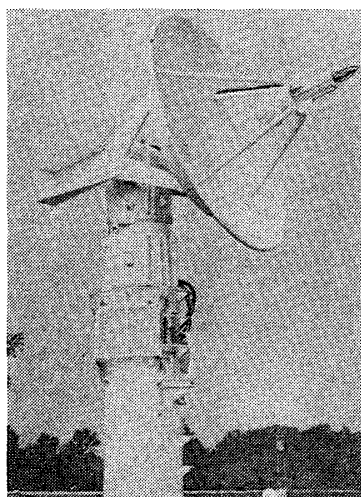


図 6 1980年に昭和基地に設置される 1.7 GHz 帯受信用アンテナ (サイエンティフィックアトランタ社提供)

Fig. 6. View of the tracking antenna for TIROS-N to be set up at Syowa Station in 1980.

受信が行われることになっている。図6はそのアンテナ部を示す。

#### 4. 年次計画

年次計画の概要を表5に示す。Pre-MAPの期間(1979年—1981年)は、南極ではPOLEXが実施されている。昭和基地では、1980年よりTIROS-Nの受信により、極域における温度の水平垂直分布データが得られることになっている。MAPの本観測は、1982年より開始する計画である。ロケット観測は、現在の地上施設を整備する関係から1984年より実施可能と考えられる。したがって、前半の1982年、83年は地上観測、気球観測、航空機観測に観測の中心を置く計画である。後半の1984年、85年の2年間は、MAPのための衛星EXOS-Cの観測期間なので、これと呼応したロケット、気球、地上観測を総合的に行う計画である。

表5 南極における中層大気総合観測年次計画  
Table 5. Yearly schedule of the MAP to be carried out at Syowa Station.

	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
国際共同観測	-----	Pre MAP POLEX	-----		MAP		
	IMS						
衛星受信	TIROS-N受信施設建設			TIROS-N受信			
	NOAA受信			EXOS-C受信装置建設		EXOS-C受信	
	EXOS-A受信			IS IS 受信			
ロケット実験				↓ロケット実験場整備	↓	↓S210、S310、S500実験	
気球実験					気球実験		
航空機				↓航空機観測	↓	↓	
地上観測				ライダー、HFドップラー等の地上観測			
氷ボーリング						氷床ボーリング	

#### おわりに

地上 10-120 km の中層大気の領域は、気象学と超高層物理学の境界領域として重要な役割を演じていると思われるが、南極ではこの領域の観測はほとんどなされていなかった。MAP が全地球的規模で1982年から始まるのを機会に、南極で中層大気総合観測を実施す

ることは、この領域の総合的な研究としては初めての試みであり、多くの新しい観測事実を提供してくれるであろう。しかし南極においてこうした大規模なプロジェクトを実施するためには、多くの研究者の参加のもとに綿密な計画を立てると同時に、設営面での強力なサポートが不可欠であろう。IMS, POLEX での経験を十分に生かし、今後こうした観測態勢の準備が進められる予定である。

### 謝 辞

この計画案を作成するにあたって貴重な助言と資料を提供して下さった京都大学工学部加藤進教授、京都大学理学部廣田勇助教授、電気通信大学芳野起夫教授、東北大学理学部田中正之教授、東京大学理学部小川利紘助教授、東京大学宇宙航空研究所伊藤富造教授、名古屋大学理学部小野晃教授、九州大学理学部広野求和教授、北村泰一助教授、藤原玄夫助手の皆様へ深く感謝いたします。また計画案実施の可能性に関し詳細な検討をして下さった国立極地研究所の武田典明事業部長、山木俊助事業課長、村越望観測協力室長、楠宏教授、平沢威男教授、佐藤夏雄助手、藤井良一助手の各氏に深く感謝いたします。

### 文 献

- 鮎川 勝・岩上直幹・吉田仁士・岩下義信・城代雅夫・外谷 建 (1978) : 大気球による超高層観測. 日本南極地域観測隊第18次隊報告, 東京, 国立極地研究所, 87-92.
- DAVIS, M. J. (1971): On polar substorms as the source of large-scale traveling ionospheric disturbances. *J. Geophys. Res.*, **76**, 4525-4533.
- FRANCIS, S. H. (1975): Global propagation of atmospheric gravity waves. A-review. *J. Atmos. Terr. Phys.*, **38**, 1011-1054.
- 岩上直幹・小川利紘・近藤 豊 (1979) : 昭和基地における一酸化窒素分子密度分布のロケット観測および 5200 Å 放射の地上観測. 南極資料, **69**, 116-125.
- 加藤喜久雄・樋口敬二・楠 宏 (1978) : ポーリングコアの同位体測定に基づく気候変動に関する研究. 電離圏研究会報告, 東京大学宇宙航空研究所, 77-82.
- 川口貞夫 (1978) : POLEX-South (南極域観測計画). 学術月報, **31**(12), 22-26.
- QUIROZ, R. S., MILLER, A. J. and NAGATANI, R. M. (1975): A comparison of observed and simulated properties of sudden stratospheric warnings. *J. Atmos. Sci.*, **32**, 1723-1736.
- SHIMIZU, M. (1969): Vertical ozone distribution at Syowa Station, Antarctica, in 1966. *JARE Sci. Rep., Ser. B. (Meteorol.)*, **1**, 1-38.
- WATANABE, T., IWAGAMI, N., OGAWA, T. and NAKAMURA, M. (1979): Rocket measurement of mesospheric ozone at high latitude. *Nankyoku Shiryo (Antarct. Rec.)*, **69**, 111-115.
- 芳野起夫・松尾敏郎 (1977) : 人工衛星テレメトリー受信. 日本南極地域観測隊第17次隊報告, 東京, 国立極地研究所, 75-87.

(1979年6月8日受理)