

## 昭和基地における強風時の光を利用した飛雪観測 (予報)

小林 俊一\*・牧野 勤 俊\*\*

A Preliminary Report on the Blowing Snow Observation using the Light Scattering in High Winds at Syowa Station, Antarctica

Shun'ichi KOBAYASHI\* and Kinken MAKINO\*\*

**Abstract :** The present study describes the optical technique that has been developed to measure the variation of the spatial density of blowing snow particles suspended in air. The light source (the emitter) used was an incandescent lamp (12 V, 20 W), and a diameter of light beam was 46 mm. The receiver was used a photo transistor. This instruments were set in two levels of 1 m and 2 m at Syowa Station (69° S, 39.5° E) in 1973. The transmission path of light were 4.5 m in both case.

If it is assumed that snow particles in blowing snow are the same size and the same shape, then the attenuation of a light beam should depend on the spatial density of blowing snow. The empirical correlations between the attenuation of a light beam (the transmittivity) and the mean visibility, and between the transmittivity and the drift flux were given for practical use.

Observations made only in night time and during the period of high winds (also called Antarctic blizzards). For example, when the mean wind speed at 10 m level was 30 m/s, the drift flux at 1 m level changed quickly between 80 and 400 g/m<sup>2</sup>·s.

### 1. はじめに

南極のブリザード (暴風雪) は、南極海洋上で発生した低気圧によって南極大陸周辺部にもたらされた著しい強風と多量の飛雪 (降雪) を伴う気象状態である。この時には視程が著しく悪化する。この他一般的な特徴としては、気圧の急降下と気温の上昇、湿度の増加を伴う。従ってブリザード時には著しい顕熱と潜熱が低緯度から高緯度地方に輸送される。

昭和基地においては、第1次に越冬した村越 (1958) によって観測されて以来、シノプチ

\*北海道大学低温科学研究所。The Institute of Low Temperature Science, Hokkaido University, Sapporo 060.

\*\*牧野応用測器研究所。Makino Applied Instruments Inc., Numabukuro, Nakano-ku, Tokyo 165.

ックな観測が続けられている。最近の第13次隊の報告（藤沢他，1974）では、ブリザードの階級を視程，風速，継続時間の条件で決めている。ところで，南極のブリザードのような強風時における飛雪量の測定には，従来の捕捉器を用いての測定には限度がある。そこで光学的な方法による装置を作って，昭和基地でのブリザード時の飛雪量や視程の変動の測定を試みた。この装置は雪片が光を吸収，散乱する性質を利用したもので，光源には白色光を用いた。従って，観測は背景光の変化が少ない夜間時を選んで行った。この種類の装置はすでに降雪強度計や吹雪計として使われ，斉藤他（1969），O'BRIEN（1970），竹内・鎌田（1972）等の研究がある。これらの装置の測定原理はすべて同じであるが，光源の種類，光源の強さ，光束の大きさ，投・受光器の間隔の違いがあり，その都度それぞれの装置には検定が必要である。例えば，斉藤他（1969）は光源に赤外線を用いて背景光の変化があっても測定できる装置を考えた。この他，最近では光源にレーザー光が使われている（木村，1974）。これも背景光の変化が大きい昼間時でも測定できる利点を有している。

本報告では，光源に白色光を用いたという不利な点はあるが，風速が 10 m/s から 35 m/s までの強風時の飛雪量の変動の測定を試みたので，用いた装置の概略とブリザード時に得られた観測の例を述べる。飛雪の空間濃度の変動と強風の乱流構造との相関の解析については，後に発表する予定である。

## 2. 飛雪観測装置の構造の概要

本装置は，南極におけるブリザードの際に，飛雪の量を光を利用して観測するものである。投光器（図1 a）と受光器（図1 b）は屋外に設置した支柱に取り付け，投光器に送る電源及び受光器からの信号を受けて必要な出力に変換する電気回路を一切内蔵する電装箱（図1 c）を屋内に置き，その間をケーブル（長さ 100 m）で接続して観測する。この装置のブロックダイアグラムを図2に示した。投光器は外径60 mm，長さ280 mmの円筒形で，その内部に12 V，20 Wの白熱ランプ（スタンレー No. 1073 使用）を設け，これより発する光は赤外吸収フィルター（小原光学製 HG）を介して凸レンズ（直径46 mm，焦点距離 150mm）を通り外部に投光される。受光器は凸レンズ，緑色フィルター（保谷ガラス G533），太陽電池を用いた受光素子（シャープ製シリコンブルーセル SBC 102型）から成っている。投光器と受光器のいずれもレンズの外側はキャップによって保護され，その他の部分においても水分が筒内に入らないように密封構造となっている。電装箱は受光器からの出力信号を受け，これをデータレコーダ又はペンレコーダに接続して記録する。すなわち受光器からの信号を

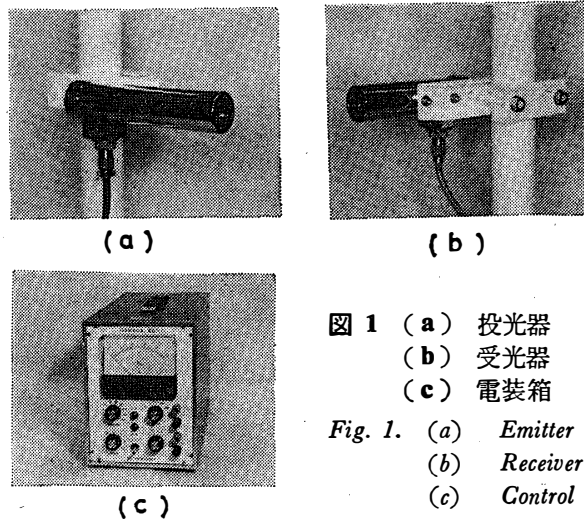
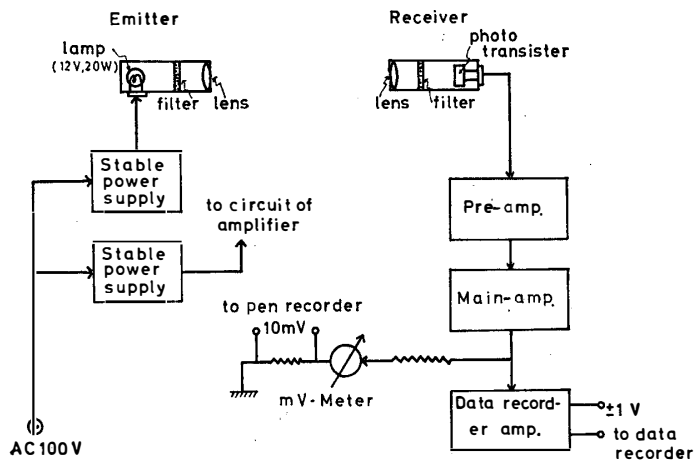


図 1 (a) 投光器  
(b) 受光器  
(c) 電装箱  
Fig. 1. (a) Emitter  
(b) Receiver  
(c) Control box

図 2 装置のブロックダイアグラム  
Fig. 2. Block diagram of instrument.



まずプリアンプに受け、増幅度調整と切換回路などを含むメインアンプ回路を介し、フルスケール  $-1\text{ V} \sim +1\text{ V}$  のデータレコーダ用の入力信号となる。更に受光器の出力は常に指示され、フルスケール  $10\text{ mV}$  のペンレコーダ用の出力端子につながっている。又これらの電子回路に要する電源と投光器のランプ電源とは共に内蔵され精確に調整可能な回路である。更に観測に先立って装置の機能をチェックするため、切り換えスイッチ調整ツマミ、その他操作に必要な部分を筐体パネルに配置してある。

本装置を昭和基地の観測棟より北東の方向約  $50\text{ m}$  離れた露岩上に設置した。この場所は雪の吹きだまりが少ない。

## 3. 測定の方法

本装置による測定には、透過光による方法と反射光による方法の二通りある。スチロールビーズを降らして室内蛍光灯下で感度をみるために行った実験の結果、透過光による方法が良かったので、昭和基地での観測は、投・受光器の間隔を 4.5 m、地面より約 1 m と 2 m の 2 点の高さに固定して設置し、透過光による方法で行った。すなわち、飛雪のない時の受光器の受ける光量を  $J_0$  (=100%) とし、飛雪があると透過光量は 100% より低下して  $J$  になる。実際にはこの  $J$  の時間的変動を測定する。今、投・受光器の間隔を  $L$  (m)、マクロな飛雪による消散係数 (extinction coefficient) を  $\alpha$  ( $\text{m}^{-1}$ ) とすれば、一般に次の (1) 式の関係が成り立つ。

$$J = J_0 \exp(-\alpha \cdot L) \dots\dots\dots (1)$$

又空气中に含まれる飛雪粒子を球形粒子と仮定してその半径を  $r_i$  とした時の単位体積中の数を  $N_i$  とすれば、 $\alpha$  は次の (2) 式で表わされる (例えば、KINOSHITA, 1953)。

$$\alpha = \frac{1}{L} \int_0^L \alpha' dL \quad \left. \begin{array}{l} \dots\dots\dots (2) \\ \text{ただし } \alpha' = \sum_i r_i^2 \cdot N_i \end{array} \right\}$$

すなわち  $\alpha$  は、飛雪の空間濃度の関数である。だから (1) 式はこの場合  $L$  が 4.5 m で一定であるから、光の透過量  $J$  の変化は飛雪の空間濃度の変化と考えて良い。

更に飛雪の空間濃度と気象学的な視程  $V$  (m) の間には逆比例の関係がある。すなわち飛雪量と関係のある消散係数と視程の間関係は、KOSCHMIEDER によって (例えば、MIDDLETON, 1952) 次の (3) 式の如く逆比例の関係が与えられている。

$$V = 3.9/\alpha \dots\dots\dots (3)$$

従って光の透過量  $J$  の変化は視程の変化として表わされる。

MELLOR (1966) や BUDD *et al.* (1966) によって飛雪や降雪時に消散係数と視程、飛雪空間濃度の関係が報告されているが、筆者は飛雪観測装置による飛雪時の光の透過量と視程や飛雪量の関係を調べた。ここでは視程や飛雪量の測定は充分なされなかったので、他の研究者達の測定結果を使って調べた。図 3 は 10 m の高さの風速と 1 m の高さに設置した飛雪観測装置による光の透過量  $J$  との関係である。他方、南極における視程と 10 m 高さの風速の関係は、LILJEQUIST (1957), BUDD *et al.* (1966), 真木 (1971) 等によって測定されている。それらの結果を筆者がまとめて、平均の視程と風速の関係として図 4 に示した。更に南極における飛雪量と 10 m 高さの風速の関係は、BUDD *et al.* (1966) の観測結果があり、

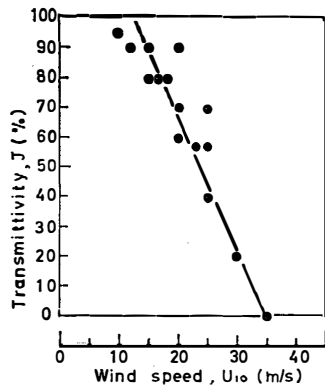


図 3 光の透過率 ( $J$ ) と 10 m 高さの風速 ( $U_{10}$ ) の関係

Fig. 3. Relation between transmittivity of light ( $J$ ) and wind speed ( $U_{10}$ ) at 10 m level.

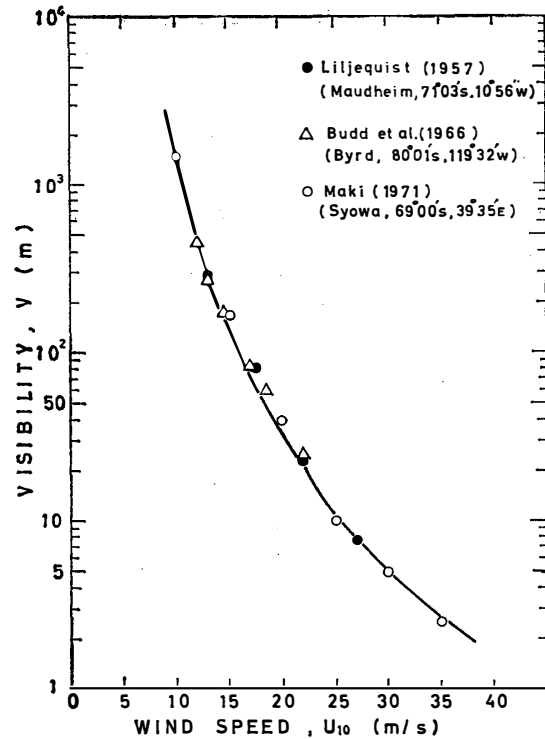


図 4 南極で測定された平均視程 ( $V$ ) と 10 m 高さの風速 ( $U_{10}$ ) の関係

Fig. 4. Relation between mean visibility ( $V$ ) and wind speed ( $U_{10}$ ) at 10 m level observed in Antarctica.

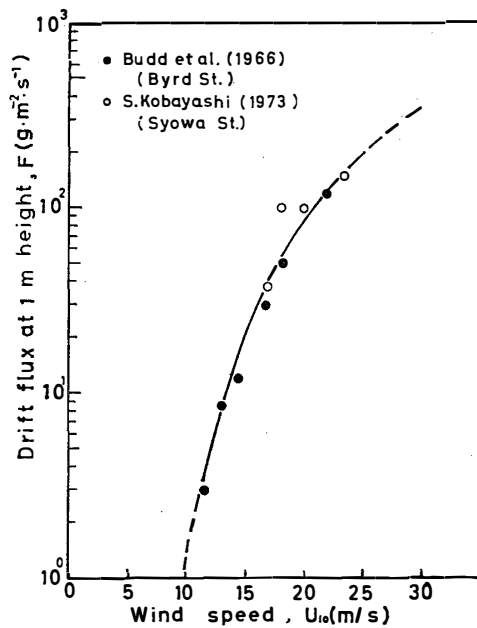


図 5 南極で測定された 1 m の高さの平均飛雪量 ( $F$ ) と 10 m 高さの風速 ( $U_{10}$ ) の関係

Fig. 5. Relation between mean drift flux ( $F$ ) at 1 m height and wind speed ( $U_{10}$ ) at 10 m level observed in Antarctica.

これに筆者が昭和基地で捕捉率 0.6 のサイクロン型地ふぶき計 (小林, 1974) を使った観測値を含めて図 5 に示した。これらの図 3, 図 4, 図 5 から, 光の透過量と平均視程の関係, 光の透過量と 1 m の高さでの平均飛雪量の間を表現したものがそれぞれ図 6 と図 7 である。従ってこの二つの図から光の透過量の変動を測定すれば視程と飛雪量の変動を求める事ができる。又図 6 と図 7 から, 指数関数の関係が成り立つと仮定して, 実験式を求めるとそれぞれ (4) と (5) 式が得られる。

$$J = 34.4 \exp(0.004 \cdot V) \dots\dots\dots (4)$$

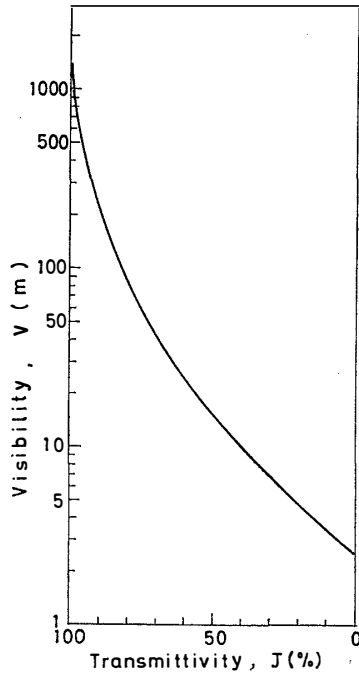


図 6 視程と光の透過率の関係  
 Fig. 6. Relation between transmittivity of light and visibility.

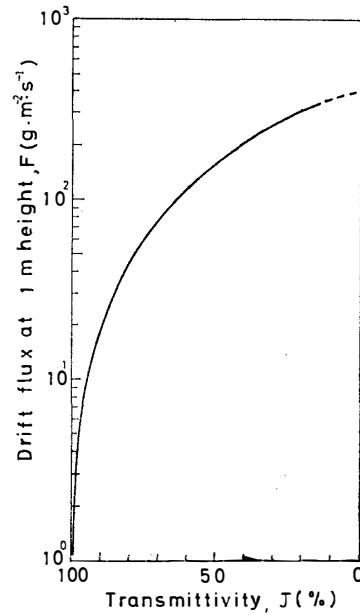


図 7 1 m の高さの飛雪量と光の透過率の関係  
 Fig. 7. Relation between transmittivity and drift flux at 1 m height.

$$J = 103 \exp(-0.005 \cdot F) \dots\dots\dots (5)$$

なお、(4) 式の関係は 0.73 の相関で成り立ち、(5) 式は 0.995 の高い相関で成り立っている。

但し、ここで  $V(m)$  は視程、 $F(g/m^2 \cdot s)$  は 1 m の高さの飛雪量である。

#### 4. 観 測 例

図 8 に地面から 1 m の高さでの飛雪時の光の透過量の時間的変動の例を掲げた。たて軸は光の透過量  $J$  (%)、よこ軸は時間である。図中の (A) から (D) はブリザードの初期から末期に至る変化の状態を示している。(A) と (B) では、飛雪が集団的に到来して、その周期は数分程度で、飛雪量は時間と共に徐々に増加してゆく。すなわちこの期間では飛雪量に疎・密があり、はっきりした息が認められる。(C) はブリザードの最盛期で、この期間には視程が著しく悪化し、飛雪量にはっきりした息は認められず、飛雪量は早い変動で大きな振幅を示している。時には光の透過量が 0% となり、その状態が数時間続いた。ちなみに、ブリザードの最盛期では、1 m の高さの飛雪量は  $80 g/m^2 \cdot s$  から  $400 g/m^2 \cdot s$  の振幅で早い変動を示した。(D) はブリザードの末期の状態で飛雪量は定常的となり、高い地ふぶきの

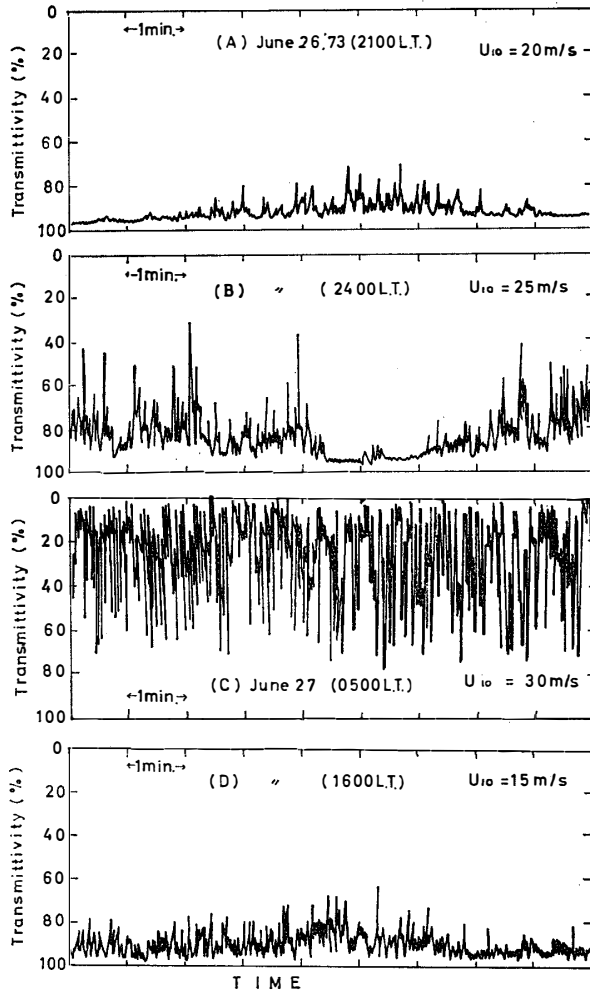


図 8 ブリザード中の 1 m の高さの飛雪量変動の観測例

Fig. 8. Example of observation for variation of blowing snow at 1 m level during blizzard.

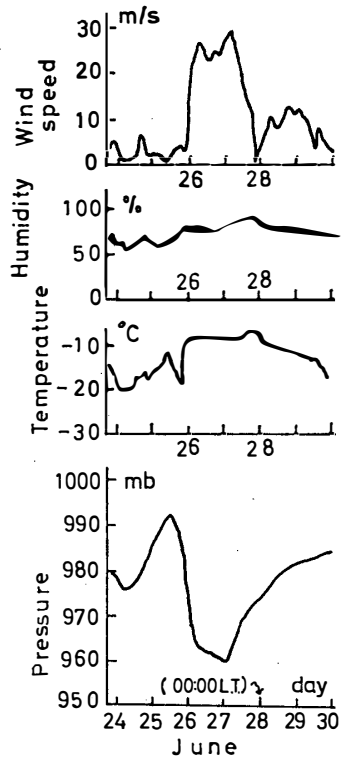


図 9 ブリザード時の風速、湿度、気温、気圧の変化の例

Fig. 9. Example of meteorological data (wind speed, humidity, temperature, pressure) in blizzard.

様相を呈する。この期間の昭和基地での風速・湿度・気温・気圧の変化を図 9 に掲げた。気圧の急降下と共に風の突然の吹き出しと気温・湿度の増加が特徴的である。

### 5. ま と め

白色光による光源を使った飛雪観測装置で、風速が 10 m/s から 35 m/s の強風時における飛雪量の変動を測定することを試みた。その結果、昭和基地におけるブリザード時の飛雪量や視程の早い変動についての情報が得られた。これらは、強風の乱流構造と関連させて後に詳しく解析される予定である。

## 謝 辞

昭和基地では平沢威男越冬隊長をはじめとする第14次隊のすべての隊員から絶大なご支援を受けた。特に内陸調査旅行のために昭和基地を留守にしている期間、藪馬尚隊員が献身的に記録をとってくれた。又現地では装置の検定を試みるために成瀬廉二・桑島正幸両隊員の協力を受けた。更に昭和基地の気象データは小妻司・上橋宏・中村匡善等の気象担当隊員のまとめたものを使わせていただいた。ここに記して以上の各位に深く感謝の意を表わします。又北大低温科学研究所の石田完教授には論文の推敲に当って有益な助言を受けた。深く感謝いたします。

なお資料の整理は、南極資料解析費の一部によってまかなわれた。

## 文 献

- BUDD, W. F., R. DINGLE and U. RADOK (1966): Byrd snow drift project. In Study in Antarctic Meteorology, American Geophysical Union, Antarct. Res. Ser., 9, 71-134.
- 藤沢 格・福谷 博・白土武久 (1974): 第13次南極地域観測隊気象部門報告1972. 南極資料, 49, 72-90.
- 木村忠志 (1974): レーザー・ビームによる降雪検出. 昭和49年度日本雪氷学会秋季大会講演予稿集 No. 84.
- 小林俊一 (1974): サイクロン型地ふぶき計と引き出し箱型地ふぶき計の比較. 低温科学, 物理篇, 32, 89-95.
- KINOSHITA, S. (1953): On the variations of fog density and wind velocity. In Studies on Fogs, ed. by T. HORI, Tanne Trading Co., Sapporo, 385-342.
- LILJEQUIST, G. H. (1957): Energy exchange of an Antarctic snow-field. Wind structure in the low layer (Maudheim, 71°03'S, 10°56'W). Norw.-Br.-Swed. Antarct. Exped., 1949-52, Sci. Results, 2, Part 1 C, 185-234.
- 真木太一 (1971): 南極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.
- MELLOR, M. (1966): Light scattering and particle aggregation in snow storms. J. Glaciol., 6 (44), 237-248.
- MIDDLETON, W. E. K. (1952): Vision through the atmosphere. University of Toronto Press, Toronto, 250 pp.
- 村越 望 (1958): 第1次越冬隊気象部門報告. 南極資料, 4, 1-22.
- O'BRIEN, H. W. (1970): Visibility and light attenuation in falling snow. J. Appl. Met., 9, 671-683.
- 斉藤博英・福井 篤・木村恭三・清水増治郎・五十嵐高志・監物勝英 (1969): 赤外線を利用した降雪強度計の研究. 防災科学技術総合研究報告, 21, 21-42.
- 竹内政夫・鎌田新悦 (1972): 吹雪時における視程の実態と特徴. 土木技術資料, 14 (11), 9-13.

(1975年2月20日受理, 4月17日改訂稿受理)