

等価反射率モデルを用いた航空機MSSデータの角度効果・大気効果の推定

金沢工業大学 正会員 ○鹿 田 正 昭
金沢工業大学 正会員 宮 北 啓
北陸システム研究所 羽 場 保 弘

1. はじめに

これまでにリモートセンシングデータに含まれる各種ひずみの補正法について、多くの提案がなされてきた。特に、航空機MSSデータはスキャナーのスキャンアングルが大きいことから、同一物体であっても、走査巾中の航空機直下と端部においては、反射成分が異なっていることが指摘されている。

著者らは「等価反射率モデル」と称し、現地における簡単なパラメータ測定から、計算機シミュレーションにより等価反射率を算出する方法について提案した¹⁾。モデルの対象は、わが国の生活地域にあって大きな面積を占める水田である。

このモデルを用いて算出した反射率は、現地において測定した実験結果と極めて良い一致をすることが確認されている(第8回、第9回当シンポジウムにおいて発表)^{2), 3)}。

本報告は等価反射率モデルを用いて、航空機による水田の観測データについて、モデルシミュレーションをおこない、航空機MSSデータに含まれる角度効果成分、大気効果成分の算出を試みたものある。

2. 航空機MSSデータ

使用した航空機MSSデータは、JSCAN-AT-12Mによって得られたデータである。このMSSの使用チャンネルおよび波長帯を表-1に示す。

解析では、現場測定パラメータのうち、反射率パラメータが $0.45\mu\text{m}$ 、 $0.55\mu\text{m}$ 、 $0.65\mu\text{m}$ の3つの波長を使用したため、これと最も波長帯に近い3. 5. 7 Ch.を用いた。

航空機MSSデータ取得日の飛行条件等について、表-2に示した。これらのデータ取得日は、いずれも快晴かあるいは快晴に近く、フライトログに記された観測条件はいずれも良好であった。

3. 解析手法

航空機の飛行日時に合わせた計算機シミュレーションで用いたパラメータは1983年および1984年に測定したデータである。いずれも飛行日時的前後約1週間程度のデータである。

表-1 MSSのチャンネルと波長帯

チャンネル	波長 (μm)
Ch. 1	0.38 ~ 0.24
Ch. 2	0.42 ~ 0.45
Ch. 3	0.45 ~ 0.50
Ch. 4	0.50 ~ 0.55
Ch. 5	0.55 ~ 0.60
Ch. 6	0.60 ~ 0.65
Ch. 7	0.65 ~ 0.69
Ch. 8	0.70 ~ 0.79
Ch. 9	0.80 ~ 0.89
Ch. 10	0.92 ~ 1.10
Ch. 11	9.5 ~ 12.0

表-2 解析に用いた航空機MSSデータ

データ取得日	飛行開始時間	飛行高度 (ft)	飛行方向	太陽方位 (度)	太陽天頂角 (度)	観測エリア
1977.6.3	8:32	12,800	東0°	南86東	49.2	富山砺波地区
1977.6.3	8:50	12,700	東0°	南81東	39.5	富山砺波地区
1978.7.30	11:09	3,700	南南西30°	南40東	22.2	金沢鶴来地区
1978.7.30	12:01	11,200	南南西30°	南	15.6	金沢地区
1978.8.31	15:29	10,200	北北東20°	南74西	55.6	金沢地区

パラメータは水田の稲の株間隔、うね間隔、葉数、茎数、高さなどであり、1週間程度ではそれほど大きく変化しないと考えられる。また、水田の稲は毎年ほぼ同一時期に植えられているため、航空機データの観測年度の違いは、データ解析においては考慮しなかった。

シミュレーションは航空機のスカナーの走査角に合わせて、鉛直真下を中心に左右40度ずつ10度ステップで実施した。太陽の方位角、天頂角および飛行方向に対応する観測方向は、フライト日時のデータを用いた。シミュレーションにより得られた各波長の等価反射率を表-3に示す。

解析ではシミュレーションをおこなった3つの波長（0.45 μ m, 0.55 μ m, 0.65 μ m）および航空機MSSデータの3つのチャンネル（3Ch, 5Ch, 7Ch）を用いて、それぞれの主成分分析をおこなった。但し、MSSデータは0～255の8ビットで表現されているため、解析の都合上分析後の変換データも0～255の範囲に収まるよう、定数を加減縮小し座標移動をおこなった。また、航空機データでは、水田以外の市街地、山間域は解析より除外した。

主成分分析をおこなうにあたって求めた、シミュレーションデータおよびMSSデータの共分散行列、固有ベクトル、固有値を表-4に示す。

表-4中の寄与率は3成分のうちの第1成分の寄与率を示す。これより、第1主成分ではほぼデータのもつ情報の8割以上を説明していることから、以後第1主成分を用いて解析を進める。

4. 大気成分の推定

シミュレーションデータから求めた第1主成分は、大気効果成分が含まれていないいわゆる角度効果による変動を表している。また、航空機MSSデータの第1主成分は、大気効果成分+角度効果成分であると考ええる。

シミュレーション値、MSSデータ値のいずれも鉛直真下（走査角0度）のデータを基準とする時、大気

表-3 シミュレーションにより求めた等価反射率（%）

日 時	波長nm	走 査 角 度 (度)								
		40	30	20	10	0	10	20	30	40
6月 3日 8時30分	450	5.63	5.69	5.72	5.66	5.56	5.40	5.69	5.77	5.88
	550	8.75	8.70	8.64	8.65	8.47	8.27	8.67	8.63	8.80
	650	4.76	4.82	5.23	5.55	5.43	5.28	5.29	4.86	4.75
6月 3日 9時00分	450	6.14	6.18	6.25	6.30	6.20	6.06	6.31	6.34	6.60
	550	7.69	7.57	7.67	7.83	7.66	7.55	7.80	7.61	7.87
	650	5.05	5.08	5.53	5.90	5.79	5.65	5.65	5.20	5.18
7月30日 11時00分	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	7.79	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
7月30日 12時00分	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	6.10	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
8月31日 15時30分	450	2.79	2.10	1.87	1.53	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	2.05	1.96	1.93	1.96	2.35	3.02	3.07	3.29	3.38

表-4 シミュレーションデータおよび航空機MSSデータの主成分分析に用いた諸数値

日 時	使用 データ	共 分 散 行 列	固 有 ベ ク ト ル	固 有 値		寄与率 (%)
1977 6/3 8:32 12800 (ft)	モデル	[0.016 0.016 -0.018]	(0.25439, 0.34033, -0.90524)	λ_1	0.101	81
		[0.016 0.023 -0.025]	(-0.59716, -0.68100, -0.42384)	λ_2	0.021	
		[-0.018 -0.025 0.087]	(-0.76071, 0.64839, 0.02999)	λ_3	0.003	
	MSS	[368.4 292.0 428.9]	(0.43224, 0.47246, 0.76808)	λ_1	1449.8	91
		[292.0 339.6 518.5]	(-0.87101, -0.00180, 0.49126)	λ_2	127.2	
		[428.9 518.5 889.5]	(0.23348, -0.88135, 0.41074)	λ_3	20.6	
1977 6/3 8:50 12700 (ft)	モデル	[0.021 0.012 -0.007]	(0.08326, -0.07257, -0.99388)	λ_1	0.094	75
		[0.012 0.012 0.007]	(0.81593, 0.57756, 0.02618)	λ_2	0.029	
		[-0.007 0.007 0.093]	(0.57213, -0.81311, 0.10730)	λ_3	0.003	
	MSS	[216.8 144.7 181.1]	(0.50693, 0.52519, 0.68352)	λ_1	611.3	86
		[144.7 185.2 219.9]	(-0.85878, 0.23939, 0.45297)	λ_2	81.1	
		[181.1 219.9 307.7]	(0.07427, -0.81662, 0.57238)	λ_3	17.6	
1978 7/30 11:09 3700 (ft)	モデル	[0.106 0.359 0.303]	(0.17253, 0.65641, 0.73441)	λ_1	2.762	93
		[0.359 1.281 1.239]	(-0.33643, -0.66148, 0.67026)	λ_2	0.208	
		[0.303 1.239 1.583]	(0.92577, -0.36272, 0.10671)	λ_3	0	
	MSS	[469.3 600.6 639.5]	(0.43882, 0.61496, 0.65518)	λ_1	2263.9	97
		[600.6 879.1 897.9]	(-0.89793, 0.27253, 0.34561)	λ_2	40.9	
		[639.5 897.9 993.0]	(0.03398, -0.73996, 0.67179)	λ_3	36.2	
1978 7/30 12:01 11200 (ft)	モデル	[0.751 1.742 1.309]	(0.32244, 0.76069, 0.56337)	λ_1	7.148	99
		[1.742 4.152 3.048]	(-0.45276, 0.64660, -0.61394)	λ_2	0.038	
		[1.309 3.048 2.283]	(-0.83129, -0.05711, 0.55290)	λ_3	0	
	MSS	[548.3 609.7 662.1]	(0.49428, 0.58944, 0.63894)	λ_1	2131.2	97
		[609.7 756.1 796.9]	(-0.86784, 0.37718, 0.32340)	λ_2	36.7	
		[662.1 796.9 883.8]	(-0.05037, -0.71435, 0.69798)	λ_3	20.4	
1978 8/31 15:29 10200 (ft)	モデル	[0.229 0.138 -0.239]	(0.63154, 0.32491, -0.70398)	λ_1	0.566	67
		[0.138 0.270 -0.013]	(0.09174, 0.87027, 0.48395)	λ_2	0.277	
		[-0.239 -0.013 0.346]	(0.76989, -0.37022, 0.51981)	λ_3	0.001	
	MSS	[443.7 434.3 406.4]	(0.51891, 0.62588, 0.58225)	λ_1	1423.6	91
		[434.3 598.3 500.2]	(-0.85154, 0.43815, 0.28792)	λ_2	82.8	
		[406.4 500.2 523.8]	(-0.07491, -0.64521, 0.76032)	λ_3	59.3	

の光学的厚さが走査角40度まではば一定と近似的に仮定することができるので⁴⁾ シミュレーションより求まった角度変化による等価反射率の変化割合とMSSデータの走査角変化によるカウントレベルの変化割合は等しい。今、MSS走査角0度の値を M_0 、各走査角の値を M_n 、シミュレーションによる観測角0度の値を S_0 、各走査角の値を S_n とするならば

$$\sum \left(\frac{S_n}{S_0} - \frac{M_n - N}{M_0 - N} \right)^2$$

が最小となる N の値が大気効果成分であると考えられる。

このようにして得られた大気効果成分 N と航空機MSSデータの第1主成分を表-5に示した。即ち、1977年6月3日8:32分 12800ftのフライトデータにおいて、走査角0度におけるMSS第1主成分95のうち79は大気効果成分であり、両者の差16が角度効果成分であると考えられる。

この第1主成分と固有ベクトル行列の逆マトリックスを用いて、大気効果成分の逆変換をおこない、各チャンネルのMSSカウントレベルの大気効果成分を求めたものを表-6に示した。但し、主成分を求める際と同様に逆変換では、主成分の加減縮小の逆操作による座標移動をおこない、MSSカウントレベルを求めた。

表-6中で、「全MSSカウント」（上段）は各走査角の水田の全カウントレベル（走査角方向10ピクセル×ライン数の平均）であり「大気成分」は上述の方法によって求めた大気効果成分である。

更に「角度成分」は全MSSカウントレベル－大気成分による水田のMSSカウントレベルである。

表-5 第1主成分の大気成分と反射成分

飛行日時	主成分分析値	走 査 角 度 (度)								
		40	30	20	10	0	10	20	30	40
1977. 6/3 8:32 12800 ft	第1主成分	111	104	99	96	95	97	98	--	--
	大気成分	79								
	反射成分	32	25	20	17	16	18	19	--	--
1977. 6/3 8:50 12700 ft	第1主成分	65	68	65	67	65	63	65	66	68
	大気成分	31								
	反射成分	34	37	34	36	34	32	34	35	37
1978. 7/30 11:09 3700 ft	第1主成分	58	59	55	69	62	75	81	78	72
	大気成分	8								
	反射成分	50	51	47	61	54	67	73	70	64
1978. 7/30 12:01 11200 ft	第1主成分	59	53	60	79	78	--	--	--	--
	大気成分	27								
	反射成分	32	26	33	52	51	--	--	--	--
1978. 8/31 12:29 10200 ft	第1主成分	107	92	80	76	76	--	--	--	--
	大気成分	61								
	反射成分	46	31	19	15	15	--	--	--	--

注 --は水田以外の対象物のため削除

表-6 MSS各波長の全カウントレベルと水田反射成分、大気成分

飛行日時	チャンネル	大気成分	全MSSカウント(上段)、角度成分(下段)								
			40	30	20	10	0	10	20	30	40
1977 6/3 8:32 12800 ft	3 Ch.	85	132	130	129	126	123	124	122	--	--
			47	45	44	41	38	39	37	--	--
	5 Ch.	66	120	114	112	111	110	111	111	--	--
			54	48	46	45	44	45	45	--	--
	7 Ch.	14	84	83	86	84	84	88	89	--	--
			70	69	72	70	70	74	75	--	--
1977 6/3 8:50 12700 ft	3 Ch.	41	137	132	131	130	130	130	130	130	130
			96	91	90	89	89	89	89	89	89
	5 Ch.	32	127	127	127	127	128	127	127	127	127
			95	95	95	95	96	95	95	95	95
	7 Ch.	9	101	103	105	108	109	106	108	109	110
			92	94	96	99	100	97	99	100	101
1978 7/30 11:09 3700 ft	3 Ch.	5	39	39	43	43	47	51	54	51	51
			34	34	38	38	42	46	50	46	46
	5 Ch.	2	59	53	60	62	67	79	84	87	78
			57	51	58	60	65	77	82	85	76
	7 Ch.	9	59	57	65	66	69	77	80	77	77
			50	48	56	57	60	68	71	68	68
1978 7/30 12:01 11200 ft	3 Ch.	23	39	39	46	55	53	--	--	--	--
			16	16	23	32	30	--	--	--	--
	5 Ch.	18	47	48	66	75	82	--	--	--	--
			29	30	48	57	64	--	--	--	--
	7 Ch.	8	40	43	50	76	63	--	--	--	--
			32	35	42	68	55	--	--	--	--
1978 8/31 15:29 10200 ft	3 Ch.	56	124	110	100	95	94	--	--	--	--
			68	54	44	39	38	--	--	--	--
	5 Ch.	22	107	98	89	83	84	--	--	--	--
			85	76	67	61	62	--	--	--	--
	7 Ch.	22	82	75	71	66	65	--	--	--	--
			60	53	49	44	43	--	--	--	--

注 --は水田以外の対象物のため削除

5. 考察および結論

シミュレーションより求めた等価反射率は、大気成分の含まれない視角特性による反射率変動を表す。視角特性とは、太陽方位、天頂角、観測角が変化すると視野からディテクタに入る光束が同一物体であっても、視野内のいくつかの物体の可視面積の比や陰の状態が変化するために生ずることを言う。一般に水田のような群葉穀物の場合、太陽を背にして測定した場合が最も反射率が高くなるが、これも水田の稲の状況によ

り複雑に変動することがシミュレーションにより求められている⁵⁾。表-3に示した等価反射率はこれらの条件を可能な限り現実に近く表現して求めた結果であり、航空機により観測したデータにもこれらの変動が反映していると考えられる。

表-4の諸数値を用いて算出した表-5の第1主成分の反射成分は、飛行コースの水田について、シミュレーションより求めた反射特性と航空機データの反射特性が等しいと考えて算出した値である。また、単チャンネルではなく3つのチャンネルを使用して求めたことから、その信頼性は充分にある。表-5の大気成分は本研究では走査角40度までは一定と考えて求めた結果であるが、高度3700ftの1978年7月30日 11:09分のデータを除けば、太陽高度の低い朝早い時間帯および夕方時間帯ほど大気成分が多いことを示している。また、当然のことながら飛行高度の低い場合には大気成分はかなり少なく、時間帯にもよるが高度約10000ftから4000ftへ減少すると、大気成分は約 $1/3$ ないし $1/10$ へ減少している。

表-6に示すように、この大気成分を各チャンネルの成分へ変換した諸数値を見ると、どのフライトにおいても、波長の短いチャンネルは大気成分の割合が大きく、波長が長くなるほどその割合は小さくなっている。一般に波長が短いほど大気の影響を受けやすいことから、その傾向が明確に表れている。但し、高度3900ftの飛行データにおいて、各チャンネルの成分はバラツキを持っているが、これは大気成分そのものが小さいため誤差の範囲内にあると考えられる。

表-6の全MSSカウントレベルと角度成分では、短波長ほど大気成分の割合が大きく、逆に長波長では角度効果成分が大きくなっている。このことは波長によって大気効果、角度効果による反射成分に差があることを示し、データ解析にあたっては充分留意する必要があることを示唆している。

得られた結果を簡単にまとめると、(1)シミュレーションより求めた等価反射率は、飛行コース、飛行時間および波長によりそれぞれ独自の視角特性を有する。(2)従来おこなわれている大気効果成分算出方法のいくつかは、極めて高度な理論解析とヘリコプター等を活用した大がかりな実験を組み合わせた手法が多い。しかし、このシミュレーションモデルを用いることにより、簡単なパラメータ測定からMSSデータに含まれるひずみ成分の定性的、定量的な推定が可能である。(3)このモデルを用いることにより、角度効果、大気効果の推定が可能であると同時に、水田のような群衆穀物の反射特性、視角特性の時系列変化を求めることができる。

今後の課題としては、モデルのアルゴリズムをもとに都市域、山間域を含めたリモートセンシングデータ解析への応用を検討している。

最後に、本研究における観測水田の提供をして下さった石川県立松任農業高校の芝田先生および水田管理の諸先生方に記して厚く感謝の意を表します。また、計算には本研究室卒研究生 上ノ山、増田、神山、中藪君の協力を得た。なお計算には本学計算機センターIBM4341を用いた。また航空機データは日本造船振興財団からの提供によるものである。

参考文献

- 1) 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, p 427-434 1984
- 2) 鹿田、羽場、宮北；対象物体のモデル化によるリモートセンシングデータの角度効果について、第8回電算機利用シンポジウム p 85-88 1983
- 3) 鹿田、羽場、宮北；等価反射率モデルを用いたリモートセンシングデータの角度効果について、第9回電算機利用シンポジウム p 5-8 1984
- 4) Y.Haba, Y.Kawata, T.Kusaka, S.Ueno; The System of Correcting Remotely Sensed Earth Imagery for Atmospheric Effect, Proc. of 13th International Symposium on Remote Sensing of Environment
- 5) 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（投稿中） 1985