

簡単な物体によってできる雪の吹きだまりに関する研究

真 木 太 一*

An Experimental Study on the Snowdrifts Formed by Simple Obstacles

Taichi MAKI*

Abstract : The effect of obstacle arrangement on snowdrifts was experimentally studied at Syowa Station in Antarctica. Different patterns of snowdrift were obtained by changing the alignment of the obstacles. The author showed the distribution patterns of snowdrift in the case of a straight-line alignment of two flat boards and two different orthogonal arrangements of two flat boards, standing and lying cylinders, and a straight-line alignment of two rectangular prisms. The snowdrift was measured immediately after blizzards with maximum instantaneous wind velocity 31 to 36 m/s, mean air temperature for the period of strong wind over 20 m/s -6 to -10°C , maximum amplitude of wind direction 25 degrees and gustiness 1.1 to 1.3.

The ridge of snowdrift in Antarctica was more distinct than that in Japan, because of the smaller gustiness and the less variation in the wind direction. The effect of the obstacles extended over the distance up to 20 to 30 times the obstacle height. This is similar to the effect of a wind break fence.

1. は し が き

昭和基地開設当初の建築物は、床が地面に直接接して建てられていたため雪の吹きだまり（ドリフト）ができて不便が多かった。近年このドリフトをさけるため、ほとんどの建物が高床式建築に代った。この高床式建築物はコンクリート柱もしくは鉄骨による土台の上に建てられているため、建物の床下を風が吹き抜けられるようになっている。

南極昭和基地の卓越風向はほぼ年間NE（村越，1958；真木，1972）で、日本国内のような複雑な地形上の風とは異なり、風向および風速の乱れが小さい（MAKI, 1974 a, b, 1975）。この卓越風向に対して主として構造物の風下側に、一部はその風上側にもドリフトが形成さ

* 農林省農業技術研究所気象科. Division of Meteorology, National Institute of Agricultural Sciences, Nishigahara 2-1-7, Kita-ku, Tokyo 114.

れる。

ドリフトは構造物の風下側に風の渦が発生して、そこに付着堆積してできたり、周囲より風が弱いところに多くできる。その逆に相対的に風が強いところではドリフトが少ないかもしくは全くできないことになる。一方、一度堆積した場合でも風向が変われば、ドリフトの形態は変わる。すなわち、10 m 高度で風速 7~8 m/s (真木, 1971) になると高く堆積した場所から雪粒子が削り取られ、吹き飛ばされてしだいにドリフトが減少していく。

昭和基地で卓越風向とドリフトの関係を考慮しないで構造物を作ると、ブリザードのあるたびに雪かきをしなければならなくなる。作業棟は不便を承知で建てたと聞かすが、卓越風向に対してほぼ風下側にある入口が厚いドリフトにおおわれて不便をきたすことが多い。このように昭和基地において最近ではドリフトが少ない方が作業がやりやすいとか、雪かきに労力を奪われることが少なくなるなどで有利な点が多い。

第11次隊以前は、冬期の造水のため基地近辺の雪氷を融かしていたが、そのためにはむしろドリフトが多い方が効果的であった。また、ソ連の内陸部のように降水量が少ない地方においては、冬期に降った雪を農作物の切株とかその他障害物の風下に蓄えておいて、春にその融水を利用して農作物の播種を行う方法が取られているが、この場合にはドリフトを多く残す必要がある。その他、積雪の中で一定温度で物資を貯蔵する場合などにもドリフトの多い方が有効である。

このドリフトの問題は風向、風速、風の乱れ(乱流)と大いに関連があり、防雪林(塩谷他, 1954; 新井, 1954; 鎌田, 1962)、防雪柵(新井, 1961; 吉川, 1964; 塩谷, 1967; 今井, 1969; 秦野他, 1969)の研究や雪面上のサスツルギー(小林, 1971)や雪庇(丸山, 1954; 今野他, 1956)などの研究ともからんでくる。また、最近とみに話題になっている高層建築物のまわりに発生する強風の問題(ビル公害)とも関連があり、何らかの示唆が与えられるかも知れない。

著者は第11次南極地域観測隊員として越冬した際、南極昭和基地で若干の実験を行う機会を得たので報告する。

2. 実験方法

著者は1970年4月中旬より6月中旬にかけて、第9居住棟の北側のヘリポート付近およびその北側の海氷上(松田, 1972)で簡単な物体によってできるドリフトの実験を行った。

ヘリポート付近では厚さ1 cm、一辺90 cmの正方形の2枚1組の平板(ベニヤ板)を90

cm の間隔をあけて地面に垂直に立てた。なお、平板はステーを取って地面に置かれた状態で、その配置形態は次のとおりである。平板2枚を予想風向に対して直角に一直線状（直線型）、および予想風向に対して45度を開いた形（開放型）と閉じた形（閉鎖型）に並べて配置した三種類の場合について実験を行った。

海氷上では高さ90 cm、直径45 cmの円柱（小型ドラム管）を雪面上に立てた場合と砂面上に倒した場合、さらに縦×横×高さ=75×79×45 cmの直方体（木箱）2個を予想風向に直角で雪面上に50 cm間隔で一直線状に配列した場合について実験を行った。

これらの物体を設定したあとにブリザードがあれば、そのブリザードが終った時点でこれら物体の周囲にできたドリフトの形態を調査した。地面上に置いた場合には地面から雪面までの積雪深を測定し、雪面上に置いた場合にはブリザード以前の雪面は若干削られるため、その物体のすぐ横の最も積雪の少ない面（基準面）からの高さを測定した。

ドリフトの形態は風向・風速・風の乱れ・気温・降雪量などによって変わってくるために、ここに測定日直前のブリザードの気象条件（JAPAN MET. AGENCY, 1971）を記しておく。風速10 m/s以上の日が2～5日間、その期間の最大瞬間風速は31～36 m/s、強風（20 m/s以上）の期間の平均気温は-6～-10°C、風向の最大振幅（5分間）は25度、風の息（5分間）は1.1～1.3であった。なお、気象データは極値以外は、昭和基地地方時の0～21時の3時間毎の値を利用した。

3. 結果および考察

3.1. 平板の場合

3.1.1. 直線型の場合

平板2枚を90cm間隔で予想風向に対して直角で一直線状に立てた場合の結果を図1に示す。

平板を4月19日に地面上に設定し、4月27日にドリフトを測定した。測定日直前のブリザードは最大瞬間風速35.5 m/s、日最大風速28.3 m/sで、風速10 m/s以上の風が4月21日～26日の約5日間、その内20 m/s以上は約2.5日間続いた。風速20 m/s以上の主風向はENEであった。風速10 m/s以上の期間の気温は-5.0～-10.1°Cで、風速20 m/s以上の期間の平均気温は-6.1°Cであった。

このブリザードの主風向は予想風向に対して約10度ずれた。このためドリフトの形態は、左右対称とはならなかったが、かえって、この方が風向に対してずれた場合の特徴が理解で

きると思われる。

図1のように中央部にはドリフトの全くない領域（無雪域）が、また、両側には腎臓形の無雪域ができた。一方、ドリフトの多い領域は各々の平板の中心付近の風上・風下側に形成されている。このドリフトの多い場所を結んだ稜線（峰）はかなり鋭くとがっているのが特徴的である。南極では地形が単調であって、風速、風向の乱れが小さいために鋭くとがるということが考えられる。平板の中心から風上側約1 m 地点までのドリフトは約35 cm で、平板の中心から風下側約2 m 地点のドリフトは35~40 cm であった。

図1の平板より風下側2 m 地点で平板に平行に切断した断面（c-d 線）が同図の下端に示されている。平板の風下側に山があり、それぞれ40 cm, 35 cm, 中央部で約30 cm となっている。また、図1の a-b 線の断面における垂直分布図を図3(A)に示す。風上側約4 m 地点で35 cm のドリフトから約1.5 m 地点で38 cm となり、その後急激に減少して平板の直前で0 となる。平板の直後では平板自体に雪が約1 cm 付着しているが図3(A)では無視している。平板より約0.5 m 風下側で最低値6 cm, その後増加して約2 m 地点で35 cm, 約2.3 m 地点で38 cm の最深値（山）をもち、あとは緩やかに減少して10 m 地点で約5 cm となっている。

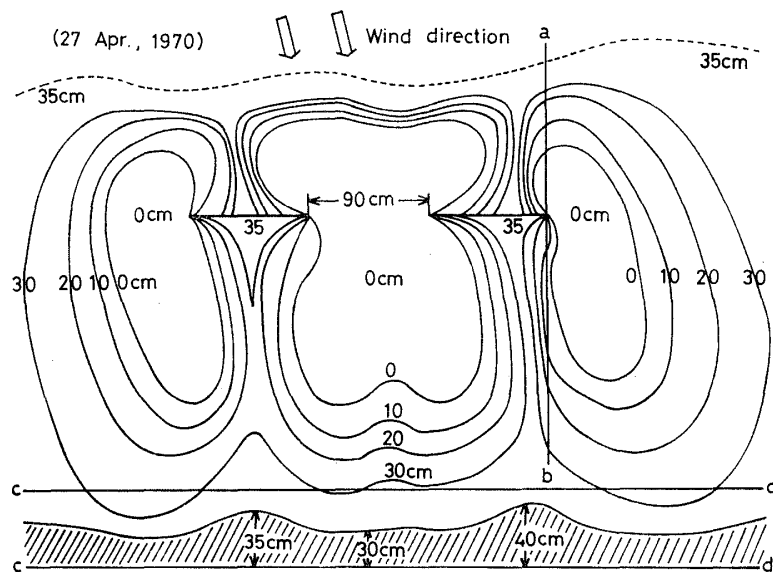


図1 平板2枚を予想風向に直角で直線型に立てた場合のドリフトの等高線図（直線型）

Fig. 1. Contour line diagram of snowdrift in the straight-line alignment of two flat boards stood at an angle of 90 degrees against expected wind direction.

3.1.2. 開放型の場合

平板2枚を90 cm 間隔で予想風向に対して45度を開いて立てた場合の結果を図2に示す。

平板を4月19日に地面上に設定し、4月24日にドリフトを測定した。図2のように中央部右側には楕円形の無雪域が認められた。一方、その左側には窪地、すなわちドリフトがわずかしかない領域が認められたが、その領域は小さい。また開放型板の右側には腎臓形の無雪域が、左側にはより小さい無雪域が認められた。

図の急傾斜面上には、等高線に直角な毛状の短線を付けて表わしてある。中央部にV字型のドリフトがあり、その高度差は約50 cm と顕著である。X-Y線で表わされる平板のY点のすぐ右風下側に狭い峰が、同様に左側の平板の風下側にも広い峰の部分と認められた。とくにほぼ a-b 線に相当する中央部の峰はかなり鋭くとがっているのが特徴的である。

図2でX点より風下側2 m 地点の断面(c-d線)が同図の下端に示されている。中央部に二つの山が認められ、それぞれ35 cm となっている。V字型のドリフトの先端を縦断するa-b線の断面を図3(B)に示す。風上側4 m 地点で35 cm からY点の前方約0.7 m 地点で

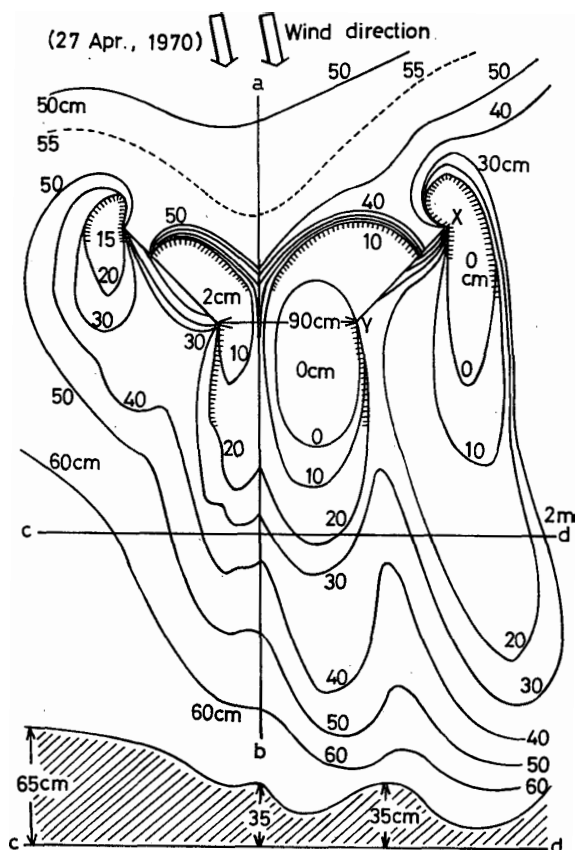


図2 平板2枚を予想風向に45度で開放型に向かいあって立てた場合のドリフトの等高線図(開放型)

Fig. 2. Contour line diagram of snowdrift in the orthogonal arrangement of two flat boards stood at an open angle of 45 degrees against expected wind direction.

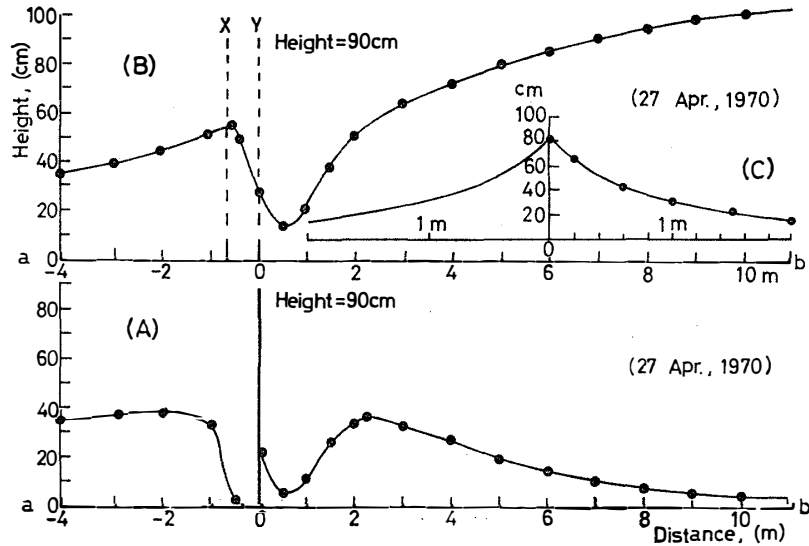


図 3 (A) 図 1 の a-b 線におけるドリフトの断面
 (B) 図 2 の a-b 線におけるドリフトの断面
 (C) 図 2 の X 点より風下側 6 m 地点で c-d 線に平行な線におけるドリフトの断面

Fig. 3. (A) Section of snowdrift on a-b line in Fig. 1.
 (B) Section of snowdrift on a-b line in Fig. 2.
 (C) Section of snowdrift on a line parallel to c-d line at the leeward place 6 m from point X in Fig. 2.

55 cm の山をもち、Y 点の風下側 0.5 m 地点で最低値 13 cm と急激に減少し、再び 10 m 地点までに約 100 cm と増加している。そのあとの変化傾向は図には示していないが、約 13.5 m 地点を山にしてそれ以後は減少している。

また、図 2 で X 点より風下側 6 m 地点の c-d 線に平行な線の断面を図 3 (C) に示す。この図には富士山に似た急勾配の峰と緩やかなすそ野をもった特徴的なドリフトが形成されている。

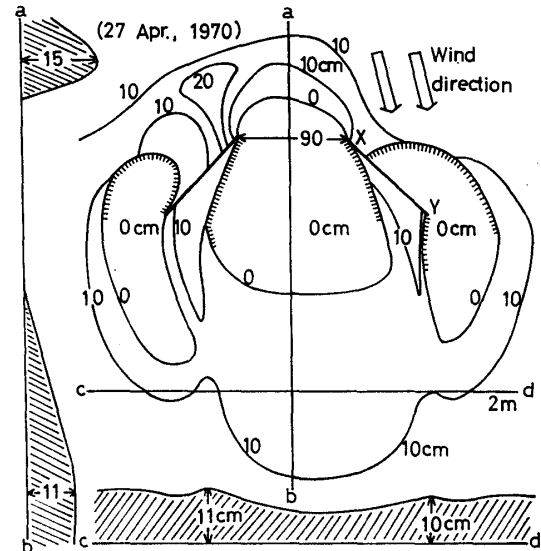
3.1.3. 閉鎖型の場合

平板 2 枚を 90 cm 間隔で予想風向に対して 45 度に閉じて立てた場合の結果を図 4 に示す。

平板を 4 月 19 日に地面上に設定し、4 月 24 日にドリフトを測定した。図 4 のように中央部には無雪域が、また、左側には腎臓形および右側には変形した腎臓形の無雪域が認められた。この場合は、中央部に V 字型のドリフトはできない。図 4 で X 点の風下側 2 m 地点の断面 (c-d 線) を同図の下端に示す。平板の風下側に山があり、それぞれ 11 cm, 10 cm となっている。また、中央部での断面 (a-b 線) は同図の左端に示すごとく風上側の山で 15 cm, 風下側の山で 11 cm となっており、その中間部ではドリフトが認められない。

図 4 平板 2 枚を予想風向に45度で閉鎖型に向かいあって立てた場合のドリフトの等高線図（閉鎖型）

Fig. 4. Contour line diagram of snowdrift in the orthogonal arrangement of two flat boards stood at a closed angle of 45 degrees against expected wind direction.



以上、三種類の実験結果からドリフトが最も多くできるのは開放型であり、最も少ないのは閉鎖型である。閉鎖型では平板 2 枚が丁度流線型的な役割をして風を直接発散させるために、ドリフトが少ないと考えられるのに対して、開放型では風を一度収束してから発散させるために、ドリフトが多く形成されることが想像できる。

直線型に配置した場合のドリフトは風下側約 2.3 m 地点より減少するのに対して、開放型では風下側約 13.5 m 地点までは増加してその後減少する。平板の高さの 20~30 倍の風下側で平常の積雪になる。各板の風上・風下側にできる峰は風向、風速の乱れが相当小さいためにかなり鋭くとがっている。

3.2. 円柱の場合

3.2.1. 円柱を立てた場合

実験結果を図 5(A) に示す。直径 45 cm、高さ 90 cm の円柱を 5 月 17 日に海水の雪面上に立てて置き、5 月 21 日にドリフトを測定した。測定日直前のブリザードは最大瞬間風速 33.2 m/s、日最大風速 26.2 m/s で、風速 10 m/s 以上の風が 5 月 19 日~21 日の約 2 日間、その内 20 m/s 以上は約 15 時間余続いた。風速 20 m/s 以上の主風向は ENE であった。風速 10 m/s 以上の期間の気温は $-7.4 \sim -11.8^{\circ}\text{C}$ で、風速 20 m/s 以上の期間の平均気温は -7.9°C であった。この円柱は雪面上に置いてあり、円柱のすぐ横の最も積雪の少ない所を基準面 0 cm として測定した。図 5(A) で円柱より風下側 1 m 地点までは、急傾斜（絶壁）となる場所の輪郭を示したもので、風下側 1~5 m の輪郭は峰を表わしている。この峰は図 5(B) の場合では高さ 55 cm の峰に相当する。

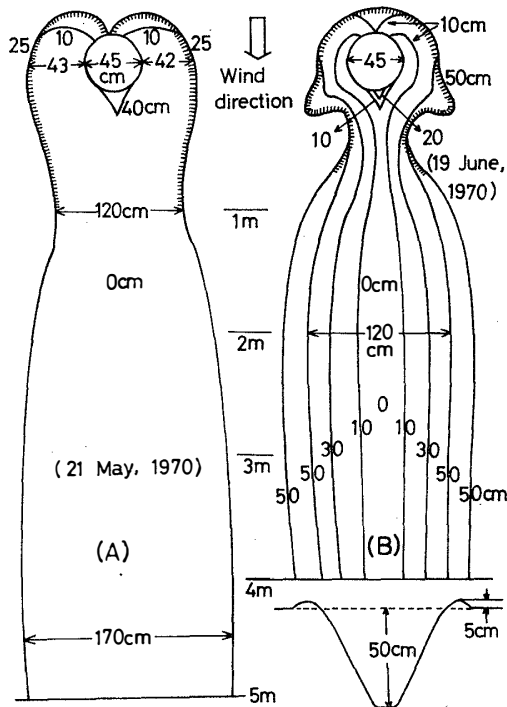


図 5 (A) 円柱を立てた場合におけるドリフトの等高線図 (5月21日)
(B) 円柱を立てた場合におけるドリフトの等高線図 (6月19日)

Fig. 5. (A) Contour line diagram of snowdrift in the standing cylinder (21 May).
(B) Contour line diagram of snowdrift in the standing cylinder (19 June).

5月19日～21日のブリザードよりも風速 20 m/s 以上の強風は短時間であったが、以前のブリザードで形成された窪地の影響が作用したために特徴的な形態を示している。とくに円柱の両側の風下側45度方向にできた耳形の窪地は特徴的である。しかも円柱付近は急激に窪んだ領域があって周辺は絶壁となり、周囲との高度差が50 cm 以上となっている。

円柱より風下側 4 m 地点の断面が図 5(B) の下端に示されている。その断面はV字型となっており、周辺には幅の広い峰が認められた。円柱の影響の及ぶ距離は高さの約18倍となった。2例の円柱の測定値より、高さの18～23倍の風下側までその円柱の影響が認められることが判った。

3.2.2. 円柱を倒した場合

実験結果を図 6 に示す。直径 45 cm、高さ 90 cm の円柱を 5月17日に海氷の砂面上に倒し

円柱の周囲の窪地は円柱を中心に心臓形を示し、円柱の直後の風下側で一度くびれた形(直径の約 2.7 倍)から広くなり(直径の約 3.8 倍)、次第に幅が狭く窪みも浅くなっている。全体の形態は細長く風下側に円柱の高さの約 23 倍までその影響が認められる。また、円柱の直後には高さ約 40 cm の V 字型のドリフトが存在する。

もう一例、円柱を立てた場合の実験結果を図 5(B) に示す。この場合は前回の円柱のドリフトに加えて形成されたものである。測定日は 6月19日、その直前のブリザードは最大瞬間風速 31.1 m/s、日最大風速 24.0 m/s で、風速 10 m/s 以上の風が 6月17日～19日の約 2 日間、その内 20 m/s 以上は数時間続いた。風速 20 m/s 以上の主風向は NE であった。風速 10 m/s 以上の期間の気温は $-8.5 \sim -13.7^{\circ}\text{C}$ で、風速 20 m/s 以上の期間の平均気温は -9.3°C であった。

5月19日～21日のブリザードよりも風速

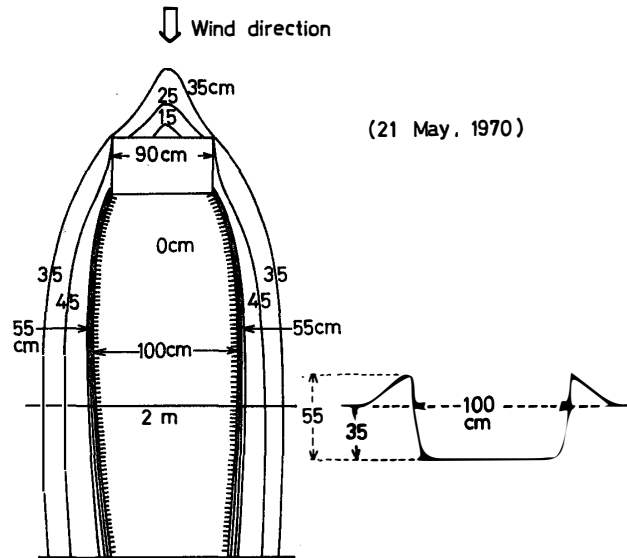


図 6 円柱を倒した場合におけるドリフトの等高線図（5月21日）

Fig. 6. Contour line diagram of snowdrift in the lying cylinder.

て置き、5月21日にドリフトを測定した。風が円柱にほとんど直角に吹いたため、ほぼ左右対称なドリフトが求められた。風上側には窪地ができていて、雪面から砂面までの積雪深は約15 cm となっている。また風下側には無雪域が認められ、その周囲は絶壁となっている。そして円柱より風下側2 m 地点の断面は同図の右側に示すごとく、絶壁をもった鍋底型の無雪域およびその周辺のとがった峰をもったドリフトとが顕著に認められる。この鍋底型形態は図5(B)の下端に示す断面図のような滑らかなV字型形態とは大きく異なっている。

3.2.3. 直方体の場合

直方体2個を一直線状に配列した場合の実験結果を図7に示す。直方体を6月15日に海氷上の雪面に置き6月19日にドリフトを測定した。この実験では風が直方体にほとんど直角に吹いたため、ほぼ左右対称なドリフトが求められた。この場合は雪面上に置いてあり、直方体のすぐ横の最も積雪の少ない所を基準面0 cm として測定した。中央部および左右の腎臓形の部分は深く窪んでいて、一部に絶壁が認められる。風上側のドリフトの形態は直線型の平板の場合（図1）とほとんど同じであり、風下側もかなり類似している。しかし、風下側の峰は図1と違って内側に湾曲しており、中央部の風下側に高さ30 cm 以上の山が認められた。直方体の場合のドリフトの形態は平板の場合よりもその縦幅の長さ分だけ風下側に引き伸ばされた形態となっている。

以上、簡単な物体によってできるドリフトの形態について述べた。これら物体の高さの20

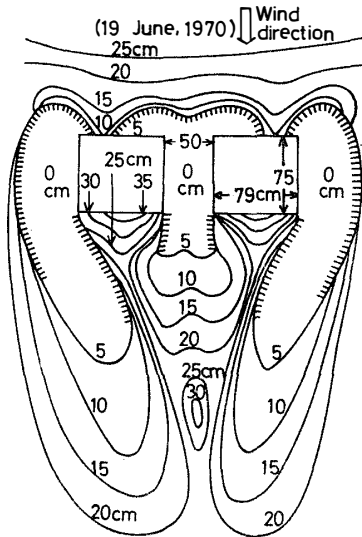


図 7 直方体 2 個を予想風向に直角で一直線状に並べた場合のドリフトの等高線図

Fig. 7. Contour line diagram of snowdrift in the straight-line alignment of two rectangular prisms stood at an angle of 90 degrees against expected wind direction.

～30倍の風下側までドリフトの形態に何らかの影響が現われることが定性的に判った。この現象と、田中他（1955）の一連の防風垣の実験で板べいの高さの20倍地点における風速が基準風速の80～90%であり、高さの30倍地点でほとんど基準風速に等しくなる報告とは密接な関連性が認められる。

4. む す び

簡単な物体によってその前後にできる雪の吹きだまり（ドリフト）の形態を知る目的で平板 2 枚、円柱、直方体 2 個を用いて実験を行った。これらの組み合わせによってできるドリフトの形態は、風向・風速・風の乱れ・気温・降雪量などによって異なってくるが、とくにここでは風向、風速の乱れが小さい場合、すなわち南極のように単調な地形上を吹く風とドリフトとの関係について論じた。

この実験は最大瞬間風速31～36 m/s、強風（20 m/s）の平均気温 $-6\sim-10^{\circ}\text{C}$ 、風向の最大振幅（5分間）25度、風の息（5分間）1.1～1.3のブリザードの直後に調査したものである。得られた結果の要約は次のようなものである。

（1） 三種類の配置形態による平板の実験で、最もドリフトの多いものは開放型であり、最も少ないのは閉鎖型である。閉鎖型では平板が流線型的な役割をして風を発散させるのに対して、開放型では風を一度収束してから発散させるためと考えられる。

（2） 開放型では平板の間に V 字型のドリフトができ、平板の風下側約 0.5 m 地点を最低値として、約 13.5 m 地点まで増大してから減少するのに対して、直線型では平板の風下

側約0.5 m 地点を最低値として、約2.3 m まで増加し、それ以後は再び減少する。

(3) 円柱を立てた場合、円柱の周囲に直径よりもやや狭い幅の窪地ができ、しかもその窪地の周辺は急傾斜（絶壁）になっている。円柱の風下側 4 m 地点の断面は *v* 字型形態になっている。

(4) 円柱を倒した場合、風上側に窪んだ領域ができ、風下側には無雪域とその両側にとがった峰をもったドリフトが認められた。その断面は特徴的な鍋底型形態を示している。

(5) 直方体の場合、風上側は直線型の平板の場合とほとんど同じであるが、風下側の峰は内側に湾曲した形態となり、中央部の風下側に山が認められる。

(6) 南極では地形が単調であって風速、風向の乱れが相当小さいため種々の物体の風上・風下側にできる稜線（峰）は鋭くとがっているのが特徴的である。

(7) 種々の物体によってできるドリフトについて、高さの20~30倍の風下側までドリフトの形態に何らかの影響を与えることと、防風垣により減衰された風速がその高さの20倍地点で基準風速の80~90%であり、高さの30倍地点ではほとんど基準風速に等しくなることとは密接な関連性が認められる。

謝 辞

この実験を行うに当たり、多大な援助を与えられた松田達郎第11次隊長および建築・土木担当隊員であった白壁弘保氏に厚く感謝の意を表します。

また、論文の校閲に当たって有益な助言を頂いた国立極地研究所の楠宏教授および川口貞男助教授（第11次副隊長）に心より深謝いたします。

文 献

- 新井秀雄 (1954) : 人工ふぶきによる防雪林の実験的研究. 雪氷, **16** (1), 1-12.
新井秀雄 (1961) : 防雪柵の風洞実験. 鉄道技研速報, 61-388.
古川 巖 (1964) : アルミニウム合金製吹雪防止柵の研究. 雪氷, **26** (4), 103-119.
秦野武雄・今井篤雄 (1969) : 板柵の防雪機能について. 雪氷, **31** (2), 37-43
今井篤雄 (1969) : ふぶき移動量の計算と堆雪量の適合性. 雪氷, **31** (1), 7-13.
JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY (1971) : Meteorological data at the Syōwa Station in 1970. Antarctic Met. Data, **11**, 1-151.
鎌田正之 (1962) : 吹雪防止林の吹雪捕捉について. 雪氷, **24** (3), 89-91.
小林俊一 (1971) : 地ふぶきにおける雪面の波状模様の生成と運動. 低温科学, 物理篇, **29**, 81-94.
今野 篤・今井篤雄・丸山久一 (1956) : 雪底防止における板塀柵の調査. 雪氷, **17** (3), 18-20.
真木太一 (1971) : 昭和基地における地吹雪発生中の視程と風速の関係. 南極資料, **42**, 35-42.

- 真木太一 (1972) : 昭和基地における風向, 風速, 気温および気温鉛直傾度の相互関係. 天気, **19** (7), 359-367.
- MAKI, T. (1974 a) : Characteristics of atmospheric turbulence in stable stratification at Syowa Station in Antarctica. J. Met. Soc. Japan, **52**, 32-41.
- MAKI, T. (1974 b) : Turbulence characteristics and micrometeorological structure of atmospheric surface layer in stable stratification in Antarctica. Mem. Natl. Inst. Polar Res., Ser. B(Meteorology), **2**, 1-65.
- MAKI, T. (1975) : Micrometeorological characteristics of atmospheric surface layer near ground in stable stratification. Bull. Natl. Inst. Agric. Sci., Ser. A, **22**, 1-29.
- 丸山久一 (1954) : 雪底防止に於ける板塀柵について. 雪氷, **16** (4), 12-24.
- 松田達郎 (1972) : 第11次南極地域観測隊越冬報告1970-1971. 南極資料, **44**, 21-35.
- 村越 望 (1958) : 第1次越冬隊気象部門報告. 南極資料, **4**, 1-22.
- 塩谷正雄 (1967) : 防雪柵. 雪氷, **29** (4), 100-106.
- 塩谷正雄・新井秀雄 (1954) : 防雪防止林の機能 (第1報). 雪氷, **15** (5), 1-5.
- 田中貞雄・谷沢恒夫・佐野 洋・柿沼 計・小寺新二 (1955) : 防風垣前後の風に関する研究(5). 農業気象, **11**, 91-94.

(1975年2月5日受理, 3月15日改訂稿受理)