

昭和基地で観測される Katabatic 風について (I)

守 田 康 太 郎*

WINDS OF KATABATIC ORIGIN OBSERVED AT SYOWA STATION (I)

Yasutaro MORITA*

Abstract

The wind regime at Syowa Station, located on the East Ongul Island 4km apart from the coast of Antarctica, is analyzed to explain the seaward effect of katabatic winds.

1. Rather strong (6–17m/s) easterly winds of katabatic origin prevail at night in summer season. The type of diurnal variation of wind velocity, then, is quite different from the ordinary type observed at middle to lower latitudes.

2. Disturbances of synoptic scale often destroys such a diurnal variation, though weak disturbances sometimes accelerate the night-time winds of katabatic origin.

3. Winds of katabatic origin can be distinguished from those by synoptic scale disturbances through the following points:

(a) Regularity of the time of onset and end.

(b) Decrease in temperature with increase in wind velocity.

(c) A slight clockwise deviation of wind direction compared with the prevailing direction by synoptic scale phenomena.

4. The diurnal variation of wind velocity

vanishes in winter season, when the persistent northeast-easterly winds of katabatic origin blow day and night. These winds, in most cases in winter, are associated with the synoptic scale disturbances, and it is difficult to distinguish pure katabatic winds from the latter.

5. Typical behaviours of katabatic winds, as exemplified by the sudden onset and end, abrupt changes in pressure and extraordinary intensity of winds, are not observed at Syowa Station where the phenomena are generally mild compared with those at other Antarctic stations. It is supposed that the location of Syowa Station is at about the critical distance of the seaward effect of katabatic winds, so that the effect reaches Syowa Station only when the conditions on the ice slope of the continent are favourable enough to cause the katabatic “type 2” in BALL’s theory, and that the base is covered with the seaward moving air of higher depth beyond the hydraulic jump line.

6. Further researches on the behaviour of the katabatic winds at the seaward site are intended through the analysis of recent data with newly equipped meteorological recorders of higher accuracy.

* 青森地方気象台. Aomori Local Meteorological Observatory, 155-4, Tsukuda, Aomori.

1. Katabatic 風* の特徴

Katabatic 風は斜面をはって流下する寒冷気による局地的な強風であって、南極大陸沿岸部ではいたる所に発現する。その運動エネルギーは、放射冷却によって密度を増した（上層および隣接海域に対し相対的に）接地寒冷空気にはたらく重力により得られる。19世紀以来の多くの探検家は、南極大陸沿岸または内陸の斜面下部で、この種の強風に見舞われたことを記述している。しかしながら、専門の気象観測者によってこの風の実態が調べられたのは、1911～14年の、アデリーランドのデニソン岬におけるモーソン探検隊による越冬気象観測をもって嚆矢とする。モーソン隊の C. T. MADIGAN の記述によれば、デニソン岬では、月平均として 55.6 kt (約 28 m/s)、日平均として 80.6 kt (約 40 m/s) という驚異的な風速が観測され、瞬間風速は 200 kt (約 100 m/s) を越えたという。近世になって、1950～51 年のフランス南極探検隊は、デニソン岬から 60 km ほど西にある Port Martin に基地を設けたが、やはり月平均 30 m/s、日平均 40 m/s 以上の強風が記録されている。

これらの観測による katabatic 風の特徴は要約すると次のとおりである。

- (a) 持続性がつよく恒常的である。
- (b) 風速が異常に大きい。
- (c) 風向、風速共にあまり変らない。
- (d) 吹き始めおよび吹き終わりは突然起こる。
- (e) 吹き始めおよび吹き終わりに急激な気圧変化が観測される。
- (f) 高層観測によると、強風の厚みは 300 m 内外のことが多く、その上面では大きな気温逆転および風速の不連続が見られる。

Katabatic 風は、グリーンランドの沿岸でもひんぱんに起こることが、フランスのグリーンランド探検隊により確かめられている。IGY の国際協同南極観測においては、katabatic 風の研究が重点研究テーマのひとつとして採りあげられた。

2. Katabatic 風に関する BALL の理論

IGY 以来、南極大陸沿岸基地における気象観測により、katabatic 風の実態がいっそう明らかになり、いくつかの報告 (MATHER, 1959; TAUBER, 1960) が出されている。その結果、理論研究もかなり進んで来た。

Katabatic 風のメカニズムは、傾斜した水路を走る水流に似ている。これについては、古

*「斜面下降風」と邦訳する人もいるが、適訳がないので、ここでは原語のまま用いることとする。

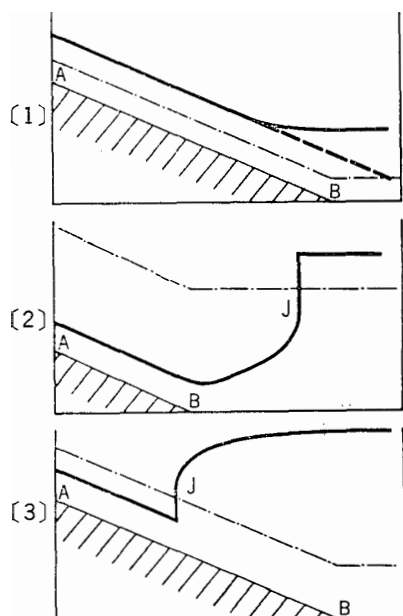


図 1 Katabatic風の3つの型 (BALLの理論による)

AB: 大陸斜面
J: Hydraulic jump
—: 寒気の上限
---: フロイド数1に相当する寒気の厚み

くから JEFFEREYS (1925), CORNISH (1934), BINIE and ORKNEY (1955) らによる流体力学的な理論および実験的研究があるが, BALL はそれらを katabatic 風の場合に適用して, 寒気流の温位, 寒気流と周囲の空気との温位差, 寒気の厚み, 風速などの要素によって定まるフロイド数が, どのような数値をとるかによって, katabatic 風の種々の相を説明できることも示した.

傾斜面から平坦な面 (今の場合, 海面と考えてよい) に流下するとき, もしフロイド数が1より小さければ, 図1[1]のように, 海岸附近において乱れを起こすことなく, なめらかに流れて海上での新しい流れに移行する. フロイド数が1より大きい場合は, 同図[2]または[3]のように, 海岸線の近傍で hydraulic jump を起こす. 寒気の厚みは比較的大きいが, 密度差 (周囲の空気との温度差に関係する) が小さいような場合が[2]であって, hydraulic jump が斜面の途中で起こるため, 斜面上方では強風が吹いているが海岸線上では平穏である. このとき, 海岸の観測所では奥地の斜面を吹きおろす強風のとどろきが聞こえるだけである. 寒気流と周囲の空気密度差が大きく, しかし厚みは比較的小さいような条件では[3]の型になり, hydraulic jump が海岸線より沖で起こるため, 沿岸観測所はもとより, 多少沖に出ても, katabatic 風の影響を受けることになる. アデリーランドにおける観測値から計算すると, フロイド数は通常18内外と見積られ, [2]または[3]の状態が起こっているものと考えられる. [2]の状態から[3]に, あるいは[3]から[2]移行するとき, hydraulic jump 線が観測点を通るので, 強風の吹き始め, あるいは吹き終わりに対応して, 寒気の厚みの変化による気圧変化が観測されるはずである.

BALL は強風によって舞い上がる雪片の質量が, 空気と雪の混合気としての寒気流の密度増加に寄与していることを指摘している. そして周囲の空気との密度差, 地球自転の偏向力および地表まぎつの三者のつりあいから, katabatic 風の風向が斜面の最大傾斜方向から 40° 内外左に偏るべきことを論じている (BALL). それは実測とほぼ一致する.

また, 東西にのびる沿岸部で南に湾入するような地形においては, 湾の西側 (すなわち東向き斜面) の方が反対側よりもいっそう強い katabatic 風が起こるべきことも, 理論から導か

れる結論のひとつである。

一般に、katabatic 風はシノプティックスケール（規模の大きい）現象としての低気圧の接近やトラフの通過などにより強勢されることも認められており、逆に katabatic 風自体がシノプティックスケールの現象に影響を及ぼすことも考えられる。それらの相互関係を解明することは重要な課題であるが、まだあまり研究されていない。

3. 昭和基地の風の一般特性

昭和基地は大陸主部から約 4 km 離れた東オングル島に置かれたためアデリーランドにおけるような本格的な katabatic 風は観測されないだろうと想像された。従来の経験によって、katabatic 風の海上への影響は、せいぜい 10 km 以内といわれているからである。実際に過去の（第1, 3, 4, 5 次）越冬気象観測の結果を見ると、月平均風速の最大は 9.6 m/s（1959 年 7 月）にすぎず、南極地域としては比較的風の弱い場所であることが分かった。各月の平均風速（4 カ月平均）により風速の年変化を見ると、図 2 上段のように、3 月に風速の極大が

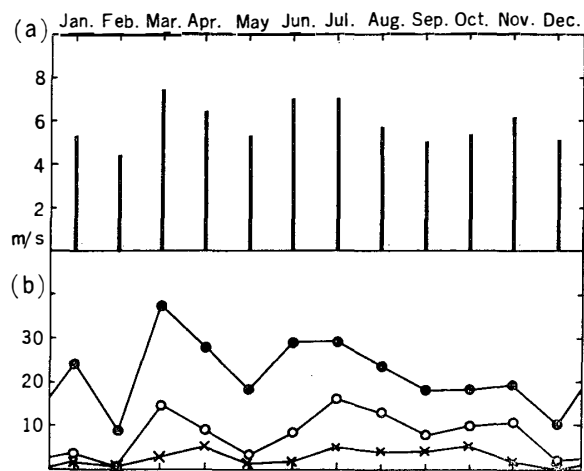


図 2 昭和基地の風速年変化

(a) 月平均風速

(b) ●日平均風速 10 m/s 以上の日数

○日平均風速 15 m/s 以上の日数

×日平均風速 20 m/s 以上の日数

(4 カ年の合計)

あらわれ、冬期の 6, 7 月にもかなり風が強い。同図下段は日平均風速が 10 m/s 以上、15 m/s 以上および 20 m/s 以上のそれぞれの日数（4 カ年合計）を示すものであるが、3 月には 10 m/s 以上の日数が多いのが目立ち、冬期間は 15 m/s 以上または 20 m/s 以上の日数が多いのが目立つ。11 月には月平均風速はやや大きい、強風の日数は少ない。

南極の秋にあたる 3 月あるいは 4 月に風速が大きいのは、南極大陸沿岸各基地に共通な現象である。この時期は対流圏全体が吸収する日射エネルギーの、したがって温度場の、南北傾度が最も大きくなるときであり、それにともない、極渦が強まり南極大陸周辺の低気圧活動もまた 1 年中で最も盛んになる。3 月見られる風速の極大は、このようなシノプティックスケール現象のあらわれと解釈できる。

一方、冬期には、大陸上では接地気層を除く対流圏および成層圏に安定した極渦が存在するが、300 m 以下の接地気層は放射冷却がはなはだしいため、沈降による高気圧性の風系を

一方、冬期には、大陸上では接地気層を除く対流圏および成層圏に安定した極渦が存在するが、300 m 以下の接地気層は放射冷却がはなはだしいため、沈降による高気圧性の風系を

示し、それが katabatic 風を函養する源となる。昭和基地で冬期に起こる強風は、やはり katabatic 風の影響を多かれ少なかれ受けているのではないと思われる。もしそうだとした場合、大陸沿岸からオングル水道をへだてている昭和基地では、図 1 から推察すると、斜面上の主流ではなしに、hydraulic jump を起こしたあと海上へ押し出された厚みの大きい（しかし寒気流としての鋭さをかなり失った）寒気におおわれることになる。したがって、他の海岸観測所で経験されるような、katabatic 風主流による異常強風が観測されないのも当然であろう。果してこのような解釈が当を得ているかどうか、次節で別の観点から当たってみることにする。

なお、昭和基地の一般風向は、図 3 の風配図から分かるように、北東象限の風が圧倒的に多く、ことに、10 m/s 以上の強風はこの象限以外ではほとんど起こらない。

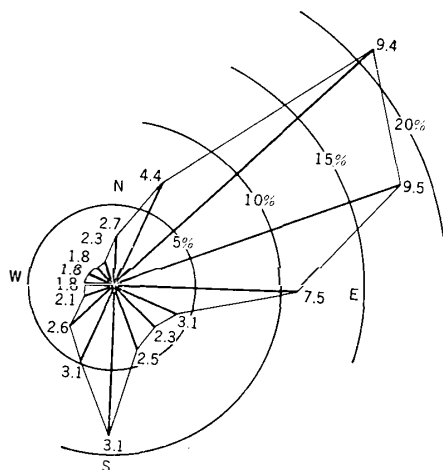


図 3 昭和基地の風配図（全観測資料による出現比率および方向別平均風速）

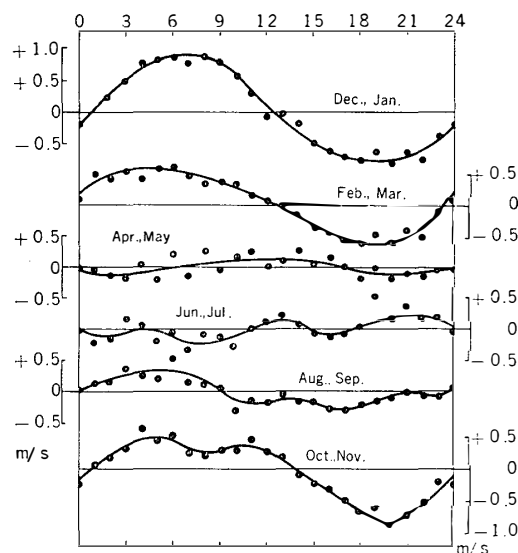


図 4 昭和基地の風速日変化（平均値からの偏差量をもって示す）

4. 昭和基地の風速日変化の解釈

昭和基地の風に関する最もいちじるしい特徴は、風速の日変化が、暖半年において、常識に反した型を呈することである。図 4 は風速の日変化を季節別に示してあるが、10 月から 3 月までの暖半年には、夜半から早朝にわたって極大があり、午後には弱くなって夕刻に極小があらわれている。一方 4 月から 9 月までの寒半年にはその特徴が消失して不規則な変化を示す。ふつうこの場所でも地上の風速は、日射で地表面が暖まり、大気層が不安定になる昼間に最も強く、地表面が冷えこむ早朝に最も弱くなる。これが気象学の常識になっている

のであるが、昭和基地の暖半年にはまったく逆の日変化が見られるわけで大へん興味深い。^{*} その原因は昭和基地が katabatic 風の海上への影響限界線附近に位するためと考えられる。すなわち、katabatic 風が図 1 [3] の型で強烈に起こるような条件の備わった時にのみ影響を受けるからであって、暖半年においては、昼間は、たとえ大陸斜面上で katabatic 風が吹いていても、それは [2] 型になることが多く、4 km へだてた海上には影響しない。日没後、大陸上の熱収支のマイナスが大きくなり、寒冷度の強い、しかし、厚みは薄いようなシャープな寒気流が起こると [3] 型の katabatic 風となって、昭和基地に先端が達するようになる。

一方、寒半年になると、大陸上の熱損失はますます大きくなり、ことに暗黒期前後になると、昼夜の気象条件が変らなくなるため、終日 [3] 型の katabatic 風が発現し得る。そして昭和基地の風速には日変化が見られなくなってくるわけである。

5. Katabatic 風の実例

上述の観点から、暖半年において昭和基地の風速日変化が顕著にあらわれた日、すなわち夜間のみ katabatic 風の影響下に置かれたと思われる場合の実例を図 5 および図 6 に示してある。図に用いられた天気符号は国際式天気図符号によったものである。

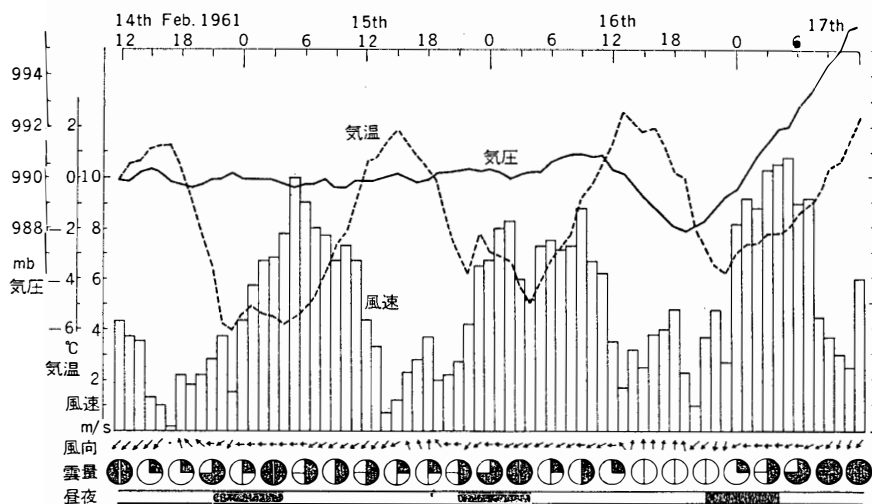


図 5 暖候期の katabatic 風の例 (1)

夜間の東寄りの強冷風として現われ、弱い低気圧などの擾乱により刺激されて強まる。

^{*} 観測隊員は、このような日変化による昭和基地の夜間の強風を「定期便」と呼んでいる。

図5においては、気圧の曲線から分かるように、低気圧の来襲などの大規模の擾乱はなく、ほぼ定常的な場と思われるときに、夜間から早朝にかけて、気温の低下にともなって風速が増大し、風向は E~ENE に固定している。ただし、風速の増大および減少はアデリーランドの例のように突発的ではなく、かなりゆっくりしている。おそらく昭和基地を hydraulic jump 線が通過して寒気流の主流に入るといったようなモデルではなく、hydraulic jump を起こした後、海上に押し出される背の高い寒気層の前線が通って、やや強い寒冷風に見舞われたものと思われる。風速の増大したあいだの天気は比較的良い方で、雲量は 2~8 の間で小刻みに変化している。

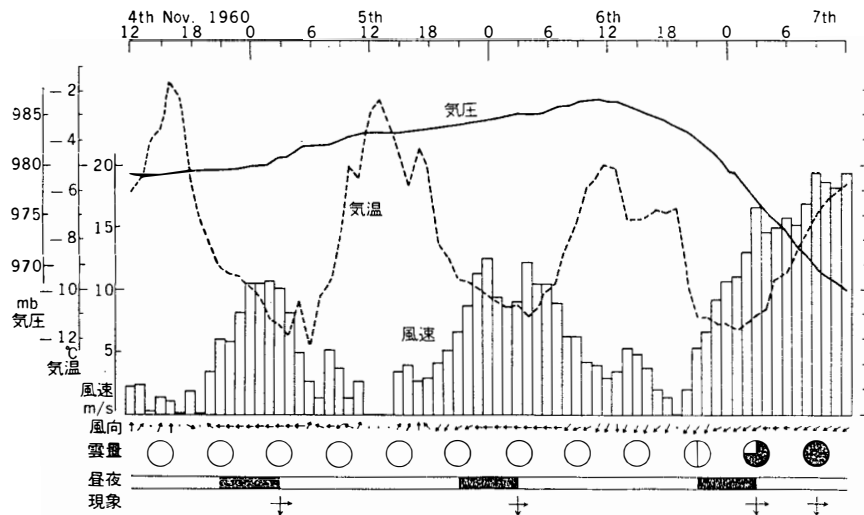


図 6 暖候期の katabatic 風の例 (2)

7日には大スケールの擾乱と交錯して風速日変化のリズムが狂っている。

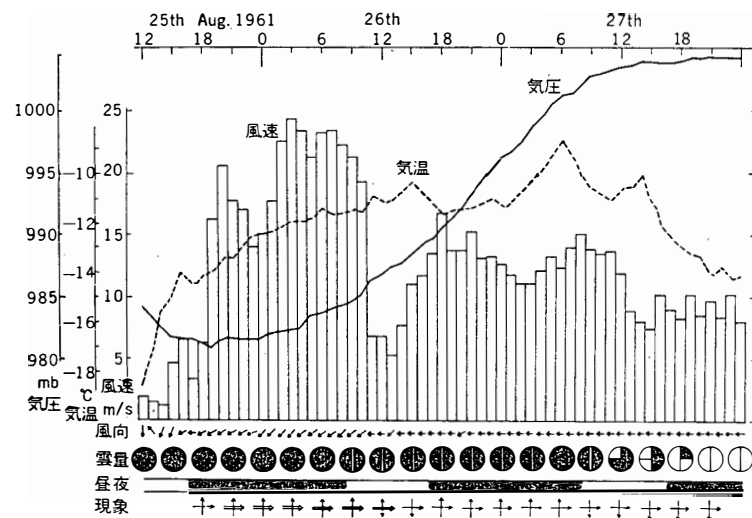


図 7 寒候期の katabatic 風の例 (1)

大スケールの擾乱に刺激されて強まる。

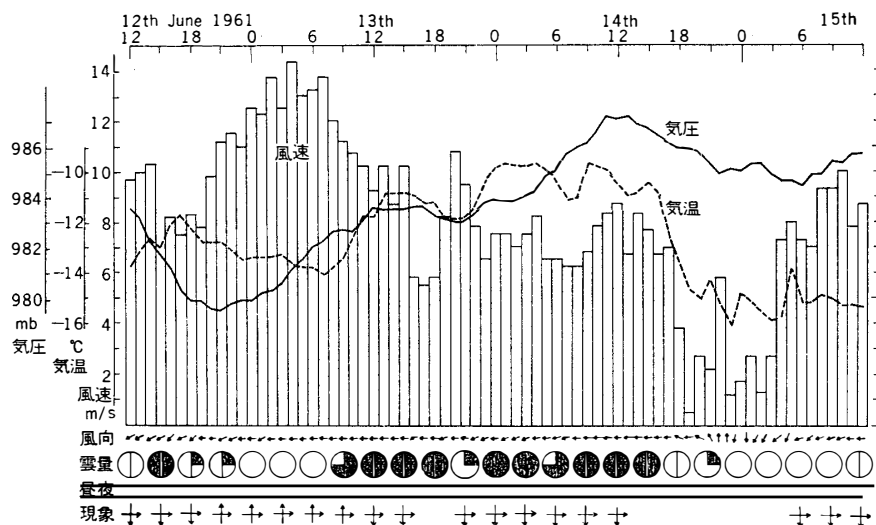


図 8 寒候期の katabatic 風の例 (2)
風速日変化が不規則である。

図 6 の例では、11 月 4～6 日には、図 5 と類似の規則的な風速日変化を示しているが、7 日にはシノプティックスケールの擾乱によって乱されている。このとき、多分基地北方の海上を東進したと思われる擾乱のために、気圧は 965 mb まで下降し、風速は気圧変化に対応して変化し、風向は ENE → NE に転じた。風速の増加による垂直交換のため、強風持続中は夜間でも気温が高くなっていて、接地寒気層が破壊されたことを物語っている。低気圧通過後、9 日からはふたたび katabatic 風型の風速日変化に戻った。

寒半年の実例を図 7 および図 8 に示してある。図 7 では 6 月 13 日に弱い低気圧性の擾乱を受けたことが、気圧変化から推察されるが、風速は擾乱の去ったあと、夜半に大きくなっている。これは katabatic 風がシノプティックスケールの擾乱によって強勢されたものと解されるが、天気図解析が不十分なため、確かなことは分からない。そのあと 7～8 m/s の東風が、地ふぶきをとまないうつ、昼夜の別なく吹続している。

図 8 でも同じように、浅い気圧下降（おそらく低気圧またはトラフの北方通過によるものであろう）が起こって katabatic 風が強勢され、26 日の早朝には 24 m/s に達し、そのあと気圧上昇がつづくあいだ、10～15 m の東風の katabatic 風が強い吹雪をとまなうて吹きつけている。

6. Katabatic 風の出現頻度

昭和基地の日々の気象データを見て行くと前掲図 5～6 のような、はっきりした風速変化から katabatic 風と断定できる場合がかなり多いが、必ずしもそう断定できない場合もあり、

統計的に出現頻度を調べることは容易ではない。しかしながら、多少の誤差は覚悟の上で、あえて一応の目安を定め、katabatic 風の出現日を選び出してみた。その目安として次のようなことを定めた。

(a) 気圧の曲線から、シノプティックスケールの擾乱に支配されていないと判断されること。

(b) 風速が 50%/h または 100%/2h 以上の割合で増大するような変化を示していること。

(c) 増大期間の最大風速が 6 m/s 以上であること。

(d) 風速の増大が気温低下をとまなうこと。(ただし、風速 15 m/s 以上では気温降下がなくとも採用する。)

(e) 風速増大時間が 2 時間以上であること。(この条件は、毎時観測表から選び出すための便宜上のものである。もし、自記記録から直接判断するならば、もっと短時間の katabatic 風の現象を選び出せるであろう。)

以上のような目安によって、katabatic 風の起こった日数を月別に調べてみると、下表のようになる。

表 1 昭和基地における katabatic 風発現日数*

年 \ 月	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1959	欠	7	3	4	4	4	7	5	5	5	7	10
1960	6	6	1	3	3	5	2	5	4	5	19	14
1961	4	16	8	5	4	7	3	7	6	7	5	9
計	10	29	12	12	11	16	12	17	15	17	31	33

表 1 によると、寒半年の出現日数が意外に少なく、寒半年には katabatic 風が支配的であるという、前に述べたことと矛盾するように思われるが、寒半年には katabatic 風が吹いていても、シノプティックスケールの擾乱による影響と交錯して判別が困難なためである。3 月における日数が少ないのも同じ理由からであり、11, 12 および 2 月が最も判定の容易なために日数が増している。したがって、表 1 は katabatic 風をはっきり判別できる日数と考えていただきたい。盛夏の 1 月に日数が少ないのは、大陸表面の熱収支がプラスにさえる時

* この表には第 1 次越冬の資料を除いてある。第 1 次越冬に用いた風の測器は、長期自記気象計のものを流用したため精度不十分（特に風向について）であったからである。

期であって、寒気の蓄積が少ないので、katabatic 風が実際に起こり難いのである。表 1 に含まれている 1 月の日数のうちでも、風速が 10m/s を起えた例はない。2 月に入って、夜の時間が長くなってくると共に、強い夜間風が吹き出すことは、昭和基地で行動した隊員が等しく経験したところである。

7. Katabatic 風の始終時刻および最大風速出現時刻

表 1 に採用した 215 例について、その吹きはじめ、吹き終わり、および最大風速出現時刻を統計すると図 9 のようになる。すなわち、11月から2月までの夏期には、21時から0時までの間に吹きはじめることが最も多く、6時から9時までに吹き終わることが多いが、12時頃までつづくこともかなりある。最大風速は3時から6時までの早朝に起こり易い。これらの傾向は夏の前半(11, 12月)に特にいちじるしい。春(9, 10月)および秋(3, 4月)にはこの傾向が乱れてくるが、それでもなお同じようなことが指摘できる。ただし、吹き終わりの時刻は9時から12時の間の方が回数が多くなっており、結局吹続時間が長くなっていくわけである。5月から8月までの冬期には、始終時刻はまったく不規則に分布し、最大風速出現時刻が0時から6時の間に極大を示すことだけがみとめられる。

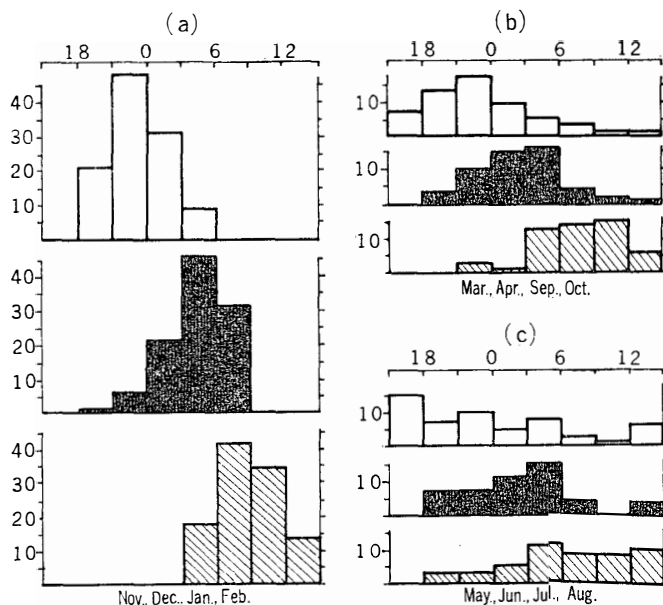


図 9 昭和基地における katabatic 風の始終時刻などの統計。昼夜の長さにより 1 年を (a) (b) (c) の 3 期に分けた。各図共上段は始まりの時刻、中段は最大風速の出現時刻、下段は終わりの時刻。

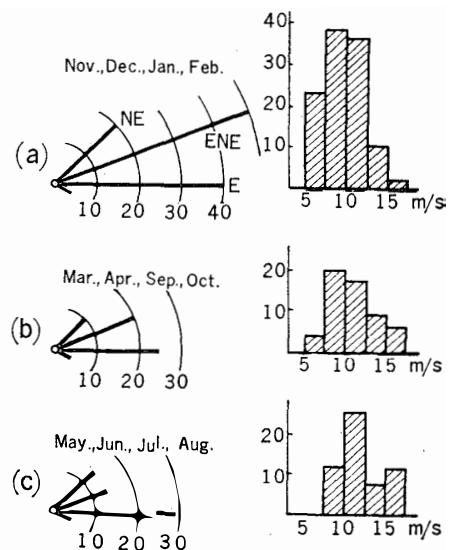


図 10 昭和基地における katabatic 風の風向および風速の統計

8. Katabatic 風の風向および風速の分布

同じ材料を用いて風向を統計してみると、図10の左列に示すように、ENE または E の風向が圧倒的であり、全年を通じて同一の傾向である。これを図3に掲げた全資料による風配図（毎時観測の全資料であって、この中には katabatic 風のものも含まれている）と比較すると、katabatic 風は一般の主風向よりも 1 方位だけ時計まわりの方向に偏っていることが分かる。このことから、昭和基地では、シノプティックスケールの擾乱による風は、NE を中心として吹くが、katabatic 風は E 寄りであるという推察が可能である。明らかに前者と考えられる 25 m/s 以上の強風のほとんどすべてが NE であることから立証できるであろう。両者がからみ合った風として、ENE の頻度が高くなっている。

風速の頻度分布を見ると、図10右列のように、10 m 前後の風が最も多く、20 m/s 以上の風は純粋の katabatic 風としては観測されない。

9. Katabatic 風にともなう気圧変化

昭和基地のように、大陸から離れた観測点において、katabatic 風にともないどのような気圧変化を示すかという問題は、katabatic 風の海上進出後のふるまいを究明するためには重要な手がかりとなるはずである。しかし、残念ながら第5次越冬までの記録では、気圧変化の一定の特徴をつかむことが不可能である。それは海上の katabatic 風先端部における現象が複雑で千差万別であることを示すものかも知れないし、hydraulic jump を起こしたあとの背の高い寒気層については、気圧変化が通常の（0.1 mb の精度）気圧計では測定できないほど小さいためであるかも知れない。

気圧の解析を困難ならしめた原因のひとつは、再開以前に使用された気圧計が、強風時の house effect を受け易く、肝心のときの記録が乱れ易いこと、および自記時計の精度が不十分であったために、他の気象要素の変化との時刻の精細な対応を調べることができないことによる。このような欠陥を除くために、昭和基地再開に当たっては、house effect から逃れるための気圧平衡装置を設け、また、各種自記器の規格統一と、時計制禦の向上を図る等の改良を加えたので、第7次越冬以後のデータを検討するならば、katabatic 風に関係した気圧変化を検出できるかも知れない。これについては目下作業中であるので、後日稿を改め報告したい。

10. ま と め

以上を総括すると次のとおりである。

(a) 昭和基地では、南極大陸海岸から離れているため、典型的な斜面下降風は起こらないが、「定期便」として知られているような、暖半年の夜間に吹く強風は、katabatic 風の影響と見られる。

(b) 暖半年の夜間には、BALL の理論による〔3〕型の katabatic 風が昭和基地まで影響を及ぼすが、昼間は〔2〕型が起こり易いので、海上への影響がほとんどない。このため、昭和基地の風速日変化は夜間に極大、昼間に極小があるという変則型となる。

(c) 冬には、終日 katabatic 風の支配を受けるが、シノプティックスケールの擾乱と交錯して区別し難くなる。

(d) 昭和基地に影響を及ぼす katabatic 風は、hydraulic jump を起こして海上へ進出した後の背の高い寒冷気であり、katabatic 風の末端現象と見られる。そのため現象は比較的緩慢である。

(e) Katabatic 風のときの風向は E ～ ENE であるが、シノプティックスケールの擾乱による強風は NE を中心として吹く。

(f) Katabatic 風の出現頻度、始終時刻、風向風速等の統計的調査を行なった。

(g) Katabatic 風にともなう気圧変化については、今後第 7 次越冬以後の精度の高いデータによって再検討したい。

なお昭和基地附近の katabatic 風のメカニズムを究明するためには、繫留気球等による低層の観測、基地周辺の観測網の展開、大陸上の寒気蓄積に関する観測等の実施が必要であろう。

文 献

- BALL, F. K.(1957): The katabatic winds of Adélie Land and King George V Land. *Tellus*, **9**, 201-208.
- BALL, F. K.(1960): Winds on the ice slopes of Antarctica. *Antarctic Meteorology*, Pergamon Press, Oxford, 9-16.
- BINNIE, A. M. and J. C. ORKNEY(1955): Experiments on the flow of water from a reservoir through an open horizontal channel, II. The formation of hydraulic jumps. *Proc. R. Soc.*, **230**, 237-246.
- CORNISH, V.(1934): *Ocean Waves*, Cambridge Univ. Press, 92.
- MATHER, K. B.(1959): Katabatic winds south of Mawson, Antarctica. *Antarctic Meteorology Symposium*, Melbourne.
- TAUBER, G. M.(1960): Characteristics of Antarctic katabatic winds. *Antarctic Meteorology*, Pergamon Press, Oxford, 52-64.

(1968年1月25日受理)