新型の集土器について*

久保 祐雄・上村 賢治

(農業技術研究所 気象科)

On a New Type Apparatus for Gathering Saltant Soil Particles

S. KUBO and K. UEMURA

(Division of Meteorology, National Institute of Agricultural Sciences, Nishigahara, Tokyo)

1. はじめに

晴天が続き、表層土の含水量が減少しているとき、風速がある程度以上大きくなると、土壌の移動がおこる。風による土壌の移動を一般に風食と呼んでいる。

風食によつて、表層土の微少な軽い成分のみが移動するので、選別作用が行なわれ、肥よくな土壌が砂質の荒地に変化することがある。また、作物の根の露出、作物体の移動、作物の埋没等も生ずる。このように、風食は農業に直接大きな被害を与えることがあるため、これまで多数の研究者達がこの問題ととりくんできた。彼等の研究は、当然のことながら、飛土が起る機構の解明と風食防止法の発見に重点がおかれている。

最近では、飛土量の推定、飛土の物理的、化学的組成等について研究が進められており、このため数種類の集土器**が考案されている。

筆者等は、従来使用されてきた集土器がいずれも空気力学的に見て、欠点があると考え、新型の集土器を考案し、若干の特徴点について比較検討を行なつたので、ここに発表し、諸賢の御批判をおおぎたいと思う。

2. 既存の集土器についての検討

従来、次のような構造をもつ集土器が使用されている(第1図参照)。

a 型 入口および誘導部には、断面が1辺10cmの正方形の角筒を、集土部には布袋を使用したもの。

b 型 入口および誘導部には、断面が1辺5cmの正方形の角筒を、集土部には布袋を使用したもの。

c 型 入口には直径6cmのラッパ管(急激にしぼつ

てある)を、誘導部には直径1.7cmの管を、集土部には直径10cm、高さ15.8cmのガラスびんを使用したもの。排出部には誘導部と同じ直径の管が付いている。

d 型 入口の断面は1辺10cmの正方形をなし、誘導部の断面積を次第にしぼつて最終的に14cm²として、飛土を液体(不凍液)の中に導き捕捉しようとするもの。羽根と回転軸を付けて、入口が風の方向を向くように考案されている。

このa-, b-, c-, d型(型の名称は筆者らが便宜上付したものである)のそれぞれについて、入口の断面積、誘導部または集土部(飛土を収集する部分)の断面積を比較すると第1表のようになる。

第1表: 各種集土器の各部断面種の比較

型	入 口 (E)	誘 導 部 (L)	排 出 口 (A)	L/E	A/E
a	100cm ²	100cm ²	? cm ²	1.00	?
b	25	25	?	1.00	?
c	28	2.3	2.3	0.08	0.08
d	100	0	0	0	0
d'	100	14	49.5	0.14	0.5

註: ?記号は、布目の大きさによつて変化することを意味し、収集された土壌の量が增大すると最終的には0になると考えられる。

この表から判るように、いずれの型においても、誘導部または排出口の断面積は、入口の断面積に比較して小さくなっている。

飛土自身が大きな運動量をもっている場合には、飛土は入口付近の流線の乱れにあまり左右されることなしに慣性運動により集土器の中へ侵入する。しかし、密度の小さい粒子、または微少な粒子は、慣性運動よりも、流線に沿つて飛行することが多いので、最狭部の影響で生

* 昭和40年10月29日農気関東支部例会にて発表

** 集土器とは風によつて飛散した土壌等を集める器具をいう。

1. a-type

2. b-type

3. c-type

4. c-type

5. d-type

6. d-type

7. d'-type

8. d'-type

9. new model

10. new model

11. new type

12. new type

第1図

ずる入口付近の流線の乱れのため集土器の中へ入りにくい。また、たとえ集土器内に入っても、排出口の断面積が小さいため、その部分の風速が相対的に大きく、そのため器外に排出されていくことになる。

したがって、現在使用されている型の集土器によつて集められた資料については、微粒子または軽量の粒子の含有率が小さくなり、実際に飛散している粒子の組成を代表しているとは思えないのである。

3. 新型の集土器の考案

以上、検討を加えた結果次の2点に留意して改良を行なつた。

i) 入口の断面積を誘導部、排出口の断面積より小さくする。これにより、入口付近の気流の乱れを小さくし収集した土粒の器外への流出を防止する。

ii) 集土部の大きさは、土粒の落下速度と風速との関係を考慮してきめる。

土粒は静止空気中で落下する。落下速度 $V_s(\text{cm/s})$ を求めるには、ストークスの法則に空気の比重および孢子の比重(約2.0)を入れて求めた McCubbin の式を用いた。土の比重は約2であるから、まったく同じ式を使用できる。

$$V_s = \frac{l \times w}{40} \quad \dots\dots(1)$$

ただし、 l は μ 単位で表わした粒子の長径、 w は μ 単位で表わした粒子の短径である。

土粒を直径

10 μ の球と仮定すると、 V_s は 2.5cm/sec,

20 μ の球と仮定すると、 V_s は 10cm/sec,

30 μ の球と仮定すると、 V_s は 22.5cm/sec.

となる。

一方、風速の高度分布は、対数法則に従うとすれば、

$$U = 5.75V_* \log \frac{Z}{Z_0} \quad \dots\dots(2)$$

で表わされる。ただし、 U は高さ Z における風速、 V_* は摩擦速度、 Z_0 は粗度の長さである。

同一条件の風の場合、その摩擦速度は等しいと考え、かつ、粗度の長さを 1 cm と仮定すると、気象庁が風速測定の基準として示している地上 10m の位置で測定した風速 (U_{1000}) に対し、地上 1 m, 10cm, 1 cm の位置では、それぞれ、 $2/3U_{1000}$, $1/3U_{1000}$, 0 となる。

日本気候表を見ると、風速 20m/s 以上の風速が長時間吹くことは少ないと思われる。そこで、しばしば表われる風速の上限を大略 15m/s とし、風速の垂直分布を考慮すると、地上 10cm 以下の高さでは、約 5 m/sec の

風速が最大と推定される。

故に、入口と集土部との断面積の比を 1 : 35 程度にすると、風速比は、連続の定理によつて 1/35 程度に弱くなるはずであり。入口を 5 m/sec の速度で通過した風は、集土部では 14cm/sec~15cm/sec の速度となる。集土器全体の長さを約 30cm にすれば、風が集土器内を通過するのに 1~2 秒を必要とする。この間に、約 20 μ の粒子は 5~10cm 落下するので、この集土器によつて充分捕捉できるであろうと考えた。

以上のような観点から、まず、第2図のような集土器を作製した。

第2図 新型の集土器の平面図および側面図

すなわち、入口の断面積を 6.25cm² (1辺 2.5cm の正方形)、導入部を上面、側面とも三角形に開く形とし、集土部および排出口の断面積を 225cm² (8.5cm×26.5cm の長方形)とした。入口の断面積に対する集土部の断面積の比は、1:36である。集土部の下には高さ 6cm、幅 26.5cm、奥行 6cm の脱着が容易な集土箱を取り付けた。

このような集土器においては、風速 5m/sec の場合、風速が器内を通過するに要する時間はつぎのようにして求めることができる。

i) 入口から 2.5cm までは、風速 5m/sec のままであるから、通過に要する時間は 5/1000sec である。

ii) 誘導部では、入口より 2.5cm の点を基準として、器内へ x cm 直進した所の断面積 $S(\text{cm}^2)$ は、

$$S = \frac{1}{4}x^2 + \frac{25}{8}x + 2.5^2 \quad \dots\dots(3)$$

である。連続の定理が成立すると仮定すると、入口の風

速 (500cm/sec) と x cm 進んだ所の風速 V_x は、それぞれの位置での断面積の比に逆比例し、

$$\frac{500}{V_x} = \frac{S}{2.5^2} \quad \dots\dots(4)$$

で表わすことができる。ところで、風速を変化させながら、誘導部を x cm 進むに要する時間 t_x は、

$$t_x = \int_0^x \frac{1}{V_x} \cdot dx \quad \dots\dots(5)$$

で表わされるので、誘導部を通過するに要する時間 t として、(3)、(4)、(5) より、

$$t = \int_0^{24} \frac{1}{V_x} dx = \int_0^{24} \frac{1}{500 \times 2.5^2} \left(\frac{1}{4} x^2 + \frac{25}{8} x + 2.5^2 \right) dx$$

$\therefore t = 0.70$ 秒をうる。

iii) 集土部では、風速が約 14cm/sec であるから、通過に要する時間は、0.43秒である。

以上の時間を合計した値、約 1.1秒間に 5.5cm 以上落下した粒子は集土箱に入るであろうと考えられるので、McCUBBIN の式を用いて、完全に捕捉できる粒径の限度を求めると、 14.1μ という数値が得られる。すなわち、この新しいモデルを用いると、 14μ 以上大きな粒子は捕捉でき得るのではないかと考えられる。

4. 測 定 結 果

1) 入口付近の空気の乱れ

農業技術研究所にある小型風洞において、風上側から煙を送って乱れの様子を観察した (第 1 図参照)。煙には、それぞれ塩酸およびアンモニア水の中を通った空気

を 1 点に噴出させて生ずる塩化アンモニウムの白煙を使用した。第 1 図から明確に判るように、既存の集土器では、入口付近にいちじるしい気流の乱れがみられるが、新型の集土器においては乱れがほとんどなく、器内に入った煙が、器の内側によく拡がっているのが観察される。

2) 集 土 量

集土量についての実験は、農業技術研究所にある大型風洞を用いて行なつた。測定台上に各種の集土器を置きその風上約 2.5m の位置に粒子が落下して空中に飛散するように硬質ビニールパイプを設置した。このビニールパイプの上端から一定量の供試粒子を注入し、所定の風速で飛散させて、その捕捉状況を比較した。

供試粒子には、風乾させた砂、アラキダ、火山灰土壌およびオガ屑の 4 種類を用いた。オガ屑はふるいにかけて巨大な木片は取り除いた。アラキダの粒径の分布範囲は広く、たまたま実験台上を回転してきた大粒の入、不入によつて集土量が大きく変化するので、アラキダを用いた実験の信頼度はやや落ちる。

測定結果は、第 2 表のとおりである。この表から各種集土器の特徴的な点をあげると、

(1) 風速が小さくなると集土量が減少する。

(2) 粒子の比重が小さくなると集土量が減少する。

(3) d'-型のオガ屑の捕捉量は小さい。

(4) 入口の単位断面積当たり集土量は新型が最も大きい。

といふことができる。

第 2 表：異なつた条件下における各種集土器の集土重比

粒 子 の 種 類	風 速 m/sec	集 土 重 比					入口の単位断面積当たり集土重比					集土重
		a-型	b-型	c-型	d'-型	新 型	a-型	b-型	c-型	d-型	新 型	
砂	7.5	1,328	486	218	569	100	83	122	51	36	100	12.1g
	5.5	578	426	117	128	100	36	107	28	8	100	5.8
	3.0	298	112	54	24	100	19	28	13	2	100	0.041
アラキダ	7.2	430	215	163	266	100	27	54	38	17	100	10.1
	5.5*	194	22	85	208	100	12	6	20	13	100	1.81
	3.0*	269	292	30	222	100	17	73	7	14	100	0.057
火山灰	5.1	221	159	112	63	100	13	40	26	4	100	0.82
オガ屑	7.0	400	212	127	0	100	25	53	30	0	100	6.0
	5.5	220	208	51	5	100	14	52	12	0	100	5.7
	3.1	14	5	5	2	100	1	1	1	0	100	0.281

註：a、b 型の集土器には布袋を使用した。飛散させた供試粒子重は、それぞれ、砂 1950g、アラキダ 1630g (*印は 815g)、火山灰 1500g、オガ屑 220g である。

第3表：各種集土器の入口付近における風速分布（単位 m/sec）

集土器の型	器 の 前 方			入 口	器 内	器 外	排出口	器 の 後 方 10cm
	10cm	5 cm	1 cm					
a — 型	3.4	2.9	2.1	1.9	1.9~0.4	—	—	—
b — 型	4.6	4.2	3.2	2.0	0.5	—	—	—
c — 型	4.0	3.2	2.3	2.2	?	—	3.2	4.4
d — 型	3.0	2.6	2.2	2.4	?	—	0.6	1.6
d'— 型	4.0	2.8	2.6	1.9	?	—	0.6	1.5
新 型	4.6	4.6	4.6	4.6	0.3	5.0	0.4	0.5

註：a, b-型の集土部にはポリエチレン製の袋を使用した。器内は集土部の中心を，器外は集土部の中間で器壁から2 cm 隔たつた位置を意味する。

3) 集土器の入口付近における風速分布

大型風洞において，5.2m/sec の一定風速下で，熱線風速計を用いて，実験台上 2 cm の高さの風速を測定した。

第3表からみて，各型の集土器の入口付近における風速分布の特徴をつぎのように要約できる。

(1) a-型：入口の前方 10cm の位置で，かなりの減速が認められる。入口付近における風速は，比較した各型中，d 型とともに最も小さい。

(2) b-型：入口の前方 10cm の位置では風速の低下がほとんど観察されないが，入口では風速がかなり低下する。

(3) c-型：入口の前方 10cm から風速が減少し，入口で半減する。排出口付近における風速は，入口における風速よりも大きい。

(4) d 型および d' 型：入口の前方 10cm ですでに若干の風速の減少が見られ，入口付近では，約 $\frac{1}{2}$ に減速される。入口付近における風速の減少は，液体を入れた場合にとくにいちじるしくなる。

(5) 新型：入口の前方および，入口における風速の低下は認められない。集土部の中央における風速は 0.3 m/sec であつて，連続の定理が成立せず，側壁の内側で流線が乱れているか，器壁付近に風速の小さい部分が存在すると思われる。減速の影響は器具の後方にまで及んでいる。

5. お わ り に

以上の結果を総合すると，新型の集土器は既存の集土器より優れた集土性能を示すことが判る。実用上は，新型の集土器を鉄板で製作し，黒く塗装し，上部に羽根

を，下部にベアリングを付け，入口が風向に向かうようにしている。入口の断面は，飛土の高度分布を調査し易いように，高さ 1cm，横 5cm の長方形とし排出口の断面は，高さ 7 cm，横 29cm（断面積 203cm²）とした。入口と集土部および排出口の断面積比は，1：40.6 になり，速度 5 m/sec の風が器内を通過するのに，約 1.3 秒弱かかることになる。したがって，理論的には粒径約 15 μ の粒子まで捕捉できることになっている。

飛土を捕捉するには，真空ポンプなどを用いて吸引採集するのが理想である。しかし，そのための装置は相当大型となり，運搬に不便であり，価格も数十倍 となろう。多点観測の場合には，価格の点で真空吸引が不可能となりやすい。

今後の問題としては，真空吸引により捕捉されたサンプルとの物理・化学的組成の比較等が残されている。

参 考 文 献

- 1) CHEPIL, W.S. (1965) : Transport of Soil and Snow by Wind, Meteorological Monographs Vol. 6, No. 28, 123~132.
- 2) McCUBBIN, W. A. (1944) : Relation of Spore Dimensions to Their Rate of Fall, Phytopathology, **34**, 230~234.
- 3) 河田三治 (1954) : 火山灰地帯風蝕防止に関する研究 林野庁
- 4) 河村龍馬 (1951) : 飛砂の研究, 東京大学理工学研究所報告, 5 巻, 3—4 号, 95~112.
- 5) 田中貞雄 (1965) : 風蝕防止に関する農業気象学的研究, 群馬県林業試験場特別報告

Summary

Many papers are published about the aerodynamical saltatorial mechanism of soil and about the effectivity of several protection measures against winderosion. Recently they are interested in the physical and chemical properties and in the vertical distribution of saltant soil particles. For this purpose, several apparatus are applied to gather saltant soil particles (Fig. 1, No. 1-8). The small sized particles with the trifling inertia energy will either run out because of the accelerated airdrawing, or not enter at all, for the streamline is strongly disturbed already at the entrance of the apparatus (Fig. 1, No. 1-8).

In order to catch the small sized soil particles besides great soil particles, the authors have devised a new model (Fig. 2), at whose exit the speed of the airstream is diminished until $1/36$ of the initial speed. Thereafter the floating particles need about 1.1 seconds to pass through the apparatus. In this 1.1 seconds a particle (specific gravity 2.0) with the radius of 14 micron falls 5.5 cm (calculated by McCubbin's formula). Moreover the new type apparatus has no disturbance at its entrance (Fig. 1, No. 9 and 10). The entrance of the apparatus is built so low for the great soil particles, that they are affected directly to creep and fall into the gathercase.

The comparative examination of several apparatus on their gathering ability of saltant particles shows that the new type possesses substantially better gathering ability especially of the smaller particles (Table 2).

As the apparatus for practical use we have built the black painted apparatus made of iron plates with a vane. The apparatus is fastened up on the iron rod with a ball bearing and may be therewith turned (Fig. 1, No. 11 and 12). In order to research the vertical distribution of saltant particles small changes are undertaken on the size of the entrance and the exit; the entrance section $1\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ and the exit section $7\text{ cm} \times 29\text{ cm}$.

Zusammenfassung

Japan wird während der Winterzeit vom Nordwestwind ständig heimgesucht. Dieser winterliche Monsun äßt seine Feuchtigkeit an der Westseite der japanischen Mittelgebirge als starker Schneefall ablagern und erreicht die Ostseite als trockener heißer Wind. Wegen dieser jahreszeitlichen Föhnerscheinung spielt in Ostjapan die Winderosion eine wichtige Rolle besonders beim Winterweizen- und Rapsbau. Da die Winderosion auf den Ertrag der landwirtschaftlichen Erzeugnisse ausschlaggebenden Einfluß hat, sind zahlreiche Veröffentlichungen erschienen, die hauptsächlich den aerodynamischen Abflugsmechanismus des Bodens und die Wirksamkeit der verschiedenen Schutzmaßnahmen gegen Winderosion behandeln.

In letzter Zeit interessiert man sich an die physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie die vertikale Verteilung des abfliegenden Bodens. Zu diesem Zweck werden verschiedene Staubabfanggeräte verwendet. Diese Geräte haben entweder Engpässe oder keinen Ausgang des Staub transportierenden Luftstroms. Bei solchen Geräten können nur die großen Klumpen Boden mit großer Trägheitskraft abgefangen werden. Die kleinen Teilchen mit geringfügiger Trägheitskraft werden aber entweder wegen beschleunigten Luftzugs durch den Engpaß auslaufen, oder ins Gerät überhaupt nicht hineinlaufen, da die Stromlinie schon am Eingang des Gerätes stark verstört ist (Vgl. Fig. 1, Abb. 1-8).

Um die kleinen Teilchen sowie große Klumpen abzufangen, haben wir ein neues Gerät entworfen (Siehe Fig. 2), am dessen Ausgang die Geschwindigkeit des Luftstroms bis zu $1/36$ der Anfangsgeschwindigkeit vermindert wird. Danach benötigen die in der Luft schwebenden Staubeilchen ca. 1.1 Sekunden, um durch das Gerät zu passieren. In diesen 1.1 Sekunden fällt ein Staubeilchen mit Durchmesser von 14 Mikron 5.5 cm unter (ausgerechnet nach McCubbinschem Formular). Außerdem hat das neue Gerät keine Störung von der Stromlinie am Eingang (Vgl. Fig. 1, Abb. 9 und 10). Für die großen Klumpen ist der Eingang des Gerätes so niedrig gebaut, daß sie gezungenerweise bald rollen und ins Sammelkästchen einfallen.

Die vergleichende Untersuchung verschiedener Geräte über ihre Abfangfähigkeit vom fliegenden Bodestaub zeigt, daß das neue Gerät wesentlich bessere Abfangfähigkeit besonders vom kleineren Teilchen besitzt (Vgl. Tabelle 2).

Als das Gerät für praktischen Gebrauch haben wir ein aus schwarz gestrichenem Eisenblech gemachtes Gerät mit Windfahne gebaut, das auf einem Eisenstab mit einem Kugellager befestigt worden und dadurch drehbar ist (Vgl. Fig. 1, Abb. 11 und 12). Zum Zweck der Untersuchung von vertikaler Verteilung des abfliegenden Bodens wurde kleine Aenderung der Eingangs- und Ausgangsgröße vorgenommen; Eingangsabschnitt $1\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ und Ausgangsabschnitt $7\text{ cm} \times 29\text{ cm}$.