シミュレーションモデルによる水田の等価反射率の推定 —航空機 MSS データを用いて—

A Study on the Estimation of Equivalent Reflectance in the Paddy Field by the Simulation Model —For Airborne MSS Data—

鹿田 正昭*, 宮北 啓*, 羽場 保弘**

Masaaki SHIKADA*, Kei MIYAKITA*, Yasuhiro HABA**

Abstract: There are some distortions in the remotely sensed imageries obtained by the airborne MSS. They are the angular effects caused mainly by the rough surface in the optical sense, the atmospheric effects, system distortions and other variables.

CCT data for analysis inevitably contain the multiplicative noise and additional ones. However it is almost impossible to obtain theoretically these noises by using the reference data, because some of these parameters are unknown or uncertain.

It is generally considered as the experimental method that the separation of the noise from signature is achieved by using the appropriate relationship between CCT data and ground surface reflectance measured exactly.

The powerful reflection model, called the Equivalent Reflection Model, has been developed by us for the purpose of obtaining the precise rough surface reflectance in consideration of look angle, sun azimuth, sun zenith and other factors. This model enable us to get rid of complicated and tiresome observations.

In this paper, the first order approximation formula is adopted for the relationship between CCT data and computed reflectance.

As the result, we have been able to estimate the multiplicative noise coefficient and additional noise constant contained in the formula mentioned above. Moreover it has become clear that the reflectance values actually obtained from CCT data show good agreement with the computed reflectance.

The multiplicative noise coefficient and additional noise constant can be estimated only by using both the CCT data and the exact ground surface reflectance.

From the result described above, we may conclude that the CCT data can be converted into the reflectance by using the simple first order approximation formula relating CCT data to computed reflectance.

1. 緒 論

航空機などに積載した MSS で収集するデータの利点は、観測日時、高度、コースなどが必要に応じて自由に選択でき、また広い範囲の状況を同時に高エネルギーで組織的に調べられることである。

MSS で収集されたデータの持つ情報は、広領域にわたっているが、現状ではそれをそのまま用いることにより、地表面の分類、判読に利用しているにすぎない。

本論文は、ユーザーが入手する CCT データをシミュレーションモデルにより得られた等価反射率を用いて変換をおこない航空機 MSS データから水田の反射率を推定する方法を論じたものである。

周知のように、地上で反射率を測定する場合、観測時間、観測方向、視野内の地物の状況などによりその反射率は複雑に変化する。

著者らの提案したシミュレーションモデルは、これらの諸条件を考慮した上で、水田の等価反射率を求めることを可能にした。

本研究は、シミュレーションモデルにより得られた水田の等価反射率と、MSS により得られた CCT との回帰モデルを作成し、水田の等価反射率特性と CCT データとの関連性を解明したものである。

これにより、水田地帯を観測した CCT データから、水田の時系列変態形態を反射率の次元で分類、評価して表現できることになる。

2. 航空機 MSS データの特徴と変換の方法

2.1 MSS データの変動

航空機リモートセンシングの持ついくつかの利点

* 金沢工業大学 石川県石川郡野々市町扇ヶ丘7-1

** 北陸システム研究所 石川県金沢市泉ヶ丘2-8-7

「写真測量とリモートセンシング」vol.26, 特集号II, 1987

は、逆に観測条件の変化にともなう MSS データの変動が大きくなるという欠点を持っている。

航空機積載の MSS により得られたデータが複雑に変動する主たる原因は、センサーと地上との間に存在する大気による散乱を主とする大気効果、センサーの走査角変化にともなう角度効果、収集した MSS データの CCT への変換の際に加わるハードウェアのシステムひずみなどであることは周知の事実である¹⁾²⁾。

一般ユーザーが解析に供するために入手する CCT データは、個々に独立して付加されるこれらの加法的、乗法的な雑音を含んだ信号をデジタル化したものであり、このカウント値は、地表面物体の分光特性ではない³⁾。

2.2 反射率変換の方法と問題点

目的とする対象物体からの反射成分と他の雑音成分との区別をつけ CCT データを反射率に変換する方法として、観測時の MSS のオペレーション状況、大気の透過率、照明光の放射照度などのレファレンスデータを利用することも考えられるが、これらのパラメータが未知であったり、不確定な場合が多く、理論的に求めることは困難である。

そこで、実験的に CCT データより反射率を求める方法としては、観測域内の地上物体の反射率を飛行と同時に調査し、CCT データと地上反射率の関係を表現する適切な関係式を求め、これにより地上物体からの反射成分と雑音成分を分離することが考えられる。その場合、一般的に考えられる方法は、反射率が既知の対空ターゲットを地上に展開し、MSS データの中に取り込むことである。

しかし、統計的に取り扱える程度の画素数を確保できる対空ターゲットを、毎回地上に展開することは、一般的に不可能である⁴⁾。そこで、これまで多く用いられている方法は、対空ターゲットのかわりに、観測地域内の地上に広範囲に存在する物体を分光放射計などを利用して測定し、そのデータを地上反射率として与える簡易的な方法である⁵⁾⁶⁾。

この方法による問題点は、粗平面である物体を観測すると、観測方向、観測時間により観測視野内の陽陰の面積比率が変化し、同一物体であっても反射率が大きく変動することである。

従って、粗平面である物体を測定するには、これらの条件を考慮した反射率測定をおこなう必要があるこ

とになる。

2.3 反射率変換のための新しい手法

これまでに水田のような穀物類や地表面の状況をモデル化し、反射率変動を推定する方法はいくつか提案されているが、穀物類を矩形あるいは凸凹のような単純な形態で表現するにとどまっており、観測系が変化すると反射率が複雑に変動する粗平面物体を的確に表現するには至っていない^{7)~9)}。

著者らは、以前より水田に対する反射率変動の調査を目的として、数多くの実験をおこなってきた。その結果、水田のような粗平面物体の反射率を求める際、これまで一般的に用いられている簡易型分光放射計を使用して、観測方向や観測時間にほとんど影響されない水田を構成する稲の葉や土など個々の反射率と、物体形状の計測データからコンピュータシミュレーションにより水田の稲株相互の陽陰の変化を含めた観測系の変化にともなう水田の等価的な反射率をそれぞれの観測角に対応して正確に算定する新しい方法について提案できた¹⁰⁾。

この手法によれば、観測角度、太陽高度、太陽方位など観測系の条件を考慮して複雑に変動する水田の等価反射率を求めることができる¹¹⁾。

以上のことから、本研究ではこのようにして得た水田の等価反射率と CCT データを、これまでに多く用いられている一次近似として表現し、水田の地上における反射率に対して乗法的、加法的に付加される CCT データの雑音係数および雑音定数を求めた^{12)~17)}。

この手法により求めた雑音係数および雑音定数は、不確定なパラメータを使用せず、飛行した日時と観測角度を考慮した水田の地上における真の等価反射率と、それに対応する CCT データから求められるものであり、確度の高い地上反射率変換のためのパラメータであるといえる。

3. CCT データと反射率の関係

3.1 一次近似式の仮定

一般に、高い高度にあるセンサーに到達する地上からの電磁波の反射強度は、センサーと地上の間に存在する大気層を通過することにより、また CCT データへの変換の際のゲイン、オフセットの設定およびセン

サー系の応答特性などから、地上における反射強度とかなり異なっている。

今、一つのフライトによって観測された CCT データを $t_{xyk}(\lambda, \tau_k(\lambda))$ とし、大気層などの影響を受けない地上での反射率データを $R_{xy}(\lambda)$ とすると、この両者の関係は多くの場合、

$$t_{xyk}(\lambda, \tau_k(\lambda)) = G_k(\lambda, \tau_k(\lambda)) \cdot R_{xy}(\lambda) + C_k(\lambda, \tau_k(\lambda)) \quad (1)$$
と仮定されている^{12)~17)}。

ここで、 G は乗法的な雑音係数、 C は加法的な雑音定数である。 x, y は地上の座標を、 λ はスペクトルバンドの違いを表し、 k はフライトの違いを表す。

また、 τ_k はフライト k における波長 λ に対応する大気の光学的厚さである。

3.2 従来の地上反射率測定の問題点

(1) 式の $R_{xy}(\lambda)$ を決定するため一般におこなわれている反射率測定は、観測員が目の高さから対象となる物体と反射率が既知の物体を交互に測定し、その比から反射率を求めている。

この場合、MSS センサーの走査角に対応するように、観測角度を変えて測定することが困難であり、さらに太陽高度、太陽方位を考慮して航空機観測と同時に測定をおこない、観測系の変化に対応した正確な反射率を求めることは極めてむずかしい。

これらの問題を解決するには、まず測定する視野を大きく取るようかなり高い位置から観測しなければならない。例えば、水田のような場合、稲株相互の陽陰の状態が水田全域に生じている状態と同程度になるよう捉えるには、視野内に数十株の稲株が入らなければならない。その高さは少なくとも 5 m 以上必要となる。

また、太陽方位、太陽高度を考慮するならば、飛行との同時性を考え航空機データ収集時に短時間に実施しなければならない¹⁸⁾¹⁹⁾。

3.3 CCT データの変換

3.1 節で述べた(1)式における G_k 、 C_k を理論的に求めることは、2.2 節でも述べたように困難である。

そこで(1)式における G_k および C_k を実験的に求めるには、CCT データの t_{xyk} とそのデータに対応した地上での反射率 R_{xy} を 2 点において求めればよい。

しかし、水田のような粗平面物体の R_{xy} をフライトと同時に MSS の走査角との同方向性を考慮し、安定した状態で測定することは、3.2 節で述べたような問

題点があり正確な反射率を求められない。

著者らは、過去において地上における測定機器の観測系の変化による分光反射率の変動を、その対象を水田にしぼり、各種方面から反射強度の変化形態について研究してきた^{20~23)}。その結果、水田が規則性のある粗平面であることに起因して、時間や観測方向が異なると複雑に変動する反射率を、シミュレーションするモデルを提案することができた。このモデルは観測系の条件(太陽方位、太陽高度、観測角など)、水田の稲形状(うね間隔、株間隔、葉数、葉の高さなど)および稲と土壌の基本的な反射率(反射率パラメータ 6 種)を与えることにより、航空機データとの同時性や同方向性を考慮して、水田の地上における反射率がシミュレートできるものである。

このモデルを用いて、フライト日時の水田の反射率を算出し、求められた等価反射率とこれに対応する CCT データから確度の高い(1)式の雑音係数 G_k 、および雑音定数 C_k を求め、水田の CCT データを地上における反射率に変換することを試みた。

4 シミュレーションモデルの原理と応用

4.1 シミュレーションモデルの原理¹⁰⁾

水田の反射率を求めるシミュレーションモデルは等価反射率モデルと称し、その概略フローチャートを図 1 に示す。

このモデルは大別すると 4 つのブロックから構成されている。

第一ブロックは MSS 観測との同時性や同方向性に関係なく得られる稲の形状(葉数、茎数、葉高さ、株巾など)に関する形状パラメータ、従来の反射率測定概念を用いた葉の陽および陰の反射率と透過率、さらにバックグラウンドである土に関する反射率とパラメータを入力する。

このモデルの特徴は、これらの稲株を構成する基本パラメータに加え、航空機 MSS データとの同時性、同方向性を考慮する際重要なファクターとなる太陽とセンサーの位置に関する観測系パラメータを自由に設定できることにある。

第二ブロックは上記パラメータから計算機により擬似水田を作成する。この時、水田に関する各パラメータの初期値を入力すれば、シミュレーターが観測系を考慮してセンサーの視野に入る稲株相互の陽陰の状態

図1 シミュレーションモデルの概略フローチャート

を水田全域に適用できる最小単位の水田を作成する。

第三ブロックは作成された水田の観測系を考慮した等価反射率を求める。シミュレーターは太陽方位、センサーの観測角を考慮し、稲株の葉が他の稲株の葉あるいは地上に作る陽陰の状態を順次求めていく。観測視野内の陽陰の状況は、観測系の変化に加え、生育状況によっても大きく変化するが、第一ブロックで与えられたパラメータをもとに、ある観測条件での陽陰マップとして累積し、最終的には反射率パラメータを用いて稲株が集合した視野全域の等価反射率を求める。

第四ブロックは入力データおよび計算結果を出力する。

4.2 シミュレーションモデルの検証

モデルを用いてシミュレーションより求めた等価反射率について、実測した地上反射率との比較検討をおこなうため、水田において反射率の現場測定をおこなった。

実験装置は図2に示すもので、高さが5.4mある。頂上部に簡易型の分光放射計を2台取り付け、1台は反射率が既知の反射板を、他の1台が水田を観測し、両者の比から反射率を求めた。

図3(a), (b), (c)はシミュレーションより求めた等価反射率を示し、図4(a), (b), (c)は実験より得られた実測反射率を示す。

図2 測定用装置の概略図

粗平面物体である水田を観測時間を変えて測定すると、図4のように反射率が変動していることがわかる。図3に示すシミュレーションより得られた等価反射率は、これらの観測との同時性、同方向性を考慮して計算されたものであり、観測用水田の特異箇所（稲のふぞろいや施肥の不均一による葉色の変化など）を除けば、反射率の絶対値および定性的な変化傾向において、ほとんどのデータが矛盾することなく算出されていることがわかる。

以上のことからモデルは、3.2節で述べた反射率測定の問題点を解決し、任意の飛行データに対して水田の等価反射率を求めることを可能にした。

4.3 シミュレーションの応用

今、ある日時に任意の飛行方向でMSS観測をおこなうとする。その際、実験的にCCTデータと地上反射率との間の関係を求めようとするならば、2.2節で述べたような地上調査をおこなう必要があるが、毎回の観測時にこれを実施することは實際上困難である。

著者らの提案したモデルは、このような地上調査を実施することなく、地上に存在する水田の反射率を飛行日時および飛行方向を考慮して求めることができる。

図3 シミュレーションによる等価反射率の角度変化(650nm)

図4 実測による反射率の角度変化(650nm)

モデルを用いて地上反射率を算定した日時は表1に示したMSS観測日時である。また、その他のMSS観測の際の諸元は、同じく表1に示す通りである。

モデルに用いた水田の形状パラメータおよび稲と土の基本反射率パラメータは1982年から1986年の間、毎年数週間おきに測定したデータから、飛行日に最も近い日（稲の育成状態が近似しているため）に測定したデータを用いた。

表2はモデルによって計算された水田の等価反射率の観測角変化による反射率変動を示したものである。また、図5、図6、図7は観測角変化にともなう反射率の変動をみるため、横軸に観測角度、縦軸に反射率をとり表2を図示したものである。

図より、観測時間あるいは観測角度を考慮して計算した等価反射率は、現場測定より得られた反射率と同様に、観測系の条件により各波長の反射率データが変動していることがわかる。

5. G_k , C_k の算出とその評価

5.1 走査角変化に伴うCCTデータの変動

表1に示した3本のデータは、金沢近郊の水田地帯を総延長10km~20kmにわたり観測したものであり、飛行時の飛行記録によれば、視界および飛行状態は良好であった。

航空機に積載されたMSSの走査角度は約90度あ

表1 解析に用いた航空機 MSS データ

飛行 No.	飛行日時	飛行時刻	飛行高度 (フィート)	飛行方向 (度)	太陽方位 (度)	太陽天頂角 (度)	観測対象域
1	1978.7.30	11:09	3,700	SSW30°	S 40 E	22.2	金沢一鶴来
2	1978.7.30	12:01	11,200	SSW30°	S	15.6	金 沢
3	1979.8.31	15:29	10,200	NNE20°	S 74 W	55.6	金 沢

表2 シミュレーションモデルにより求めた等価反射率(%)

シミュレーション No.	シミュレーション 日 時	波 長 (nm)	観 測 角 度								
			40	30	20	10	0	10	20	30	40
1	1978年 7月30日 11:00	450	2.69	2.46	2.22	2.06	2.28	2.68	2.82	2.98	3.04
		550	7.20	6.72	6.19	5.90	6.64	7.89	8.37	8.96	9.17
		650	2.52	2.58	2.66	3.09	3.98	4.98	5.27	5.53	5.57
2	1978年 7月30日 12:00	450	1.63	1.73	1.92	2.29	3.27	3.60	3.66	3.75	3.64
		550	5.99	5.94	6.10	6.61	10.04	9.84	10.18	10.63	10.43
		650	3.02	3.15	3.45	4.03	5.85	6.33	6.49	6.70	6.52
3	1979年 8月31日 15:30	450	2.29	2.10	1.87	1.52	1.23	1.08	1.05	1.01	0.99
		550	6.98	6.52	6.05	5.35	5.28	5.86	5.71	6.13	6.37
		650	3.38	3.29	3.07	3.02	2.35	1.96	1.93	1.96	2.05

図5 水田の等価反射率の角度変化

図7 水田の等価反射率の角度変化

図6 水田の等価反射率の角度変化

り、A/D変換されたデジタルデータ(CCT)の1走査線の構成画素数は803画素である。

モデルを用いて計算をおこなった波長帯が450nm, 550nm, 650nmであることから CCT データの11チャンネルのうち、チャンネル3 (450nm~500nm), 5 (550nm~600nm), 7 (650nm~690nm)を選び、観測角変化にともなう CCT カウント値の変動を調べた。

観測時に撮影した航空写真から、観測地域内には一部を除き広い範囲にわたり水田が散在していたため、とりあえず CCT カウント値の走査角に対応する変動調査は、水田以外の地域を含む全域を対象とした。

表3 観測角に対応する CCT データ(最大頻度データ)

飛行 No.	飛行日時	バンド	観 測 角 度								
			40	30	20	10	0	10	20	30	40
1	1978年 7 月30日 11：00	3	(39)	(39)	43	43	47	51	54	51	51
		5	(59)	(53)	60	62	67	79	84	87	78
		7	(59)	(57)	65	66	69	77	80	77	77
2	1978年 7 月30日 12：00	3	39	39	46	51	53	(53)	(51)	(51)	(51)
		5	47	48	66	71	82	(77)	(75)	(72)	(73)
		7	40	43	50	59	63	(64)	(59)	(59)	(59)
3	1979年 8 月31日 15：30	3	124	110	100	95	94	(93)	(77)	(80)	(84)
		5	107	98	89	83	84	(84)	(51)	(51)	(54)
		7	82	75	71	66	65	(67)	(43)	(43)	(43)

( ) で示すデータは水田以外の地域

対象地域のほとんどが水田であるため、各画素列(各画素の飛行方向に対するならびを、画素列と呼ぶことにする)において最大頻度を示す CCT カウント値が、水田からの放射エネルギーに対応するものと近似できる。従って、各画素列毎の CCT カウント値の頻度分布からその最高頻度を示す値を求めた。

表3は、このようにして求めた画素列データのうち、走査角度が鉛直真下に対して左右40度まで10度間隔の位置での画素列の最大頻度を示した CCT カウント値である。但し、表3中( )で示すデータは、上記にも述べたように観測地域内の一部に混在する水田以外の対象物を多く含んでいることが航空写真と簡単な画像分類から確認されたデータである。

図8～図10は表3を図示したものである。横軸は走査角度を、縦軸は CCT カウントを表す。図中黒ぬきのシンボルで表した点は水田以外と考えられる地域であり、表3中の( )で示したデータと対応している。

図より粗平面物体である水田からの放射エネルギーは、水田地域においては、観測系の変化によってシミュレーションより得られた変動と同様の傾向を示していることがわかる。

5.2 G_k , C_k の算出

CCT データを t_{xy} としシミュレーションで求めた反射率を R_{xy} とする。CCT データと反射率の関係が(1)式で仮定されるならば、各フライトにおけるいくつかの波長の、 t_{xy} と R_{xy} について2組のデータが得られれば、雑音係数 G_k 、雑音定数 C_k を決定することができ

図8 CCT データの角度変化による変動

図9 CCT データの角度変化による変動

る。本研究では、一部に水田以外の対象物も含む画素列の頻度分布の中から、その最高頻度を示す値を水田からの放射エネルギーと近似したため、できるだけ多

図10 CCT データの角度変化による変動

くの測定点のデータを利用して最小二乗法によりこれらの G_k , C_k を決定することにした。

そこで、3つの波長のそれぞれの観測角に対応する t_{xy} と R_{xy} を用いてこれらの G_k , C_k を求めた。

表4は、表2のデータを R_{xy} 、表3のデータを t_{xy} とおき、各フライトごとの G_k , C_k を求めたものである。但し、表3に( )で示したデータは、一部に水田以外の対象物を含んでおり、水田としては信頼度が低いので、その角度に関する R_{xy} , t_{xy} は計算には用いていない。

5.3 G_k , C_k の評価

表4から、各フライトに対する加法的な雑音定数 C_k と乗法的な雑音係数 G_k はいずれも波長帯により異なる値を示した。

このことから、既に明らかにされているように、CCT データに含まれる雑音成分は1つのフライトの各チャンネルにおいて同等に付加されず、かつ観測時の大気の状態、地表面の状況、システム系の設定パラ

表4 雑音係数 G , 雑音定数 C

飛行 No.	飛行日時	G_λ			C_λ		
		G_3	G_5	G_7	C_3	C_5	C_7
1	1978.7.30 11:09	11.2	0.45	4.94	-19.6	-17.5	-50.8
2	1978.7.30 12:01	8.68	6.63	7.34	-26.8	-16.7	-22.0
3	1979.8.31 15:29	20.0	12.2	16.6	-69.0	-18.4	-21.3

メータなどによりフライト毎に変動していることが本手法によっても確認できた。

求められた G_k , C_k から(1)式の仮定を用いて CCT データを反射率へ変換すれば、航空機により得られたデータを、地表面反射率で評価でき、異なる時間、時期に得たデータの比較検討が可能となる。

ここで、得られた雑音係数、雑音定数の妥当性を検証するため(1)式の仮定から G_k , C_k を用いて CCT データを反射率へ変換した値とモデルから求めた等価反射率の比較をおこなった。

この手法では水田地域の CCT データと、その CCT データ取得日時に対応する地上の水田の反射率をシミュレーションより求め、両者の関係を(1)式として仮定し、その相関関係を求めている。(1)式の仮定で CCT データとシミュレーションデータから統計的に算定する G_k , C_k が、CCT データに含まれる雑音係数と雑音定数を的確に表現していないならば、水田地域の CCT データを G_k , C_k を用いて変換した反射率とシミュレーションにより求めた等価反射率は一致しないが、表5はこの仮定から求めた G_k , C_k を用いて算出した反射率を比較したものであり、水田地域についてはきわめて良く一致していることがわかる。

つまり、モデルを用いた等価反射率が観測時期や観測系を考慮した地上における水田の反射率を適切に表現し、(1)式の仮定から地表面反射率に複合して加わる雑音成分を雑音係数および雑音定数として分離できることを示したといえる。

6. 結 論

本研究の手順および結論を要約すれば以下の通りである。

1. CCT データは地表面からの反射成分以外に大気効果や角度効果などの雑音成分を含んでおり、これらの雑音成分を除去し、地上反射率に変換する必要がある。

2. 本研究では、地表面反射率に複合して加わる雑音を、雑音係数と雑音定数で表される成分に分け、CCT データと地表面反射率の関係を(1)式として表した。

3. (1)式を用いて地上反射率を求めるためには、観測条件を考慮した正確な地上反射率を求める必要がある。このため著者らは粗平面物体に対して任意の観測

表5 モデルによる反射率と CCT 変換反射率の比較(%)

飛行 No.	飛行日時	波 長 帯	観 測 角 度								
			40	30	20	10	0	10	20	30	40
1	1978年 7月30日 11:00	モデル 450nm	(2.69)	(2.46)	2.22	2.06	2.28	2.68	2.82	2.98	3.04
		CCT→反射率 3	(1.73)	(1.73)	2.09	2.09	2.45	2.80	3.07	2.80	2.80
		モデル 550nm	(7.20)	(6.72)	6.19	5.90	6.64	7.89	8.32	8.96	9.17
		CCT→反射率 5	(5.57)	(4.77)	5.70	5.97	6.64	8.26	8.93	9.33	8.12
		モデル 650nm	(2.52)	(2.58)	2.66	3.09	3.98	4.98	5.27	5.53	5.57
		CCT→反射率 7	(1.66)	(1.25)	2.87	3.08	3.68	5.30	5.91	5.30	5.30
2	1978年 7月30日 12:00	モデル 450nm	1.63	1.73	1.92	2.29	3.27	(3.60)	(3.66)	(3.75)	(3.64)
		CCT→反射率 3	1.40	1.40	2.21	2.79	3.02	(3.02)	(2.79)	(2.79)	(2.79)
		モデル 550nm	5.99	5.94	6.10	6.61	1.10	(9.84)	(10.2)	(10.6)	(10.4)
		CCT→反射率 5	4.57	4.72	7.44	8.19	9.85	(9.10)	(8.79)	(8.34)	(8.49)
		モデル 650nm	3.02	3.15	3.45	4.03	5.85	(6.33)	(6.49)	(6.70)	(6.52)
		CCT→反射率 7	2.45	2.86	3.81	5.04	5.59	(5.75)	(5.04)	(5.04)	(5.04)
3	1979年 8月31日 15:30	モデル 450nm	2.29	2.10	1.87	1.52	1.23	(1.08)	(1.05)	(1.01)	(0.99)
		CCT→反射率 3	2.75	2.05	1.55	1.30	1.25	(1.20)	(0.40)	(0.55)	(0.75)
		モデル 550nm	6.98	6.52	6.05	5.35	5.28	(5.86)	(5.71)	(6.13)	(6.37)
		CCT→反射率 5	7.26	6.52	5.79	5.29	5.37	(5.37)	(2.67)	(2.67)	(2.92)
		モデル 650nm	3.38	3.29	3.07	3.02	2.35	(1.96)	(1.93)	(1.96)	(2.05)
		CCT→反射率 7	3.66	3.23	2.99	2.69	2.63	(2.75)	(1.31)	(1.31)	(1.31)

( ) で示すデータは水田以外の地域

日時、観測方向で反射率を計算できるモデルを提案した。このモデルを用いて計算した等価反射率と、実測反射率は良い一致を示していることを確認している。

提案したモデルによって得られた等価反射率と CCT データの相関関係を用いて(1)式の雑音係数と雑音定数を求めた。

4. 得られた雑音定数と雑音係数を用いて、全スキャンアングルに対し CCT データから地上反射率を求めた。その結果、モデルにより得られた等価反射率と良い一致を示した。

5. 本研究において、地上反射率を求めるためのシミュレーションモデルは、モデルを稼働するために必要である基本的な野外測定パラメータが、従来の地上観測に比べて容易に実施できる。

本研究により、シミュレーションモデルから、異なる時期、異なる時間に得られた水田地帯の MSS データを正確な地上反射率へ変換することが可能になり、その有用性が確認された。

謝辞

現場測定にあたりご協力いただいた石川県立松任農業高校の芝田克彦先生ならびに水田管理の方々に対し深謝の意を表します。また、現場測定ならびにシミュレーションにあたって協力してくれた金沢工業大学土木工学科卒業研究生に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 日本国土海洋総合学術診断委員会：昭和52年度事業報告書，36/45 日本造船振興財団，(1978)
- 2) 鹿田，宮北：観測系の変化による水田の反射率変動について，日本写真測量学会秋季学術講演会，23/26，(1985)
- 3) 和達他：リモートセンシング，朝倉書店，(1976)
- 4) 安田他：航空機による MSS データの質の測定，第6回リモートセンシングシンポジウム，39/42，(1980)
- 5) 横山，飯島：リモートセンシング観測における表

- 面実測地点数について, 第7回リモートセンシングシンポジウム, 107/108, (1981)
- 6) 横山: MSS データと地上実測データとの対応, 第4回リモートセンシングシンポジウム, 75/76, (1978)
  - 7) G.H. Suits: The Calculation of the Directional Reflectance of a Vegetative Canopy, Remote Sensing of Environment 2, 117/125, (1972)
  - 8) A.J. Richardson, et al.: Plant, Soil, and Shadow Reflectance Components of Row Crops, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 41-11 1401/1407, (1975)
  - 9) 斉藤他: 航空機 MSS データに含まれる走査方向でのノイズ成分の除去について, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 7 No. 1, 5/13, (1987)
  - 10) 羽場, 鹿田, 宮北: 等価反射率モデルを用いた水田のリモートセンシングデータの解析, 計測自動制御学会論文集, Vol. 20, No. 5, 53/60, (1984)
  - 11) 鹿田, 羽場, 宮北, 芝田: 新しい反射モデルを用いた穀物類の視角特性について, 第9回リモートセンシングシンポジウム, 213/216, (1983)
  - 12) 安田他: 航空機 MSS データの正規化, 日本写真測量学会秋季学術講演会, 1/4, (1977)
  - 13) 大嶋他: 航空機 MSS データによる分光反射率の算定について, 日本写真測量学会年次学術講演会, 1/6, (1978)
  - 14) 江森他: MSS における大気効果の除去, 日本写真測量学会年次学術講演会, 45/48, (1978)
  - 15) 大嶋他: 航空機 MSS 画像のラジオメトリック補正システム, 第4回リモートセンシングシンポジウム, 51/54, (1978)
  - 16) 浅沼他: 航空機 MSS 画像の前処理とその検討, 第4回リモートセンシングシンポジウム, 47/50, (1978)
  - 17) 竹内他: 航空機 MSS データにおけるラジオメトリック補正効果の検証, 第6回リモートセンシングシンポジウム, 105/106, (1980)
  - 18) 横山: 地上実測データの時刻修正, 第5回リモートセンシングシンポジウム, 73/76, (1979)
  - 19) 横山: グラントルースの役割と問題点, 第10回リモートセンシングシンポジウム, 167/170, (1984)
  - 20) 宮北, 門脇, 鹿田, 芝田: 稲の分光反射率測定における観測条件の検討, 日本写真測量学会秋季学術講演会, 83/86, (1980)
  - 21) 鹿田, 羽場, 宮北: 植生の分光特性に関する観測条件の影響, 第7回リモートセンシングシンポジウム, 109/112, (1981)
  - 22) 宮北, 門脇, 鹿田: リモートセンシングによる地表面同定の諸問題, JAFSA RS REPORT 812015, 223/238 日本造船振興財団, (1981)
  - 23) 宮北, 門脇, 鹿田: MSS による稲の成長調査, 日本写真測量学会学術講演会, 97/100, (1980)