

金沢工業大学 正会員 鹿 田 正 昭

金沢工業大学 羽 場 保 弘

金沢工業大学 正会員 宮 北 啓

1. はじめに

航空機などに搭載されるMSS（マルチ・スペクトル・スキャナ）により得られるデータは、広範囲にわたる地表のスペクトルデータを、短時間・安価に収集できることが大きな特徴である。しかし、これらのMSSデータには、光学的粗平面による視角特性、大気効果、幾何ひずみなどが不可避免的に含まれる。これらのひずみの中でも、視角特性による角度効果は対象物のほとんどが光学的粗平面であるにもかかわらず、十分な研究がなされていない。諸外国では、穀物類をとりあげ、これをモデル化することによって、等価反射率を推測する試みがなされている。^{1), 2), 3)}しかし、これらのモデルでは、水田のような粗平面物体を表現することは困難である。本研究では、新しいモデルを提案し、穀物類ここでは特に水田を葉の単位で表現することにより、過去のモデルの問題点の改良をおこない、対象物体が各生育段階において、複雑に変化するようすを忠実に表現し、計算機によって視角特性による反射率特性を推測しようとするものである。

2. モデルの概要

水田は稲株、土壌、水からなると考えられる。まず、稲株は各生育段階において草丈、葉数が変化し、その葉は、先端へいくにしたがって葉巾が細くなり外側へのびている。今、この1枚の葉を図1(a)に示すように、同じ葉巾をもった長方形の短い葉が折れ曲って接続することで近似表現する。この短い長方形の葉を葉素と呼ぶ。1株は図1(b)に示すように、この葉を同心円上にならべ、中心からみて、方射状に重ならないようにずらして配置する。水田の稲は、このようにして構成される株を図1(c)に示すように、等うねおよび等株間隔で配置することにより表現できる。これらの稲を決定するパラメータを総称して形状パラメータと呼ぶ。一方、水田の背景である水および土壌は、水平方向に均一に分布するとし、更に水と土壌を別個に扱わず、冠水した土壌をランベルト面を有する一体系として考え、その反射率のみで表現するものとする。

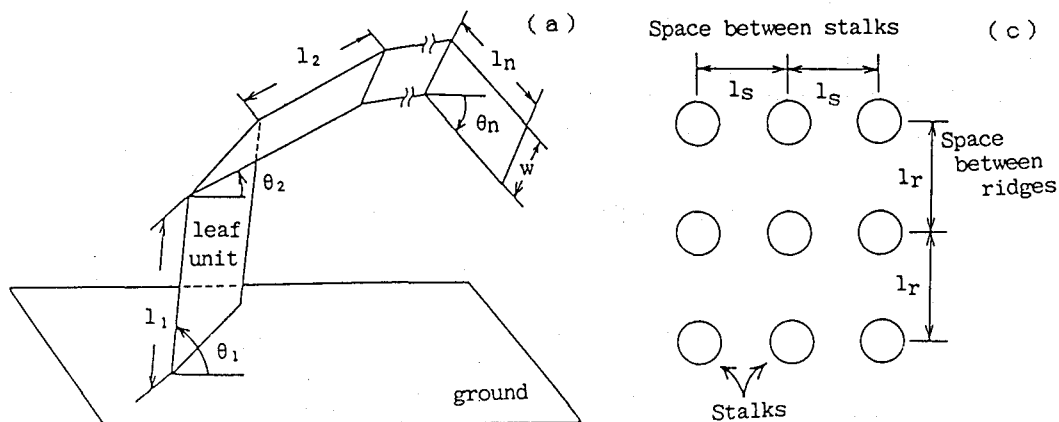


図1 水田モデルの概要

3. 等価反射率モデルの理論

図2に示すように、ディテクタの地表の視野 S_v を N 個の微小面積 ΔS_{gi} ($i = 1, 2, 3 \dots N$) に分割する。今ディテクタが地表の i 番目の微小面積 ΔS_{gi} をみているとし、その方向からディテクタに入射する微小光束を $\Delta \phi_i$ とすれば、 $\Delta \phi_i$ は ΔS_{gi} とディテクタの間に葉素がある時、ディテクタに最も近い葉素の微小面積 ΔS_{li} からの入射光束であり、ディテクタが ΔS_{gi} を直接みるときは、地表の ΔS_{gi} からの入射光束である。図2において、太陽の天頂角を μ_{gs} 、ディテクタの観測角を μ_{gd} 、 ΔS_{li} の法線と太陽のなす角を μ_{lsi} 、ディテクタとの角を μ_{ldi} 、また F_0 を太陽光に垂直な単位面積に入射する光束を表わすものとし、ディテクタの受光面積を S_d 、ディテクタと地上の距離を l とすると、 $\Delta \phi_i$ は近似的に

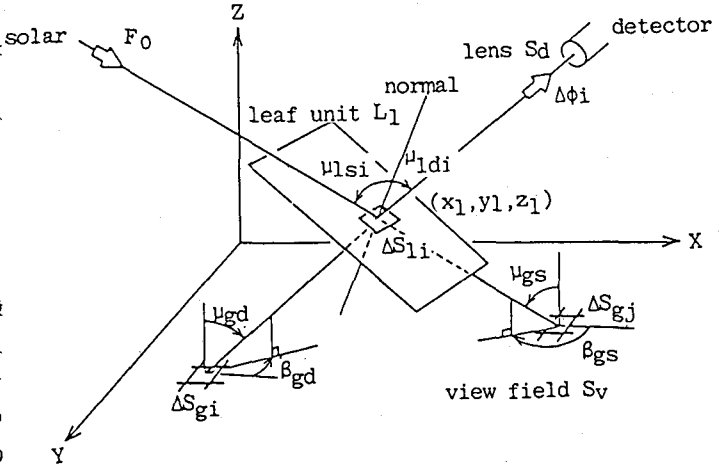


図2 観測系の略図

$$\Delta \phi_i = \begin{cases} Y_{10} \cdot F_0 \cdot \cos \mu_{lsi} \cdot (\Delta S_{li} \cdot \cos \mu_{ldi}) \cdot (S_d / l^2) & \text{陽のあたる葉の表} \\ Y_{11} \cdot F_0 \cdot \cos \mu_{lsi} \cdot (\Delta S_{li} \cdot \cos \mu_{ldi}) \cdot (S_d / l^2) & \text{陽のあたる葉の裏} \\ Y_{12} \cdot F_0 \cdot \cos \mu_{gs} \cdot (\Delta S_{li} \cdot \cos \mu_{ldi}) \cdot (S_d / l^2) & \text{陰の葉の表} \\ Y_{13} \cdot F_0 \cdot \cos \mu_{gs} \cdot (\Delta S_{li} \cdot \cos \mu_{ldi}) \cdot (S_d / l^2) & \text{陰の葉の裏} \\ Y_{g0} \cdot F_0 \cdot \cos \mu_{gs} \cdot (\Delta S_{gi} \cdot \cos \mu_{gd}) \cdot (S_d / l^2) & \text{陽のあたる地面} \\ Y_{g1} \cdot F_0 \cdot \cos \mu_{gs} \cdot (\Delta S_{gi} \cdot \cos \mu_{gd}) \cdot (S_d / l^2) & \text{陰の地面} \end{cases} \quad (1)$$

ここで Y_{10} Y_{11} Y_{12} および Y_{13} は葉の真性の反射率、陽のあたっている葉の透過率および陰になっている葉の表および裏のみかけの反射率である。また、同様に Y_{g0} および Y_{g1} はそれぞれ陽のあたっている冠水土壤の反射率および陰になっている冠水土壤のみかけの反射率である。さらに表、裏という表現は、葉の慣用的な表裏を意味するのではなく、葉素が太陽とディテクタに対して同一の面を向けている場合を表といい、そうでない場合を裏と表現する。この時、視野 S_v からディテクタへの総入射光束 ϕ_t は (2) 式により表わされる。視野の等価反射率を Y_{eq} とすると Y_{eq} はディテクタへの総入射光束 ϕ_t と反射率が1の物体からの入射光束との比で表わされ、反射率が1の標準反射板からの光束を ϕ_s とすると、

$$\phi_t = \sum_{i=1}^N \Delta \phi_i \quad (2) \quad \phi_s = F_0 \cdot \cos \mu_{gs} \cdot (S_v \cdot \cos \mu_{gd}) \cdot (S_d / l^2) \quad (3)$$

$$Y_{eq} = \phi_t / \phi_s \quad (4) \quad \Delta S_{li} \cdot \cos \mu_{ldi} = \Delta S_{gi} \cdot \cos \mu_{gd} \quad (5)$$

ϕ_s は(3)式により表わされるから、等価反射率は(4)式によって表わされる。(1)、(2)、(3)式と(5)式の関係から、(4)式は

$$\gamma_{eq} = \gamma_{10} \sum_{i \in I} \Delta S_{gi} \cdot \cos \mu_{lsi} + \gamma_{11} \sum_{j \in J} \Delta S_{gj} \cdot \cos \mu_{lsj} + \gamma_{12} \cdot \cos \mu_{gs} \sum_{k \in K} \Delta S_{gk} \quad \text{--- (6)}$$

$$+ \gamma_{13} \cdot \cos \mu_{gs} \sum_{l \in L} \Delta S_{gl} + \gamma_{g0} \cdot \cos \mu_{gs} \sum_{m \in M} \Delta S_{gm} + \gamma_{g1} \cdot \cos \mu_{gs} \sum_{n \in N} \Delta S_{gn} / (S_v \cdot \cos \mu_{gs})$$

と書くことができる。ただし、 Σ 下のI, J, KおよびLは、それぞれ陽のあたる葉の表裏および陰の葉の表裏になっている葉素上の微小面積 ΔS_l に対応する地表の微小面積 ΔS_g の番号の集合である。また、MおよびNはそれぞれディテクタが直接みている陽のあたる地表および陰の地表の微小面積 ΔS_g の番号の集合であり、これらはそれぞれ(1)式の6つの条件に対応するものである。なお、(1)式における6つの反射率を総称して、反射率パラメータと呼ぶ。

4・システム構成概略と計算手順

本モデル理論を用いて、等価反射率を求めるソフトウェアシステムについて図3に示した。本システムは大別すると4つのブロックからなる。第1ブロックはパラメータ入力部であり、水田に関する形状パラメータ、反射率パラメータおよび太陽とディテクタに関する観測パラメータを入力する。第2ブロックは水田に係するパラメータから水田モデルを作成する。第3ブロックは作成された水田と観測パラメータから、水田の等価反射率を求めるブロックであり、図4に示すようにメッシュ化された水田の各微小面積に関する種々の情報をPTおよびITなるテーブル上に作成し、これを用いて等価反射率を求め出力する。第4ブロックはディテクタからみられる水田の状態をプリンタ出力するルーチンであり、これによって出力された結果の一例を図5に示す。第3および第4ブロックでは、観測パラメータの上、下限とステップ巾により、角度

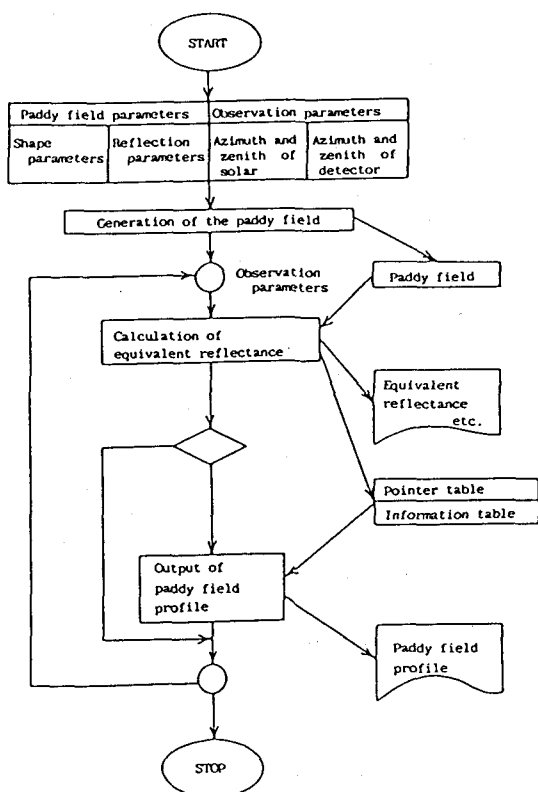


図3 システムフローチャート

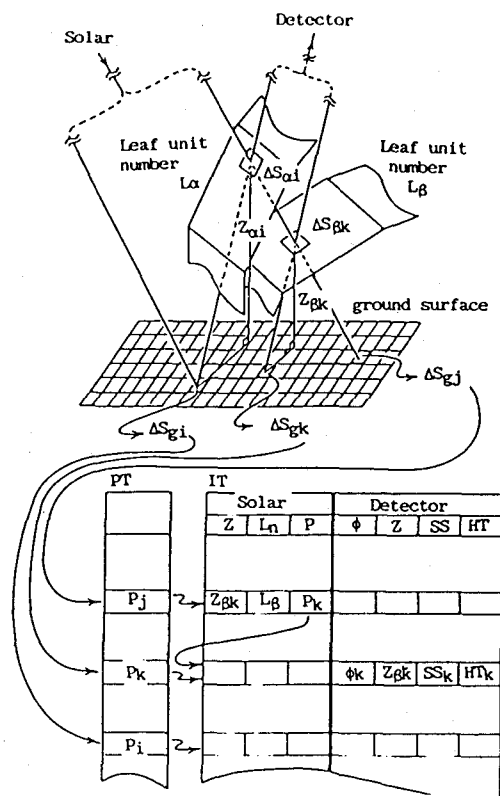


図4 観測系とコンピュータシミュレーションに用いたテーブルの関係

観測あるいは終日観測に対応する結果を容易に求めることができる。反射率算定手順については紙面の都合上講演時に譲る。

5. 計算結果と実験結果の比較

本システムを用いて3種類のパラメータから計算により求められる等価反射率について、実測反射率との比較検討をおこなうため、水田において時系列測定を実施した。実験のために提供された水田に建築用足場を高さ5.4mに組み上げ、頂上部に分光反射計をセットした。足場は南北を向いており、観測する向きは東西方向、水田の株間15cm、うね間30cm、うねの向きは、南67°西である。図6に示した結果は1982年7月22日午前10時と午後2時に波長650nmで測定したものである。図中○印は観測結果を、I印はパラメータを用いて計算機により求められた結果である。計算結果が巾をもつのは、パラメータ測定のばらつきを考慮したためである。

この結果、全般的傾向は良く一致していることが判る。午前には西に向って高く、午後は東に向って高くなる陰の効果が明確にあらわれている。両者の結果が絶対値で部分的に一致しないのは、観測水田内の部分的特異点によるもので、写真撮影によって確認することができた。実際のリモートセンシングでは、視野が更に大きくなるため、このような特異点の問題は是正されると考える。

6. おわりに

本研究はリモートセンシングデータに含まれるひずみのうち、対象物体が水田のような場合、その光学的粗平面により生ずるデータのひずみ、特に角度効果について、新しい等価反射率モデルを導入し、データに含まれると考えられるひずみの実体を明らかにするとともに、実測データとの対比により本モデルの検証をおこなったものである。得られた結果について簡単にまとめると、※視野からディテクタに入る光束は、太陽高度、観測角が変化すると、同一物体であっても視野内の物体の可視面積の比や陰などの変化により、等価反射率は変動する。※地上観測をおこなった日の水田を想定し、計算機シミュレートした等価反射率特性は、地上観測によって得られた反射率特性と良い一致を示した。※従来、MSS観測の際に実施する地上観測は十分な高さで視野を得られないことから精度の高い結果を得ることが困難であり、また大がかりな地上測定は費用や人員の面で問題がある。しかし本モデルによる計算は、用いるパラメータの測定が簡便でかつMSS観測とのきびしい同時性が要求されず、種々の等価反射率を計算機シミュレートにより求めることができる。などの点が挙げられる。

(参考文献)

- 1) W.A.Allen Interaction of Light with a Plant Canopy;Journal of the Optical Society of America,Vol.58,No.8,1968,pp.1023-1028.
- 2) G.H.Suits The Calculation of the Directional Reflectance of a Vegetative Canopy; Remote Sensing of Environment,1972,pp.117-125.
- 3) A.J.Richardson Plant,Soil and Shadow Reflectance Components of Row Crops; Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,Vol.41,No.11,1975,pp.1401-1407.

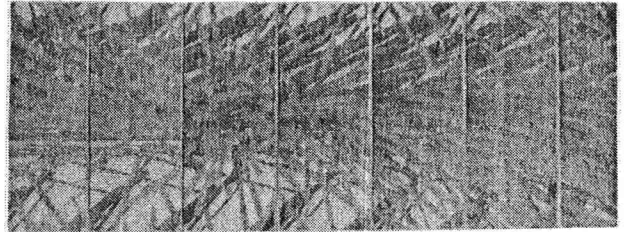


図5 プリント出力の一例

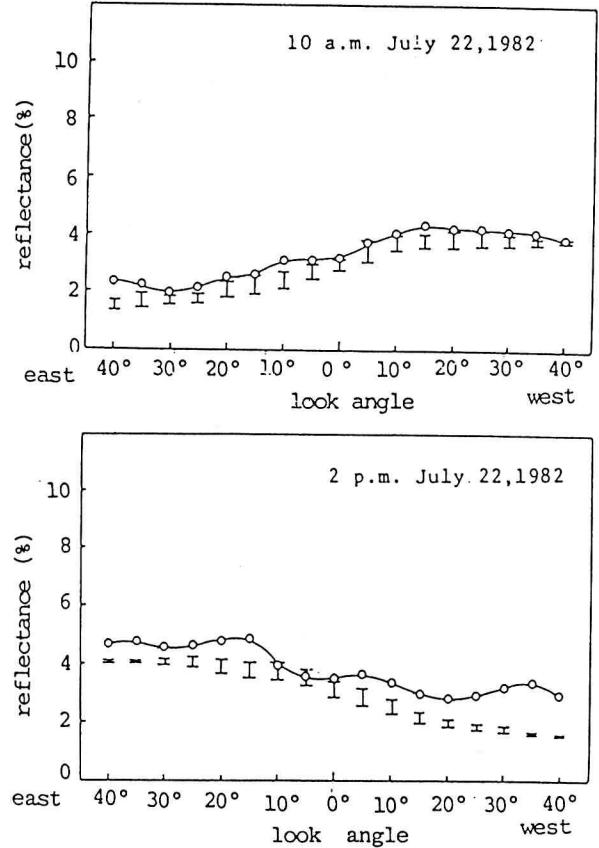


図6 観測結果およびシミュレーション結果の比較

図6 観測結果およびシミュレーション結果の比較