

植物の分光反射率におよぼす桜島降灰の影響

団野皓文・宮里 満・石黒悦爾

(農業物理学研究室)

昭和54年8月20日 受理

Effect of Volcanic Ashes from Mt. Sakurajima on Spectral Reflectance of Plants

Akibumi DANNŌ, Mitsuru MIYAZATO and Etsuji ISHIGURO

(Laboratory of Agricultural Physics)

緒 言

桜島の爆発による降灰は、桜島およびその周辺の地域住民にとって深刻な問題で、農林産物にも多大な被害をおよぼしている。これらの被害を最小限に防止するためには、まず降灰の実情を正確に把握し、降灰により誘発される農林産物の被害の実情を調査し、これを防ぐ対策を講じる必要がある。

桜島の爆発にともなう降灰状況の調査には、リモートセンシング法がきわめて有効な方法と考えられ、われわれは昭和52年度より日本国土海洋総合学術診断プロジェクトに参加し、鹿児島地域の観測データを利用して、MSS (Multi-Spectral-Scanner) の解析による桜島の降灰地域の調査を進めている²⁾³⁾。

桜島および高隈山系には、広葉樹と針葉樹が多い。これらの樹木が桜島の火山灰を浴びる前後における分光反射率の変化を定性的に予知するため、2・3の広葉樹および針葉樹の葉面に火山灰を散布して分光反射率を測定した。この結果をリモートセンシングのMS S データの解析に役立てようとするものである。

実験材料および方法

1. 試料

高隈山系には、クスノキ・カシ・サザンカ・ツバキ等の広葉樹の多い自然林と、スギ・ヒノキ・クロマツ等の針葉樹からなる人工林がみられる⁴⁾。桜島には、これらの樹木の他にミカン・ビワ等が植えられている。

実験に供した試料は、これらを考慮して大学の構内にある植物の中から、次のものを選んだ。

広葉樹：ツバキ (*Camellia japonica* L.), サンゴジュ (*Viburnum odoratissimum* Spr. var. *awabuki* K. Ko-

ch)

針葉樹：ヒマラヤシーダー (*Cedrus Libani* Loud. var. *deodra* Hook f.), カイズカイブキ (*Juniperus chinensis* Linn)

野菜：キャベツ (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* Linn)

これらの植物から、よく葉のついた長さ10 cm前後の小枝をとり、30×30 cm²の面積のトレー上に、葉が一様に分布するように並べた。

2. 火山灰

火山灰(A)：昭和52年6月2日に噴火し、鹿児島大学農学部構内に降灰したものを採取した火山灰

火山灰(B)：昭和51年11月13日に桜島の春田山で降灰中に採取した火山灰

これらの火山灰を試料の上に1 kg/m²の割合で均一に散布した。

3. 分光反射率計

分光反射率計は、日本造船振興財団日本国土海洋総合学術診断委員会で試作した270106型ポータブルフォトメーターを使用した。この簡易分光反射率計は、電池電源方式の可搬形で、野外あるいは屋内において物体の分光反射率の測定に用いることができる。この装置では、分光は干渉フィルター群によって行ない、フィルターを機械的に切替えることによって、異なる波長幅の反射率を求める。その仕様は次の通りである。

測定波長範囲：400～1050 nm (可視 25 nm, 近赤外 100 nm 間隔)

測定視野角：6°およびコサイン球による平均測定分光方式：干渉フィルター (半値幅約 10 nm)

出力：対数表示 (ダイナミックレンジ 80 dB, ファインダー内メーターおよび

外部出力端子)
 電 源 : 角形 9 V 電池 1 個 (連続200時間使用可能)
 重 量 : 2.3 kg

この簡易分光反射率計による分光反射率測定の概要を Fig. 1 に示す。対象物体からの反射光は、アパーチャを通った後フィルターを通り、一定波長に選択されてフォトセルに入射し、そこで入射光のエネルギーに応じた電流に変換される。この電流は、対数増幅器で増幅され、その出力を指示計器の針の振れで読み取る。

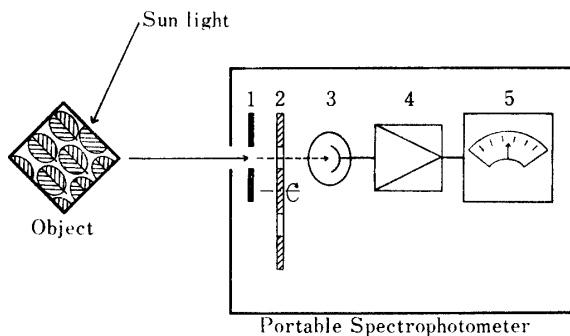


Fig. 1. Block diagram of experimental arrangement of the spectrophotometer.

1: Aperture, 2: Filter, 3: Photo-cell, 4: Amplifier, 5: Indicator

いま、反射光の分光エネルギーを ϵ_λ 、フィルターの分光透過率を T_λ 、フォトセルの分光感度を P_λ とすると、メーターの読み a_λ は、次式で表わされる。

$$a_\lambda = \log_{10} \int \epsilon_\lambda \cdot T_\lambda \cdot P_\lambda d\lambda + k$$

ここで k は装置の定数である。

4. 相対分光エネルギー

T_λ, P_λ については測定可能であるが、 k が未知であるため a_λ から ϵ_λ は求められない。そこで、エネルギー分布が既知の標準光源について a_λ の値を波長毎に実測しておく。この値を $a_{s\lambda}$ とし、標準の光の分光エネルギーを $\epsilon_{s\lambda}$ とすると

$$a_\lambda - a_{s\lambda} \doteq \log_{10} \epsilon_\lambda - \log_{10} \epsilon_{s\lambda}$$

となる。ただし、波長幅が十分せまいとして近似計算をする。ここで、相対分光エネルギーを E_λ とすると

$$\epsilon_\lambda \doteq E_\lambda$$

とみなせるから

$$\log_{10} E_\lambda = a_\lambda - (a_{s\lambda} - \log_{10} \epsilon_{s\lambda})$$

となる。ここで、 $a_{s\lambda}$ は装置に固有の定数であり、 \log_{10}

$\epsilon_{s\lambda}$ は校正に使用した標準の光に固有の定数であるから、これらの定数がわかれば a_λ から E_λ が求まる。そこで

$$[a_{s\lambda} - \log_{10} \epsilon_{s\lambda}] \doteq S_\lambda$$

と定義して、 S_λ を装置の感度定数と呼ぶ。

このようにして、測定しようとする反射光の相対分光エネルギー E_λ は、次式で計算できる。

$$E_\lambda = 10^{a_\lambda - S_\lambda}$$

Table 1. Transmittivity, T_λ , and sensitivity, S_λ , of portable spectral photometer

Wave length (nm)	T_λ (%)	S_λ
400	37.5	0.722
450	36.0	0.890
475	36.5	1.012
500	41.5	1.253
525	37.0	1.182
550	36.5	1.262
575	37.0	1.265
600	38.5	1.299
625	36.0	1.142
650	42.0	1.092
675	34.5	0.000
700	37.0	0.023
750	33.0	0.314

No. 270106

1976 12.10

この装置の感度定数 S_λ を Table 1 に示す⁶⁾。

5. 分光反射率

測定対象物と同じ照射条件にあると考えられる位置に白色板を置き、各々の反射光を測定する。白色板として定性用紙 (No. 1) を使用した。白色板および対象物に対するメーターの読みを各々 $a_{w\lambda}$, a_λ , 分光反射率を R_λ とすると

$$a_\lambda = \log_{10} \int E_\lambda \cdot R_\lambda \cdot T_\lambda \cdot P_\lambda d\lambda$$

$$a_{w\lambda} = \log_{10} \int E_\lambda \cdot T_\lambda \cdot P_\lambda d\lambda$$

ただし、白色板の分光反射率を 1 とする。

両式の差を求め、近似計算を行なうと

$$a_\lambda - a_{w\lambda} \doteq \log_{10} R_\lambda$$

となり、対象物の分光反射率 R_λ は

$$R_\lambda = 10^{a_\lambda - a_{w\lambda}}$$

として求まる。

なお、野外での分光反射率の測定に際しては、太陽光の放射照度が時々刻々変化しているため、対象物と

白色板とを交互に測定した。

実験結果および考察

樹木や野菜などの分光反射率におよぼす降灰の影響を調べるため、次の4つの実験を行なった。第1は、火山灰自身の分光反射率を測定するとともに、火山灰と同じような分光特性を示すと予想されるコンクリートの分光反射率を測定した。第2・第3は、広葉樹と針葉樹、第4は、野菜の分光特性を調べるため、これら樹木あるいは野菜の葉面における分光反射率を測定し、次にこれらの葉面に火山灰を均一に散布した場合の分光反射率を測定した。

これらの結果をもとにして、樹木や野菜などにおよぼす降灰の影響を調べるために利用し得る特性波長について検討した。

1. 火山灰の分光特性

Fig. 2 は、トレー上に火山灰 (A) を 1 kg/m² の割合で均一に散布した場合の分光反射率と相対分光エネ

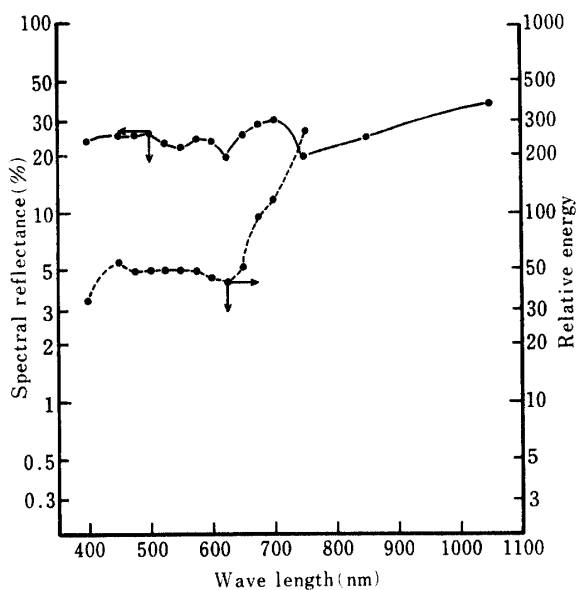


Fig. 2. Spectral reflectance and relative energy of volcanic ashes (A).

ルギーを、400~1050 nm の波長の範囲内で測定したものである。各波長に対する反射率は、測定波長全領域にわたって20~35%という値を示しほぼ一定であった。一方、相対分光エネルギーは、短波長側の可視領域では30~50倍と一定であったが、長波長側の近赤外領域になると急激に増加し、波長が 750 nm では270倍にもなった。

Fig. 3 は、トレー上に火山灰 (B) を 1 kg/m² の割

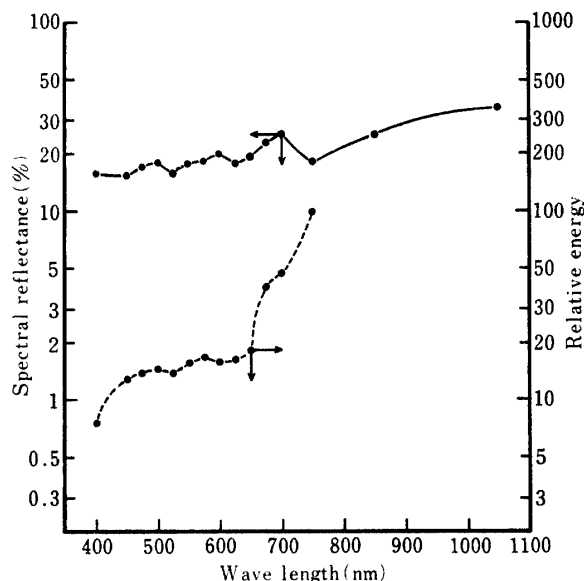


Fig. 3. Spectral reflectance and relative energy of volcanic ashes (B).

合で均一に散布した場合の測定結果である。分光反射率は、測定波長全領域にわたって15~35%という値となり、わずかに長波長側の近赤外領域で増加する傾向がみられた。一方、相対分光エネルギーは、短波長側の可視領域では10~20倍と一定であったが、長波長側になると急激に増加した。

Fig. 2, Fig. 3 の結果が同じ傾向を示したことから、桜島火山灰の分光反射率および相対分光エネルギーは、火山灰の採取場所、採取日が異なっても、ほぼ同じ値

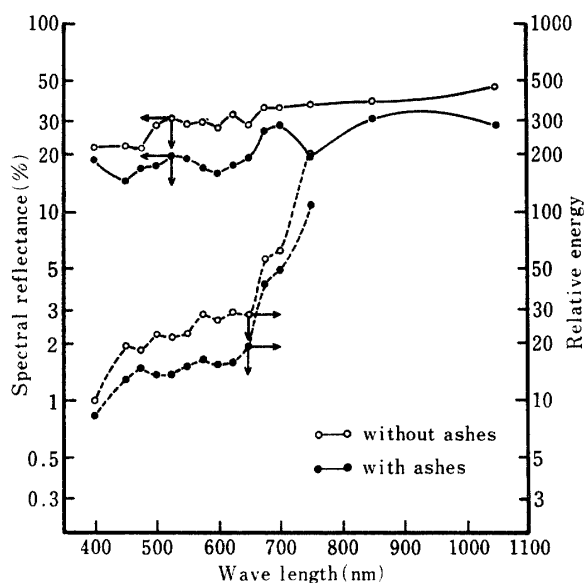


Fig. 4. Spectral reflectance and relative energy of concrete covered with and without ashes.

を示すものと思われる。

Fig. 4は、コンクリートとコンクリート上に火山灰(B)を 1 kg/m^2 の割合で均一に散布した場合の分光反射率と相対分光エネルギーを示したものである。コンクリートの反射率は20~55%となり、長波長側の近赤外領域でわずかに増加した。コンクリート上の火山灰の分光反射率は15~30%となった。コンクリートは火山灰を散布されると分光反射率が減少することを示した。コンクリートおよび火山灰の分光反射率は、値が異なるのみで、同じ傾向を示すものと考えられる。

一方、相対分光エネルギーは、短波長側の可視領域においてはほぼ一定であり、また、長波長側になると急激に増加し、しかも、反射率と同様に、コンクリートよりも灰を散布されたコンクリートの方が、相対分光エネルギーは低く表われた。

2. 広葉樹の分光特性

Fig. 5は、ツバキの葉とツバキの葉に火山灰(A)を 1 kg/m^2 の割合で均一に散布した場合の分光反射

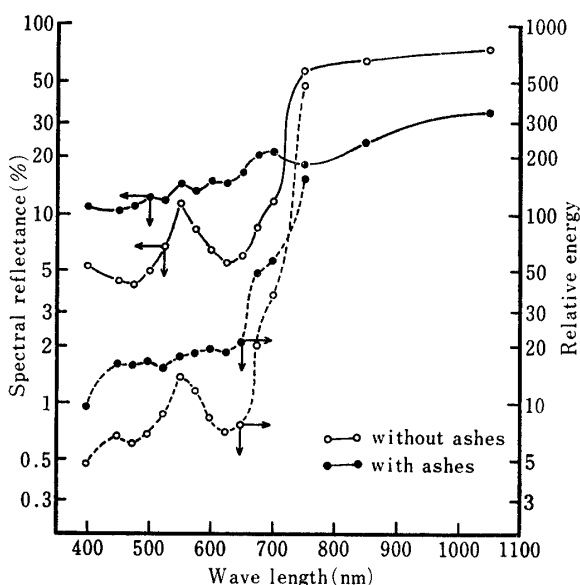


Fig. 5. Spectral reflectance and relative energy of camellia covered with and without ashes.

率と相対分光エネルギーの測定結果を示したものである。ツバキの分光反射率は、短波長側の可視領域では4% (400 nm)~60% (750 nm)と波長が長くなると急激に増加するという傾向を示したが、600~700 nmの波長帯では、反射率の著しい減少がみられた。また、750 nm以上の近赤外領域になると60~80%という高い反射率を示し、しかも波長による反射率の変化は少なくなった。

一方、灰を散布したツバキ葉面の分光反射率は、測定波長全領域にわたって10~35%という値を示し、波長が長くなるにつれてわずかながら増加する傾向がみられた。これは、火山灰の分光反射率と同じ傾向を示した。

ツバキ葉面の分光特性に対する火山灰の影響は、ツバキの葉に火山灰を散布すると、可視領域では分光反射率は増加し、近赤外領域では逆に減少することが示された。

また、相対分光エネルギーは、短波長側でツバキ葉面は5~20倍、灰を散布したツバキの葉面は10~50倍となって、いずれも分光反射率と同じ傾向を示した。

Fig. 6は、サンゴジュの葉とサンゴジュの葉に火山灰(A)をツバキの場合と同じ割合で均一に散布した場合の分光反射率と相対分光エネルギーの結果を示し

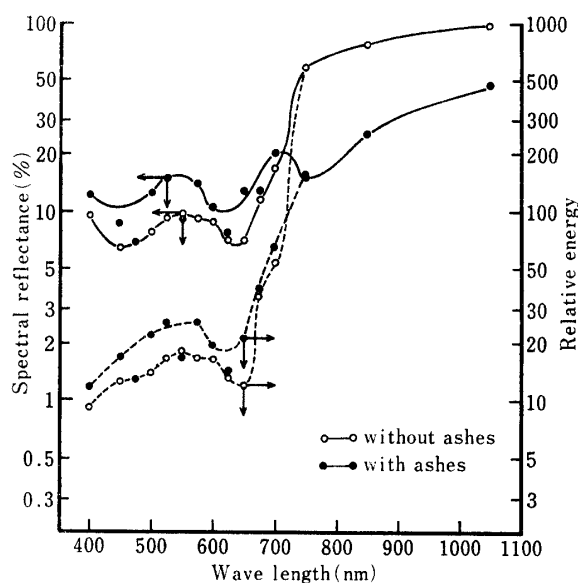


Fig. 6. Spectral reflectance and relative energy of viburnum covered with and without ashes.

たものである。サンゴジュの葉の分光反射率は、短波長側の可視領域では波長が長くなると急激に増加し、600~700 nmの波長帯では著しく減少した。これは、ツバキの分光反射率と同じ変化を示したものである。

また、灰を散布したサンゴジュの葉の分光反射率は、各々の波長におけるバラツキは大きいものの、測定波長全領域では波長が長くなるにつれてわずかながら増加する傾向を示した。

一方、相対分光エネルギーはサンゴジュの葉と灰を散布したサンゴジュの葉のいずれの場合も、分光反射率の変化と同じ傾向となった。

ツバキおよびサンゴジュという広葉樹の葉面の分光反射率は、Fig. 5, Fig. 6 に示したように、いずれも短波長側の可視領域では波長が長くなるにつれて急激に増加したが、600~700 nm の波長帯では著しく減少した。また、広葉樹の葉面に灰を散布した場合は、600~700 nm の波長帯における分光反射率の減少はみられず、灰を散布しない場合よりも分光反射率は増加した。逆に、長波長側の近赤外領域では、灰を散布しない場合よりも灰を散布した場合の方が分光反射率は減少する傾向を示した。

3. 針葉樹の分光特性

Fig. 7 は、ヒマラヤシーダーの葉とヒマラヤシーダーの葉に火山灰 (A) を 1 kg/m^2 の割合で均一に散布した場合の分光反射率と相対分光エネルギーを示したものである。ヒマラヤシーダーの葉の分光反射率は、測定波長全領域で4~50%となり、波長が長くなるにつれて急激に増加した。また、600~700 nm の波長帯では、広葉樹の場合と同様に急激に減少した。

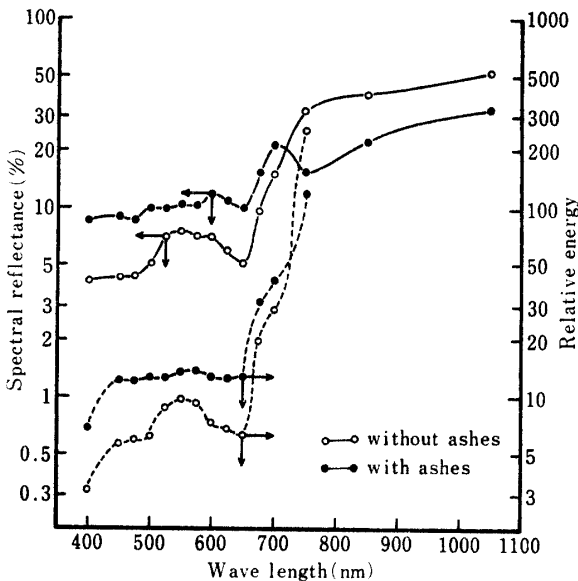


Fig. 7. Spectral reflectance and relative energy of cedar covered with and without ashes.

灰を散布したヒマラヤシーダーの葉の分光反射率は9~30%となり、600~700 nm の波長帯における急激な減少はみられなかった。また、短波長側の可視領域では、ヒマラヤシーダーの葉よりも高い反射率を示したが、長波長側の近赤外領域になると逆に低い反射率となった。

相対分光エネルギーは、可視領域ではヒマラヤシーダーの葉は3~20倍、灰を散布したヒマラヤシーダー

の葉は7~30倍となり、いずれの場合の相対分光エネルギーも、分光反射率の変化と同じ傾向を示した。

Fig. 8 は、カイズカイブキの葉とカイズカイブキの葉に火山灰 (A) をヒマラヤシーダーの場合と同じ割合で散布した場合の分光反射率と相対分光エネルギーの測定結果を示したものである。カイズカイブキの葉の分光反射率は5~60%、灰を散布したカイズカイブキの葉の分光反射率は9~30%となった。カイズカイブキの葉面と灰を散布したカイズカイブキの葉面の分光反射率の変化は、ヒマラヤシーダーの場合と同じ傾向を示した。

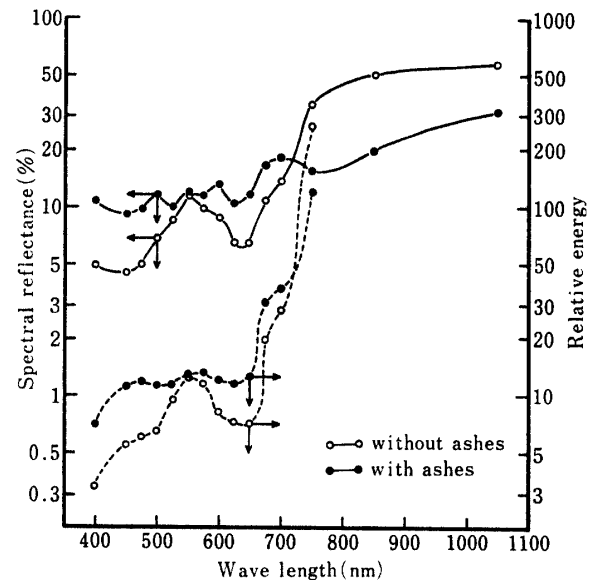


Fig. 8. Spectral reflectance and relative energy of juniperus covered with and without ashes.

相対分光エネルギーの変化についても、ヒマラヤシーダーの場合と同じ傾向を示した。

ヒマラヤシーダーおよびカイズカイブキという針葉樹の葉の分光反射率と相対分光エネルギーは、いずれも広葉樹の葉の分光反射率と相対分光エネルギーの変化と同じ傾向を示し、針葉樹、広葉樹という樹木による違いはみられなかった。また、灰を散布した針葉樹の葉の分光反射率および相対分光エネルギーの変化も、灰を散布した広葉樹の葉の場合と同様であった。

4. 野菜の分光特性

Fig. 9 は、キャベツの葉およびキャベツの葉に火山灰 (A) を 1 kg/m^2 の割合で均一に散布した場合の分光反射率と相対分光エネルギーの測定結果を示したものである。キャベツの葉の分光反射率は10~80%という値を示し、針葉樹、広葉樹の葉の分光反射率よりも

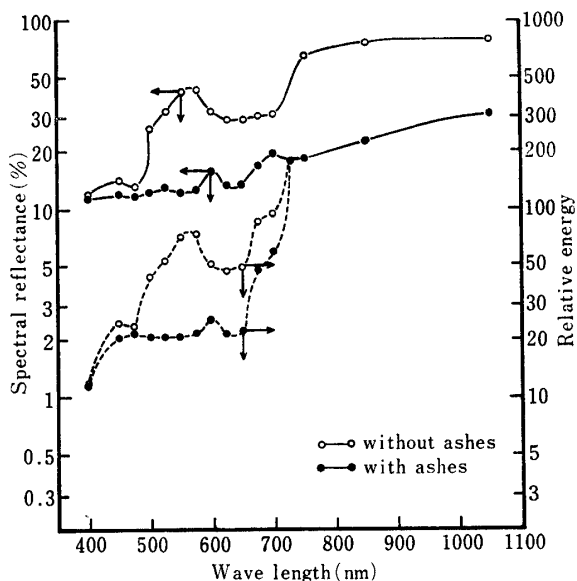


Fig. 9. Spectral reflectance and relative energy of cabbage covered with and without ashes.

高い値となった。しかし、短波長側の可視領域では、波長が長くなるにつれて分光反射率は急激に増加し、600~700 nm の波長帯では著しく減少した。このことは、キャベツの葉と樹木の葉の分光反射率は、値が異なるが同じ傾向を示すものと考えられる。

灰を散布したキャベツの葉の分光反射率は、10~30%という値を示し、波長が長くなるにつれてわずかに分光反射率は高くなり、600~700 nm の波長帯における分光反射率の著しい減少はみられなかった。このように、灰を散布したキャベツの葉の分光反射率は、灰を散布した樹木の分光反射率と同様な傾向を示した。

一方、相対分光エネルギーは、キャベツの葉の場合は波長が長くなると急激に増加したが、灰を散布したキャベツの葉は短波長側で20倍とほぼ一定の値を示し、樹木の相対分光エネルギーの変化と同様であった。

5. 特性波長の決定

降灰による樹木や野菜などの葉の分光反射率の変化は、上述の結果より、短波長側の可視領域では、降灰により分光反射率は増加し、長波長側の近赤外領域では逆に半分以下に減少した。また、600~700 nm の波長帯の分光反射率は、降灰がない場合は減少し、逆に降灰がある場合には増加した。

この結果より、一般に、植物は太陽光を受けると短波長側の可視光線を吸収し、これを光合成のエネルギーとして使用し、残りのエネルギーを長波長側の近赤外領域の輻射として放出している¹⁾⁵⁾。特に、600~700

nm の波長帯にみられる分光反射率の減少は、クロロフィルによる吸収であることが知られている。植物に火山灰を散布した場合は、短波長側での分光反射率が高くなったことから、光合成の作用が著しく抑制されているものと考えられる。

これらのことより、特定の波長における分光反射率を比較すると、降灰の影響を調べることができる。

マルチスペクトルスキャナー (MSS) の測定に利用されるチャンネル番号と観測波長幅を Table 2 に示した。分光反射率を測定した時の波長領域は 400~1050 nm であるので、この波長領域内で MSS のチャンネルに対応し、しかも降灰の影響を調べるのに有効な特性波長として、次の5つの波長を選んだ。可視領域の波長として、475, 525, 575, 625 nm, 近赤外領域の波長として 850 nm である。

Table 2. Relationship between wave lengths and channel number used in the multi spectral scanner

Channel No.	Wave lengths (nm)
0	250~ 350
1	350~ 400
2	400~ 450
3	450~ 500
4	500~ 550
5	550~ 600
6	600~ 650
7	650~ 690
8	690~ 790
9	790~ 890
10	920~ 1100
11	8000~14000

いま、可視領域内の4つの波長 (MSS の3, 4, 5, 6チャンネルの波長幅の中央の波長) と近赤外領域内の波長 (9チャンネルの中央の波長) の分光反射率の比を求めると Table 3 に示すような結果が得られる。

火山灰およびコンクリートの各チャンネルにおける分光反射率の比は、いずれも50%以上と非常に高い値となった。

樹木の葉面の分光反射率の比は、最高でも20%未満という値であったが、樹木に火山灰を散布した場合は26~80%と非常に高い値となり、降灰による影響が顕著にあらわれた。

キャベツの場合の降灰の有無による分光反射率の比の差は、樹木の場合のように、各チャンネルにおいて明確には認められなかったが、3, 6チャンネルの場合に、分光反射率の比の差は2倍以上となり、降灰の影

Table 3. Effect of volcanic ashes on reflectance ratio at the characteristic wave lengths

Sample	Reflectance ratio							
	R ₄₇₅ /R ₈₅₀		R ₅₂₅ /R ₈₅₀		R ₅₇₅ /R ₈₅₀		R ₆₂₅ /R ₈₅₀	
	without ashes	with ashes	without ashes	with ashes	without ashes	with ashes	without ashes	with ashes
Volcanic ashes	—	73.7	—	72.6	—	73.7	—	68.1
Concrete	56.3	55.0	81.3	63.1	77.6	55.0	85.3	56.3
Camellia	7.4	60.4	11.8	64.3	14.4	72.5	9.6	79.7
Viburnum	8.9	26.8	12.0	57.6	12.0	54.9	9.3	30.7
Cedar	11.1	39.7	18.1	45.5	18.1	46.9	15.1	49.1
Juniperus	9.9	50.0	17.0	51.0	19.5	57.5	12.9	52.5
Cabbage	17.0	52.2	42.7	57.6	56.3	56.3	38.9	60.3

響を区別することができる。

したがって、3, 6チャンネルの波長の475, 625 nmと9チャンネルの850 nmの波長の分光反射率の比を求めることにより、降灰による影響を調査することが可能であると思われる。

要 約

農作物や森林におよぼす桜島の降灰の影響を調査するため、2・3の樹木や野菜などの葉に火山灰を散布し、分光反射率の変化を測定した。

- ① 火山灰の分光反射率は、波長に対する変化は少なく、波長が長くなると分光反射率はわずかに増加する傾向を示した。
- ② 樹木や野菜などの葉面の分光反射率は、短波長側の可視領域では波長が長くなると急激に増加したが、600~700 nmの波長帯では反射率は著しく減少した。また、長波長側の近赤外領域では分光反射率は可視領域の約10倍となった。
- ③ 灰を散布した樹木の葉面の分光反射率は、灰を散布しない場合に比べ可視領域では増加したが、近赤外領域では約半分減少した。また、600~700 nmの波長帯における分光反射率の減少はみられなかった。
- ④ 植物におよぼす降灰の影響は、植物の光合成の作用を阻害するもので、植物固有の分光反射率の特性を

著しく変化させた。

- ⑤ 可視領域の475, 625 nmの波長の分光反射率と近赤外領域の850 nmの分光反射率の比を求めることにより、森林や農作物への降灰状況の解析に役立つことができる。

謝辞 本研究を行なうにあたり、簡易分光反射率計の提供に便宜をはかっていただいた日本造船振興財団の愛用 敬氏に感謝するとともに、実験に協力していただいた辻田正文・中山高秀の両氏に謝意を表します。

文 献

- 1) 中馬 豊：果実・野菜の光学的性質と品質評価・選別自動化への利用。食品の物性第2集，p. 109~131，食品資材研究会，(1976)
- 2) 団野皓文・徳重陽山・黒木晴輝・宮里 満・石黒悦爾：桜島火山の降灰が農林産物におよぼす影響調査。日本国土海洋総合学術診断研究報告集，p. 39~44 (1978)
- 3) 団野皓文・徳重陽山・黒木晴輝・宮里 満・石黒悦爾：桜島火山の降灰が農林産物におよぼす影響調査-II。日本国土海洋総合学術診断昭和53年度技術報告集 一国土関係一，p. 89~93 (1979)
- 4) 迫 静男：高隈演習林植物調査報告。鹿児島大学農学部演習林報告，1，p. 38~139 (1976)
- 5) 富田義一：私信による
- 6) 日本造船振興財団：日本国土海洋総合学術診断昭和52年度事業報告書 (1978)

Summary

In order to study the effects of falling ashes from Mt. Sakurajima on crops and forests, changes in spectral reflectance of leaves observed in some kinds of trees and vegetables artificially covered with volcanic ashes were studied.

- 1) Spectral reflectance of volcanic ashes was nearly constant through the wave lengths from visible rays to near infrared region, and increased slightly with increasing wave length.
- 2) Spectral reflectance of leaves on trees and vegetables increased rapidly with the increase of wave length

in visible rays region, but it decreased remarkably at the wave length band from 600 nm to 700 nm. While, the reflectance in near infrared region increased ten times as large as that in the visible rays region.

3) Spectral reflectance of those leaves covered with volcanic ashes increased in the visible rays region, but decreased to nearly the half value of it in near infrared region. On the other hand, the decrease at the band from 600 nm to 700 nm was not observable.

4) From the above results, it may be concluded that the effect of falling ashes on crops and forests reduces the photosynthetic activity of plant, and the characteristic spectral reflectance of plant comes to be changed remarkably.

5) By comparing reflectance at 475 nm and 625 nm with that at 850 nm, it is possible to analyze the amount of the falling ashes on crops and forests.