

内陸沿岸地域（地点 H68）の 2002 年夏期の積雪・気象特性

高橋弘樹¹・金濱 晋²・神山孝吉¹・古川晶雄¹Snow features and meteorological conditions on the coastal snow plateau (H68)
observed during summer 2002Hiroki Takahashi¹, Shin Kanemaru², Kokichi Kamiyama¹ and Teruo Furukawa¹

(2003 年 5 月 7 日受付; 2003 年 8 月 5 日受理)

Abstract: Snow features and meteorological conditions at H68, on the route between Syowa and Mizuho Stations, was investigated during summer 2002. The observations were carried out in late October, with the setting up of an automatic meteorological station. The snow surface features were measured to make clear the inclination along the prevailing wind direction, and snow observations were made on a vertical dug snow wall. Continuous climatic records in the following two months, obtained by the meteorological station, are introduced together with the corresponding data at Syowa Station.

要旨: 昭和基地からみずほ基地へのルート上地点 H68 にて、2002 年夏期の積雪表面状態および気象状況について調査した。10 月末に地形測量によって同地点の主風向に沿った傾斜を明らかにすると共に、積雪断面観測を行った。なお同時に設置した無人気象観測装置から約 2 カ月間の気象情報を取得した。気象観測結果については、対応する昭和基地のデータとともに紹介した。

1. はじめに

地点 H68 (69° 11.48' S, 41° 3.57' E) は、昭和基地・みずほ基地間のルート上昭和基地から直線距離にして約 62 km 離れた位置にある。同地点は、沿岸域から若干内陸に入り夏期においても積雪の融解が見られず年間堆積量も少ないことが報告されている (National Institute of Polar Research, 1989)。そのため地点 H68 は、昭和基地周辺での大型航空機離着陸用の滑走路候補地の一つとして検討されている。昭和基地周辺では滑走路が建設できる場所は氷雪上に限られ、定着氷上の滑走路と大陸上の裸氷帯・圧密した積雪上の滑走路が候補としてあげられている (白石・Klokov, 1997)。第 43 次日本南極地域観測隊では、南極航空機構想ワーキンググループの調査要請に基づき、現地で実行上の修正を行ったのち、同地点で夏期の積雪

¹ 国立極地研究所。National Institute of Polar Research, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173-8515.

² 気象庁観測部。Observation Department, Japan Meteorological Agency, Otemachi 1-3-4, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8122.

環境特性の調査観測を行った。結果を整理して報告する。参考のため、気象要素については対応する昭和基地のデータも添えた。

2. 観測の概要

日本雪氷学会極地雪水分科会南極航空機構想ワーキンググループによると雪面を滑走路として使用することが出来る条件は、滑走路の表面起伏が小さいこと（水平距離 1000 m で 20 m 以内の高低差）、C-130 型輸送機用雪上滑走路としてマクマード基地などで滑走路長さを 3000 m としている（Mellor, 1993）ことから滑走路の長さが 3000 m 程度必要なこと、年間涵養量が少ないこと、夏期に表面積雪が融解しないこと、必要な硬度を有すること、卓越風向に平行であることが指摘されている。H68 地点は、年間涵養量が少なく夏期に表面積雪が融解しない（National Institute of Polar Research, 1989）という意味では、昭和基地・みずほ基地間のルート上で、昭和基地から最も近い候補地点の一つである。同地点での滑走路設置を想定し、観測を行った。

地点 H68 付近の観測地域の概要を図 1 に示す。

地点 H68 からルート上約 200 m みずほ基地よりの地点を基準として、その風下約 200 m 地点を滑走路候補地の風上側の端点（RS）と定めた。端点（RS）から主風向・風下側に 3300 m 程度離れた地点（RE）を滑走路の風下側の端点とした。なお滑走路候補地域の両端の GPS 位置は、風上側の端点（RS）：69°11.56′S, 41°3.39′E；風下側の端点（RE）：69°11.93′S, 40°58.46′E であった。

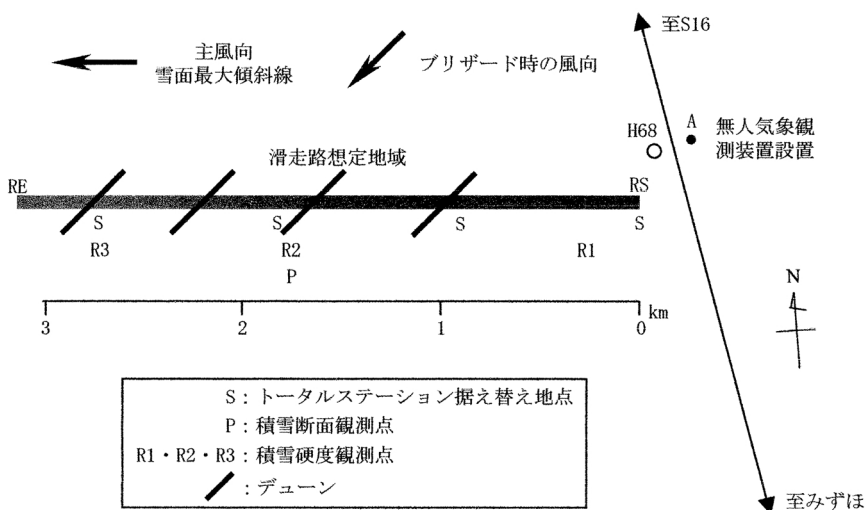


図 1 観測地点・H68 付近の概要
 Fig. 1. General view of observation area near H68.

滑走路候補地域の積雪表面起伏の観測では、測量器（トータルステーション R-205; PENTAX 社製）を用いて測量を行った。

積雪観測としては、滑走路候補地域中央部付近に 1m 積雪ピット（図中 P で示す）を作成し、積雪断面観測を行った。また滑走路候補地域 3 箇所（図中 R1, R2, R3 で示す）でラムゾンデによる積雪硬度の観測を実施した。

無人気象観測装置（極地用携帯型気象観測装置 MANOX; 牧野応用測器研究所社製、感部: 風速計 AC860; 牧野応用測器研究所社製、気温計 TS-101; 牧野応用測器研究所社製、気圧計 PTA 427; VAISALA 社製）は地点 H68 のルート風上側の地点（図中 A で示す）に設置し、2002 年 10 月 29 日から 2002 年 12 月 16 日まで気象観測を行った。

なお、観測は隊員 2 名（神山・高橋）により、2002 年 10 月 27 日から 10 月 29 日までの期間に実施した。

3. 滑走路候補地域積雪表面起伏測量

H68 周辺の、ブリザード時の風向、かたば風の方角、積雪表面の最大傾斜方向は、国立極地研究所編集の「Antarctica: East Queen Maud Land Enderby Land Glaciological Folio」(National Institute of Polar Research, 1989) に示されている。現地での雪面の削剥状態から想定された主風向は、National Institute of Polar Research (1989) に示されている風向と同じであった。観測地域のほぼ全域で、雪面にはほとんど凹凸が見られなかった。観測地域はほぼ平坦で主風向方向に小さな削剥はあるもののサスツルギはなかった。ブリザード時の風向方向に約 15 cm 程度の高まりを有するデューンが、観測地域を緩やかに横切って 4 箇所を観測された。H68 周辺であるという条件のもと、滑走路候補地域の選定は任意に行ったが、周辺の雪面状況は殆ど等しいように感じられた。図 2 に雪上車走行跡の写真を示した。なお図には、中央部に観測地域を横切るデューンが示されている。

測量にあたっては、雪上車前部に反射鏡を取り付け、風上に設置したトータルステーションに向けて、観測地上で雪上車を直進させた。約 50 m 間隔毎に、移動する雪上車位置をトータルステーションで測定した。トータルステーションの規格では測定可能最大距離 1500 m と記載されているが、若干雪が舞うなど現地の状況下では 900 m であったので、トータルステーションの据え替えを 4 地点（図 1 に S として記載）で行った。

測定結果として滑走路断面を図 3 に示す。水平方向に比較して鉛直方向を 20 倍に拡大した図で、左側が風上、右側が風下である。●は測定点であり、約 3300 m を約 50 m 程度の間隔で 67 点測定した。

積雪表面の標高は風下に向かって徐々に低くなっていき、3300 m で 20 m 程度、約 0.6% の勾配を示した。

各測定ポイント間の勾配の相対頻度分布とその累積分布を図 4 に示す。ポイント間の勾配

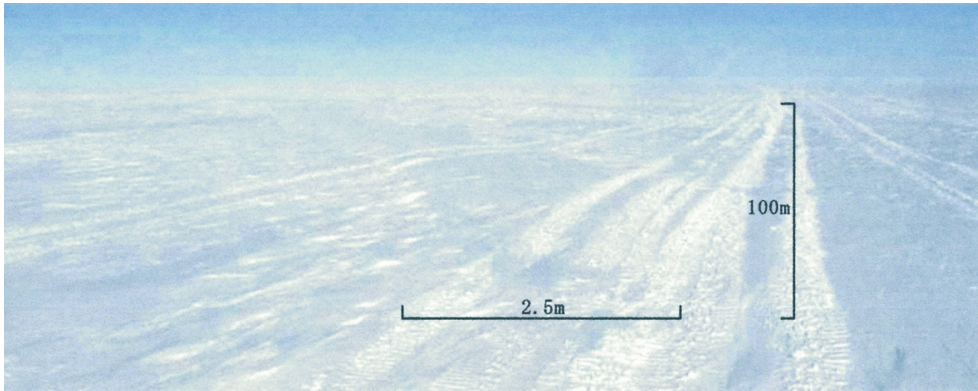


図 2 観測地域の雪面上の雪上車走行跡

Fig. 2. Photograph of traces of over snow vehicle on snow surface at observation area.

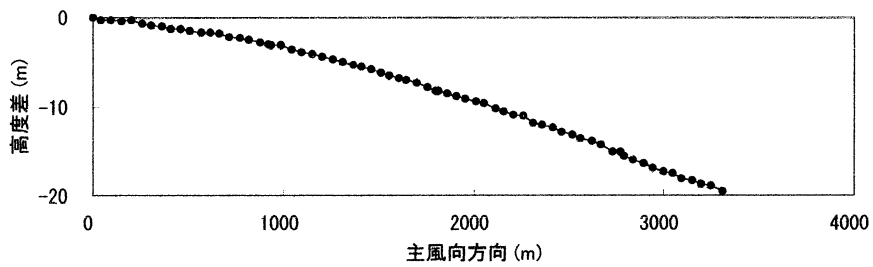


図 3 観測地域の主風向沿いの比標高

Fig. 3. Vertical profile of relative altitude of snow surface along prevailing wind direction at observation area.

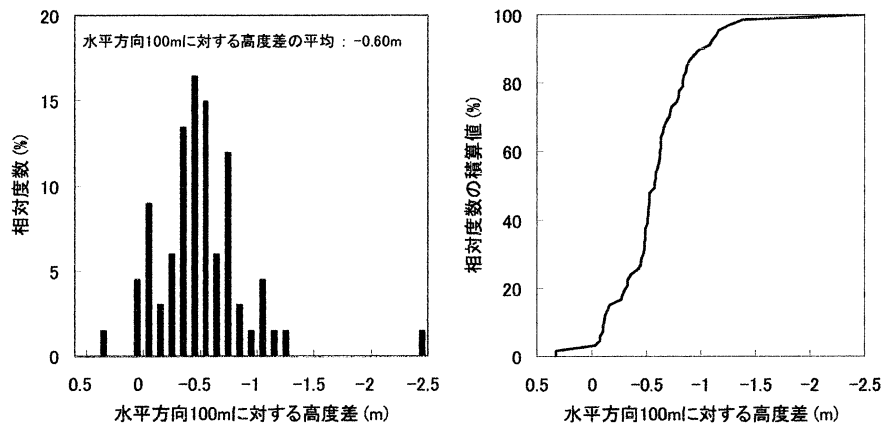


図 4 観測地域の主風向沿い測量測定点間傾斜の頻度分布: 相対頻度分布 (左図), 累積頻度分布 (右図)

Fig. 4. Frequency of inclinations between each observation points along prevailing wind direction at observation area: relative histogram (left panel) and cumulative histogram (right panel).

の相対頻度分布から、100 m で-0.5 m すなわち-0.5%の勾配が最も頻度が高く、全体の約20%を占めていることがわかった。また一地点でのみ最大値-2.5%の傾斜が見られたが、となりのポイントで傾斜がプラスとなっており、これは上記に述べたデューンが検出されたものである。また、傾斜頻度の累積分布からは、傾斜0.7%以下の地点が測定点の70%、傾斜1%以下の地点が測定点の90%であることがわかった。

南極航空機構想ワーキンググループでは滑走路の水平距離1000 mで20 mの高低差という条件を示しているが、今回調査した観測地域では滑走路想定方向の全体長さ3300 mで20 m程度の高低差、ポイント間の勾配は90%の頻度で傾斜1%以下となっている。デューンによる2.5%の傾斜が1箇所で見られるがこの程度であれば整地作業はそれほど労力を必要としないと考えられ、南極航空機構想ワーキンググループの示す条件を満たすものと思われる。

4. 滑走路候補地域の積雪断面観測

4.1. 1 m 深の積雪ピット断面観測

滑走路候補地域のほぼ中央部のP地点で積雪にピットを掘り、断面観測を行った。主風向に直交する積雪断面(深さ1 m, 幅40 cm)で、積雪層の硬さ・積雪粒径の分布、0.5 mm厚以上の氷板分布の記載をすると共に各層の密度を測定した。ピットによる滑走路候補地域中央部の積雪断面観測結果を図5に示した。積雪層は、ブラシでこすることにより容易に削剥さ

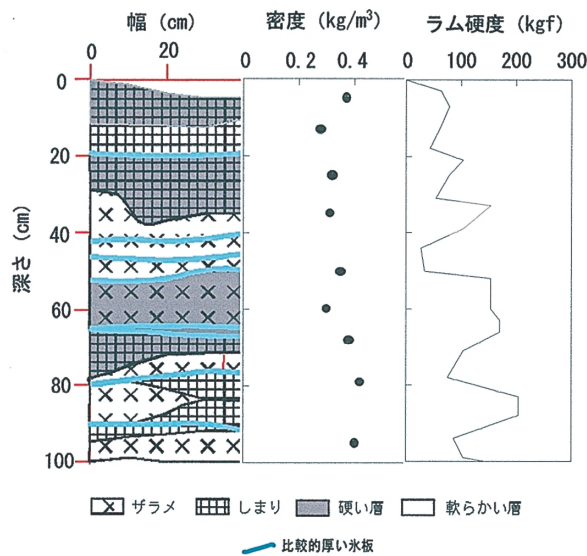


図5 観測地域中央部の積雪断面観測: 雪質分布(左図)と積雪密度(中図), 近傍でのラム硬度観測(右図)
Fig. 5. Observations of surface snow layers near the central site of the observation area: vertical distributions of snow quality (left panel) and density (center panel) as well as Ram hardness (right panel).

れる軟らかい層と削剥されない硬い層に区分し、積雪粒径は、粗いザラメ状・細かい締まり雪の状態に区分した（秋田谷，1990）。

積雪中の薄い氷板は融解によって形成されたものではなく、風による圧雪によると思われる。表面から 80 cm 深さまではほぼ成層構造をなし、その後 80 cm 深から 90 cm 深にかけて不規則な層が見られたが、表面にあった時の雪面の形状を反映していると考えられる。しもざらめの発達は見られず、各層の密度は 0.2 kg/m^3 から 0.4 kg/m^3 の範囲にあり鉛直方向の変化は小さかった。

4.2. ラムゾンデによる積雪硬度調査

ラムゾンデによる積雪層構造の観測はピット観測に比較すると簡便なため従来からさまざまな地点でおこなわれている（Watanabe, 1978; 藤井, 1982; 渡辺・吉村, 1972; 渡辺ら, 1979）。滑走路想定地域 3 箇所（R1, R2, R3）で、ラムゾンデによる 2 m 深までの積雪硬度調査を行った。結果を図 6 に示す。

2 m 深までの積雪硬度（ラム硬度）は、平均して約 200 kgf であった。R1 地点の 10 cm 深と 100 cm 深、R3 地点の 40 cm 深と 100 cm 深に氷板の存在によるものと思われる高いラム硬度を示す層が存在した。なお R2 地点では深くなるほどラム硬度が大きくなる傾向はあるが、全体に鉛直方向の変化は小さいといえる。

積雪構造、雪質分布、密度分布、ラム硬度分布の特徴から、H68 地点付近では連続した積

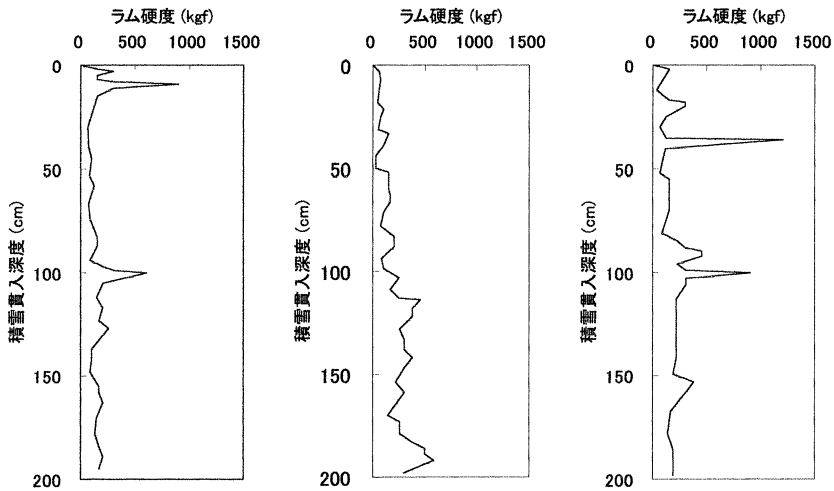


図 6 ラムゾンデによる滑走路想定地域の積雪硬度: 風上側: R1 (左図), 中央部: R2 (中央図), 風下側: R3 (右図)

Fig. 6. Ram hardness survey of observation area: upwind side R1 (left panel), central R2 (center panel) and downwind side R3 (right panel).

雪堆積層が形成されていると考えられる。

C-130 型輸送機の雪上滑走路としては積雪深さ 40 cm で 400 kgf のラム硬度が必要である(亀田ら, 1999)。R1, R3 地点でのラム硬度は平均で 200 kgf 程度, R2 地点では 40 cm 深で約 150 kgf となっており亀田らの示す基準を満たさない。しかし, R1, R3 地点では 40 cm 深以内で氷板の存在と思われるラム硬度 1000 kgf 程度の硬い層が見られことと, 圧雪作業を実施することにより C-130 型輸送機用雪上滑走路に必要な雪の硬度が得られる(亀田ら, 1999)ことから, このような対応をすることにより H68 地点で航空機の離着陸に必要な積雪表面硬度を得られることができるものと思われる。

5. 気象観測

無人気象観測装置をルート風上・H68 雪尺ポイントの横に設置し, 10 月 28 日 1515 から 12 月 16 日 1010 までの間, 現位置気圧・気温・風速の測定を行った。データは 10 分間の平均値を 10 分間隔のデータとして雪面下に埋め込んだデータロガーに保存した。気象データの取得結果を表 1 に示す。気圧のデータは 11 月 9 日 0920 に記録が停止したためデータ数が少ない。また, 風向については測定していない。

H68 の気圧・気温・風速の経時変動データを図 7 にそれぞれ示した。なお, 参考データとして同じ期間に観測した昭和基地の気象情報を合わせて示した。

気圧・気温の相関関係は, 気圧では一次相関関係 ($y=0.8x+77$), 相関係数 0.9, 気温では一次相関関係 ($y=1.2x-10$), 相関係数 0.82 であった。気圧・気温共に相関は非常によいが, 気圧の方がより相関がよいことがわかる。

昭和基地と H68 の 1 日の風速の時間変動を図 8 に示す。昭和基地では時刻に関係なく風速 5 m/s 以下の場合が多い。H68 では 0000 から 1200 付近までは風速 4 m/s から 10 m/s 程度の出現頻度が高いが, 1800 付近を目安に風速 6 m/s 以下の出現頻度が増加し, 2200 付近から再び風速 4 m/s から 10 m/s 程度の出現頻度が高くなるという特徴が見られた。なお吹雪発生の臨界風速は約 5 m/s (前野, 1990) といわれており, 風速 4 m/s 以下の出現頻度が少ない 2200-1200 に比べて 1200-2200 の時間帯の方が視程が良いと思われる。

表 1 H68 で取得された気象データの概要
Table 1. Outline of observed meteorological data at H68.

種別	データ数	最大値	最小値	平均値	中央値	標準偏差
風速 (m/s)	7030	16	0	6.8	6.9	3.08
気温 (°C)	7030	5.8	-31.1	-16.7	-16.5	5.22
気圧 (hPa)	1697	854.7	844.1	850.1	850.9	2.94

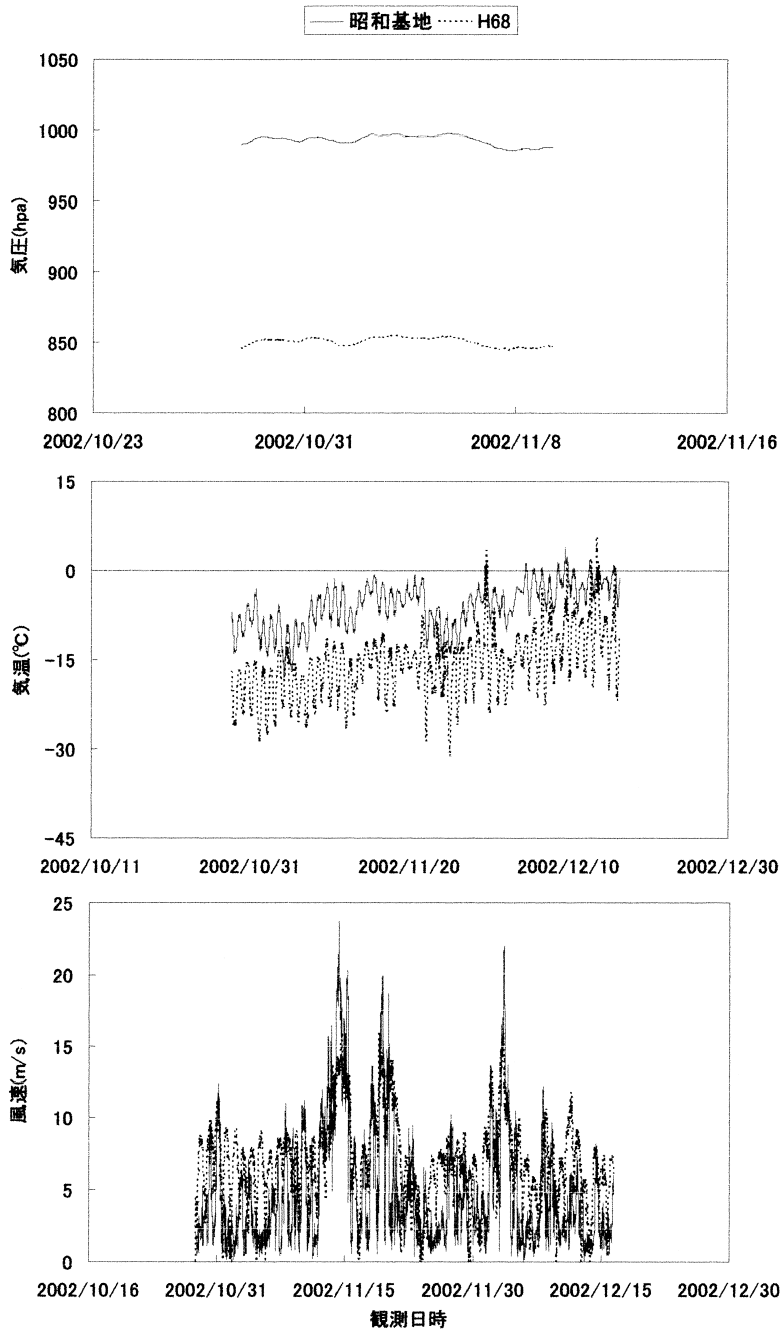


図 7 昭和基地と H68 地点の気圧・気温・風速の経時変動: 気圧 (上図), 気温 (中央図), 風速 (下図)
 Fig. 7. Distributions of atmospheric pressure, air temperature and wind speed at Syowa station and H68: atmospheric pressure (upper panel), air temperature (center panel) and wind speed (lower panel).

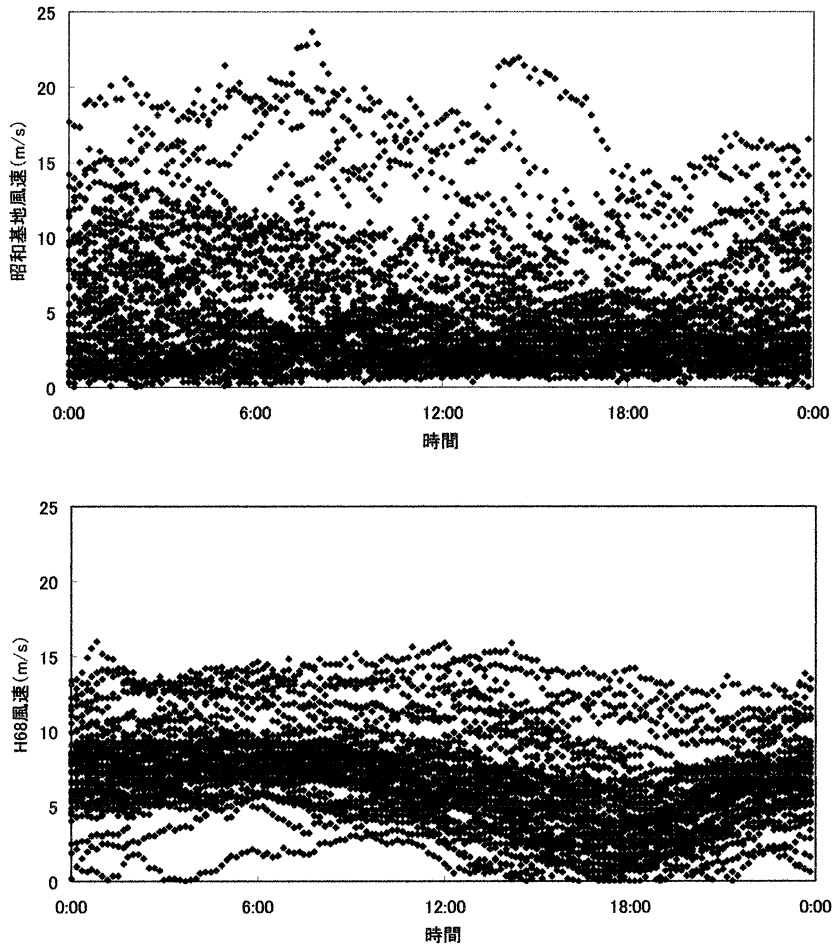


図 8 観測期間中の昭和基地と H68 地点の風速終日変動: 昭和基地 (上図), H68 (下図)

Fig. 8. Distributions of wind speed during a day through observation period: Syowa Station (upper panel) and H68 (lower panel).

6. ま と め

積雪上滑走路候補地の一つである南極大陸・内陸積雪域の地点 H68 で夏期の積雪環境特性の調査を行った。

同地点は、年間の涵養量も少なく、雪面は主風向の向きに距離約 3 km で約 0.6% の勾配と比較的なだらかでサスツルギもなく平坦であった。積雪表層のラム硬度・密度などの基礎情報を考察すると、圧雪作業を実施することによって滑走路として利用できることがわかった。

夏期に得られた気象情報では気温・気圧は H68・昭和基地ともに同じような傾向で推移

していた。H68 の風速は、1800 付近に他の時間帯に比べて一旦弱まる傾向があり、2200-1200 に比べて 1200-2200 の時間帯の視程が良いと思われる。

謝 辞

本観測旅行に協力いただいた第 43 次南極地域観測隊の隊員の皆様に感謝いたします。

文 献

- 秋田谷英次 (1990): 積雪分類. 雪氷辞典, 日本雪氷学会編. 初版, 東京, 古今書院, 156-157.
- 藤井理行 (1982): 積雪層位の地域特性. 南極の科学 1 氷と雪, 国立極地研究所編. 初版, 東京, 古今書院, 99-102.
- 亀田貴雄・高橋修平・百武欣二・前田達成・菊池規哲・石橋勉・渡辺興亜 (1999): 雪上滑走路造成に関する実験的研究. 1999 年度日本雪氷学会全国大会プログラム雪溪・氷河・氷床 (3), 3-8.
- 前野紀一 (1990): 吹雪発生条件. 雪氷辞典, 日本雪氷学会編. 初版, 東京, 古今書院, 115.
- Mellor, M. (1993): Notes on Antarctic Aviation. CRREL Rep., 93-14, 36.
- National Institute of Polar Research (1989): Antarctica: East Queen Maud Land Enderby Land Glaciological Folio. First edition, Tokyo, Sheet 2, 3, 4, 7.
- 白石和行・Klokov, V. (1997): 日本の南極観測基地における氷雪上の滑走路設置の可能性について—東南極航空網構想に関連して—. 南極資料, 41, 778-790.
- Watanabe, O. (1978): Stratigraphic studies of the snow cover in Mizuho Plateau. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 7, 44-62.
- 渡辺興亜・吉村愛一郎 (1972): みずほ観測拠点付近の雪氷学的状態について. 南極資料, 45, 20-32.
- 渡辺興亜・加藤喜久雄・佐藤和秀 (1979): 東南極大陸, みずほ高原の積雪層位解析における諸問題. 南極資料, 67, 32-50.