



極地気象学

2. 南極

福谷 博*

1. はじめに

南極地域の気象について正確なデータが得られるようになったのは、今世紀に入ってからのことである。その初期のうち、各国探険隊の越冬記録や内陸旅行での気象観測記録等が断片的に残されているが、その中でも、スコット探険隊(1910-1913)に参加した Simpson (1919) による気象観測は、南極における初めての系統だった観測として高く評価されている。

その後、第2次世界大戦前後は、アメリカの活動が盛んとなり、また1949年から1952年にかけて、ノルウェー、イギリス、スウェーデンの3国が共同して行なった観測は、地上、高層の観測を始めとし、放射収支や熱収支に関する研究で成果を上げた (Liljequist, 1953)。

しかし、何といっても南極地域の各種気象状態についての解明を飛躍的に進めたのは、国際的に組織立った観測が行なわれるようになった IGY (1956-1957) 以降のことと言えよう。

IGY 以後は、日本も含めて約10カ国が約30の観測地点に毎年越冬隊を送り込み、定期的に気象観測を行なっている。しかし、南極大陸だけについてみても、日本の約37倍程度の面積があるので、観測点の分布はまだまだ粗い。南極地域として、南緯55度以南を考えるならば、大陸を取り囲む海洋があってなおさらのことである。最近では、気象衛星による観測が、これらの空白を補う役目を果たしてきているが、資料の利用面では、今一步の感が深い。

現在は、GARP の一環としてのサブプログラム POLEX が進行中である。この計画は、極地方の気象観測をさらに組織的に推進し、極気象を解明しようというものであるが、特に南極地域では、観測網、通信網の拡充が含まれている。本計画が成功すれば、同地域の資料

交換や、その利活用が一層スムーズに行なわれるようになることが期待されると同時に、極地気象に関する新しい成果が待たれるところである。

本講座では、主として IGY 以後の成果を取り上げることになるが、始めにガイダンスとして、南極地域の気象や気候全般についてまとめられたものを、次いで各分野に分けていくつかの文献を紹介する。

なお、南極に関する論文は、各国のジャーナルに時折みられるが、全体的にしめる割合は少ないし、北半球に住む我々からみると、あまりなじみがないので、見落としやすい。そんなときは、本講座のシリーズ中、極地気象学 1. 北極 で菊地(1979)がすすめているように、American Meteorological Society から刊行されている Meteorological & Geostrophysical Abstracts の Subject Index の Antarctic の項を探すと良い。

いろいろなジャーナルの中でも、Washington D.C. から刊行されている Antarctic Journal of the U.S. や Cambridge からの Polar Record, また、極地研究所から出されている南極資料 (Antarctic Record) 等は、そのものずばりといったものである。特に、日本の南極観測に関する成果は、南極資料がほとんど網羅しているので参考にされると良い。

2. 気象全般

極地域の気象は、地球気象全体に対し、相対的に冷源としての役割を演じていることは言うまでもない。特に南極地域は北極地方とは異なって、その中心に平均高度2000 m に達する氷で覆われた広大な大陸があり、その周囲を大洋がとり巻いている、その上冬期になると、夏期に比して、面積比が4倍にもなる海水域があって、なおさら海洋からの熱補給を遮っている。

このような特殊な条件は、冷涼な気候をもたらす要因の一つであるが、始めにこのような特殊な南極地域の気

* Hiroshi Fukutani, 気象庁長期予報課。

象一般について紹介されたものから触れていくことにしよう。

前にも述べたように、我々の目につきやすいものは、主として、IGY以後にまとめられたものが多い。ごく身近なものでは、つい最近、川口(1979)が「天気」の普及講座で紹介した南極の気象が記憶に新しい。同じく「天気」の解説欄に、山崎他(1969)による解説があり、守田(1973)は、楠 宏他の編者により編纂された南極の第2章で、一般的な気象について述べている。やや古くなるが、Rubin・Weyant(1962)は、Hatherton編の *Antarctica* の15章で同じく気象全般について触れている。

蛇足ではあるが、この南極と *Antarctica* には、気象の他にも、気象に関係深い雪氷部門や海洋部門についてのことがらを、ハンディーに纏めているので一読をおすすめしたい。

また、南アフリカ連邦の Van Rooy(1957)が編纂した *Meteorology of The Antarctic* は、南極大陸の周辺の島々の気候等も含め、主に大陸周辺の気候及び、高層大気に力を入れて、南極地域全般の気象をまとめている。

その他、WMO, Technical Note No. 87 の *Polar Meteorology* (1967) は、WMO, SCAR, ICPM の合同による極気象についてのシンポジウムをまとめたものであるが、この中にも南極に関する論文が数多く上っている。また、American Geophysical Union から出版された *Antarctic Research Series* の第9巻、*Studies in Antarctic Meteorology* (1966) と *Geophysical Monograph* 第7巻、*Antarctic Research* (1962) には、いくつかの論文がまとめて紹介されている。

3. カタバ風

南極大陸は、非常に長い氷のスロープで形成されている。そして、強い放射冷却は、斜面上に半定常的な温度逆転層を作る(Wexler, 1959)。このため、斜面に沿って冷たい風が吹き降りる。この風は、カタバ風と呼ばれ年間を通じほぼ定常的に現われる。南極大陸上の地上気象の最も特徴的なものの一つである。

この風に関する論文は、古くから多く、ほとんどの探険隊の記録にあらわれているが、気象学者の興味を引くようになったのは、オーストラリアのモーンソン隊がデニソン岬で越冬した時の報告からといわれる。モーンソン隊の Madigan(1929)によれば、デニソン岬での風は、

最大月平均風速 24.9 m/s, 最大日平均で 36 m/s, 最大1時間平均では、42.9 m/s という記録が報告され、Mawson(1915)は、多少疑わしい点はあるが、その著書の中で瞬間最大風速 100 m/s 近くに達したと書いている。

このように、カタバ風は大陸沿岸では非常に強い風となるが、Lettau(1966)は、極点の平原に於いてもこの風が存在することを示しているし、佐々木(1974)や、Kobayashi・Isida(1979)は、極点と沿岸の中間の平原でも観測している。しかし、大陸の岸を海洋側に少し離れると直接影響を受けることは少なくなる(守田, 1968)。これは、この強風が大陸斜面の途中でいわゆるハイドロリックジャンプを起こすためと考えられている。

これらカタバ風に関する現象を、ハイドロリックジャンプの現象も含め、理論的に扱ったものでは、Ball(1956, 1960)が有名である。Ballは水力学を応用してカタバ風に関する理論を組み立てた。なお、最近目についたもので、安達(1979)が数値実験的に扱い始めたものがあり、今後がたのしみである。

4. 熱収支

南極地域の年間直達日射量は、太陽に対する相対的位置を留意しても意外に多い。これは、南極地域の空気が澄んでいて透過率が大きいことによると考えられる。しかし、地上雪面はアルベドが大きく、入射した日射の70~85%を反射してしまう(Weyant, 1966)。その上、空気が澄んでいることが、大気による日射の吸収も少なくする。Vonder Haar・Suomi(1971)によれば、極点付近の大気による日射の吸収は、中緯度の約25%程度にすぎないという。

また、雪面からの有効長波長放射も、雪面の温度が低いことや、カタバ風に伴う地ふぶきの影響で小さい。結局、南極の大気系全体としての放射収支は、Sasamori et al.(1972)や Newell et al.(1970)の計算値及び、Vonder Haar・Suomi(1971)の人工衛星観測値から、年間の平均で $-160 \sim -210$ ly/day の純損失となっている。

このような、慢性的な熱の不足を補うためには、低・中緯度からの移流によって熱の補給が行なわれなければならない。Rubin(1962)は、この熱収支についての試算を行なっている。それによれば、移流による熱補給の約90%が顕熱の形で、残りの10%は潜熱の形で行なわれ

ることを示している。

このように、南極地域での放射収支は、次に述べる大循環との関連や、接地層の機構との関連で興味深いものがあり、研究者も比較的多いがまだまだ未解決の部分が多い。ちなみに、最近、**Kuhn・Stearns** (1975) 等は、人工衛星資料を解析し、南極大気の大気圏中部で、cooling rate が長期的に変動していることを見い出している。

5. 大気循環

南極地域の大気循環は、前に述べた接地層や、放射収支の機構と関連し合うことはいうまでもないが、地形の影響が少ないせいから、北半球に比べて、単純であると言えるだろう。その意味から **Schrverdtfefer** (1960) が、IGY 以後の資料を解析し、南極地域の極うずの盛衰と、偏西風帯の南北振動が、惑星循環理論に近いことを見出したこともうなずける。

White・Bryson (1967) は、放射冷却と実際に観測される気温低下の差が、沈降によって補われるとして、それを補償する移流を見つめて、子午面循環モデルを提案している。これによると、接地逆転層内の風はカタバ風として沿岸に向い、その上では、それを補うように沿岸から沈降しつつ内陸に向う気流がある。このモデルは、放射収支と移流の関係をうまく説明することはできない。しかし斜面上の逆転面高度は、季節の変化はあるものの短期間ではほぼ一定であり、カタバ風による質量流出を、逆転面を一定に保ちながら沈降によりいかに補償するかといった機構については、説明が難しい。また、実際の大気では、平均的に北からの暖気が入りやすい場所、入りにくい場所等があって、モデル通りにはいかない面もある。

6. 南極の成層圏

南極の大気を高度別に分けてみると、地表からおよそ 1 km の高さまでは接地逆転層で、この層は非常に安定であるが、カタバ風が吹き、気温の年変化は非常に大きい (**Wexler**, 1959)。その上は 8~10 km の高さにある圏界面までの自由大気層で、この層内では一定高度について気温の年変化は小さく 10°C 以下である。White 等のモデルは、この 2 層での子午面循環モデルであった。

次に、この圏界面より上、つまり南極上の成層圏に関するものについてみてみよう。

南極地域の成層圏の特徴については、各国観測隊の報

告が沢山あるが、**Zhdanov** (1965) は各地の資料をもとに、i) 圏界面は夏より冬のほうが高く、ii) 冬には圏界面がはっきりしなくなり、iii) 温度の年変化が大きくなり、特に春の突然昇温が顕著であることを指摘している。

Rubin・Weyant (1965) によれば、i) については垂直運動の季節変化として、ii) は冬期対流圏上部の放射冷却のためと説明しているが、これ等総合したメカニズムは、まだよく解っていない。iii) の突然昇温については中間圏や電離圏の電磁気現象と関連を求める説や、下降気流による力学的昇温説や、オゾンの紫外線吸収のためといった説があるが、まだ定説はない。ただゾンデ観測等からは **Palmer** (1959) や藤沢他 (1974) の指摘するように、冬期に上部成層圏あるいは中間圏に端を発生し、春になるにつれ次第に下層へと波及してくることや、その波及の仕方がオゾンの変化と良い相関を示していることなどが知られている (**清水**, 1970; **Miller**, 1970)。

南極の成層圏循環についてのメカニズムはほとんど未知の状態である。しかし、その現象は、北半球の成層圏循環に比べて規模が大きく、その変化は劇的であって研究するには面白い。今後この方面への研究者が出てこれらんことを期待したいものである。

7. その他

これまでに、南極の気象の主だったところについて触れてきたが、南極の特殊な条件を生かした気象観測が、その他いくつかある。

低温であることから、氷晶や雪の観測 (**菊地**, 1970; 1971)、また、定常的な強風が吹くことから飛雪の研究 (**Budd**, 1966)、安定層内での乱流 (**真木**, 1974) 等、挙げるときりがない。

また、大気が清浄であることから大気汚染に対するバックグラウンド的な性格をも持ちうる。エーロゾルの観測は、**POLEX** の一環として昭和基地でも行なわれ始めた。

また、気候について、ここではふれなかったが、気候区分等でよく引用されるものに **Dalrymple** (1966) 等がある。今後、気候問題がクローズアップしてくるであろうと考えられるが、南極の氷床は平均高度 2000 m にも達し、過去数千年にも及ぶ気候を保存してくれている。雪氷部門とも関連するが、今後この分野の開拓もほしいものである。

8. あとがき

非常に大雑把な紹介ではあるが、何らかの興味を持っていただければ幸である。今後、南極についての研究を進めてゆく上で、各分野での問題点はいろいろある。特に望まれることは、カタバ風のような局地的な現象と大規模な現象との相互関係を調べてゆくことや、冷源としての南極大気が大気大循環の上でいかに地球大気全体に影響を及ぼしているか、また、成層圏循環、特に突然昇温の原因を究明し、南極大気全体の一貫したメカニズムを探求してゆくことが必要であろう。それが、ひいては北半球との相互作用といった問題をも解決する糸口になるのではあるまいか。

ここで取り上げた論文や文献は、ほとんど極地研究所や気象庁図書館にそろっている。また、今後いろいろとデータを扱いたいと考えられる方は、極地研究所がセンターとなって資料を収集しているので、相談されるとよい。また、昭和基地での気象資料は気象庁の南極事務室にもそろっているので、つけ加えておく。

文 献

気象全般

- 川口貞男, 1979: 南極の気象, 天気, 26, 335~346.
 Liljequist, G.H. 1953: Radiation, wind, and temperature profile over an Antarctic snow field, Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition, 1949-1952, Norsh Polarinstittut.
 Simpson, G.C., 1919: Meteorology, Part 1, Discussion, in British Antarctic Expedition, 1910-1913.
 山崎道夫, 井部良一, 福谷 博, 1969: 昭和基地の天気と気象観測, 天気, 16, 339.

書籍

- Antarctica, ed. by T. Hatherton, Methuen Press, London, 1965.
 Antarctic Research, Geophysical Monograph, 7, American Geophysical Union, Washington, D.C. 1962.
 Meteorology of the Antarctic, ed. by M.P. van Rooy, Weather Bureau, Department of Transport, Pretoria South Africa, 1957.
 南極, 楠 宏, 鳥居鉄也, 原田美道, 山縣 登, 吉田栄夫編, 共立出版株式会社, 1973.
 Polar Meteorology, W.M.O. Tech. note No. 87, Symposium on Polar Meteorology, WMO-No. 211, TP. 111, 1967.
 Studies in Antarctic Meteorology, ed. by M.J. Rubin, Antarctic Research Series, 9, American Geophysical Union, 1966.

論文

- Adachi, T., 1979: Numerical simulation of katabatic wind profile at Syowa Station, Antarctica, Antarctic Record, 67, 64.
 Ball, F.K., 1956: The theory of strong katabatic winds, Aust. J. Phys., 9, 373.
 Ball, F.K., 1960: Winds on the ice slope of Antarctica, in Antarctic Meteorology Proceedings of the Symposium in Melbourne, 1959, Pergamon Press, London, 9.
 Budd, W.F., 1966: The drifting of Nonuniform Snow Particles, in Studies in Antarctic Meteorology, ed. by M.J. Rubin, Ame. Geophys. Union, 59.
 Dalrymple, P.C., 1966: A physical climatology of the Antarctic Plateau, in Studies in Antarctic Meteorology, ed. by M.J. Rubin, Amer. Geophys. Union, Wash., D.C., 195.
 藤沢 格, 福谷 博, 白土武久, 1974: 第13次南極地域観測隊報告, 南極資料, No. 49.
 Kobayashi, S. and Isida, T., 1979: Some characteristics of turbulence in katabatic winds over Mizuho Plateau, East Antarctica, Antarctic Record, 67, 64.
 Kuhn, P.M. and L.P. Stearns, 1975: Changes in the Antarctic thermal radiation budget, Antarctic Journal for the U.S., Wash., D.C., 10, 5, 227.
 Lettau, H.H., 1966: A case study of Katabatic flow on the South Polar Plateau, in Studies in Antarctic Meteorology, ed. by M.J. Rubin, Amer. Geophys. Union, Wash., D.C., 1.
 Madigan, C.T., 1929: Meteorology of the Cape Denison Station, in Aust. Ant. Exp. 1911-1914, Scientific Report Series B, 4, 286.
 Mawson, D., 1915: The home of the blizzard, being the story of the Australian Antarctic Expedition, 1911-1914, Heinemann, London, I, 349, II, 338.
 真木太一, 1974: 南極昭和基地での超音波風速温度計による大気乱流観測, 南極資料, 48, 37.
 Miller, A.J., 1970: A note on vertical motion analysis for the upper stratosphere, Mon. Wea. Rev., 98, 616.
 守田康太郎, 1968: 昭和基地で観測される Katabatic 風について (I), 南極資料, 6, 22.
 Rubin, M.J., 1962: Atmospheric advection and antarctic mass and heat budget, in Antarctic Research, Geophysical Monograph, 7, Amer. Geophys. Union, Wash., D.C., 149.
 Rubin, M.J. and W.S. Weyant, 1965: Antarctic Meteorology, in Antarctica, ed. by T. Hatherton, Methuen Press, London.
 佐々木浩, 1974: 東南極みずほ観測拠点における地上観測, 南極資料, 50, 29.
 Schwedtfeger, W., 1960: The seasonal variation

- of the strength of the Southern Circumpolar vortex, Mon. Wea. Rev., 88, No. 6.
- 清水正義, 1970: 昭和基地における1966年のオゾン全量観測, 南極資料, No. 37.
- Tauber, G.M., 1960: Characteristics of antarctic katabatic winds, in Antarctic Meteorology, Preceeding of the Symposium in Melbourne 1959, Pergamon Press, London, 52.
- Vonder Haar, T.H. and V.E. Suomi, 1971: Measurements of the earth's radiation budget from satellites during a five-year period., J. Atmos. Sci., 28, 305.
- Wexler, H., 1959: Seasonal and other temperature changes in the Antartic atmosphere, Quart. J.R. Met., Soc., 85.
- Weyant, W.S., 1966: The Antarctic climate, in Antarctic soils and soil forming processes, ed. by J.C.F. Tedrow, p 47, Amer. Geophy. Unuin, Wash., D.C.
- White, F.D. and R.A. Bryson, 1967: The radiative factor in the mean meridional circulation of the Antarctic atmosphere during the polar night, Proc. Symp. Polar Met., Geneva, 1966, W.M.O. Tech. Note, No. 87, 199.
- Zhdanov, L.A., 1965: The behaviour of the Antarctic stratospheric warming phenomenon in the spring of 1964, Tech. Report, No. 4, International Antarctic Analysis Center, Melbourne.
- Kikuchi, K., 1970: Peculiar Shapes of Solid Precipitation, Observed at Syowa Station, Antarctica, J. Met. Soc., 48, 243
- Kikuchi, K., 1971: Observations of Concentration of Ice Nuclei at Syowa Station, Antarctica, J. Met. Soc., 49, 20.



続 気象学入門講座

これからの予定

(太字は既に掲載されたもの、カッコ内は掲載された巻号)

- | | | |
|---------------------|---------------------|------------------------|
| 気象学へのガイダンス (25. 4) | 回転流体力学を学ぶために(25. 6) | 応用気象学 |
| 〔基礎コース〕 | 対流論 (25. 6) | 大気汚染 (26. 10) |
| 気象解析の手引き (25. 5) | 中小規模現象の気象学 (25. 11) | 実験気象学 (25. 10, 26. 5) |
| 気象力学・気象熱力学 (25. 6) | 大気大循環論 (26. 2) | 天候・気候改変の気象学 |
| 気象放射学への手引き (26. 10) | エーロゾルの気象学 (27. 2) | 海洋気象学 (25. 9) |
| 高層大気物理学入門 (25. 5) | 気候変動論 | 極地気象学 (26. 9, 27. 4) |
| 雲物理学・降水物理学 (25. 8) | 熱帯気象学 (25. 8) | 気象災害論 (25. 9) |
| 大気電気学・大気化学 (25. 12) | 高層大気力学の諸問題 (25. 9) | 気象教育論 |
| 気象の観測と測器 (26. 11) | 高層大気物性 (26. 3) | 気象データ処理法 |
| 気象統計について (25. 7) | 大気境界層 (26. 12) | (26. 4, 26. 11, 27. 3) |
| 気候学 | 衛星気象学 (25. 8) | 〔研究のすすめ方〕 |
| 生活と気象 (25. 6) | レーダ気象学 (26. 12) | 最近の気象資料 (26. 8) |
| 〔アドヴァンスト・コース〕 | 惑星気象学 (25. 7) | 論文の書き方 (27. 1) |
| 気象予測論 (25. 7) | 自動気象観測(隔測)・通報システ | 気象学教科書・参考書のリスト |

ム