HOKKAIDO UNIVERSITY

| | |
|---|---|
| Title | 顕微鏡による飛雪粒子の観測 |
| Author(s) | 小島, 賢治; KOJIMA, Kenji |
| Citation | 低温科學. 物理篇, 27, 115-129 |
| Issue Date | 1970-03-31 |
| Doc URL | https://hdl.handle.net/2115/18106 |
| Type | departmental bulletin paper |
| File Information | 27_p115-129.pdf |

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Kenji KOJIMA 1969 Microscopic Observations of Drifting Snow Particles. *Low Temperature Science, Ser. A*, **27.** (With English Summary p. 128)

# 顕微鏡による飛雪粒子の観測*

小島賢治
(低温科学研究所)

(昭和44年7月受理)

## I. 緒言

昭和40～41年冬期以来低温科学研究所気象学部門が行なってきた地ふぶきの研究の一部として，飛雪粒子の形と大きさの顕微鏡による観測を筆者が分担した。どのような気象条件ならびに雪面状態のときに，どんな形と大きさを持った雪粒が飛雪として空中を飛び，または雪面上を移動するか，また，飛雪粒子の形と粒度分布が雪面からの高さによりどの程度に変化するかを調べるのがこの研究の目的である。このような観測はすでに大浦[1]，Lister[2]，Budd 他[3),4]等により行なわれており，ソ連における観測結果についても Дюнин[5] の著書に記述されている。しかし，吾々が現在地ふぶきの研究を行なっている地域(主として札幌付近)の飛雪粒子の形状と，南極地域その他国外のそれとの間には差異がある筈である。

野外で観測を行なったのは1966年と1968年に各1回，1969年1～2月の4回の地ふぶきについてであって，各種の条件下での飛雪の観測としては不充分であるが，一応これまでに得た観測結果をここにまとめて報告しておくことにする。

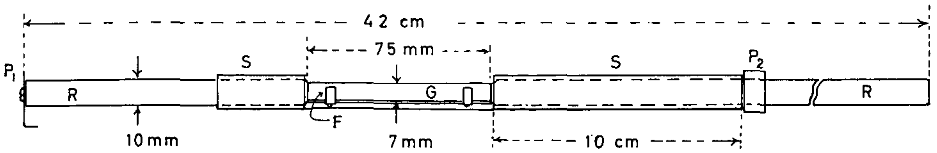
## II. 観測方法

### 1. 野外観測

飛雪や降雪の結晶の観測によく用いられるのはレプリカ法であるが，大浦[1]はシリコン油を塗ったスライドグラスを地ふぶきの中にさらし，油膜に捕捉された飛雪粒子をそのまま顕微鏡写真に撮影した。大浦はまた，飛雪を捕捉したスライドグラスを0°C以上の温度の室に移し，油膜中の氷粒がとけて出来た水滴の粒度分布をその顕微鏡写真によって測定するという方法も併用した。筆者もこれにならい，飛雪の粒度分布の測定は油膜に捕捉した結晶を融かして出来た水滴の顕微鏡写真について行なった。

小さい粒子に対する捕捉率を少しでも良くするため，スライドグラスを幅7mmに細長く切り，その片面に油を塗ってから，直径1cmの切口がまるい木の棒の途中にとりつけ，棒と同心円筒状の金属板のカバーをかぶせた。油は顕微鏡の油浸レンズに用いるカーギル油(オリンパス製)を，温度0°～−10°Cで適当な粘度を持つようにキシロールで僅かに薄めて用いた。第1図はスライドグラスGを止金Fで押えて保持するための棒Rと，シャッターの役目をする円筒カバーSの略図である。室温が0°C以下の観測小屋内に顕微鏡をおき，この小屋の中で

* 北海道大学低温科学研究所業績 第973号




**第1図** 飛雪粒子を捕捉するために用いた道具。G：油を塗ったスライドグラス（この油膜に飛雪粒子を捕捉する），R：木製丸棒，F：ガラス板 G を棒に固定するための爪，S：シャッターの役目をする円筒の「窓あき鞘」（図には，鞘の右端がストッパー $P_2$ で止るまで引いて，飛雪捕捉板のガラスを露出させた状態を画いてある。S の窓の両側は下と後とでつながっている）

あらかじめ油を塗ったスライドグラスを棒にとりつけ，カバーを前方に押して捕捉板の部分に蓋をしたままふぶきの中に持出す。雪面に立てた細い物指に棒の先端を近づけて捕捉板を風向に直角に，棒を水平に保持しながら棒の高さを読む。素早く円筒形の「窓あき鞘」S の手前の端がストッパー $P_2$ にくるまで引き，地ふぶきの強さに応じた適当な時間スライドグラスを露出させて後再び窓あき鞘の前端が $P_1$ で止るまで押して蓋をする。時計仕掛のシャッターを使ったのではないので，露出時間は正確とは云えない。

このようにして油膜に捕えた飛雪結晶を顕微鏡写真に撮り，その後試料をガラスの裏から手で暖めながら結晶を融かすと，それらは球状の水滴となって油膜中に分散する。実物の 50 倍に拡大した印画につき，各水滴の直径を拡大鏡つきの 1 mm 目盛の物指で測定した。結晶を融かすとき，油の温度を高くしすぎると，水滴は球とならずにつぶれてしまう。また，飛雪結晶を多く捕えすぎると，融けるときに幾つかの粒子が集って 1 個の水滴になることがある。これがこの方法の難点である。

地ふぶき観測小屋は，低温科学研究所の北側の広い雪原にあり，建物の西北端から北北西に約 80 m はなれた所にある。小屋の近くは飛雪の吹溜りでバルハンが出来るので，その外側に充分はなれた所で飛雪を捕捉するようにした。図版 I の写真 1 に小さい矢印をつけたのがこの小屋で，小屋の北方 60 m から撮影した写真である。ほぼ同じ位置から観測地点の西方および北西を見た光景が写真 2 および 3 である。地ふぶきが起るときの風向は北西ないし北である。

### 2. 風洞実験

低温科学研究所の以前の建物内にあった古い低温風洞（測定部分の長さ 170 cm，断面 30×30 cm）のアクリル板の側壁の風下の端の近くに，雪面をおく位置から上に 1，3 および 7 cm の高さに穴をあけ，そこからスライドグラスをつけた棒をさしこんで水平に保持出来るようにした。風洞の略図は大浦他[6]の報告にある。雪は厚さ約 5 cm，面積 139×29 cm の板状に積雪表面層からアルミニューム板で切り取ったものを，アルミ板ごと別のベニヤ板にのせ，これを風洞の底面として下から支えて設置した。この程度の長さの風洞では地ふぶきが発生しにくく，風洞中心における平均風速が 10 m/s のときでも，適当な数の飛雪粒子を捕えるには，野外における場合の 100～200 倍の露出時間が必要であった。

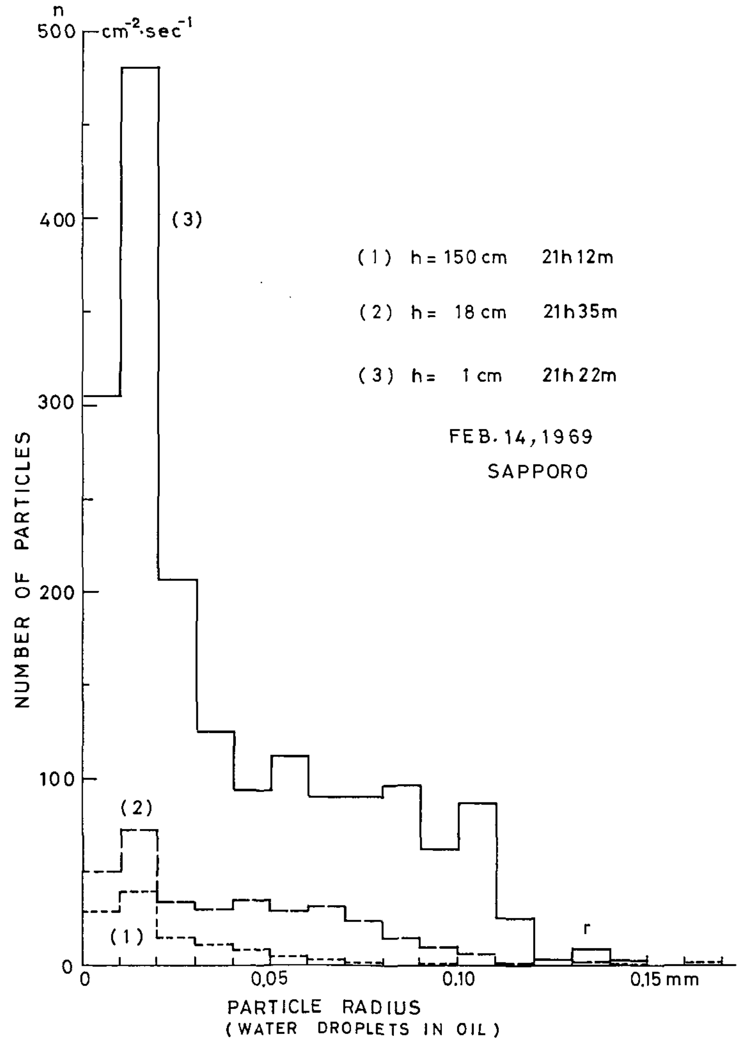
## III. 観測結果

### 1. 飛雪の形と大きさ，ならびにそれらの雪面からの高さによる差異

a）降雪を伴う低い地ふぶき

1969年7月28日および同年2月14日に観測した地ふぶきがその例である。

札幌地方で降雪と共に地ふぶきが発生するとき，多くの場合その降雪は北西風による風雪であり，その結晶形は雲粒がすき間を見せぬほど多数凍結した平板あるいは放射状の樹枝状結晶ないし霰であり，それらのかけら（雲粒の集合）が多数混って降ることが多い。図版 II の写真4はこのような降雪結晶の代表的な一例である。これは1969年1月28日に雪面から120 cmの高さで捕捉した結晶で，当時地ふぶきはこの高さには達していなかった。これより50分前であるが，同じ場所で雪面から2 cmの高さで捕捉した飛雪結晶が写真5（図版 II）である。こ

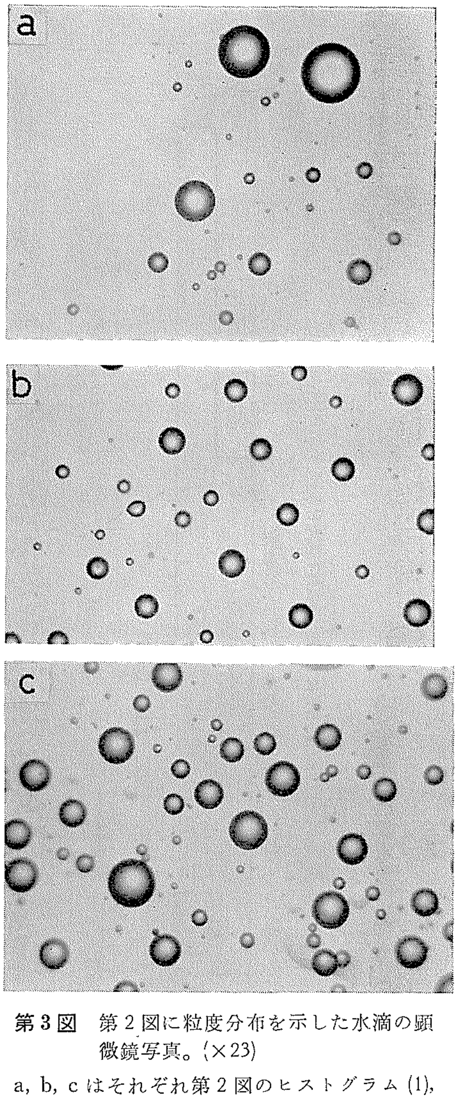



**第2図** 降雪を伴う低い地ふぶきの粒度分布。縦軸 $n$ は捕捉板（スライドグラス）の 1 $cm^2$ に毎秒衝突した飛雪粒子数。横軸 $r$ は油膜中で飛雪結晶を融かしてできた球状水滴の半径。$h$ は飛雪を捕捉した高さ（雪面から捕捉板の中央までの高さ）。測定粒子数は，(1) 181 個，(2) 369 個，(3) 574 個

の例にも見られるように降雪を伴う低い地ふぶきの場合は，降り積った結晶がすぐに飛雪となるので当然のことながら，降雪結晶と雪面近くを飛ぶ飛雪結晶との間には形の上でのあきらかな区別がつき難い。ただし，写真4の降雪結晶の捕捉露出時間は10秒であるが，写真5の飛雪粒子は2秒間に捕捉したものである。

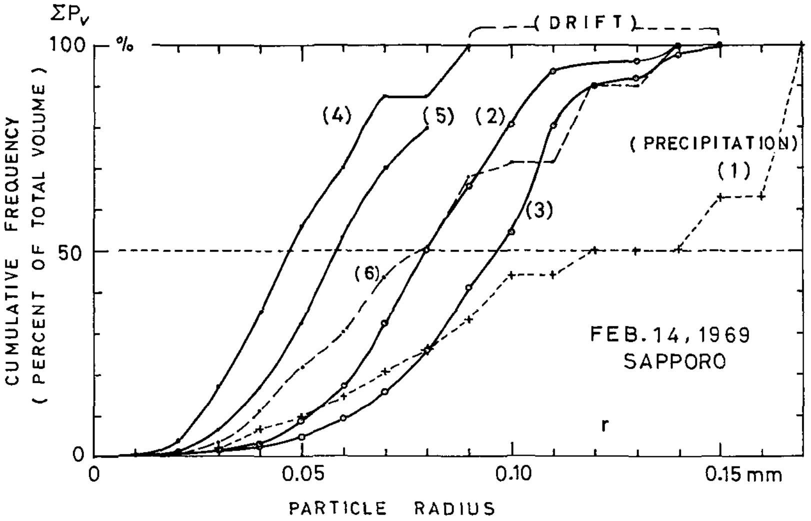
もともとの降雪結晶が不規則な形のものが多いので，飛雪結晶も雲粒の不規則な外観の集合が多いのであるが，集合体の大きさは，雪面からの高さが増すほど小さい傾向は明瞭である。これを示す一例が図版IIIの写真6と8である。写真6は1969年2月14日の夜，雪面上10 cmで，写真8はこれより15分後に高さ4 cmで捕捉した飛雪結晶である。図版の右側の写真7および9はそれぞれ写真6および8の結晶を融かした水滴の写真の一部で，写真の倍率はいずれも23倍である。

降雪を伴う低い地ふぶきの粒度分布の例を第2図に示した。これは油膜中の結晶をとかしてできた水滴の半径の分布を示したものであるが，縦軸は鉛直においたスライドグラスの単位面積に1秒間に捕捉された飛雪粒子の個数をあらわす。3本のグラフ(1), (2), および(3)はそれぞれ高さ150, 18, および1 cmで捕捉した試料に関するものである。ただし150 cmで捕えた結晶の大部分は降雪によるものと思われる。いずれの場合も最大頻度粒径は半径で10～20 $\mu$となったが，雪面近くでは飛雪粒子の数が圧倒的に多いことがよくあらわれている。最大頻度粒径はこの場合高さとともには変らなかったが，グラフ(2)と(3)とを得た水滴（油膜中で飛雪を融かしたもの）の顕微鏡写真（第3図写真bとc）を比較すると，高さ1 cmの方が大粒であることはあきらかである。この他の多くの場合について，飛雪の大きさを代表する量としては，最大頻度粒径あるいは平均粒径などの統計量は特別な目的以外には不適当と思われる。特に，最大頻度粒径を持つ粒子が占める質量の飛雪全体の質量に対する寄与の割合は殆ど無視出来るほど小さいことが多い。そこで，第4図には飛雪粒子をとかしてできた水滴の体積に関する累積頻度曲線を，横軸に水滴半径，縦軸に体積累




**第3図** 第2図に粒度分布を示した水滴の顕微鏡写真。(×23)

a, b, cはそれぞれ第2図のヒストグラム(1), (2), (3)に対応する。水滴はいずれも油膜の中で飛雪結晶が融けたもの。捕捉露出時間はa(高さ150 cm)とb(18 cm)とは3秒，c(1 cm)は1秒間である



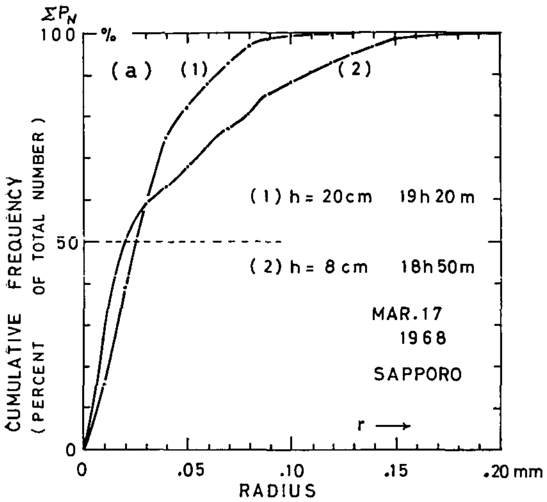

**第4図**　降雪を伴う低い地ふぶきの際の飛雪粒子の融解水滴に関する体積累積頻度曲線。縦軸は累積頻度（飛雪粒子の質量累積頻度に相当），横軸は水滴半径。曲線(1), (2), (3)は第2図のグラフ(1), (2), (3)と同じ試料による。(4)：高さ10 cm，観測時刻19時50分，(5)：4 cm，20時5分，(6)：4 cm，21時0分。(4)と(5)は図版 III の写真6～9の飛雪。何れも1969年2月14日

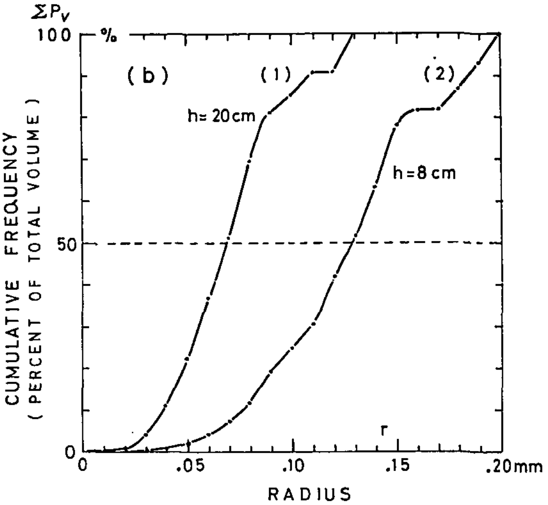
積頻度をとってあらわした。曲線はいずれも1969年2月14日の低い地ふぶきに関するものである。曲線(1), (2)及び(3)はそれぞれ第2図のヒストグラム(1), (2)および(3)にもとづいたものであり，曲線(4)と(5)とはそれぞれ図版 III の写真7（高さ10 cm）および写真9（高さ4 cm）の試料による。体積累積頻度が丁度50%になる半径をメジアン体積半径と呼ぶこととし，$r_{MV}$ であらわすと，$r_{MV}$ はこの低い地ふぶきの場合45～100 μ の間にあり，風が強いほど，又雪面に近いほど大きい。曲線(1)が高さ150 cmであるのに $r_{MV}$ が特に大きいのは，降雪結晶が大部分を占めていたためである。

b）降雪を伴う高い地ふぶき

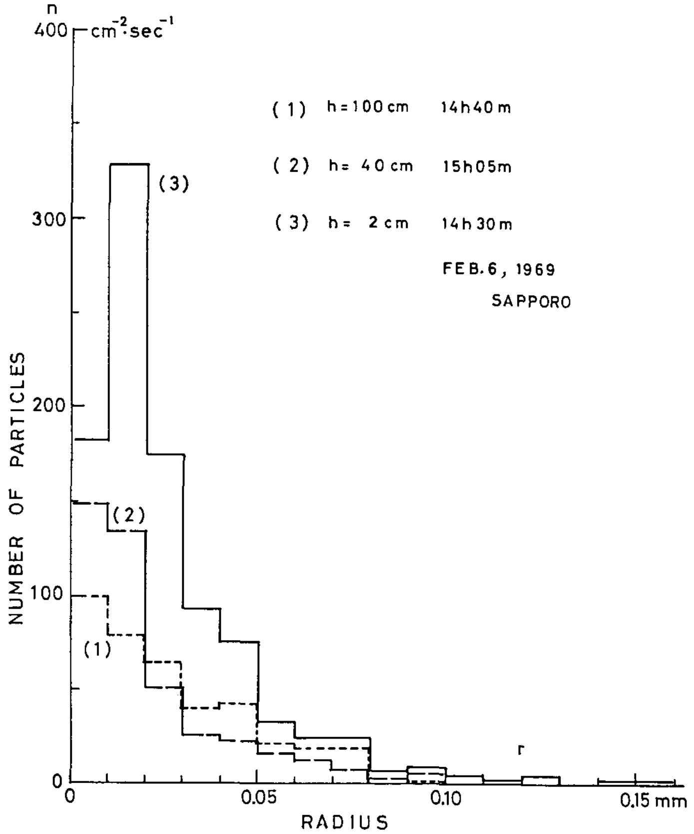
1968年3月17日と1969年2月6日の観測例は，札幌としては比較的高い地ふぶきであった。図版 IV, V の写真10, 11, 13および15は夫々雪面上48 cm, 20 cm, 8 cmおよび3 cmで捕捉した飛雪粒子の写真で，倍率は23倍である。油膜の露出時間は何れもおよそ1秒であるから，降雪結晶が混入していてもその割合は僅かである。写真12と14とはそれぞれ高さ20 cmおよび8 cmで捕えた飛雪を油膜中で融かしてできた水滴の一部分である。結晶の写真からも，水滴の写真からも粒子の大きさが高い所ほど小さいことは明らかであるが，そればかりでなく，雪面上8 cmと3 cmを飛んでいた結晶の中には，20 cm以上の高さで捕捉された小さい雲粒集合（当時の降雪に由来する）とは異種の結晶すなわち柱状結晶，砲弾型，鼓型などが多数見られる。これらは前日に積った雪の結晶であり，強風あるいは強い地ふぶきによって積雪面がえぐられ，前日の積雪層からとび出した大きい結晶が低空を飛行していたものである。

第5図(a)は高さ20 cmおよび8 cmにおける粒度分布を水滴の個数に関する累積頻度曲線(1)および(2)であらわしたもので，何れの場合も半径20～25 μ 以下の小粒が全個数の半数



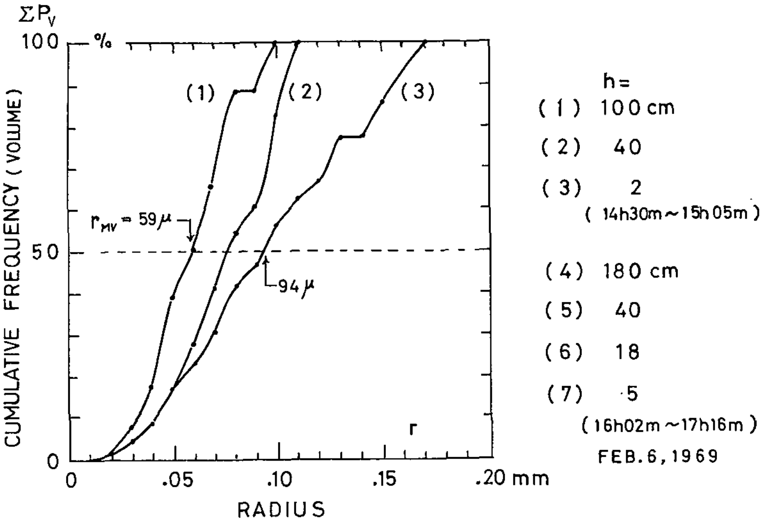

**第5図**　1968年3月17日における降雪を伴う高い地ふぶきの粒度分布
(a) 粒子数に関する累積頻度（半径 $r$ より小さい水滴数の全水滴数に対する割合)。曲線(1)と(2)の試料を捕捉した高さ $h$ と時刻は図中に記入した。測定粒子数：(1) 225 個，(2) 270 個
(b) 飛雪を油膜中で融かした水滴の体積に関する累積頻度（半径 $r$ より小さい飛雪粒子が占める質量の全質量に対する割合ともいえる)。(1)と(2)は図(a)の曲線(1)と(2)に対応

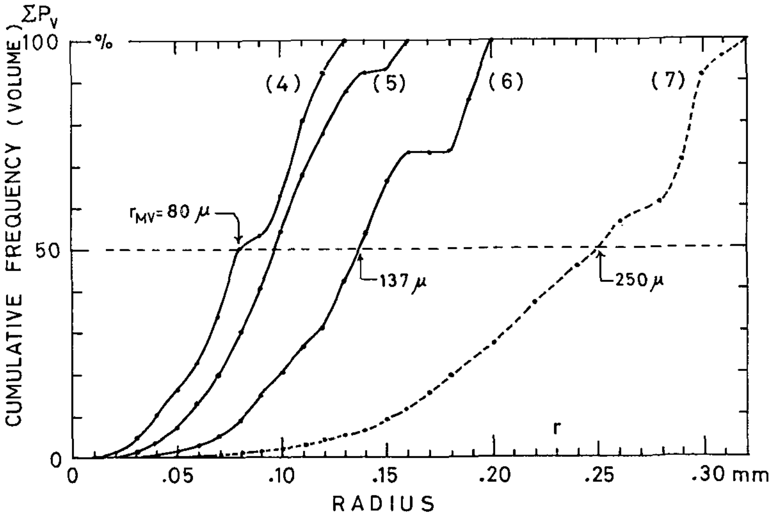



**第6図**　降雪を伴う高い地ふぶき粒子の大きさの頻度分布の例。(1969年2月6日)
高さ $h$ と観測時刻は図中に記入した。縦軸は個数，横軸は水滴半径（第2図の説明参照)。測定粒子数は (1) 151 個，(2) 324 個，(3) 409 個

を占めることを示している。しかしメジアン体積半径は，次の第5図(b)に示した体積累積頻度曲線にあきらかなように，高さ20 cmに関しては68 $\mu$ であるのに対し，高さ8 cmでは128 $\mu$ である。この時の風速は雪面上1 mの高さでおよそ9 m/sであった。

次の例，1969年2月6日のふぶきでは風速が9～13 m/sで地ふぶきも上記の例より強くそして高かった。図版VIの写真16～22は雪面からの高さ190 cm，40 cm，10 cm，および5 cmで1秒間に捕えた飛雪粒子ならびにそれらを融かした水滴の顕微鏡写真である。このときも，高さ5 cmを飛行していた雪粒には，当日降っていたこまかい雲粒集合の他に，前日の未明に積った大きい平板結晶と角板付砲弾等が昇華変形によってまるみを帯びたものが混入してい



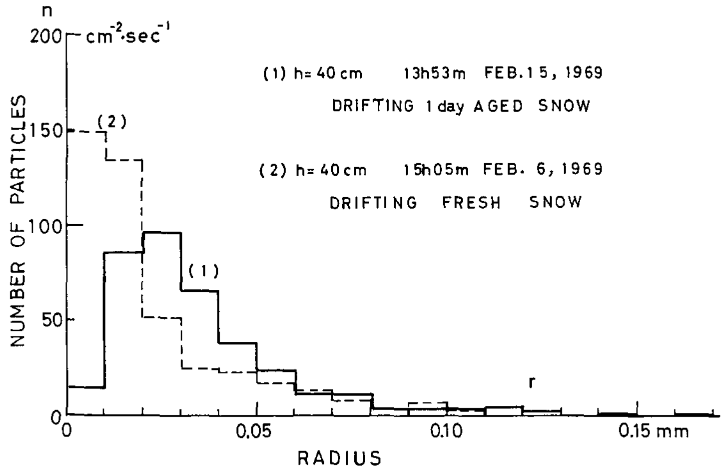

**第7図** 降雪を伴う高い地ふぶき(1969年2月6日)における飛雪粒子の質量累積頻度。横軸は飛雪を油膜中で融かした水滴の半径。曲線(1), (2), (3)は第6図の粒度分布(1), (2), (3)と同じ試料により，曲線(4), (5), (6), および(7)は図版VIの写真16～22の試料に基づく

た。この一連の写真の試料を捕捉したのは16時～17時16分の間であるが，その前，14時30分からの35分間に高さ1m，40cm，および2cmで捕えた飛雪の粒度分布を第2図と同じ表現法で示したのが第6図である。この粒度分布を体積累積頻度曲線であらわすと第7図の曲線(1)，(2)，(3)のようになる。一方，図版VIの写真に示した試料についての体積累積頻度曲線は上から下へ順に第7図の曲線(4)～(7)のようになる。これらの曲線から，図版VIの写真の試料につきメジアン体積半径は高さが190～5cmと減少するにつれ，80μ，96μ，137μ，および250μと大きくなった。ただし，写真22の試料はふぶき量に対して1秒間の露出時間が長すぎて粒子の数が多過ぎ，融かして水滴にしたとき，氷粒子の融合によって大きい水滴が出来た形跡があり，第7図の曲線(7)は実際の粒度分布より大きくあらわれているかもしれない。それで曲線(7)は破線とし，図版にも水滴の写真を省いた。

c）晴天下での地ふぶき

空からは全く雪が降らない晴天の下で起る地ふぶきは，札幌でも非常に機会が少ないというわけではないが，観測を行なったのは1969年2月15日と1966年2月16日だけである。図版VIIの写真23，25，および26は今年2月15日に雪面上50cm，30cm，および2cmで捕捉した飛雪粒子である。晴天のため，観測小屋の内部が暖まり，最初に採った試料の写真26は結晶が少し融けかかっている。写真25と23は室温が下り，融けることなく撮影出来た例であるが，前日の新雪のふぶき（図版III）にくらべて，すべての粒子が丸味を帯びている。これは雪面の結晶が1日かかって昇華変形したためである。高さ30cmと50cmにおける粒度分布を平均したものを，2月6日に新雪が飛雪となって高さ40cmを飛んでいたものの粒度分布と比較したのが第8図である。最大頻度粒形（半径）が2月6日では0～10μであったのに対し，2月15日の晴天下で発生した地ふぶき粒子の場合は20～30μであった。

第1表には以上述べた飛雪粒子の大きさを一覧表にして示した。これまで述べた半径の値はすべて球状の水滴に関するものであるが，これらの水滴を再度凍らせて氷の球に出来たとす




**第8図**　雪が降り止んだ翌日の晴天下での地ふぶきと降雪中の地ふぶきにおける飛雪の粒度分布の比較。高さはいずれも40cm。縦軸は粒子数，横軸は水滴半径（第2図の説明参照）

**第1表**　飛雪粒子の大きさ（油膜中での融解水滴に関する測定値），ふぶき量，飛雪密度，ならびに気象条件。ふぶき量と飛雪密度については第3節に述べる

| 年 | 月日 | 時刻 h m | 雪面上の高さ $h$ cm | 最大頻度粒（半）径 $r_{N\max}$ mm | 平均半径 $\bar{r}^*$ mm | 個数50%半径 $r_{M\mathrm{V}}^*$ mm | メジアン体積半径 $r_{MV}^*$ mm | 最大粒半径 $r_{\max}^*$ mm | ふぶき量 $q$ g·cm⁻²·s⁻¹ | 飛雪密度 $\psi$ g·cm⁻³ | 風速（高さ1m） $\bar{u}_1$ m·s⁻¹ | 気温（高さ1m） $T_a$ ℃ | 雪温 $T_s$ ℃ | 雪密度（表面層） $G$ g·cm⁻³ | 天気 | 地ふぶきの高低 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1966 | II-16 | 1200 | 5 | 10～20×10⁻³ | 44×10⁻³ | 38×10⁻³ | 103×10⁻³ | 0.14 | 3.2×10⁻⁴ | 7.0×10⁻⁷ | 7 | | | 0.13 | 晴 | 低 |
| 1968 | III-17 | 1850 | 8 | 10～20 | 42 | 21 | 132 | 0.20 | 14. | 20. | 9.1 | | | | 風雪 | 高 |
| | | (1920) | 20 | 10～20 | 31 | 26 | 70 | 0.13 | 2.6 | 3.4 | 9.3 | | | | | |
| 1969 | I-28 | 1610 | 5 | 10～20 | 24 | 19 | 55 | 0.08 | 0.49 | 1.3 | 4.8 | | | 0.08 | 風雪 | 低 |
| | | 2030 | 120△ | | | | | | (0.01) | (0.03) | 3.7 | −6.8 | −6.0 | 0.09 | | (無) |
| | II-6 | 1430 | 2 | 10～20 | 27 | 20 | 97 | 0.17 | 3.7 | 5.4 | 14.1 | −6.2 | −5.6 | (0.23) | 風雪 | 高 |
| | | 1440 | 100 | 0～10 | 25 | 21 | 61 | 0.09 | 0.73 | 0.7 | 10.2 | | | | 〃 | |
| | | 1505 | 40 | 0～10 | 23 | 15 | 79 | 0.10 | 1.1 | 1.2 | 12.2 | | | | 曇 | |
| | | 1602 | 40 | 10～20 | 40 | 29 | 100 | 0.15 | 4.1 | 3.6 | 12.6 | | | | 風雪 | |
| | | 1615 | 180 | 10～20 | 28 | 20 | 89 | 0.12 | 1.9 | 1.4 | 13.0 | | | | 〃 | |
| | | 1620 | 190 | 10～20 | 28 | 20 | 70 | 0.09 | 1.2 | 0.85 | 13.0 | | | | 〃 | |
| | | 1633 | 40 | 10～20 | 52 | 28 | 159 | 0.24 | 11. | 11. | 11.3 | | | | 〃 | |
| | | 1650 | 10 | 10～20 | 47 | 28 | 141 | 0.21 | 12. | 13. | 13.0 | | | | 〃 | |
| | | 1716 | 5 | 10～20 | 56 | 19 | (250) | (0.3) | 17. | 21. | 11.9 | −6.8 | −6.5 | 0.22 | 〃 | 高 |
| | II-14 | 1922 | 5 | 10～20 | 31 | 26 | 63 | 0.10 | 2.0 | 3.8 | 7.5 | | | | 風雪 | 低 |
| | | 1940 | 10 | 10～20 | 41 | 32 | (96) | 0.16 | 3.9 | 6.9 | 7.3 | | | | 〃 | |
| | | 1950 | 10 | 10～20 | 25 | 22 | 48 | 0.08 | 0.23 | 0.4 | 7.2 | | | | 〃 | |
| | | 2005 | 4 | 10～20 | 28 | 24 | 60 | 0.15 | 1.7 | 4.4 | 5.8 | | | | 〃 | |
| | | 2100 | 4 | 10～20 | 30 | 24 | 82 | 0.13 | 0.95 | 2.4 | 5.8 | −9.2 | −9.0 | 0.08～0.23 | 〃 | |
| | | 2112 | 150△ | 10～20 | 28 | 18 | 120 | 0.16 | 0.71 | 1.2 | 5.8 | | | | 〃 | |
| | | 2122 | 1 | 10～20 | 40 | 26 | 100 | 0.14 | 16. | 51. | 5.8 | | | | 〃 | |
| | | 2135 | 18 | 10～20 | 41 | 35 | 82 | 0.13 | 2.4 | 4.4 | 6.8 | | | | 〃 | |
| | II-15 | 1311 | 30 | 10～20 | 21 | 17 | 48 | 0.08 | 0.06 | 0.1 | 7.3 | −7.5 | −6.5 | | 晴 | 低 |
| | | 1311 | 5 | 20～30 | 51 | 38 | 124 | 0.19 | 3.6 | 7.2 | | | | | 〃 | |
| | | 1353 | 30 | 10～20 | 45 | 35 | 112 | 0.16 | 3.5 | 4.7 | (8.5) | | | 0.12 | 〃 | 中 |
| | | 1353 | 50 | 20～30 | 29 | 28 | 48 | 0.09 | 0.74 | 0.7 | | | | | | |

（　）…不確実な値　　△…降雪結晶が主　　*…水滴の大きさを同質量の氷球の大きさになおした値

ると，体積は1.09倍，半径は1.03倍になる筈である。第1表の平均半径，メジアン体積半径等*印をつけた項の数値はもとの値の1.03倍である。

## 2. 他の地域での観測例との比較

国内では飛雪粒子を顕微鏡で観測した例がないので，南極における測定値と比較した。Mellor[7]が解説しているように，南極で始めて飛雪の粒度分布を測定したのはLister[2]である。同じ頃，大浦[1]も昭和基地付近で小数例であるが粒度分布を測定し，清水[8]はByrd基地で観測した飛雪粒子の顕微鏡写真を降雪結晶の写真と比較してそのあきらかな差異を報告した。その後，最も詳しい測定がBudd[3]他[4]のオーストラリヤのグループによりByrd基地で行なわれた。第2表に南極における測定値と札幌における測定値を比較した。粒度分布は観測時の気象と雪面の条件で異なるので，最大頻度粒形，平均粒径，個数50%粒径，およびメジアン体積粒径（何れも直径）の測定値の存在範囲だけを比較した。結晶のまま測定した粒径の方が油膜中で水滴にしてしまってからの粒径より大きい傾向はあるであろうが，札幌の飛雪粒子（日本海の影響をうける他の地域でも大差はないと思われる）は，南極で観測される飛雪より非常に小さい粒子を多数含む場合が多いといえるであろう。Дюнин[5]の著書に記載されている地ふぶき粒子の最大頻度粒径は0.25 mm前後であり，南極におけるより一段と大きい。

**第2表**　南極地域と札幌地方とで観測された飛雪粒子の大きさ（直径）の比較。数値は測定値の主な存在範囲を示す。（ ）内は報告されている粒度分布により筆者が計算した

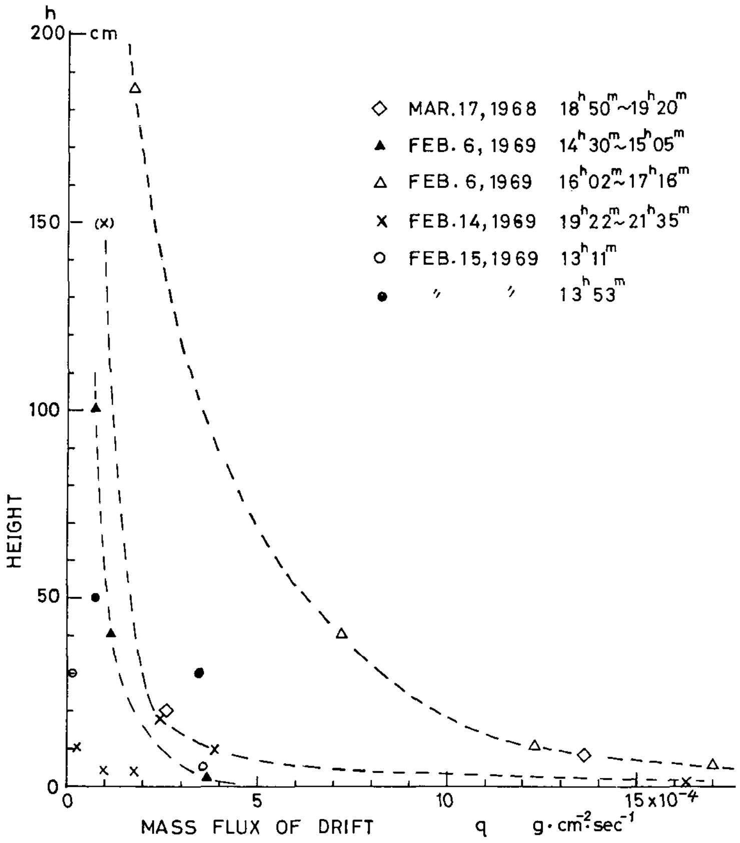
| 測定地 | 南極 昭和基地 | 南極 Southice | 南極 Byrd 基地 | 札幌 |
|---|---|---|---|---|
| 測定者 | 大浦 | Lister | Budd 他 | 小島 |
| 最大頻度粒径 $d_{N\max}$ | | 0.06～0.08 | 0.07～0.13 | 0.02～0.06 mm |
| 平均粒径 $\bar{d}$ | | | 0.07～0.17 | 0.04～0.11 mm |
| 個数50%粒径 $d_{MN}$ | 0.10～0.14 | (0.09) | (0.08～0.16) | 0.04～0.07 mm |
| メジアン体積粒径 $d_{MV}$ | 0.2 ～ | (0.13) | | 0.09～0.3 mm |

## 3. 飛雪の顕微鏡写真から求めた地ふぶき量と空気中の飛雪密度

50倍に拡大した顕微鏡写真の印画 $S\,\mathrm{cm}^2$ の中に半径 $r_m\pm0.5\times10^{-3}\,\mathrm{cm}$ の水滴が $N_r$ 個ある場合，その試料の捕捉露出時間が $t\,\mathrm{sec}$ であるならば，高さ $h\,\mathrm{cm}$ においたスライドグラスの $1\,\mathrm{cm}^2$ に1秒間に衝突した地ふぶき量 $q_h$ は

$$q_h=\frac{\sum_r N_r\cdot\frac{4}{3}\pi r_m^3}{St/50^2}\qquad(\mathrm{g\cdot cm^{-2}\cdot sec^{-1}})$$

である。第9図は縦軸に高さ，横軸にふぶき量 $q$ をとって計算結果を図示したものである。高さ $h$ の空気中を $q_h(\mathrm{g\cdot cm^{-2}\cdot sec^{-1}})$ の飛雪が飛んでいる時の空間密度 $\psi_h(\mathrm{g\cdot cm^{-3}})$ を，高さ $h\,\mathrm{cm}$ における風速 $u_h(\mathrm{cm\cdot sec^{-1}})$ を用いて，$\psi_h=q_h/u_h$ によって求めた。第9図にある各測点の $q_h$ の値を用い，高さ $h$ における密度 $\psi_h$ を図示したのが第10図である。$u_h$ の値は主に高さ1～1.4 mに4杯ロビンソン風速計をおいて常時自記していた記録から10分間平均風速を求め，雪面か




**第9図** 飛雪の粒度分布の測定値にもとずいて計算したふぶき量（風向に直角な鉛直単位面積を毎秒通過する飛雪の質量)。縦軸は高さ，横軸がふぶき量

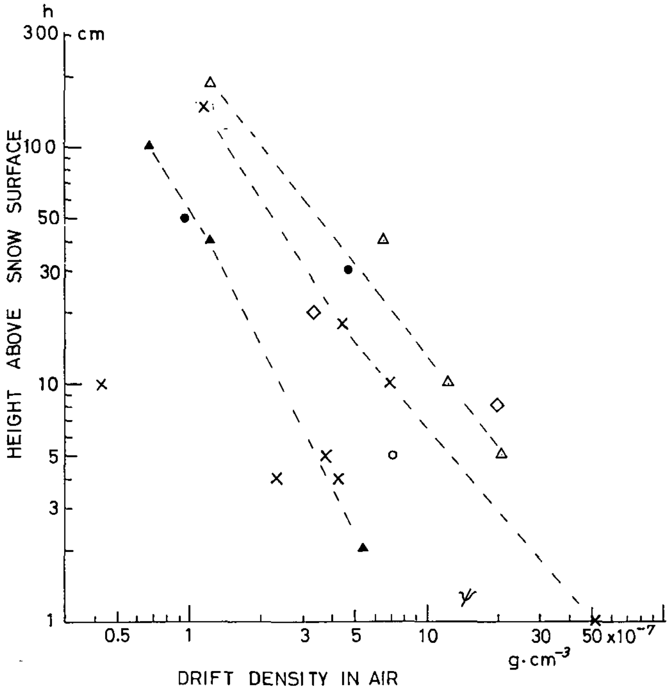
らの高さ 0.02 cm での風速がすべてのふぶき時に 1 m·sec$^{-1}$ と仮定し，風速のいわゆる対数分布から内挿して求めた。

第9図と第10図に示した地ふぶき量 $q$ とふぶき密度 $\psi$ の値は，同じ高さについて比較すると，ふぶき計による塩谷，新井[9]の報告あるいは大浦[1]の南極における測定値との間に不都合なほどの差異はない。札幌地方の平坦地の地ふぶきでは，高さ 1 m での風速が 10～13 m·sec$^{-1}$ のとき，高さ 5～200 cm の飛雪密度はおよそ 1～20×10$^{-7}$ g·cm$^{-3}$ であるという結果を得たことになる。

ただし，以上の議論はすべてスライドグラスの飛雪に対する捕捉率を 1.0 と仮定した上でのことである。また，雪面からの高さはスライドグラスの中心までの高さを意味し，粒度を測定するための顕微鏡写真は，おおむねガラスの幅の中央部分に沿って撮影した。これは次の風洞実験についても同様である。

## 4. 風 洞 実 験

一般に雪の結晶の典型とみなされる平板六花型結晶だけが積雪表面層を形成し，雲粒集合のような不規則な形の結晶を混えずに地ふぶきとなることは，札幌地方ではほとんど無いと




**第10図** ふぶき量（第9図）と風速とから求めた飛雪密度の垂直分布。縦軸は雪面からの高さ，横軸は飛雪密度。△○等の記号は第9図の同じ記号に対応する

いってよい。そこで，1966年2月16日につもった平板六花型結晶の新雪表面層（厚さ約5 cm）を風洞の底面として実験を行なった。

この試料は大浦，小林等が飛雪の運動の写真撮影および乱流の実験に供するために用意したものを利用した。

風洞の中心における平均風速を5，8および10 m·sec$^{-1}$の3段階に変え，雪面からの高さ7 cm, 3 cm，および1 cmにおける飛雪粒子を同時に油膜に捕捉した。図版IIIVの写真(28)，(29)および(30)は風速5 m·sec$^{-1}$のときの上記3種の高さで捕えた飛雪結晶，写真31と32は風速8 m·sec$^{-1}$で高さ3 cmおよび1 cmにおける飛雪である。写真33および34は風速10 m·sec$^{-1}$のとき高さ7 cmおよび3 cmで捕えた飛雪結晶を示す。すなわち，横の一列（例えば写真29，31，34）は同じ高さで捕捉したもので風速が異なるわけである。雪面近くでは多くの六花型結晶がそのままの形で飛んでおり，高い所ほど，また同じ高さでは風速が小さいほど六花の枝の小さいかけらが目立つようになる。云いかえれば，風速が大となるにつれて大きい結晶が飛雪として存在する高さが上る。捕捉板を飛雪中に露出した時間は，風速5 m·sec$^{-1}$で高さ1 cmのときと，風速8 m·sec$^{-1}$および10 m·sec$^{-1}$で高さ3 cm以下の場合は60秒，それ以外の場合は120秒である。各試料ごとに，油膜中の氷晶を融かして水滴とし，その粒径分布をもとにして，風洞内の飛雪の空間密度を求めたが，第10図の対応する高さにおける飛雪密度の1/100の程度に過ぎなかった。これは，風洞の長さが2 mに満たないため，いわゆるsaltation

が充分発達し得ないことと，風洞内の風が野外の風に比して乱れの規模が極めて小さいことの両方に起因しているものと思われる。風洞内の気温も雪の温度も $-10°C$ であった。

今回低温科学研究所に建設された長さ 8 m の低温風洞を用いれば，更に有効な実験が出来るであろう。

## IV. 結　　語

以上述べたような観測結果により，札幌地方における飛雪のうち，降雪を伴う場合については飛雪結晶の形と粒度分布の可成り良い数例を知ることが出来た。しかし，降雪が止んでから充分時間がたって変態が進んだ積雪面から発生する地ふぶきの粒度と形状についての観測例が不充分に終った。晴天下での地ふぶきを観測する際，観測室の温度が日射のため 0°C 以上になって結晶の検鏡に困難なことが多かった。この点を今後改良する予定である。同じ試料から飛雪の粒度分布とふぶき量あるいは飛雪密度の両方を測定しようとすると，今回用いたような手押しシャッターでは不便である。露出時間が正確に決められるように作動し，しかもなるべく気流を妨げないようなシャッターを工夫する必要があろう。また，今回はある時刻に一つの高さだけで試料をとることが多かったが，最少限 2 点又は 3 点で同時に捕捉するようにするべきであった。

風速に関する資料と雪温，気温，積雪密度等の測定値は小林俊一助手の測定に依るものが多い。風洞実験に際しては，小林大二，小林俊一両助手の協力を得たことを感謝する。研究に要した費用の一部は文部省科学研究費補助金（特定研究）によった。

## 文　　献

1) Ôura, H. 1967 Studies on blowing snow I. *In* Physics of Snow and Ice, Part 2 (H. Ōura, *ed.*), Inst. Low Temp. Sci., Sapporo, 1085–1097.

2) Lister, H. 1960 Glaciology, Solid Precipitation and Drift Snow. *Trans-Antarct. Exped.* 1955–58 *Sci. Repts.*, No. 5, 51 pp.

3) Budd, W. F. 1966 The drifting of nonuniform snow particles. *In* Studies in Antarctic Meterology (M. J. Rubin, *ed.*), Antarctic Res. Ser., **9**, *Amer. Geophys. Union*, 59–70.

4) Budd, W. F., Dingle, W. R. J., and Radok, U. 1966 The Byrd Snow Drift Project: Outline and basic results. *In* Studies in Antarctic Meteorology, Antarctic Res. Ser., **9** (M. J. Rubin, *ed.*), *Amer. Geophys. Union*, 71–134.

5) Дюнин, А. К. 1963 Механика Метелей. Издательство Сибирского Отделения, АН СССР, Новосибирск, 377 pp.

6) Ôura, H., Ishida, T., Kobayashi, D., Kobayashi, S., and Yamada, T. 1967 Studies on blowing snow II. *In* Physics of Snow and Ice, Part 2 (H. Ôura, *ed.*), Inst. Low Temp. Sci., Sapporo, 1099–1117.

7) Mellor, M. 1964 Snow and Ice on the Earth's Surface. *In* Cold Regions Science and Engineering. II-Cl (F. J. Sanger, *ed.*), *CRREL*, Hanover, N. H., U.S.A., 163 pp.

8) Shimizu, H. 1964 Glaciological studies in West Antarctica, 1960–1962. *In* Antarctic Snow and Ice Studies, Antarctic Res. Ser., **2** (M. Mellor, *ed.*), *Amer. Geophys. Union*, 37–64.

9) Shiotani, M. and Arai, H. 1967 On the vertical distribution of blowing snow. *In* Physics of Snow and Ice, Part 2 (H. Ôura, *ed.*), Inst. Low Temp. Sci., Sapporo, 1075–1083.

## Summary

The shapes and the size distribution of drifting snow particles were observed under a microscope in a snow field on the campus of Hokkaido University. A glass plate of 75×7 mm, one side of which was covered with a certain type of liquid oil for microscopy, was mounted on a long wooden rod as illustrated by Fig. 1 and was exposed to drifting snow for 1~3 seconds. The drift particles which were caught in the oil film were photographed under a microscope first under a non-melting condition, after which they are melted by a slight warming. The drift crystals were changed to spherical water droplets within the oil layer (0.5 mm thick) as shown in Photos. 7 and 8 in Plate III. The size of each water droplet was measured on 50 fold magnified prints.

Observations were made once in 1966, for four hours on March 17, 1968, and on four days from Jan. 28 to Feb. 15, 1969. On four of these six days, drifting snow occured with blowing precipitation. The most common crystal type of precipitated snow under drifting conditions in Sapporo are shown in Photo. 4 of Plate II. Most crystals are covered with numerous cloud particles and many small fragments of coagulated cloud particles are mixed with large irregular-shaped crystals and often with graupels. Therefore, drift particles originating in such fresh snow likewise show a highly irregular shape, and it is difficult to determine the size of each ice particle.

Some examples of the size distributions of drift particles are shown by the histograms with a class interval of 0.01 mm in radius of melted droplets in Fig. 2, Fig. 6, and Fig. 8. The diameter of maximum frequency of occurence was found to be 0.02~0.04 mm in most cases of drifting fresh snow and 0.04~0.06 mm for drifting of one day aged snow. The mean diameters were found to be in a range of 0.04~0.11 mm. Both of these diameters had no clear tendency of variation with their height above the snow surface. As seen in the Photographs in Plate IV~VI, however, there actually exists an apparent change in particle sizes and shapes at different levels. The curves of cumulative volume frequency of melted particles are found to show a remarkable increase in particle size as the sampling level approaches the snow surface as shown in Fig. 5 and Fig. 7. The median volume diameter may give a reliable parameter characterizing the drift particle sizes at different levels. The median volume diameters obtained from the curves of cumulative volume frequency for melted particles are in a range of 0.09~0.3 mm. The mean radius $\bar{r}$, median volume radius $r_{MV}$, median number radius $r_{MN}$ of water droplets for each drift sample are converted to the values for refrozen spherical particles and are listed in Table 1 with mass flux $q$ and drift density $\psi$ which are calculated from the volume data of the melted drift particles. The particle sizes of drifting snow in Sapporo were found to be much smaller than those observed in some areas in the Antarctica by Budd and others (1966), Lister (1960), and Ôura (1967).

The last series of photographs in Pl. VIII shows the results of drift particle observations in a cold wind tunnel with a working length of 170 cm and a cross section of 30×30 cm. A snow layer of newly deposited stellar crystals was laid as the bed of the wind tunnel. Clear differences between drift particles sampled at different heights and for three different wind speeds were seen. However, the drift density in this short wind tunnel was about 1/100 of that of a natural drift in an open field for similar wind speeds.

# 図 版 説 明

**図 版 I** 飛雪を観測した場所の周囲の状況

**図 版 II** 地ふぶき発生時によく見られる降雪結晶と，その時の飛雪結晶の比較。1969年1月28日夜。(以下すべて顕微鏡写真)

**図 版 III** 雪が降っている時に発生する低い地ふぶき粒子の高さによるちがい。写真7と9とはそれぞれ左側の写真6と8の試料を油膜中で融かして出来た水滴の一部。1969年2月14日夜

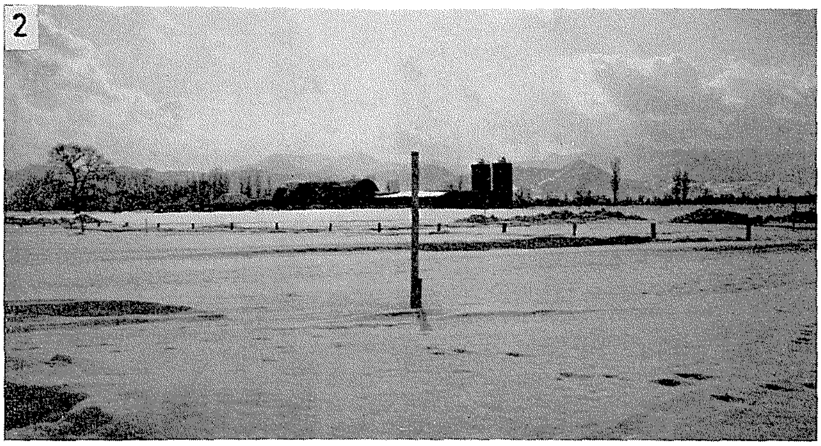
**図版 IV および V**

降雪を伴う比較的高い地ふぶきの際，油膜に捕捉した飛雪結晶とその高さによる差異。写真12と14はそれぞれ写真11と13の試料の結晶を油膜中で融かした水滴。1968年3月17日夜

**図 版 VI** 降雪を伴う高い地ふぶき粒子とその高さによる差異。1969年2月6日夜 右側の水滴の顕微鏡写真17, 19, 21はそれぞれ飛雪粒子の写真16, 18, 20の試料をとかしたもの

**図 版 VII** 降雪中の地ふぶき (図版 III) があった翌日，晴天下で発生した地ふぶきの粒子。写真24と27はそれぞれ写真23と26の試料と同じ高さの飛雪を融かしてできた水滴。1969年2月15日午後

**図 版 VIII** 風洞実験により，平板六花型結晶の新雪層から人工的に発生させた飛雪の結晶の顕微鏡写真。いずれも油膜中にある。風速と高さによる差異を示した (1966年2月22日)



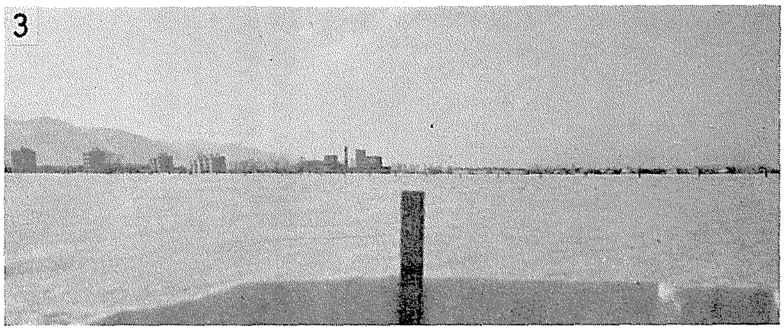
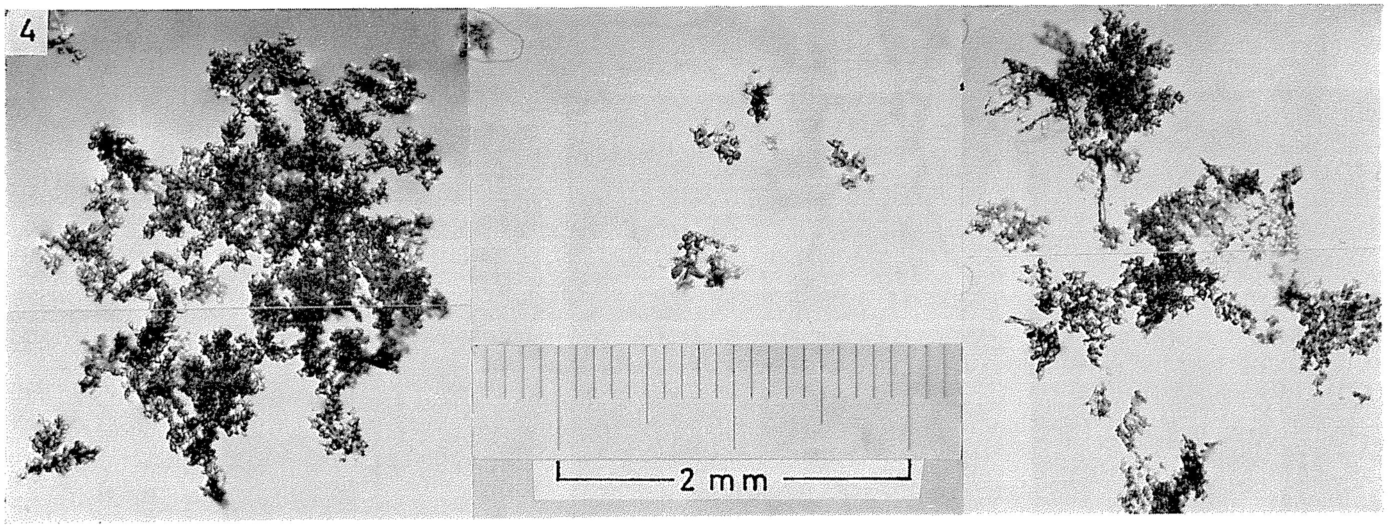


写真 1　ふぶき観測小屋（矢印）を北方から望む

写真 2　観測地点の西方

写真 3　観測地点の北ないし北西方向の雪原



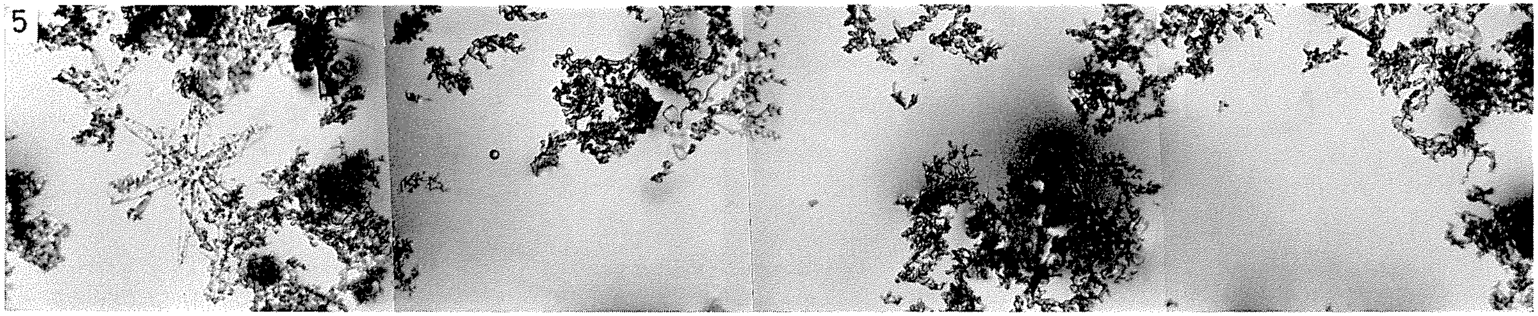
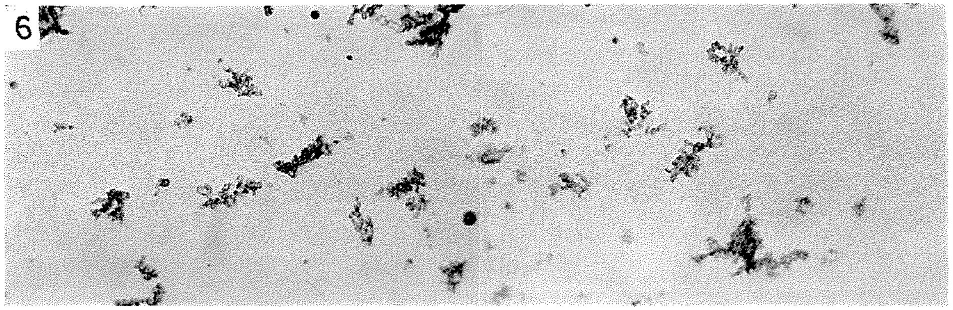
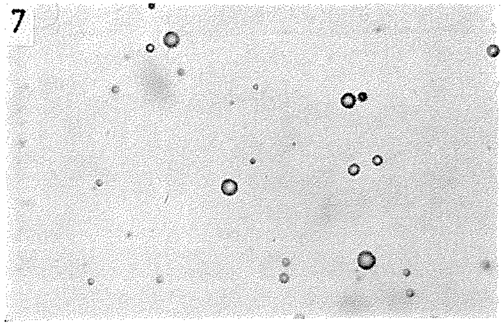
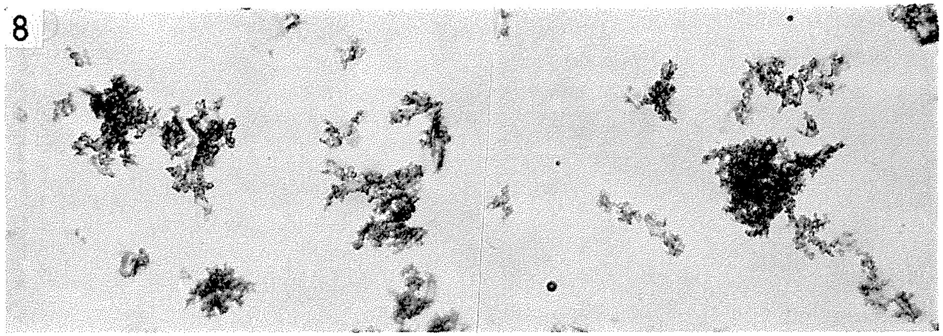




**写真 4**　降雪結晶。雪面からの高さ 120 cm で 10 秒間かかって油膜に捕捉 (20 時 30 分)

**写真 5**　飛雪結晶。高さ 2 cm, 2 秒間に捕捉 (19 時 40 分)



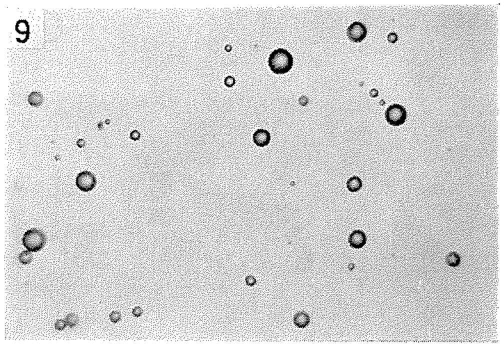
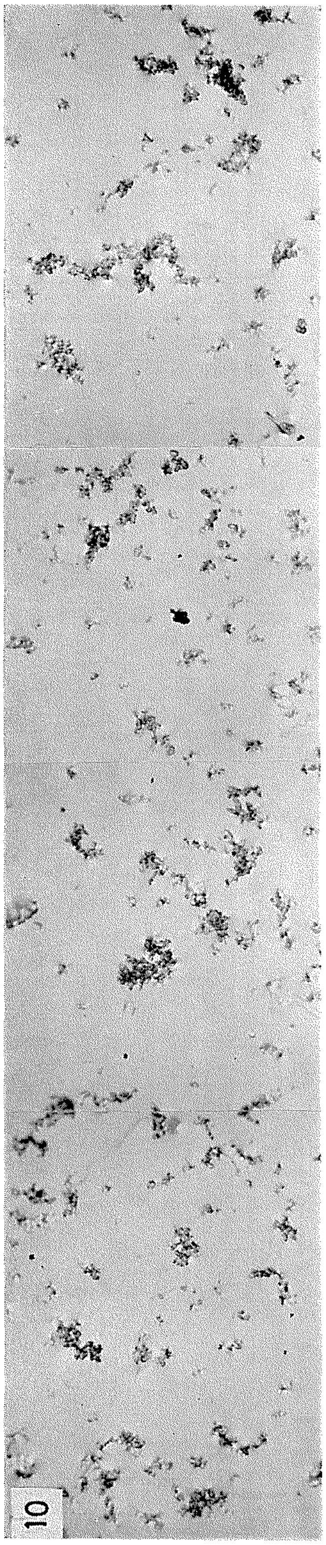




**写真　6, 7**　　飛雪粒子を捕えた高さ (雪面上) $h=10$ cm, 捕捉露出時間 $t_{\mathrm{exp}}=2$ sec. (19 時 50 分)

**写真　8, 9**　　$h=4$ cm, $t_{\mathrm{exp}}=1$ sec, (20 時 05分)



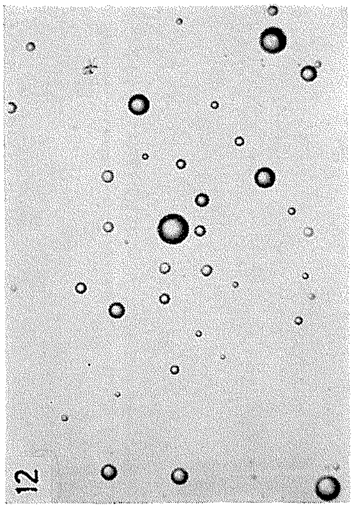
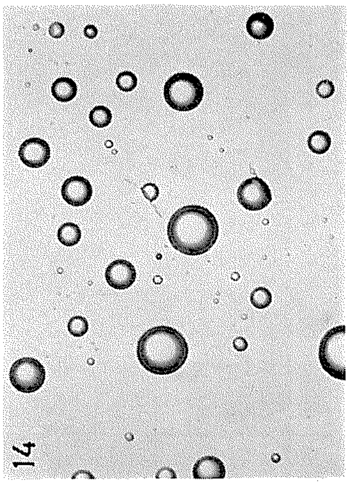
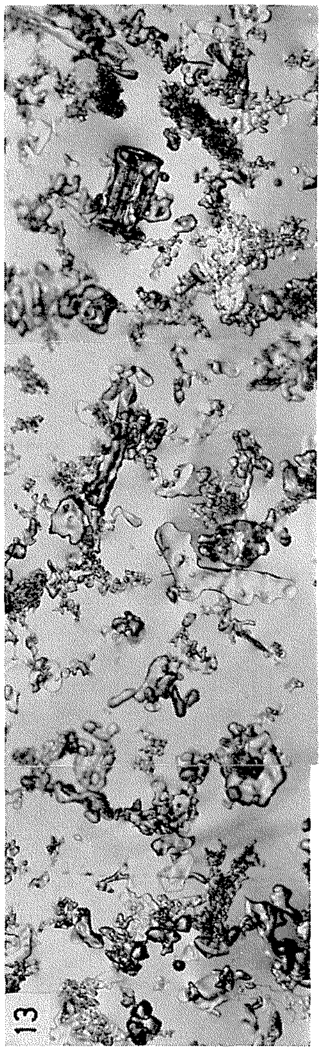


写真 10　$h=48$ cm, $t_{\mathrm{exp}}=1$ sec, (1968, III-17, 18時44分)

写真 11, 12　$h=20$ cm, $t_{\mathrm{exp}}=1$ sec, (19時20分)





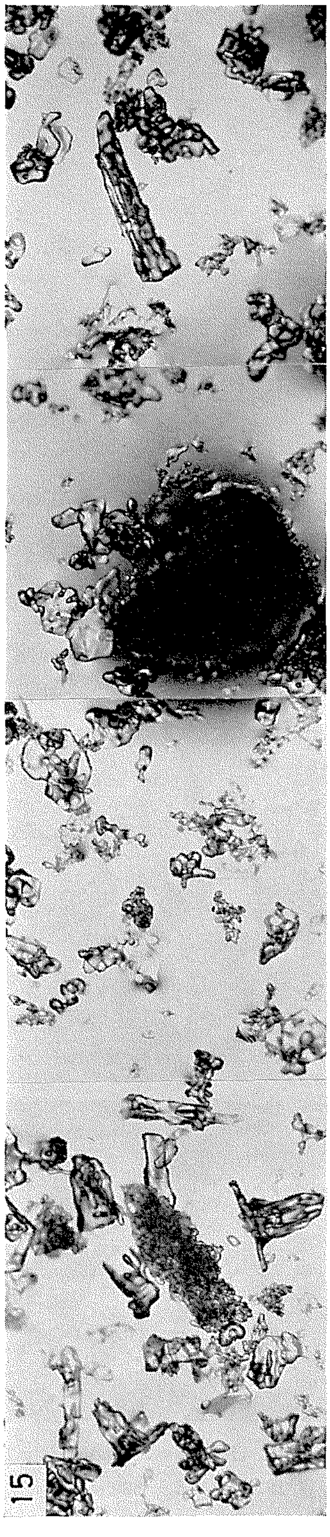


**写真 13, 14**　$h=8$ cm, $t_{exp}=1$ sec, (18時50分)

**写真 15**　$h=3$ cm, $t_{exp}=1$ sec, (18時40分)

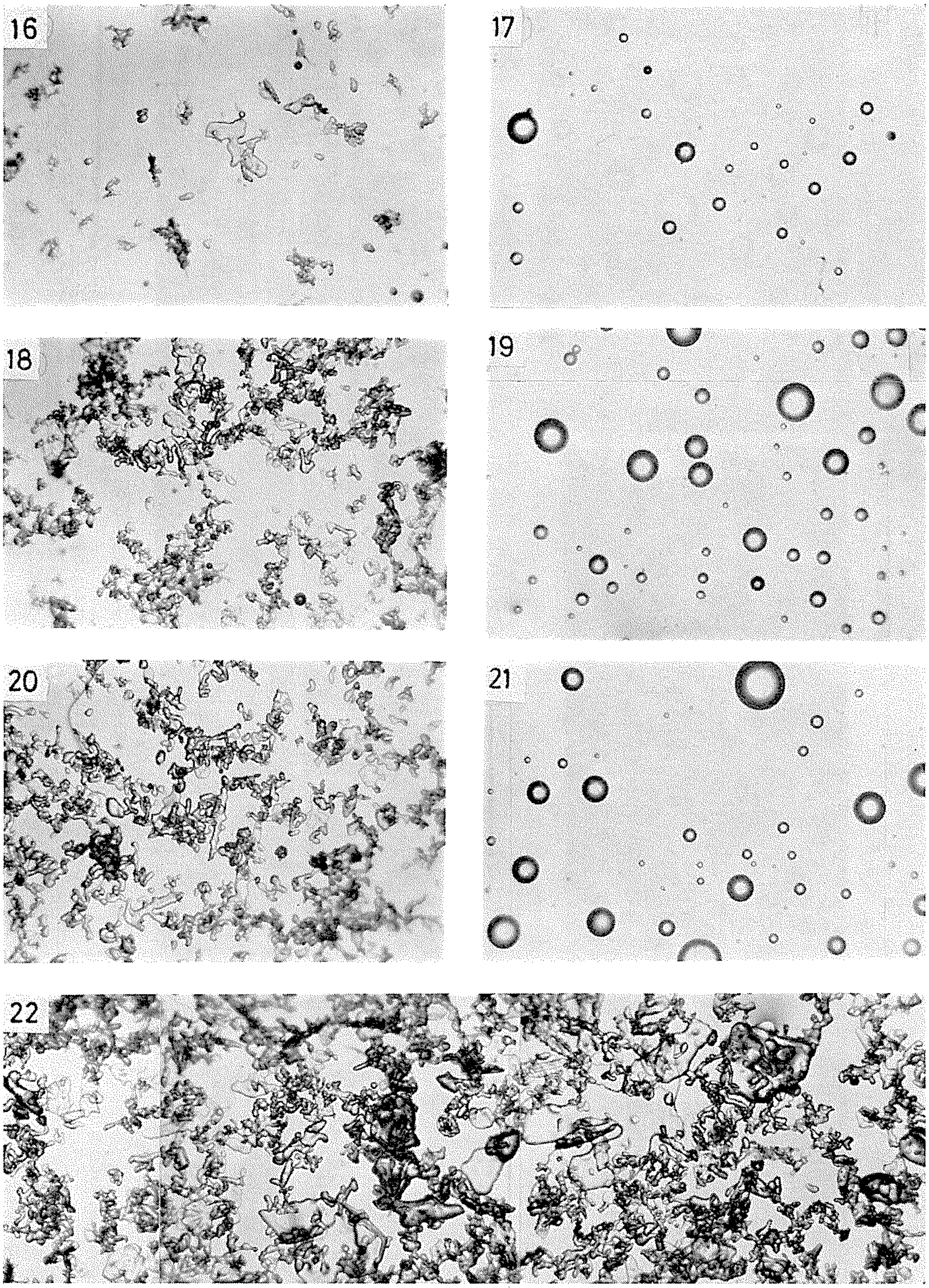
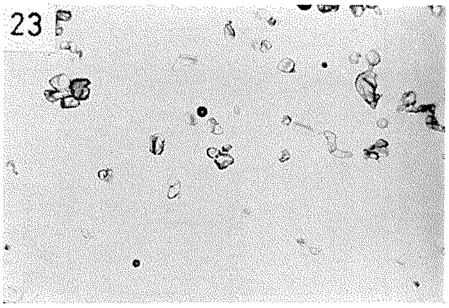


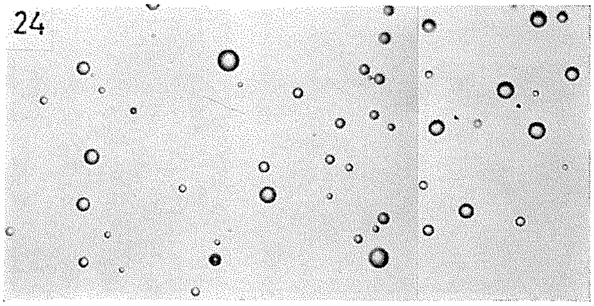

**写真 16, 17**　$h=180$ cm, $t_{\mathrm{exp}}=1$ sec (以下同じ), (1969, II-6, 16時20分)

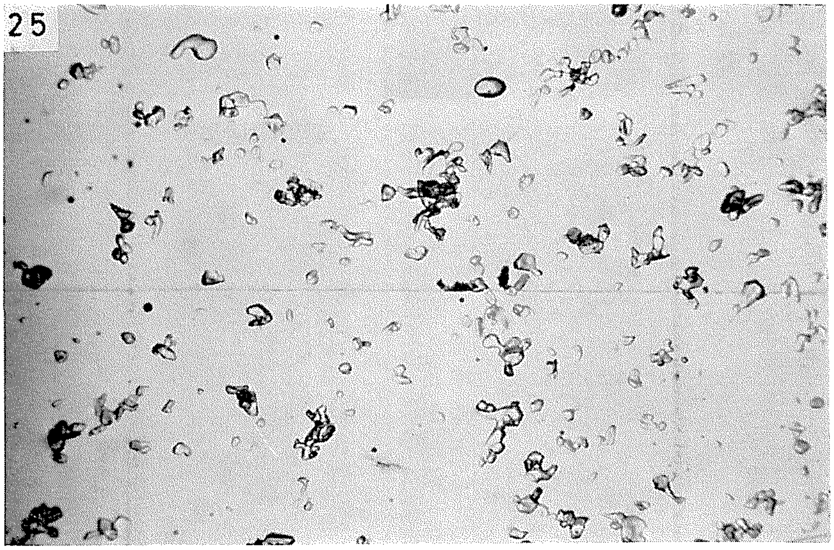
**写真 18, 19**　$h=40$ cm,　( 〃 16時02分)

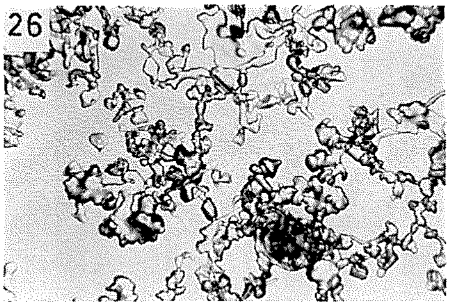
**写真 20, 21**　$h=10$ cm,　( 〃 16時50分)

**写真 22**　$h=5$ cm,　( 〃 17時16分)



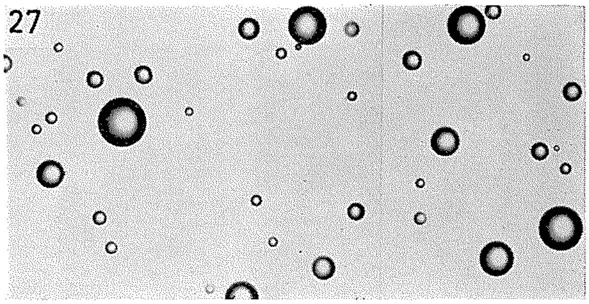




写真 23　$h=50$ cm, $t_{\mathrm{exp}}=2$ sec (1969, II-15, 14時15分)

24　$h=50$ cm, $t_{\mathrm{exp}}=2$ sec (　〃　13時53分)

25　$h=30$ cm, $t_{\mathrm{exp}}=1$ sec (　〃　13時53分)

26　$h=3$ cm, $t_{\mathrm{exp}}=2$ sec (　〃　12時52分)

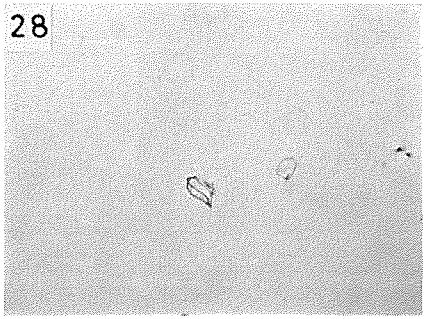
27　$h=5$ cm, $t_{\mathrm{exp}}=2$ sec (　〃　13時11分)

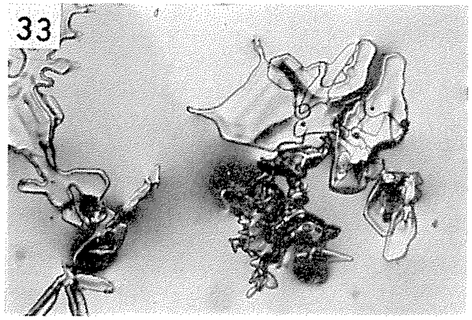
風洞実験による飛雪の顕微鏡写真

$h$＝風洞の底面（雪面）からの高さ

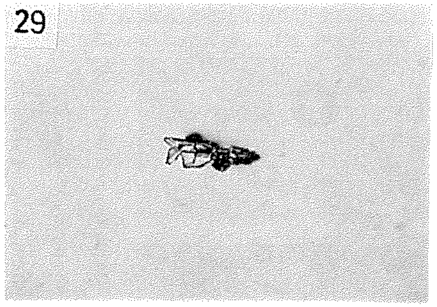
$\bar{u}$＝風洞の中心における平均風速

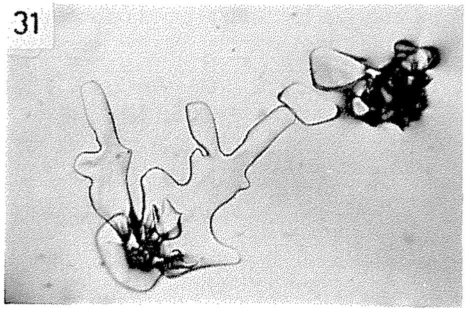
$h=7$ cm

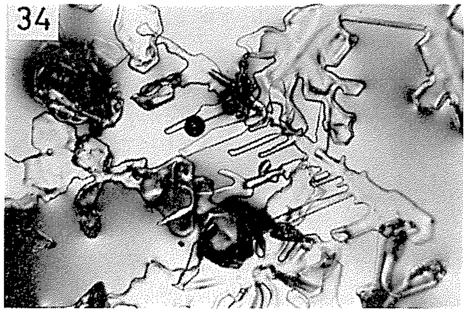




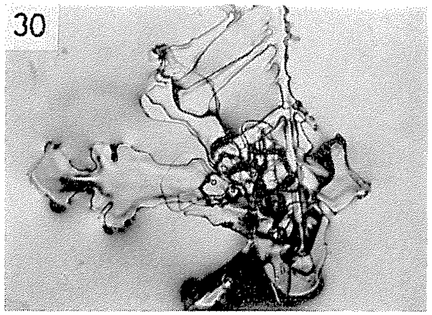
3 cm

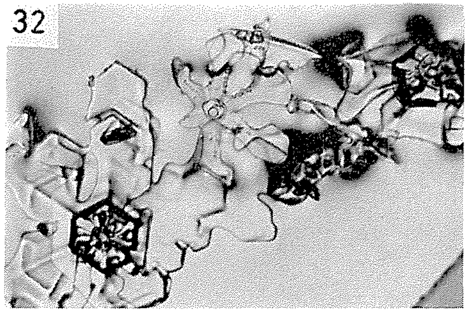


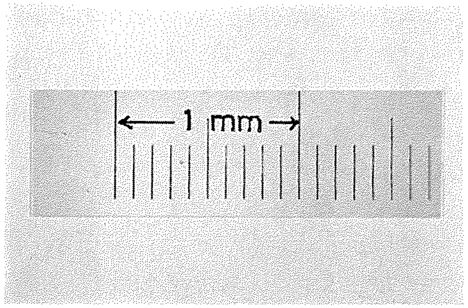




1 cm








$\bar{u}=5$ m/s

$\bar{u}=8$ m/s

$\bar{u}=10$ m/s

小島