
論文

中国毛烏素沙地のランドサット・データの解析

奥村 武信*

石見 圭子*

Analysis of LANDSAT Data over Mu Us Shamo, China

Takenobu OKUMURA*

Keiko IWAMI*

Summary

In the Mu Us Shamo region located in the southern part of the Ordos Plateau, China, great efforts to stabilize sand dunes through afforestation are being made in order to conserve and further ameliorate available pasture and farm land in this sandy region.

The Multi Spectral Scanner carried on LANDSAT will provide useful information for assessment of waste land, for planning and for evaluation of land improvement programs. In this paper, problems concerning data processing using the Model 4200F and ID300 processing systems are discussed, and various classifying methods are examined.

In contrast to a 1/500,000 scale map, MSS data is better sampled at a rate of 1/2. To transfer the desert stage map of 6 categories to image data, 3 monochromes were prepared and superimposed. It proved difficult to establish throughout geometrical identification between image data based on the stage map and the MSS.

Nevertheless, from this image data, it was possible to collect refined ground truth data for classification by the most likelihood method. Criteria for classifying desert stages are also proposed here.

I はじめに

中華人民共和国の新疆ウイグル自治区から青海・寧夏・甘肅・内蒙古・陝西・遼寧・吉林・黒龍江省にわたって半月状に分布するゴビ及び沙漠は、その面積110万km²に達しており、1949

* 鳥取大学農学部 農林総合科学科 生存環境科学講座

* Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

年新中国成立後でも6万km²の面積が沙地化し、3万km²は移動性砂丘地に化したと言われる。¹⁾

西城から東流する黄河が中流部で大きく北に迂回する部分の南側、標高1,000~1,500mのオルドス高原の南部に位置する毛烏素沙漠も、現政府成立後の人口増加に対処するために展開された大規模な開墾活動と不適當な土地管理のため、この30数年間に急速に沙地化が進行した地域である。この地域に多く居住する元來遊牧民である蒙古族人民の定住化政策が内蒙古自治区政府の手で進められているが、流沙固定・緑化を促進し、生産する場の安定化と安定な交通路を確保することがこの政策の成功に何よりも肝要であり、草地維持と緑化拡大が奨励されている。²⁾

1983年には毛烏素沙漠の中心部に流沙固定・防護林体系・草地改良等の技術の確立のための研究と応用・普及を進める拠点として、内蒙古自治区科学技術委員会等の手で「毛烏素沙地開発整治研究中心」が設置され、精力的な活動が展開されている。鳥取大学および主に関西地区に在職する研究者のグループは、1985年からこの研究センターの研究者たちと沙地の緑化と農業開発に関する共同研究を始めた。³⁾

さて、米国航空宇宙局が1978年3月に打ち上げた地球探査衛星ランドサット3号は、森林の減少・砂漠の拡がり・都市化の進展・土壌の疲労その他地球規模の環境変化に関する研究に有用な情報を地球に送り続けている。筆者らは、この毛烏素沙地を撮影したランドサットデータを鳥取大学農学部広葉樹生態情報総合解析設備に含まれているデータ変換画像解析システム(NAC社製 Model 4200F およびソフトウェア ID 300)によって解析し、中国科学院蘭洲沙漠研究所伊盟沙漠化隊が1976年から81年の間に行った調査をもとにして編集した「内蒙古伊克昭盟沙漠化類型図」(1981年12月発行)と対比して、ランドサットデータを地域の沙漠化の評価や緑化計画策定に資し、さらには事業効果の評価に資するため、その有益な解析方法を検討した。

II 画像処理の手順と問題点

ランドサットからのMSSの画像データは日本でも1979年以降受信され、計算機適合テープ(CCT)が研究者に提供されている。研究者は、そのデータを各々の研究対象に合わせて処理を施し利用することになる。

筆者らは1978年8月19日に撮影されたMSSデータの前処理及び対比の基本となる「内蒙古伊克昭盟沙漠化類型図」の画像データ化を、図1に示す流れに沿って実行した。ここでは、筆者らが実行した画像処理の各段階の概略と、データ変換画像解析システムによる処理上の問題点について述べる。

1. フルシーン CCT データの画像化

まず、入手したCCTに記録されている画像の全貌を知る必要がある。

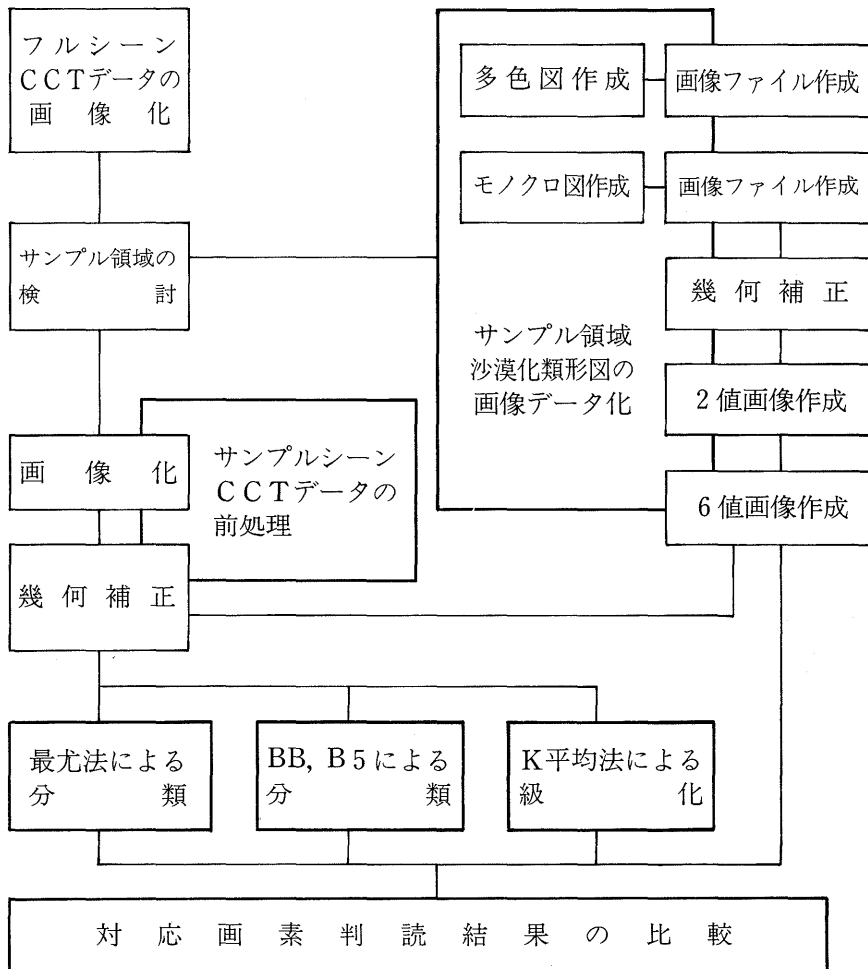


図1 画像処理及び解析作業の流れ

MSS データは、緑・赤および近赤外 2 バンドの各スペクトル領域における地表面からの反射率の一画面分のデータを横・縦方向に走査したものであり、CCT ではそれらを 6 ビットのデジタル値にして一定の書式で書かれている。そのため、入手した CCT データを各バンド毎に分割し、4 個のデータファイルに作り替える必要がある。これを、1/7 のサンプリング率で 512×512 画素の CRT に表示させた。

2. サンプルシーン CCT データの画像化

MSS データの特徴である判読精度の高さを生かすために、できるだけ全画素の情報を利用

したい。MSS データ 1 画面を解析するためには、この画像解析装置を使用する限り 49 シーンに分割しなければならない。ここではその一部だけを使用して解析することにした。

ところで、地上情報と MSS 画像とを対応して解析する場合、両者で位置を比較的正確に対応させることのできるのは、湖や河川である。また、全画素による画像を見ても、その地域の地勢を知らなければ位置の確定が難しい。京都大学大型計算機センターの画像処理装置を使ってフルシーンを 65cm×47cm の大きさにカラープリントした図を参照しなければ、地形や位置が判読できなかつたほどである。

そこで、湖が多く分布し、「毛烏素沙地開発整治研究中心」が位置する部分を 1/2 のサンプリング率で切り出し本研究に使用することにした。

3. サンプル領域沙漠化類型図の画像データ化

MSS データを基に種々の方法で判別分類した結果と「内蒙古伊克昭盟沙漠化類型図」との対比のためには、類型図を画像データにする必要がある。

使用した画像解析システムは、TV カメラによる画像データ作成機能を備えている。従って、いくつかのフィルターをかけカメラ入力すればよいと考えられる。しかし、類型図には類型彩色の外に、行政区画線や道路、砂丘の分布を示す装飾、その他多くの文字が記載されており、不用のものを消去したものを調整しなければならない。

〔多色図による調整〕　そこで、まず透明カラーシートを用いて類型図を多色図に作り直し、画像データにすることを試みた。

しかし、入力時に照明の光むらに起因する輝度むらを可能な限り消去するなど最良の画像を得るよう種々試行を重ねたが、2つの類型の境界部にあつてはならない色や同じ色(類型)であるべき部分に斑状に混入する他の色を消去することはできなかった。これは、TV カメラによる入力が輝度を数値化するだけで、色相の数値化まで行われないことによる。

〔モノクロ図による調整〕　つぎに、モノクロ図を使って基本図の画像ファイル化を試みた。すなわち、類型図に現れる 6 類型を 3 枚のモノクロ図に塗り分けたものを使うことにした。

これらをカメラで入力すると、当然のことながら格子線が歪んだものになるし、黒さにもむらが現れてくる。しかしそれらは次のようにして処理した。

〔幾何補正〕　3 枚のモノクロ図及び座標格子だけを描いた図を同一座標系で画像データ化する。各格子点が類型図上でもっていた座標値はディジタイザーで読み取っているの、これらと各格子点の画像上の座標を使うことにより両者の座標変換式を決定でき、モノクロ図は変形できる。この場合、装備されたソフトウェアでは画像をいくつかのブロックに分割して処理する。類型図と同一の座標系に変換されたときの各画素の輝度は、旧座標系における対応点の最近傍画素のそれを採用した。

〔2 値画像データの作成〕　モノクロ図を透過光で入力すると、墨の付き加減によるな

どで明るさ（輝度）に幅が生じるので、2つの任意の特異な輝度値に修整する必要がある。この場合、閾値の採り方が境界部の画素の白黒判定を支配し若干異なるデータを得る可能性も残る。筆者らは、3枚のモノクロ図を同一の閾値で2値化したデータをCRT上で重ね合わせ、できるだけ原図に忠実なデータを得る閾値を決定した。

〔6値画像データの作成〕 それぞれ異なる2値に修整された3つの画像データの対応する画素の輝度値を加算することにより、類型図に現れた6類型それぞれが特異な輝度値で表現される画像データを作成した。

4. CCT 画像の幾何補正

ランドサットデータには、撮影時のセンサーの姿勢や高度に起因する幾何学的歪みが含まれている。また、地表が3次元的な凹凸をもっていることから歪みは生じる。まずこれらの歪みを補正する必要がある。

入手したCCTは、センサーの姿勢に関する情報を欠いていたので、2で作成した画像上と前述の処理で調整された類型図上の対応点を用いて補正することにした。

基本となる沙漠化類型図上の点で、CCTデータと対応させることのできるのは、湖沼しかない。それでまず湖沼周辺の特徴的な点の両画像上の座標をCRT上で読み取り、前述の手順で幾何補正した。

この処理により、たとえば写真1の左上部にある鎌形の黄色で示されるものや右下の黄色の集合に対応するであろうものが写真4などでも認識されるように、湖沼以外の特徴点も若干認識されてくる。そこで、特に1回目の補正で対応点が見いだされなかった部分にそのデータを加えてさらに幾何補正を加えた。この作業を繰り返すことによりより良好な補正データを得ることができるとは、ブロック処理して座標変換している限り、両者を全く重ね合わせることは困難であると感じた。

後述する作業を進めるプログラムの都合上、矩形部分を取り出すことにした。265×359画素、地上でほぼ53×72kmの範囲が解析の対象になる。200m四方が1画素である。

この範囲の画像データ化した沙漠化類型図が写真1であり、各類型の占有率は表1の通りである。類型「その他」は類型図にはなかったものである。これらが現れる原因としては、3枚のモノクロ図を作成するときに類型境界線を忠実にトレースしていないこと、モノクロ図を2値化する時の閾値が不適當であったこと、幾何補正の過程でブロック処理による近似計算が行われていることがあげられよう。なお、類型「その他」が出現することは、他の類型間の移動も若干含まれることを示すだろう。

写真1には、とくに類型「河川・湖沼」を示す青の周辺に隈どりが見られるが、これらの多くは写真にする過程で現れたものであり、必ずしもデータとして存在するわけではない。またこの写真は、位置の確認のために主要道路を示すよう加工した。「毛烏素沙地開発整治研

表1 沙漠化類型図における各類型の占有率

類 型	塩 湖	河川・湖沼	潜 在 沙漠化土地	軽 度 沙漠化土地	中 度 沙漠化土地	強 度 沙漠化土地	そ の 他
占有率(%)	0.1	2.2	0.3	14.2	30.6	52.1	0.6

究中心」は、この三叉点上側の中度沙漠化土地に「南試験地」を、またここから中央上方へ向かう時最初に横断する軽度沙漠化土地に「ステーション」と「東試験地」を置いている。

III 補正 MSS データによる土地分類

沙漠化類型図と対応できる座標系を持つよう補正した MSS データを使って、そのカバーする範囲の土地状況を判定・分類する。筆者らは、分類方法として次の3方法を検討した。

1. 類型図に対応する(既知部分の)画素の MSS 各バンドの反射率の統計値を使って、未知部分の土地状況を判定・分類する方法(最尤法)

2. バンド5(赤)とバンド6(近赤外1)の反射率の比およびバンド5の反射率を使った規準による方法

3. MSS 各バンドの反射率を要素とする多次元空間座標値を使用して、指定された範囲のクラス数に自動的に分類する1種のクラスター分析(K平均法)

1. 最尤法による分類

最尤法は、地上情報(GTD)を使用する判読分類法である。筆者らは、先に調整した6値画像を基本図として採用し、前述のように加工したMSSデータを最尤法により分類した。

最尤法による分類の根拠とされるのは、異なる分類・類型に属する地表がMSSに如何なる反射率として記録されているかの統計的特性(平均値や分布、異なるバンド間の関連性など)に関する情報である。その情報がGTDであり、最尤法による分類処理はまずこの統計的特性を検出するためのトレーニングデータの採取から始まる。IIで調整したMSS画像及び類型図を対比すると、一見して湖沼の面積に違いがあり、また類型図にある「塩湖」の存在をMSS画像から読み取れない。このことから、類型図をそのまま地上情報とすることには無理があると考えた。そこで筆者らは、CRTに両画像を重ねて表示し、適当と思われる部分をとりあえずトレーニングエリアとしてデータを採取した。

このトレーニングデータファイルを用いて最尤法判別に必要な係数ファイルを作り、トレーニングエリアだけについて判別する。その判別結果からトレーニングデータの良否を判定し、不適当と思われるトレーニングエリアは捨て、トレーニングエリア内において出来るだけの中率の高い結果となる係数ファイルを作成することにした。

表2 最尤法で採用したトレーニングエリアに関する総括

類 型		1	2	3	4	5
		(塩湖) 湖 沼	潜 在 沙 漠 化 土 地	軽 度 沙 漠 化 土 地	中 度 沙 漠 化 土 地	強 度 沙 漠 化 土 地
エ リ ア 数		7	2	10	3	16
画 素 数		250	31	540	464	466
判 定 結 果	1	249	0	0	0	0
	2	0	29	14	0	0
	3	0	2	442	55	2
	4	1	0	48	371	32
	5	0	0	35	37	432
	0	0	0	1	1	0
平均輝度及び標準偏差	バンド4	27.5 (5.1)	17.2 (1.9)	25.3 (3.2)	27.4 (3.0)	32.8 (2.2)
	バンド5	27.6 (8.2)	19.5 (3.3)	37.2 (7.1)	44.1 (5.7)	55.1 (3.9)
	バンド6	13.7 (6.7)	36.4 (6.2)	45.5 (6.9)	49.6 (6.5)	59.7 (4.1)
	バンド7	2.0 (1.2)	19.4 (2.6)	20.4 (2.1)	20.8 (3.0)	24.7 (1.6)

最終的に採用したトレーニングデータの数、その輝度分布特性及びトレーニングエリアの判別結果を表2にまとめた。的中率は、類型1, 2, 5で93%を越えるが、類型3, 4ではほぼ80%と若干劣る。沙漠化の程度は流沙地と植生地の占有度で判定されているであろうから、軽・中度沙漠化土地とされている部分でも詳細に見た時に移動があっても当然であろう。

このデータから計算される係数ファイルを使用した全画素の分類結果が写真2であり、各類型の占有率は表3のようである。

2. バイバンド比およびバンド5の反射率による分類

毛烏素沙地の土地利用図とMSSデータとを比較検討した小橋は、表4の判読規準で土地利用を適切に判読できるとしている。⁴⁾ここに、BBはバンド6および5の反射率の比B6/B5を10倍したものである。

しかしこの規準で先のMSSデータを分類すると、湿潤あるいは陰影地が76%を占めることになり、類型図で80%以上も占めていた中度・強度沙漠化土地を表現するであろうR1~R3の占有率は30%にもならない。

表2に示したトレーニングエリアの輝度特性を考慮すると、表5に示すように規準を修正する方が、沙地と判断される画素の占有率は86%となり良いと考えた。分類結果が写真3である。

表3 最尤法による分類結果

類型	湖沼	潜在 沙漠化土地	軽度 沙漠化土地	中度 沙漠化土地	強度 沙漠化土地	判定不能
占有率(%)	2.8	3.9	26.5	34.2	31.6	1.0

表4 小橋による地被判読規準

BB	B5	CLASS	地表状態
~8		B0	湖
	~30	B1	
	31~40	B2	湿潤地
	41~50	B3	(陰影地)
9~15			
	51~60	R1	
	61~70	R2	流沙地
	71~	R3	
16~20		G1	
21~30		G2	植生地
31~		G3	

表5 沙漠化類型判定のための規準と占有率

BB	B5	CLASS	占有率
~8		B0	3.8%
	~30	B1	8.3
9~15	31~40	R1	22.4
	41~50	R2	36.3
	51~	R3	27.2
16~		G	2.2

3. K平均法による級化

筆者らが使用したデータ変換画像解析システムは、MSSデータを自動分類するために、最尤法のプログラムの外に、2つのいわゆる「教師なし分類法」のプログラムをもっている。筆者らは、そのうちK平均法を使用して、補正CCTデータの級化を実行した。

これは、画像を構成する画素のデータを多次元空間の点として捉え、次のような演算処理を行うものである。

すなわち、

①画像データ全体の平均ベクトル値と標準偏差ベクトル値によってとりあえず指定された数のクラスターの中心を計算する。

②各画素と各クラスター中心とのユークリッド距離を計算し、各画素をこの距離が最小になるクラスターに振り分ける。そして、

③各クラスターに属すると判定された画素群をもつベクトル値によって各クラスターの中心を計算しなおし、再び各画素と各クラスター中心とのユークリッド距離を計算し、各画素の属するクラスターを修正する。

④この繰り返しを、クラスター間を移動した画素数の全画素数に対する割合が指定した閾値より小さくなるまで繰り返す。なお、クラス分けした結果でのクラス間の分離度が指定された閾値より小さい場合は、それらを1グループに纏める。

筆者らは、バンド4, 5, 6を使って、クラス数6~20, 繰り返し終了条件2%, グループング条件1%を指定して処理した。結果は、15クラスに級化された。

IV 対応画素判定結果の比較

MSS データを3種の方法で判定した地上状態の分類結果や6値画像に変換された沙漠化類型図の比較検討を行う。

表6 類型図及び最尤法による分類に対する各画素の散布(%)

類型図における類型	最尤法により分類された類型					
	1	2	3	4	5	0
塩湖, 河川・湖沼	16.6	0.4	1.5	3.7	0.4	0.9
潜在沙漠化土地	0.3	0.8	1.0	0.3	0.4	0.0
軽度沙漠化土地	2.1	9.0	60.9	34.7	34.1	1.1
中度沙漠化土地	4.4	14.1	95.9	117.9	69.6	4.1
強度沙漠化土地	4.9	14.3	103.2	183.8	211.2	3.7

まず、各画素の最尤法による分類の結果と沙漠化類型図との対応を纏めたものが表6である。最尤法による類型0は与えられたGTDでは判別しきれない画素である。

太字で示したものは、最尤法により判読された類型が沙漠化類型図におけるそれに合致したものであり、この割合を的中率と考えると、全体でほぼ40%にしかない。表2に示したトレーニングエリアだけで的中率が高かった河川・湖沼、潜在沙漠化土地、強度沙漠化土地に対応する類型1, 2, 5においても、それぞれ70, 29, 40%の的中率にしかない。幾何補正の不十分さの問題も残るが、とくに潜在沙漠化土地のそれがきわめて低い。

ところで、類型図において潜在沙漠化土地とされている部分は、全画素数に対して0.3%の占有率にしかない小面積の2団地である。最尤法による判読ではその10倍以上の画素がこの類型に分類される。沙漠化類型図は50万分の1の縮尺で描かれている。この縮尺の図に地表の細かい変動をくまなく描写することは困難であり、ある広がりの中で支配的な類型が描出されるに過ぎないだろう。その広がり単位はMSSデータ1画素のカバーする面積よりかなり大きいと考えられる。したがって、沙地の中の丘間低地といわれる個所に小面積ずつ分布する植被地が、類型図では省略されることになる。

同じことは、夏期に撮影された空中写真で砂丘に取り囲まれて多く存在する丘間低地の小規模な湿潤地を類型図では描ききれないのに対して、最尤法による分類では軽度~強度沙漠化土地にもそれを見出していることにも言えよう。

両者の的中率の低さは、類型図よりも MSS データの方が詳細な情報を与えることを示すというパラドックスを成り立たせることになる。

最尤法による分類結果と表5の規準による分類結果を対比したものが、表7である。規準を最尤法による分類のためのトレーニングデータを参考に決めているから当然のことかも知れないが、最尤法による類型1～5に対して、それぞれB0、G、R1、R2、R3が高い対応度を示している。ただ、R3を除いて極めて高い対応を示すには至らなかったことは、規準を再検討する必要性を示す。表中に太字で示したものを良好な判読結果と考えるなら、65%の確率で良好な判読結果を得ることが出来ることになる。

K平均法による級化の結果を彩色したものが写真4であり、表8はK平均法により級化したクラスと最尤法による類型との対比を示す。この表から、①類型1に属する画素が特異なクラスと分類される、②類型2及び5に属する画素がそれぞれ多く属するクラスが複数個取り出されることがわかる。写真4ではクラス番号が大きくなるほど寒色系から暖色系になる

表7 最尤法及びバイバンド比の規準による分類に対する各画素の散布 (%)

最尤法における類型	バイバンド比の規準で分類された類型					
	B 0	G	B 1	R 1	B 2	R 3
1	27.4	—	0.9	0.0	—	—
2	0.0	15.8	22.8	0.1	—	—
3	—	5.1	41.8	138.1	79.9	0.0
4	7.6	0.1	14.6	85.0	213.2	16.2
5	0.1	—	—	—	64.4	251.9

表8 K平均法によるCLASSの特性と最尤法による類型との関係

CLASS	平均輝度			占有率 (%)						Σ
	バンド4	バンド5	バンド6	類型1	類型2	類型3	類型4	類型5	類型0	
1	24.09	24.04	13.16	27	0	—	1	—	1	29
2	18.54	22.66	29.83	0	22	4	4	—	3	32
3	22.29	30.30	32.81	1	0	17	21	—	1	40
4	20.01	25.61	41.38	—	16	15	2	—	0	33
5	23.35	32.79	42.01	—	0	90	25	—	0	116
6	26.23	38.34	39.64	1	—	10	34	—	0	44
7	25.80	38.88	45.18	—	—	47	27	—	0	75
8	27.78	43.42	46.31	0	—	32	75	—	0	107
9	30.32	47.19	47.20	0	—	3	31	0	0	34
10	30.04	48.62	52.69	—	—	20	56	36	0	112
11	27.21	42.82	57.49	—	0	15	18	—	0	33
12	30.28	49.13	59.79	—	—	12	42	68	0	122
13	31.83	53.10	56.78	—	—	0	5	95	0	100
14	33.89	56.82	59.69	—	—	—	2	103	1	107
15	37.01	60.89	66.37	—	—	0	0	15	2	17

ように彩色しているが、たとえば表8のクラス3, 7, 11における最尤法により分類した類型との対応を見ると、クラス番号が必ずしも沙漠化の程度を示すものとはならない。各クラスが如何なる類型に対応しているかの判断基準をもたないとき、この級化法による解析結果の具体的な事業計画、事業の効果評価の情報としての利用価値は低いものである。

V おわりに

ミニコンピューターを中央演算装置とする解析システムを使用してランドサット MSS データを処理し、地図データの画像データ化を行い、3つの判読・分類方法による結果を検討した。

解析結果と沙漠化類型図との対応は余り良いとは言えなかったが、沙漠化類型図には表現できない地表状態の詳細を表すことが出来るからこそランドサットデータに意義があると考ええる。

地上情報を使用するという点から考えても、最尤法が MSS データの解析法として最善である。類型図からでも良好な GTD が得られることがわかった。さらに MSS データから位置の確認できる箇所ですべて正確な地上部情報を収集することが可能になれば、緑化計画の立案に大いに貢献できるであろう。

しかし、緑化事業の進行にともなう環境の変化を短時間間隔で追跡しようとする場合正確な地上部情報をこまめに収集することは困難であろうから、他の解析方法によらねばならない。それは、例えばある規準値を確定しておいて類型化を行う方法である。その規準の一つとして表5に示したものは有効であろう。

ところで、MSS データに現れる各バンドの値はデータ採取日の天気によって大きく異なるものであるから、1画像だけを基に解析・分類するのではなく、ごく近い時刻の画像をいくつか重ね合わせて解析する必要がある。ID300はその種の処理をする機能を備えている。

中国でも MSS データを受信する体制が整ったと聞く。⁵⁾ MSS データの沙漠緑化事業への有効な利用が進むことを期待しつつ本文を結びたい。

なお、この MSS データの解析について筆者らはすでに発表した⁶⁾、沙漠化類型図の画像データ化、最尤法による分類のために採用したトレーニングデータ、バイバンド比等の規準による分類における規準値、K平均法の級化において指定した終了条件等において変更があるので、最終的に得た解析結果は異なるものとなっている。

謝 辞

筆者らはランドサットデータの扱いにおいては全くの初心者であり、十分な知識がないままにこの研究を始めた。それに対し本研究を進める上で、京都大学農学部助教授小橋澄治先生には CCT の提供を受けたほか、多くの点でご指導とご援助をいただいた。鳥取大学農学部

古川郁夫，井上光弘両氏には，画像解析システムを操作する上で多くのご指導を願った。また「内蒙古伊克昭盟沙漠化類型図」は，鳥取大学砂丘利用研究施設の山本太平助教授が内蒙古林業科学院から持ち帰られたものを使わせて頂いた。ここに記して謝意を表したい。

文 献

- 1) 湖南省林業学校主編：造林学（下冊），中国林業出版社，（1984）
- 2) 小橋澄治：内蒙古自治区毛烏素沙漠緑化利用の状況，緑化工技術 11—3，pp. 15～22（1986）
- 3) 大手桂二：内蒙古自治区毛烏素沙地の緑化事業の現状，新砂防 39—6，pp. 24～31（1987）
- 4) 小橋澄治・中山裕則：内蒙古毛烏素沙漠の環境調査のためのリモートセンシング技術の応用(1)，緑化研究 8，pp.100～113（1986）
- 5) 中島 巖：ランドサットがとらえた中国・大興安嶺の森林火災，林業技術 547，pp. 20～23（1987）
- 6) 内蒙古沙漠開発研究会：中国の乾燥地における沙漠化の機構解明と動態解析(予備調査) —特に毛烏素沙漠において—，トヨタ財団助成研究報告書 005，（1987）

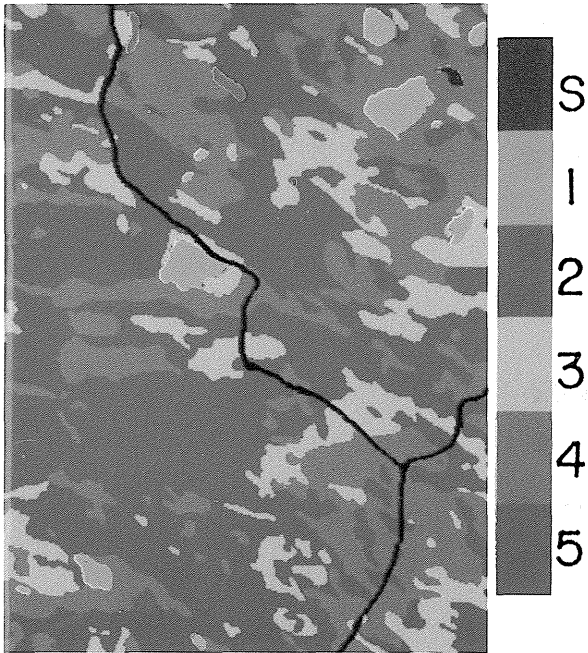


写真1 イメージデータ化した沙漠化類型図

S : 塩湖 1 : 河川・湖泊 2 : 潜在沙漠化土地
3 : 軽度沙漠化土地 4 : 中度沙漠化土地
5 : 強度沙漠化土地

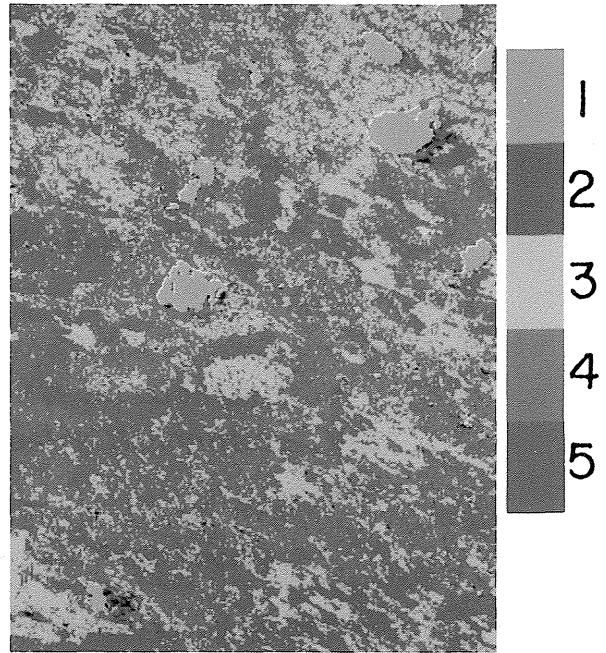


写真2 最尤法による分類結果

(類型番号は表1のとおり)

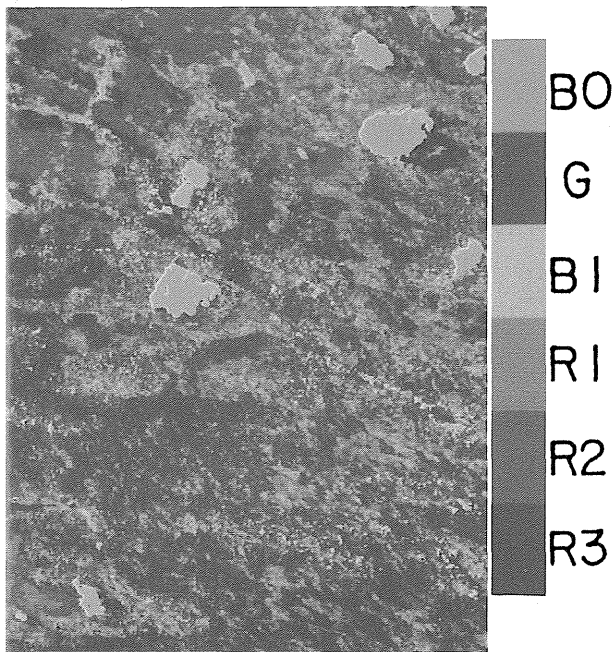


写真3 表5の判読規準により分類した
MSSデータ

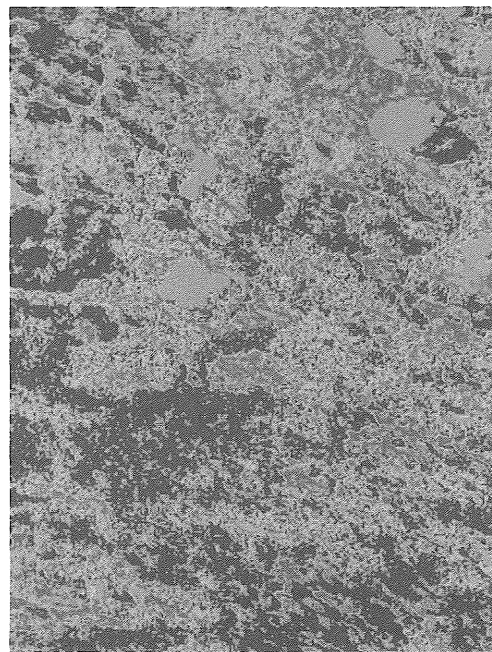


写真4 K平均法により級化したMSSデータ