

昭和基地周辺の局地風

遊馬芳雄^{1,2*}・小松麻美^{2,3}

Katabatic Winds around Syowa Station, Antarctica

Yoshio Asuma^{1,2*} and Asami Komatsu^{2,3}

(2009年12月24日受付; 2010年3月16日受理)

Abstract: To investigate local winds near Syowa Station, katabatic winds were analyzed for 5 years between January 1999 and December 2003 following Morita's definition (1968) using synoptic hourly observation data at Syowa Station. Appearance frequencies and vertical wind and temperature structures were also examined. It was found that spatially and temporally small scale katabatic winds are predominant in summer and low level strong winds are characteristic in winter. Winter katabatic winds are connected to the large scale atmospheric circulation. These conditions were analyzed and simulated with an objectively analyzed data set (NCEP-FNL) and a meso-scale weather model (Polar MM5).

要旨: 昭和基地での局地風であるカタバ風について、地上観測データと高層データをもとに調べた。まず、守田(1968)のカタバ風出現の目安に従い、1999年1月から2003年12月までの5年間の昭和基地地上観測データを用いて、カタバ風と考えられる強風を抽出した。この抽出された強風をカタバ風と見なし、高層データを使ってカタバ風出現時の特徴を調べた。カタバ風は年間を通して検出され、守田(1968)でも指摘されているが、日変化し風速も比較的小さい夏季のカタバ風と、日変化はせず風速や規模も大きい冬季のカタバ風があることが分かった。さらに、アメリカ国立環境予測センター全球客観解析データ(NCEP-FNL)を用いて、カタバ風出現時の総観場や風の水平分布について調べた。夏季のカタバ風は日変化し比較的循環のスケールが小さいのに対し、冬季のカタバ風は総観場とも連携した寒気や循環構造となっていて、循環のスケールも大きいことが分かった。そして、極域のメソスケール気象現象に適応できるように改良されたPolar MM5メソスケール

¹ (現所属 present affiliation): 琉球大学理学部, Faculty of Science, University of the Ryukyus, Senbara 1, Nishihara, Okinawa 903-0213.

² 北海道大学大学院理学研究科, Graduate School of Science, Hokkaido University, Kita-10 Nishi-8, Kita-ku, Sapporo 060-0810.

³ (現所属 present affiliation): 日本気象協会北海道支社, Hokkaido Branch, Japan Weather Association, Kita-4 Nishi-23, Chuo-ku, Sapporo 064-8555.

* Corresponding author. E-mail: asuma@sci.u-ryukyu.ac.jp

ル気象モデルを用いて、カタバ風発生時の上層や周囲の環境場の構造および時間変化を調べた。

1. はじめに

地表面近くの空気が放射冷却等により冷やされ、重くなった空気が斜面を下降する局地風がカタバ風である。南極大陸の巨大な氷床斜面では、いたるところでカタバ風が吹いていると考えられる。南極氷床のカタバ風はその規模が大きく、コリオリ力の影響や氷床の切り立った斜面、総観場との相互作用も受け、その実態はかなり複雑であることが予想される。しかしながら、南極での観測データは限られるため、カタバ風の詳細な研究はあまり多くはない。Parish and Bromwich (1987) は、氷床斜面上に形成された逆転層内冷気の気圧傾度力とコリオリ力、氷床表面の摩擦力の釣り合いを考える Ball のカタバ風モデルをもとに、南極氷床上での逆転層気候データを使って、氷床上を冷気が流出する流れである南極氷床のカタバ風を計算した。得られた結果を南極氷床上に設置された自動地上気象観測点や、氷床表面に形成されたサスツルギ（風紋）の方向と比較したところ、計算結果が南極氷床上で観測される平均的な地上付近の風と一致していたことを報告している。

南極昭和基地（以下、昭和基地）は南極大陸沿岸の東オングル島にある。昭和基地では初期に若干の欠測期間があるものの、開設以来、長期間にわたって気象観測が続けられている。観測点が極端に少ない南極大陸沿岸域での貴重な観測データを全世界に提供している。近年、佐藤 (2004) や Sato and Hirasawa (2007) によって、昭和基地で観測された気象データの長期解析が報告されてはいるものの、昭和基地周辺の局地風や気象現象を取り上げた文献はあまり多くはない。その中でも、守田 (1968) による昭和基地開設初期の観測データを用いたカタバ風の報告は貴重である。守田 (1968) は、1959-1961 年の 3 年間の地上観測データを用いてカタバ風出現の目安を定義し、昭和基地でのカタバ風出現特性を論じている。その特徴として、暖候期のカタバ風は夜半から早朝に強風が現れ、出現時刻に現地時間と関連性がある「定期便」とも呼ばれている。このような日変化をする強風が暖候期に吹くことや、寒候期には日変化のない低気圧などの総観規模現象との区別も難しい風速の強いカタバ風があること、年間を通じてカタバ風の風向は東北東、または東であることが報告されている。

本論文では、守田 (1968) のカタバ風の目安にしたがって、1999 年 1 月から 2003 年 12 月までの 5 年間の昭和基地地上観測データを使って、局地風であるカタバ風を抽出し、抽出したカタバ風出現時の気象状況や環境場を高層データやアメリカ国立環境予測センター全球客観解析データ (NCEP-FNL) によって解析した。そして最後に、アメリカ・ペンシルバニア州立大学一国立大気科学研究センター (PSU-NCAR) メソスケール気象モデル (MM5) を極域気象現象に適応できるように改良された Polar MM5 を用いて、カタバ風発

生時の上層や周囲の環境場構造を調べた。

2. 使用データとカタバ風抽出の定義

解析に用いたデータは、気象庁南極気象資料 CD-ROM から南極昭和基地での毎時地上観測データと1日2回(0000 UTC, 1200 UTC)の高層観測データ、アメリカ環境予測センター全球客観解析データ(NCEP-FNL)である。解析期間は、1999年1月~2003年12月までの5年間とした。昭和基地での特徴的な局地循環であるカタバ風を調べるために、守田(1968)と同様なカタバ風発生の抽出条件を使った。すなわち、以下の5項目の条件を満たす場合をカタバ風として定義し、抽出した。

- (a) 風速が1時間あたり50%以上の割合で増大。
- (b) 最大風速が6 m/s以上。
- (c) 気温低下を伴って風速が増大(但し、風速15 m/s以上では気温低下がなくてもよい)。
- (d) 2時間以上にわたって風速が増大。
- (e) 気圧の変化から総観スケールの擾乱に支配されていない(地上気圧が極小値を示す変動がない)。

後の章でも議論するが、これらの条件で抽出された事例は「局地的突発性地上寒冷強風」と定義される。斜面下降風としての典型的な、あるいは単純なカタバ風ばかりではなく、様々な要因やスケールの大気現象の重ね合わせとして、昭和基地で観測された現象であると考えられる。局地的とした理由の、低気圧などの総観スケール擾乱の影響を除くための条件(e)はかなり主観的な条件であるが、明らかに総観スケール擾乱(低気圧の影響)に支配されていると判断される事例を取り除くための条件として、本解析の抽出条件にも取り入れた。こうして抽出された「局地的突発性地上寒冷強風」を「カタバ風」と考えて解析を進める。

3. 1999年1月~2003年12月までのカタバ風出現特性

第2章の「カタバ風」と考えられる抽出条件に従って、1999年1月から2003年12月まで昭和基地での毎時地上観測データを用いてカタバ風を抽出したところ、5年間全部で345回のカタバ風と判定された事例が抽出された。この抽出された事例を守田(1968)にならひ、図1に月別出現頻度、図2に夏季(11-2月)、春季と秋季(3-4月、9-10月)、冬季(5-8月)に分けた、それぞれの風向別出現頻度と風速頻度を示した。ここで示した図は、カタバ風と判定された期間の最も大きい風速(毎時10分平均地上風速)の頻度である。この2つの図は、守田(1968)によって1959-1961年のデータを使って解析された結果とほぼ同様な傾向を示している。まず、図1の出現頻度については、解析した5年間で345回であ

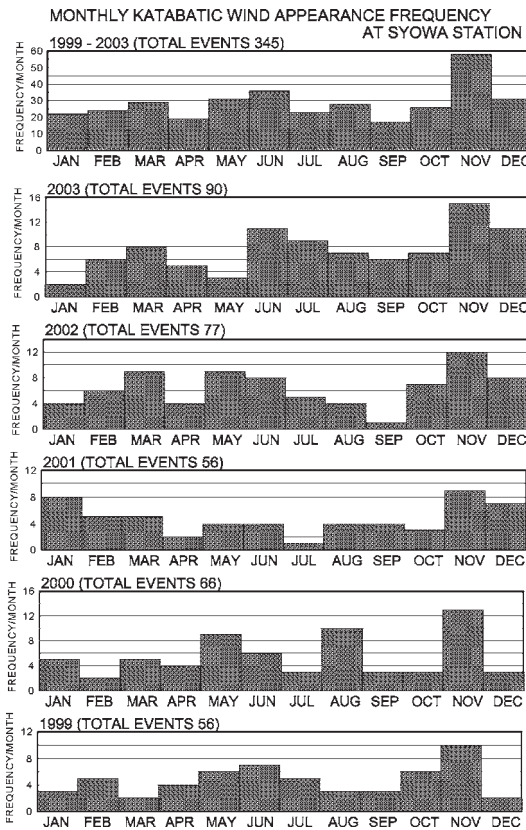


図1 月別カタバ風出現頻度分布。上段から下段にかけて、それぞれ、1999年から2003年までの合計、2003年、2002年、2001年、2000年、1999年。

Fig. 1. Monthly katabatic wind appearance frequency. Panels show total appearance frequency from 1999 to 2003, 2003, 2002, 2001, 2000 and 1999, respectively.

るので、年間70回弱(69回)の出現頻度である。年間の発生頻度は、最も出現の少ない年が1999年と2001年の56回であり、最も多い年は2003年の90回であるので、毎年比較的安定している。守田(1968)の出現頻度をみても、1959年1月は解析に入っていないが、1959年が61回、1960年が73回、1961年が81回であり、3年間で215回である。したがって、年間72回程度の出現頻度である。この頻度は今回の抽出回数とほぼ同程度である。3つの季節に分けた頻度では、夏季が最も多く(136回)、次いで、冬季(118回)、春季と秋季(91回)の順であった。守田(1968)の解析では、3年間で夏季(103回)、冬季(56回)、春季と秋季(56回)であるので、夏季の出現が最も多いことは同じであるが、本解析の方が冬季の出現頻度が高い。風向別出現頻度は、すべての季節で東北東の風向時の発生頻度が卓越している。守田(1968)は、夏季は東北東の風向が卓越しているが、他の季節では東が卓越していることを報告している。しかしながら、出現傾向には大きな違いがないよ

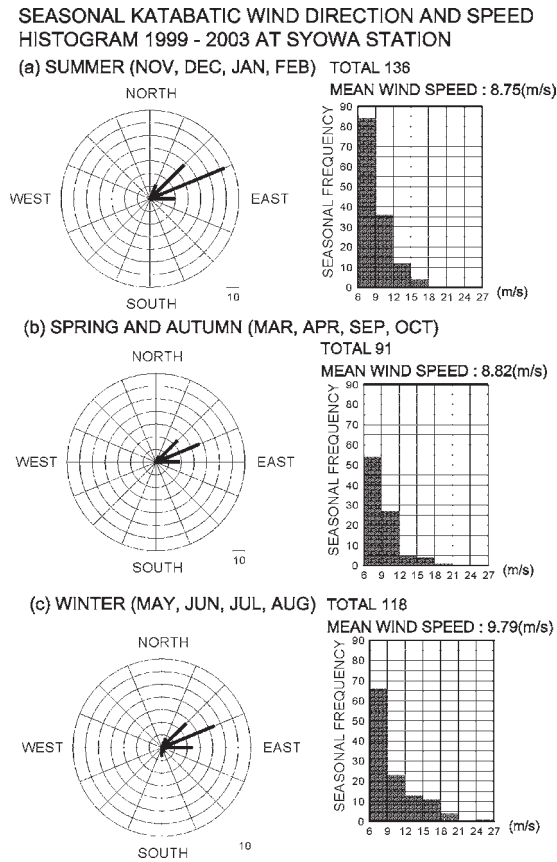


図 2 1999 年 1 月から 2003 年 12 月までに南極昭和基地でのカタバ風出現風向 (左図) と風速出現頻度 (右図)。上段は夏季 (11-2 月), 中段は春季と秋季 (3-4 月, 9-10 月), 下段は冬季 (5-8 月)。

Fig. 2. Katabatic wind direction frequency (left panels) and wind speed frequency (right panel) from January 1999 to December 2003 at Syowa Station. Top panels are summer (November, December, January and February), middle panels are spring and autumn (March, April, September and October) and bottom panels are winter (May, June, July and August).

うに考えられる。図 2 の風速別出現頻度は、すべての季節において 9 m/s 以下の風速の出現頻度が卓越している。しかし、その季節ごとの平均風速、あるいは季節ごとの最も大きな事例の風速は、夏季、春季と秋季、冬季の順に大きい。これは守田 (1968) の傾向とも一致している。守田も指摘しているように、夏季の方がカタバ風だけの局地的な (単純な、あるいは純粋な) 循環を抽出している可能性が高く、冬季になると低気圧などの総観規模循環との相互作用が大きく、局地循環と総観規模循環の影響が混在した循環を反映した結果とも考えられる。

4. カタバ風の抽出事例

実際にカタバ風として抽出された事例をこの章で述べる。

4.1. 夏季の事例

図3に夏季の例として、2001年1月の地上観測データより気圧、気温、風速風向、下向き短波放射、上向き及び下向き長波放射、雲量の変動を示した。雲量は放射収支の指標と

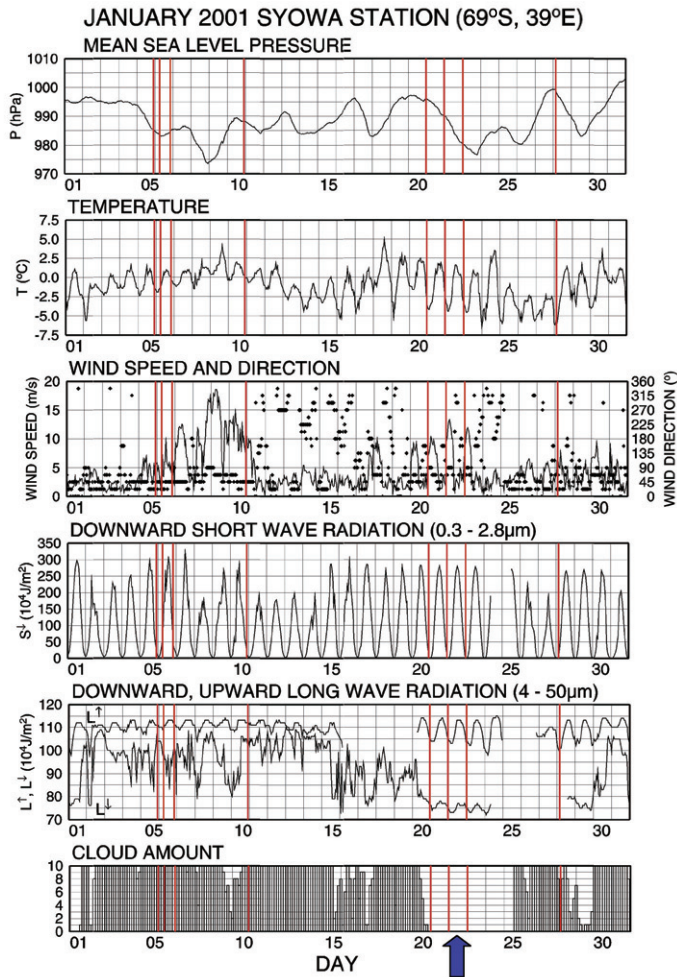


図3 2001年1月の昭和基地で観測された海面気圧、気温、風速・風向、下向き短波放射、下向きと上向き長波放射、雲量。図中の赤線はカタバ風出現時を表す。下欄矢印は典型事例として挙げた2001年1月22日の事例を示す。

Fig. 3. Monthly time variations of mean sea level pressure, temperature, wind speed and direction downward short wave radiation, downward and upward long wave radiation and cloud amount observed at Syowa Station in January 2001. Red solid lines show the katabatic wind appearance times. The arrow in the bottom column is 22 January 2001 as a typical case.

なると共に、総観場の指標ともなると考え調べることにした。また、図4上図には、高層観測データから求めた風分布と風速を濃淡と矢羽根で示し、下図には温位分布を示している。図3中赤実線、図4の太い実線はカタバ風が抽出された時刻を示している。2001年1月にカタバ風が抽出された日時は全部で8回あり、その一覧を表1に示した。図3より、

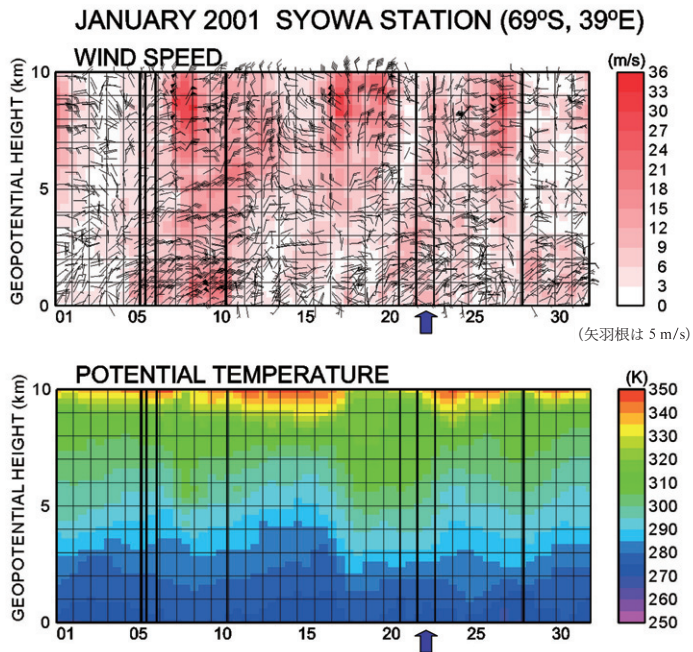


図4 昭和基地での高層観測による風速・風向(上図)と温位(下図)の2001年1月の月変化。図中太い実線はカタバ風の出現時を示し、下欄の矢印は典型事例として挙げた2001年1月22日を示す。

Fig. 4. Monthly time variations of wind speeds and wind directions, and potential temperature in January 2001, observed by upper air sounding at Syowa Station. Thick solid lines show the katabatic wind appearance times and arrows in the bottom column show 22 January 2001 as a typical case.

1900 UTC (2200 LT) 05 JAN.
0300 UTC (0600 LT) 06 JAN.
1700 UTC (2000 LT) 06 JAN.
2000 UTC (2300 LT) 10 JAN.
2000 UTC (2300 LT) 20 JAN.
2000 UTC (2300 LT) 21 JAN.
2100 UTC (2400 LT) 22 JAN.
0000 UTC (0300 LT) 28 JAN.

表1 守田(1968)の定義にしたがい抽出したカタバ風抽出日(2001年1月)。

Table 1. Dates of katabatic wind cases according to Morita's (1968) definition (January 2001).

1月は白夜の時期にあたり、太陽高度が高いいわゆる昼間の時刻と太陽高度が低い夜間の時刻の日射量（下向き短波放射量）の変化が大きく、気温や上向き長波放射にも明瞭な日変化が見られる。カタバ風が抽出された時刻を見ると、守田の指摘のように8例とも現地時間の夜間から早朝の時刻に出現している。快晴時に多いが、雲量が10の時でもカタバ風が抽出されている。しかしながら、すべてのケースで日射量に明白な日変化が認められ、長波放射量も下向きと上向きとで大きな差があることから、雲があっても薄い雲であることが推察される。図4より、概して風速の極大は地表付近の1 km 位の低い高度と高度8-9 km 位の高い高度に存在していて、高い高度の方が風速は強い傾向にあるようである。カタバ風が抽出された時刻を見ると、下層の風速は必ずしも強いわけではないが、風の極大は見られる。温位も下層では低い値になっている。

カタバ風として抽出された8例のうち1月22日の事例（図3、4では下欄の矢印）を代表例として取り上げ、現地時刻で午前3時(0300 LT)の深夜の時刻に当たる0000 UTCと、午後3時(1500 LT)の昼間の時刻に当たる1200 UTCの高層データの温位、湿度、風の鉛直分布を図5に示した。また、同時刻の客観解析データ(NCEP-FNL)での昭和基地周辺の海面気圧、風向・風速、及び氷床の高度の水平分布図（図中の星印が昭和基地）と昭和

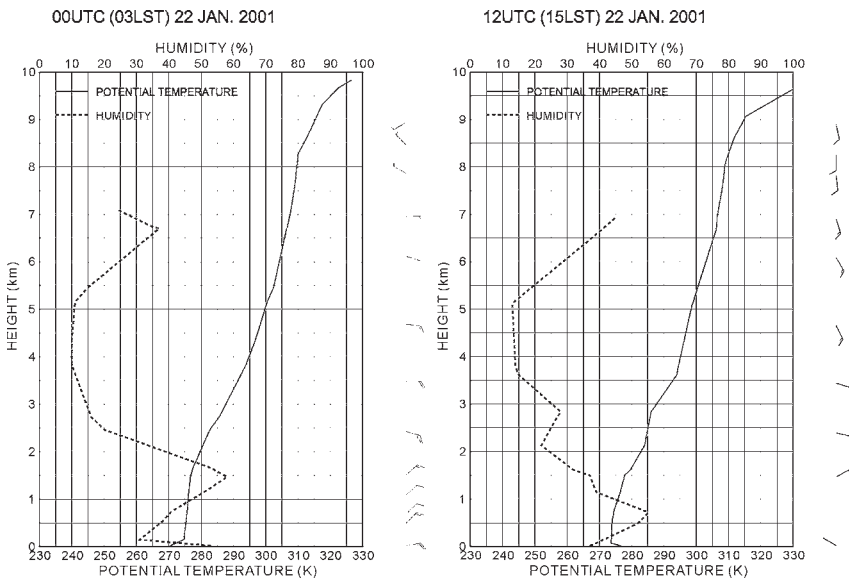


図5 2001年1月22日0000 UTC (0300 LT) (左図)と1200 UTC (1500 LT) (右図)の温位と湿度の高層データ。

Fig. 5. Potential temperature and relative humidity observed by upper air sounding at 0000 UTC (0300 LT) (left panel) and 1200 UTC (1500 LT) (right panel) on 22 January 2001.

基地 (39°35'24"E, 69°00'22"S) のほぼ上空を通過する東経 40 度の経線に沿った温位と、東西風の南北断面図を図 6 に示した。図 5 は、深夜の時刻に対応する 0000 UTC の高層データから、高度 1.5 km 以下では温位の高度変化が小さくなっているが、その上空では下層ほど温位が低くなっていて安定成層状態であることを示している。地表付近の最下層 100 m 程度では温位が高度と共に急激に減少して、地表での温位が最低値となっている。また、全層にわたり湿度は 60% 以下で、雲のない晴天状態であることを示唆している。したがって、地表付近が放射冷却によって冷やされていて、強い安定状態になっていることが考えられる。風速も地表で強くなっている。風向は東北東である。一方、昼間の時刻に対応する 1200 UTC の高層データを見ると、上層の温位プロファイルはあまり変化していないが、最下層 50 m 程度で温位が高くなっていて、地表付近は日射によって暖められていることが示唆される。この時の地表風も非常に弱く、風向は北西である。図 6 の客観解析データより、昭和基地は低気圧後面にあたり、この低気圧は若干深まりながら東進している。

NCEPFNL

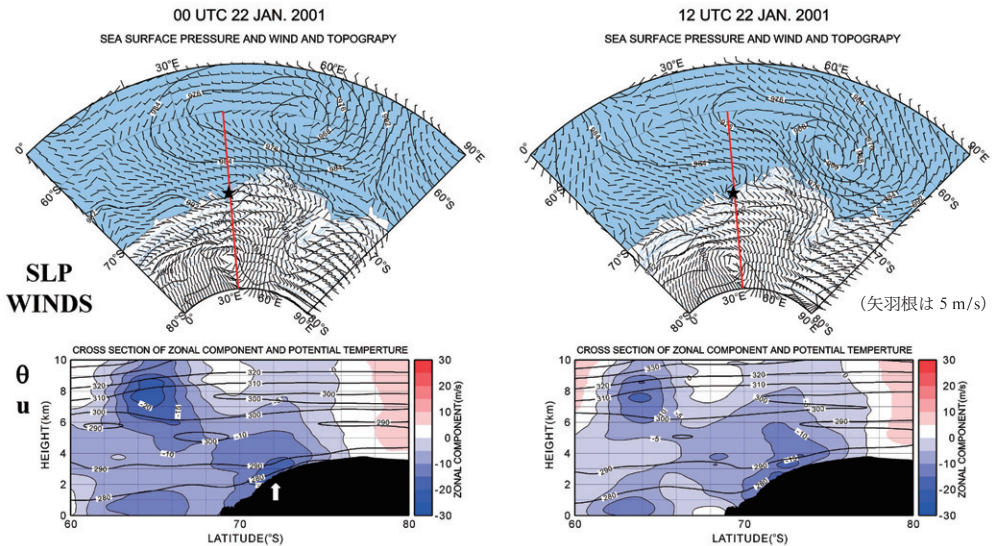


図 6 NCEP-FNL 客観解析データの 2001 年 1 月 22 日 0000 UTC (0300 LT) (左図) と 1200 UTC (1500 LT) (右図) の海面気圧と風速・風向 (上段) と温位と東西風の昭和基地上空の南北断面図 (下段)。上段星印は昭和基地の位置、赤い実線は下段で示した南北断面の位置を示す。左図下段の白抜き矢印は本文での議論の場所を示す。

Fig. 6. Mean sea level pressure and wind (top panels), and potential temperature and zonal wind in the meridional cross section over Syowa Station (bottom panels) at 0000 UTC (0300 LT) (left panels) and 1200 UTC (1500 LT) (right panel) on 22 January 2001. The asterisk in the upper panel shows the location of Syowa Station, the red solid line shows the location of the meridional cross section in the bottom panel. The open arrow shows the location discussed in the text.

深夜時刻の 0000 UTC の南北断面図から南極氷床の斜面に沿ってほぼ並行に 280 K の等温位線が伸び、斜面表面で空気が急激に冷やされていて、その空気が斜面に沿って断熱的に降下するので、等温位線が斜面とほぼ並行に伸びている。図中に白い矢印で示したように、東風の強い高度は 2 km 付近に存在し、丁度、この位置は昭和基地近くにあるリュツォ・ホルム湾に続く谷の位置にあっている。南極氷床の沿岸にあたる昭和基地周辺では東風であるが、東風成分は昭和基地の南極氷床沿岸域で若干弱くなっている。昼間の時刻に対応する 1200 UTC の図からは、地上風の水平分布より昭和基地近くのリュツォ・ホルム湾周辺で、湾に対応したスケールで時計廻りの低気圧性循環が見られる。風速は非常に弱い。南北断面図からは、南極氷床斜面に沿った斜面に平行な等温位線はあまり顕著には見られなくなっていて、風の東風成分の最大は高度 2 km 程にある。昭和基地の位置である南極氷床沿岸域では高度は低いが西風成分を持った風になっている。これは、前出の水平分布図に現れたリュツォ・ホルム湾に出現した弱い低気圧性循環に相当している。

4.2. 冬季の事例

冬季の例として 2000 年 5 月を示す。図 7 に、図 3 と同様、地上気圧、気温、風向・風速、下向き短波放射、上向き及び下向き長波放射、雲量の変動を示した。また、図 8 には、図 4 と同様、高層観測データから求めた風分布と風速を上図に示し、下図には温位分布を示している。図中の赤実線や太い実線も同様にカタバ風が抽出された時刻を示している。カタバ風が抽出されたのは、2000 年 5 月では全部で 9 回あり、その一覧が表 2 である。5 月は太陽高度が徐々に低くなり、極夜へと向かう時期にあたる。図 7 から、日射量、すなわち、下向き短波放射量が日を追うごとに小さな値となっていることからこの様子がうかがえる。最下段の雲量変動を見ると、全天雲に覆われていることが多く、上向きと下向きの長波放射量の差が小さいことから雲が厚いことが推察される。カタバ風が抽出された時刻の雲量や放射量を見ても、必ずしも晴天や薄い雲の時にカタバ風が抽出されているわけではない。出現時刻は守田（1968）が指摘しているように、必ずしも地方時の夜間や早朝に対応する時刻ばかりではなく、出現時刻に日変化的な要素が減っている。図 8 上図では、全体的に風が強く、高度 2 km 以下の下層と高度 6-7 km 以上の上層に強風が現れている。下図からも、最下層が非常に冷えていて大気の安定度が強いことがわかる。

カタバ風が抽出された 9 例の事例から、0200 UTC と 1100 UTC にカタバ風が抽出された 5 月 8 日の高層データと客観解析データの 0000 UTC と 1200 UTC の状況を、図 9 と図 10 に代表的な例として示した。図 9 が図 5 と同様に高層データの図で、図 10 が図 6 と同様の客観解析図である。図 9 の 5 月 8 日 0000 UTC の高層データは、高度 2.5 km 付近に強い安定層が存在しているが、この高度を挟んで全層で安定成層である。湿度は高度 4 km 以下で 80% を超え、雲内にある状態と考えられる。全層にわたって強風であるが、特に下層 1.5

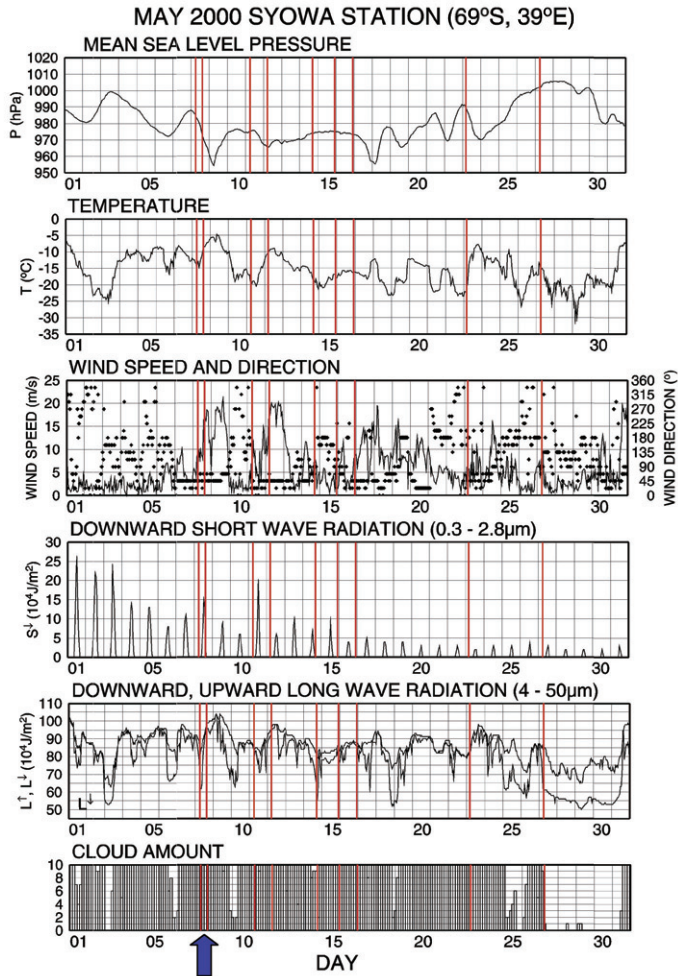


図7 2000年5月の昭和基地で観測された海面気圧、気温、風速・風向、下向き短波放射、下向きと上向き長波放射、雲量。図中の赤線はカタバ風出現時を表す。下欄矢印は典型事例として挙げた2000年5月8日の事例を示す。

Fig. 7. Monthly time variations of mean sea level pressure, temperature, wind speed and direction, downward short wave radiation, downward and upward long wave radiation and cloud amount observed at Syowa Station in May 2000. Red solid lines show the katabatic wind appearance times. The arrow in the bottom column is 8 May 2000 as a typical case.

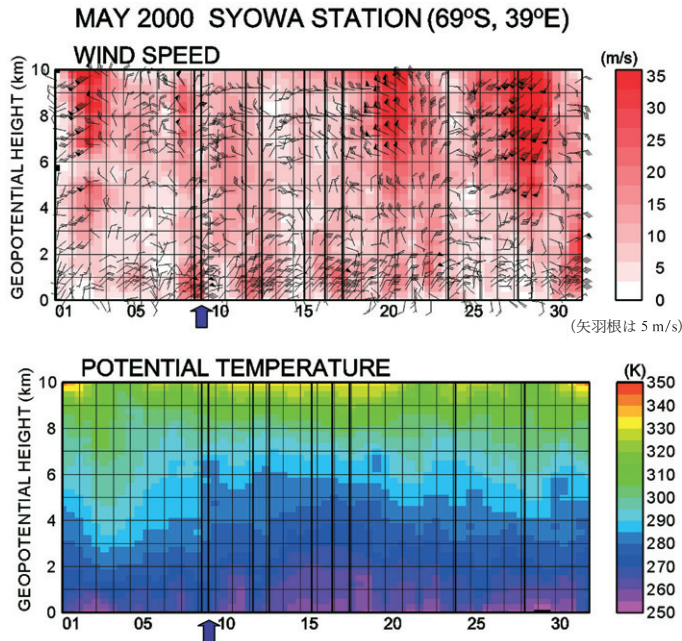


図 8 昭和基地での高層観測による風速・風向（上図）と温位（下図）の 2000 年 5 月の月変化。図中太い実線はカタバ風の出現時を示し、下欄の矢印は典型事例として挙げた 2000 年 5 月 8 日を示す。

Fig. 8. Monthly time variations of wind speeds and wind directions, and potential temperature in May 2000, observed by upper air sounding at Syowa Station. Thick solid lines show the katabatic wind appearance times; arrows in the bottom column show 8 May 2000 as a typical case.

0200 UTC (0500 LT) 08 MAY
1100 UTC (1400 LT) 08 MAY
0200 UTC (0500 LT) 11 MAY
0100 UTC (0400 LT) 12 MAY
1300 UTC (1600 LT) 14 MAY
1800 UTC (2100 LT) 15 MAY
1800 UTC (2100 LT) 16 MAY
0000 UTC (0300 LT) 23 MAY
0200 UTC (0500 LT) 27 MAY

表 2 守田 (1968) の定義にしたがい抽出したカタバ風抽出日 (2000 年 5 月)。
Table 2. Dates of katabatic wind cases according to Morita's (1968) definition (May 2000).

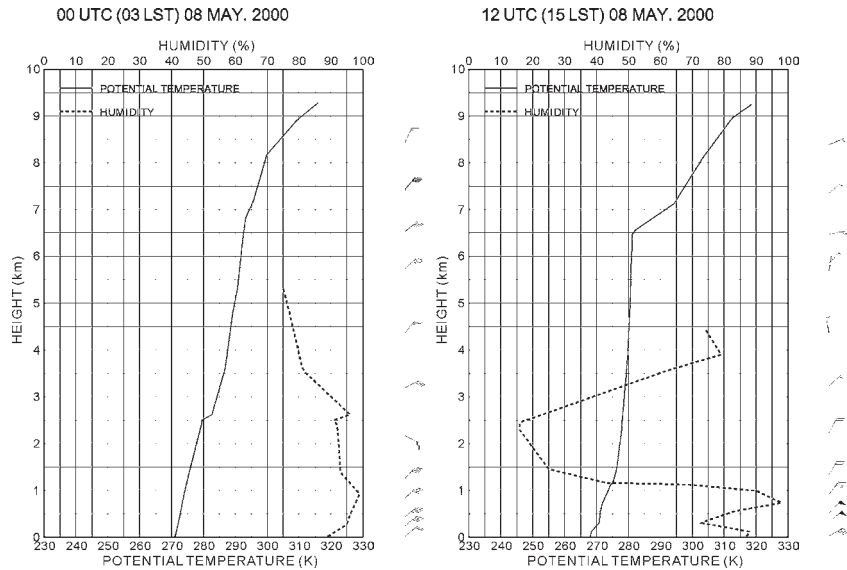


図9 2000年5月8日0000 UTC (0300 LT) (左図) と1200 UTC (1500 LT) (右図) の温位と湿度の高層データ。

Fig. 9. Potential temperature and relative humidity observed by upper air sounding at 0000 UTC (0300 LT) (left panel) and 1200 UTC (1500 LT) (right panel) on 8 May 2000.

km 以下と高度 7.5 km 付近で強風が観測されている。一方、1200 UTC の高層データでは、高度 6.5 km 上層で安定度が強く、その下は高度 2 km 程度まではほぼ温位が一定であり、さらに、高度 2 km から地表までは安定度が少し強くなっている。高度 1 km~500 m の下層で湿度が 80% を超えていて、雲内であると考えられる。高度 1 km 以下の最下層で強風が観測されているが、他の高度では風が弱い。図 10 の客観解析データでは、昭和基地の北西に低気圧が存在し、1200 UTC では中心気圧が若干強まりながら 0000 UTC とほぼ同じ位置で停滞している。昭和基地はこの低気圧の東、すなわち、前面の暖域にあたり、北からの暖気移流領域にあっている。南北断面図を見ると、0000 UTC、1200 UTC 双方の時刻とも南極氷床斜面に沿って斜面とほぼ並行に 270 K の等温位線が伸びている。この等温位線は南極氷床の沿岸域でも沖合に水平に伸び、この領域は海氷に覆われている領域であると考えられる。この等温位線より下層での風の東風成分が非常に強く、東風の等風速線も等温位線とほぼ同じように平行に伸びた分布となっている。これは強風の東風、すなわち、南向きのコリオリ力が、氷床表面近くでできる氷床斜面上の冷気の局所的な大気気圧水平傾度とバランスすることで生じるバリア風 (barrier wind) である可能性が高く、強風の東風があることで、寒気が氷床近くに捕捉されるダミング (damming) が起こっている可能性が高いことを示唆している。南極氷床の風系やバリア風、寒気のダミングは Parish and

NCEPFNL

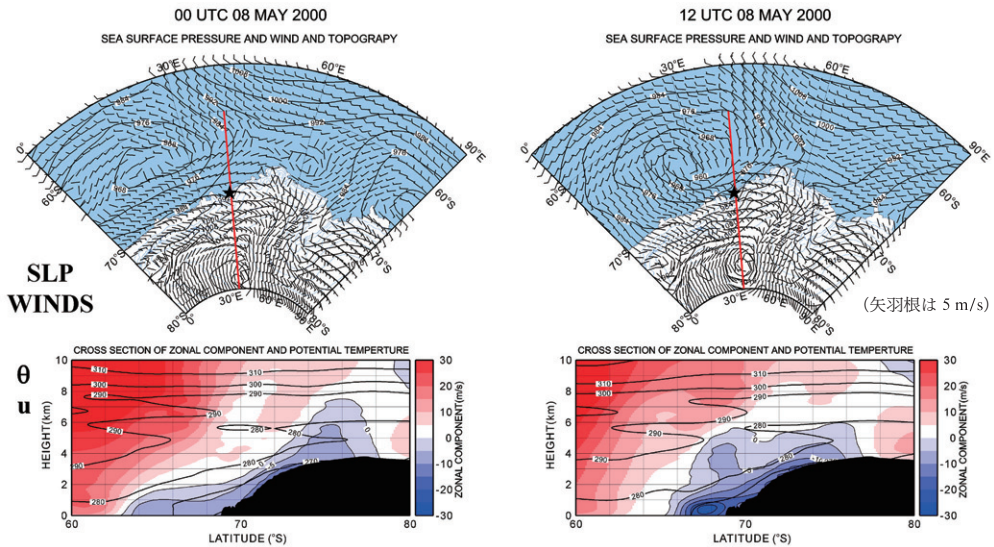


図 10 NCEP-FNL 客観解析データの 2000 年 5 月 8 日 0000 UTC (0300 LT) (左図) と 1200 UTC (15 LT) (右図) の海面気圧と風速・風向 (上段) と温位と東西風の昭和基地上空の南北断面図 (下段)。上段星印は昭和基地の位置, 赤い実線は下段で示した南北断面の位置を示す。

Fig. 10. Mean sea level pressure and winds (top panels), and potential temperature and zonal wind, in the meridional cross section over Syowa Station (bottom panels) at 0000 UTC (0300 LT) (left panels) and 1200 UTC (1500 LT) (right panel) on 8 May 2000. The asterisk in the upper panel shows the location of Syowa Station, the red solid line shows the location of the meridional cross section in the bottom panel.

Bromwich (1987) や Parish and Bromwich (1991), O'Connor *et al.* (1994), King and Turner (1997), Parish and Cassano (2003) など報告されている。また, Bell and Bosart (1988) によって, アメリカ大陸東海岸に沿うアパラチアン山脈でも, バリア風である下層ジェットと寒気のダミングが報告されている。海水上や南極氷床上のこれらの下層東風強風は, 低気圧による暖気移流や極域全体の大規模な寒気分布, 南極氷床上の冷気形成とも関連して, 気塊の移流や低気圧の位置, 発達過程との相互作用が示唆される。すでに守田 (1968) でも指摘されていることであるが, 冬季のカタバ風は, 低気圧などの総観規模現象や大規模場の循環とも結びついて, 複雑な様相を示していることが考えられる。

5. 高層データからの強風帯

第 3, 4 章からも明らかなように, カタバ風や海陸風などを含めて, 南極大陸沿岸域に位置する昭和基地周辺での強風や局地循環は, 非常に興味深い現象である。図 4 や図 8 からも分かるように, 昭和基地上空での風は一般に下層強風の多くが高度 3 km 以下であり, 高

度 4-7 km では風が弱い。また、その上空では上層ジェットや極渦に対応して、再び風速が強くなる傾向がある。そこでさらに、これら強風の性質を調べるため、同じ解析期間の 1999 年 1 月から 2003 年 12 月までの昭和基地での高層データを用いて、10 m/s 以上の強風層の出現頻度を調べた。

まず、図 11 に下層高度 3 km 以下の強風に注目し、700 hPa 以下の高度での強風の出現頻度を 10-15 m/s, 15-20 m/s, 20 m/s 以上の 3 段階に分けて時間頻度として表示した。高層データは 0000 UTC と 1200 UTC の 12 時間ごとの観測であるので、1 回出現していれば 12 時間の出現時間としてカウントした。5 年間の積算値を月別に示したのが上図で、季節別に示したのが下図である。最も出現頻度が高いのは 4 月の初冬であるが、2 番目は厳冬の 7 月であった。一般に、5-8 月にかけての冬季に下層強風層の出現頻度が高い。逆に出現頻度が

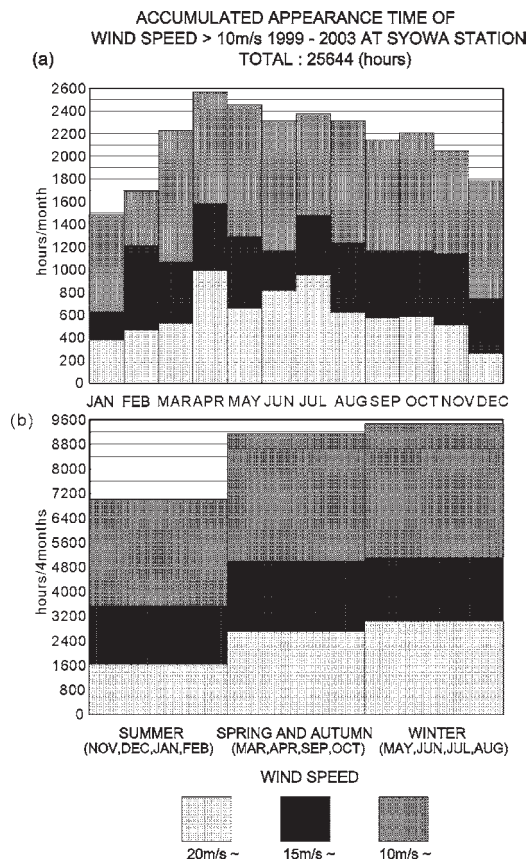


図 11 1999 年から 2003 年に 700 hPa 高度以下に出現した風速 10 m/s 以上の風速の出現積算時間。上図は月別出現積算時間、下図は季節別出現積算時間。

Fig. 11. Cumulative appearance time when the wind exceeded 10 m/s below 700 hPa from 1999 to 2003. The upper panel shows the monthly cumulative appearance time; the bottom panel shows the seasonal cumulative appearance time.

低いのが11-2月にかけての夏季であった。特に、1月は10 m/sを超える下層強風の出現頻度が最低で、20 m/sを超える下層強風の出現頻度の最低は12月であった。

次に、高度10 kmまでの10 m/sを超える風の出現頻度を調べた。その結果を図12に示す。図中上段左の図は、5年間の出現頻度を百分率で高度500 mごとに示し、上段右の2つの図は、高度10 km以下での風速の出現頻度と10 m/s以上の風の風向の出現頻度を示し、中段は、高度3-10 kmでの風速と10 m/s以上の風の風向の出現頻度、下段は、高度3 km以下の風速と10 m/s以上の風の風向の出現頻度を示している。10 m/s以上の強風層は最下層高度500 m以下が最も多く、次が高度1 km-500 mである。高度1 km以下の出現頻度が突出して多い。また、上層ジェットに代表される6 km以上の高度での出現も多いが、比較的広い層にわたって分布していて、出現頻度も5%程度である。強風層の風向は、高度10

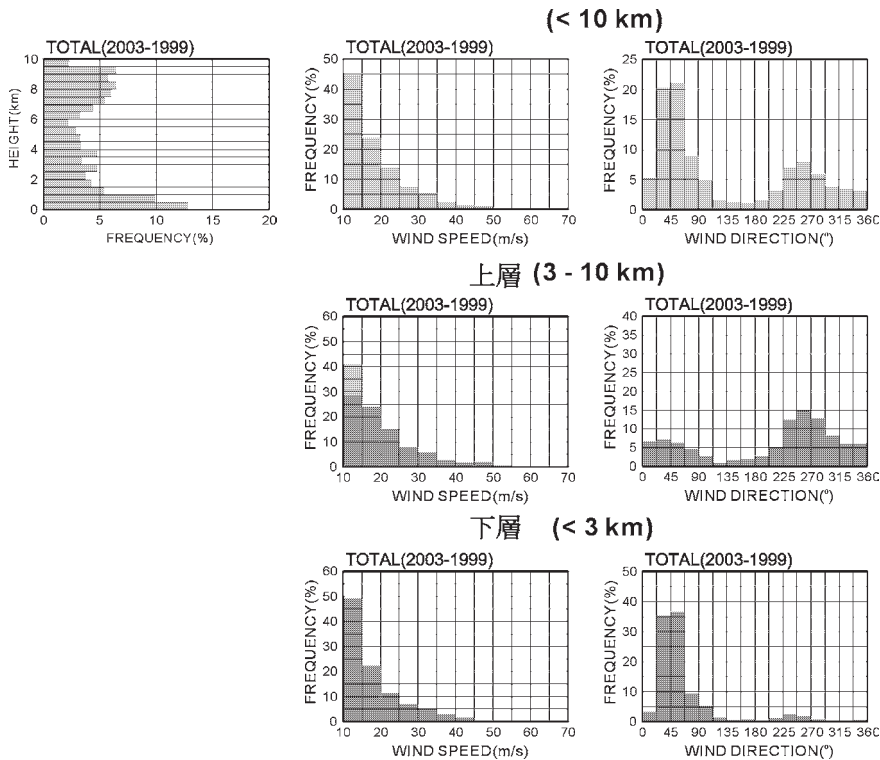


図12 風速10 m/s以上の風の出現頻度。上段左図は10 m/s以上の風が出現する高度分布、上段中図と右図は高度10 km以下での風速の出現分布と風向の出現分布、中段は高度3-10 kmの頻度図、下段は高度3 km以下の頻度図。

Fig. 12. Frequency of appearance of wind exceeding 10 m/s. The upper right panel shows the height dependency of appearance frequency; the upper central panel shows wind speed frequency below 10 km in height, the upper right panel shows wind direction frequency below 3-10 km in height, and bottom panels show frequencies below 3 km in height.

km 以下の全層では北北東~東北東と、南西~北西の2つのピークをもつ。高度 3-10 km に限ると南西~北西の出現が多くなり、これが上層ジェットや極渦に代表される風向と考えられる。一方、高度 3 km 以下に限ると北北東~東北東の出現方向に鋭いピークをもつ。風速も多くが 10-15 m/s で、この中にカタバ風の多くが含まれていると考えられる。

6. カタバ風のメソスケール気象モデルでの再現実験

最後に、第4章で述べた夏季の典型例として示した 2001 年 1 月 22 日と、冬季の典型例として示した 2000 年 5 月 8 日の事例を対象として、アメリカ・ペンシルバニア州立大学一国立大気科学研究センター (PSU-NCAR) メソスケール気象モデル (MM5) を基に、極域現象に対応できるように改良された Polar MM5 を用いて再現実験を行った。計算は鉛直 23 層で行い、水平格子間隔 9 km の領域を水平格子間隔 27 km の領域にネストさせ、2つの領域間の相互作用を考える 2-way nest として計算を行った。計算領域や用いたパラメータを図 13 にまとめた。計算の初期値や境界値データは 6 時間ごとの客観解析データ (NCEP-FNL) を用い、計算の開始は典型事例として示した 0000 UTC の 1 日前、すなわ

Polar mm5 (The NCAR mesoscale model ver. 3.71)

- **2 nested domains (two-way)**
 - Vertical 23 σ -levels
 - Domain 1: resolution: 27km, grid size: 120×120
 - Domain 2: resolution: 9km, grid size: 121×121
- **Cumulus parameterization**
 - Domain 1: Grell cumulus parameterization
 - Domain 2: Grell cumulus parameterization
- **Microphysics**
 - Resiner graupel explicit moisture scheme (Resiner 2)
- **Planetary boundary layer**
 - MRF PBL scheme
- **Initial and boundary data**
 - NCEP Final Analysis (NCEP-FNL)
 - 00, 06, 12, 18UTC
- **Calculation Start**
 - 00UTC 21 January 2001 for Summer Case
 - 00UTC 07 MAY 2000 for Winter Case

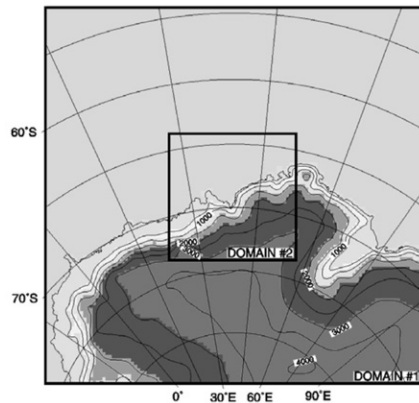


図 13 昭和基地周辺でのカタバ風をシミュレートするための Polar MM5 の計算領域とパラメータ。

Fig. 13. Domains and parameters for Polar MM5 to simulate katabatic winds near Syowa Station.

ち、24時間前の前日 0000 UTC から計算を開始させた。

6.1. 夏季 2001 年 1 月 22 日の事例

計算開始 24 時間後の 2001 年 1 月 22 日 0000 UTC の、300 hPa, 500 hPa, 850 hPa, 地表の気圧高度 (海面気圧), 温位, 風向・風速の水平格子間隔 27 km の domain 1 での計算結果を図 14 に示した。この計算結果は図 6 左図で示した, 2001 年 1 月 22 日 0000 UTC の客観解析データの図と同時刻である。海面気圧を比べると, シミュレーション結果の方が水平分解能が高いので, 低気圧の詳細な水平構造や低い中心気圧となっているが, 昭和基地の北東に存在する低気圧がうまく再現されている。また, 300 hPa 面の南緯 65 度, 東経 30 度~45 度付近に強い東風が認められる。この強い東風も, 図 6 左図下段の南北断面図で南緯 65 度付近, 高度 8 km に認められる。Polar MM5 で再現された計算結果は, 総観規模現象を忠実に表現しているものと考えられる。

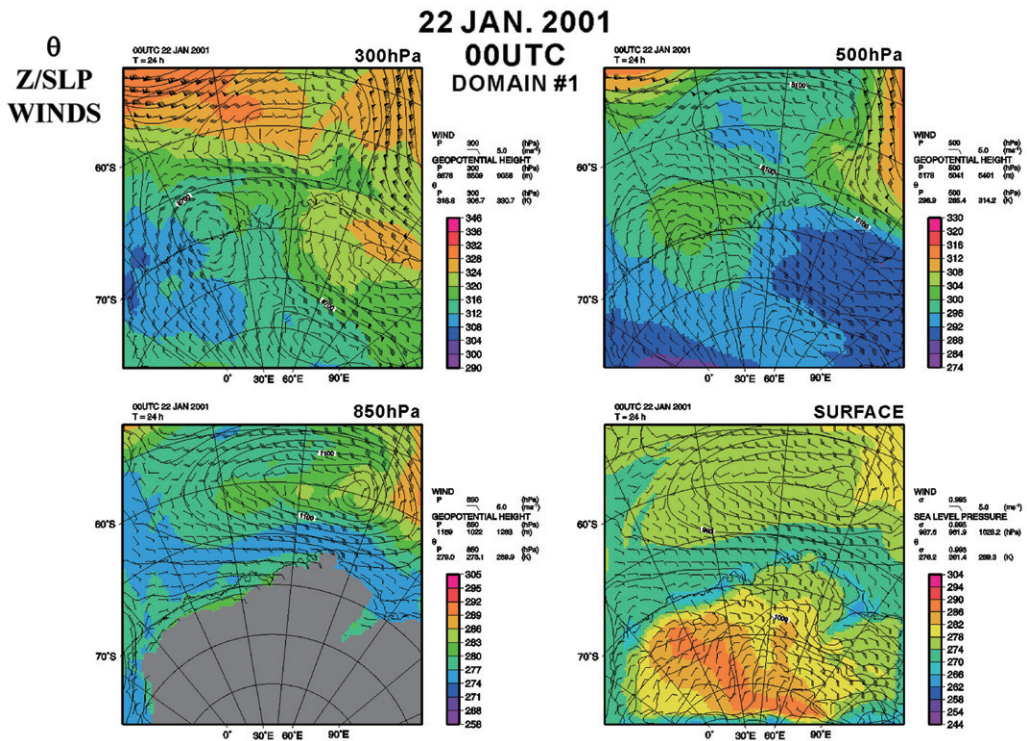


図 14 2001 年 1 月 22 日 0000 UTC の domain 1 の 300 hPa (上段左図), 500 hPa (上段右図), 850 hPa (下段左図), 地表 (下段右図) の温位, 気圧高度 (下段右図は海面気圧) と風分布。

Fig. 14. Potential temperature, geopotential height (bottom right panel: sea level pressure) and winds at 300 hPa (top left panel), 500 hPa (top right panel), 850 hPa (bottom left panel) and surface (bottom right panel) at 0000 UTC 22 January 2001 in domain 1.

次に、22日の6時間ごとの水平格子間隔9 kmのdomain 2での海面気圧と地上風を図15に示した。図中、南北に示した実線は図16に示した昭和基地の近くを中心とする南北鉛直断面図の位置を示している。0000 UTCがカタバ風の出現として抽出された時刻である。図15より、昭和基地近くの南極氷床沿岸域を見ると強い東風が0000 UTCに出現している。しかしながら、0600 UTCにはこの東風が弱くなり、1200 UTCにはリュツォ・ホルム湾での小規模な低気圧性循環が現れている。図16は、昭和基地近くの南北鉛直断面での温位と、断面に沿う方向の風の南北成分と鉛直成分を矢印で、断面に直角な方向の風の東西成分をカラーで示した図である。カタバ風が抽出された0000 UTCでは、南極氷床斜面に沿って等温位線が伸びている。氷床表面で冷やされた空気塊が斜面を下降するので、空気塊の温位が保存されて等温位線が氷床斜面と平行に伸びることになる。南極氷床上の下層1-1.5 km程度の大気の安定度が強くなっていて、この氷床上の下層で冷やされた空気塊の

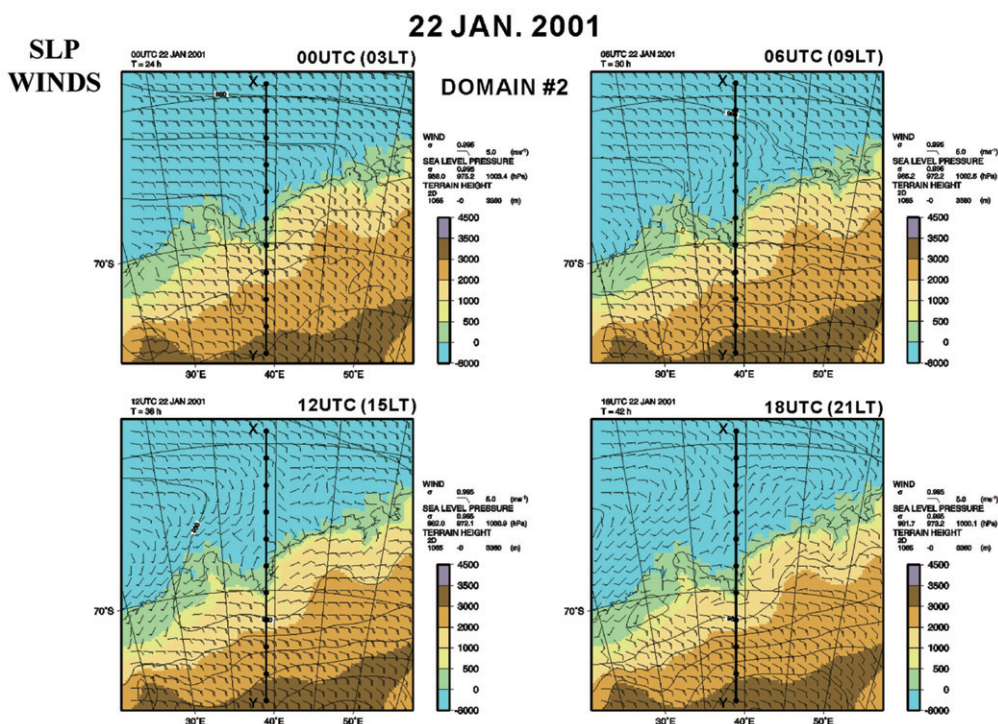


図15 2001年1月22日昭和基地周辺の0000 UTC(上段左図), 0600 UTC(上段右図), 1200 UTC(下段左図), 1800 UTC(下段右図)のdomain 2の海面気圧, 風分布。図中東西の黒丸付実線は図16の南北断面図の位置を示す。

Fig. 15. Sea level pressure and winds near Syowa Station at 0000 UTC (top left panel), 0600 UTC (top right panel), 1200 UTC (bottom left panel) and 1800 UTC (bottom right panel) on 22 January 2001 in domain 2. The solid thick line with closed circles shows the location of the meridional cross section in Fig. 16.

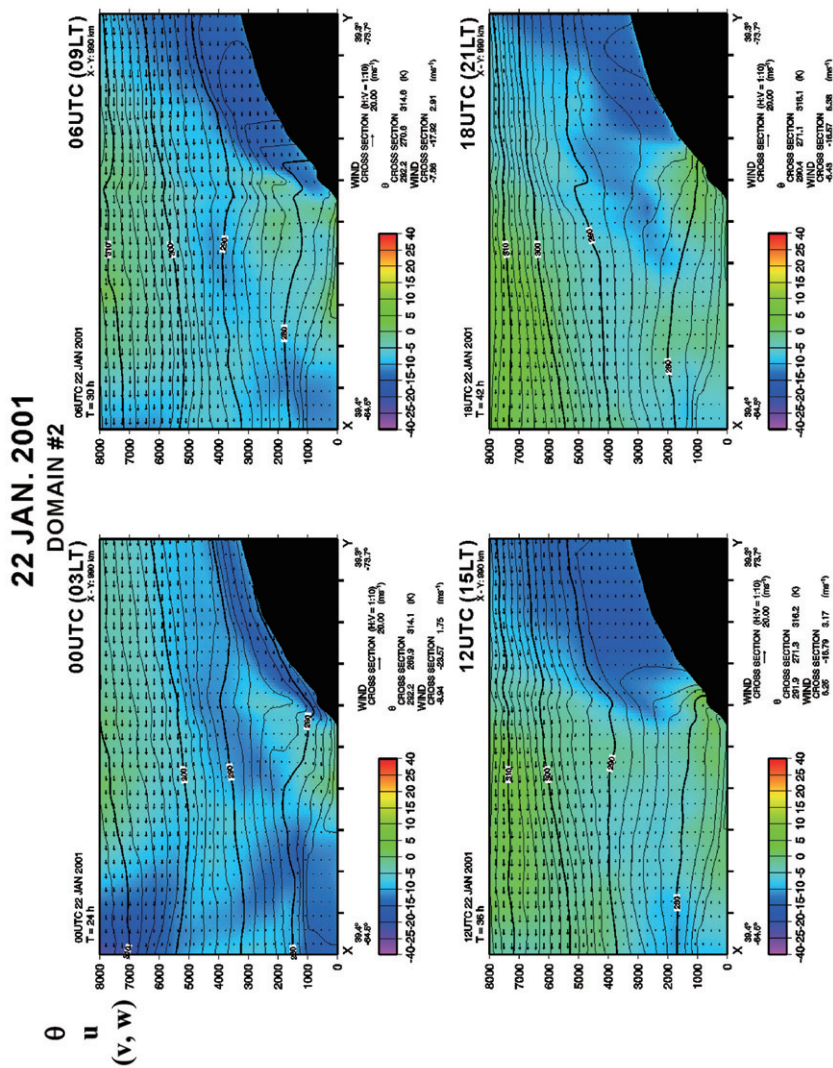


図 16 温位, 東西風, 南北風と鉛直風の 2001 年 1 月 22 日 0000 UTC (上段左図), 0600 UTC (上段右図), 1200 UTC (下段左図), 1800 UTC (下段右図), 昭和基地周辺上空を通る南北断面図。横軸中央が昭和基地。
Fig. 16. Meridional cross section of potential temperature, zonal wind (u), meridional wind (v) and vertical wind (w) at 0000 UTC (top left panel), 0600 UTC (top right panel), 1200 UTC (bottom left panel) and 1800 UTC (bottom right panel) on 22 January 2001. The center of the horizontal line is near Syowa Station.

領域に対応するように、東風の強風が氷床斜面下層に出現している。0600 UTC, 1200 UTC と昼間の時間帯が進むにつれて、この南極氷床上の下層安定層が解消され、1200 UTC には南極氷床上で 2 km 程にも及ぶ等温位層が出現している。昭和基地のある南極氷床沿岸域でも、安定度がだいぶ弱くなっている。しかし、1800 UTC には南極氷床上で再び冷気が形成され始め、氷床付近の大気の安定度が少しずつ増し始めている様子が見えてくる。

6.2. 冬季 2000 年 5 月 8 日の事例

2000 年 5 月 8 日の事例では、0200 UTC と 1100 UTC にカタバ風出現として抽出されている。まず、総観場が再現されているかを調べるために、図 14 と同様、図 17 に domain 1 の 300 hPa, 500 hPa, 850 hPa, 地表の気温、気圧高度 (海面気圧)、温位、風向・風速の計算結果を示した。この計算結果は図 10 左図で示した 2000 年 5 月 8 日 0000 UTC の客観解析データの図と同時刻である。両者の海面気圧と地上風の水平分布図を比較すると、シュミ

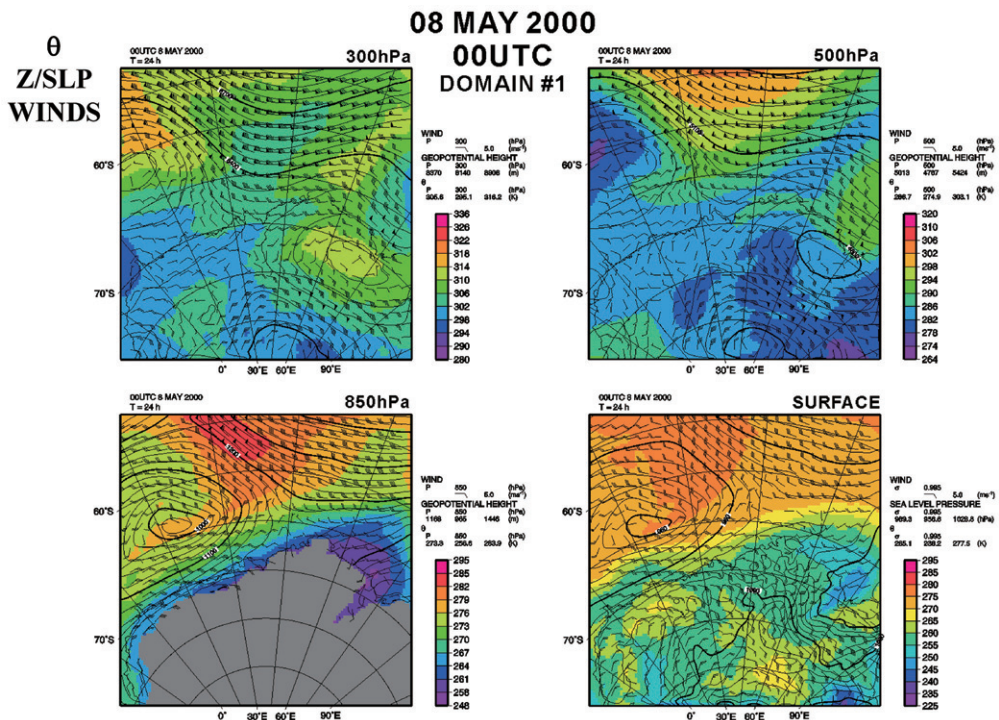


図 17 2000 年 5 月 8 日 0000 UTC の domain 1 の 300 hPa (上段左図), 500 hPa (上段右図), 850 hPa (下段左図), 地表 (下段右図) の温位、気圧高度 (下段右図は海面気圧) と風分布。

Fig. 17. Potential temperature, geopotential height (bottom right panel: sea level pressure) and winds at 300 hPa (top left panel), 500 hPa (top right panel), 850 hPa (bottom left panel) and surface (bottom right panel) at 0000 UTC 8 May 2000 in domain 1.

レーションの方が、昭和基地北西に存在する低気圧が低い中心気圧で詳細な水平構造が表現されているが、気圧配置にあまり違いはない。また、昭和基地周辺を通る南北鉛直断面図での風のパターンも、ほぼうまく再現されている。昭和基地は低気圧前面の暖域に位置していて、北からの暖気進入域にあたる場である。

図 18 に、図 15 と同様、5 月 8 日の 6 時間ごとの海面気圧と地表風向・風速を示した。海面気圧、地表風向・風速共に 1 日を通してあまり変動していない。昭和基地周辺の南極氷床沿岸域は、1 日中東風の強風である。南極氷床上や氷床沿岸に沿った海上でも、強い東風が現れている。図 16 と同様に、昭和基地周辺を通る南北断面図を図 19 に示した。図 19 も図 18 同様、1 日を通して全体の傾向にあまり変動がない。南極氷床斜面上で冷気が形成され、強い安定層と強い東風が南極氷床下の下層に捕捉されている様子が見えてくる。この強い東風がカタバ風とも関係したバリア風であり、冷気が南極氷床斜面上に捕捉されて寒

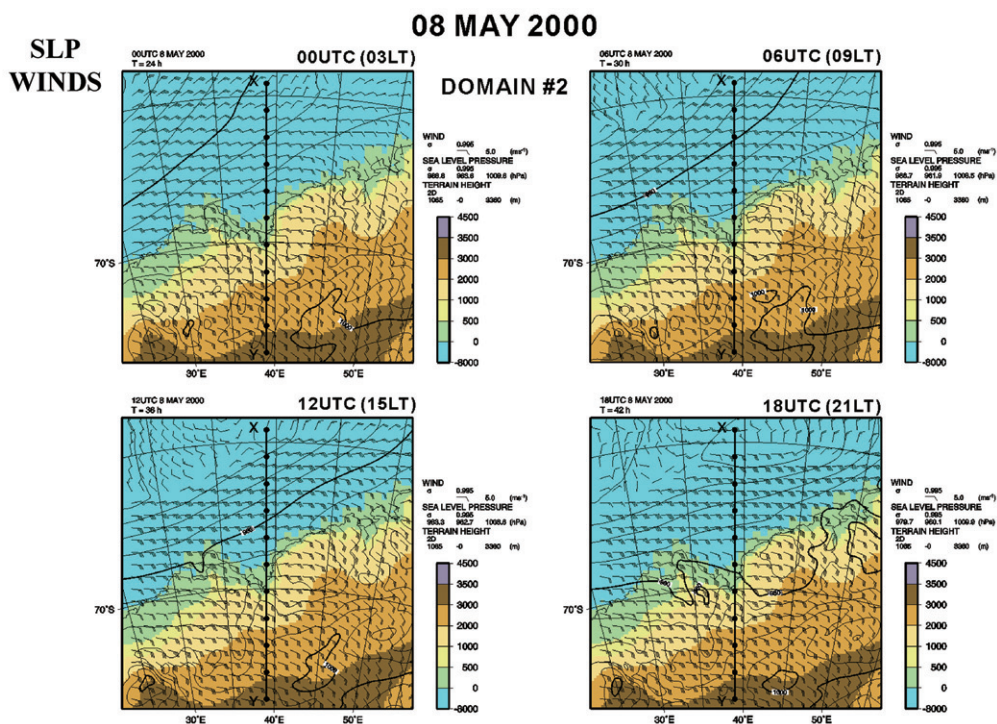


図 18 2000 年 5 月 8 日昭和基地周辺の 0000 UTC (上段左図), 0600 UTC (上段右図), 1200 UTC (下段左図), 1800 UTC (下段右図) の domain 2 の海面気圧, 風分布。図中東西の黒丸付実線は図 19 の南北断面図の位置を示す。

Fig. 18. Sea level pressure and winds near Syowa Station at 0000 UTC (top left panel), 0600 UTC (top right panel), 1200 UTC (bottom left panel) and 1800 UTC (bottom right panel) on 8 May 2000 in domain 2. The solid thick line with closed circles shows the location of the meridional cross section in Fig. 19.

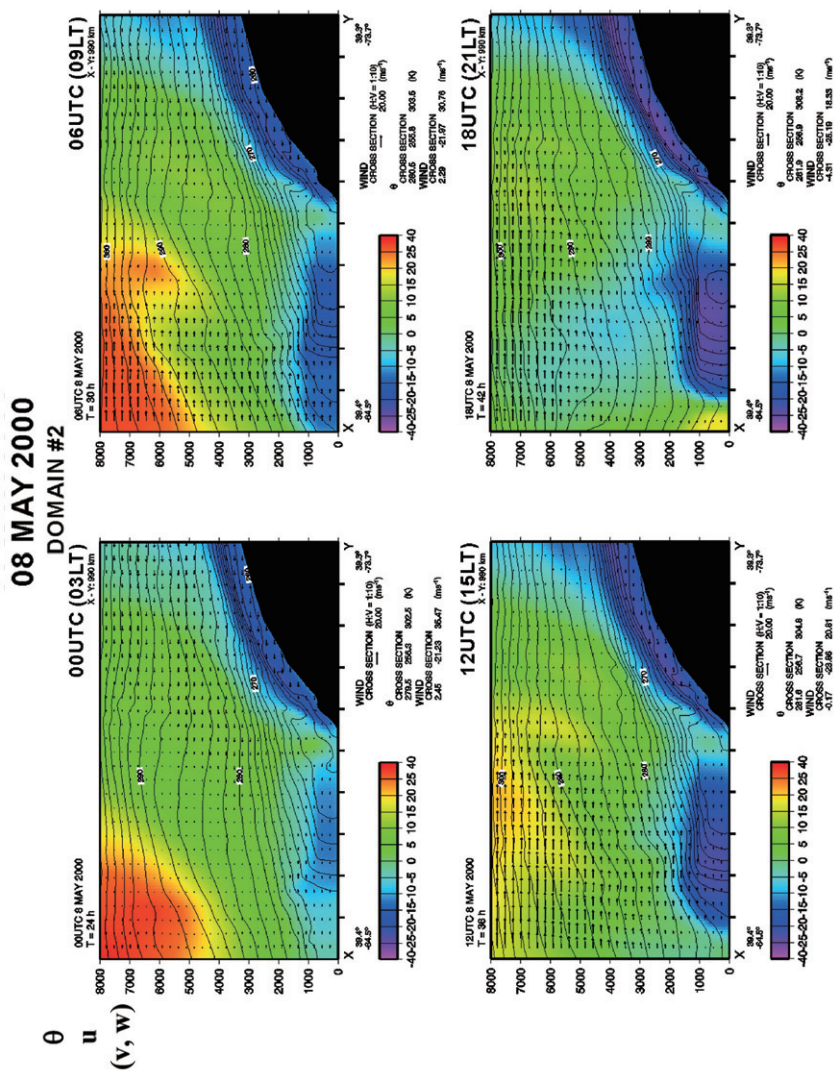


図 19 温位, 東西風, 南北風と鉛直風の 2000 年 5 月 8 日 0000 UTC (上段左図), 0600 UTC (上段右図), 1200 UTC (下段左図), 1800 UTC (下段右図), 昭和基地周辺上空を通る南北断面図. 横軸中央が昭和基地.

Fig. 19. Meridional cross section of potential temperature, zonal wind (u), meridional wind (v) and vertical wind (w) at 0000 UTC (top left panel), 0600 UTC (top right panel), 1200 UTC (bottom left panel) and 1800 UTC (bottom right panel) on 8 May 2000. The center of the horizontal line is near Syowa Station.

気のダミング (damming) が起こっていることが再現されている。南極氷床斜面上の冷気は、斜面に沿って海水に覆われた南極海上まで続いていて、冷気が蓄積されている。海水上の北端では、低気圧前面で北の低緯度から移流した暖気と接し、温度風の関係を満たすように下層東風強風が形成され、寒気が海水上に閉じ込められる。

7. ま と め

南極気象資料 (気象庁 CD-ROM) に収録されている昭和基地での地上気象観測データ、高層データ、アメリカ国立環境予測センター全球客観解析データ (NCEP-FNL)、メソスケール気象モデル (Polar MM5) を使って昭和基地周辺の局地風を調べた。解析の対象とした期間は、1999年1月から2003年12月までの5年間である。まず、守田 (1968) の方法に従ってカタバ風と考えられる強風を抽出した。そして、この強風をカタバ風と見なした。カタバ風は年間を通じて抽出され、冬季ばかりでなく夏季にも多く検出された。これは守田の結果と整合的である。次に、夏と冬のカタバ風の特徴について調べた。本論文では夏と冬の事例を一つずつ紹介したが、他の事例でも同様な特徴が見受けられた。まず、夏のカタバ風抽出時の高層データより、日射の影響を受けて高さ 100-200 m の接地層内の気温が日変化し、下層風も日変化を示していた。カタバ風として抽出された時の風向は、北東~東北東が多かった。一方、冬季は高度 500 m-3 km の下層に強風帯が多く出現し、頻度も他の季節より多い。カタバ風抽出時の風向は北東~東が多く、風速も大きい傾向にある。この下層強風帯は、大陸斜面上で定常的に吹いている冷気流 (カタバ風) に繋がっている場合が多い。冬季の下層東風強風帯は、低気圧が接近時 (低気圧前面東側の暖域) でよく観測される。この下層東風強風帯は、低気圧前面暖域の低緯度からの暖気移流と、南極大陸氷床によって冷やされた極域の冷気から生じる水平温度勾配に、風がバランス (温度風バランス) するようにして形成される。さらに、この下層東風に生じるコリオリ力が、南極大陸沿岸斜面地形によってせき止められ (damming)、下層の東風強風が南極大陸斜面上に捕捉されるバリア風 (barrier wind) の効果も、カタバ風の形成過程として考慮する必要がある。

8. 今後の課題と応用

現在、世界初の対流圏・成層圏・中間圏 (MST) レーダーを南極昭和基地に建設することが計画されている (PANSY MST/IS Radar 計画)。このレーダーは対流圏ばかりではなく、成層圏、中間圏などの高い高度を測定できるレーダーである。対流圏では高度 1 km 以上の高度の現象が計測可能である。PANSY レーダーだけでは地表付近のカタバ風を直接は計測しにくいかも知れないが、カタバ風を引き起こす環境場や周辺場を計測することは可能である。また、他の地上観測機器や衛星観測などと組み合わせることで、昭和基地周

辺のカタバ風などの局地循環と総観規模や大規模場との結びつきを直接的に、あるいは間接的に観測することも可能になるであろう。そして、昭和基地を対象としたメソスケール気象モデルによる予報実験も、昭和基地周辺の局地循環やカタバ風、総観規模現象を総合的に理解することが有効になると考えられる。昭和基地周辺域の局地循環の理解は、水蒸気輸送やエアロゾル、物質輸送、あるいは南極の気象擾乱や降雪、氷床や雪氷圏の消長などの研究にも重要である。さらには、航空機観測や航空機を使った物資や人員の輸送など、実用的な活用も含めて昭和基地周辺での野外活動や調査に貢献できるものと考えられる。

あ と が き

本論文は、小松麻美の北海道大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻（地球物理学）の修士論文をもとにまとめた論文である。

文 献

- Bell, G.D. and Bosart, L.F. (1988): Appalachian cold-air damming. *Mon. Weather Rev.*, **116**, 137–161.
- King, J.C. and Turner, J. (1997): *Antarctic Meteorology and Climatology*. Cambridge, Cambridge University Press, 409 p. (Cambridge atmospheric and space science series).
- O'Connor, W.P., Bromwich, D.H. and Carrasco, J.F. (1994): Cyclonically forced barrier winds along the Transantarctic Mountains near Ross Island. *Mon. Weather Rev.*, **122**, 137–149.
- Parish, T.R. and Bromwich, D.H. (1987): The surface windfield over the Antarctic ice sheets. *Nature*, **328**, 51–54.
- Parish, T.R. and Bromwich, D.H. (1991): Continental-scale simulations of the Antarctic katabatic wind regime. *J. Climate*, **4**, 135–146.
- Parish, T.R. and Cassano, J.J. (2003): Diagnosis of the katabatic wind influence on the wintertime Antarctic surface wind field from numerical simulations. *Mon. Weather. Rev.*, **131**, 1128–1139.
- 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*, **31**, 21–32.
- 佐藤 薫 (2004): 南極昭和基地の気象. *天気*, **51**, 869–879.
- Sato, K. and Hirasawa, N. (2007): Statistics of Antarctic surface meteorology based on hourly data in 1957–2007 at Syowa Station. *Polar Science*, **1**, 1–15.