

氏 名(本籍) 福 原 道 一

学位の種類 農 学 博 士

学位記番号 農 第 322 号

学位授与年月日 昭和 62 年 3 月 12 日

学位授与の要件 学位規則第 5 条第 2 項該当

学位論文題目 リモートセンシングによる畑土壌の情報  
収集と表面土壌図の作成に関する研究

論文審査委員 (主 査)

教授 庄子 貞雄 教授 大平 幸次

教授 堀 裕

## 論文内容要旨

畑地の土壌や作物の状況、変化を圃場ごとにしかも広域に観測した情報を収集し、解析することができれば、地域に適合した基盤整備や合理的作付を広域的組織的に計画することができる。このような広域情報の収集には空中からの調査技術であるリモートセンシングが有効な手段となる。

本研究では、基盤整備に必要な広域下の土壌情報を得るため、リモートセンシングデータを利用して分光反射特性から土壌、作物の特徴を抽出し、土壌区分や作物生育量を推定する手法を開発し、応用することが目的である。赤と近赤外の分光反射特性の2次元空間モデルに基づいて光学的土壌指数・光学的生育量指数を提案し、その適用について検討した。さらに、これらの指数を利用して十勝地方の畑土壌を対象に表面土壌図の作成を行った。

### 1) 分光反射率に基づく2次元モデルと土壌情報の抽出

耕地には性状の異なる土壌の上に種々の作物が栽培されており、それは播種から収穫までの間に生長にともなって様々に変化をする(図1)。したがって、耕地の映像の解析にあたっては、土壌と作物を正確に識別することが基本となる。

赤と近赤外バンドの反射に表れる特徴をモデル化すると、土壌を強調する式あるいは作物生育量推定式が得られる。これらを光学的土壌指数・光学的生育量指数(以下、土壌指数、生育量指数とよぶ)と名づけた。

図2は赤と近赤外とした畑地の分光反射強度に関する2次元グラフモデルである。裸地は土壌の種類や、水分状態が異なってもソイルラインと呼ぶ次式で示される線上にある。播種時には畑地は裸地であるので、ある観測データはソイルライン上の一点(S)にある。緑葉が繁茂し地

面を覆いつくすときの反射の点をPとすると、観測値AはSからPへ移動する。この2点を結ぶ線SP上に生育途中の作物は並ぶことになる。APは土壌条件によって異なる。圃場の作物が生育するにつれて、近赤外の反射が増加し、赤の反射が低下して点Pに集中する。一方、分光反射率の低い、黒い土壌では赤の反射はほとんど変わらず、近赤外の反射が高くなる。したがって、観測値は点Pを頂点とし、土壌の直線を底辺とした三角形の中に、存在することになる。土壌S( $R_s, I_{R_s}$ )と作物P( $R_p, I_{R_p}$ )の反射の混在している観測値Aの赤と近赤外バンドの反射( $R_A, I_{R_A}$ )は次式を満足する。

$$SI = (I_{R_p} - I_{R_A}) / (R_A - R_p) \\ = (I_{R_p} - I_{R_s}) / (R_s - R_p) \quad (1)$$

$(I_{R_p} - I_{R_s}) / (R_s - R_p)$ は土壌毎に一定で、SIは土壌特性の一指標とみなすことができる。この土壌指数SIは腐植量や含水比によって値が変わるが、腐植量は短時間で変化しないので、土壌指数の変化は土壌水分の変化を表わすことになる。

赤及び近赤外の反射率から生育量指数Kを導いた。さらに、圃場の作物群落の分光反射率測定値と対応する裸地土壌の分光反射率測定値から作物体みの可視光反射率を近似的に求める方法を開発した。

## 2) 土壌の分光反射率

土壌指数と作物生育指数の基礎となる土壌の分光反射について検討し、土壌の分光反射特性について検討した(図3)。供試土壌は黒色火山性土(厚層多腐植黒ボク土)、褐色火山性土(淡色黒ボク土)沖積土(褐色低地土)の3土壌であった。土壌の分光反射率の測定結果から腐植、土壌水分、酸化鉄の分光反射特性に与える影響について確認した。波長

650nm と850nm の反射率の2次元散布図を描くと、供試土壤のデータは回帰直線上に並び、乾く程反射率は高くなっているが、腐植が少ない程、乾湿の差は大きい。分光反射率データから腐植量や水分量とこれらに特徴を持つ土壤型の識別に役立つことが明らかとなった。

土壤の分光反射率は、土壤含水比や腐植、酸化鉄あるいは母材の質によって反射率が増減する。したがって分光反射率を基にして、波長の選択と組み合わせから、リモートセンシングデータで観測される土壤の種類、性質、さらに土壤の水分状態を知ることが可能になる。

一方、積雪期間を除く年間のほとんどに、畑土壤の上には作物やその残さが存在するので、土壤の反射にはこれらの影響を受ける。種々の条件下で、特に作物の被覆率との関連において分光反射特性を知り、リモートセンシングデータに表われる土壤の判別の可能性と限界を明かにする必要がある。

### 3) 作物の分光反射測定

ここではさらに上記土壤をもつ3圃場で、テンサイの生育に伴う分光反射率の変化を測定し、特徴抽出モデルが成り立つことを実証した(図4、図5)。調査では各地に散らばる電源の無い試験圃場での分光反射測定のために開発した簡易分光放射計を使用した。その結果、生育量指数と収量との間に最も高い相関のあることを明らかにした。

赤(R;650nm)及び近赤外(IR;850nm)の反射率から導かれる生育量指数Kが決められた。Kは、土壤表面の分光反射率の異なる場合でも、テンサイの地上部乾物重と高い相関があった。

赤及び近赤外の反射率の値から収量を予測できる収量推定式が導かれ、7月8月では、推定値と実収量がよく一致することを確認した。異なる

年次のテンサイの圃場試験で実証を試み、8月のデータを使用し、90%以上の精度で予想されることが示され、この式の有効性が認められた。

茎葉中の窒素含有率が増加すると緑及び赤の反射率が減少し、 $P_2O_5$ 含有率が増加すると緑の反射率が増加することが知られた(図6)。

テンサイの群落の分光反射率を測定することは、収量予測、及び作物栄養診断に有効な情報を与えることが判明した。

#### 4) 分光特性のランドサット画像判読への応用

応用事例として、(1)1977年の有珠山噴出における降灰厚調査と(2)セラード農業開発調査における植生判読への応用について検討した。

有珠山噴出降灰調査では、降灰が厚くなるほど農地の作物などは被覆されて緑葉が少なくなることを利用して解析した。すなわち、噴出物の違いや堆積厚さの変化による分光特性の変化は、赤と近赤外の波長帯の関係により、2次元的に表すことができる。チャンネル5(赤; R)とチャンネル7(近赤外; IR)の写真濃度から反射率を計算し、作図した結果、噴出物の同定には  $(95 - IR) / R$ 、堆積厚さには  $IR / R$  の比演算が有効であった。火山噴火による降灰状況や降灰被害農地の作目判別、また農地の降灰被害度調査など、火山噴火被害調査におけるリモートセンシングの実用的レベルでの有効性が実証された。

セラード農業開発調査では、セラードの自然植生等の季節変化の特徴を明らかにして、写真処理による自動判別の資料をうることと、セラードの特徴として重要な火入れの発生実態について検討した。土壌タイプ等の判読はセラードでは、植生の被覆と、枯れ草の分光特性が土壌と似ているため、地形等の情報との組み合わせによる判読が必要であった。

土壤指数の考えかたはここではセラード判読に役立つことが明らかになった。火入れは広範囲に行われているため判読上重要であるのでその実体について明らかにした。

## 5) 光学的土壤指数を利用したランドサットによる

### 表面土壤図の自動作成

リモートセンシングにより分光特性から表面土壤を区分し、その分布図を作成することができる。一般に、リモートセンシング・データにより土壤の同定や土壤図の作成するとき、土壤の情報に植生の反射の影響があると判別率が低下する。ランドサット・データから表面土壤図を作成する場合にも、土壤指数、 $SI = (PIR - \text{バンド7}) / (\text{バンド5} - PR)$  は有効である。本章では、土壤指数を利用した表面土壤図作成のためのデータ処理法を明らかにするとともに作成した表面土壤図の実用性のあることを明らかにした。

土壤指数算出のために、植被率100%の座標点(PR, PIR)を牧草畑の統計値に求め、バンド5の最低値とバンド7の最高値から、 $PR=10, PIR=53$ を得た。土壤指数SIはこの解析では特に腐植量に高い相関を示した(図7)。このSIのチャンネルだけでは、土壤のクラスとその他のクラスを区別できないので、土壤図作成のためには他のチャンネルと組合せる必要があった。4チャンネルの組合せとして、バンド5, SI, バンド4/バンド5およびバンド7/バンド5, が最もよい結果を得た。この組合せによって、植被率が約50%以下の畑で土壤クラスが判読し得た。

ランドサットMSSデータのコンピュータ解析で湿性火山灰土のうち排水を必要とする過湿な畑を抽出した結果、暗渠排水施工実績図とよく一致した。このことはリモートセンシングデータが実用性に富むことをし

めしている（図8）。

この研究で開発した土壌指数や生育量指数は簡単なモデルから出発しているが実用性に富んでおり、広域の土壌調査や生育調査をするとき、リモートセンシングデータ解析に利用されている。

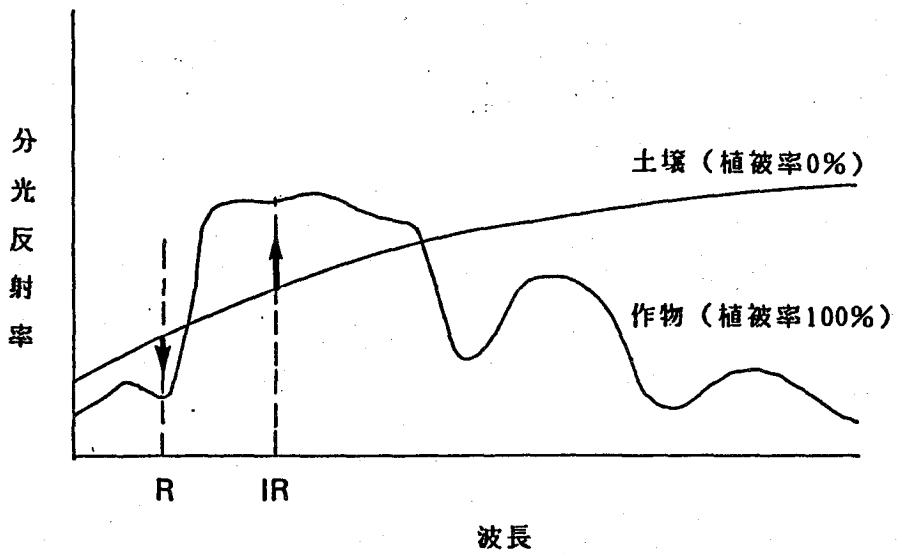
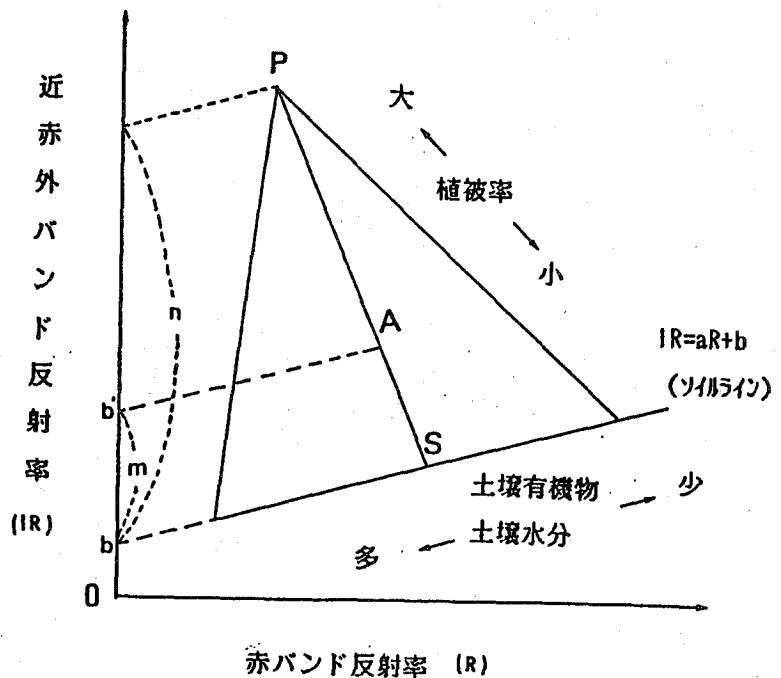


図 1 土壌と作物の分光反射曲線の模式図



- A : 観測値
- P : 作物による被覆率が100%の点 (作物)
- S : 作物による被覆率が0%の点 (作物)

図2 作物の生長に伴う IR と R 反射率の変化のモデル



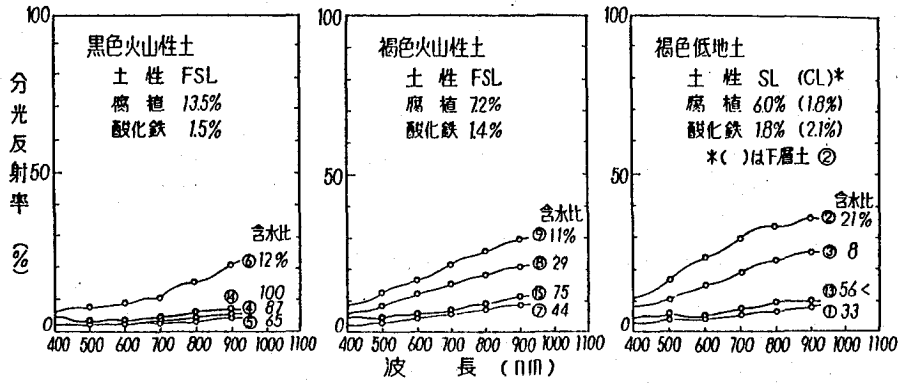


図-3 十勝平野における土壌の分光反射率 (1973. 8. 19測定, ○印内は試料番号)

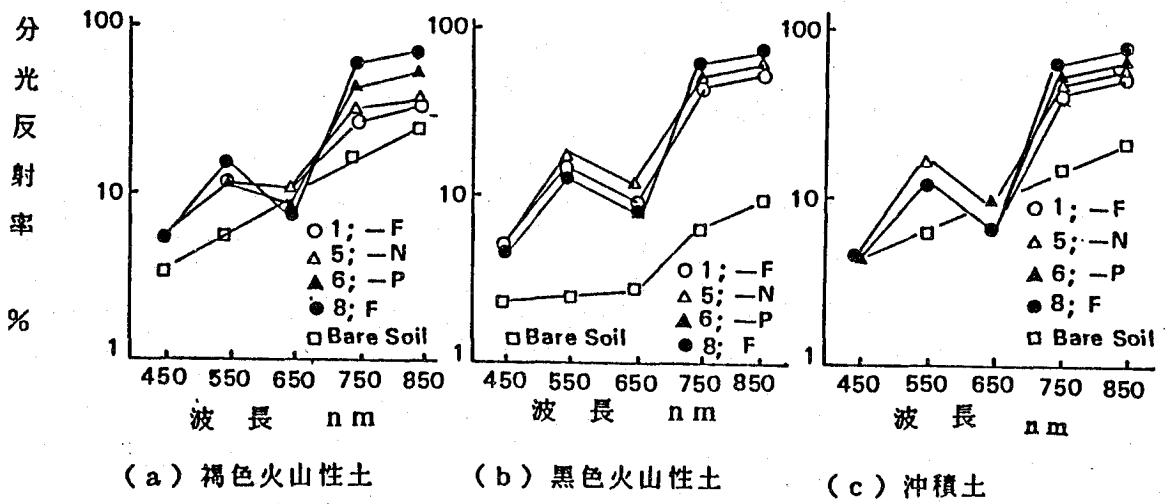


図4 8月18日の3土壌でのテンサイ群落の分光反射率

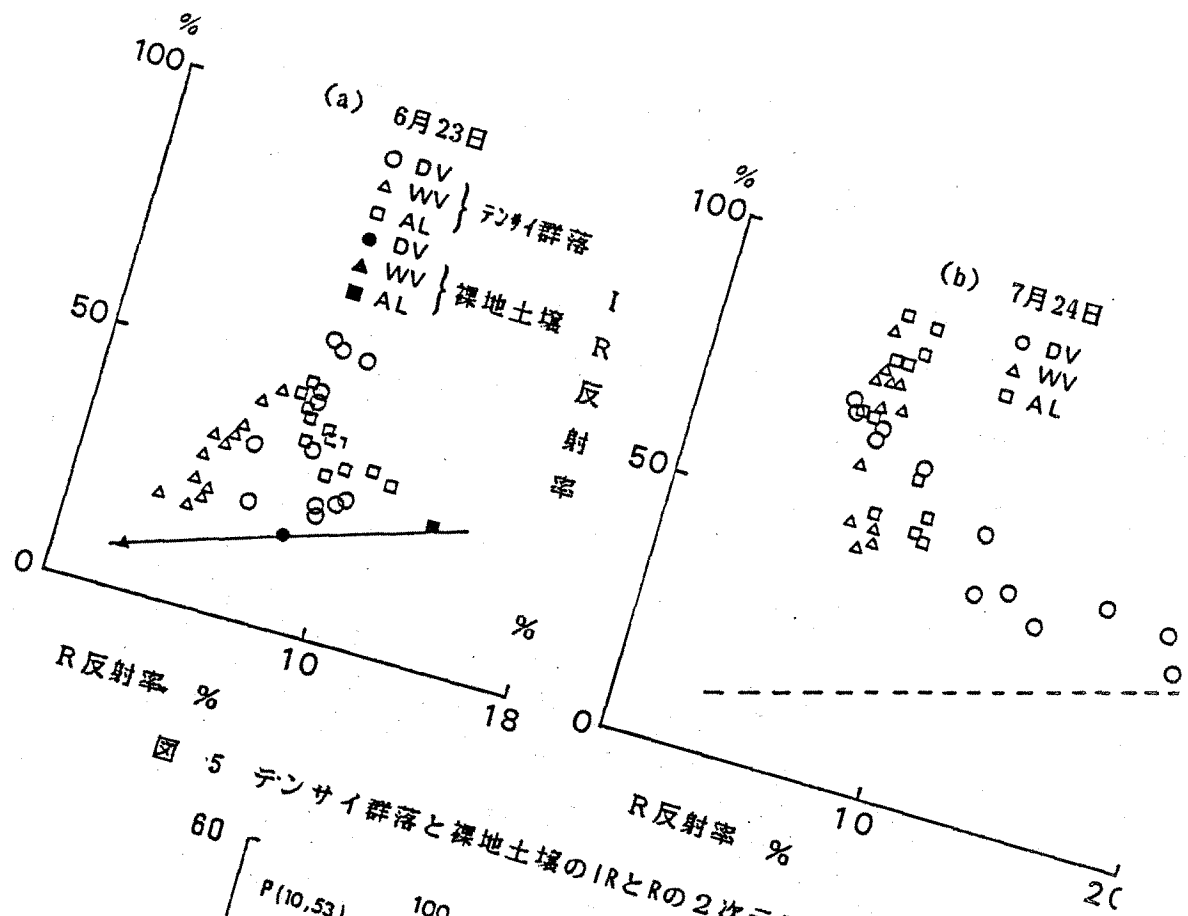


図5 テンサイ群落と裸地土壌のIRとRの2次元散布図

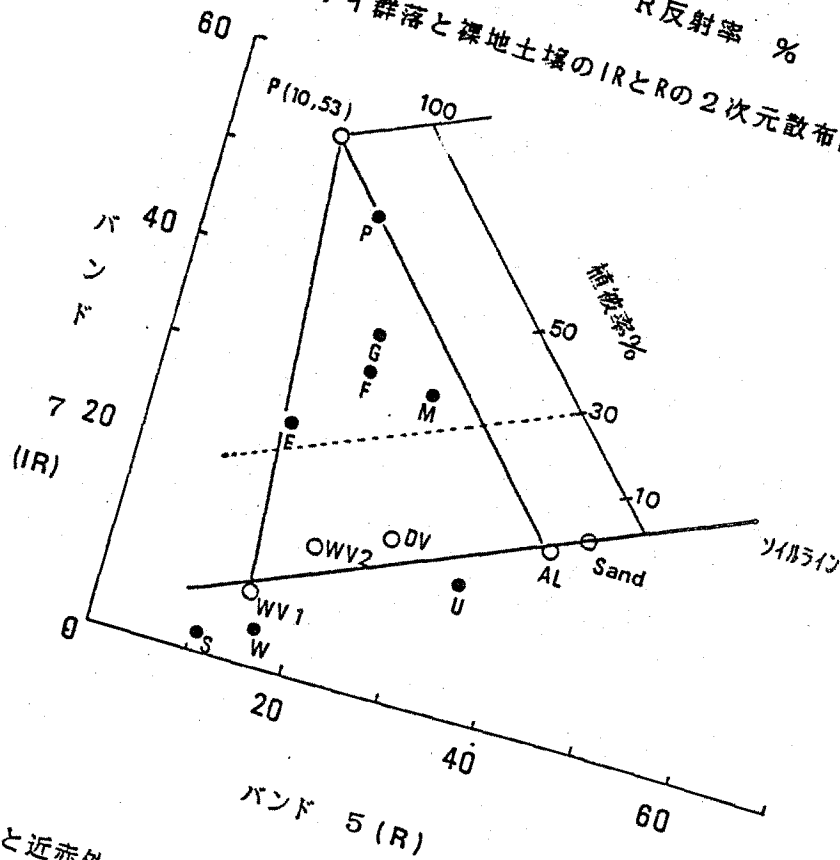


図6 赤と近赤外バンド(ランドサットバンド5と7)のCCTカウントによる  
二次元散布図

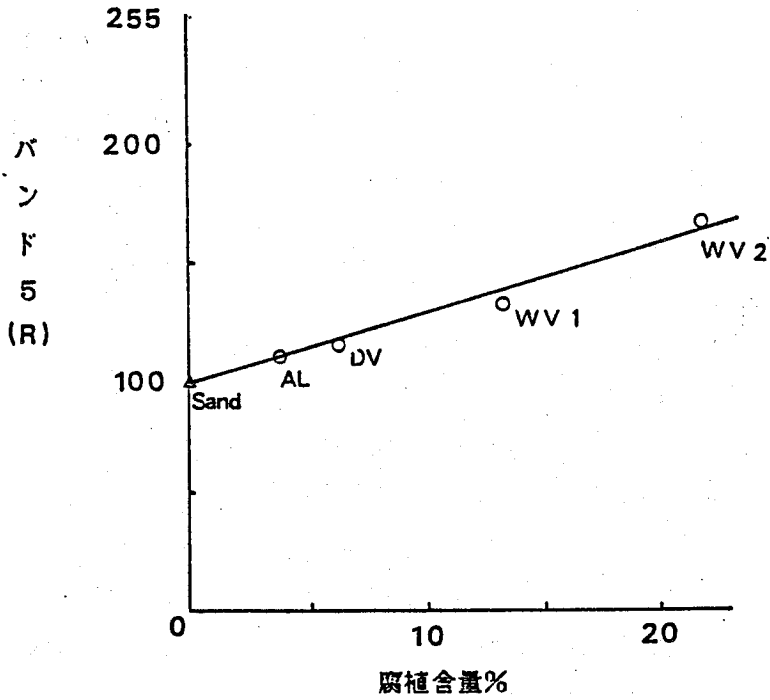


図7 バンド5のCCTカウントと腐植含量の関係

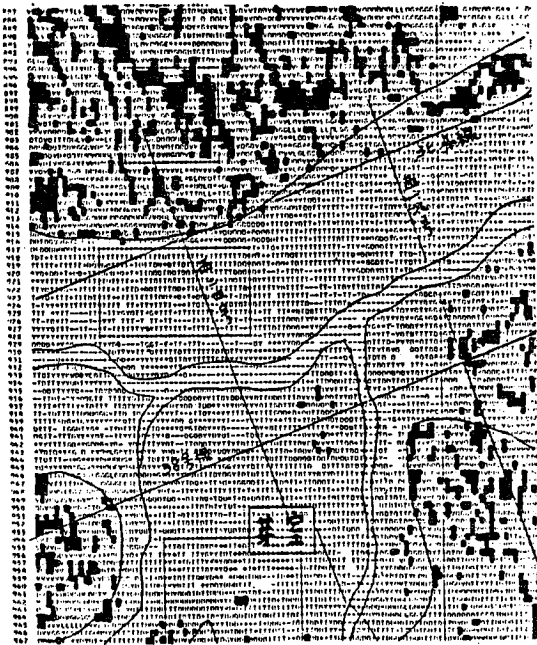


図-8 ランドサット MSS データから得た過湿な湿性火山灰土の畑 (黒ぬりの部分)



図9 土地改良実績図 (1978年現在)

## 審査結果の要旨

本研究は、リモートセンシングによる表面土壌図作製の技術を開発し、これを土壌図の作製のみならず降下火山灰の分布調査、ブラジルのセラードの植生調査、作物の生育収量の予測などに活用した結果をとりまとめたものである。

### 表面土壌図の作製の技術の開発

耕地には、性状の異なる土壌の上に、種々の生育量のちがう様々の作物が栽培されている。したがって耕地の映像の解析には、土壌と作物を正確に識別することが不可欠である。この識別には、土壌と作物による赤バンドと近赤外バンドの分光反射率との相違を利用して、両バンドの2次元グラフを活用する。著者は、このグラフより土壌だけの情報を抽出するために、土壌指数を導入し、また被覆率の大きい土壌の情報を除去するために生育量指数を導入した。この外に土壌の酸化鉄の情報を抽出するための酸化鉄指数や赤の分光反射率を合わせて、表面土壌図を作製する方法を確立した。

### 表面土壌図の作製

ランドサットのデータを使用し、著者の開発した手法によって北海道の十勝平野の表面土壌図を作製した。この土壌図は、短時間に作製可能であり、既存の精密土壌図と遜色ないものである。

### 火山灰の分布調査

1977年の有珠山噴火によって降下した火山灰の分布を航空機からの情報によって精密に決定することができた。緊急の対策が必要とされるこのような調査で、リモートセンシングの有効性を明らかにした。

### ブラジルのセラードの植生調査

昭和55年よりセラードの農業開発の研究に参加し、交通機関のほとんどない地域でのリモートセンシングによる植生図を作り、農業開発可能地の分布を決定した。

### 作物の生育・収量の予測

生育指数を利用して、リモートセンシングによる作物の生産・収量を予測する技術を確立し、これを北海道におけるテンサイに適用した。

以上のように、著者はリモートセンシングによる農業利用の方法を独自に開発し、土壌図の作製だけでなく、各方面への応用価値が大きいことを明らかにした。以上の業績は、農学博士の称号を授与するに値するものと判定した。