

南極昭和基地における気象観測

プログラムと測器について*

守田 康太郎**

はしがき

昭和37年2月以来閉鎖中であった南極昭和基地は、今年1月、第7次観測隊によって再開され、気象観測をはじめ各部門の観測は、2月1日から正式に開始された。この機会に、我が国の南極地域観測将来計画および気象部門としての諸問題について解説し、大方の御批判を仰ぎ度いと思う。また、昭和基地再開に当って、新しく登場した新型気象測器についても簡単に紹介したい。

1. 我が国の南極地域観測の将来計画

南極観測に関係する学術分野は、超高層物理学（極光、宇宙線、電離層、地磁気、電波科学など）、地学（雪氷、地質、地形、地磁気、重力、地震など）、気象学、海洋学（地球化学を含む）、および生物学（医学を含む）に大別されるが、学術会議南極特別委員会は、南極観測の長期計画として、再開後2～3年の間は、昭和基地における超高層物理学および生物学の研究に重点をおくことを決定した。一方、地学部門に関係した内陸調査は、再開後たづちに予備的な調査に着手するが、本格的な調査は、昭和基地の拡充強化をまわって行なうこととし、将来は、内陸奥地にもうひとつの観測所を設けて、全部門の総合研究を推進しようという構想である。

これらの計画を実施するに際し、観測の仕事を、定常的なものと、研究的なものに分ける体制がとられることになった。前者は国際協力の一環として要請される基本的、且つ義務的なものにしぼり、不変の組織と規模で、準恒久的に行なう。後者は、いわば自由研究であって、研究テーマと研究者を学界から公募し（実際には、学術会議の各研究連絡委員会を通じて募る）、個々のテーマにつきある期間を限って重点的にとりあげる。定時気象観測、潮汐観測、地図作成などは、定常観測の代表的

なものであり、電波雑音観測、物理気象観測などは研究観測に属する。もちろん、定常と研究を分離し難い種類のものも多く、研究観測といえども、その推移発展によっては定常化が必要になることも考えられ、両者の区分は流動的なものである。

多岐に亘る各種の観測を行なうには、昭和基地のスケールがあまりにも小さいことが嘆かれる。第7次観測（再開第1年次）においては18名の越冬が実現したが、第8次以降、逐次施設を増強して最終的には30名程度を収容し得る基地とすることになっている。

2. 南極気象学に関する SCAR の勧告

SCAR は、南極気象学の課題として次のように勧告している。（第8回 SCAR 会議、1965年、勧告 M. 6 による）

研究テーマ

- (1) 南極地域の気候学および大気大循環
- (2) 南極大陸および南半球の、大スケール気象現象の性質と規模
- (3) 中間圏、成層圏、対流圏の相互交換
- (4) 南極大気の大気と水分の収支、大気と雪氷および周辺海洋との間の相互影響
- (5) 南極大陸、特にその沿岸地域におけるメソスケール気象現象

研究を効果的に行うための方策

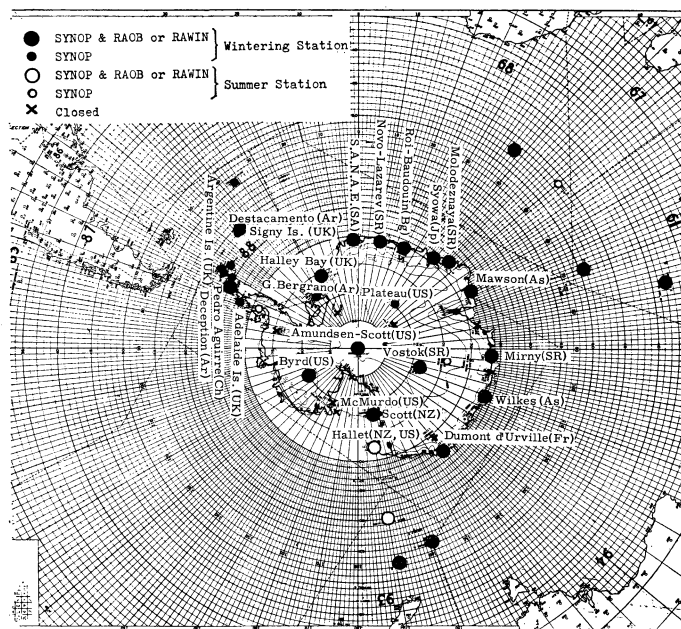
- (1) 各観測所は、少くとも10ヶ年間、観測を継続すること。
- (2) 現存する観測網を維持するため、最善の努力を払うこと。
- (3) すべての観測隊（気象以外の研究を目的として編成された越冬隊をも含む）は、正規の観測網を補なうために、気象観測を行なうこと。

各気象観測所が行なうべき観測項目

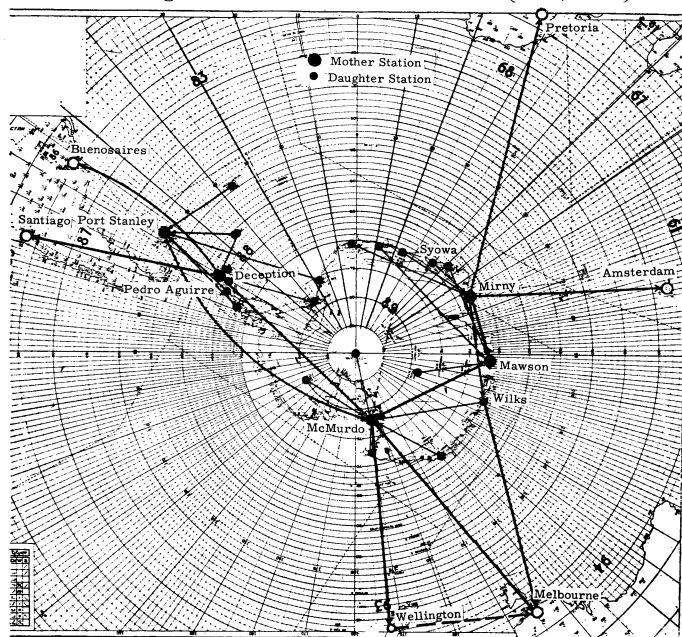
- (1) 地上および高層のシノプティック観測
- (2) 放射（放射ゾンデを含む）およびアルベドの観測

* On the Meteorological Programme and the Instruments at the Japanese Antarctic Base, "SYOWA".

** Y. Morita 気象庁南極観測事務室
—1966年2月16日受理—



第1図 南極地域の気象観測網 (昭和41年2月現在)
Meteorological net work in the Antarctic (Feb., 1966)



第2図 南極地域の気象通信系
Meteorological telecommunication system

- (6) ふぶきの観測, およびサスツルギの方向, 波長, 形態の観測
- (7) 降雪の形態学的研究
- (8) 夜光雲および真珠母雲の観測

なお, SCAR に関係している12ヶ国は, IGY 以来, 南極地域で緊密な協力活動を行って来たが, 昭和41年2月1日現在, 南極地域で気象観測を行っている基地は第1図のように分布されている。図において, 黒丸は越冬観測を行う基地, 白丸は夏期のみ開設される基地である。また大円は高層気観測を実施中の基地を示す。各基地の観測結果は第2図のような気象通信系によって, メルボルンのWWW中枢に集められて解析に供せられる。

4. 昭和基地における気象観測計画

昭和基地の気象観測計画は, 前述のSCAR 勧告のレベルから見ると, 残念ながら決して満足すべきものとはいえない。最大の経路は, 観測人員が少なすぎることであって, 第7次隊では, 気象観測は定常と研究をあわせて僅か3名にすぎない。小規模の基地でありながら, 総花的にあらゆる分野の観測を盛り込もうとする無理がたっているのである。もっとも, 他国の中小規模の基地でも, 事情はほぼ同じであって, SCAR 勧告を完全実施しているのは, マクマード (米), ミルニイ (米), ハレイ湾 (英) などの大型基地のみである。

昭和基地では, 苦しい人員の制約のなかで, できるだけ SCAR 勧告に忠実であるよう配慮しつつ, 次のような観測を実施する計画である。

- (3) 微気候観測および雪氷温度垂直分布
- (4) オゾン観測 (地上, 垂直全量, および垂直分布)
- (5) 大気, 降水および積雪の化学的観測 (放射能を含む)

(A) 定常観測

地上気象観測は, 気候観測および, 定時気象通報が最少限の要求であるが, 同時にメソスケールの気象現象の解析にも役立つよう考慮を払った。そのため, 後に詳述

するような自動気象観測装置および印字装置を用いて、主要素の連続記録をとると共に、毎時値を印字記録するようになっている。たゞし、雲および視程は目視観測とし、00, 06, 12, 18GMT の定時気象通報を行なう。また、積雪は、基地周辺の数ヶ所に雪尺を置き、週1回程度巡回して測定する。

高層気象観測は、1日1回の観測を確保する。これに使用するレーウィンゾンデは、南極用として新しく開発された RSII-64 型であって、感部はサーミスターおよび電気抵抗湿度計とし、周波数変調式ゾンデとした。レーウィン自動追跡機はオールトランジスター式で追跡速度を大きくした新型 (D 55 B) のものである。

観測時刻は、人手不足のため夜間作業を避けて 12GMT (現地地方時15時) とした。

(B) 研究観測

再開第1年次および2年次の気象部門研究観測は、気象学の新しい問題として注目を集めている STRATWARM 現象における南極の重要性にかんがみ、南極超高層大気の熱的構造の研究をテーマとすることになった。南極の STRATWARM 現象は、Wexler が指摘したように¹⁾、北極にくらべて、いっそう顕著である。南極成層圏の周極渦動は、冬の暗黒期が終了するまで全く安定に存在し成層圏の冷え込みが甚だしく、突然昇温は、太陽再帰後(北極よりもおそい)強烈に起る。しかし Phillpot によれば、年毎の差異もまた大きいようである²⁾。

昭和基地での観測計画としては、STRATWARM 現象をいっそう明確に把握し、その原因を追及することを目的として、定常観測における高層観測を強化する一方、この現象の究明に最も大きな手がかりとなると思われるオゾンに関する観測に重点をおくことになった。研究担当者としては、この分野に造詣の深い清水正義氏が選ばれ、ドブソン2重分光計によるオゾン垂直全量の測定(晴天日に毎日3回)、オゾンモニターによる地上量の連続測定、およびオゾンゾンデによる垂直分布の直接測定などが予定されている。現在まで南極地域でオゾン観測を行っているのは、昭和基地の他には、南極点、およびハレイ湾のみであり、昭和基地での観測は貴重な資料を提供するものと期待される。

なお、第8次(再開第2年次)においては、同一テーマの下に、重点を大気放射におき、地表から成層圏に至るまでの放射平衡を明らかにする目的で、放射ゾンデおよび露点ゾンデの飛揚、赤外線分光計による H_2O および CO_2 の垂直全量の測定、繫留気球による温度逆転層

における熱フラックス測定、接地気層熱収支観測などが計画されている。

このような超高層大気の熱的構造の研究は、気象学上の価値が大きいことはいままでもないが、電離圏以上の高さにおける電磁気現象→中間圏における光化学現象→成層圏以下の気象現象を結びつけるための手がかりとして重要な意義をもつものと考えられる。超高層物理の立場からは、極地は太陽活動に対する地球の「窓」と見做される重要な自然実験室であるから、太陽活動と気象の間の物理的メカニズムの究明という大きな問題³⁾への第一歩といえることができる。この意味で、近い将来に実現される予定のロケットによる超高層物理および気象の観測成果が期待される。

(C) 将来の研究テーマ

今後、南極でとりあげるべき諸問題としては、次のような事項が考えられる。

雲および降水の物理: 氷晶雲を地上で掴むことができる極地は、雲物理の絶好の研究場所である。その上、人工的汚染のほとんどない条件を備えているので、凝結心核の問題についても、他に得難い場所である。

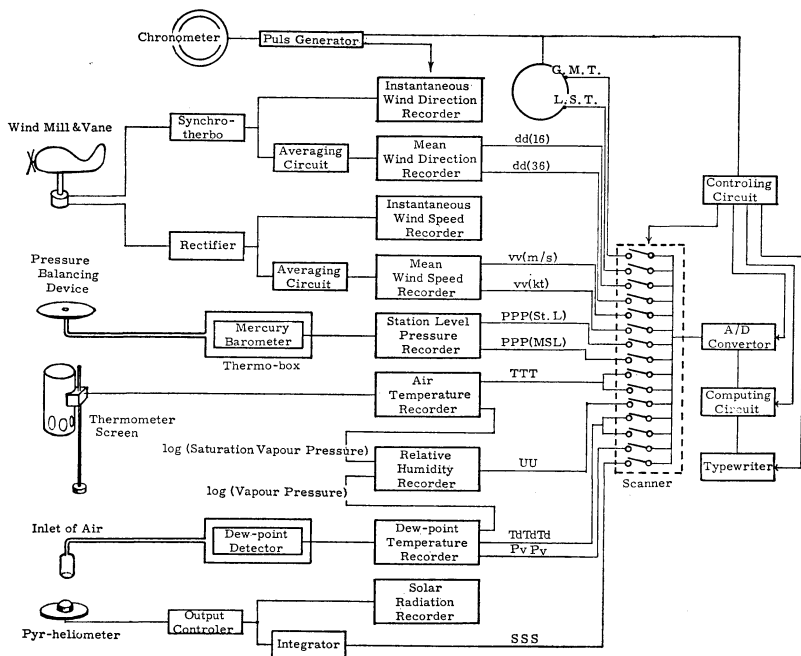
カタバティック風の研究: 南極沿岸特有のカタバティック風(斜面下降風)は、メソスケール気象学上、極めて興味の深い現象であり、昭和基地は、この種の研究には有利な地理的位置を占めている。

空中電気の観測: 汎地球的な空中電気観測の一環として、従来、皆無に近かった南極地域での観測実施は、強く要望されているところである。

この他、気象観測は、雪氷学、地球化学、生物学、海洋学などとも密接な関係があるので、それぞれの目的に応じた特殊の観測、或は協力研究が必要である。また、IGY 以来、すでに10カ年の南極気象データが蓄積されて来たので、南極の気象が、北半球の気象、特に、赤道収れん帯における台風の発生に、どのような関係を持つかを追究する調査研究に着手すべき時機であると思う。日本の気象学にとって、直接的な問題でもあるから、今後本格的に取り組むことが望ましい。

4. 昭和基地で使用中の新型気象測器

南極観測再開に際し、昭和基地の気象測器は、南極の特異な自然環境に適応させること、および、極度の手不足に対処して自動化を図ることの、ふたつの要望をみたすよう、全面的に更新を図った。このためには、国内気象業務の習慣にとらわれることなく、WMO 技術規定および観測指針の許す範囲で、果敢に新しい計測技術を導



第3図 自動気象観測装置 (MAMS) および印字装置 (MAMP) の系統図
General layout of the Multiple Automatic Meteorographic System (MAMS) and the Multiple Automatic Meteorological Printer (MAMP)

入することを試みた。その結果、以下に述べるような新型測器や施設が製作され、現在、昭和基地において実用に供せられている。

(A) 自動気象観測装置および印字装置

雲、規程および積雪を除いた全気象要素を自動化し、観測者は野帳を持って露場へ出る必要がなく、各種の校正や計算はもとより、通報電文作成や、統計用の作表作業をも不要ならしめるよう工夫されたものである。基本的な構想としては、多目的（気候、通報、現象解析）の要求に対して、感部は一要素一種類とし、中間処理過程（電気回路）において所要の変換を行って、目的別の最終結果を算出し、記録および印字させるものとした。記録器は、同一規格の電子平衡型を用い、水晶時計からのパルスで駆動されるので、要素間の相対的時刻誤差は皆無であり、現象の解析には極めて好都合である。装置の全体構成は第3図に示すとおりである。すなわち、屋外には、風向風速計感部、気圧平衡装置、通風スクリーン（気温感部を収容）、空気吸入口（露点検出用）および日射計感部が置かれ、室内に気密恒温箱に収容された気圧計感部と、露点検出部が置かれている。各感部は、気象要素の値に対応したアナログ信号を発信し整流器、

平均化回路、各種補償回路、出力調整器等を経て、0～10mVの電圧として9台の記録器に伝えられる。記録器は、ペンの動きと連動する伝送スライドを内蔵し、11要素について数値に比例した～0～5Vの電圧を発信し、印字装置の走査器に送る。この場合、統計用と通報用の表現が異なる要素については、同一記録器に2ヶの伝送スライドを抱かせ、それぞれ所要の単位に換算してある。走査器で信号を所定の順序にならべた上、A/D変換器によりデジタル量とし、さらに必要な4捨5入、桁繰りあげ、或は表現変更などの計算回路を経た後、毎正時に、タイプライターに最終結果が印字される。印字は、通報用が赤字で6要素（日時を含む）、統計用が9要素（日時を含む）となっている。この装置の詳細については、別途報告する予定であるから⁴⁾、こゝには、その中で特に注目すべきもののみにについて簡単に紹介することとする。

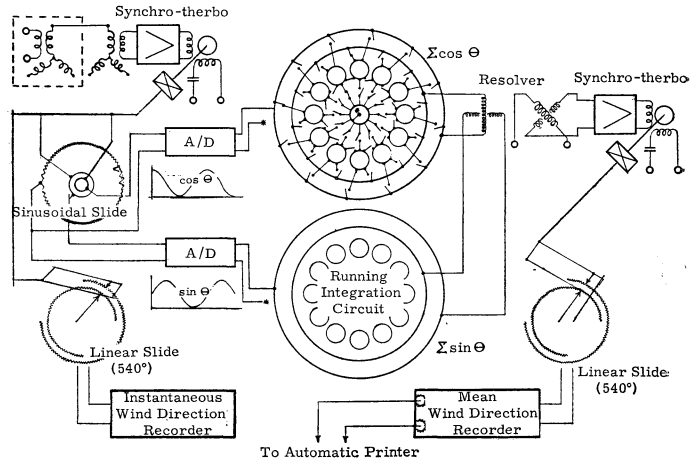
風向および風速の平均装置：観測法が規定する10分間平均の風向および風速を、1分毎に移動平均的に算出し記録するものである。まず、風速については、風車発電式風速計の出力を整流した後、瞬間風速記録計に送ると同時に、その出力を、1ビットが風程93.75mに相当

するパルスに変換して循環記憶回路に送る。この回路は、12組の計数器とリレー群より成り、そのうち10組は、過去10分間の毎分の積算パルスを記憶して保持しており、1組は現在1分のパルスを計数しつゝあり、残り1組は次の1分間の計数に備えてリセット状態で待機している。親時計からの1分毎の信号が送られると、10組の計数器が直列につながり、10分間の積算パルスが得られ、それをD/A変換して平均風速記録計に送る。これを1分毎に循環的に繰返すのである。このようにして、同一感部からの風速の瞬間値と平均値が2台の記録計に平行して記録される。

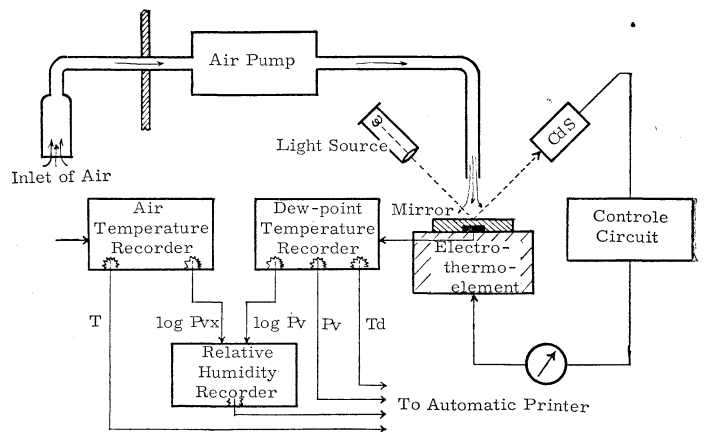
風向の場合には、ベクトル計算を行う必要があるので、第4図のようにセルシン風向計の出力を受けるサーボシンの軸に、三角函数捲きのスライド抵抗器を直結し、N-S成分($\cos \theta$)およびE-W成分($\sin \theta$)に比例した電圧を発生せしめた上、両者の各々について、風速移動平均の場合と全く同様に、A/D変換、移動積算、D/A変換を行うことによって、 $\sum \sin \theta$ と $\sum \cos \theta$ に比例した電圧を取り出すことができる。その電圧をシンクロレゾルバーに与えて合成風向を求める。サーボシンの回転(瞬間風向)およびシンクロレゾルバーの回転(平均風向)は、共に、気象庁規格の540°方式(180°重複)のスライド抵抗器を経て、瞬間風向記録計および平均風向記録計に伝えられる。なお、この装置については、さらに一步すすめて風向出力に風速を相乗した真のベクトル計算を行うよう改良を目論んでいるが、若しこれが完成すれば、観測点をとる子午線又は緯度線を通しての、アウスタウシュの計算が、手軽に行える利点があり、(極めて簡単な積算回路を附加するだけでよい)研究者にとって大に有用なものとなる。

電子露点計による露点および相対湿度の観測

南極における気象観測のなかで、湿度の正確な測定は最も困難なもののひとつである。従来昭和基地で使用されてきた乾湿球および毛髪湿度計の実用限界は、-25°C程度までであり、それ以下の低温においては、測定誤差

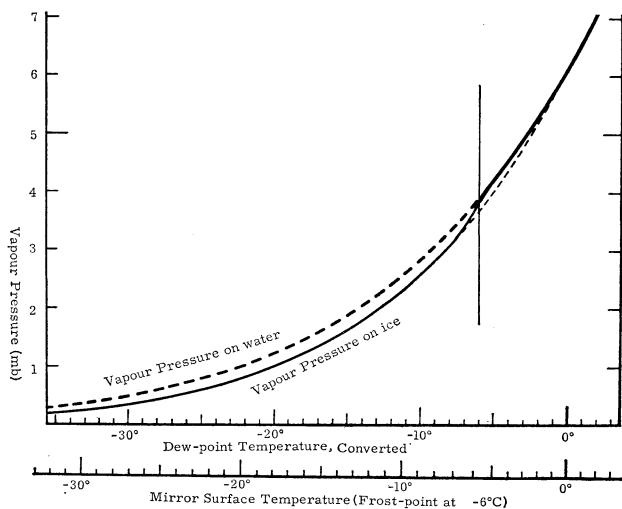


第4図 風向平均装置のブロックダイアグラム
Block diagram for the averaging circuit of wind direction,



第5図 電子露点計ブロックダイアグラム
Block diagram of dew-point detector

が大きくなり、ほとんど無意味に近いことになる。この抜本的対策として、原理的に最も無難な露点鏡を用いて露点を測定することとした。幸い熱電素子(サーモエレメント)を利用した簡便な露点計が工業用として普及されつゝあるので、これを連続観測に適するよう改造し、また、露点と霜点の判別に特殊の工夫をほどこして使用することとした。電子露点計の原理は、第5図に示すとおりである。すなわち、サーモエレメントで冷却された



第6図 蒸気圧曲線の決定
Determination of vapour pressure curve

直径5mmの円板鏡に、外気を吸入して吹きつけ露または霜を結ばせる。一方、鏡にあてた光の反射をCdSで受け、結露又は結霜によって鏡が曇れば、CdSの出力が変化し、サーモエレメントの極性が反転して鏡面を暖め、結露(霜)が消えると冷却に転ずるよう制御される。このようにして鏡面は、ほゞ露(霜)点温度に保持されるので、銅—コンスタンタン熱電堆によりその温度を測定して露点温度記録計に伝える。

こゝで問題になるのは、氷点下において鏡面の曇りが露(過冷却水滴)によるものか、それとも霜によるものかの判別である。普通、氷点下数度までは、ほとんど過冷却で、それ以下 -20°C 内外までの場合は、露であることも霜であることもあり不定であるため、水蒸気量を一義的に決定することができず、観測自動化の大きな障害になるわけであるが、次のような方法でこの難点を解決することができた。すなわち、なるべく高い温度で過冷却を防止し、結霜を促がすため、鏡面をサンダーで粗化した上沃化銀を真空蒸着させてみたのである。その結果、 -6°C を転移温度としてそれ以下ではほとんど過冷却を起すことなく結霜することがたしかめられた。^{*}従って、第6図のように、 -6°C 以上では過冷却水面に対する飽和蒸気圧を、それ以下では飽和水蒸気圧を以て、鏡面温度に対応する蒸気圧の値とすることができる。実

^{*} この実験は、守田が提案し、住友電工半導体研究室小出氏が、気象研究所小林寿太郎氏の助言を受けつつ実施した。

際には、その後の計算処理上の便宜のため、霜点温度は、その温度における飽和水蒸気圧を、飽和水蒸気圧とする露点温度に換算して使用する。そのため、記録計の目盛は、 -6°C 以下において霜点と露点の二重目盛にしてあり、記録計が内蔵する蒸気圧値発信用の伝送スライドは、換算された露出温度と水蒸気圧の関係をみたすように抵抗がまいてある。また、 -6°C における蒸気圧曲線(鏡面温度に対する)の不連続を避けるため、 $-6^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲を第6図実線のように平滑化した。平滑化による誤差は、 $\pm 0.1\text{mb}$ 以下であり実用上無視できる。

相対湿度は、気温記録器が内蔵する飽和蒸気圧の対数値 $\log P_{\text{max}}$ の伝送スライド、および露点記録器が内蔵する蒸気圧の対数値 $\log P$ の伝送スライドからの電圧信号の差

を、相対湿度記録計の入力として、

$$\log\left(\frac{P}{P_{\text{max}}}\right) \text{ から相対湿度 } \frac{P}{P_{\text{max}}} \times 100$$

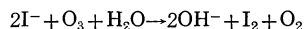
を記録させる。

気圧平衡装置

気圧は、ステーション型水銀気圧計の水銀管に電気抵抗体を封入し、水銀柱頭の昇降に対応した電気抵抗の変化により、電圧変化として記録計に伝える(上利式と呼ばれる方式)もので、気圧計感部は恒温箱に入れてあるので温度較正は不要であり、重力較正も附属抵抗の調節によって行い、記録計には現地気圧そのものを記録させる。この方式では、水銀気圧計の実測に比べ精度がやや低く、 $\pm 0.2\text{mb}$ 程度である。しかしながら、昭和基地で気圧の観測に際して起る最大の誤差は、風による建物の吸出し効果にもとづく異常低下である。過去の観測記録から調べると、風速 10m/s において 0.3mb 、 20m/s において 1.0mb 、 30m/s において 2.3mb の低下がみとめられており、この影響を除去することが最も重要な問題である。その方法として、清水逸郎氏の考案による気圧平衡装置を採用することとした。装置は直径 200mm 、厚さ 8mm の円板の中央に静圧口をうがった簡単なもので、これを屋外に設置し、静圧口からみちびいたパイプの端を、気圧計感部の気密収容箱内に開口しておく。本装置についての詳細および、風洞実験結果については、清水氏の報告が本誌に投稿される予定であるのでこゝには省略する。

気温観測用通風スクリーン

カーボン式は、第8図のように、ポンプで吸引した空気に含まれるオゾンを反応管内で電離した沃度カリ溶液に通し、



の反応により離された I_2 は、白金電極でイオン化されてもとの沃度カリ電離液にもどる一方、 $2OH^-$ はカーボン電極に電子を与える。その結果オゾン1分子につき2個の電子に相当した電子に相当した電流が流れるので、これを増巾してテレメーターするものである。

滴定式の原理は、反応液中のチオ硫酸ナトリウムと、オゾンにより遊離される沃度との反応により、チオ硫酸ナトリウムが消費されると溶液の電気伝導度が高まることを利用し、溶液の電導度を一定ならしめるよう制御しつつ、チオ硫酸ナトリウムを滴下する。滴下時間間隔は吸引大気中のオゾン量に比例するので、それをテレメーターする。

各種ゾンデー括表

オゾンゾンデの他に、放射ゾンデと露点ゾンデも、昭和基地において試験的に使用されているが、定常観測用をも含めて各種ゾンデの機構を一括すると別表(前頁)のとおりである。

むすび

南極観測気象部門のプログラムおよび各種測器の準備は、気象庁観測部長吉武素二博士の御指導と御激励の下に、観測部測器課、高層課、測候課の関係者が協力して担当したものである。関係各位に感謝の意を表したい。

また、気象研究所高層物理研究部(特に小林寿太郎氏)測器研究部の御協力に対しても厚く御礼申上げる。

電子露点計について、営利を無視して実験を担当された住友電工研究所の各位、および実用試験に協力を賜った帯広測候所職員各位にも感謝を捧げる。

参考文献

- 1) H. Wexler: Seasonal and Other Temperature Changes in the Antarctic Atmosphere; Q.J.R.M.S. Vol. 65, No. 365, 1959.
- 2) H.R. Phillpot: IQSY Programme on Meteorology—Antarctic STRATWARM; SCAR Bulletin No. 18, 1964.
- 3) C.E. Palmer: The Stratospheric Polar Vortex in Winter; Journal of Geophysical Research, Vol. 64, No. 7, 1959.
- 4) 守田康太郎: 南極観測に使用する気象測器および施設; 測候時報, 第33巻第1号(予定)

米 国 便 り

去る2月に渡米、現在 UCLA の研究員として活躍されている天気編集委員の片山昭氏からの米国便りの要旨を紹介します。

御承知の様に、ロスアンゼルスは季節変化のあまりないことで、私達のように季節変化の激しい日本からゆくと、なんとなくしまった感じがせず、もの足りなくさえ思います。この一カ月間に雨も半日ふっただけ、これでは短期の天気予報などいらないのではないかと思います。一般の市民の天気への関心事は今日はスモッグがひどいかどうか、少し暖かいのか涼しいのかということらしいです。たしかにスモッグはひどく、少し風が弱いともうボーとかすみ、目がいたくなり、より敏感な人は鼻水が出るようになります。最近では相当の郊外まで及んでいます。大部分は自動車の排気ガスが原因です。UCLA の気象関係では雲物理をやっていた Neiburge がこの問題をやっています。

私達の project は Simulation of global climate と略称されています。この内容の説明は長くなるのでかきませんが、これに関連して面白い計算が行なわれていますので一寸ふれておきます。Los Angeles の郊外の Santa Monica のランド研究所に Leovy がいます。彼

は光化学反応と放射過程を combine した成層圏の研究を昨年発表した人で関口さんにはなじみ深い名だと思います。彼は現在、Mintz-Arakawa の大循環の数値実験の計算方式をつかい火星の大循環の数値実験を企て最近やっと計算をスタートさせました。(まだ6時間後の状態までしか計算されていない)。水蒸気なし、海洋や山がない、赤外放射の吸収体は炭酸ガスのみ、 CO_2 の相変化(condensation など)を考慮する。はじめ大気に一様な湿度(200°K)を与えておいて出発していますが、日射の少ない冬半球での冷却はすごいですね。1時間に10°です。 CO_2 の赤外放射の吸収帯は14μm 近辺にしか顕著なものがないので green house effect が弱いからです。まだ大規模な大気の大循環が生じていませんが、計算がすすみ数十日後の状態がどうなるかは非常に興味あることです。また San Francisco の IBM の研究所では Mintz-Arakawa の model をそのままつかい、計算の際の grid distance (格子間隔)をずっと小さくとったらどうなるか、一果して台風が出現し、前線が記述できるか—の計算をするための準備を行なっています。大分面白くなってきたと思います。

4月10日

(片山 昭)