

第 28 次南極地域観測隊による南極気候変動研究 (ACR) 観測報告

山内 恭¹・高部広昭²

Report on the ACR Observation by the 28th Japanese Antarctic Research Expedition

Takashi YAMANOUCHI¹ and Hiroaki TAKABE²

Abstract: The Japanese Antarctic Research Expedition (JARE) has started the 5-year project of “Antarctic Climate Research (ACR)” from JARE-28 in 1987. This project covers the field of Antarctica among the “World Climate Research Program (WCRP)”, and aims at knowing the climate change in the Antarctic and clarifying the role of Antarctica in the global climate. Inter-annual variation of Antarctic atmosphere and air-sea ice interaction are set as the main subjects.

In JARE-28, 3 major items of observation were carried out under the subject of interannual variation of Antarctic atmosphere. 1) Cloud-radiation climatology: Cloud and sea ice distributions were observed by the NOAA satellite. Radiation measurements were made at the surface to obtain cloud information and to know the effect of clouds on the surface radiation budget. The surface radiation measurements are compared with satellite data to interpret the meanings of the satellite data. 2) Extention of meteorological observing area: The surface synoptic observation was started the newly established Asuka Camp and automatic weather stations were tested at Mizuho Station. 3) Monitoring of minor constituents: Continuous measurements of atmospheric CO₂ content and ozone observations were made.

要旨: 日本南極地域観測隊では、第 28 次観測隊 (1987 年) より 5 カ年計画で「南極域における気候変動に関する総合研究 (ACR)」を開始した。これは、気候変動国際協同観測計画 (WCRP) の中で、南極の部分を担当するもので、南極における気候変動の実態を知り、全地球規模の気候に対する南極の果たす役割を明らかにしようというものである。南極大気状態の年々変動と、海水-大気の相互作用、氷床・棚氷変動、氷床コア解析を重点課題としている。

第 28 次観測隊では、大気状態の年々変動をテーマに、3 本柱の観測を行った。1) 雲の分布と放射では、気象衛星 NOAA による観測から、雲の分布や海氷の分布特性を求めた。地上における放射観測からは雲の情報を得、また雲の放射収支に対する影響を調べた。放射観測を衛星データと対比させることで、衛星データ解釈の一助とした。2) 広域気象観測ということで、あすか観測拠点で地上気象観測を始めると共に、無人気象観測の展開に備え、みずほ基地を中心に無人気象観測機器のテストを行った。さらに、3) 微量成分モニタリングとして、CO₂ 濃度の連続測定やオゾンの観測 (定常気象部門と共同) を行った。

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

² ファコム・ハイタック (株)。 Facom Hitac Ltd., 6, Sanbancho 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 106.

1. はじめに

日本南極地域観測隊では、第 28 次観測隊より 5 カ年計画で ACR (Antarctic Climate Research: 南極域における気候変動に関する総合研究計画) を開始した。本計画は、南極域における気候変動の実態、気候の成り立ちを調べることで、南極域の気候を理解し、さらには全地球規模 (グローバル) の気候に対する南極の果たす役割を解明しようという目的をもっている。この計画は、我が国もその一端を担っている「気候変動国際協同研究計画(WCRP: World Climate Research Program)」の南極に関する部分であり、南極研究科学委員会 (SCAR) の提唱している「南極気候研究 (ACR)」に呼応するものである。地球の冷源としてのはたらきをしている南極域の雪氷圏の変化が、どのような気候の変動を引き起こすか。また逆に、気候の変化に対して冷源域がどのように応答しているか。特に、数週間から数十年の時間スケールという WCRP の提唱に基づき、大気及び海氷の年々変動を中心として、

- 1) 大気状態の年々変動 (a: 雲, 降水の変動, b: 広域気象観測, c: 微量成分モニタリング),
- 2) 海氷-大気相互作用, を重点課題とし、さらに、3) 氷床・棚氷変動, 4) 氷床コア解析をも取り上げた (世界気候小委員会南極グループ, 1982)。その年次計画を表 1 に掲げる。

第 28 次観測隊では、「大気状態の年々変動」、特にその中で「雲の分布と放射」を主課題とした。気象衛星 NOAA による観測から広域の雲の分布を求め、雲の分布の季節変化、大陸のどこまでじょう乱が進入するか、海氷分布との関係等を調べる資料とした。一方、昭和基地における放射観測から雲の情報を得、また、雲が放射収支にどう影響するかを調べた。昭和基地での放射観測を衛星観測と対応させることで、まず衛星による雲識別方法を確立し、広域の衛星データの解釈をより正確なものとし、雲の分布、最終的には広域の放射収支分布等を評価することをめざした。

「大気状態の年々変動」の中で、ほかに「広域気象観測」、「微量成分モニタリング」も行った。広域気象観測としては、新しく越冬を始めたあすか観測拠点に地上気象観測装置を設置し、定常的な気象観測を開始した。また、無人になったみずほ基地を中心に各種の無人気象観測装置のテストを行い、今後の広域の気象観測網の展開に備えた。微量成分のモニタリングとしては、すでに第 25 次観測隊から行われている CO₂ 観測を継続した。地上での連続測定、大気サンプリングのほか、航空機による高度別の大気サンプリングを行った。また、フロンガス等の微量気体分析用の大気サンプリングも行った。さらに、近年の減少傾向に注目が払われているオゾンについては、定常気象部門と共同で、オゾンゾンデによる鉛直分布の観測やドブソン分光計による全量観測を行った。エアロゾルについては、夏季、船上でサンプリングを行ったほか、やはり定常気象部門によりサンフォトメータを使った大気混濁度のモニタリングが行われた。

海氷関係は、第 28 次観測隊では重点項目ではなかったため、大がかりな地上観測は行われなかったが、毎日の気象衛星の観測により、海氷域の変動を調べるデータが取得されてい

表 1 南極域における気候変動に関する総合研究観測年次計画 (1986 年 5 月)
 Table 1. Observation schedule of Antarctic Climate Research Program (May 1986).

観測テーマ / 項目	28 次 1987年	29 次 1988年	30 次 1989年	31 次 1990年	32 次 1991年
1. 大気状態の年々変動					
a) 雲と降水の変動の観測					
• 気象衛星観測 (衛星データ処理装置)					
• 放射観測 (可視・赤外放射計)					
(マイクロ波放射計)					
• レーダー観測 (降雪レーダー: 垂直)					
(氷雲観測装置: PPI)					
• ゾンデ観測 (雲粒子, 雲水量, 放射ゾンデ)					
• 航空機観測 (可視・赤外・マイクロ波放射計)					
b) 広域気象観測					
• あすか観測拠点 (地上気象, 熱収支, 高層気象)					
• みずほ基地観測の自動化 (ARGOS, CMOS, メカ)					
• 無人気象観測網の展開 (みずほ基地以北)					
c) 微量成分モニタリング					
• CO ₂ 連続測定, サンプリング					
• 微量気体成分測定 (ガスクロ)					
• オゾン観測 (ドブソン, ゾンデ)					
• エアロゾル (サンフォト, サンプリング)					
2. 海氷-大気の相互作用					
• 衛星観測					
• 海氷, 海洋, 熱収支観測					
3. 氷床および棚氷変動					
• 山岳氷河観測					
• 掘削テスト, 棚氷掘削					
4. 氷床コア解析					

特に重点をおく観測—— 重点観測—— 観測……

る。また、航空機からのマイクロ波観測により、海氷状態とマイクロ波放射との関係を調べた。

以上、第 28 次観測隊では、気候変動に係わるいくつかのテーマを取り上げたが、その手段としては人工衛星から航空機、ゾンデ、そして有人無人の地上観測と、多岐にわたった。以下の章では、この観測手段別に分けた記述を行った。従って、観測テーマ別にはかならずしもなっていない。

2. 気象衛星観測

ACR 計画の通年にわたる重点項目として、気象衛星 NOAA による雲及び海氷の観測があげられた。NOAA 衛星データ、特に AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer: 高分解能画像) データを受信処理し、広域の雲の分布特性、海氷の分布特性、それらの変動を明らかにしようというものである。

第 28 次観測隊では、NOAA データ処理装置を新しく持ち込み、現場で画像データの処理を行った。従来から、NOAA, HRPT (High Resolution Picture Transmission) データの受信は行ってきたが、これは高密度磁気テープにデータを記録し、国内に持ち帰ってから処

理、解析を行う体制であった (TANAKA *et al.*, 1982). 現場では、レーザーファックスのモニター画像はみることができたが、雲や海氷も見難いし、昭和基地周辺の詳細な様子も分からず、せっかくの高分解能データを取得していながら、現場では利用できないという難点があった。今回、NOAA データ処理装置の導入により、地上における放射観測など、他の観測結果と現場で直ちに比較することができるようになり、現地での研究に大いに役立った。さらに、高分解能の画像を見ることができ、他の観測計画を検討する上にも参考になるなど、オペレーションにも役立つ、さらに、日々ルーチン的にデータの処理を行うことができ、多量のデータの一時処理を越冬中に完了することができるという多くの利点が生まれた。

NOAA データ処理装置は、ミニコンピューター (富士通 S 3300) を中心に構成され、既存の受信システム (田中・芳野, 1980) に接続し、データを受信と同時にリアルタイムに取り込み、処理を行うものである。処理内容は、AVHRR データのキャリブレーション、温度変換、幾何補正、画像出力、雲画像の作成、画像データの CCT への保存などである。システムの概要、設置、運用については、別稿に詳しく記す (高部・山内, 1989)。

1年間の越冬中、昭和基地近傍を通過する夕方の軌道を1日1回受信処理することを原則に、述べ400軌道の処理を行った。ACR 計画中の基本的な画像ということで、昭和基地を中心に500 km 四方 (1.1 km 最高分解能)、1000 km 四方 (2.2 km 分解能)、そして昭和基地海側および大陸側各々2000 km 四方 (4.4 km 分解能) の4種類を各軌道について作製した。最終目標である雲や海氷の分布を明らかにするためには、衛星データから正確に雲を検知しなければならない。ところが、極域の雪氷面上では、雲と地表面のアルベドは近い値だし、赤外の輝度温度も、接地逆転があることから雲と地表面でどちらが高いといい切れないため、その識別が大変難しい。そこで雲と雪氷面、特に海氷面との識別方法をまず確立しなければならない。これまでもその努力は進められているが (例, YAMANOUCHI *et al.*, 1987)、いまだ完全な方法にはなっていない。ここでは、地上での目視観測、全天写真、ゾンデ観測、放射観測から得られた雲情報と衛星観測によるものを対比させ、雲の検知方法の確立を目指した。そのための一つとして、昭和近傍のピクセルから赤外のチャンネル3, 4, 5の輝度温度差を求め、チャンネル4の輝度温度との関係を調べ (2次元ヒストグラム)、雲の手がかりとした。広域の雲の影響を調べるため、輝度温度ヒストグラムも作成した。

チャンネル3と4の輝度温度差を雲の指標とした画像を作ったが、様々な興味ある雲の分布が明らかになりつつある。低気圧じょう乱の大陸への進入の状況、リードやポリニアと言った流氷野中の開水面上にできる薄い雲の存在、海氷域を常に覆う低い層状の雲の存在など、雲の分布が海氷分布に関係していることを示す手がかりが得られた。また、海氷分布そのものについても、成長期の海氷の動きや、リュツォ・ホルム湾の海氷の消長を示すデータが得られた。

3. 放射観測

3.1. 目的

地上において雲の情報を得ること、また、雲が地上の放射収支にどのような影響を与えるかを知ることを目的に、可視、赤外、マイクロ波領域の放射観測を行った。雲の情報を得ることで、衛星観測の地上検証として、衛星から見た雲が地上からどう見えるか、すなわち、放射量とどのような関係にあるかを知ることができる。特に 37 GHz マイクロ波放射は雲水量と良い対応関係にあると期待されている。雲の放射収支への影響の評価を通じて、さらに衛星観測によって放射収支の分布を類推する手がかりを得ることができる。

その他、アルベドの観測を海氷上、大陸雪面上で行うことにより、雪や氷の表面状態の違いや季節変化に伴うアルベドの違いを調べた。

3.2. 地上放射観測システム

図 1 にシステムのブロック図を示す。全天日射計は英弘精機 MS 801 型水平面日射計により、色ガラスフィルターを使い 305-2800 nm と 695-2800 nm の 2 波長域を測定した。アルベドを求めるための雪面反射も同様の日射計によった。直達日射は、英弘精機 MS-52 2

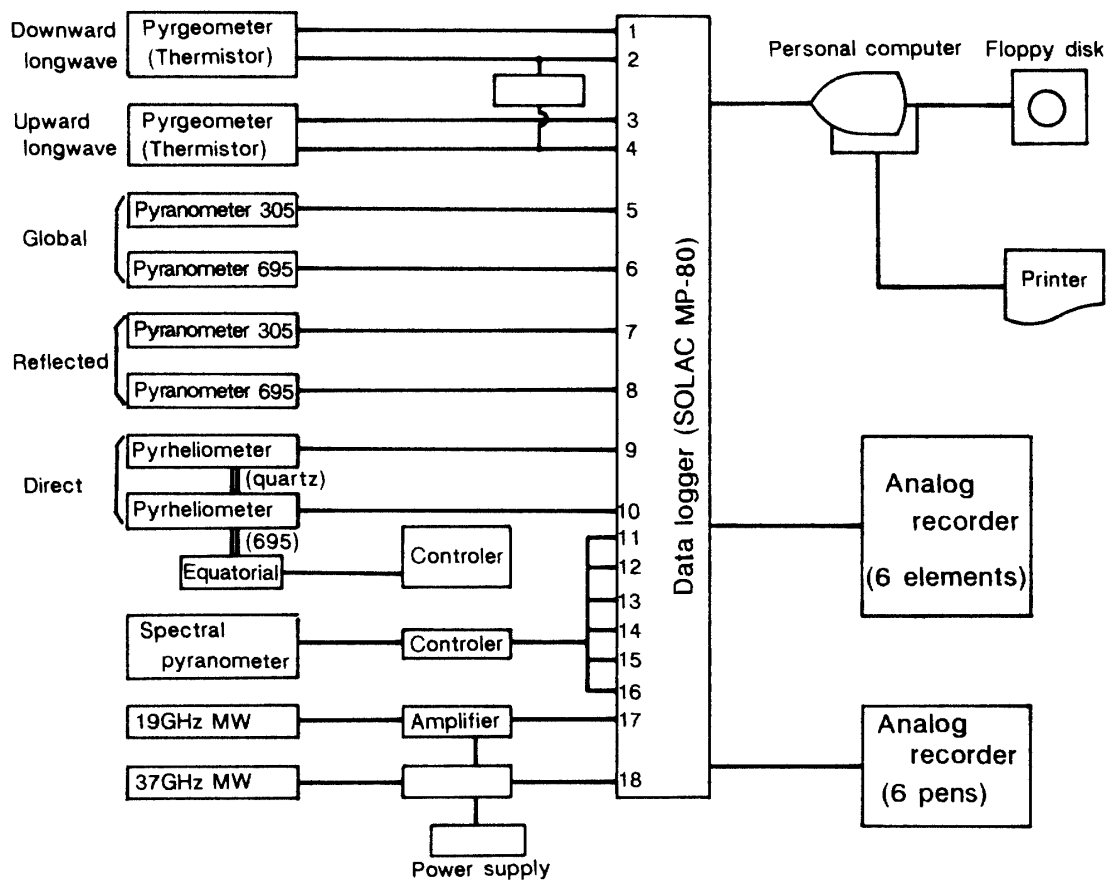


図 1 放射観測システム

Fig. 1. Measurement and recording system of radiation.

台を1台の赤道儀に搭載し、石英ガラスと695 nm フィルター (695 nm でカットオフする色ガラス (フィルター)) により2波長域を測定した。長波長放射は Eppley 精密赤外放射計 (PIR) により下向き, 上向き放射を測定した。本来この放射計には, サーミスターによるボディー温度による黒体放射量とサーモパイル出力を加え合わせる水銀電池による回路が内蔵されているが, 低温で電池が不良になる危険をさけるため, サーモパイル出力と, サーミスター温度を独立に測定している (後者のための定電流回路を備えた)。下向き放射測定用は, 日射によりフィルタードームが加熱されることによって生ずる誤差を少なくするため, 直達日射を遮る遮蔽リングを取りつけた (YAMANOUCHI *et al.*, 1981)。全天分光日射計は, 干渉フィルターにより 748, 762, 779, 862, 938, 1052 nm (半幅値約 3 nm) の 6 波長域の出力を取り出すもので, 酸素 760 nm 吸収帯, 水蒸気 940 nm 帯を含む波長と吸収のない波長を計ることで吸収の度合いを知り, 雲の情報 (雲の光学的厚さ, 雲中の水蒸気量) を得ようというものである。以上のうち, 下向き放射量を計る測器は観測棟屋上に設置し, 上向き放射量を計る測器は, 観測棟沖合 200 m の海氷上に 1.5 m の高さにアルミ単管パイプを使って設置した。

マイクロ波放射計も本システムに組み入れた。雲水量を計る 37 GHz 放射計及び, 雲中の水蒸気や雲粒に感度のある 19 GHz 放射計 2 台 (いずれも島田理科製) を観測棟屋上に設置した。

以上の各センサーからの出力は, データロガー (英弘 SOLAC MP-80) に 18 チャンネルのアナログ信号として取り込み, A/D 変換の後パソコン (PC 9801, Vm0) を通じて 8 インチのフロッピーディスクに収録した。サンプリングは 10 秒毎に行い, 1 分平均値をフロッピーに収録, 30 分平均値をプリンターに出力した。その他, 大部分のチャンネルについてアナログ記録を残した。記録機器は観測棟内に設置した。

3.3. 経過及び結果の概要

下向き放射関係は 1987 年 2 月初旬に設置, 調整を行い, 2 月 12 日より本測定を開始した。上向き放射関係は, 海氷状態が当初不安定であったため, 1 カ月様子を見て 3 月 18 日より測定を開始した。さらに, 19 GHz マイクロ波放射計は, 航空機観測に使用したので, 終了後 11 月後半から測定に入った。

日射計の検定は 2, 3, 11, 12 月に行った。オングストローム絶対日射計により直達日射計を校正し, 太陽遮蔽法により全天日射計と直達日射計を対応付けした。日射計感度の入射角依存性 (コサイン法則からのズレ) を図 2 に示した。これは, 1 台の日射計についてのみ行い, 後は比較測定を行うことで校正を行った。マイクロ波放射計は, 約 1 カ月ごとに液体空気 (-194°C) による恒温槽を使ってキャリブレーションを行った。ただし, この場合はアンテナを介さず, 途中の導波管からの検定になるので, 温度依存性の大きいパラボラアンテナ部の校正ができないという問題が残る。

測器の保守の面では, 基地の東方のオングル海峡が開水面になったとき, 強風により塩分

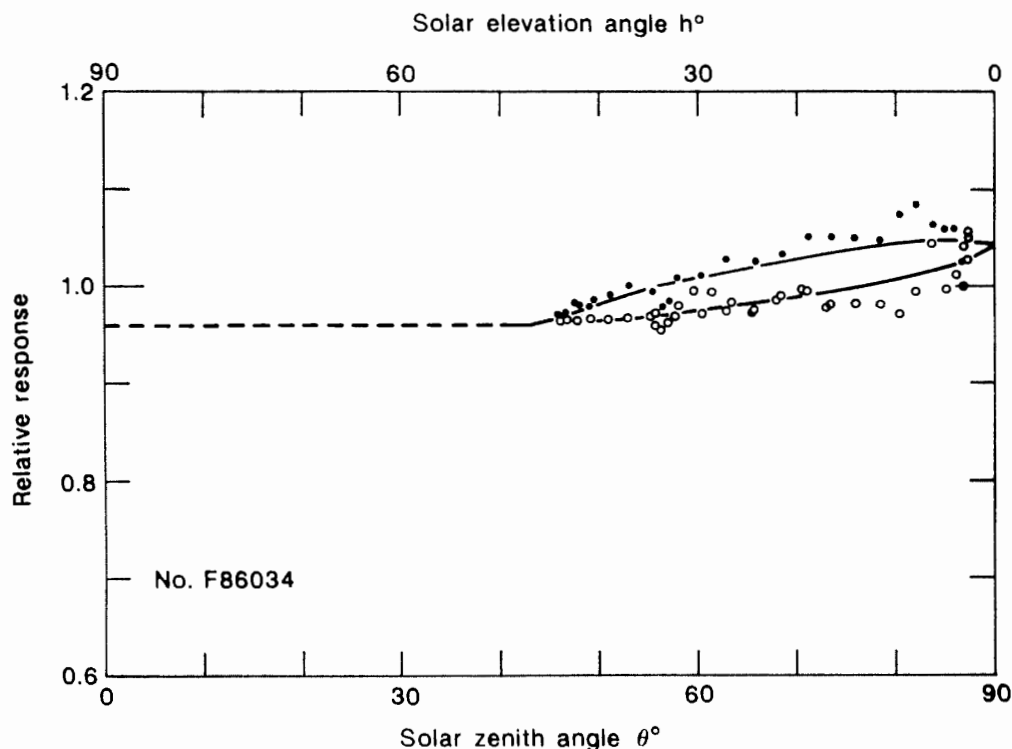


図 2 日射計感度太陽入射角依存性. 点は, 直達日射計による較正值を示す.
 Fig. 2. Incident angle dependence of sensitivity of pyranometer. Points show the calibration by pyrhelimeter.

を含んだ水が測器に付着し, 一面に潮が着く問題があった. こまめにガーゼでぬぐうほか, 随時アルコールで洗い, 可動部分に注油した. 霜の付着はそれほど頻繁ではなかったが, 毎朝の点検時にガーゼでぬぐった.

結果の詳細については, すべてのキャリブレーションの完了を待たねばならないが, 測定結果の一例について 12 月の例を図 3 に示す. 下向長波長放射の値が大きくなって上向き放射の値に近付いているが, 雲に覆われたときで, その時の全天日射の変化, マイクロ波放射の変化を含めて見ることで, 雲の情報が得られると予想される (YAMANOUCHI, 1985).

3.4. 分光機による観測

雪, 氷のアルベド及び雲の透過率の分光観測を目的として, 可搬型の小型分光器 (オプティカルサイエンス, OSMO-601 型) を持ち込んだ. 本体は光学系部とコントロール部からなり, 各々は約 20 kg, アルミケースに収納されている. 光は, 拡散板を付けたヘッドより, グラスファイバー (5 m) を経て導入される. 光導入ヘッドを上に向けることで全天日射が, 下を向けることで反射光の測定ができる. ヘッドは三脚に架台を介して取りつけた.

分光器としては, 回折格子 (600 line/mm) 式, エバート型で, 焦点距離 300 mm の 2 重分光光度計である. 検知器は, 光電子増倍管とシリコンフォトダイオードの 2 種類を併用し, 分解能 2 nm で, 300 から 1100 nm までの測定を行う. 波長カムを 1 秒間に 1 回回転させて

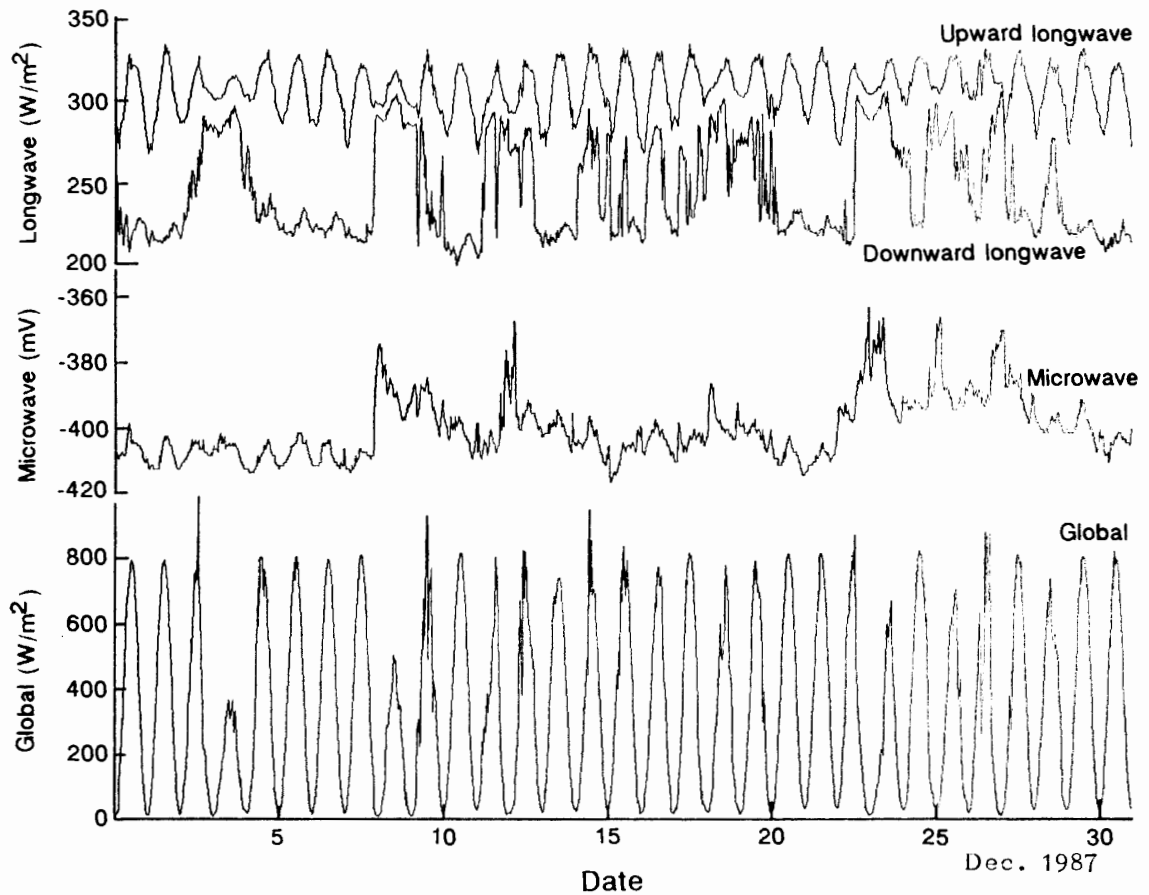


図 3 1987 年 12 月の地上における代表的放射フラックスの変化
 Fig. 3. Variation of some radiation fluxes in December 1987.

走査を行い、最高 30 回の多重走査の出力を加算することで S/N の改善をねらっている。内部にマイコンを装備し、即座に波長特性の校正、反射率の計算等が行える。カセット磁気テープにデータを保存し、プリンターにグラフや数値を出力する。波長特性校正用の標準光源一式を備えている。

雲の透過光の測定は 12 月上旬に行い、試験的データを取得した。

アルベドの測定は、海氷上については 12 月 1, 5, 16 日、西オングル島の大池について 8 日、大陸沿岸積雪について、とっつき岬から S 16 まで 7 日に実施した。その他、みずは旅行時に H 180 でも測定した。

アルベド波長依存性の代表的な測定例を図 4 に記した。光導入ヘッドのコサイン特性の校正が済んでいないため、絶対値はいくぶん変わる可能性があるが、相対的分布は比べられる。大陸上 S 16 の結果は、比較的清浄でかつ粒径の小さい ($r \approx 0.1 \text{ mm}$) 積雪の典型である。海氷積雪の例は、融解が進み粒径が大きい ($r \approx 1 \text{ mm}$) もので、近赤外域で先の結果と違いが大きい。同じ「青氷」といっても、大陸上のものと海氷のものとは波長分布が少し異なり、大陸氷はより青く、海氷は 500 nm 付近にピークのある緑がかかった青を呈している。大池の水

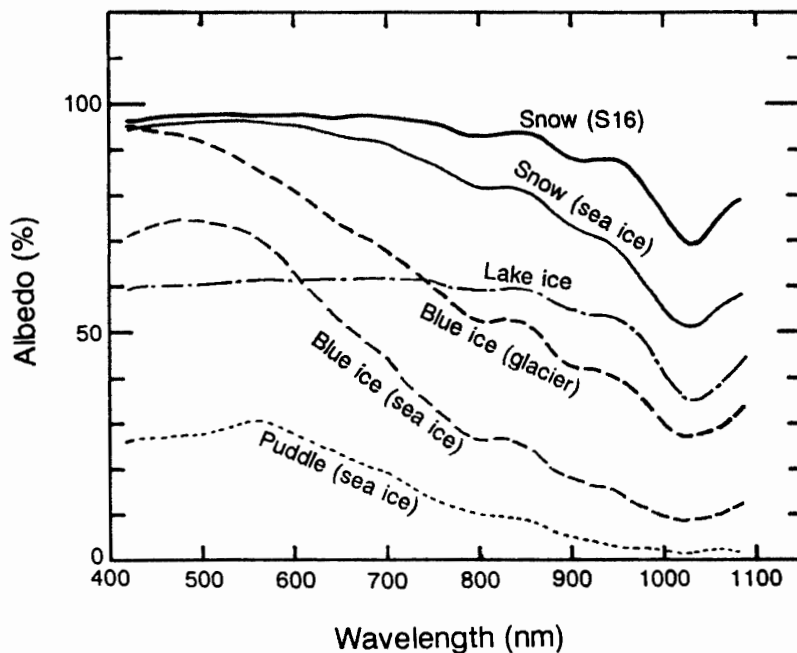


図 4 昭和基地近傍の雪・氷表面の分光アルベド (縦軸は未校正)

Fig. 4. Spectral albedos of typical snow and ice surfaces around Syowa Station (ordinate is not calibrated yet).

は、この時期すでに表面がいったん融解してザラメ状の白色を呈しており、数カ月前の透明な氷とは異なって見え、波長分布は極めてフラットである。海氷上のパドルの例(深さ 5 cm 程度)も示したが、全域で低い値になっている。

4. あすか観測拠点における地上気象観測

4.1. 概要

あすか観測拠点において越冬観測が始められるのに合わせ、「広域気象観測」の一貫として地上気象観測を開始した。これは、気水圏部門の研究目的に基づくものであると共に、観測基地として最も基本的な定常観測であり、かつまた、オペレーションにも不可欠なものである。

観測項目は、自動気象観測装置による風向、風速、気温、露点温度、気圧、日射、そして目視観測による視程、雲量、雲形、大気現象や天気である。あすか観測拠点では、気象観測の専任担当者は越冬しないが、気象庁の「地上気象観測法」や「国際気象通報式」に基づき作成したマニュアルに従い観測・通報を行った。

4.2. 装置の概要及び設置

装置全体のブロックダイアグラムを図 5 に記す。本装置は、気象庁、富士山測候所用の 80 型に準じ、できるだけ人手を煩わさずに簡便に扱えることに留意して製作(中浅測機(株))したものである。風車型風向風速計(エアロペーン)は 10 m ポールを建てて取りつけた。温度

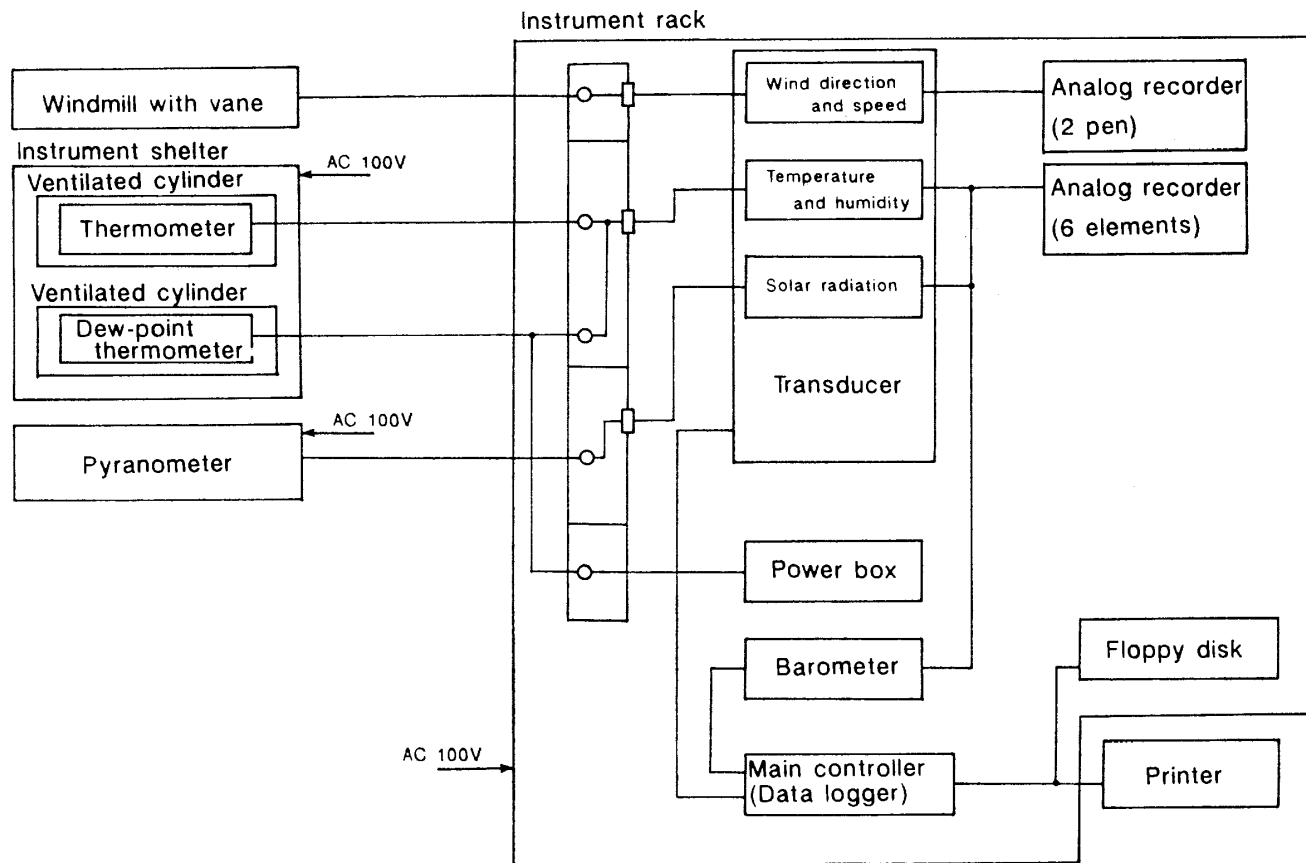


図 5 あすか観測拠点自動気象観測システム

Fig. 5. Block diagram of automatic meteorological observation system at Asuka Camp.

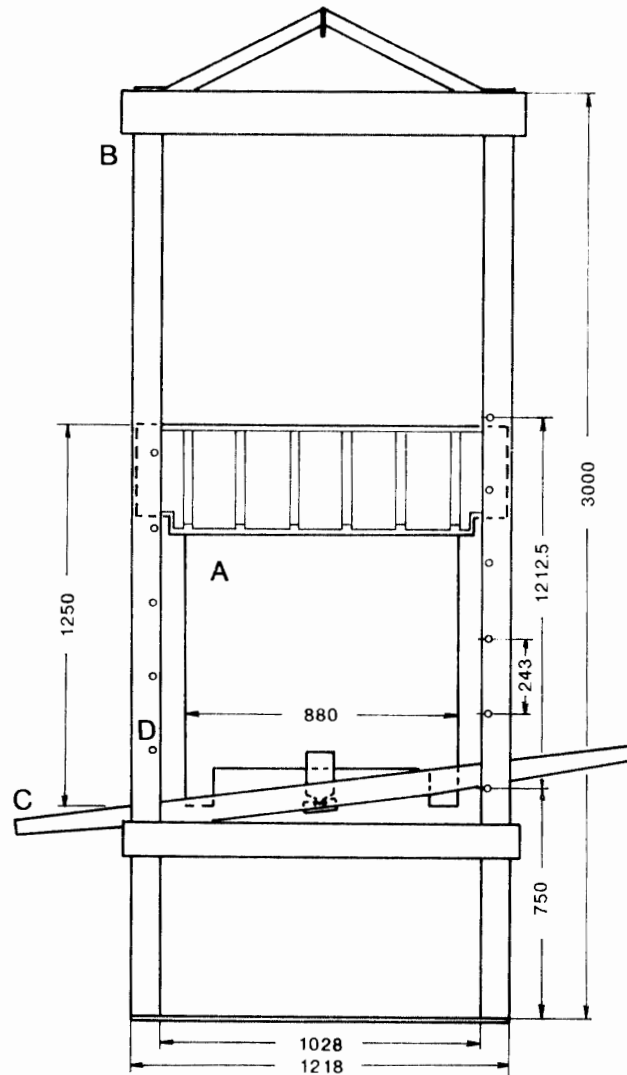


図 6 あすか観測拠点百葉箱側面図. 雪面上昇に対して測器の高さを維持するためのかさ上げ機構付き (A: 本体, B: 支持構造, C: 上昇アーム, D: 高さ設定用ピン)

Fig. 6. Side view of instrument shelter (A) with lifting mechanism (B: holding construction, C: lifting arm, D: pin for setting the height) to maintain the height above the surface in case of a rise of the snow surface.

表 2 あすか観測拠点地上気象観測センサー諸元
Table 2. Sensor specifications of meteorological instruments at Asuka Camp.

項目	型式	方法	測定範囲	精度	高さ
風向・風速	光進電気(株) コーシンペーン 南極向	風速: 発電式 風向: シンクロ 風程: 60 m パルス	0 - 60 m/s 2 - 540°	±0.5 m/s(±5%) ±5°	10 m (地表から)
気温	中浅測機(株) 白金抵抗温度計 E-732-01	白金抵抗 100 Ω/0°C	-70~30°C	±0.2°C	1.5 m
露点温度	中浅測機(株) デューセル E-771-20	塩化リチウム溶液	-50~40°C		1.5 m
全天日射	英弘精機(株) 全天日射計 MS-43F	熱電双 7 mV/(kW・m ⁻²)	0 - 2 kW/m ²	±2% (天頂角 45° 以内)	5 m
気圧	中浅測機(株) 円筒振動式気圧計 F-451	円筒振動共振周波数	830 - 930 mb	±0.2 mb	967 m (海拔高度)

計、露点計は地吹雪の害を少しでも避けるよう、通風筒に入れた上で百葉箱(昭和基地, 定常気象準拠)の中に設置した. ところが, 百葉箱自体がドリフトで埋まってしまう恐れがあるため, 図6に示したように雪面上昇に合わせて高さを変えられる機構を組み入れた. 最大1 m 20 cmの上昇まで対応できる. 日射計は観測棟屋上に, そして記録機器及び気圧計は観測棟内, ラックに設置した.

センサーの諸元は表2に示した. 各センサー類は, 変換器, 記録機器ともすべて予備品一式を備え, 故障対策とした. センサーからの信号は変換器を経て物理量に換算, A/D変換され, 1分ごとにデジタル信号としてメインコントローラ(M-801)にサンプリングされる.

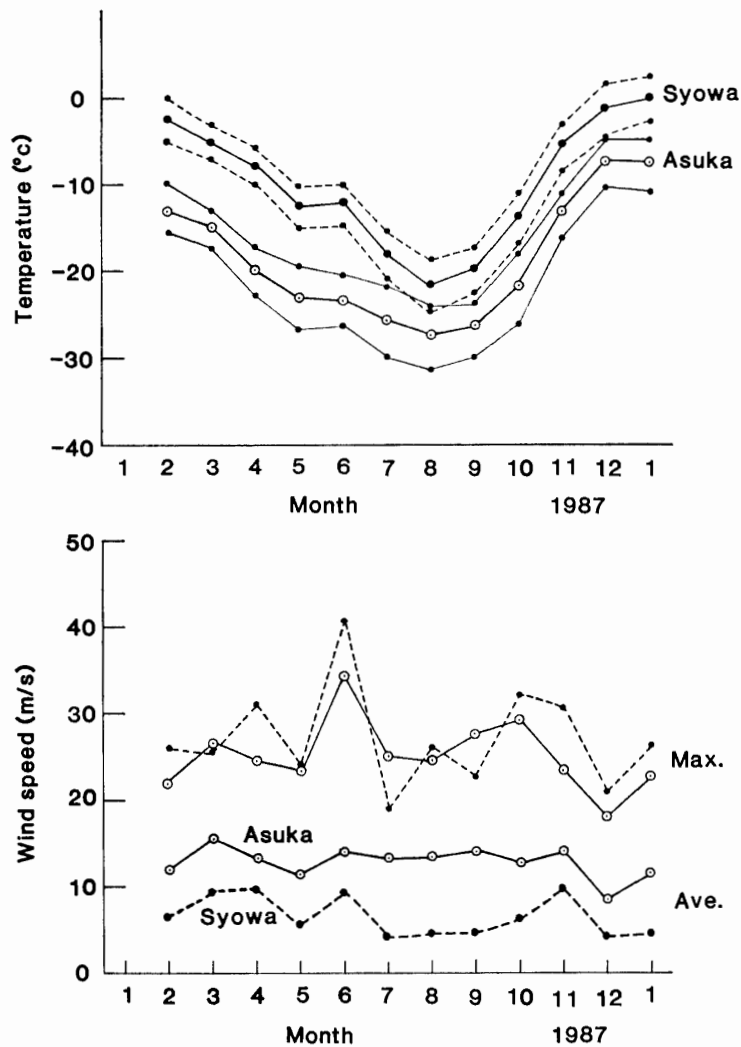


図7 第28次観測隊あすか観測拠点と昭和基地の気温と風速の比較. 月平均気温を太線で示し, その上下の細線は月平均の最高, 最低気温, 風速は月平均値 (Ave.) と最大風速 (Max.)

Fig. 7. Temperature and wind speed at Asuka Camp compared to Syowa Station during JARE-28. Upper and lower thin lines for temperature at the respective stations show monthly mean of maximum and minimum air temperature, respectively. Wind speeds are for monthly mean (Ave.) and monthly maximum (Max.) wind speed.

ここで最高、最低、平均値等の処理を行い、CRT に表示、1 時間ごとにフロッピーディスク及びプリンターに記録、日報もプリンターに出力しアナログ記録も残すというシステムである。その他の、目視観測項目もメインコントローラから入力が可能となっている。さらに、点検装置として標準抵抗と基準電圧を備え、変換器、記録機器の精度確認ができるようになっている。目視観測は、1 日 2 ないし 3 回 (09, 15 および 21 LT) 行った。

4.3. 経過及び問題点

自動気象観測装置は 1987 年 1 月設置し、2 月 2 日に立ち上げ、ルーチン観測に入った。センサーや変換機、記録機器ともいずれも大きな故障はなく通年順調に作動した。

国際通報式に基づくシノップ通報は 3 月 1 日より開始した。通報時刻は、09 LT (06 Z)、15 LT (12 Z) の 2 回とし、09 LT には 03 LT のデータ (目視データは無し) も含めた。通報は昭和基地経由モーソン基地に行った。

観測開始後、いくつかの問題点が生じた。ブリザード時、飛雪が百葉箱一杯にたまるので適宜除雪作業を行った。予想どおりドリフトが百葉箱の風上側に着いたので、箱をかさ上げすることで対処した (7 月)。さらに、ブリザード時、日射計出力にノイズが多発したり、露点計が気温を上回りその後変動ノイズが出るがあった。低温での湿度測定、露点計による測定は、精度に問題があることは言われているが、ここではそれ以前に、飛雪によるノイズや、地吹雪による異常値が問題であった。

4.4. 結果の概要

観測開始後、1987 年 12 月までの結果は JARE Data Reports (YAMANOUCHI *et al.*, 1988) にまとめられている。気温及び風速のデータを昭和基地と比較して図 7 に示した。気温については月平均値や月平均最高値、月平均最低値とも全期間にわたって低く、また風速は平均値では昭和基地に比べ強いが、最大風速は必ずしも強くないことが分かる。

5. 無人気象観測

多点での面的観測を目的とした「広域気象観測」のもうひとつの流れとして、無人観測が計画された。その無人観測網を展開する第一歩として、みずほ基地でのデータ取得及び無人観測機のテストをかね、みずほ基地に数種の観測器を設置した。また、沿岸域 S 18 にも観測器を設置した。

5.1. みずほ基地における無人気象観測

みずほ基地では、1986 年 10 月まで約 10 年間にわたって越冬観測が続けられてきたが、第 28 次観測以降無人化されたため、気象データの継続取得をねらって無人気象観測装置を設置した。しかし、無人観測器は未だ確立したものになっていないため、テストをかね、6 台のデータ収録機とそれに連なる測器類を置いた。アルゴス方式により、データを衛星経由

表 3 無人気象観測記録機器一覧
 Table 3. Specifications of automatic weather station units.

名 前	担当者	メーカー (型式)	記録方式	データ 取得間隔	センサー	電 源	設置 場所
アルゴス 新	極 地 研	東洋通信機 T2021型	ARGOS により衛 星経由	1hごとデータ 更新 3分ごと送信 (風速10分平均)	風速, 気温, 気圧, 日射, 室温, 電源 電圧	空気積層 電池 750	みずほ 基地
アルゴス 旧	極 地 研	東洋通信機 T2013型	"	40分ごとデータ 更新 3分ごと送信	風圧, 雪温, 保温箱湿度, 電圧 1~4 (他機器の電源)	" 350	"
牧野式	高知大理 (菊地時夫)	牧野応用測器 SPOLE 2	CMOS 16kB	3時間ごと (風向, 風速 9 分平均)	風向, 風速, 気温	リチウム 電池	"
フィールド ドメモリ	北見工大 (高橋修平)	早坂理工 TS-6	CMOS	150分間隔	気温, 長波長 放射	リチウム 電池	"
機械式	極 地 研 (和田 誠)	柳計器	記録紙	連 続	気温, 気圧, 別々	リチウム 電池	"
遠藤式	北大低温研 (遠藤辰雄)	北海道電子 Frigid Zone Recorder	CMOS	3時間ごと	風向, 風速, 気温, 日射, 気圧, 雪温, 雪圧(積雪)	リチウム 電池	S18
積雪深計	"	コンドウ・サ イエンス (油川式)	感光紙	毎 日	積雪深	リチウム 電池	"

送信し、フランス CNESS より入手するというもの 2 台 (第 25 次観測隊で使用経験あり), CMOS-IC にデータを記録し、これを回収してデータを読み出す方式のもの 2 台 (第 26 次観測隊で使用経験あり, KIKUCHI and AGETA, 1987; 菊地・牧野, 1988), そして長期巻きの記録紙に 1 年間のデータを記録するという機械式のもの 2 台 (第 27 次観測隊より継続) であり、諸元及びセンサーは表 3 にまとめた。センサー類は既存の 3 角タワーやはしご型タワーに取り付け、記録機器類は旧医療棟内に設置した。

第 28 次観測隊持ち込みの 4 台のシステムは、1987 年 1 月 16 日より作動させた。アルゴスシステムのもの、電源がダウンした 6 月まで送信を行った。CMOS 方式のものは、風速計の一時の停止や、若干の欠測はあるものの、ほぼ通年のデータを取得できた。機械式の 2 台の記録計は、作動は続けていたものの、ペン圧の不良や、モータ回転の不調があり、完全なデータにはならなかった。各測器は 1988 年 1 月、第 29 次観測隊によって更新された。

5.2. S18 無人観測

大陸沿岸域の S18 地点に無人観測器を設置した。積雪観測を第一目的としたため、年間平均積雪約 40 cm とされる積雪量の多い S18 を選んだ (海拔高度 600 m 余り、海岸から約 15 km)。観測項目は、4 m ポールに取りつけた風向、風速、気温、日射、気圧、そして積雪を計る雪圧計である。データの収録は、温度変化の少ない雪中 2 m に埋めた CMOS 方式の

データロガーによった (第 26 次観測隊, あすか観測拠点に設置; ENDO *et al.*, 1987). 雪圧計は直径 50 cm の薄い円筒計をなし, 0.1 kg/cm^2 の圧力に対しブリッジとして 1.43 mV/V の出力特性を有するものである.

1987 年 1 月 10 日機器を設置し運転開始した. 1 年間ほぼ順調に作動し, 1988 年 1 月 18 日に撤収した. なお, 雪圧計の参照データを取るべく積雪深計 (グラスファイバーの埋まり具合を感光紙に記録するもの) を付近に設置したが, 風に吹き飛ばされたためか, 埋めた場所に発見できず, 回収不能となった.

6. 大気微量成分モニタリング

大気中の二酸化炭素 (CO_2) やエアロゾル, その他微量成分は, 赤外放射や日射を吸収したり散乱したりすることで, 温室効果や遮蔽作用をもち, その量の変化が気候の改変につながる可能性がある. また, これらの物質は, 南極と中・低緯度との間の輸送過程を説明するものとして, さらには, 局地的な人為的な汚染の影響の最も少ないバックグラウンド値として, その長期的モニタリングが必要である. 第 28 次観測隊では, CO_2 濃度の連続観測, 大気のサンプリングを行ったほか, 定常気象部門ではオゾンやサンフォトメーターによる大気混濁度の観測が行われている.

6.1. 大気中二酸化炭素濃度連続観測

観測システムは第 25 次観測隊以来, 環境科学棟に設置した非分散赤外分析計を中心としたものを引き継ぎ, データ収録も第 27 次観測隊同様カセット磁気テープによった (田中ら, 1984; TANAKA *et al.*, 1987). 主な機器は 3 台でローテーションする体制を取り, 新規一式を持ち込み, 使用済みの一式の持ち帰りを行った. 標準ガスは, 高低濃度ガス (11–12 ppm 差) 9 組を持ち込み, 2 カ月ごとに交換した. レファレンスガス, チェックガスを含め 22 本はいずれも 7 m^3 ボンベを使用し, 濃度変動を最小限にするため環境棟内に保管した.

観測の経過は, 越冬末期の 12 月に磁気テープ装置が故障したほかはトラブルも少なく, ほぼ順調であった. 10 日ごとに保守測定を行い, 分析計のリニアリティをチェックし, 測機入れ替え時に光学調整を行った.

6.2. 大気サンプリング

連続測定バックアップとしての CO_2 濃度測定及び炭素同位体比測定用の空気のフラスコサンプリングを行った. 連続測定システムの空気取り入れラインを使い, 550 ml のガラスフラスコに 3 気圧に加圧採集した. 壁面吸着による濃度変動を最小限にするため, 試料採集の前に空気を予備充填した.

オゾン層との関連等でその挙動が注目されている大気中の極微量成分, フロンやメタンの分析用空気を 2 ないし 4 l のステンレスシリンダーに採集した. 採集は, 2 カ月置きに, 1 ないし 2 本行った. 試料の分析は, 東大理学部が担当 (MAKIDE *et al.*, 1986) した.

7. 航空機観測

CO₂ 用大気サンプリング, マイクロ波放射観測 (以上, ピラタスポータ PC-6 による) 及び放射観測 (セスナ 185 スカイワゴンによる) の 3 種類の航空機観測, 延べ 27 回の飛行を実施した (表 4). 海氷状態が不安定で滑走路確保に困難があったこと, 4 月, 10 月の天候が悪かったこと, 昭和基地での運用期間に限られていたこと等から, 観測時期が冬季中心になってしまった. 自然状態に少しでも左右されない飛行計画が実現できるよう, 陸上滑走路の整備が望まれる.

7.1. CO₂ 用大気サンプリング

大気中の CO₂ 濃度の鉛直分布を明らかにするため, 550 ml フラスコに高度別の空気を採

表 4 航空機観測飛行概要
Table 4. Flight plans of airborne observation.

飛行 No.	月 日	飛行時間	観測項目	飛行コース	主な高度 (ft) (対地)
R-1	4. 15	2-35	放射 (雲/晴)	昭和周辺海氷・沿岸	2800, 3300, 5000
R-2	24	1-40	放射	〃 海氷・沿岸	1000
C-1	5. 10	2-15	CO ₂	〃 海氷上	24000-1000
M-1	13	2-55	マイクロ波	〃 海氷・沿岸	3000
C-2	19	2-25	CO ₂	〃 海氷上	24000-1000
M-2	24	2-35	マイクロ波	氷縁-沿岸	3000
R-3	25	1-40	放射 (雲)	昭和周辺海氷上	1000, 2000, 3000
C-3	7. 29	2-10	CO ₂	〃 海氷上	24000-1000
M-3	8. 10	3-15	マイクロ波	リュツォ・ホルム湾内海氷上	3000
M-4	12	3-15	マイクロ波	大陸沿岸	2500
M-5	13	3-50	マイクロ波	氷縁	3000, 1000
C-4	30	3-30	CO ₂	昭和周辺海氷上	24000-1000
R-4	9. 7	3-30	放射 (雲)	〃 海氷上	500-10000
R-5	8	3-30	放射 (雲/晴)	〃 海氷・沿岸	500-10000
R-6	12	3-25	放射 (雲)	〃 海氷上	500-10000
M-6	13	3-35	マイクロ波	みずほルート	3000
M-7	14	4-25	マイクロ波	リーセル・ラルセン半島	2000-3000
R-7	14	4-15	放射		
M-8	16	4-50	マイクロ波	やまと山脈	2000
R-8	16	4-40	放射		
M-9	17	4-00	マイクロ波	氷縁	2000
R-9	17	4-05	放射		
R-10	18	3-50	マイクロ波	みずほルート	1500
C-5	10. 2	2-30	CO ₂	昭和周辺海氷上	24000-1000
R-11	15	3-40	放射	〃 高度別	500-15000, 6 高度
M-10	16	4-30	マイクロ波	みずほルート	1500
C-6	12. 5	3-00	CO ₂	あすか周辺	21000-1000
計		89-50			

集した。採集系は、機体の排気の影響を受けぬよう右翼ステー上端から機内までホースを配管、ダイヤフラムポンプ (DC 24 V 仕様) で外気を吸引、フラスコに外気圧 + 2 気圧で加圧採集した。飛行高度は 8000-1000 m, 1000 m ごとにそして 300 m の 9 高度で (あすか観測拠点では 8 高度), 各高度で約 5 分間の水平飛行を行い, 3 分以上空気を流して採集した。

7.2. マイクロ波観測

海氷状態や大陸氷床の雪面状態の違いを調べるため, 地表から射出される 19 GHz のマイクロ波放射の観測を行った。この観測は, 表面状態の違いによるマイクロ波放射量の違いを知ると共に, そのことを通じてより広域の衛星データ解釈の基礎となる地上検証データとなるものである。マイクロ波データを比較するため, 表面温度を放射温度計で計り, 同時に連続写真を撮影した。

ピラタス機床面に下向きに 19 GHz 放射計の 600φ のパラボラアンテナを取りつけ, 指示部, 電源部および記録機器はラックに装架した。放射温度計 (バーンズ PRT-5) も底面に取りつけた。これらの出力は, データロガーを介してカセット磁気テープに 1 秒 1 回サンプリ

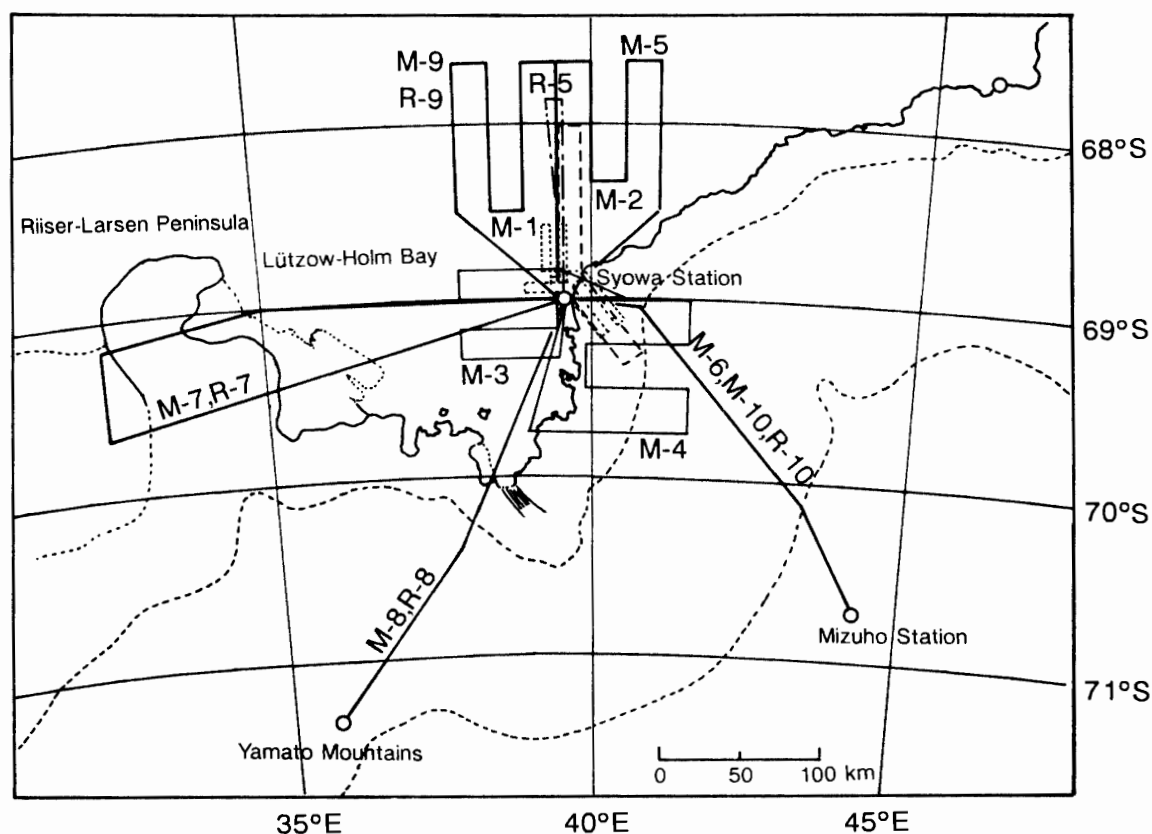


図 8 航空機観測長距離飛行ルート. M: マイクロ波, R: 放射観測, 番号は表 4 に対応する

Fig. 8. Flight course for the long-range observation around Syowa Station. M: microwave measurement, R: radiation measurement and number corresponds to Table 4.

ング、10秒おきにプリントアウトし、アナログデータは記録計に出力した。地表写真は、35mmカメラ(ニコンF2)に250枚取り長尺フィルムマウントを取りつけ、モータドライブで駆動、24mmレンズで撮影した。

計10回の飛行を行ったが、主な飛行コースは図8にまとめた。ほとんどの飛行が厳寒期であったため、機器の暖気が必要であったが、機体の暖房は容量不足のため、出発前にマスターヒータでキャビン内を暖めた。飛行中、キャビン上部は0°C以上を保ったが、底面は-20°C以下となることが多く、マイクロ波関係は順調に作動したものの、磁気テープ装置が起動しないことや、放射温度計やカメラが長時間の低温に耐え得ないことがあった。

観測結果の概要は以下のとおりである。海氷観測では、海水面から薄氷、そして次第に厚い氷への変化は分かるが、ある程度以上(~50cm)の厚さでは違いは生じない。1年氷と多年氷の違いは現れ、また、陸氷と海氷の違いは顕著であった。雪面上の観測からは、数kmから数十kmスケールの大きな変動(輝度温度にして数十度)がみられた。この変動幅は表面温度の変動よりはるかに大きく、雪面状態の何らかの違いによる射出率の違いに起因していると考えられる。

7.3. 放射観測

雲の放射特性及び地表面のアルベドの違いを調べるため、航空機による放射観測を行った。セスナ機の胴体上面及び下面に各々全天日射計2台(英弘精機MS-801, 305及び695フィルター付き)、長波長放射計1台(Epply PIR)を取りつけ、機内にマイクロ波観測と同様の記録機器を置いた。上向きの測器は、正、副操縦士席上の天窗部を利用した。全天日射計は太陽入射角に鋭敏なため、飛行中、機体の傾きを除き水平を保てるよう、水準器付きの架台上に設置し、機内から随時水平を保てるようにした。下向き測機は航空写真用孔を利用したが、離着陸時は機内に折りたたみ収納して、飛雲による汚染を避けるようにした。

計11回の飛行を行い(表4)、遠距離のコースは図8にも記した。雲の観測は、求めるような雲が存在し、かつ安全な飛行ができるという条件が揃うことが少なく、計4回の飛行しか実現しなかった。機体に霜取り装置がないので、いずれの場合も雲の上下で数高度水平飛行を行うという方法を取った。各高度でのコースが雲に対して同一の水平位置であるべきだが、航法装置が少なく位置の同定が難しいこと、雲が時間的に変化してしまう等の困難があった。晴天日のアルベド、放射観測の場合は、日射計の水平調節機構の利用で機体の前後の傾きの影響は少なくできたが、左右の傾き、特に強風時の傾きの影響は誤差として残った。

8. ゾンデ観測

放射ゾンデ及びオゾンゾンデの2種類の特殊ゾンデ観測を定常気象部門と協同で行った。ガスの充填、気球の飛揚、データの受信・処理はすべて定常気象部門の設備によった。

8.1. 放射ゾンデ

南極域の雲の放射特性を調べることを目的に放射ゾンデの観測を行った。ゾンデは RSII-R78D 型で、定常気象と合わせて 21 回飛揚。うち 13 回は雲量 6/10 以上であり、下・中層雲タイプの結果が 8 例、上層雲タイプの結果が 5 例得られた。飛揚前に地上に置いた状態で記録を開始し、地上での値を得られるようにした。3 章で述べた地上放射観測の長波長放射計の値と比較したところ、良い一致を示すことが多かった。

8.2. オゾンゾンデ

オゾン量の鉛直分布の観測のため、RSII-KC79D 型オゾンゾンデを飛揚した。定常気象分と合わせて 31 回の飛揚を行ったが、特に突然昇温前のオゾン量極小期、そしてその後のオゾン急増期に重点を置き、8 月末より 11 月一杯までは週 1 回ないしそれ以上の割合で飛揚した。それ以外は月 1 回ないし 2 回の割合で行った。なお、インド隊のダクシンガンゴトリ基地や、東ドイツ隊のゲオルグ・フォスター基地より共同観測や、情報交換の依頼があった。

9. おわりに

以上、ACR 計画第 1 年目の観測について概要を述べた。広域気象観測、微量成分観測、そして気象衛星観測は ACR 期間 5 年間継続されるものであるが、それ以外は、1-2 年行われるものである。少しずつオーバーラップはするものの、観測項目の力点は年次ごとに変わっていく。こういった様々な観測を結び付けるのが衛星観測だと位置付けられる。第 28 次観測隊で行われた放射観測、第 29 次観測隊で行われているレーダー観測、そして第 31 次観測隊以降計画されている海氷観測等は、それぞれの時期にくわしい観測を行い、また衛星データとの対応付け、解釈を行い、後は衛星データを使って広域の、また長期間の変動を調べようというものである。すなわち、衛星データを軸として各観測が位置付けられているということである。

本稿は、第 28 次観測隊気水圏部門で行った観測の概要報告に留まった。多くの興味ある貴重なデータが取得されたと考えているが、研究成果は今後の解析によって得られるものであり、学会、シンポジウムや論文を通じて発表される予定である。

謝 辞

本報告を終わるに当たり、計画立案から実行に至るまで種々ご尽力いただいた研究代表者川口貞男国立極地研究所教授を始め、ACR 作業委員会のかたがた、また、1 年間の観測を支えてくださった星合孝男観測隊長、大山佳邦越冬隊長を始めとする第 28 次観測隊員の皆様に心からの謝意を表する次第である。特に、昭和基地で種々の観測を共同で担当くださった金戸進隊員初め定常気象部門のメンバー、あすか観測拠点で地上気象観測を担当くださった鮎川勝越冬隊長はじめ渋谷和雄、酒井量基隊員には大変お世話になった。厚くお礼申し

上げる。

文 献

- ENDO, T., WAKAHAMA, G., KAWAGUCHI, S., SANO, M. and KIKUCHI, T. (1987): Trial observation of a simple automatic weather station at Asuka Camp, Antarctica. Proc. NIPR Symp. Polar Meteorol. Glaciol., **1**, 103-112.
- KIKUCHI, T. and AGETA, Y. (1987): Glaciological research program in East Queen Maud Land, East Antarctica, Part 6, Advanced Camp, 1985. JARE Data Rep., **29**, (Glaciol. 15), 104 p.
- 菊地時夫・牧野章汎 (1988): 南極東クイーンモードランド前進拠点における無人気象観測. 天気, **35**, 39-46.
- MAKIDE, Y., KUBO, Y., YOKOHATA, A. and TOMINAGA, T. (1986): Increasing atmospheric concentration of halocarbons and methane in Antarctica (abstract). Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **45**, 94-95.
- 世界気候小委員会南極グループ (1982): わが国の気候変動研究計画 (WCRP). 7. 南極気候研究計画. 天気, **29**, 767-771.
- 高部広昭・山内 恭 (1989): 気象衛星 NOAA データ処理装置. 南極資料, **33**, 73-87.
- 田中正之・中沢高潔・塩原匡貴・大島裕之・川口貞男・山内 恭 (1984): 南極昭和基地における大気中の二酸化炭素濃度の連続観測システムの新たな開発. 南極資料, **82**, 1-11.
- TANAKA, M., NAKAZAWA, T., SHIOBARA, M., OSHIMA, H., AOKI, S., KAWAGUCHI, S., YAMANOUCI, T., MAKINO, Y. and MURAYAMA, H. (1987): Variation of atmospheric carbon dioxide concentration at Syowa Station (60°00'S, 39°35'E), Antarctica. Tellus, **37B**, 72-79.
- 田中信也・芳野起男 (1980): 昭和基地における気象衛星データの受信方法. 南極資料, **69**, 195-199.
- TANAKA, S., YOSHINO, T., YAMANOUCI, T. and KAWAGUCHI, S. (1982): On the satellite remote measurements of vertical temperature profile of Antarctic atmosphere. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **24**, 94-100.
- YAMANOUCI, T. (1985): A simple cloud-radiation statistics at Mizuho Station, Antarctica. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **39**, 87-96.
- YAMANOUCI, T., WADA, M., MAE, S., KAWAGUCHI, S. and TSUKAMURA, K. (1982): Measurements of radiation components at Mizuho Station, East Antarctica in 1979. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, **19**, 27-39.
- YAMANOUCI, T., SUZUKI, K. and KAWAGUCHI, S. (1987): Detection of clouds in Antarctica from infrared multispectral data of AVHRR. J. Meteorol. Soc. Jpn., **65**, 949-962.
- YAMANOUCI, T., SHIBUYA, K. and SAKAI, R. (1988): Meteorological data at Asuka Camp, Antarctica in 1987. JARE Data Rep., **140** (Meteorol. 21), 104 p.

(1988年12月16日受付; 1989年1月7日改訂稿受理)