HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	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
Author(s)	小林, 俊一
Citation	低温科學. 物理篇, 32, 89-95
Issue Date	1974-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18248
Type	departmental bulletin paper
File Information	32_p89-95.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Shun'ichi KOBAYASHI 1974 A Comparison Between Cyclone-Type and Chest-of-Drawer-Type Drift Collectors. *Low Temperature Science, Ser. A, 32.* (With English Summary p. 95)

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*

小林俊一
(低温科学研究所)

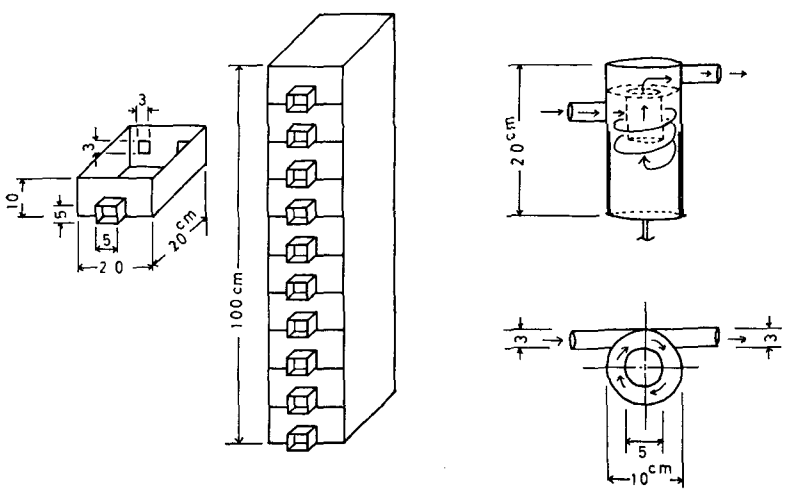
(昭和49年10月受理)

I. 緒　　言

地ふぶき量の垂直分布を測定するために，第1図の(A), (B)に示すような引き出し箱型地ふぶき計とサイクロン型地ふぶき計の2種類を作り，地ふぶきの飛雪粒子の捕捉量の比較を行った。

サイクロン型地ふぶき計は，すでに札幌[1]や日本の南極観測[2]で使われたことがある。この種の地ふぶき計は内部構造を持っており，遠心力を利用して雪粒を分離するものであり，地ふぶき計の中での分離効果が良い。但し地ふぶき量の垂直分布を測定する際，数個の地ふぶき計をポールに取り付けたり，取り外したりするのにやや時間を要する。

一方，引き出し箱型地ふぶき計は，重力の効果を利用して雪粒を分離するものであり，地ふぶき計の中での分離効果は，風の強い時には良くない。すなわち入口から入った雪粒が出口から再び出て行くことがある。しかしこの引き出し箱型地ふぶき計は，取り付け，取り外しの手間がなく，高さ1m位の低い地ふぶき量の垂直分布をいっぺんに簡単に測定することがで



(A) Chest of drawer type　　(B) Cyclone type

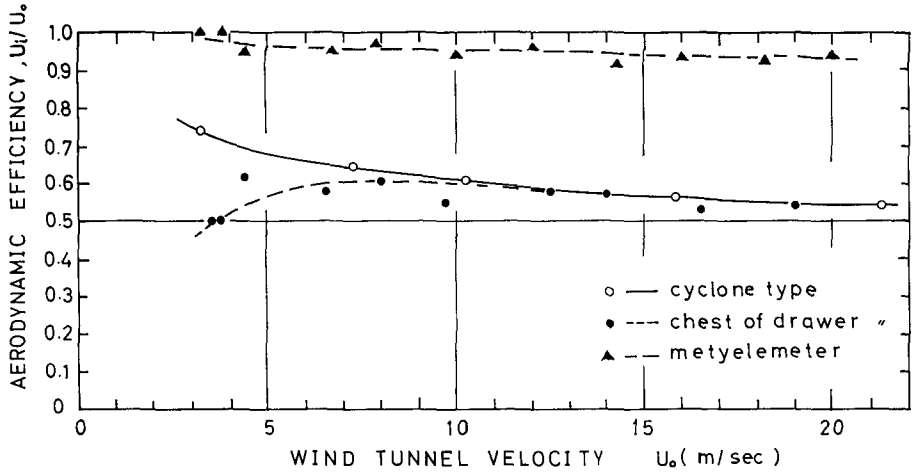
第1図　引き出し箱型地ふぶき計(A)とサイクロン型地ふぶき計(B)

* 北海道大学低温科学研究所業績　第1327号

きる。但し雪粒の分離効果が悪く，サイクロン型地ふぶき計の捕捉率が 0.6 であったのに対しこれは 0.32 であった。

II. 捕捉率の考察

地ふぶき計の捕捉率 η は，2つの部分に分けて考えることができる。先づ第一は，入口での捕捉率で，これは地ふぶき計という障害物を流体の中に置くために流線が乱されたり，又は地ふぶき計という管の中を流体が通るための抵抗により入口の断面積に相当する量の空気や雪粒がそのまま中に入ってゆかずに入口で外れてゆく効果を考えたものである。これを空気力学的な捕捉率 η_1 と呼ぶ。η_1 は風洞実験から決められる。



第 2 図 各種ふぶき計の空気力学的捕捉率 $\left(\eta_1 = \frac{U_1}{U_0}\right)$

○—— サイクロン型　●--- 引き出し箱型　▲—— メチエル型

第二は，地ふぶき計の中に入った雪粒が中で分離せずに空気と共にそのまま出口から出てゆくための効果を考えたものであり，これを分離効果による捕捉率 η_2 とすると，η と η_1, η_2 の間には (1) 式の関係がある。

$$\eta \sim \eta_1 \cdot \eta_2 \qquad (1)$$

一般に η_1, η_2 を正確に評価するのは困難であるが，粗い近似が実験と理論の考察から可能である。

a) 空気力学的捕捉率 η_1

η_1 に対しては，雪粒が空気と同じ軌跡の運動をすると仮定すれば，空気に対する捕捉率として風洞の中で実験的に検定できる。すなわち地ふぶき計の影響がない風洞の中心風速を U_0, 地ふぶき計の入口での平均風速を U_i とすれば，$\eta_1 = U_i/U_0$ である。このように考えて引き出し箱型とサイクロン型地ふぶき計の風洞での試験の結果が第 2 図である。いずれの地ふぶき計の場合も，実際地ふぶきを観測している風速の範囲 (10 m/s 前後) で $\eta_1 = 0.6$ である。第 2 図にはこの他ソ連で使ったと同じ型のメチルエルメータ[1] の検定もかかげてある。これは他の二つの地ふぶき計と違って捕捉率は良く $\eta_1 \approx 1.0$ である。内部構造を持たない事により抵抗が小さ

い事と，形が流線型であるからである。

b) 分離効果による捕捉率 η_2

サイクロン分離器[3]等による気体中の固体粒子又は液適の分離は化学工学の分野で広く利用されている。そして簡単な理論的考察によって分離効果を推定できる。

引き出し箱型地ふぶき計の場合：

この場合は，空気中の飛雪粒子が地ふぶき計の中で膨脹によって速度が減速され自然落下を利用して捕捉される。今雪粒を仮りに直径 d，密度 ρ_s なる球形粒子と仮定すると，雪粒は $\left(\frac{\pi}{6}\right)d^3\rho_s g$ なる重力を受ける。又一方空気による浮力 $\left(\frac{\pi}{6}\right)d^3\rho g$ を受けるからこの差が雪粒の落下に際しての分離のための有効重力であり (2) 式の如く与えられる。

$$F=\left(\frac{\pi}{6}\right)d^3(\rho_s-\rho)g \qquad (2)$$

ここで ρ は空気の密度，g は重力の加速度である。実際には地ふぶき計は有限の長さを持っており，中に入った混送流体の速度は零にはならないので，再び粒子は出口から逃げてゆく部分がいくらかある。実際にこの種の地ふぶき計の出口に雪が付着している事があり，明らかに出口から出てゆく雪粒子があることを示している。この地ふぶき計の η_2 は後述するようにサイクロン型地ふぶき計と比較する事によって見積ることができる。

サイクロン型地ふぶき計の場合：

この場合は，重力の代りに回転による遠心力を主に利用している。空気中の飛雪粒子は，サイクロン型地ふぶき計の中に接線方向から入って回転運動をするから遠心力で外側に移動し壁に沿って沈降して底に溜まる。今雪粒子が半径 r の円周上を速度 v で空気と共に回転する場合の遠心力は，$\left(\frac{\pi}{6}\right)d^3\rho_s\frac{v^2}{r}$ である。若し $\rho_s=\rho$ ならば分離はおこらない。したがって分離のための有効遠心力は (3) 式の如くあらわされる。

$$W=\left(\frac{\pi}{6}\right)d^3(\rho_s-\rho)\frac{v^2}{r} \qquad (3)$$

ここで落下の場合の有効重力の (2) 式と比較すれば (4) 式の如くなる。

$$\frac{W}{F}=\frac{v^2}{rg} \qquad (4)$$

すなわち遠心力による分離は重力による場合の v^2/rg 倍である。実際にはサイクロン内では，サイクロンが内部構造を持っているため，雪と空気の混送流は，はじめ入口から接線方向に入って 3～4 回回転して下降し次に方向を変えて内筒を上向きに通り出口から出てゆくので途中重力の効果も加わり分離効果は大変良い。実際出口から雪が逃げた形跡は全く見られなかった。したがって $\eta_2=1.0$ と仮定した。

III. 観 測 結 果

実際に引き出し箱型地ふぶき計とサイクロン型地ふぶき計を野外で並べて比較測定した結果を第 1 表の (A) に示した。Q_W, Q_F は夫々サイクロン型地ふぶき計と引き出し箱型地ふぶき

第1表 地ふぶき計の捕捉量の比較 (於札幌)

	Q_W g/cm²·s	Q_F g/cm²·s	Q_W/Q_F obs.	$1+v^2/rg$ cal.	η_2 obs.	η_2 cal.	Wind speed m/s	Height cm
(A)	2.3×10	0.73×10	3.2	2.9	0.31	0.34	8.0	12
	0.55 〃	0.25 〃	2.2	2.1	0.45	0.48	6.0	10
	0.88 〃	0.33 〃	2.7	2.4	0.37	0.42	7.0	9
	0.52 〃	0.20 〃	2.7	2.1	0.37	0.48	6.0	9
(B)	48.3×10	24.0×10	2·0	2.1	0.5	0.48	5.0	5
	5.6 〃	5.7 〃	0.98	1.4	1.02	0.7	3.0	2.5
	7.9 〃	5.1 〃	1.55	2.1	0.65	0.48	5.5	5
	5.8 〃	3.11 〃	1.8	1.4	0.56	0.7	3.0	3

(A) 引き出し箱型地ふぶき計 Q_F (膨脹比 8.0, $\eta_1=0.6$) とサイクロン型地ふぶき計 Q_W (入口径 3 cmϕ, 外筒径 10 cmϕ, 内筒径 5 cmϕ, $\eta_1=0.6$) との比較

(B) メチエル型地ふぶき計 Q_F (入口径 5 cmϕ, 外筒径 16 cmϕ, 膨脹比 10.2, $\eta_1=1.0$) とサイクロン型地ふぶき計 Q_W (入口径 5 cmϕ, 外筒径 16 cmϕ, 内筒径 8 cmϕ, $\eta_1=0.6$) との比較

計が捕捉した量で，空気中の飛雪空間密度を Q とすれば，捕捉率を考慮して次の (5) 式で表わされる。

$$\left.\begin{aligned} Q_F &= 0.6\cdot\eta_2\cdot Q, \quad \text{(引き出し箱型)} \\ Q_W &= 0.6\,Q \qquad\quad \text{(サイクロン型)} \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

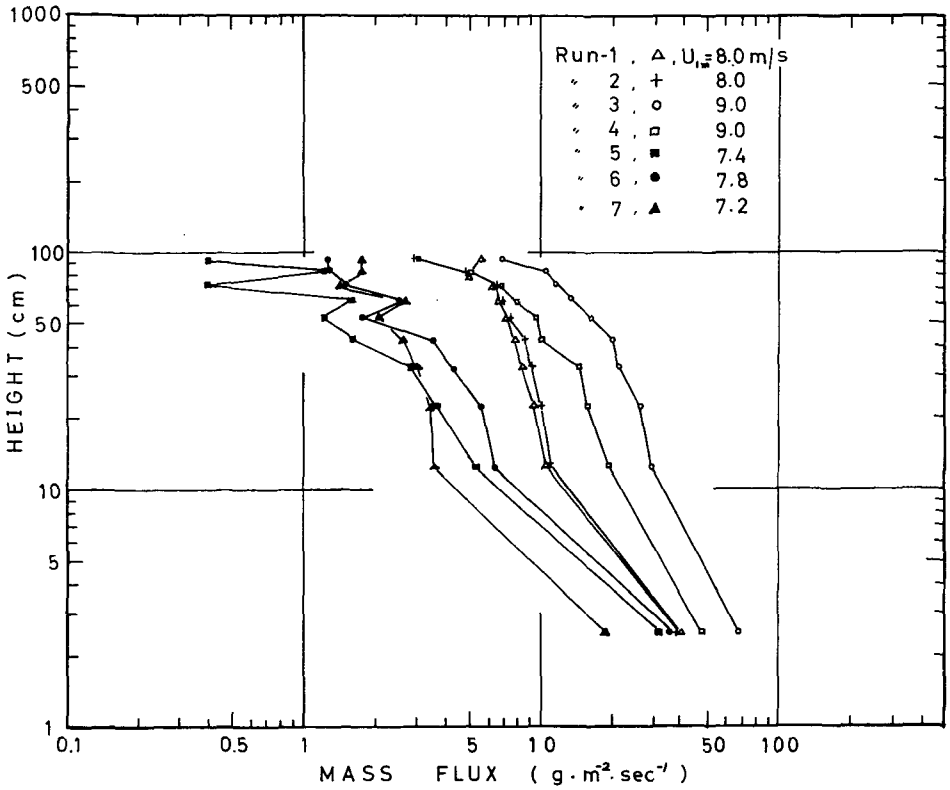
サイクロン型地ふぶき計の中では遠心力による分離効果と共に重力の効果が加わると考えれば Q_W と Q_F の比は (4) 式を考えて大体 (6) 式の如く表わされる。

$$\frac{Q_W}{Q_F}\sim\frac{F+W}{F}=1+\frac{v^2}{rg} \tag{6}$$

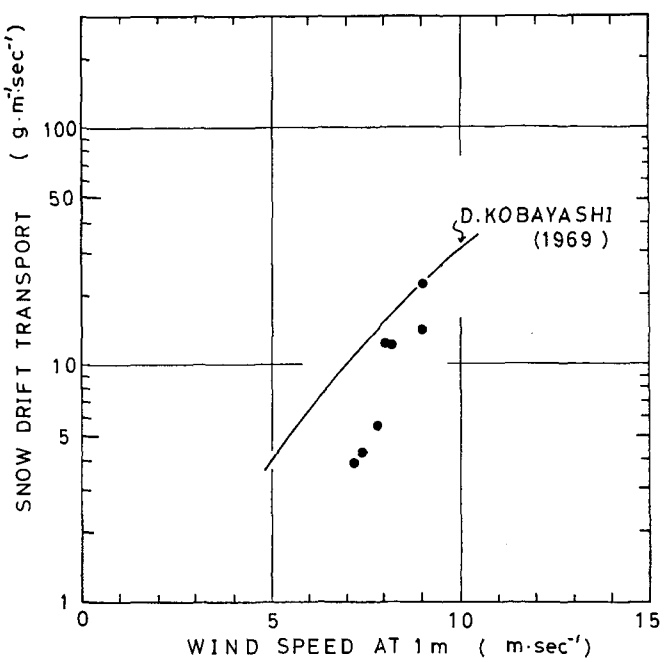
(6) 式と (5) 式から引き出し箱型地ふぶき計の分離効果による捕捉率 η_2 は次の (7) 式の如くである。

$$\eta_2\sim\frac{Q_F}{Q_W}\sim\frac{1}{1+\dfrac{v^2}{rg}} \tag{7}$$

(7) 式で η_2 を与える Q_F/Q_W は観測値で，$\dfrac{1}{1+\dfrac{v^2}{rg}}$ は計算値である。計算値は，比較したサイクロン型地ふぶき計の大きさ r と接線速度 v が決まれば計算出来る。第1表 (A) の実測の結果は実測値の平均が 0.38, 計算値の平均が 0.43 と (7) 式の関係をほぼ満足しているので，実測値の平均から引き出し箱型の場合 $\eta_2=0.38$ を求めた。したがって夫々の捕捉率は，サイクロン型の場合は $\eta=0.6\times1.0=0.6$, 引き出し箱型の場合は $\eta=0.6\times0.38=0.23$ である。重力を利用した地ふぶき計はいままでに多く使われており[4)-6)]，例えばこの種の地ふぶき計にメチエルメータ[1)]がある。これとサイクロン型を比較したのが第1表の (B) でこの結果もほぼ (7) 式の関係を満足している。又サイクロン型地ふぶき計は内部構造による抵抗が大きいので空気力学的捕捉率が悪い。これを解決するために，ブロワーやエゼクター等を使って入口での抵抗を自動的に小さくして空気力学的捕捉率が1になるように工夫したものもあるが[7),8)]，それは装置が大



第3図　地ふぶき量の垂直分布（引き出し箱型地ふぶき計による）



第4図　飛雪の移送量と風速の関係

規模になる欠点がある。

IV. 引き出し箱型地ふぶき計による飛雪量の垂直分布の測定

引き出し箱地ふぶき計は，1 m までの高さの低い地ふぶき量の垂直分布測定用として試作された。捕捉率が悪い欠点があるが，サイクロン型地ふぶき計と比較した結果，サイクロン型地ふぶき計の捕捉率が 0.6 であるのに対し，引き出し箱型地ふぶき計の捕捉率は 0.23 である。捕捉率を考慮して地ふぶき量の垂直分布を表わしたのが第 3 図である。この図より高さに関して 0 から 10 m まで積分すると単位幅，単位時間に運ばれる飛雪の移送量を求める事が出来る。但し第 3 図の各点は 0 から 1 m までの平均的な測点での値で，1 m から 10 m までは下からの外挿値を積分した。その結果を第 4 図に示した。図中に地ふぶき移送量の上限を決めた小林大二[9] の測定結果の曲線を書いた。観測例は少いが，小林のみぞによる方法（捕捉率がほぼ 1 に近い）から得た結果と余り違わないので，この地ふぶき計は捕捉率は悪いが充分実用にたえる。

V. あ と が き

南極など非常にきびしい自然条件下での地ふぶきの観測では，装置の取りあつかいと，設置が簡単である事が能率を高める事になる。そこで考えたのが引き出し箱型地ふぶき計で，これは第 14 次南極地域観測[10] に際して使用した。本報告は，その前の札幌での予備観測をまとめたもので，サイクロン型地ふぶき計と比較観測する事によって引き出し箱型地ふぶき計の捕捉率を決めた。その際サイクロン型地ふぶき計の内での分離効率が良く $\eta_2=1.0$ であると仮定している。観測結果はほぼ満足のいくものであった。

終りに本報告の作製にあたって，論文の推稿並びに御指導をいただいた石田完教授と北大低温研観測場所での気象観測データを使わせていただいた小島賢治教授に感謝いたします。

文 献

1) 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.

2) 成瀬廉二 1970 南極昭和基地対岸の大陸沿岸部における地ふぶき量の測定. 低温科学, 物理篇, **28**, 147–154.

3) 八田四郎次 1959 化学工学概論. 共立出版, P. 366.

4) Mellor, M. 1960 Gauging Antarctic drift snow. *In* Antarctic Meteorology, Pergamon Press, Oxford, 347–354.

5) Budd, W., Dingle, R. and Radok, U. 1966 The Byrd snow drift project: outline and basic results. *Antarctic Res. Ser.*, **9**, 71–134.

6) 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.

7) Govorukha, L. S. and Kippichev, E. F. 1961 First results of drifting snow measurments by means of a "TSIKLON" drifting snow meter. Soviet Antar. Exped. Bull. No. 26, 226–229.

8) Smith, L. L. and Radok, U. 1966 Self-regulating "Cyclone" snow drift meter. Soviet Antar. Exped. Bull. No. 62, 356–359.

9) Kobayashi, D. 1972 Studies of snow transport in low-level drifting snow. *Contr. Inst. Low Temp. Sci.* **A24**, 58 pp.
10) 横山宏太郎・小林俊一　未発表.

Summary

A comparison is made as to the collection efficiency between two types of drift snow collectors as shown in Fig. 1. The collection efficiency η can be assumed as the follow equation:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2,$$

where η_1 is the aerodynamic efficiency, which shows the efficiency of collection of snow particles at the inlet of a collector and is estimated on the basis of wind-tunnel calibration, and η_2 is the separation efficiency in the collector, which is expressed by the ratio of the total mass of snow particles remaining in the collector (not escaping therefrom) to the total mass of snow particles that have entered the collector. The aerodynamic efficiency derived from wind-tunnel calibration as shown in Fig. 2 was 0.6 for both collectors. In the case of the cyclone-type, it was observed that there were no snow particles that escaped from the outlet of the collector. Thus, it is assumed that for the cyclone-type η_2 equals to 1.0.

A comparison between the cyclone-type and the chest-of-drawer-type drift collector was tried on a snow field in Sapporo when snow was drifting. The results are shown in Table 1. The actual mass flux collected is given as follows:

$$Q_F = 0.6 \cdot \eta_2 \cdot Q \qquad \text{(for the chest-of-drawer-type)},$$
$$Q_W = 0.6 \cdot Q \qquad \text{(for the cyclone-type)},$$

where Q is the mass flux in the air. The ratio Q_F to Q_W is equal to η_2 for the chest-of-drawer-type; namely, $\eta_2 = Q_F/Q_W$. On the other hand, the ratio η_2 for the chest-of-drawer-type to η_2 (=1.0) for the cyclone-type is expressed theoretically as:

$$\frac{\eta_2 \text{ (for cyclone)}}{\eta_2 \text{ (for chest-of-drawer)}} \sim 1 + \frac{v^2}{rg},$$

where r is the radius of the cyclone's body, v is the tangential velocity, g is the gravitational acceleration. From Table 1, it is decided that the observed mean separation efficiency for the chest-of-drawer-type was 0.38, and its value nearly agrees to the calculated mean value 0.43 as shown in Table 1. Therefore, the collection efficiency of the cyclone and the chest-of-drawer-type collector is 0.6 (=0.6×1.0) and 0.23 (=0.6×0.38) respectively.