湿原植生分類図作成に有効となる GLI 観測バンドの選定

Effective Spectral Bands Selection To Produce Wet land Vegetation Map Using GLI simulation data

小 熊 宏 之*・山形与志樹**

Hiroyuki OGUMA, Yoshiki YAMAGATA

Abstract: In this study, the number of effective GLI bands and the combinations were selected to produce wetland vegetation map using GLI simulation data.

In order to produce GLI simulation data, “rstar” was used as a atmosphere model and simulated up-ward radiance under the actual conditions of observing sun geometry and scan angles. To determine the GLI band combinations, training sample data were classified with maximum likelihood method by changing band combination of test data. Based on the classification accuracy of test data, optimal band combination was selected. In the case of 9 bands (GLI 1km, 250m channels) the first and second selected effective bands were: near infrared band (865nm) which is sensitive to the biomass, and short-wave infrared band (2210nm) which is sensitive to the water content. However, the case of using only GLI 1km channels (without short-wave infrared bands) selected bands were strongly effected by observing the sun geometry and scan angles.

1. はじめに

西シベリアを始め北半球高緯度地帯に広く存在する湿原は、地球温暖化ガスの一つであるメタンガスの放出元として、近年、現状把握と継続したモニタリングの必要性が認識されている。特にメタン発生量推定と環境変動抽出の観点から植生群落タイプの面的把握の必要性が指摘されているが、現存する分類図は Mathews による 1 度メッシュのものに限定されており、衛星リモートセンシングデータによる詳細かつ広域の分類図の作成が求められている。このような背景の元で、1999 年 8 月に打ち上げ予定の地球環境観測衛星 ADEOS-II に搭載されるグローバルイメジャ (GLI) を用いた湿原植生観測が期待されている。GLI は可視

～近赤外域に多数の陸域用 1 km 空間分解能バンドを持つほか、LANDSAT/TM に準拠した 250m バンドを有し、数日の回帰周期でグローバル観測を行うことが特徴である。GLI は衛星搭載センサとしては前例の少ない 710nm, 763nm, 1050nm, 1240nm の陸域バンドを有するが、これらの湿原植生分類に対する寄与及び有効なバンドの組み合わせについては未知である。スペクトル情報による分類においては最尤法が一般的であるが、対象の分類に寄与しないバンドや相関の強い複数のバンドが存在した場合、分類正解率の低下をもたらすことが知られている。更に広大な領域の分類図を定常的に作成することを想定した場合、データ量の観点からも事前にバンド選択を行っておくことが必要不可欠である。これまでに筆者らは釧路湿原上での航空機センサを用いた観測実験を通じて、湿原植生分類に有効となる観測波長の選別を行った^{1),2)}。しかし実際の GLI による観測を想定した場合、対象からの反射光が大気による減衰及び散乱光の影響を受け、スペクトルパターンに変化が生じることから、地表面や航空機の飛行高度での波長選択が必ずしも衛星センサに対して有効ではなくなる可能性が生じる。そこで本解析では、最も広大かつメタンガスの放出元として着目さ

* 宇宙開発事業団 地球観測衛星データ解析研究センター
〒106 東京都港区六本木 1-9-9

National Space Development Agency of Japan
1-9-9 Roppongi Minatoku Tokyo JAPAN

** 国立環境研究所 社会環境システム部

National Institute for Environmental Studies

「写真測量とリモートセンシング」VOL. 36, NO. 1, 1997

れている西シベリア地域を GLI により観測した場合のシミュレーションを行い、湿原植生の分類に有効となる GLI の観測バンドの組み合わせと期待される分類正解率を求めた。解析の手順としては、まず、地表面反射率によるバンド選択結果と大気の影響が加わった状態でのバンド選択の相違点を明確にすると同時に、GLI 高次プロダクトとして大気補正が施された地上での分光反射率データが入手可能となった場合を想定して、航空機センサの観測データから算出された湿原植生の地表面反射率によるバンド選択を行った。次に大気補正が全く施されない GLI の処理データを用いた場合、達成可能な湿原植生の分類精度を明確にする目的で、西シベリア地域における GLI の観測ジオメトリによる大気効果をシミュレートし、GLI 直前の観測輝度値を求め、それによるバンド選択を行った。更に特定の走査角にのみトレーニングエリアが設定され

た場合を想定し、走査角毎のバンド選択を併せて行った。バンドの選択には最尤法を用いてテストデータの分類正解率を最大化するバンドの組み合わせを総当たり法によって求めた。

2 . GLI の説明

GLI は、1999年 8 月に打ち上げ予定の地球環境観測衛星 ADEOS-II に搭載される光学センサである。陸域植生を始め、雲・大気、雪氷、海域などのグローバルスケールの観測が期待されている。GLI の諸元を表 1 に示す。可視から熱赤外領域に36の観測バンドを持つが、観測対象が低輝度レベルの海洋観測から高輝度レベルの雲観測まで多岐に渡ることから、可視～近赤外域の 1 km 分解能のバンドはそれぞれ観測対象が取りうる輝度レンジに応じた観測ゲイン設定となっている

表 1 GLI の諸元

GLI バンド	中心波長 (nm)	波長半値幅 (nm)	観測対象*	GLI バンド	中心波長 (nm)	波長半値幅 (nm)	観測対象*
band1	380	10	O AC	band19	865	10	LAC
band2	400	10	O	band20**	460	70	LAC
band3	412	10	O	band21**	545	50	LAC
band4	443	10	OLAC	band22**	660	60	LAC
band5	460	10	OLAC	band23**	825	110	LAC
band6	490	10	O	band24	1050	20	LAC
band7	520	10	O AC	band25	1135	70	A
band8	545	10	O AC	band26	1240	20	LAC
band9	565	10	OL	band27	1380	40	A
band10	625	10	O	band28**	1640	200	LAC
band11	666	10	O	band29**	2210	220	LAC
band12	680	10	O	band30	3715	330	O AC
band13	678	10	LAC	band31	6700	500	A
band14	710	10	O	band32	7300	500	A
band15	710	10	LAC	band33	7500	500	A
band16	749	10	O	band34	8600	500	OLAC
band17	763	8	LA	band35	10800	1000	OLAC
band18	865	20	O	band36	12000	1000	OLAC

* 観測対象 O：海域，L：陸域，A：大気，C：雪氷

**250m 空間分解能バンド

観測高度	803km
軌道傾斜角	98.6°
回帰周期	4 日
走査角	±43° (地表面1600km)
空間分解能	250m× 6 バンド
	1000m×30バンド

(表1中、観測対象の項を参照のこと。)。また GLI の特徴の一つである LANDSAT/TM に準拠した250m 分解能の6 バンドは全て陸域及び雲、雪氷観測に最適となる観測ゲイン設定となっている。取得された観測データのうち、1 km 分解能バンドは地上局の不可視域では衛星搭載の磁気レコーダに記録されるため、高頻度のデータ取得が期待されるが、一方で250m 分解能バンドは磁気レコーダへのデータ記録はなされず、地上局への直接転送かデータ中継衛星経由の転送となるため、観測頻度及び観測地域に対する制限が存在する。

3．航空機センサによる湿原植生データ取得

テストサイトとして国内最大の湿原である釧路湿原を選定し、航空機センサ(以下 MSS.)による観測実験を実施した。データ取得条件を表2に示す。またこれに同期して、航空機データの反射率変換に資する目的で地上のレファレンスタージットの分光反射測定を行った。対象は湿原周辺の小学校グラウンド、牧草地、釧路川水面、コンクリート護岸、乾燥した砂地である。測定にはオプトリサーチ社製の分光放射計 MSR-7000を用いた。MSR-7000は280-2500nm の領域を5 nm の波長半値幅で1 nm ステップの連続データ取得が可能である。レファレンスタージットの測定は、地上対象面から1.5m の高さに MSR-7000の受光部を固定し、対象からの分光放射輝度と、BaSO₄を30cm 四方のアルミニウム板に塗布した標準白色板の分光放射輝度をそれぞれ測定し、両者の比により分光反射率とした。これをレファレンスタージット内を移動して5回繰り返し平均した。またトレーニングエリアを決定するための地上植生調査も併せて行った。釧路湿原における植生は、河川等からの栄養分供給が豊富で、ヨシ

-スゲが優先している低層湿原、ミズゴケの堆積が形成するドーム上部にイソツツジ等の貧栄養状態に耐える植生が生息している高層湿原に大分される。西シベリア地域には同種の湿原植生群落が広大に分布しているとされており、本解析には低層から高層湿原内に幅広く分布している植生クラスとしてスゲ類を優占種とした群落、ミズゴケの上にイソツツジ等の矮小化した木本が被覆した群落、ヨシとスゲ類が混成した群落、ミズゴケ群落中に地塘が密集している群落、ヨシの純群落の5 クラスを最終的な分類項目として選定し、1 クラスあたり150ピクセルのトレーニングサンプルを取得した。

4．解 析

釧路湿原においては、6月と8月に取得された二時期の MSS データによる解析を通じ、10クラスの詳細な湿原植生クラスの分類に対する多時期データの優越性が確認されている。しかしながら高緯度湿原帯は天候条件が不安定なことに加え、GLI の運用面からの制約から、同一観測日の1 km と250m 分解能データを多時期データとして蓄積することは容易ではない。そこで本解析では単時期データによるスペクトル情報のみのデータが得られた場合を想定し、植生群落の生育のピークを迎えた8月の航空機データを解析に資することとした。解析の全体的なフローを図1に示す。以下に解析の手順について説明する。

4.1 航空機 MSS データの反射率変換

今回用いた大気モデル(rstar-V)の入力は地表面上の反射率である。そのため MSS データから得られた出力 Digital Number (以下 DN.)を反射率変換した。なお、本報告では用語の統一のため GLI 固有の観測バンドの表記には band * (中心波長)を用いる。表3に GLI の観測バンドと MSS による観測バンドの対応を示す。中心波長と観測波長波長に若干の相違が見られるが、本件では差し支えないとして用いる事とした。また MSS の観測バンドが GLI に対応しない band4(443nm), band26(1240nm)は本解析では対象外とした。更に250m 分解能バンドのうち band20(460nm), band21(545nm) 及び band22(660nm) については1 km 分解能バンドの band5(460nm), band9(565nm), band15(678nm) の同領域バンドで代表した。

表2 MSS による観測諸元

観測日時	1993/8/31 10:32-10:40
天候	快晴
センサ	J-SCAN-AT-18M(中日本航空)
方式	45°固定角ミラー回転による機械走査
使用機体	セスナ206
観測高度	2500m
IFOV	2.5mrad
FOV	90°
量子化ビット数	8bit

図1 解析の全体的なフロー

表3 GLIの観測バンドとMSSによる観測バンドの対応

GLI バンド	GLI 観測波長 (nm)	MSS バンド	MSS 観測波長 (nm)
4	428-448	—	—
5	455-465	1	460-490
9	560-570	2	530-570
13	673-683	4	650-700
15	705-715	5	690-720
17	758-768	7	760-800
19	860-870	8	820-900
20	425-495	1	460-490
21	520-570	2	530-570
22	630-690	4	650-700
23	770-880	8	820-900
24	1040-1060	10	1000-1100
26	1230-1250	—	—
28	1540-1740	11	1520-1720
29	2100-2320	12	2060-2450

次に反射率変換の方法について述べる。

MSS 直前の入射輝度 $L(\lambda)$ は以下の様に示すことが出来る。

$$L = \tau \cdot R \cdot Q + P \tag{1}$$

ここで、

τ : 大気の透過率, R : レファレンスターゲットの反射率, Q : 地表面への太陽の入射光輝度, P : パスラディアンズである。MSS のセンサ出力 (DN) が L に対しニアな比例関係にあるとした場合、

(1) 式を変形し以下の近似式が得られる。

$$R = a \cdot \text{DN} + b \tag{2}$$

ここで

$a : (\tau \cdot Q)$ で示される係数、

$b : -P / (\tau \cdot Q)$ で示される係数である。

よって地表面における複数の対象物の分光反射率と DN との回帰式により a , b を求めることが可能となり、MSS 観測と準同期して取得された地表面レファレンスターゲットの分光反射率を用いて DN から地表面反射率への変換式を得た。具体的には、1) 分光反射率測定を行った地上のレファレンスターゲット内の 3×3 画素の平均 DN 値を求めた。2) MSS 開発元から入手した MSS バンドのフィルタの応答関数を用いて地上の分光反射率を加重平均し、MSS バンドに対する地上レファレンスの反射率を求めた。3) 平均 DN 値と地上レファレンス反射率の回帰式により、MSS の DN から地表面反射率への変換式を求めた (表 4)。今回はレファレンスターゲットとして 8 個所の分光測定を行ったが、MSS データ取得時の問題から乾燥した砂地、護岸コンクリート等はデータが飽和してしまったため、ターゲットは 3 点に限られた。そのため各バン

ドでの相関係数は高いものとなっている。MSS により求めた分光反射率と地上での測定結果とを比較したものを図 2 に示す。概ね良好な結果が得られている。

図 3 には湿原植生 5 クラスに設定されたトレーニングサンプルの分光反射率の平均スペクトルを示した。全クラスとも近赤外域の band24 (1050nm) が反射率のピークであり、中でもヨシ群落最大の反射率を示した。MSS のデータ取得時にはヨシ群落は成長のピークを迎え草丈が 2 ~ 3 m 以上となっており、湿原内の草

図 2 MSS により求めたレファレンスターゲットの分光反射率と地上での測定値との比較 (地上での測定結果のうち、ノイズの大きい領域は除去してある。)

図 3 湿原植生 5 クラスに設定されたトレーニングサンプルの分光反射率の平均スペクトル

表 4 MSS の DN から地表面反射率への変換式			
MSS バンド	a	b	R ²
1	0.107	-6.926	0.991
2	0.112	-5.722	0.977
4	0.126	-8.632	0.999
5	0.104	-3.010	0.959
6	0.221	-7.438	0.994
7	0.387	-17.185	0.999
8	0.398	-19.433	0.999
10	0.390	-18.828	0.999
11	0.183	-7.296	0.977
12	0.151	-11.323	0.970

反射率 (%) = $a + b \cdot (\text{DN})$ R^2 = 相関係数

本植生では最大のバイオマスであることから近赤外域の反射率が他の群落に比して顕著となったものである。

4.2 GLI シミュレーションデータの作成

GLI のバンド決定及びアルゴリズム研究の目的で開発された GLI シグナルシミュレータ (GSS) を用い、西シベリアにおける GLI の実観測を想定した観測ジオメトリによる GLI シミュレーションデータを作成した。GSS は東京大学気候システム研究センターによって開発された放射伝達コード (rstar) をベースした GLI の観測シミュレータである⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾。宇宙開発事業団地球観測データ解析研究センターでは、現在 GLI の標準プロダクツ生産用アルゴリズム開発に資する目的で同シミュレータを運用している。輝度値変換には以下の方法によった。

1) MSS のデータ取得日である 8 月31日を GLI の観測日とし、直下点の観測緯度を西シベリアの湿地帯が存在する北緯60度とした。この条件で GLI の走査角が-40、-20、0、20、40度の場合における観測ジオ

メトリを求めた。

図4及び表5には GLI の観測ジオメトリの定義と、シミュレーションにおける各走査角の観測ジオメトリをまとめた。GLI の走査の開始は地表面での東側からであるが、本解析においては走査角の定義として、走査開始位置から直下点側をマイナス側、直下点から走査終了点側（地表面の西側）をプラス側とした。

{注：GLI の可視～短波長赤外バンドの観測はディッセンディングのみ（北極側から開始。）である。観測時においては常に走査の開始側に太陽が存在する事になる。}

2) 5つの観測ジオメトリに対して、GSS を用いて地表面上の反射率が0～50%で0.5%刻み100条件の放射伝達計算を行い、これを基に解析対象とする GLI9 バンドの中心波長及び波長半値幅に合せた輝度値への変換テーブルを作成した。なお放射伝達計算に際し、用いた大気モデルは US standard、エアロゾル無しとした。この時点で GLI の分光感度曲線が得られなかったため、ここでは矩形を想定し分光半値幅内の分光感度は均一とした。

3) MSS から算出した反射率は0.25%分解能であるが、輝度値変換のための計算時間を考慮し、まず0.5%分解能で輝度値変換テーブルを作成した後、線形補完により0.25%分解能のテーブルとした。

4) MSS から得られた各植生クラスの分光反射率を輝度値変換テーブルにより GLI の観測輝度値に変換した。

5) GLI の各走査角では太陽天頂角が異なるため、各走査角のシミュレーションデータに対し太陽天頂角補正を施した。

以上のステップにより GLI のシミュレーションデータを作成した。図5には、全トレーニングサンプルの反射率の平均値を輝度値変換したシミュレーションデータと走査角の関係を示した。これは GLI による湿原の観測輝度レンジを太陽天頂角補正のみ行った状

図4 GLI の観測ジオメトリの定義

表5 シミュレーションにおける各走査角の観測ジオメトリ

GLI 走査角 (deg)	太陽天頂角 (deg)	衛星天頂角 (deg)	相対方位角 (deg)
-40	49.3	46.4	111.8
-20	50.8	22.7	114.7
0	52.0	0.0	9.2
20	53.2	22.6	298.5
40	55.0	46.3	300.8

図5 反射率変換されたトレーニングサンプルの平均値を入力値とした場合のシミュレーションデータと走査角との関係

態を表すものである。可視近赤外域の band5(460nm), band9(565nm), band13(678nm), band15(710nm) はバスラディアン成分により走査角の両端が持ち上がる凹状パターンを示すが、特に band5(460nm) において顕著である。また band17(763nm) は O_2 の吸収帯観測バンドである。走査角の両端では光路が長くなり、吸収の影響を受け凸状パターンを示す。それ以外の近赤外及び短波長赤外のバンドでは湿原植生の観測レンジ内においては走査角による大きな変動は認められなかった。

4.3 分類正解率評価による湿原観測有効バンドの選択

4.3.1 GLI バンドの入力条件

GLI シミュレーションデータ及び反射率データを用い、湿原植生分類上有効となる GLI 観測バンドの組み合わせと分類正解率を求めた。全てのケースにおいて、1 km 分解能の可視～近赤外の 7 バンドのみの場合と、250m バンドの短波長赤外の 2 バンドを付加し、9 バンドとした 2 通りの入力条件からバンド選択を行った。

4.3.2 バンド選択の方法

有効バンドの選択に際しては、次項による手順で得られた各植生クラスのトレーニングデータとテストデータを用いて、トレーニングデータの統計値によりテストデータの分類正解率を最大化するバンドの組み合わせを総当たり法により求めた。バンド選択の手順は以下の通りである。

1) 湿原植生5クラスのトレーニングサンプルデータを基に作成したGLIシミュレーションデータあるいは反射率データを後述する条件でトレーニングデータとテストデータとする。

2) 9バンドないし7バンドの中からnバンドだけ取り出す全ての組み合わせを求める。

3) それぞれのバンドの組み合わせに対して、トレーニングデータを用いて植生5クラスの平均ベクトル、分散共分散行列の計算を行い、最尤法分類によるテストデータの分類を行う。

4) 全てのnバンドの組み合わせの中でテストデータの分類正解率を求め、平均分類正解率を最大とするバンドの組み合わせを求める。

4.3.3 トレーニングデータ・テストデータの作成

次にトレーニングデータ・テストデータの作成手順について解説する。GLIは±43度の広域走査角により観測するため、センサの直下点と走査の両端では光路長のみならず太陽-地表面-センサ間のジオメトリも全

て異なる。即ち1シーン内での大気条件が一定としても、走査角内の大気効果によるスペクトルパターンの変化は全て異なることになる。そこで以下の3ケースの条件においてトレーニング・テストデータを定義して解析を行った。

1) 全走査角内にトレーニングエリアが設定された場合

GLIの走査角内においてトレーニングエリアが一樣に設定された場合を想定し、全体的な傾向を得る目的で、ここでは $-40^{\circ} \sim +40^{\circ}$ の5つの走査角別のシミュレーションデータをそれぞれ無差別に二分した後、トレーニングデータ群とテストデータ群としてまとめる。

2) トレーニングエリアが限定された走査角のみに設定された場合

数千km四方のGLI1シーンに対し満遍なくトレーニングエリアの設定を行うことは現実的に困難であり、実際にはある狭域での地上データや、他の高空間分解能センサによる分類結果を参照してトレーニングエリアを設定し、全シーンを分類していく場合が想定される。この時間問題となるのは、特定の走査角のみで設定されたトレーニングデータの、他の走査角データに対する代表性である。異なる観測ジオメトリでの大気の影響を受けた事により、走査角毎に分類正解率が変化するばかりでなく、分類に有効となるバンド組み合わせが変化する可能性がある。そこで前項とは対照的に、特定の走査角のみにトレーニングエリアが設定された場合を想定し、異なる観測ジオメトリによる大気効果がもたらすスペクトルパターンの変動が波長選択と分類正解率に与える影響を求めた。まず、トレーニングエリアが設置される走査角の極端な例として $-40, 0, 40^{\circ}$ の3つのシミュレーションデータから1つをトレーニングデータとし、残り4つの走査角のデータをテストエリアとする。これを繰り返し12通りのトレーニング・テストエリアが置かれた条件とする。

3) 反射率データによる場合

各クラス毎に設定されたトレーニングサンプルを無差別に二分し、トレーニング・テストデータとする。

5. 解析結果

バンド選択の結果を表6及び表7にそれぞれまとめた。3番目までのバンドの選択順を数字で示した。更

図6 バンド数と分類正解率の関係

に*が記されているバンドは最高の分類精度を達成した時点で前出の3バンドに加えて選択されたバンドである。空白となっているバンドは、選択された時点で分類正解率の低下が見られたものである。更に図6～8までは、バンド数と分類正解率の推移を示すもの

である。以下にそれぞれの条件について解説する。

5.1 地上反射率とGLIシミュレーションによるバンド選択の比較

地上反射率によるバンド選択と、全走査角にトレー

表6 反射率によるバンド選択結果とGLIの全走査内においてトレーニングエリア設定された場合のバンド選択結果の比較

入力条件	入力 バンド数	GLI バンド								
		5	9	13	15	17	19	24	28	29
分光反射率	7		2	3	*	*	1		—	—
	9			3		*	1	*	*	2
GLI シミュレーション	7	*	*	*	2	3	1		—	—
	9		*	3		*	1	*	*	2

(表中、3 番目までのバンドの選択順を数字で示す。*は最高の分類精度を達成した時点で前出の3 バンドに加えて選択されたバンド。空白となっているバンドは選択された時点で分類正解率の低下が見られたもの。)

表7 特定の走査角にのみトレーニングが設定された場合のバンド選択結果

トレーニング エリアの位置	テストエリア の位置	入力 バンド数	GLI バンド								
			5	9	13	15	17	19	24	28	29
-40°	-20°	9			*		*	1	3	*	2
	-0°	9				3	*	1		*	2
	20°	9				3	*	1		*	2
	40°	9			*	*	3	1	*	*	2
0°	-40°	9				3	*	1	*	*	2
	-20°	9			*	*	*	1		3	2
	20°	9		*	*	*	*	1		3	2
	40°	9	*	*	*	*	*	1	*	3	2
40°	-40°	9				*	*	1	3	*	2
	-20°	9		3	*	*	*	1	*	*	2
	0°	9		3	*	*	*	1	*	*	2
	20°	9		*	*	3	*	1	*	*	2
-40°	-20°	7				2	3	1		—	—
	-0°	7				2	*	1	3	—	—
	20°	7				2	3	1		—	—
	40°	7				2	3	1	*	—	—
0°	-40°	7				2		1	3	—	—
	-20°	7				2	3	1		—	—
	20°	7			*	2	3	1		—	—
	40°	7		*	(3)	2	*	1	*	—	—
40°	-40°	7			*	2	*	1	3	—	—
	-20°	7		*	*	2	*	1	3	—	—
	0°	7			*	2	*	1	3	—	—
	20°	7				2	*	1	3	—	—

(表中、3 番目までのバンドの選択順を数字で示す。*は最高の分類精度を達成した時点で前出の3 バンドに加えて選択されたバンド。空白となっているバンドは選択された時点で分類正解率の低下が見られたもの。() 内のバンドは1度選択され、最高の分類正解率を達成した時点で選択されなかったもの。)

ニングが設定された場合のGLIシミュレーションデータによるバンド選択結果を比較した。表6に選択バンドと選択順位を、図6に分類正解率の変動を示した。

1) 1 km バンドに250m バンドの短波長赤外を付加した9バンドからの選択では、最初に植生バイオマスに感度を持つband19(865nm)が選択され、次に植生の水分量に感度を持つband29(2210nm)、植生クロフィルの吸収帯であるband13(678nm)が共通して選択された。この3つのバンドはこれまでの解析により湿原植生分類に対する有効性が確認されているバンドである。それ以降のバンド選択の順位に大きな相違は見られず、最高の分類正解率を示した時点での選択バンドもほぼ同様の結果となった。分類正解率の推移は最初の2バンド目までは急激な上昇が見られたが、その後のバンド追加に対しては微増に留まり、8バンド目以降のバンド追加に対して低下が見られた。

2) 1 km バンドのみの7バンドからの選択では最初に19(865nm)が共通して選択されたが、2番目以降のバンド選択は分光反射率とGLIシミュレーションデータによる選択結果は大きく異なるものとなった。まず分光反射率の場合、植生の緑色の反射が最大となるband9(565nm)についてband13(678nm)の順に選択され、可視域のバンドが優先されたのに対し、GLIシミュレーションデータでは、band15(710nm)、band17(763nm)、band13(678nm)の順に近赤外側から選択された。地上反射率での選択時に重要であったband9は低い選択順位となった。分類正解率は最初の2バンド目までは急激に上昇した後、分光反射率の場合4バンド目、GLIシミュレーションデータの場合は6バンド目で飽和した。分類正解率の最高値は、band19(865nm)とband29(2210nm)の2バンドを用いた場合よりいずれも下回るものとなった。

以上のことから、湿原植生の分類においてはband19(865nm)とband29(2210nm)の優越性が確認された。仮にGLI250m6バンドのみの場合では、今回対象としなかったband23(825nm)をband19(865nm)の替わりとすることで、同等の分類正解率が期待できる。また短波長赤外バンドを除いた可視近赤外バンドのみの場合、分類正解率の低下が見られ、地上の反射率で選択したバンドがGLIシミュレーションに対して適応できないことが判明した。

5.3 特定の走査角のみにトレーニングエリアが設定された場合

ある特定の走査角のみにトレーニングが設定され、それにより全シーンを分類する場合を想定したバンド選択の結果を表7に示す。更にバンド数と分類正解率の関係を図7及び図8に示す。

1) GLI9バンドを用いた場合の選択結果では、band19、band29の順で選択されるのは前出の反射率による場合及びGLIシミュレーションデータの場合と同じであるが、次いで優先的なのはband28(1650nm)あるいはband15(710nm)である点が異なる。またband5(460nm)は共通して最も低い選択順位となった。可視域のバンドの選択順位はトレーニングの位置により変動し、-40度側にトレーニングが設定された場合、可視バンドの寄与が最も低下した。図7に示す分類正解率とバンド数の変化では最初の2バンド目で急激な上昇が見られ、それ以降はバンド数の追加に対し分類正解率は微増するのみといった傾向はこれまでと同じである。しかしながらband5(460nm)を加えた場合の分類正解率の低下は大きい。特に可視域の輝度値がパスラジアンズにより最大となる-40度(シーンの東側)にトレーニングが設定された際の分離精度の低下は顕著であり、可視域の輝度値が最小となる20度と直下点においては、全9バンドによる分類正解率がband19(865nm)のみを用いた場合より下回ることが判明した。0度にトレーニングが設定された場合では、+-20度までは安定した分類が可能であるが、走査角の両端の分類正解率の変動が顕著であった。

最も分類正解率の低下が少なかったのは+40度(西側)にトレーニングエリアが設定され、全東側を分類した場合であった。

2) 短波長赤外バンドの無い1 km 分解能バンドからの選択では、まずband19(865nm)とband15(710nm)の順で選択されるのは全ての場合において共通していたが、3バンド目以降の選択はトレーニングの位置により変動が見られた。更に可視域の選択順位が総じて低下し、分類に用いた場合に分類正解率の低下を来す傾向が殆どの場合で生じた。図8に示す分類正解率とバンド数の関係では、-40度(シーンの東側)にトレーニングが設定された場合が最も分類正解率が低く、かつテストエリアの位置による分類正解率の変動が著しい。まず近赤外の3バンドを用いた時点で分類正解率の上昇が飽和し、band5(460nm)を除く6バン

図7 GLIの9バンドによる特定の走査角にのみトレーニングが設定された場合のバンド数に対する分類正解率の関係 (上段: -40° にトレーニングが設定された場合, 中段: 0° にトレーニングが設定された場合, 下段: 40° 側にトレーニングが設定された場合)

図8 GLIの7バンドによる特定の走査角にのみトレーニングが設定された場合のバンド数と分類正解率の関係 (上段: -40° にトレーニングが設定された場合, 中段: 0° にトレーニングが設定された場合, 下段: 40° 側にトレーニングが設定された場合)

ドを用いた時点で band19(865nm) のみを用いた場合より分類正解率は下回った。最終的に全 7 バンドを用いた分類では+20度の分類正解率39.8%を最低として正解率の低下が見られた。その他のケースについては概ね 9 バンドを用いた場合と同様の結果となった。以上の事からトレーニングエリアが特定の走査角にのみ設定され、それを用いて他の走査角のデータを分類する場合、トレーニングエリアの位置により分類正解率は大きく変化することが判明した。全ての場合において band5(460nm)を加えた時点で大きく分類正解率が低下したが、特にトレーニングエリアが-40度側(東側)に設定された場合には著しく分類正解率は低下し、短波長赤外域の無い 1 km バンドの場合は分類正解率が40%を割り込むケースが存在した。逆にトレーニングエリアが+40度側に設定された場合が最も安定していた。

6. ま と め

航空機による観測データを基に GLI シミュレーションデータを作成し、それにより湿原植生 5 クラスの分類に最適となるバンド組み合わせと想定される分類正解率を得た。

湿原植生の分類に対し有効であり、かつ GLI の実観測を想定した際の大気効果に対する影響が少ないバンドは band19(865nm) 及び band29(2210nm) であった。しかしながら、それ以外のバンドについては、全部用いることが必ずしも分類正解率の向上に寄与するとは言えず、大気補正がなされない GLI データによる分類を想定した際には、GLI の観測条件、トレーニングエリアの設定条件に応じバンドの選択順位は大きく変動することから、状況に応じて適切なバンド選択が必要不可欠であることが判明した。

また短波長赤外バンドを持たない 1 km バンドのみの分類では、全般的に分類正解率が低下するが、トレーニングの位置関係によっては大きく分類正解率が低下するケースが存在した。特に観測時の東側(太陽側)にトレーニングが設定された場合における走査角内の分類正解率の変動が最も著しい。これは広域の湿原植生分類図作成時において複数パスのモザイクデータによる分類を行う際に重要な問題となろう。今回は大気条件が1つであり、湿原植生の方向性反射特性の考慮を行わなかったが、走査角内の大気効果と植生の方

向性反射の双方を考慮した総合的なバンド選択を今後の課題と致したい。

7. 謝 辞

本解析は環境庁国立環境研究所との共同研究により実施された。また GLI シミュレーションデータの作成に際しては宇宙開発事業団地球観測データ解析研究センター中島孝氏に協力頂いた。関係者各位に感謝の意を表します。

(受付日1996.9.12, 受理日1997.1.13)

参考文献

- 1) 小熊, 山形, 二次期航空機 MSS データを用いた湿原植生分類に有効な観測波長帯の研究, 日本写真測量学会, Vol. 35, No. 1, pp. 36-45, 1996
- 2) 山形, 小熊, 航空機 MSS 実験による湿原植生判別に有効な波長帯の選定と植生分類画像の作成, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 15, No. 3, pp. 221-231, 1995
- 3) 栗屋, 航空機 MSS データを利用した分光反射係数の推定, 日本林学会誌, Vol. 77, No. 3, pp. 205-212, 1995
- 4) Kneizys, F. X., E. P. Shettle, L. W. Arbeau, J. H. Chetwynd, G. P. Anderson, W. O. Gallery, J. E. A. Selby, and S. A. Clough, 1988: Users guide to LOWTRAN-7, Air Force Geophysics Laboratory Tech. Rep. AFGL-TR-880177, 137pp.
- 5) Nakajima, T., and M. Tanaka, 1986: Matrix formulation for the transfer of solar radiation in a plane-parallel scattering atmosphere. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 35, 13-21.
- 6) Nakajima, T., and M. Tanaka, 1988: Algorithms for radiative intensity calculations in moderately thick atmospheres using a truncation approximation. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 40, 51-69,
- 7) Stamnes, K., S.-C. Tsay, W. Wiscombe, and K. Jayaweera, 1998: Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media. Appl. Opt., 24, 2502-2509.