

農作物自動防灰装置の開発

—火山灰の粒径分布と透過光量について—

田原迫昭爾・宮里 満^{*1}・宮部芳照^{*2}

(農業機械第二研究室・*農業物理学研究室・**農業機械第一研究室)

昭和62年8月7日 受理

Development of Automatic Crops Protection System Against Volcanic Ash Sedimentation

—On the Particle Size Distribution of Ashes
and Measurement of Light Passage—

Shôji TAHARAZAKO, Mitsuru MIYAZATO and Yoshiteru MIYABE
(Laboratory of Agricultural Machinery II, Laboratory of Agricultural
Physics^{*1}, Laboratory of Agricultural Machinery I^{*2})

結 言

鹿児島県の桜島は昭和30年10月に爆発を再開して以来、現在もなお活発な活動を続けており、噴出する多量の火山灰、火山ガス、噴石などが農作物に多大な被害を与えている。

昭和60年は爆発回数474回、噴煙回数222回にもおよび降灰量が異常に多く、鹿児島地方気象台が観測を始めて以来、最高の年降灰量 $15,908\text{g}/\text{m}^2$ を記録したほか、月降灰量、日降灰量、降灰継続日数など大半の記録が更新され²⁾、農作物への被害額は年間50億円以上にも達している。

火山灰粒子のうち、粒径 $5\mu\text{m}$ 前後の微粒子は農作物の表皮気孔を閉塞させ、呼吸機能を停止させるとともに、噴出直後の火山灰微粒子に附着した、あるいはそれに伴われた硫酸イオン、塩素イオンなどの火山ガス成分はその降下過程で水と結合し、または水分に富む農作物の表皮上で水と結合して酸をつくり、表皮細胞の機能を低下させたり、破壊したりする。このように火山灰あるいは火山ガスは物理的、化学的要因により農作物の生育を著しく阻害し枯死させる場合が多い³⁾。

そのため、桜島およびその周辺地域では耐灰性作物、被覆栽培施設などの導入が進められている。しかしながら被覆栽培施設は火山活動が長期化していることに伴い、被覆資材の損耗が激しい上、連続被覆によって作物の生育が徒長的になったり、また果樹などにおいては糖度が露地ものより低く、熟期のおくれもみられ、種類によっては結実不良になることが多い。

本研究では、農作物の連続被覆を行うのではなく、光センサを用いて降灰時にその都度火山灰を検出し、一時的に自動開閉する農作物自動防灰装置の開発を行うことを目的とし、まずその基礎資料を得るために火山灰の粒径分布および透過光量を測定した。

測定装置と方法

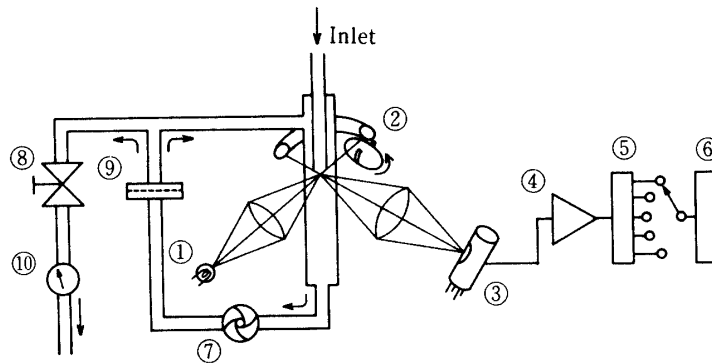
1. 火山灰の粒径分布

粒径分布の測定は、光散乱式粒子計数器 (Particle counter, リオン K.K. 製) で行ったが、粒子計数器の測定原理図を Fig. 1 に示す。

火山灰を含んだ空気は、粒子計数器に内蔵された吸引ポンプ⑦および流量調整バルブ⑧により一定流量で吸引される。吸引管は、定光源①により光軸交角 70° で常に照射されている。この照射領域を微粒子が通過するときに側方に散乱された光は光チョッパ②により一定周期の光パルスとなる。光パルスは光電子増倍管③により電気信号に変換され、前置増幅器④を経て波高分析部⑤に送られる。

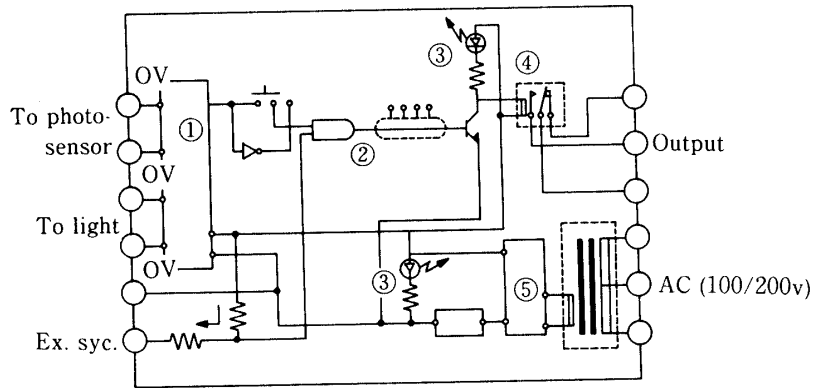
一般に微粒子が球形の場合、パルス信号の振幅(波高値)は散乱光量に、散乱光量は粒径と一定の関係があるので、この原理を利用して粒径選別を行うものである。しかし試料の短径と長径に大きな差がある場合は粒径選別の精度が低下することもある。

供試した火山灰は昭和61年7月28日から8月11日にかけて鹿児島市内6カ所(小野町、稲荷町、鴨池新町、郡元、東郡元、紫原の各地区)に降下した直後のものを採取したものである。



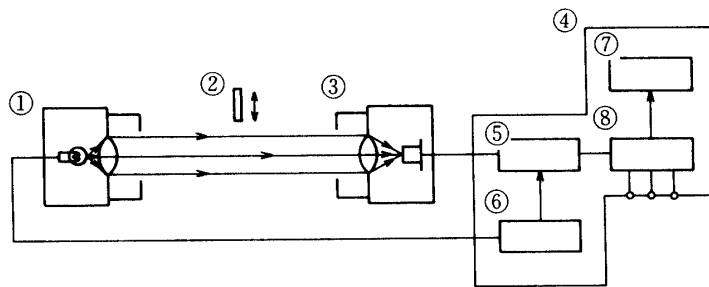
① Source lamp, ② Photo-chopper, ③ photo-multiplier, ④ Preamplifier, ⑤ Pulse-height analyzer, ⑥ Indicator, ⑦ Suction pump, ⑧ Valve, ⑨ Filter, ⑩ Flow meter

Fig. 1. Principle of particle counter.



① Amplifier, ② Delay circuit, ③ Pilot lamp, ④ Relay, ⑤ Voltage regulator

Fig. 2. Circuit diagram of photo-switch.



① Tungsten lamp, ② Sample, ③ Photo-transistor, ④ Amplifier, ⑤ Preamp., ⑥ Osc., ⑦ Indicator, ⑧ Output

Fig. 3. Block diagram of transmission type photo-switch.

2. 火山灰と透過光量

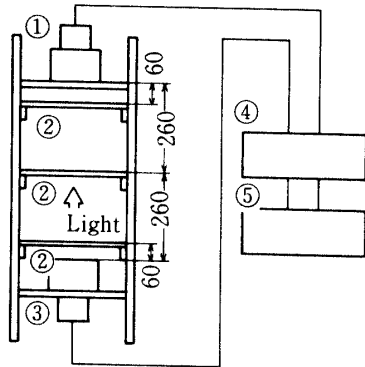
透過光量の測定には、ON-OFFの制御出力スイッチを内蔵した排煙濃度計(MARK-SKY, シンエイ通商製)を用いた。その回路図を Fig. 2 に、光電スイッチの構成図を Fig. 3 に示す。

この測定器は一定電圧を印加された白熱電球を光源

とし、白熱電球から放射された光はコンデンサレンズを通して平行光線となり、ある一定距離に固定された受光素子で受光し、受光量に比例した出力を増幅し、最終的には、ある設定された値以下の出力になった時に ON-OFF のスイッチング出力が得られるようになっている。従って、本実験では、その光路上を通過

する被検出物（火山灰）によって遮光，反射，吸収等による透過光量の変化を受光素子（フォトランジスタ）により検出し測定した。

排煙濃度計をセットした今回の実験装置の概要を Fig. 4 に示す。受光器①と光源③は垂直方向に対向して設置し，その間にガラス板②（厚さ 3mm，面積 20cm×20cm）を，光源側 6cm，受光器側 6cm およびその中央部の 3カ所に置いて，火山灰量と出力電圧との関係について測定した。供試した火山灰は前述した



① Photo-transistor, ② Glass plate, ③ Tungsten lamp, ④ Amplifier, ⑤ Recorder

Fig. 4. Schematic diagram of experimental apparatus.

粒径分布測定で使用したものと同一試料を用いた。

結果と考察

1. 火山灰の粒径分布

桜島火山灰の地区別粒径分布の1例を Fig. 5 に示す。今回の測定では，各地区とも粒径 20 μ m~50 μ m の粒子数が全体の約40%以上をしめており，一般的に微粒子が多かった。その中で，同一時期（昭和61年7月29日）に採取した，鴨池新町（鴨池フェリー埠頭），稲荷町，東郡元，紫原の降灰を比較してみると，20~50 μ m の微粒子は，桜島から最も遠い紫原地区（約 12 km）では74%，最も近い鴨池新町（約 8.5km）では33%で，200~300 μ m の比較的大きな粒子割合は，紫原地区ではわずか2%未満であるのに比べ鴨池新町では13%を占めていた。

以上のことから，降灰の粒径分布は同時噴出のものでも，噴火口からの距離，風速に大きく左右され，従って一般に表示される降灰量 (g/m²-hr)，すなわち単位時間，単位面積当りの降灰重量は，我々が感ずる透視度と幾分異なる場合があり，今後，噴火口からの距離や上空風速と降灰の粒径分布について，より広域に検討する必要がある。

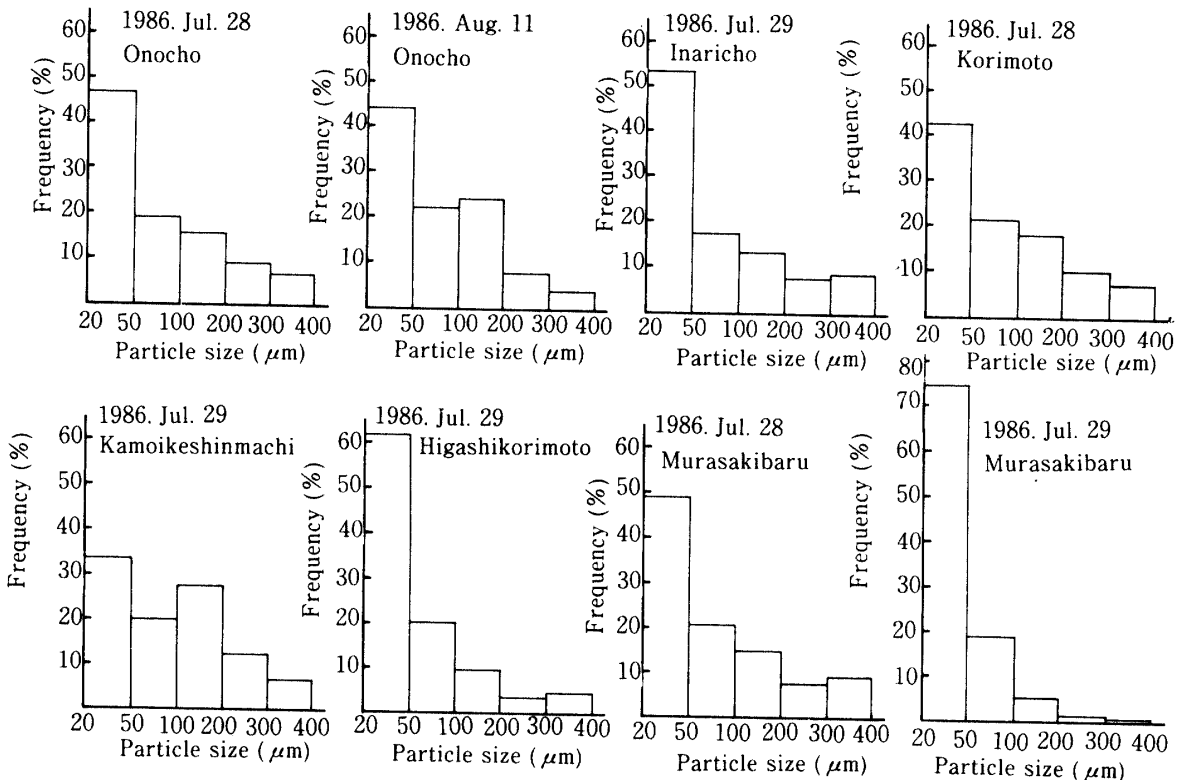


Fig. 5. Particle size distribution of volcanic ashes.

2. 排煙濃度計の性能

本実験で使用した排煙濃度計の出力電圧 (E, Volt) とリングマン度 (R) との間には, Fig. 6 に示すように $R=0.81 \times E - 1.33$ の関係があった。

なおリングマン度 (R) とは, 煙濃度の表示に用いるもので, 無色から真黒色までを, 0~5 の段階に分け, これを数値化したものである。

3. 灰の平面分布量と出力電圧

供試した火山灰の透光率を知るために, 透明ガラス板上に均一に散布した灰量と排煙濃度計の出力電圧の関係を測定した。ガラス板 (厚さ 3mm, 面積 20cm×20cm) の透光量減少による出力電圧は 1.8V で, また, 被検出体の位置 (ガラス板の位置) の違いによる出力電圧の差異はなかった。被測定板が光源と受光部の中央におかれた場合, 白っぽい火山灰 (以下白灰という) の分布量と正味の出力電圧 (ガラス板による出力電圧 1.8V を差し引いた火山灰だけによる出力電圧) との関係を Fig. 7 に示す。また比較的黒く見える灰 (以

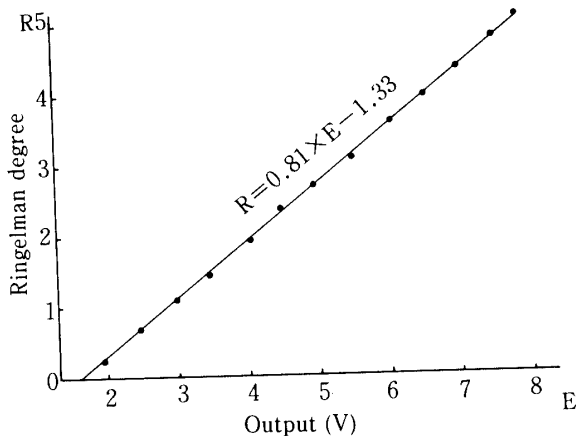


Fig. 6. Relation between Ringelman degree and output voltage.

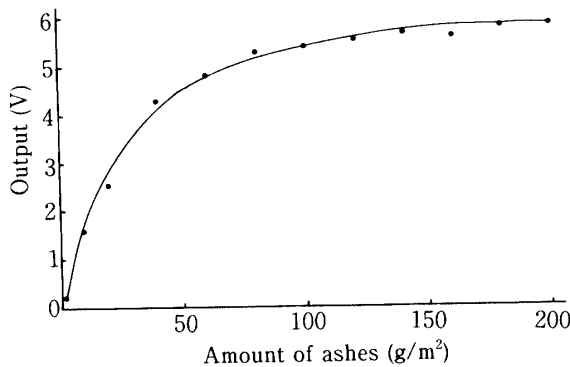


Fig. 7. Relation between output voltage and amount of volcanic ashes (White ash).

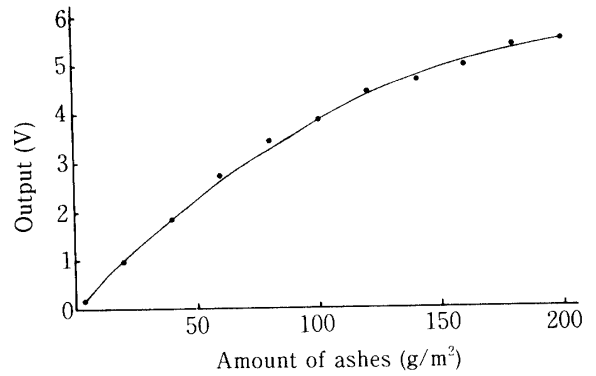


Fig. 8. Relation between output voltage and amount of volcanic ashes (Black ash).

下黒灰という) については Fig. 8 に示す。

白灰, 黒灰ともに, 単位面積当りの火山灰量が多くなるにつれて, 出力電圧は上昇する。

とくに白灰の場合, 灰量 50g/m² までは出力電圧は急激に上昇し 4.5V を示したが, 50g/m² を越えると緩やかになり, 200g/m² で 5.8V を示した。黒灰の場合の出力電圧は, 全体的に緩やかに上昇し, 灰量 200g/m² で 5.5V を示し, 白灰に比べ出力電圧はやや低値を示した。

なお, 限界出力電圧 0.2V で感知する灰量は白灰で 2.0g/m², 黒灰で 4.0g/m² であった。

4. 平面分布量から降灰量の算定

1 辺の長さを a とする平面 a² 上に, 重量 N の灰が均等に分布した状態の中を通過する光の透過率 (出力電圧) と, それと同じ辺長の立方体 a³ の空气中に, 均等に前と同じ重量 M の灰が分散した状態の中を通過する光の透過率 (出力電圧) が近似的に等しいとすれば, 降灰量 N (g/m²-hr) と平面分布量 M (g/m²) の間には次の関係がある。

$$N = M / a \times U_m \tag{1}$$

ただし U_m は, 灰が他の影響をうけず自然降下する

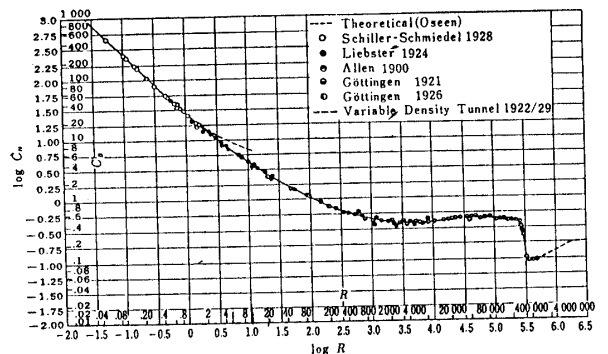


Fig. 9. Drag coefficient (CD) of ball.

Table 1. Each value put to calculation

Sampling area	Average particle size d, μm	Drag coefficient of ashes C_D	Density of ashes $\rho_s, \text{g/cm}^3$	Density of air $\rho_F, \text{g/cm}^3$	Viscosity coefficient $\mu_F, \text{g/cm-sec}$	Final velocity of ashes $U_m, \text{cm/sec}$
All area ave.	97	13.0	2.453	1.16×10^{-3}	1.85×10^{-4}	45.4
Murasaki baru	55	45.0	2.453	1.16×10^{-3}	1.85×10^{-4}	18.5
Kamoike	123	8.0	2.453	1.16×10^{-3}	1.85×10^{-4}	65.2

ときの終速度で、火山灰を球形と仮定すれば次式で求めることができる¹⁾。

$$U_m = \sqrt{\frac{4\rho_s g' d}{3C_D \rho_F}} \quad (2)$$

ここで、 C_D =粒子の抗力係数、 ρ_F =空気の比質量、 ρ_s =灰粒子の比質量、 d =粒子の直径、 g =重力の加速度、 $g'=(\rho_s-\rho_F)g/\rho_s$

また、空気の粘性係数を μ_F 、Reynolds数を R とすれば、

$$C_D \cdot R = \frac{4g' \rho_s \rho_F d^3}{3\mu_F^2} \quad (3)$$

従って、(2)、(3)式および Fig. 9 に示す C_D - R 曲線から、終速度 U_m を算定できる。

Fig. 10 は、本実験に供した全地区、紫原地区および鴨池新町地区の降灰について、その平面分布量 (g/m^2) と算定降灰量 ($\text{g/m}^2\text{-hr}$) とを比較したものである。

算定に使用した各値を Table 1 に示す。火山灰粒子の比重は一般に $2.39 \sim 2.67 (\text{g/cm}^3)$ であるが²⁾、表中の値は実測値を使用した。

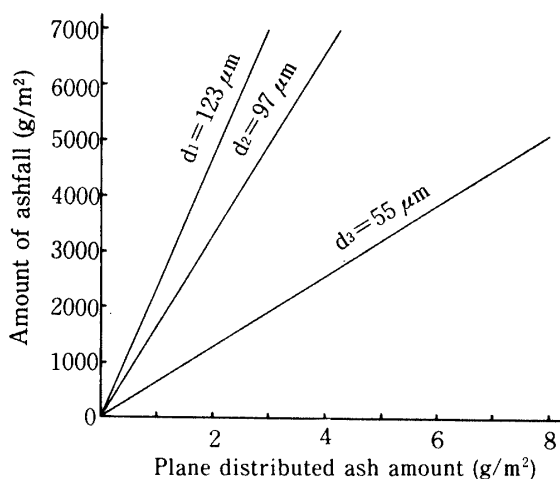


Fig. 10. Relation between amount of ashfall and plane distributed ash amount.

なお、同一の灰を用いて、円筒内を自然に落下させ、出力電圧と降灰量との関係を調査した結果、算定値とほぼ一致した。

5. 降灰量と感知限界

一般的に火山灰の降灰量は、できるだけ微量な段階で感知する必要がある。実験に供した白色光線による濃度検出器では、前述のように安全な感知限界は、出力電圧 0.2V 附近である。(Fig. 7, 8) これを降灰量で見ると、 $3.271\text{g/m}^2\text{-hr}$ (白灰) $\sim 6.542\text{g/m}^2\text{-hr}$ (黒灰) の範囲が供試器の感知限界と言える。もちろん、降灰量のどの段階で ON-OFF するかは、対象作物や生育度合によって異なるが、例えば $200\text{g/m}^2\text{-hr}$ の極く微量過程で感知させようとするれば、降下中の灰の濃縮比を $1:16 \sim 1:33$ にして測定する必要がある。すなわち、直径 10cm の円筒中に濃縮して降下させ測定するとすれば、直径 $40\text{cm} \sim 57\text{cm}$ の円筒で集灰することにより、感知可能な出力電圧を得ることになる。また、さらに低い降灰量を感知する必要があるれば、降灰の濃縮比を高めることにより、本装置は農作物防灰用の降灰感知装置として、十分実用に供し得るものと考えられる。

今後は実際の降灰時に、気象条件あるいは火山灰のより詳細な成分などとの関係を明らかにするとともに、灰雨の場合の測定機構について検討する予定である。

要 約

この研究は簡単な光センサで降灰を感知し、農作物の被覆装置を自動的に開閉するシステムを開発することを目的として、まずその基礎資料を得るために、火山灰の粒径分布および透過光量について検討した。その結果を要約すると次のようである。

1. 火山灰の粒径分布は、噴火口からの距離、風速に非常に左右され、噴火口から遠くなるにつれて、 $20 \sim 50\mu\text{m}$ の微粒子の割合が増加する。(Fig. 5) 今回の測定では、火山灰の平均粒径は最高 $123\mu\text{m}$ 、最低 55

μm , 全測定個所の平均は $97\mu\text{m}$ であった。(Table 1)

2. 透明なガラス板上に均一に分布した火山灰量と供試した排煙濃度計の出力電圧の関係を測定した結果, 限界出力電圧 0.2V で感知する灰量は白灰で $2.0\text{g}/\text{m}^2$, 黒灰で $4.0\text{g}/\text{m}^2$ であった。(Fig. 7, 8)

3. 灰の平面分布量 (g/m^2) と一般に言われる降灰量 ($\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$) との関係を, 平均粒径との関連で求めた。(Fig. 10, 式 1) その結果, 本計測器の安全な感知限界を, 出力電圧 0.2V とすれば, これは約 $3,270$ ($\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$) \sim $6,542$ ($\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$) の範囲の降灰量に相当する。

4. 実際の場合, 降灰は微量な段階で感知する必要があり, その時の降灰量を 200 ($\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$) と仮定す

ると, 降下中の灰を濃縮比 $1:16\sim 1:33$ に濃縮して測定すれば, 農作物防灰用の降灰感知装置として十分実用化できると考えられる。

謝辞 本研究にあたり, 測定装置を提供していただいた, 株式会社フジヤマおよびリオン株式会社に厚く御礼申し上げます。また本実験の遂行に当っては福倉寿信君(日本電装(株)), 中條 誠君(関口設備工業(株))の御協力が大きく, ここに付記して謝意を表します。

文 献

- 1) 原田幸夫: 水力学とポンプ。送風機設計演習, p.102-104, 日刊工業新聞社, 東京(1965)
- 2) 鹿児島地方気象台: 桜島火山活動観測記録(1986)
- 3) 桜島地域学術調査協議会: 調査研究報告(第2集), p.108-115 (1984)

Summary

Aiming at making use of a simple photosensor on way of detecting the sedimentation of volcanic ashes for creating a crops-protecting-system operating automatically in covering and uncovering the growing farm-plants, the particle-sized-distribution of the sedimentated volcanic ashes and the light-passage were determined to get a basic information, preliminary.

(1) The particle-sized-distribution of the sedimented volcanic ashes was found to be changing significantly in right-proportion to the distance from the crater and the wind-velocity: the percentage of the fine particles ranging from 20 to $50\mu\text{m}$ in size, increased with the increasing in the distance from the crater (Fig. 5).

The average particle-size ranged from $123\mu\text{m}$ (maximum) to $55\mu\text{m}$ (minimum), and the overall average for all samples was fixed to be $97\mu\text{m}$.

(2) The relationship was determined between the amount of volcanic ashes uniformly distributed on a transparent test-glass-plate and the out put voltage of a commonly used smoke-concentration meter.

The lower limit of the output voltage of 0.2V was fixed to be corresponding to the ash-amount of $2.0\text{g}/\text{m}^2$ for white ash and $4.0\text{g}/\text{m}^2$ for black ash, respectively (Figs. 7 and 8).

(3) The relationship between the plane-distributed ash amount (g/m^2) and the so-called sedimentated ash-amount ($\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$) was determined to be used as a function of ash-particle sized distribution (Fig. 10, Eq. (1)). The output-voltage of 0.2V was thus fixed to be corresponding to the sedimentated ash-amount ranging from $3,270$ to $6,542$ ($\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$), and it may be reasonably concluded that this is a safe detection-limit in case of the smoke-concentration-meter, tested here.

(4) In the field practice, it is necessary for the sedimented ash to be detected in a stage of quite a negligible amount; for instance 200 ($\text{g}/\text{m}^2\text{-hr}$). Therefore it may be concluded that, provided that the measurement is carried out on a sample of sedimentating volcanic ashes, concentrated at a level of $16\sim 33$ times the actual concentration, the smoke-concentration-meter tested here may be regarded as a satisfactory sensor of volcanic ash sedimentation to be used in the development of an automatic crops-protection-system, mentioned above.