

第14次南極地域観測に参加して

—南極における接地層研究—*

小林 俊 一**

1. はじぎ

日本の南極における気象の観測・調査・研究の経過については、すでに簡単な報告(南極委員会1973)が本紙に紹介された。そのなかで「南極高気圧の生成と構造の研究」は第11次日本南極地域観測からの気象研究部門のテーマで、主任研究官は東北大学山本義一名誉教授である。この観測は第14次の筆者で一応打切った事になるが、実際には南極高気圧についての研究は南極大陸全体の問題であり、一国の一研究者で成し遂げるには大きすぎるようなテーマで、是非とも各国研究者の共同研究が必要である。現在南極大陸上の観測基地は沿岸部に集中し、内陸部には少い理由もあって、南極高気圧に対する確かなイメージがないように思える(Court (1951)に南極高気圧の解説がある)しかし南極高気圧は南半球の気流循環や南極大陸周辺を取り巻く広大な海水の成長に関係して、気候変動に及ぼす効果が大きい(Fletcher, 1969)。筆者等のグループは第1表に示すごとく、実際には幾つかのサブテーマを選んで観測を実施した。特に超音波風速温度計による南極大気の冷たい安定気層内の乱流構造の研究が第11次から第14次までの共通のテーマであり、南極でのミクロスケールの乱流観測は第11次の真木(1974)が初めてである。第11次から第13次までの観測結果は、各々の担当者によって報告されつつあるので(安達, 1973, 1974; 佐々木, 1974a, 1974b), ここでは第14次での計画と実際行われた事項について報告する。

2. 第14次隊気象研究部門の観測項目の概要

南極大陸は全世界の90%以上もの氷雪の量を占め、標高2,000 m以上の所が全体の55%もある広大な氷の大

第1表 第11次～第14次の担当者とテーマ

年次	担当者	所属	観測場所
11次(1970)	真木太一	農技研	昭和基地周辺
12次(1971)	安達隆史	東北大	〃
13次(1972)	佐々木浩	北大	みずほキャンプ
14次(1973)	小林俊一	北大	みずほ高原

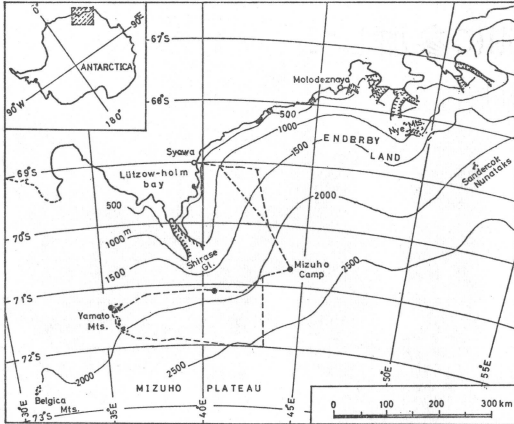
テーマ：南極高気圧の生成と構造の研究
主任研究官(山本義一東北大名誉教授)
サブテーマ：安定気層内の乱流構造
カタバティック風の基礎的研究
大陸斜面上の接地気層の特性

高原である。標高1,500～2,000 mのこの氷原は南極高原(Antarctic plateau)とよばれる。重要な事は、南極大陸の氷雪面は放射冷却が卓越するために、接地気層は絶えず冷却された重い安定した表面逆転層(Surface inversion layer)が半永久的に存在し、南極高原の微気候を特徴づけている(Dalrymple, 1966)。南極大陸は沿岸部より内陸部に入るにしたがって徐々に高度を増して斜面を形成している。したがって大陸周辺部に近い斜面上の表面逆転を形成している重い冷気の層は、重力の作用で静止している事ができずたえず大陸から南極海へ斜面に沿ってカタバティック風(katabatic wind)となつて流出している。

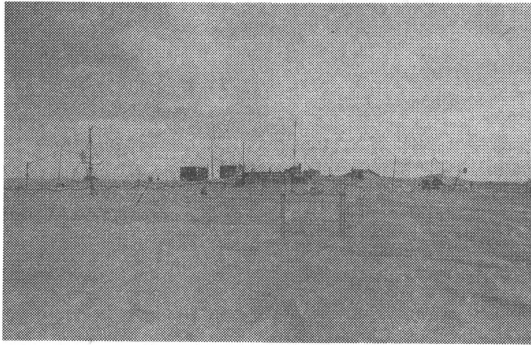
筆者の行った観測地域を第1図に示した。このなかで「みずほキャンプ」は昭和基地より南東へ約300 kmの内陸部で、その海拔高度は約2,200 mで東南極高原の周辺に位置し「みずほ高原」とよばれている。ここは安定したカタバティック風帯である。第11次、第12次では昭和基地での観測が主であった。第13次の佐々木(1974b)はみずほキャンプで日本隊としては初めて5月から翌年1月までの9ヶ月間この地に滞在して、雪氷学部門と共に貴重な観測を行った。第14次もみずほ高原での観測が主になった。特にカタバティック風の垂直構造と季節変化を知る事に主力をおいた。この事はカタバティック風内の乱流測定に際して背景(background)を

* The Preliminary Report on the 14th Japanese Antarctic Research Expedition, 1972-73 —Study on Atmospheric Surface Boundary Layer in Antarctica

** S. Kobayashi 北海道大学 低温科学研究所
第14次日本南極地域観測隊越冬隊員(気象研究部門担当)



第1図 みずほ高原、点線が調査旅行のルート。
●印はバルーン飛揚点

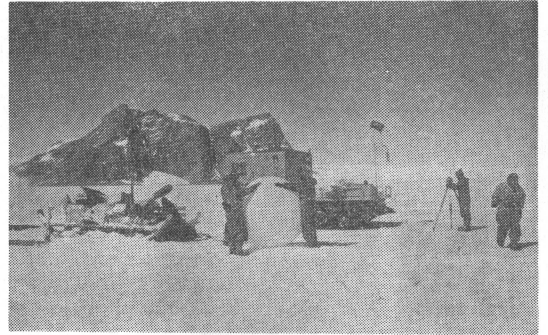


第2図 みずほキャンプ、風上側よりみる

知っておくことが重要と考えたからである。幸い第14次隊では、大陸氷の流動を観測するために第10次隊で設置した三角点網 (Naruse et al., 1972) を再測する内陸調査旅行 (旅行隊長成瀬廉二) が行われ、筆者もその旅行隊の一員として調査に参加したので、みずほキャンプからやまと山脈に至る地域 (みずほ高原) の気象観測を行うことができた。以下に筆者が行った観測項目の概要を述べる。

2.1. 安定気層内の乱流構造

南極氷床の上では、常に放射冷却により雪面が低温となり、接地気層は安定状態である。この状態下での乱流構造を調べるために、3成分超音波風速温度計による風速と気温変動の測定が主にみずほキャンプで行われた。観測場所の写真を第2図に掲げた。この地域は、強い表面逆転層が形成されており、これはそのままカタバティック風の冷氣層に一致しており、その平均風速は10 m/s前後である。



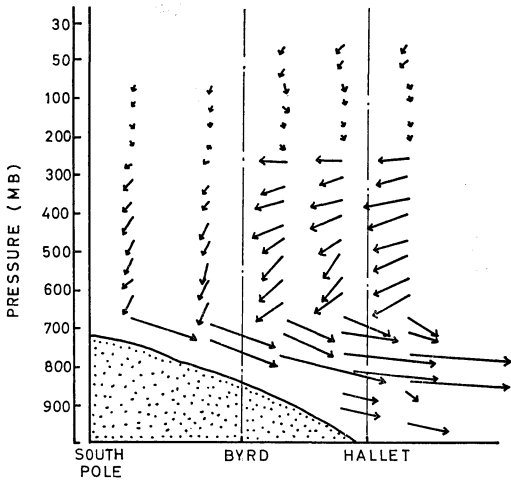
第3図 やまと山脈でのバルーン飛揚

第2表 表面逆転層の構造 (1973年東南極みずほ高原)

月日	強度 °C	厚さ m	気温 °C	風速 m/s	風向 (真方位)
1月21日	5.5	250	-21	9	ESE
4月23日	21.0	250	-41	10	E
8月25日	15.5	600	-52	11	E
8月31日	13.5	600	-43	11	SE
11月21日	7.0	250	-17	5	ESE

2.2. カタバティック風の構造

カタバティック風の垂直構造を調べるために、ラジオゾンデを飛揚させて、主に低層の大気の温度分布、風速・風向分布を観測した。気温、湿度はサーミスタ温度計、カーボン湿度計を用い、発信器の周波数を10~200 Hzの範囲で変化させ、搬送波 (404.5 MHz) をAM変調させた。受信設備は居住棟内又は大型雪上車 KD 60の中に置き、八木アンテナは人間が野外で操作指向し、バルーンの追跡はセオドライドで行った。バルーンにはHeガスを使った。みずほ高原の地域は地ふぶきが高く、観測は快晴で視程の良い時のみに限られた。気温が -55°C 、風速が10 m/sを越える時などは、大型雪上車を風除けにして放球、追跡したがそれでも隊員のほとんどが凍傷の危険にさらされた。したがって寒さがきびしいのでバルーンの追跡は30分を越える事はなかった。バルーン飛揚の写真を第3図に示した。南極大陸の内部でこのようなバルーンによる調査を行ったのは日本隊としては今回が初めてであった。詳細な結果は別に報告するが、主な結果を第2表に示した。冬に逆転層の強さは強くなり、層の深さも厚くなる。夏には逆転層の強さは弱まり、深さは薄くなる。特にカタバティック風が強くなる冬には地上風の風向が東で、カタバティック風の上

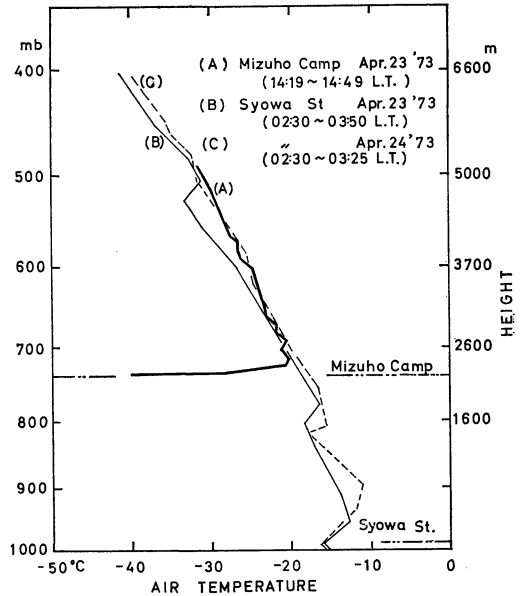


第4図 HALLET-BYRD-SOUTH POLE を結ぶ断面の風のベクトル (White Jr. と Bryson 1967による)

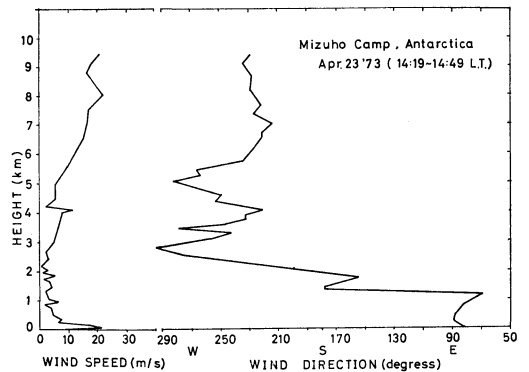
には西風が卓越し、カタパティック風の南極海への溢流を補うような低緯度からの補流としての大気の循環が特徴的である。この様相は、White と Bryson (1967) の HALLET-BYRD-SOUTH POLE を結ぶ子午線方向の断面における大気の循環 (第4図) と同じ印象であった。このような大気循環の構造が南極大陸上に亘って解明出来れば、南極高気圧の構造と生成の問題に接近する事ができる。南極大陸の内陸部での気象観測基地の空白が痛感される。又興味ある現象としては、強いカタパティック風の時、数10分の周期で振幅2 m/s 位の地上風のゆらぎらしきものが観測されたが、これは重力波に起因するものと考えられ、境界での上下方向の相互作用やカタパティック風内の乱流構造との関係を知る上で重要な現象と考えられる。確かに第5、6図にカタパティック風の垂直構造の例を示したように、強い温度の逆転と風のシアがあるのでこのような重力波の存在は確かなようである (佐々木, 1974 a)。又第5図で示したように、カタパティック風より上空の気温減率は昭和基地でのゾンデの観測結果から得られたものと一致するので、昭和基地での豊富なデータを使う上に参考になると思っている。この種の研究は、ソ連の研究者によって、Mirny-Pionerskaya-Komsomolskaya-Vostok-South Pole を結ぶ子午線方向の基地で IGY の期間に行われたものがある (Гайгеров 1962)。

2.3. 大陸斜面上の接地気層の特性

みずほキャンプで10 m ボールを用いて、放射冷却に



第5図 南極大気温度分布の例。(A)はみずほキャンプ、(B)、(C)は昭和基地



第6図 みずほキャンプにおける風速、風向分布の例。風向は真方位

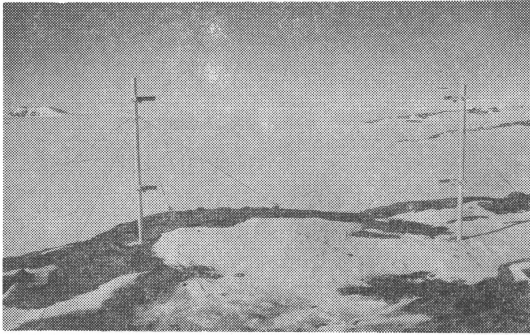
よる安定気層内の接地境界層の微気象観測を行った。測定項目は風速分布、気温分布、放射量についてである。

2.4. 地ふぶきと雪面模様の観測

南極大陸上のカタパティック風帯は又地ふぶき地帯でもある。主に1 m までの高さの地ふぶき量の垂直分布の測定と、地ふぶきの状態とその時雪面にできる波状模様 (sastrugi, snow dune, snow ripple, snow barchan 等) の観察を行った。

2.5. 南極ブリザードの研究

南極大陸の沿岸部をおそう低気圧は、ブリザード



第7図 昭和基地におけるブリザード観測用の飛雪観測装置。正面は南極大陸

(blizzard) とよばれ、強風と降雪を伴い著しい視程障害をおこす。この現象も地球が太陽から受ける熱エネルギーの緯度による不平等を解消しようとする大気の大循環の一側面である。昭和基地では、光の散乱・減衰を利用した飛雪観測装置(第7図)でブリザード時の飛雪空間密度の変動と風の乱流そして大気電場のブリザード性擾乱についての観測を行った。

2.6. その他の観測

南極ではその他現象的に興味ある事が多くある。内陸調査旅行中は、海塩核の測定や雲の観察、ハローの観察等を行った。又昭和基地での沿岸部ではカタパティック風のハイドロリック・ジャンプ現象の観測を行った。その他エエロゾルの観測を計画したが、時間の余裕がなく実行できなかった。幸い17次より「南極の大気中の微小粒子の研究」が企画されているのでその成果への期待は大きい。というのは、南極での観測は環境汚染に対する地球のバックグランド資料を得るという点で最適地であるからである。

3. 将来の題問点

南極の気象の問題点は、南極地域の観測についての POLEX (Polar Experiment)-SOUTH (川口真男1974) で明らかにされるであろうが、筆者が一年間の南極越冬で感じた点について述べておきたい。筆者は(氷河気象学) Glaciometeorology に興味を持っているので、南極氷床上の下層大気の大気構造と積雪表面の形態及び積雪の変態との関係、更に海氷上の熱収支の問題と海水の成長の関係に注目したい。

3.1. 表面逆転層の構造

南極大陸とその周辺の海上上の下層大気は、半永久的な表面逆転層を形成している。この層の厚さや強度の日変化、季節変化を詳細に調べるメソスケールの研究が必

要である。

3.2. 南極氷床上、海氷上で微気象及び乱流観測

ミクロスケールの研究が南極氷床上と海氷上で必要である。例えば、

(1) 南極氷床、海水の冷却・加熱の最大の役割を演じている放射量測定 (all-wave radiation measurement)

(2) 風速、気温、雪温、湿度分布の測定

(3) 微気圧、風速、気温変動を測定して、重力波の解析、運動量や熱輸送に関係のある乱流構造の解明

(4) 海氷上で夏期間形成するパドル(内部融解)の解明のための微気象観測。一般に氷河や積雪の中では内部融解の規模が小さい。大きなパドルは、日射が数10時間あり、氷の下に比較的高い一定温度がある特殊な条件(海水の場合)下でしか形成しない。

(5) 海水の成長、消耗に関する熱収支の観測を通年行う。

以上は、航空機、ブイ、人工衛星を使ってアルベードの分布、表面温度、気温、湿度、風速等を測定する事によりかなりの広域を調査する事ができる。そしてこれらは緯度方向や上下方向の大気の大循環、カタパティック風、ハロー、積雪の変態、地ふぶき、氷震(サーマルクラックと関係があるらしい)等の研究の基礎的な資料を与える。そして観測場所の選定としては、Dalrymple (1966) が与えたような微気候区分(cold transitional, cold katabatic, cold interior, cold central core)の4つの区分にあたる地域と海氷上に観測点をおく事は非必要である。このためには、各国が共通した調査のために、同時期にトラバースを行うとか、又は航空機、ブイ、人工衛星を利用するとか、風力発電を利用した無人ロボット観測を有機的に利用する事が、広大な南極大陸を覆う観測に必要である。

この章は、同じ興味を持っている北大低温科学研究所の石川信敬助手との二人の考えをまとめたものである。なお守田(1966)は南極気象学に関する SCAR の勧告を含めて持来の研究テーマについて述べているが、現在なおそれらの研究が望まれるという事は、南極での観測がいかに困難であるかを筆者は体験した次第である。他に守田(1965, 1971, 1973)、清野(1968)、Rubin(1962)による南極気象学に関する解説が参考になる。

4. 謝辞

第14次南極地域観測に参加するにあたって、その機会を作って下された東北大学山本義一名誉教授、農業技術研究所井上栄一博士、北大低温科学研究所石田完、黒岩

大助両教授に感謝致します。又観測のためにいろいろ御教示をいただいた当時の気象庁南極事務室長清野善兵衛氏、気象研究所三崎方郎博士、伊藤明之氏、東北大学鳥羽良明教授、北大菊地勝弘助教授、海上電機 K.K. 小堀泰宏氏、牧野応用測器研究所牧野勤侯氏の各位に感謝致します。更に南極では第13次越冬隊長国立極地研究所川口貞男助教授をはじめ気象担当の各位や第14次隊長国立極地研究所楠宏教授、同越冬隊長平沢威男助教授を中心とする全ての隊員の協力を得た事に深く感謝致します。特にきびしい自然に対して身体をはって献身的に観測を支えてくれた第14次隊の仲間に対しては、南極の自然から受けた感動と共に忘れ難い思い出となった事を記して心から感謝致します。

文献

- 安達隆史, 1973: 南極昭和基地における乱流観測 (I), 南極資料, No. 47, 62-76.
- Adachi, T., 1974: Characteristics of wind and temperature fluctuations above the sloping surface at Syowa station in Antarctica. *J. Met. Soc. Japan*, **52**, 82-85.
- Court, A., 1951: Antarctic atmospheric circulation. in *Compendium of Meteorology*, (ed. Malone, T.F.), American Met. Soc., Boston, Massachusetts, 917-941.
- Dalrymple, P.C., 1966: A physical climatology of the Antarctic Plateau, *Antarctic Res. Ser.*, **9**, AGU, 195-231.
- Fletcher, J.O., 1969: Ice extent on the southern ocean and its relation to world climate. *Rand Report*, RM-5793-NSF, pp. 108.
- Гайгеров, С.С., 1962: Вопросы Аэрологического стрессения, циркуляции и климата свободной атмосферы центральной ной арктики и антарктики. Издательство академии наук СССР, Москва, pp. 316.
- 川口貞男, 1974:メルボルン IAMAP/IAPSO 特別集會出席報告 (極気象・POLEX). *天気*, **21**, 292.
- 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*, No. 48, 37-51.
- Maki, T., 1974: Characteristics of atmospheric turbulence in stable stratification at Syowa station in Antarctica. *J. Met. Soc. Japan*, **52**, 31-41.
- 守田康太郎, 1965: 極地気象学. *極地*, **2**, 2-9.
- 守田康太郎, 1966: 南極昭和基地における象気観測プログラムと測器について. *天気*, **13**, 135-142.
- 守田康太郎, 1971: 南極海の海洋気象. *海洋科学*, **3**, 474-479.
- 守田康太郎, 1973: 南極 (気象). 共立出版 K.K., 28-79.
- 南極委員会, 1973: 南極気象の観測・調査・研究の経過. *天気*, **20**, 307-310.
- Naruse, R., Yoshimura, A. and Shimizu, H., 1972: Installation of a triangulation chain and a traverse survey line on the ice sheet in the Mizuho plateau-West Enderby Land Area, East Antarctica, 1969-1970. *JARE Data Report*, No. 17 (Glaciology), Polar Research Center National Science Museum. 111-131.
- Rubin, M.J., 1962: The Antarctic and the weather. *Scientific American*, **207**, 84-94.
- 佐々木浩, 1974 a: 南極大陸における乱流観測. 日本気象学会春季大会講演予稿集, No. 108.
- 佐々木浩, 1974 b: 東南極みずほキャンプにおける地上気象観測. 日本気象学会春季大会講演予稿集, No. 246.
- 清野善兵衛, 1968: 南極の気象. 「新しい気象学」テキスト, 日本気象学会, 28-30.
- White, F.D. Jr. and R.A. Bryson, 1967: The radiative factor in the mean meridional circulation of the Antarctic atmosphere during the polar night. in *Polar Meteorology*, WMO Tech. Note, No. **87**, 225-248.