

GARP/POLEX 小委員会の報告

POLEX 計画の作成のため、GARP 分科会の中に POLEX 小委員会を設置した件については天気 Vol. 22, No. 1 に GARP 分科会の岸保幹事より報告されているが、片山昭(気象研)も委員に加わっていたが、5月20日第2回委員会を開いた。ここでは GARP 目的に沿って POLEX-SOUTH の課題について各委員より問題提起があったので報告する。

1. オゾンと二酸化炭素

関 口 理 郎*

成層圏中のオゾンの変動が気候にどのような役割りを果しているか、不明である。グローバルなオゾン分布の観測が始まったのは IGY の頃であり、まだオゾンの気候学的資料は20年に満たない。太陽活動とのかかわり合いからみても、太陽活動度の2周期もカバーしておらず、GARP-II の期間までの全世界的観測の継続が望まれている。

太陽放射の全エネルギーからみれば極めて僅かな XU 波長帯の変動は太陽周期と密接な関連を持ち、太陽放射のこの部分の変動がオゾンの光化学平衡分布に大きな影響を持つであろうことは容易に想像されよう。極地方の成層圏のオゾン分布は光化学作用の影響は極めて少なく、特に極夜の期間は全く影響を受けない。その分布は主として大気大循環の結果と考えられる。極地方のオゾン分布の変動が大陽周期と関連があるかどうかは、太陽活動度と大気大循環の関連の有無をチェックするのに有効であろう。

幸い、昭和基地では、ドブソン分光光度計によるオゾン全量の観測が過去10年間行なわれており、またオゾン

ゾンデによる鉛直分布の測定も10年間行なわれている。これらの観測を POLEX-SOUTH において継続強化することは有意義であり、さらに気象ロケットによる上部成層圏から下部中間圏のオゾン鉛直測定が実現できれば興味深い結果が期待されよう。

二酸化炭素が温室効果により気候に大きな影響を持つことは論ずるまでもないが、地球上で最も人間活動の影響の少ない極地方で二酸化炭素の変動をモニターすることが望ましい。ハワイにおける長年の測定により、年々その量が増加していることは認められているが、季節変化を極地方と熱帯地方で比較できることも期待できる。

気候変動のシミュレーション・モデルにおいても、オゾンや二酸化炭素の効果は重要な要素として組み入れられており、その意味からもデータの集積は有意義であろう。NO_x やその他の微量成分の3次元分布も人間活動の影響を監視する意味で実施したい観測種目である。N₂O などはオゾン層の光化学理論の中で重視されているが、これらの物質の量を人工発生源がなく雪面の多い南極において測定し、オゾン量との関連を求めることはオゾンの生成消滅の過程を解明するための一つの方法と考えられる。

* 札幌管区気象台

2. 放 射

田 中 正 之*

南極での放射観測、特に地上での放射収支成分の観測は、IGY 以降ソ連、米国をはじめ各国の努力によって

かなり進められて来た。しかし、それにもかかわらず、南極が放射に関しても地球上で最もデータの少ない地域であることに変わりはない。そこで POLEX (South) においては国際協力によるより充実した観測網の展開という

* 東北大学理学部

線の一つ打ち出して欲しいものである。

一方我国の national plan としては、これまで昭和基地を中心に進められて来た南極観測の強化という線で、ある程度目標を絞った研究的な観測を行なうのが現実的であろう。南極大陸は広大であり、かりに上に述べた国際協力による観測網の展開が実現したとしても、大陸とその周辺全域に亘って放射収支の詳細を知ることは困難で、気象衛星の資料や地上および高層の気象資料などを用いた間接的評価による補足や補間が不可欠である。そこでこの national plan としては、それ自体学問的に興味があることはもとより、南極全体の放射収支の評価という目的からも重要となるような項目を取り上げることが望ましい。以下にたたき台として若干の私案を述べて見よう。

雪面反射率の研究

南極大陸が北極圏を含む他地域と大きく異なる点の一つは、太陽光に対する地表面の反射率が著しく高い(80~90%)ことであり、このことが地表面の年間の放射収支を負(北極圏では正)にしている主な理由である。従来の研究により反射率は太陽高度が高くなると減り、雲量が増すと増すことなどが知られているが、定性的な議論であり、場所により季節によって異なる。反射率を支配している要因は、雪面の物理的状態(雪の粒の大きさや汚れ、融解して再結晶を起した雪面の反射率はかなり低下する)、雪面に入射する放射場の角度分布およびそのスペクトルであり、これら基礎量の関数として反射率を見直して行く必要がある。

雲と地表面の相互作用の研究

前項に述べた南極大陸表面の大きい反射率は、太陽光に対する雲の放射特性(すなわちその反射率、透過率、吸収率)に大きく影響している。これは雲も雪面も共に

太陽光に対して高い反射率を持つために、両者の間で何回も放射のやりとりが起り、その間の空間に放射の滞留が生ずることによる。この現象のために、従来中低緯度で研究されて来た雲の放射特性を南極の雲に当てはめることは困難である。すなわち、仮に雲粒の粒度分布や光学的厚さなどの物理的性質が全く同じ雲であっても、これが南極大陸上にある場合には中低緯度にある場合に比べて、多分ずっと大きい吸収率を持ち、透過率、反射率も見かけ上ずっと大きいということである。従って“南極における雲の放射特性”の研究が重要である。

なお南極においては大気中の水蒸気量が少なく、雲頂以高の気層での太陽近赤外線吸収が少ないため、雲による太陽光の吸収は中低緯度とは大きく異なることが予想され、この点も興味深い研究対象である(雲による太陽光の吸収は雲自身の吸収能もさることながら雲に入射する太陽光のスペクトルによって大きく規定されている)。また“南極における雲”それ自体の研究の重要性はもとよりである。

ヘイズ、氷晶粒子の放射特性の研究

上層のヘイズや下層の氷晶粒子などの浮遊微粒子は、可視域では南極特有の顕著な光学現象の主役であるが、エネルギー的にみると、おそらく長波放射の領域で重要になるであろう。これは南極の大気が大変乾燥しており、長波放射の吸収・放出の主役である水蒸気が少ないためである。関連して、地上での下向き長波放射が逆転層の消長によって大きく影響されていることが知られているが、この逆転層の形成と維持に放射の果す役割、あるいは逆に大気の逆転構造が長波放射に及ぼす効果もまだ十分には解明されていない。これらの問題を長波放射として取り上げる必要があろう。

3. 雲物理とエアロゾル

駒 林

誠*

南極の特殊性を生かした雲物理とエアロゾル関係の観測テーマとして、以下に述べる項目がありうるのではなからうか。

1. 雲の高度分布の測定

雲底、雲頂の高度をレーザー・レーダーまたはパルス

方式のシーロメーターを使って地上から観測する。南極の雲は光学的厚さが薄いから、三層ないし四層の雲が重なっている場合にも測定できると思われる。

2. エアロゾル濃度と雲の光学的厚さとの関係の研究

エアロゾルが少ないときは雲粒の個数が少なく光学的に透明に近い雲が生じ、反対にエアロゾルが多いときは雲が不透明になると考えられる。その関係を実測によ

* 気象大学校

て定量的にとらえる。

3. 雲の水平分布と南極高気圧との関係

大きい高気圧は上部でいくつかのセルに分裂しており、そのセルとセルの境界に絹雲が発生するという学説がある (Sadler, 1963)。南極には低高度に絹雲が生ずるといわれているが、その水平分布と高気圧の関係を調べる。

4. 高い煙霧層の高度の測定

北極にも南極にも、対流圏上部に紫色の煙霧層があり、high level haze layer と呼ばれている。レーザー・レーダーでこの層の発生、高度、時間変化、消滅を調べ、極夜にもあるかどうか、大規模上昇流沈降流との関係はどうか、日光による光化学反応が生成維持に必要かどうかを研究する。

5. 氷晶核、凝結核、不活性粒子の絶対濃度ならびに相対濃度比率の測定

北半球の水爆実験で生じたストロンチウム90はあまり南極の雪をとかした水の中に含まれていなかった。一方、北半球工業地帯の煙突から出るヒ素の粒子が南極の雪の中に含まれている (金森悟, 菅原健, 1965)。このように、赤道をこえて南極へまで行ける物質と行かない物質があるのはなぜかを考えることを目的にして、氷晶核として活性、凝結核として活性、いずれにも不活性の3種類にわけて、粒子の個数を測定するとともに物質を採取する。

6. 硫酸アンモニウム系の大核の有無の研究

凝結核には小核、大核、巨大核がある。大核 large nuclei には、燃焼生成核の他に、成層圏下部でアンモニ

アと亜硫酸ガスが紫外線、オゾン、水蒸気の影響のもとに形成されると推定される硫酸アンモニウム、硫酸水素アンモニウム粒子があって、全球的に分布しているとする考えがある。これが真に自然起源の核か、人間活動起源が影響するか、極夜にもあるかを南極で調べる。硫酸アンモニウム系の大核は揮発性が強く、寿命数時間のオーダーで発生消滅をくり返しているといわれるが、極夜にも存在することがわかれば、その形成機構の研究に新しい視点を加えることになる。

7. ice-crystal aerosol 表面が大気中気体反応に反応面を提供するかどうかの研究

南極では氷晶はダストとみられ、ice-crystal aerosol と呼ばれることがある。硫化水素、亜硫酸ガスが酸化されて硫酸へ変化する気体反応や、通常の粘土鉱物が活性の高い二次氷晶核へ変化する固体反応など、水が何らかの形で関与すると予想される化学反応がある。地球上でもっとも夾雑物の少ない南極空気中で、氷晶が融媒や反応面として働くかどうかを、氷晶個数、気体濃度比の関係から調べる。

文 献

- Kanamori, S. and K. Sugawara, 1965: Geochemical study of arsenic in natural waters. I. Arsenic in rain and snow. *J. Earth Sci. Nagoya Univ.*, 13, 23-35.
- Sadler, J. S., 1963: Utilization of meteorological Satellite cloud data in tropical meteorology. *Proc. First Intern. Symposium on Rocket and Satellite Meteorology.* p. 333-335.

4. 降 水 現 象

樋 口 敬 二*

POLEX-GARP (North & South) 計画の主要課題には、climate dynamics の基礎をつくることがあげられている。そこで、気候変化という観点から、極地における降水現象の問題点について考えてみたい。

まず、気候変化の過程において極地の果す役割を考える場合、放射が重要であるが、降水現象は二つの点で放射に関係している。第一は、降水粒子による散乱の効果である。この問題を研究するには、降水粒子の数、大き

さとともに、その形の観測が重要である。菊地 (1974, 1975) が報告しているように、極地の降水粒子の形は、多様であり、それらの散乱特性の解明がこれからの課題であろう。

第二は降水粒子の成長に対する放射冷却の効果である。樋口 (1969) の概算によると、成長過程における昇華の潜熱の放散に放射冷却が関与するとすれば、氷晶はまわりの空気が未飽和でも成長し得ることになり、放射冷却は氷晶が成長する気層の厚さを増加させる効果をもつ。これによって降水効率は増すが、一方、さきあげ

* 名古屋大学水圏科学研究所

た降水粒子の散乱を考える場合にも関係してくる問題である。南極においては、晴天降雪 (Clear Sky Precipitation) が特徴的現象としてあげられているが、夜間においてはその形成に放射冷却が関与している可能性がある。

また、降水に近い現象として、南極の内陸においては水蒸気の雪面への直接凝結が起っており、降水量に比して量的にも無視できない (樋口, 1974) とともに、雪面のアルベドを変化させる点で、放射と関連をもっている。

以上は気候変化の過程において降水現象が果たす役割について考えてみたわけであるが、気候変化に際して降水現象は他の気象要素とどのような関連において変化しているか、を知ることは、Climate dynamics を考える上で重要である。

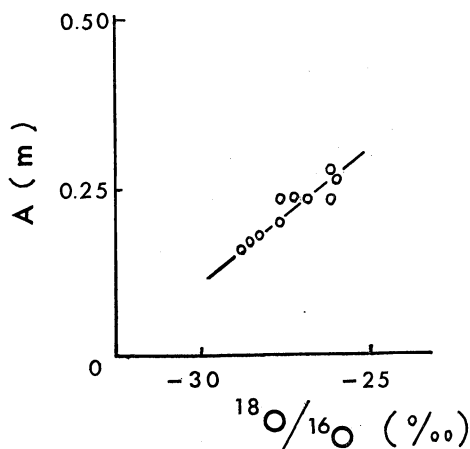
たとえば、気温が低いような気候状態の時に、降水量は多いのか、少ないのか、といった問題である。

そこで、極地についてこの問題を考える手がかりとして、グリーンランド氷床における深層堀削によって得られた氷試料の解析結果にもとづいて、考察を試みた。

もちいたデータは、Johnsen ほか (1972) の解析結果で、グリーンランドのキャンプ・センチュリーで得られた氷試料中に含まれる酸素同位体の量の季節変化を、過去 8,300 年前まで明らかにしたものである。この場合、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比は標準海水からの偏差であらわしてあるが、実測によれば夏にその偏差が小さく、冬に大きいという季節変化を示す。そこで、氷試料の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比の周期的変動によって氷の年層が決定でき、グリーンランド氷床の表面から底までの氷柱について年代決定が可能となった。

この解析結果について、Johnsen らは、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比を単純に温度スケールとみることの危険性を指摘しているが、いろいろな過程によってこの比が表面堆積の当時から変化するとしても、数年ていどの期間内にはその変化は同じであると仮定すれば、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比によって数年ていどの期間のなかでの温度の年による違いを論ずるのも、一つの試みとして許されると思われる。

Johnsen らの論文には、過去 0~5 年, 15~21 年, 280年, 1800年, 3300年, 6500年 といった年の氷試料の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比の値が 10 年前後にわたって示されているので、このグラフから夏の期間を示す $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比のピークの値を読みとり、それに対応する年の氷の年層の厚さとして冬のピーク値から次の冬のピーク値までの間の氷層



第1図 グリーンランドの氷試料の酸素同位体比 ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) と年間涵養量 (A, 氷の厚さ, m). $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比は、標準海水からの偏差で示されており、この図に示したのは、夏季のピークの値であり、偏差の小さいほど、すなわち軸の右ほど、温度の高い状態に対応する。年間涵養量は、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比の冬季のピーク値から次の冬季のピーク値までの間の氷層の厚さである。ここに示したのは、今から1800年前の10年間の値であり、温度が高いほど降水量が多い傾向を示している。

の厚さを測り、両者の関係をもとめた。それぞれの年代について10年前後の期間の比較になるが、一例を第1図に示すように、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比が偏差として小さく温度が高いと思われる年に年降水量に対応する年間涵養量が大きくなっている。この図は、1800年前の10年間に関するものであるが、他の場合にも、似た傾向がみとめられた。

したがって、グリーンランド内陸においては、夏期の気温と年降水量は正の相関をもつように気候変化が起っている可能性がある。

もっとも、さきに述べたように、この結論を得る過程には大きな仮定がはいっているので確言はできないが、極地における降水現象を気候変化という観点から考える試みの一つとして紹介したわけである。

と同時に、このような論議を可能にしたのは、大陸氷床の深層堀削とその試料解析の結果である点から考えて、気候変化を課題とする POLEX-South 計画において深層堀削は重要な役割を果たすと思われるので、日本の計画においても重点が置かれることを希望しておきたい。

文 献

Higuchi, K., 1969: Growth of ice crystals under radiative cooling, *J. Met. Soc. Japan*, 47, 446-450.

樋口敬二, 1974: 南極内陸における雪面凝結の量的見積り, 日本気象学会1974年度秋季大会, 講演予稿集, 156.

Johnsen, S. J. et al., 1972: Oxygen isotope profiles through the Antarctic and Greenland ice sheets. *Nature*, 235, 429-434.

菊地勝弘, 1974: 南極昭和基地における雲物理学的研究, *天気*, 27, 496-506.

菊地勝弘, Hogan, A.W., 1975: 夏季の南極点における氷晶の観測, 日本気象学会1975年度春季大会, 講演予稿集, 89.

5. 逆 転 層

川 口 貞 男*

南極大陸の気象現象で、最も特徴的なことは、温度の地表付近での逆転とそれに伴って生ずる斜面下降風(Katabatic wind)である。内陸部では、夏期の12、1月を除いて強い逆転層が持続し、沿岸域においても、その形成と低気圧の進入による破壊がくり返される。内陸部における逆転の強さは、20°Cを越え、その深さは冬期に最大となり300m~800mといわれている。内陸部でのこれらの観測は、極点、ポストークなど2、3の基地でなされているが、十分でない。小林(1975)は昭和基地から250km程、内陸に入った「みずほキャンプ」で数回のラジオゾンデ観測を行ない、逆転層より上の状態曲線はほとんど昭和基地のものと同じしている事を示したが、この事は、極冠高気圧といわれているものが、逆転層付近から下層の現象であり、極冠高気圧の構造、生成の問題は、逆転層とそれに伴う現象に関する問題におき換える事が出来る事を示唆している。この強い逆転層はもちろん放射冷却によって形成される事はいうまでもない。短い夏を過ぎると放射収支は負となり、4月頃には既に強い逆転層ができるが、その後地表付近の温度はあまり下がらず、逆転層は深くなるが、強くならない。これは地表からの放射と逆転層上部付近の気温の高い層からの下向き放射とが平衡状態になるものと考えられ、これが、coreless winterと呼ばれるU字形の年間気温推移の原因の一つとされている。

逆転層より下の冷却された気塊は大陸の斜面に沿って、内陸部から周辺部に向かって吹き出している。この風は周辺部の傾斜の大きい斜面では、Ball(1957, 1960)の理論と合致するいわゆるKatabatic Windとなるが、もっと中心部に近い傾斜のゆるい地域では、一様な厚さ

の逆転層によって、斜面の等高線と直角方向に生ずる気圧の水平方向の傾度によるいわゆるInversion Windと呼ばれるものであるが、通常両方を含んでKatabatic Windと呼んでいる。逆転層の上では、この風の補償流(Compensate Current)として沿岸から内陸に向う風系があり、低緯度から高緯度への潜熱、顕熱の移送が行われる。これらの過程は低気圧の径路とも関係しており、総観場とも関連づけて調べられるべきである。またKatabatic Windは地ふぶきを起し、氷床の質量収支に関与し、さらに氷床の表面形態の形成に関与している。一方氷床の表面状態は、日射のアルベドを左右し、地ふぶきは、日射の散乱や長波長放射に関与し、ともに放射収支に影響する。また逆転面付近での補償流との混合過程の研究は、晴天降水と関連して重要である。

これらの物理過程の研究と同時に、この風の時間的、空間的変動の観測は内陸の熱収支、水収支の研究にとって重要となる。またこの風は周辺の海水域ではポリニア、リードの形成に関与し、海水面域では雲の発生を促がし、この域の熱収支にも重要な意味をもっている。

逆転層は、放射冷却による超安定な気層であるが、氷床面との間の顕熱、潜熱の交換過程は、昇華による氷晶の蓄積の問題を含めて興味ある課題である。

文 献

Ball, F.K., 1957: The katabatic winds of Adelie Land and King George V Land, *Tellus*, 9: 201-209.

Ball, F.K., 1960: Winds on the ice slopes of Antarctica. *Proc. Symp. Antarctic Meteorol.*, Melbourne, 1959, pp. 9-16.

小林俊一, 1975: 第14次南極地域観測に参加して, *天気*, 22, 3-7.

* 国立極地研究所

6. 大陸氷床・氷河

石 田 完*

氷床・氷河と気候との関係には二つの面がある。一つは氷床・氷河に及ぼす気候の影響、すなわち氷河流動の力学と機構の問題であり、他は気候に及ぼす氷河の影響であって、気象学・海洋学の問題である。

雪氷学的研究ではまず前者の問題をとり上げたい。それは氷河がきわめて敏感な気候変動の指標だからである。ごく僅かな気候変動が氷河のかなりな前進・後退をひきおこし、次々におこる氷河の前進・後退によって、過去の気候変動が氷河末端付近にさまざまな様相として記録されている。この記録を読みとって、過去の気候変動をさぐりだす方法と手段とがわれわれの研究課題となる。

基盤の傾斜がゆるやかに変わっており、氷厚の変化もなめらかで、氷河全長の中央部から上流は一樣な蓄積域、下流は一樣な消耗域であるような理想的氷河を考えて見る。もし上流側の蓄積量と下流側の消耗量が等しければ氷河は定常状態になっているが、気候が急変して蓄積量、あるいは消耗量が急に増えたとする、その変動はいわゆるキネマチック波として上流から下流に伝播する。この波の速度は氷の流動速度の約4倍となる。いま蓄積域で一樣に単位時間に厚さ a だけ積雪量が増加したとすると、蓄積域では氷厚の増加量は時間と共に $(a/\epsilon)\{(1-\exp(-\epsilon t))\}$ と次第に最終値 a/ϵ に近づくが、消耗域では $(a/\epsilon)\{(\exp(\epsilon t)-1)\}$ と指数函数的に増大する。ここで ϵ は氷河の反応時間の逆数であって氷河の流下方向の歪速度（縦歪速度）の約4倍である。積雪量が増加しはじめてからちょうど反応時間後には、キネマチック波は氷河末端から氷河全長の約20%上流に達し、その点の氷厚増加量は蓄積域氷厚増加量の e 倍となる。以上の結果は氷河末端の位置を固定しての話であるが、実際には末端での氷厚増加は末端の前進となって現われる。一例として氷河末端での消耗量が 1 m/yr 、蓄積域での積雪量増加が一樣に 0.1 m/yr とすると、末端は氷河全長の10%だけ前進することとなる。このように氷河は僅かな質量収支の変化に対して大きな反応を示すのである。

* 北海道大学低温科学研究所

ところで氷河の反応時間は個々で非常に異なる。典型的な谷氷河では2.5~25年であるし、大陸氷床では2500年程度である。これを知るには氷床・氷河の縦歪速度を知らねばならない。そこでストレイン・グリッドによる歪量測定、流動速度の測定が必要となる。また大陸氷床の基盤は決してなめらかなものではないから、その形状を知るための氷厚測定、精密な表面高度の測定は欠かせない。気候変動を最も敏感に反映する氷床周辺部、氷河末端部の測量は最も重要である。流動則の基本的なパラメータとなる氷温、密度の垂直分布の測定も欠かせない。これにはコア・ボーリングが用いられるであろうが、大陸氷床100mのボーリング・コアには約2,000年以前までの積雪が保存されている。氷床表面での蓄積量、消耗量の測定では季節変動・年変動を知ることができるが、長期変動に関しては地球化学、氷物性物理学の立場からのコア解析はその情報が直接、過去の気候変動を反映するものとして近年非常に重要視されている。またボーリング孔の変形の測定からは氷の流動速度の垂直分布を知ることができよう。

以上ようするに氷床・氷河についての多年度にわたる組織的な雪氷学的一般観測がすべて気候変動追及えの手がかりとなる。紙面の都合上、個々の観測方法・手段を詳述することはできないが、能率よく正確なデータを得るためには最新の技術を取り入れる必要があろう。航空機によるリモート・センシング (radio-echo sounding, side-looking rada, multi-band camera 等)、人工衛星による位置決定、ボーリング技術、斜抗掘削、drop-sonde 等、またコア解析については、同位元素分析、微量成分分析、結晶方位自動解析等の実験室内解析体制も確立しなければならない。

文 献

- Nye, J.F., 1960: The response of glaciers and ice-sheets to seasonal and climatic changes, Proc. Roy. Soc. A, 256, 559-584.
若浜五郎, 1975: 氷の物性と氷河の流動とくに氷河サージと気候変動に関連して, 地質学雑誌, 81, 127-141.

7. 海 氷

楠 宏*

GARP の一環としての POLEX (Polar Experiment) において海氷は大きな役割を持っている。大気と海洋の相互作用の観測を主目的とする POLEX において、大気と海洋との間の特異な固体境界層としての海氷を無視できない。海氷は南北両極域に見られるが、ここでは主に南極を考える。何故ならば、1979年の FGGE (First GARP Global Experiment) を中心に実施予定の POLEX にわが国が参加するとすれば、南極観測隊という既存の組織のある、南極での観測の方が実現性が大きいからである。

南極の海氷域は三大洋の底層水の生成域ということで、昔から海洋学者の注目をあびてきた。このような海氷域は平均氷厚 2,000 m の南極氷床 (面積 $15 \times 10^6 \text{ km}^2$) の四周に発達する。その厚さは平均 1.5 m, 夏には $5 \times 10^6 \text{ km}^2$, 冬には $20 \times 10^6 \text{ km}^2$ となる。すなわち, “white radiator (albedo 0.7~0.8)” としての氷域は最大 $35 \times 10^6 \text{ km}^2$ にも達する。(ちなみに、北極では平均 3.5 m の海水が夏に $9 \sim 14 \times 10^6 \text{ km}^2$, 冬 $12 \sim 16 \times 10^6 \text{ km}^2$, 北氷洋の面積は $14 \times 10^6 \text{ km}^2$)。地球全体として、赤道から極の冷源への熱の流れ (negative feedback) のあるなかで、氷域では positive feedback が考えられる。気温の低下は氷域を拡大し、太陽放射を反射し (white radiator), 温度低下をますます促進する。このような海氷域の面積や氷縁位置の観測は大気・(海)氷・海洋の3者の結合モデルを考え、予報をして行く上に重要である。もとより、上述の positive feedback といっても、複雑な気候変動のからくりの一環に過ぎず、そう簡単にいえるものではない。むしろ、今次の POLEX によってこれらを観測し、気候変動の物理的基礎 (GARP の第2目的) を明らかにしようとするものである。

海氷の他の特異性に、大気と海洋間の相互作用の

“moderator (緩和体)” としての働きがある。海氷域では開水域に比べ、運動量や熱量の交換が $10^{-1} \sim 10^{-2}$ に減ずる。逆に海氷域に1%の開水面が生ずると、そこでの大気への熱放出量は全海氷域からの量に匹敵する。このため、海氷域の小・中規模 ($10 \sim 10^5 \text{ m}$) での力学的・熱学的性質の観測が必要となる。

南極の海氷は南極氷床や棚氷とともに氷圏 (cryosphere) を形成する。とくに、white radiator としては単に海氷のみでは不十分である。このような広範囲の氷圏に対しては近年発達しつつある人工衛星技術の活用が最も有効となる。人工衛星の観測は地上、船舶、航空機による ground truth となる観測と相俟って有効となる。氷域の発達、移動、変形とともに季節変化、年変化を捉える。これは GARP の第1目的 (天気予報)、第2目的 (気候変動) にとって必要である。

海氷の小・中規模のスケールでの観測は、上述の group truth に関係した観測ともからみ、マクロスケールの観測と同時に必要である。とくに短期間の氷状変化を知ることは、数値モデルや天気予報の際の parametrization にとって欠くことができない。同時に海氷の内部的性質、海水下の海洋構造の観測も必要となる。

技術的に問題は多いが、自動漂流ブイ (気温、気圧、水温、風向、風速) を南極周辺に約 400 個分布させようという試みがある。とくに氷域内での観測値が望まれる。北極で実施されているように海氷が氷山に漂流観測所 (無人、有人) を設けたり、AIDJEX (Arctic Ice Dynamics Joint Experiment) の南極版をという話もある。

峻烈な南極の自然環境をふまえて、最も効果のあがる実行計画—とくにわが国にとって—の検討には、まだ若干の日時を必要としている。とくに設営面 (logistics capability) での検討が必要である。

* 国立極地研究所

8. 海 洋

高 野 健 三*

海水の大循環によって熱は低緯度から高緯度に運ばれる。その量は、かつては大気が運ぶ熱量よりもかなり小さいと考えられていたが (Budyko, 1963), 人工衛星の観測にもとづく最近の研究によると、海水が運ぶ熱量はおおよそ大気なみであり (Vonder Haar ほか 1973), 熱輸送の面での海洋の重要性は大きくなった。

海水の熱輸送にはつぎの3つの型がある。

(i) (鉛直) 子午面大循環によるもの (表層では暖かい水が高緯度に向かい、深層では冷たい水が低緯度に向かって流れるため、熱は差引き高緯度に運ばれることになる), (ii) 渦水平大循環によるもの (たとえば大太平洋では西部で暖かい黒潮が北上し、中央部と東部では冷たい水が南下してくるため、熱は差引き北へ運ばれることになる), (iii) 渦動拡散によるもの (水温が高い低緯度から水温が低い高緯度に熱が拡散されてゆく)。このうち、(i) の子午面大循環によるものももっとも大きい (Bryan 1962, Bryan ほか, 1975, Takano ほか 1974)。したがって、子午面大循環は、長い時間規模での気候変化にたいせつな意味をもつ。この子午面大循環を駆動するのは、北大西洋北西部と南極海、とくに Weddell Sea と Ross Sea での大規模な海水沈降である。この沈降によって世界中の海の深層水、底層水が作られる。

そこで、南極海でどのようにしてどのくらいの量の底層水が作られるか、また作られた底層水はどのように世界中の海にひろがってゆくかということを調べる必要があるが、南極海の観測は、海況の悪さ、北半球諸国から遠くはなれていることのほか、対象海域が氷でおおわれることもある (氷の下の海水の状況を観測することはむずかしい) という不利な条件が重なるため、私たちの知識は今日でもなお貧弱である。たとえば、表層で重い水——深層まで沈降できるほどの重い水——が作られるしくみについてはいろいろな説 (Fofonoff 1956, Seabrooke ほか 1971, Gordon 1971, Gill ほか 1969, Gill 1973, Foster 1972) があるが真相は不明である。

いずれにしても、海の氷が重い水の形成に何らかの働きをしていることはたしかであろう。海水が氷になるとき、海水の塩分の大部分は氷の中に取りこまれないた

め、まわりの海水の塩分は高くなり、密度が大きくなるからである。極海では水温が氷点 (-2°C くらい) に近く、海水の熱膨張係数は非常に小さくなるため、海水の密度は、中緯度や低緯度とはちがって、水温よりも塩分に強く支配されている。

また、氷は、海洋と大気間の運動量、熱量、塩分、質量の交換にも大きなかわりをもつので、水と氷を含む表層混合層の研究が望まれる。

沈降した水は、南極環流の影響を受けながら北へ流れてゆく。南極環流は世界最長の海流であるが、その実態はあいまいである。流量の点でも世界最大 ($\approx 200 \times 10^{12}$ gm/sec [Reid ほか 1971], 黒潮は 50×10^{12} gm/sec くらい) といわれるが、Drake Passage (南アメリカ大陸と南極大陸の間の海峡) でのその流量 (Drake Passage での流量測定は、現在進行中のアメリカ ISOS の主要課題である) は、ほぼ0であるという観測結果もある。

南極環流は、太平洋、大西洋、印度洋をむすぶ大きな環だから、これらの大洋の間での物質交換はこの環流の強さに依存している。

文 献

- Bryan, K., 1962: Measurements of meridional heat transport by ocean currents. *J. Geophys. Res.*, 67, 3403-3414.
- Bryan, K., S. Manabe, and R. C. Pacanowski, 1975: A global ocean-atmosphere climate model. Part II. The ocean circulation. *J. Phys. Oceanog.*, 5, 30-46.
- Budyko, M.I., 1963: The heat budget of the Earth. Hydrometeorological Publishing House, Leningrad, 69 pp.
- Fofonoff, N.P., 1956: Some properties of sea water influencing the formation of Antarctic Bottom Water. *Deep-Sea Res.*, 4, 32-35.
- Foster, T.D., 1972: An analysis of the cabbeling instability in sea water. *J. Phys. Oceanog.*, 2, 294-301.
- Gill, A.E. and J.S. Turner, 1969: Some new ideas about the formation of Antarctic Bottom Water. *Nature*, 224, 1287-1288.
- Gill, A.E., 1973: Circulation and bottom water production in the Weddell Sea. *Deep-Sea Res.*, 20, 111-140.

* 理化学研究所

- Gordon, A. L., 1971: Comment on the Weddell Sea produced Antarctic Bottom Water. *J. Geophys. Res.*, 76, 5913-5914.
- Reid, J. L. and W. D. Nowlin, 1971: Transport of water through the Drake Passage. *Deep-Sea Res.*, 18, 51-64.
- Seabrooke, J. M., G. L. Hufford and R. B. Elder, 1971: Formation of Antarctic Bottom Water in the Weddell Sea. *J. Geophys. Res.*, 76, 2164-

2178.

- Takano, K., Y. Mintz and Y. J. Han, 1974: Numerical simulation of the seasonally varying baroclinic world ocean circulation. unpublished.
- Vonder Haar, T. H. and A. H. Oort, 1973: New estimates of annual poleward energy transport by Northern Hemisphere oceans. *J. Phys. Oceanog.*, 3, 169-172.

9. 数値モデリング

片 山

昭*

地球の両極地域は放射収支の冷源であり、熱帯の熱エネルギー生成と対応して、大気大循環の維持に支配的な役割を果たしている。ところで、この両地域の地形分布が全く逆である事は注目すべき特徴である。北極地域は海水でおおわれた海洋を陸地が取りまいてのに対し、南極地方は4,000mにも達する氷床でおおわれた大陸を海洋が囲んでいる。そのため、同じ冷源であっても、それを維持する物理過程も異なっているであろうし、また全球的な大循環の変動との相互作用も自ら異なっていると考えられる。

POLEX-South に対する数値モデリングで考慮すべき問題を便宜上、局地モデルと大規模循環モデルに分けて述べる事にする。ただし、筆者の専門外の海洋、雲物理、氷雪独自に関係する数値モデルについて、ここでは触れない。

1. 局地モデルによる実験

南極地域の特殊な現象の解明と総合大循環モデルへのパラメタリゼーションに必要な情報を提供する数値実験として次のものが考えられる。

(i) 接地逆転層の数値実験……南極大陸内に観測される接地逆転層の生成・維持・消滅のシミュレーションが焦点になる。空氷相互作用、非常に安定な境界層内の乱流輸送の評価、放射およびそれに対する氷晶雲の効果を含めた1次元数値モデルをつくる必要がある。

(ii) カタバ風の数値実験……南極大陸の急斜面上の各所で頻繁に起こるカタバ風とその上空に生ずる補償流は、snow mass や熱の収支に重要な役割を占めると推定されている。それが真実ならば大循環モデルにもその効果を導入しなければならぬ。そのため、snow drift, 晴

天氷晶降水の問題も含めて種々の面からカタバ風の数値実験を行う必要がある。しかし、大気の総観的じょう乱と関係をもつと考えられるカタバ風の急激な開始の再現は、局所モデルでは無理かもしれない。

(iii) 海水 (pack ice) の数値実験……海水の存在は海空相互作用に決定的な変化をもたらすため、南極大陸をとりまく海水の面積の増減は南極領域の熱収支の変動の最大要因になり得ると考えられる。相互作用の一環として海水変化を大循環モデルに導入するため、数値実験を通じて海水の生成・消滅のシミュレーションを行い適切な海水モデルを追求する事は重要な課題である。これと同時に、熱交換に大きな効果をもつ海水中に存在する開水域 (leads polynyas) の面積をいかにパラメタライズするかの研究も重要である。

2. 大規模循環モデルによる実験

南極地域と他領域の循環との相互作用を知るためには、数値モデルの積分範囲を時間スケールに応じて半球あるいは全球に拡大する必要がある。モデルの形態としては次のものが考えられる。

(i) 帯状平均モデル (A)……気温、風速、湿度などの帯状平均量のみを予報量とする2次元大循環モデル (緯度・高度座標) で、計算時間が僅かですむため、気候に対する種々の外因的因子の sensitivity の研究に最近よく用いられるようになった。しかし、じょう乱による熱や運動量の輸送量のパラメタリゼーションに多くの問題がまだ残されている。

(ii) 全球3次元大循環モデル (B)……本格的で最も望ましい大循環モデルである。しかし、この数値実験のためには超大型計算機の十分な使用が前提となる。また現在動いているこの種モデルのすべては、緯度・経度に基づく格子点網でおおう球面座標系を用いているため、

* 気象研究所

両極は特異点となり、その影響で極地域の循環のシミュレーションはそれ程よくない。何等かの改善の努力が必要である。

(iii) 極冠 (polar cap) 大気モデル (C)……積分領域の中心に極を置いた3次元大気モデルで、極地域の循環のシミュレーションに適している。しかし範囲を半球以上に拡大するのは投影的に無理を生ずるため、1カ月以上の長期変動の研究には適さない。

以上のモデルには、海-空-地-氷相互作用、境界層の乱流輸送、放射過程、降水活動、雲などの効果を導入する必要があり、南極の特殊事情に適合したパラメタリゼーション(特に降水や雲について)の研究が強く要望される。さらに南極を対象とする以上、南極大陸の高度分布を与えると共に、少なくとも接地逆転層を記述できる事が必要である。これ等モデルを用いての数値実験の方向としては(括弧内は用いべきモデル)：

(i) 大陸氷床の効果 (C)……数値実験を通じて、高く傾斜を持った大陸氷床が南半球の大気大循環に及ぼす力学効果をしらべる。カタバ風の突発、急止の振舞が

大規模じょう乱との関連において再現する事も対象となる。

(ii) 季節変化のシミュレーション (A, B)……海水や水温分布を与えて南極領域の季節変化を再現する。特に coreless winter の再現に興味がある。

(iii) sensitivity の数値実験 (A, B)……海水分布、雲量分布や氷面のアルベートの値等を種々変る事による熱収支の変化と大気大循環への反応をしらべる。

3. 気候モデル

上述の研究に対応して、南極領域の海洋循環を対象とした数値モデルの開発と、海水の生成・消滅やその運動を十分よく記述し得る海水モデルの開発が進められねばならない。この基盤に立って始めて大気、海洋および海水の数値モデルをカップルさせた結合大循環モデル(気候モデル)の作製が可能になり、本格的な気候および気候変動の数値実験がスタートする。かかる気候モデルの完成が POLEX を含む GARP の最終目標であり、その達成のためには、長期間にわたる努力が要求される。

会員の広場

ポプラの種子

4月から札幌生活をはじめたばかりであるが、6月に入ったある日、气象台付近を綿くず状のものが舞い飛んでいるのが気がついた。この綿くず、テニスでボールを打とうとする鼻先を横切るは、開いた宿舎の窓から入り込んで、畳の上を転げ廻った末に隅の方にたまるは、という始末。タンポポの種子かとも思ったが形が違ふ。特に、人に問うこともしないでしたが、数日後北3条西19丁目のポプラの老木の下を通過してその正体をつきとめることができた。なんとそれはポプラの種子であった。

札幌は北大のポプラ並木に象徴されるごとくポプラの木が多い。街を歩いていると、はっと驚くような木大のあるのによく気がつく。ポプラにはオスの木とメスの木がある。枝が幹から広がらずに、上に向ってほうき状に

なっているのがオス、枝が横にも伸びているのがメスという。北3西19のポプラはメスで、多量の種子をまき散らしていたわけである。

そのうち今度は綿くずが異常に少なくなる日のあるのに気がついた。昨日まであんなに飛んでいたのに、今日は全く飛ばない。綿くずの飛ぶのはもう終りかと思っていると、2、3日して再び激しく舞い飛ぶのである。

解ってしまえばなんでもないこと、実は天気に関係していた。天気が悪くなると、というより湿度が高くなると綿くずは飛ばないが、乾燥してくると微風に乗って乱舞するというわけである。

あとで関口技術部長から聞くところによると、岡山ではこのポプラの種子に苦情が集まり、ポプラにホースで水をかけて綿くずを落とし、飛び廻らないようにしているとのことである。ポプラは寒冷地向きの樹木であるが岡山でもかなり多いのでしょうか。ちなみに今年はポプラの種子の飛ぶのが例年より多かったとのことである。

(札幌管区気象台 三宅賢)