

月例会「南極圏の気象」(第7回)の報告

テーマ: WCRP と南極

今回のテーマは「WCRP と南極」ということで、気候の研究と観測を南極域でいかに進めていけばよいかという点を中心とする4人の発表と討論を行った。気候という時空間スケールの大きな対象を、いかに小人数の観測体制で促していけばよいかという問題点に話題が集まり、衛星、無人観測といったハードの問題から、観測屋とモデル屋の交流、他分野との交流といった問題等、実現に向けて努力したい話題が多かった。ACRP(南極気候研究計画)が始まったが、今後、努力した話題での討論が行われることを望む。なお、東大の住氏より、「南極だけでなく北極も研究すべきである」という有益なコメントがあったことを付け加えておく。(大畑哲夫、瀬古勝基、名古屋大学水圏科学研究所)

1. 南極における水循環

瀬古勝基(名古屋大学水圏科学研究所)

南極域における水循環とは、海洋から氷床へ輸送される水蒸気、形成される雲、降水、そして積雪・氷化を経て流動し、冰山あるいは融氷となって海洋に戻る一連の過程である。この過程は、現在4000mにも達する巨大な氷床の「維持」の問題のみならず、大陸氷床の形成から消滅に至るタイムスケールの気候変動を理解する一つの鍵となる。この過程の気象学的側面だけでも

南極氷床の降雪量は何によって決まっているのか?

という問いには、様々な未解決の問題が付随している。例えば、氷床をとりまく南極環海は、低気圧活動が盛んな傾圧帯としてよく知られているが、南極域に存在する子午面循環は、氷床の存在によって強化されているはずである。子午面循環は氷床中央部で下降流のセンスを持っているため降水を抑制する効果を持っているはずであるが、その効果はいかほどか?

また、緯度方向に1000kmほど季節変化をする海水域が、傾圧帯を赤道側に移動させる効果、海面からの蒸発を抑制する効果によって降水はどれほど抑制されるのか?

これら諸問題に答えるためには、氷床域、海水域での熱、水蒸気輸送量のデータが必要なのは言うまでもなく、季節変化を理解するためには、海洋熱流量、海水の厚さ、密度等の情報も必要となる。南極域を含む南半球では、衛星データは特に有力な武器になるが、上に述べたような諸量をリセンで評価するのはかなり難しい。どうしても“現場(field)”観測が必要になるわけである。

空間スケールがglobal、時間スケールも数年以上の“気候”を“観測”するためには、次のような2つのアプローチが必要である。

① 既存データの有効利用

② key point となる諸量の短期集中観測

①において重要なのは、観測体制の維持、あるいは、衛星データの管理等、ルーチンワークにつきものの“しんどさ”が、つきまとうが、keyを効率よく発見するためにも、所詮globalではありえない現場観測にglobalな意味をもたせるためにも、①は不可欠である。

ACRPの目指す所は、南極というregionalな地域の気候を理解することではなく、南極域とglobalな気候の関わり方の解明である。従って、もう1つの極(北極)、大循環におけるさらにもう1つの極=熱帯との関係も考えねばならない。今日、“熱帯気象”なるsessionが学会には、存在し、話題のENSOの研究は、海洋、雪氷との相互作用の重要性を認識させた。それに比して“極気象”はsessionにすらなっておらず、海洋、雪氷等とはより熱帯気象の研究者との交流も極めて少なかった。

現在の南極氷床は、第3紀中ごろの Gondwana 大陸の分裂によりその誕生を迎えたという説がある。少なくとも、大陸移動は、大気海洋、雪氷系における水循環と大きく変えたに違いない。地球物理の諸学の中で最もデータに恵まれ発展してきた気象学を Gondwana に例えるならば今日までに第3紀、気候研究なる力が、“気象大陸”がかつてあった所に、海洋を呼びよせ、またある所には巨大な雪氷圏が生まれるような“人循環”の変動を期待する。

2. 気候システム(大気-海洋-海水系)における 海水の役割

住 明正(東大理)

気候システムに対する海水の役割は、非常に大きいものであると云われています。しかしながら、海水のミクロな効果は、種々議論されているように思いますが、我々、モデルに主として携わっている者にとっては、このような海水のマクロスケールに関する効果が最も知りたいものですし、このような効果こそ、今後、WCRPなどで研究してゆく事柄でしょう。

海水の役割については、次の二つの効果に大別されます。一番目は、Albedo-feed backで、氷が増えるとAlbedoが増加し、反射率が上がり、又、氷が拡張する。という過程です。二番目は、熱的な隔離効果で、極域では、氷に覆われていない海面(表面水温は、およそ $0^{\circ}\text{C}\sim-20^{\circ}\text{C}$)では、大気(気温は $-20^{\circ}\text{C}\sim-40^{\circ}\text{C}$ 位と考えられます)に対し、 $10^2\sim10^3\text{ W/m}^2$ 程度の熱輸送があるのに対し、 2 m 程度の氷が間に入ると、その輸送量は、 $10\sim20\text{ W/m}^2$ と、格段に減少します。

海水の気候システムに対する効果としては、夏の影響を冬に持ちこし、冬の影響を夏に持ちこす、というような記憶装置の役割が重要であると思います。海水が夏季に融けてしまった効果が、冬季の大気に対する加熱の増加として表われる、という過程の重要性が、Manabeにより始めて示されました。又、冬のチベット高原と、夏のモンスーンの関係など、最近のhotな話題と云って良いでしょう。このように、雪氷系というのは、半年というスケールの記憶装置になるのです。しかしながら、全球スケールでの海水の厚みが、大陸上の雪の厚さなど、分らないことが多く、今後共、このようなマクロスケールの海水の情報を手に入れてゆく必要があります。

モデルの立場から言えば、海水過程は、第一義的には海洋混合層過程と結びついています。それ故に、海水過程を正しく表現するためにも(換言すれば、海洋混合層全体の表現を良くするためにも)、海洋混合層のモデルを動かす必要があります。

最後に、海水のモデルを推進してゆくためには、結局、極域の気象学の総てが必要となります。Albedo-feed backの過程や熱輸送の過程を表現するには、雲の効果、放射の効果、実に、境界層の過程を正しく表現しなければなりません。実に、重要なことは、従来、このような過程は、一点、もしくは、狭い領域で、詳細に調べられるのが常なのですが、気候系にとっては、マクロスケ-

ルのこのような効果の表現が必要となってきます。

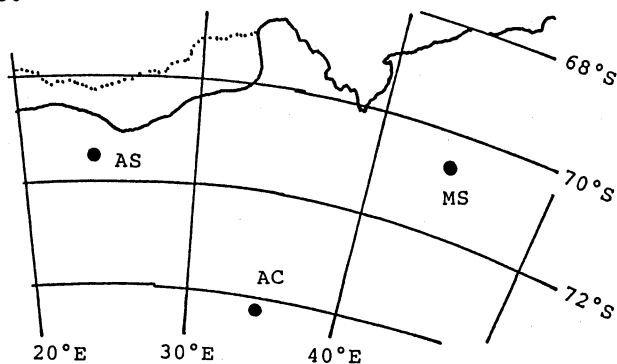
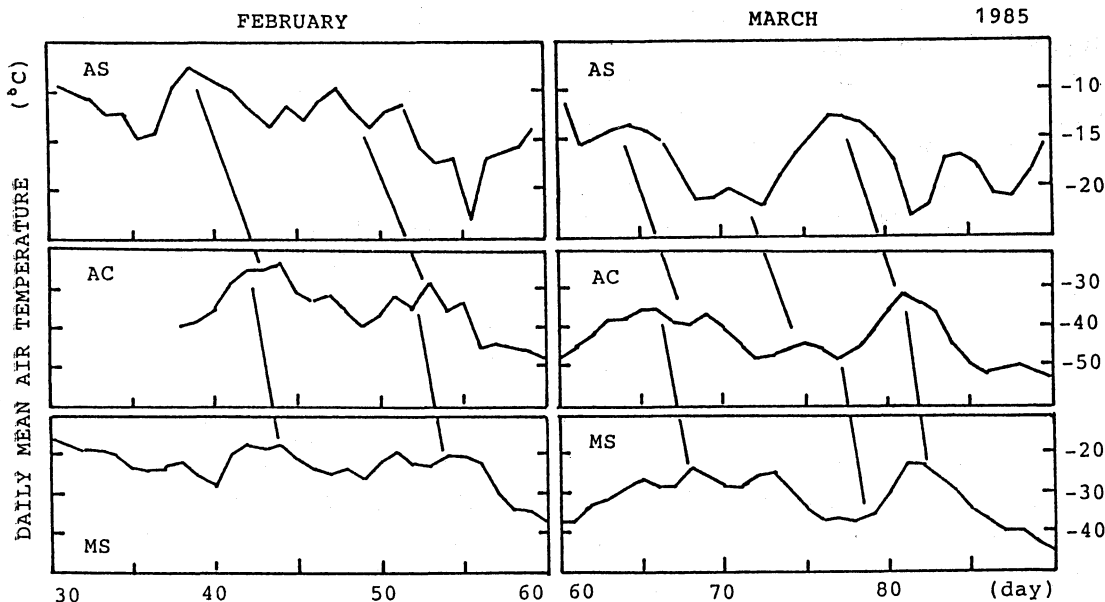
ともあれ、モデルの立場からは、大気-海洋-雪氷系の結合モデルで、正しく年変化をsimulateするというのが最も興味のあるものと云えると思います。正しく、年変化を表現出来てこそ、云々の変化も表現出来るはずですから、このためにも役に立つ情報を、観測の方から取り入れてゆく必要があります。この事は、観測系の人達と、モデルの人達との協同作業を意味します。気候を真剣に考える時には、あらゆる異分野の研究者の協同作業が不可避になります。

このような研究の体制が今後も進展してゆくことを期待しています。

3. 南極における降雪観測と無人気象観測

遠藤辰雄(北海道大学低温科学研究所)

およそ気候を決める二大因子は気温と降水量である。気温は緯度とその地域の南北方向の移流(擾乱の頻度)の影響をうけるが、最も基本になるのは、太陽と地表面と雲などによる放射収支である。これは雲の存在によって極めて敏感に左右されるので、雲と放射の関係を明らかにすることが、とりえず先決問題である。一方、降水は元来、雲と切離しては考えられないものであり、特に南極の気候環境はこの降水(主に降雪)によって地域的な気候特性がつくられていると考えられる。この降雪の研究まで含めたところが国内のWCRPとACR(P)の主な相異点である。降雪の研究は南極においても、これまで手をつけたことがあり、主に雪粒子の形状や降雪のケーススタディとか雪尺を用いた観測であったが、それらは断片的であったり、定量的に時空間の統計としてまとめられていない。気候学としては降雪量の連続観測を広域に長期間行うことが望まれる。また降雪は雨と違って、その観測技術が確立しておらず、また元来一筋縄ではいかない対象である。時として強風となることの多い昭和基地で年間を通して降雪量を欠測することなくとらえるにはセンチ波レーダなど降雪粒子を検出できるリモートセンシングの観測法だけが可能と考えられる。風が強くブリザードのあるときでも地上 100 m から 500 m ぐらいまでに浮遊している粒子は、いずれ地上に降り落ちるものと仮定しても問題がないといえるであろう。これをレーダのPPI図の形式で、たとえば半径 100 km ぐらいの円板の雪量計を置いたものとして、その中のエコーを積分することから、昭和基地とその周辺部の年間降雪量を推定することになる。昭和基地でも降



AS: ASUKA CAMP
 AC: ADVANCE CAMP
 MS: MIZUHO STATION

雪時に無風に近いことがあるであろうから、その時には集中的に Z-R 関係を調べることにして、地上降雪強度をスノーシェルター(捕捉率を上げるため)内で種々の測定法で短時間で精密な計測を行う必要がある。レーダエコーの動きに対応する測定としては、かなり速い応答性が必要であり、またその体積スケールに相当する粒子を計数するには短時間で膨大な数の粒子の解析ができるハイテクな手段が必要不可欠であるが、現在それらは技術的には可能である。

雲の広域分布を衛星から求めることからはずして、雲の放射特性観測、マイクロ波観測、垂直指向センチ波レーダ観測等で面的に一樣な雲の高度分布を調べることから南極域における雲の実態とこれらがまとまってもたらす気候学的役割を明らかにすることができる。これと

同時に降雪量の分布を PPI レーダで面的にとらえるならば、前述の垂直指向観測やリモセン観測によって得られる水蒸気と雲それに降雪の3つの相対的な関係を比較して議論が出来る。さらに部分的には特殊に開発した雲粒子ゾンデや露点ゾンデの観測が行われるならば、その実体を掘り下げて観察することが可能で気候値の正しい理解の助けとなることは言うまでもないことである。

また、これらの観測は時間的に一樣に分布するよう連続的に行われ、それがどの項目も少なくとも2年継続されることが望まれる。これによって季節内変動や年々変動が、項目間の関係が確立しなくても、おのおのの項目内で相対値として確立することが出来ると期待される。

ACR の目標は南極における大気の間年々変動と大気と

海洋の相互作用に焦点が向けられている。そのための長期間連続した気象観測が広域にわたって行われることが有効である。これは南極の場合には必然的に無人観測で行われなければならない。しかも、最短でも1か年周期の保持のできない期間にも継続して働くものであるため、そのシステムは省エネルギーであること、また加えて耐寒性の強いことが要求される。このような条件下で当面の目的に必要な、最小限の気象要素は、気温・風向・風速・気圧・日射等に限られてしまう。しかもこれらは地上付近の境界層内の観測ということになる。もちろん、南極域の観測点の数は元来少ないので、これを増して、さまざまな地域の気候値を同時に観測して、これを比較することから、質のよいきめ細やかな気候図をつくることも意義のあることである。しかし南極の気候の原因でもあり、結果である氷冠の涵養と消耗を支配している降雪を考えると、擾乱の挙動と進入の程度と頻度を定量的に評価することが重要である。このためには先に挙げた5要素程あれば現状では十分に解析できるはずである。

その参考として1985年の約1年間、「あすか」観測拠点で試験的に行った無人観測の結果と「みずほ」基地と「前進」拠点で菊地時夫によって得られた値と比較したものを図に示す。図の三地点の2月と3月の日平均気温を比べてみると、これらの時間変化の形が酷似しているのがわかる。暖気の移流とみられる気温の高まりの山が図の実線で示すようにラグ相関で対応している。図のASとAC、及びACとMSの遅れがおのおの4日と1日ぐらいになっている。これは擾乱が西から進入し、その波面が前線か谷のような直線的な形態で分布して進行して来るとして、その軸が子午線に対して約30°ほど南南西から北北東に向けて傾斜しているものと考えることによって、暖域は初めに「あすか」観測拠点に到来し、ついで4日後に「前進」拠点に、またさらに1日おくれて「みずほ」基地に及んでいるものと説明することができる。このようなスケールのわずか三点の気温の記録だけで擾乱の推移を追跡することができるので、AC期間の無人観測が、さらに何点か増やして無事長期観測が成功すれば、その成果は十分に期待される。

無人気象観測は世界各国が南極で、これまでに盛んに実施している。とくに米国の方式では-70°Cをこえる実績があり、主にカタバ風やバリエー風またフェーン現象など局地的な問題を対象として毎年何組も使用されている。我国の場合、当面の問題は、観測点を広域に展開

することにより、それぞれの地点の局地的な気候値を確立することはもちろんである。

一方、これまで、また今後も継続される昭和基地の観測値を評価する上で、その地が一般的な海岸地域の代表となるか調べることも、また特殊であれば、その位置づけをすることが一つの目的である。

また衛星画像から雲の動きを追跡し、擾乱の進入を調べる一方、これが地上にどのような形で及んでいるかを確かめ、双方の統計から擾乱の進入頻度とその強さの程度を明らかにすることが大きな役割として期待される。このため、ACR期間(1983~1991)における無人観測の展開は図の下半分の地図の黒丸で示した「あすか」観測拠点(AS)と前進拠点(AC)と「みずほ」基地(MS)に加えて、「あすか」へ入るルートの海岸域と、図の3つの黒丸のほぼ中央部の「やまと」山脈地域、これに加えて昭和基地の合計6地点の配置を陸上に計画している。これに今後、海水上及び漂流氷をそれぞれ何点か加えることにより、南極大陸平頂部から斜面地域・海岸地域と、さらに、定着氷から海水域へと至る広域の観測が連続的に行えることになるであろう。

これらは共通して衛星経由でデータが日本へ送られてくるアルゴシステムにより、その保守が毎年一回行われることで計画しているが、前進拠点(AC)だけは3か年間保守の手だてができないままで実行することになっている。また「みずほ」は無人化時代に入っても今後とも重視する方針があるので、この二点だけはC-MOSデータロガーによるバックアップを独立したセンサーにて行うことにしている。これらが順調に働き観測結果が無事得られる日が待ち遠しい限りである。

4. WCRP と南極観測 (雲と降水の研究計画)

武田喬男 (名古屋大学水圏科学研究所)

現在、南極CRPの大気の年々変動の研究計画の一環として、雲と降水の変動の観測が衛星受信、レーダ観測などにより行われているが、南極CRPとしての雲と降水の研究は始められたばかりであり、今後ますます盛んになることが期待される。南極のように条件の厳しいところの観測計画をたてる際、当然のことながら、そのような条件のもとで可能な観測を計画することが必要であり、また、観測の時間、空間スケールが現象のスケールと一致しているか、カバーできることが、観測者自身の興味という意味でも必要になることが多い。しかし、WCRPのように、時間、空間スケールの大きい現象の

研究計画を観測の立場から考えることはかなり難しい。研究計画と観測計画はしばしば混同して考えられることがあるが、勿論、研究計画がたてられた上で、観測計画がたてられるべきである。WCRPの一環としての南極観測が、今後も順調に発展していくためには、このような当り前のことがしっかりと行われることが必要であるが、南極CRPの雲と降水の観測では、観測する人間とデータ解析する人間が必ずしも同じではないため、このことは意外な位に難しい。

最近10年間の日本気象学会における極地関係の論文発表数をみると、1年間の平均論文数は全体の2.7%に過ぎない。しかも、それらの論文は、南極で越冬観測をした人が日本に帰ってきて集中的に発表したものが多い。勿論、周囲のバックアップ、討論があったから実現されたのではあるが、学会での発表論文でみる限り、南極観測は、計画作成、観測実施、データ解析、成果発表がかなり個人の寄りに依存している傾向がある。WCRPとしての南極観測においては、このような傾向は決して望ましいことではなく、広い分野の多くの研究者の討論のもとで研究が計画され、それにできる限りふさわしく準備した観測がなされ、観測者のpriorityが十分考慮された上でいろいろの立場の人によってデータ解析がなされるような体制が望ましい。これまで、そのような体制で計画はたてられてきたが、WCRPを意識する限り、さらに効果的な体制が望まれる。

雲と降水に関連した研究課題としては、水のサイクル

の一環としての雲と降水の研究は興味ある課題の一つであろう。10年後のWCRPの計画としてGlobal Energy and Water Cycle Experiment (GEWEX)が現在検討されているように、WCRPにおいて水のサイクルの研究が今後ますます重要視されていくと考えられる。地球規模の水のサイクルの中で南極をどう位置づけるかは、研究の立場により異なるであろうが、regional cycleとしての南極の水のサイクルもまた大変興味深いものであろう。たとえば、雲、降雪量の分布の変動、低気圧活動と内陸部への水の供給、海水のevolutionの水のサイクルへの影響、南極域の効率の良い降雪形成、成層圏の水のサイクルなども興味深い課題例である。

このような研究の一つのポイントは、今後ますます進展していく衛星とコンピュータの利用である。現在、水蒸気、降水量、積雪面積、その他水のサイクルに関係した衛星観測技術は大きな話題であり、それらの可能性、具体化がいろいろと検討されている。一方、将来のコンピュータの発展は、高分解能の水のサイクルの数値モデリングを可能にするであろう。また、水のサイクルの観測データは、多種多様で、分解能もばらばらの膨大なものであることが予想され、それらのdata assimilationとmanagementにはコンピュータおよびコンピュータモデルの利用が不可欠になってくる。WCRPとしての南極の雲と降水の研究計画を、水のサイクルの立場から、10年位先を考えてみて、研究体制も含めてその準備をしていくことも大事なことであろう。

京都大学超高層電波研究センター共同利用研究公募のお知らせ

当センターでは、現在昭和63年度前期(63年4月~同9月)の共同利用研究課題を公募中です。

共同利用研究の中心的設備となるMUレーダーは中層・超高層大気観測用VHF帯大型ドップラレーダーです。また、他に共同利用に供される設備としてはイオンゾンデ、二周波共用型マイクロ波レーダー、ラジオゾンデ等があります。

利用を希望される方は、下記に御問い合わせ下さい。締切りは昭和63年2月10日です。

〒611 京都府宇治市五ヶ庄

京都大学超高層電波研究センター事務局

TEL. 0774-32-3111 内線 3340