

MSS データによる土地被覆分類項目の設定に関する研究

A CLASS DEFINITION OF LAND-COVER BY USE OF MSS DATA

沼田 實*・出口近士**

By Minoru NUMATA and Chikashi DEGUCHI

A class definition method has been developed for extracting the land-cover information from multispectral scanner (MSS) data. The method is based on the statistical verification tested by F -values and t -values, which are estimated by multiple regression analysis in a stepwise manner. It has been applied to Landsat and aircraft MSS data. Based on the statistical verification, the original land-cover classes which are interpreted manually with color aerial photographs, have been consolidated in sequence. Consequently, thirteen classes for the Landsat MSS data and eleven classes for the aircraft MSS data are defined.

1. はじめに

マルチスペクトラル・スキャナー（以下、MSSと略記する）によるリモートセンシングは、地物の電磁波の多重スペクトル情報が収集できるため、近年土木、海洋、農林、地質、環境や防災等への利用について、各分野での幅広い研究が進められている。このうち地域および都市計画の分野への適用についても、従来の航空写真の利用とともに、計画対象地域の広域化、データ収集ならびに解析処理の迅速化等の理由から、時系列的に変化する土地利用状況の把握の有力な方法として期待され、航空機や人工衛星からの MSS データによる各種の土地被覆分類手法^{1)~3)}などが提案されている。

MSS データにより抽出可能な土地被覆情報は、空間分解能、季節や解析対象地域等によって異なる。したがって、MSS データを用いた土地被覆分類においては、これら諸条件に応じた分類項目の設定がなされなければならないといえる。

MSS データの画素単位の電磁波特性を用いた土地被覆分類手法としては、いわゆる教師つき分類^{4),5)}と、ク

ラスタ分析を用いた教師なし分類^{6),7)}とよばれる方法が従来から用いられてきている。前者における分類項目の設定は、あらかじめ利用目的を考慮して初期設定された分類項目について、教師データ選定の難易性や分類精度等との整合を図り、先験的⁸⁾に決定されている。このため分類項目の設定を機械的に行うことが難しく、各専門家の達観の方法に依存する⁹⁾ことが多い。またこの方法では、データごとに教師データをピクセル単位で選定しなければならず、分類精度も教師となるトレーニング・データの選定精度に依存する。そのため複雑な土地利用形態をなす地域では、分類項目の細分化が一般に困難な場合が少なくない。一方、クラスタ分析を用いた方法は、一定の距離基準により順次クラスタが構成されることから、MSS データのような特性の把握が困難である多次元情報をもつデータの分類方法としては、より客観的な方法といえる。しかしながら、分類項目の設定、クラスタと分類項目の対応、ならびにクラスタ数の設定基準等が必ずしも明確でなく¹⁰⁾、これらのことがデータ指向型¹¹⁾の分類方法の弱点と考えられる。

クラスタ分析を用いた分類手法の1つに、分類項目を固定的に設定し、分類項目に対し有意なクラスタを重回帰分析により求め、分類項目のメッシュ内比率を推定する方法¹²⁾が報告されており、多変量解析を導入した

* 正会員 工博 九州大学教授 工学部土木工学科
(〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1)

** 正会員 工修 九州大学助手 工学部土木工学科 (同上)

有効な方法と考えられるが、分類項目の設定については言及されていない。また、クラスター分析と最尤法を組み合わせた方法¹³⁾も開発されており、土地被覆分類システムとしては評価されるべきものであるが、分類項目設定の適否については、クラスターによるグレー・マップと航空写真との対比、ならびに分類項目間の分光特性の対比といった、解析者の目視的、経験的判断による方法を余儀なくされているのが現状である。したがって、これらの方法では分類項目設定の適否、ならびに分類項目とクラスターとの対応についての客観的判断基準が明示されないといった問題が残る。

これらを総合すると、MSS データを用いて土地被覆分類を実施する場合には、分類項目設定についての理論的背景、分類項目の細分化、ならびに分類精度の向上が重要な課題になるものといえる。

そこで本稿では、航空写真や土地利用図等の利用により初期分類項目を極力細分化するとともに、理論的背景をなす統計的検定を前提とする重回帰分析ならびにクラスター分析を用いてこれら分類項目との整合を図りつつ、MSS データのもつ土地被覆情報を有効に抽出する分類項目の設定方法を提案するものである。

2. 分類項目の設定

(1) 分類項目とクラスターとの対応

前述のように MSS データは地表面物質の電磁波の多重スペクトル情報を収集したものであり、これから抽出される土地被覆情報と、土地利用計画等で要求される土地被覆分類との間には乖離が存在することが考えられる。本稿はクラスター分析を用いて MSS データのもつ土地被覆情報を有効に抽出し、これらの要求と整合する分類項目を設定しようとするものであるため、MSS データよりも空間分解能の高い航空写真等のデータから、極力詳細に分類項目の初期設定を行う必要がある。

いま別途資料(航空写真, 土地利用図, 地形図等)より l 個からなる解析地域全体を選定したうえで、地域 k (以下, メッシュ地域とよぶ) をメッシュ分割し、ついで初期分類項目 i について目視判読を行い、これらの個数を y_{ik} (以下, メッシュ・データとよぶ) とする。

一方 MSS データについても、目視判読地域と同一地域の画素 (以下, 未知データとよぶ) を、クラスター分析により別途形成したクラスター C_j へ割り付け、これらの個数を x_{jk} とする。これらの変量を以下に示す。

y_{ik} : 第 k メッシュ地域内の i 分類項目に属するサンプルの個数

x_{jk} : 第 k メッシュ地域内の j クラスターに属する MSS データの画素数

ここに、 $i=1\sim m$, $j=1\sim n$, $k=1\sim l$

本稿は前述のように人間が目視判読した分類項目と、土地被覆に対し何らかの情報をもつクラスターとの対応づけを目的としているのであるから、分類項目がクラスターの一次結合からなるものと仮定すれば、重回帰分析¹⁴⁾を実施することによって、上記の分類項目とクラスターとの対応を求めることが可能となる。

しかしながら、MSS データの土地被覆情報に対応するクラスター数および分類項目数は一般に不明であり、また周知のように重回帰分析は説明変数群と目的変数との変動により決定づけられることから、これらを固定的に設定したのでは、MSS データのもつ土地被覆情報を十分に抽出することが困難となる。さらに後者の理由により、目的変数と説明変数とを入れ換えれば、クラスターと分類項目の間には異なる対応が得られることになる。

そこで本稿では、分類項目数およびクラスター数とも当初任意なものと考え、さらに分類項目とクラスターとの対応を明確にするために、それぞれを交互に目的変数、説明変数とした次式に示すステップ・ワイズ法による重回帰分析を行う。ついで次節に示す統計的有意性の検定により、MSS データのもつ土地被覆情報と整合する分類項目の設定、およびこれとクラスターとの対応づけを行うものである。すなわち、

$$Y = AX + E_1 \dots \dots \dots (1)$$

の重回帰分析を実施した後、変数を入れ換えて、

$$X = BY + E_2 \dots \dots \dots (2)$$

を再度実施し、偏回帰係数 A , B を求める。

ここに、 $Y = [y_1 \dots y_i \dots y_m]^T$, $X = [x_1 \dots x_j \dots x_n]^T$

A, B : $m \times n$ および $n \times m$ の偏回帰係数マトリックス

E_1, E_2 : $m \times l$ および $n \times l$ の誤差マトリックス

以下の説明は分類項目を目的変数に、クラスターを説明変数にした式 (1) の場合のみを記す。

(2) 有意性検定による分類項目およびクラスターの検討

上記の重回帰分析で得られる各種の検定基準のうち、分類項目 i に対する回帰式の分散比 F_i は、次式で求められる。

$$F_i = \frac{V_{Ri}}{V_{Ei}} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 V_{Ri} : 回帰による分散

V_{Ei} : 残差による分散

この分散比 F は、帰無仮説 H_0 : 「説明変数は目的変数の説明になんら役立たない」のもとでは、自由度 (n' , $l-n'-1$) の F 分布をする¹⁵⁾ので、一定の有意水準で回帰式の有意性の検定を行うことができる。ここに、 n' は取り入れられた説明変数の個数である。すなわち本法

の場合、この F 値 F_i の有意性の検定を行うことによつて、目視判読した分類項目の設定の妥当性の検討が可能となる。

一方、本法で用いるステップ・ワイズ法による重回帰分析は、各説明変数の目的変数に対する F 値 F_{ij} (式 (2) の場合は F'_{ji}) を基準にして、説明変数の取捨選択を行う方法であり、解析上これらの F 値 F_{ij} 、 F'_{ji} を固定的に設定することにより有意水準が変動するため、個々の説明変数独自の説明力についての詳細な検討が難しい。そこで、一定の有意水準で下式¹⁶⁾で表される各偏重回帰係数に対する t 値の有意性を検定することで、より明確なクラスターの棄却が可能となる。

$$t_{ij} = \frac{(a_{ij} - \alpha_{ij})}{\sqrt{S_{jj} \cdot V_{Ei}}} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 a_{ij} : 分類項目 i のクラスター j に対する偏重回帰係数

α_{ij} : クラスター j に対する未知パラメーター

S_{jj} : クラスター j の偏差平方和

また、クラスターが2つ以上の分類項目に対応する場合、この t_{ij} の基準ではクラスターがいずれの分類項目に対応するのかが不明確である。このような場合には、前述式 (2) のようにクラスターを目的変数に、分類項目を説明変数として得られる t 値 t'_{ji} の大きさを比較することにより、分類項目とクラスターとの対応を明確にすることが可能となる。

さらにこの検定により、どの分類項目にも対応しないクラスターが存在すれば、この場合クラスター数は設定された分類項目に対し過大なものと考えられ、次のステップでのクラスターの設定数の指標ともなる。

最後に上述の重回帰分析において、説明変数となるクラスター間および分類項目間で互いに相関の高いものが存在した場合、いわゆる重共線性が惹起する可能性があり、クラスターの分類項目に対する相対的強さの解釈に困難をきたすおそれがある。そこで、分類項目とクラスター間の単相関係数について、有意性の検定を施して正值のクラスターだけを抽出することとすれば、クラスターの解釈にとって不都合な上記の重共線性の問題を解決することができる。

以上、分類項目の統合、およびクラスターの融合を、上記の統計的有意性の検定で相互に対応が認められるまで進めることにより、MSS データがとらえることのできる地表の状態と対応する分類項目の設定、ならびにこれとクラスターとの客観的対応が可能となる。

(3) 解析の手順

a) 本法の解析の進め方を図-1 のフロー・チャートに従って説明する。まず最初に、分類対象地域から分類項目設定のための解析地域を選定する。次に、MSS デー

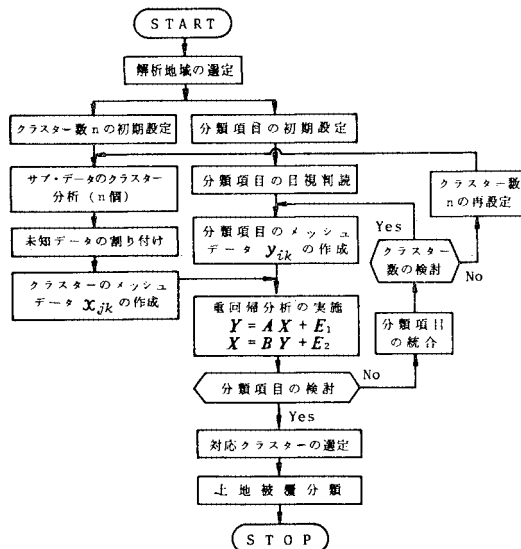


図-1 解析フロー・チャート

タの空間分解能を考慮して、分類項目の初期設定を行う。ついで前述資料より目視判読を行い、各分類項目ごとにメッシュ・データ y_{jk} を作成する。

一方、MSS データについては、クラスター数 n の初期設定を行ったうえで、解析地域からサンプリングしたデータ S_1, S_2, \dots, S_r のうち 1 組のデータ (以下、これをサブ・データとよぶ) を対象に、クラスター分析を用いて n 個へのクラスター化を行い、これを $C_j (j=1 \sim n)$ とする。ついで解析地域の残りの未知データを C_j に割り付け、各クラスターごとにメッシュ・データ x_{jk} を作成する。

b) 上記で得られたメッシュ・データ y_{jk} 、 x_{jk} のそれぞれを交互に目的変数、説明変数として、重回帰分析を行う。次に、回帰式の F 値 F_i 、偏重回帰係数の t 値 t_{ij} 、 t'_{ji} 、および相関係数 r_{ij} の各統計量の有意性の検定を行い、相互に有意な分類項目およびクラスターを抽出する。

c) 統計的有意性の検定で有意と認められなかった分類項目について、 t 値および目視判読時における判読基準を参考にして、他の有意な分類項目との統合を行う。また、分類項目を目的変数とした重回帰分析で得られた t 値 t_{ij} より、いずれの分類項目に対しても有意でないクラスターが存在すれば、これらの個数を参考にしてクラスターの融合を進める。

d) 以上の手順を繰り返す、少なくとも1つ以上のクラスターが分類項目に対応すれば、この手順を終える。ついで、メッシュ・データでの目視判読データと分類結果との相関係数および被覆率を指標として、分類項目の整合を検討し、分類項目の最終設定を行うとともに、これら分類項目に対応するクラスター (以下、これを対応

クラスターとよぶ)を選定する。最後に、これらの分類項目の対応クラスターをもとに土地被覆分類を実施する。

3. 適用例とその解析

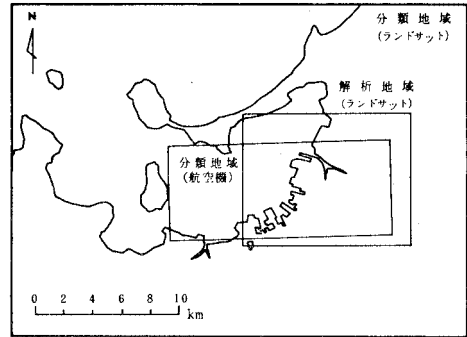
(1) 解析地域の選定

空間分解能の異なるランドサット MSS データと航空機 MSS データについて福岡市を対象に、本法の実用性を検討した。解析に使用したデータを表一1、表一2に示す。

表一1 解析データおよび資料

解析データ		目視判読データ	
ランドサット MSS	航空機 MSS	カラー航空写真	土地利用図
観測 1981年12月18日	観測 1979年8月12日	撮影 1981年11月14, 18日	調査 1975年
地域 北部九州	地域 福岡市	地域 福岡市	地域 福岡
2号, パルク補正	観測高度 3200 m	撮影高度 1800 m	縮尺 1:25 000
キュービック・コンボリューション	観測時刻午後3時	縮尺約 1:10000	
	タンジェント補正		

それぞれ青, 緑, 赤を与えた合成カラー画像から MSS データと目視判読データとの位置標定を行った。次に、これらの位置標定誤差を考慮して、分類地域から1画素おきに抽出したデータから、約 320×320 m の大きさからなる 80 のメッシュ地域を選定した。これらの地域を図一2



図一2 解析対象地域 (福岡市)

表一2 航空機 MSS の波長帯域¹⁷⁾

チャンネル	波長(μm)
1	0.35~0.40
3	0.45~0.50
5	0.55~0.60
7	0.65~0.70
9	0.80~0.90
11	8.00~14.00

表一3 初期分類項目 (ランドサット MSS)

大分類項目	分類項目	コード	分類内容
水系	1 水域	01	海, 河川, 池, 湖等
	2 水際	02	水域と陸域の境界, 防波堤, 干潟, 岩礁等
農地	3 田畑地 1	11	刈り入れ後の田地 (はだ色系)
	4 田畑地 2	12	刈り入れ後の田地 (こげ茶色系)
	5 草地	13	田畑等に草が生えた地区 (緑色系)
	6 果樹園	14	果樹園, 茶畑等
森林	7 針葉樹林	21	松, スギ, ヒノキ等
	8 広葉樹林	22	カン等
	9 竹林	23	竹林等
裸地	10 空地 1	31	運動場, 海浜, コンクリート舗装等 (白色系)
	11 空地 2	32	埋立地や造成地等 (灰色系)
	12 荒地 1	33	埋立地や造成地等 (茶色系)
	13 荒地 2	34	埋立地や造成地に草木が生えた地区
	14 野草地	35	野山等で, 大部分が草木で覆われた地区 (緑色系)
人工構造物	15 舗装	41	道路や駐車場等のアスファルト舗装等 (灰色系)
	16 軌道	42	ヤードや鉄道軌道等
	17 白色系構造物	43	白色系の大きな構造物等
	18 工場	44	鋼構造物等で覆われた地区
	19 倉庫	45	大きなスレート屋根やコンクリート建築物 (灰色系)
市街地	20 高層建築物	51	中心業務地域の高層建築街で, 主にコンクリート建築物と道路舗装で構成される地区
	21 中層建築物	52	周辺業務・商業地区やマンション, 仮舎等で中層コンクリート建築物で構成される地区
	22 中高層団地	53	3, 4 階以上の団地等でコンクリート建築物や舗装部で構成され, 51, 52 に比べ裸地が多い地区
	23 高密度市街地	54	既存の低層・密集住宅地等
	24 中密度市街地 1	55	既存の低層住宅地等で, 54 に比べ裸地が多い地区
	25 中密度市街地 2	56	低層住宅地で 55 に比べ, 緑地や裸地が多い地区
	26 低密度市街地	57	緑地や樹木に囲まれ, 56 より緑地や裸地が多い居住地

まず解析に先立ち、メッシュ・データを作成するための解析地域を選定する必要がある。この解析地域の選定の目安としては、本法が前述のように重回帰分析に基づく方法であるため、次の項目を考慮する必要がある。1) 目視判読データと MSS データとの位置標定が可能であること。2) 分類項目のメッシュ・データにメッシュ地域間での変動があること。3) メッシュ地域数が分類項目ないしはクラスターの初期設定数以上であること。

本節では以上の項目を考慮し、ランドサット・データの場合、統計調査等で用いられる 2 次メッシュとよばれる地域 (9.24×11.61 km) を解析地域として一括選定し、さらにこれを縦横 10 分割した 3 次メッシュ地域¹⁸⁾を前述のメッシュ地域とした。なおランドサット・データについては、既存の統計メッシュとの対応がとれるように 1 次アフィン変換¹⁹⁾による座標変換を施したうえで解析を行った。

一方航空機 MSS データについては、幾何学的ひずみが大きく、現在のところひずみ補正が困難なために座標変換は行わず、チャンネル 5, 9, 11 のデータを用いた 40 クラスターからなる分布図と、同チャンネルにそれ

表-4 初期分類項目 (航空機 MSS)

大分類項目	分類項目	コード	分類内容
水系	1 水 城	01	海、河川、池、湖等
	2 水 際	02	水域と陸域の境界、防波堤、干潟等
緑地	3 樹 木	11	針葉樹、広葉樹、竹林等
	4 緑色系植物	12	稲、牧草地等
	5 野草地	13	土手、野山、ゴルフ場、公園等
裸地	6 運動場	21	運動場、海浜、砂地等 (白色系)
	7 荒地 1	22	埋立地や造成地等 (灰色系、茶色系)
	8 荒地 2	23	運動場や空地に草が生えた地区
人工構造物	9 赤色系構造物	31	赤色系の屋根や構造物等
	10 青色系構造物	32	青色系の屋根や構造物等
	11 白色系構造物	33	白色系の屋根やコンクリート構造物等
	12 灰色系構造物	34	スレート屋根やコンクリート構造物等
交通施設	13 舗 装	41	道路や駐車場のアスファルト舗装等
	14 軌 道	42	ヤードや鉄道軌道等
市街地	15 高密度市街地	51	市街地で建物が密集し、敷地等が人工構造物で覆われた地区
	16 低密度市街地	52	新興住宅地や郊外の田園居住地で、51 に比べ敷地が自然物で覆われた地区

に示す。

(2) 分類項目の初期設定

今回の解析では表-3、表-4 に示すように、それぞれ航空写真から判読可能なランドサット・データ; 26、航空機 MSS データ; 16 の項目に初期設定した。ランドサット・データについては、メッシュ地域を縦; 16、横; 20 にメッシュ分割した約 58×58 m の大きさを読み取り単位とし、この中の最大を占めると思われる項目を航空写真より読み取り、目視判読メッシュ・データを作成した。

一方航空機 MSS データについては 1 画素の大きさが約 8 m と小さく、1 万分の 1 の航空写真では判読が困難であり、また判読労力も多くなるため、メッシュ地域を縦横に 20 分割して目視判読メッシュ・データを作成した。なお、植生については上述の合成カラー画像を、人工構造物については地形図および土地利用図を参照し、航空写真から目視判読を行った。

ランドサット MSS データの場合は、画素が大きいのので土地利用図の利用が可能となり、表-3 のような分類項目の初期設定が可能となった。一方航空機 MSS データの場合は、画素が小さいため地物の物理的情報は得られるものの、空間的特性の把握が困難であることから、表-4 のような分類項目に設定せざるを得なかった。

(3) サブ・データの選定

解析領域のすべてのデータをクラスター分析することは、計算機の容量や演算時間の制約上困難である。そこで、ランドサットおよび航空機 MSS データの解析領域から格子状に抽出した各 300 個からなるランドサット解析用データ S_1, S_2, S_3 および航空機 MSS 解析用データ

S_4, S_5, S_6 をクラスター分析したうえで、それぞれ分光特性図を描出した。ついで、これらのうち代表的と思われる S_1, S_4 をそれぞれサブ・データとした。また、クラスターの初期設定数は分類項目の初期設定数の約 2 倍の 40 クラスターとした。なお、クラスター分析にはウォード法²⁰⁾を用い、変量としてランドサット・データでは全バンドを、航空機 MSS データでは表-2 のすべてのチャンネルを用いた。

(4) 統計的有意水準の検討

ステップ・ワイズ法による重回帰分析として変数増減法を用い、説明変数の選択基準に $F_{in} = F_{out} = 2.0$ を設定²¹⁾して解析を実施した。本節では、 t 値の検定の有意水準 $\alpha = 5, 1$ および 0.5% について、いずれの水準が分類項目とクラスターの対応づけにとって解釈しやすいかを、各メッシュ内の目視判読結果を真値とした χ^2 値²²⁾によって検討した。この結果を表-5 に示す。

表-5 有意水準と χ^2 値

MSS データ		有意水準 α (%)		
		5	1	0.5
ランドサット	S_1	9757	10032	6861
	S_2	18862	4070	4070
	S_3	9638	6657	6657
航空機	S_4	20676	5925	5412
	S_5	12476	11557	11327
	S_6	9870	6324	6324

表-5 の値は、各有意水準で異なるクラスターが対応した分類項目について、それぞれの χ^2 値を合計したものである。表より、 χ^2 値はおおむね有意水準が高いほど小さい値を示したため、以下の解析では有意水準 $\alpha = 0.5\%$ を用いることとした。

(5) 未知データの割り付け

サブ・データによる未知データの割り付け方法の問題点として、クラスター分析のデータとなるサブ・データの個数が、演算上の理由により未知データに対してきわめて少なく制限されるといった問題がある。ここでは、サブ・データの偏りを補正する目的で、未知データの割り付けを繰り返し行った。なお、未知データの割り付け方法には最短距離法を採用した。

まず最初に、クラスター分析により構成された 40 個のクラスター C_j をもとに、最短距離による未知データの割り付けを行う。次に、これらの割り付けられたデータの各チャンネルごとの CCT カウントの平均値から、最短距離を計算し直し、これをもとにして再び未知データの割り付けを行い、これを繰り返す。最後に回帰分析により有意となった分類項目について、各繰り返し回数ごとに上述の χ^2 値の合計を求めた。これを図-3 に示

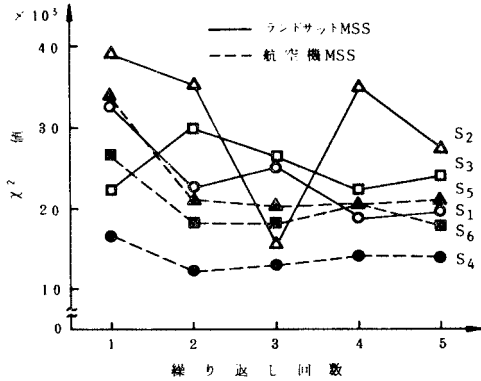


図-3 繰り返し回数と χ^2 値

す。

この図より、各ステップでの変動はあるものの、データ S_3 を除けばいずれのデータも、第1ステップの χ^2 値が他のステップの値よりも大きい値を示した。これは前述のサブ・データの過少性を示唆するものであり、このことから未知データの割り付けの際には、複数回の繰り返しが有効であることがわかる。本解析では、ランドサットおよび航空機 MSS のサブ・データ S_1, S_4 に対し、それぞれ5回と2回の繰り返しによる未知データの割り付けを実施した。

(6) 分類項目の統合

表-6は、ランドサット・データの第1ステップでの、分類項目を目的変数にした場合の偏回帰係数の t 値 t_{ij} であり、クラスターを目的変数とした場合の t'_{ij} 、および相関係数 r_{ij} のいずれでも、有意水準 0.5% でその対応性が認められたものである。なお、表中の(*)印は単一の分類項目への対応を示す。また、(**)印は、クラスター X_{16} のように分類項目 Y_6 の果樹園と分類項目 Y_8 の広葉樹の複数個の対応がある場合に、クラスターを目的変数とした場合の t'_{ij} の大きい方へ対応させたものである。この表では、分類項目 Y_7 の針葉樹はいずれのクラスターも対応していないため、他の有意な分類項目との統合が必要となり、この場合目視判読時の判読基準により広葉樹への統合を図った。また分類項目

表-6 回帰分析の t 値 (ランドサット MSS)

		ク ラ ス タ ー									
		$X_1 \dots X_5$	X_6	$X_7 \dots X_{15}$	X_{16}	X_{17}	$X_{18} \dots X_{21} \dots X_{23} \dots X_{40}$				
分 類 項 目	Y_1	-11.7*	34.2*	6.0*	-	-	12.6*	9.9*	-	6.2*	-
	Y_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Y_3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Y_4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Y_5	-	-	-	4.5*	3.9**	-	-	-	5.1**	-
	Y_6	-	-	-	-	5.6	-	-	-	3.6	-
	Y_7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Y_8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_{28}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Y_6 と Y_9 については、クラスター X_{16} および X_{21} との関連はあるものの、上述の t'_{ij} の基準により、対応するクラスターがなくなるため、このような場合には(**)印のついた分類項目へ統合させる方法を採用した。

一方クラスターの融合については、本解析ではランドサットおよび航空機 MSS データとも、いずれの分類項目にも対応しないクラスターの数が4~7程度であったため、各解析ステップともクラスターの減少数を5として解析した。なお本解析では、 F 値 F_i の基準で棄却された分類項目はなかった。

次に、対応クラスターの選定は、設定された分類項目に対応するクラスターが1つの場合にはそのクラスターとした。また、前述の解析例のように複数のクラスターが存在する場合には、目視判読データと判別結果とのメッシュ・データ間の相関係数、ならびに被覆率を参考にし、 t 値 t_{ij} の大きいものから順次取り入れて試行錯誤的に決定した。

(7) 解析結果

図-4はランドサット・データへの適用結果である。図中、上の部分に回帰ステップ、下の部分に回帰分析時のクラスター数、および右の()の中には対応クラスター数を示している。ランドサット・データでは、第1段階の回帰ステップでは9分類項目が統合され、次の第2、第3段階ではそれぞれ2分類項目が統合され、最終的に13分類項目に設定された。

また、表-7は目視判読データと判別結果の解析地域

初期分類項目	ステップ			最終分類項目
	1	2	3	
1 水 域	01	01	01	水 域 (5)
2 水 際	02	02	02	水 際 (1)
3 田畑地 1	11	11	11	田畑地 1 (2)
4 田畑地 2	12	12	12	田畑地 2 (1)
5 果樹園	14	22	22	22
6 針葉樹	21			
7 広葉樹	22	22	22	22
8 竹 林	23			
9 空地 1	31	31	31	空地 1 (1)
10 空地 2	32	32	32	空地 2 (2)
11 荒地 1	33	34	34	34
12 荒地 2	34			
13 草 地	18	18	18	草 地 (2)
14 野草地	35	35	35	野草地 (1)
15 舗 装	41	45	45	45
16 航 道	42			
17 白色系構造物	43	44	44	44
18 倉 庫	45			
19 工 場	44	44	44	工場・倉庫 (2)
20 高層建築物	51	52	52	52
21 中層建築物	52			
22 中高層団地	53	54	54	54
23 高密度市街地	54			
24 中密度市街地 1	55	55	55	中密度市街地(1)
25 中密度市街地 2	56	56	56	中密度市街地(1)
26 低密度市街地	57	57	57	低密度市街地(1)
クラスター	40	35	30	30

図-4 分類項目の統合 (ランドサット MSS)

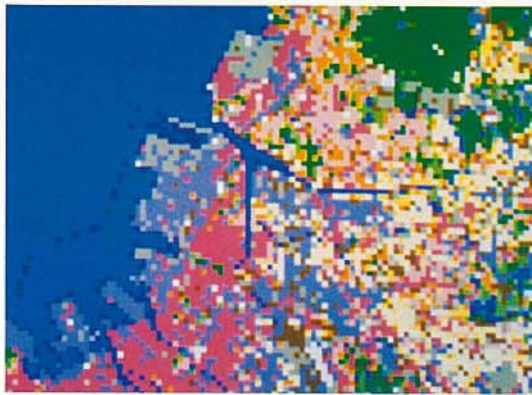


写真-1 航空写真からの目視判読



写真-2 分類結果(ランドサットMSS)

凡 例

- | | | | | |
|------|-------|-----|--------|--------|
| 水域 | 田畑地2 | 空地2 | 工場・倉庫 | 低密度市街地 |
| 水際 | 森林・緑地 | 荒地 | 高密度市街地 | |
| 田畑地1 | 空地1 | 野草地 | 中密度市街地 | |



写真-3 合成カラー(航空機 MSS)



写真-4 分類結果(航空機 MSS)

凡 例

- | | | | |
|----|------|--------|--------|
| 水域 | 緑色植物 | 荒地 | 高密度市街地 |
| 水際 | 野草地 | 白色系構造物 | 低密度市街地 |
| 樹木 | 運動場 | 灰色系構造物 | |

土木技術者のための 岩石・岩盤図鑑

三木幸蔵・古谷正和共著 A5判 250頁 ¥8,500
難解な複雑な岩石・岩盤を対象とする調査工事の立案や建設工事の施工に際して、現地岩盤が一目でわかるよう、北海道から沖縄まで日本列島を構成する代表的岩盤を、豊富なカラー写真で解説した実用書。

(内容見本送呈)

下水道技術検定受験必携

玉木 勉監修/下水道技術研究会編 B6判 ¥2,200
下水道技術検定の受験参考書としてまとめたものであるが、下水道技術者に求められる知識を、できるだけ広範囲にかつ精選し、コンパクトな形に編集。160余の問題に、ていねいな解説と解答がつく。

プレストレストコンクリート

《レオンハルトのコンクリート講座⑤》

F.レオンハルト著/横道英雄監訳

A5判 290頁 ¥3,800

基本概念から終局限界状態の検討まで、過去40年間の技術開発の成果をこの一冊に凝縮。写真図版多数

コンクリート橋

《レオンハルトのコンクリート講座⑥》

F.レオンハルト著/横道英雄監訳 A5判 ¥3,400

設計にあたっての支間長、構造形式、桁高、橋脚、支承形式などの決定のポイントをズバリ具体的に指摘。更に今日多く用いられている施工法をも解説。

これだけは知っておきたい

建設業の数字に強くなる本

掛井 連著 B6判 198頁 ¥1,500

見積りから受注、施工、そして竣工に至るまで実に多くの数字が飛び交う。本書は、それらの数字のもつ正しい意味、数字を扱うときの心得をわかりやすく解説。所属部署を問わず、全建設マン必読の書。

杭基礎の耐震設計

矢作 枢・和田克哉共著 A5判 124頁 ¥1,800

1. 地震の概説として地震波の性質や杭の耐震設計手法の種類について 2. 地盤調査について 3. 荷重や許容応力度について 4. 静的な計算や動的な手法について 5. 計算例について述べられている。

土質工学——基礎知識と例題

稲田倍穂 著 A5判 204頁 ¥3,200

現場をあまり知らない学生や、現場経験の乏しい若手技術者を対象に、現場のデータ・情報や経験によるノウハウに基づき、土質および基礎工に関する工学の基本的事項について、その要点を解説した書。

画で見る地形地質の基礎知識

今村遼平・岩田健治・足立勝治・塚本哲共著

A5判 242頁 ¥3,200

地形図や空中写真などを数多く挿入して、地形図の判読や地質構成の予測…といった土木技術者に実務面で必要な知識を、土木工学的視点から平易に解説。

鉄道・トンネル編

《すぐに役立つ測量現場必携》④

日本測量調査技術協会編/松沢房治・越山俊郎共著

A5判 216頁 ¥3,200

工事の流れを追ってわかりやすく解説。単なる理論の解説に終わらない、現場実務者の必携書。

石灰による軟弱地盤の安定処理工法

日本石灰協会編 A5判 250頁 ¥3,400

近年の工事の大型化と急速施工、さらには大規模開発等のため、避けて通れない軟弱地盤対策について設計計算例や工事の実施例および試験方法の手順を豊富な図面でわかりやすく解説したマニュアル。

土砂崩れの恐怖と対策

土砂害対策研究会編 B6判 148頁 ¥1,400

執筆：杉山俊宏・瀬尾克美・池谷浩・松下忠洋
わが国は脆弱な地質・土壌条件の処が多く、台風常襲地帯でもある。本書は恐ろしい土砂災害から尊い人命・財産を守るための対策を実例をあげて解説。

切取斜面の設計から維持管理まで

奥園誠之著 A5判 156頁 ¥2,500

岩質・土質・地質構造・土中水などの地山条件と実際の切土施工実績との関係、その後の安定状況（崩壊したか否か）から検討した設計条件・安定条件の限界。設計や管理、調査の第一線技術者待望の書。

建設会社のオフコン活用法

内田俊夫著 B6判 180頁 ¥1,500

オフコンメーカー、セールスマンとのつき合い方から実際の活用法まで、オフコン導入に当たって知っていた方がよい知識を、イラストを多数入れてわかりやすく解説。

明日を築く
知性と技術

鹿島出版会

〒107 東京都港区赤坂6-5-13 ☎(03)582-2251 振替東京6-180883

における被覆率，および前述の相関係数を示したものである。この表より，田畑地 2 の被覆率の差異，および空地 2 での低い相関がみられるものの，13 という比較的多い分類項目に対しおおむねよい適合度を示している。

航空機 MSS データへの適用結果を図-5 および表-8 に示す。なお，この図の中の荒地 2 については，3 回の回帰ステップの後求められた相関係数が 0.45 と低かったため，さらに分類項目の統合を行い，再度の回帰手順により分類項目の有意性が認められたものである。図中，最後のステップ 4 の前段に示した分類コードに対応するステップで，分光特性に関する情報（CCT カウントの平均値）が得られたことを示している。また表-8 より，運動場の相関係数が相対的に低い値を示しているほかは，ランドサット・データと同様に全体的によい適合度が得られた。

なお本解析の結果，図-4，図-5 に示したように，ランドサットおよび航空機 MSS データのそれぞれ 13，11 の最終分類項目に対し，25 と 17 の有意な対応クラスターが得られた。また，最終的に融合されたクラスター数はいずれも 30 個となった。

最後に，前節で得られた対応クラスターからランダムに抽出したデータをもとに，最尤法による分類を実施し

た。図-6 はこの方法によって得られたデータの分光特性図の一例である。

以上の結果について，航空写真から目視判読したランドサット・データ解析用のメッシュ・データを写真-1 に，分類結果を写真-2 に示す。また航空機 MSS データについては，分類対象地域のうちランドサット・データに対応する地域の合成カラー画像を写真-3 に，分類結果を写真-4 に示す。表-7 および表-8 の結果と同

初期分類項目	ステップ 1 コード	2	3	4	最終分類項目
1 水 域	01	01	01	01	水 域 (1)
2 水 際	02	02	02	02	水 際 (1)
3 樹 木	11	11	11	11	樹 木 (1)
4 緑色植物	12	12	12	12	緑色植物 (1)
5 野草地	18	18	18	18	野草地 (1)
6 運動場	21	21	21	21	運動場 (1)
7 荒地 1	22	22	22	22	荒地 (2)
8 荒地 2	28	28	28	28	荒地 (2)
9 白色系構造物	38	38	38	38	白色系構造物 (2)
10 青色系構造物	32	32	32	32	青色系構造物 (2)
11 赤色系構造物	31	31	31	31	赤色系構造物 (2)
12 灰色系構造物	34	34	34	34	灰色系構造物 (3)
13 舗 装	41	41	41	41	舗 装 (3)
14 軌 道	42	42	42	42	軌 道 (3)
15 高密度市街地	51	51	51	51	高密度市街地 (3)
16 低密度市街地	52	52	52	52	低密度市街地 (1)
クラスター数	40	35	30	30	

図-5 分類項目の統合（航空機 MSS）

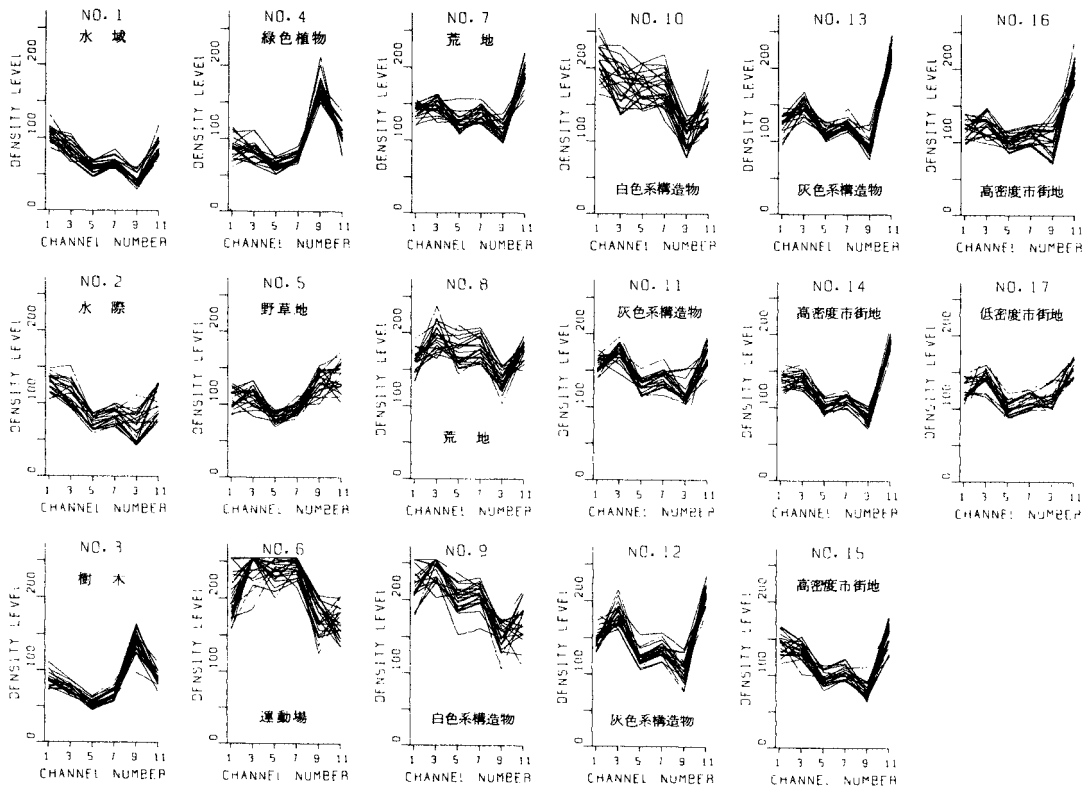


図-6 分光特性（航空機 MSS）

表一七 土地被覆率と相関係数（ランドサット MSS）

分類項目	土地被覆率 (%)		相関係数
	目視判読	分類結果	
1 水 域	26.81	25.48	0.996
2 水 際	3.35	1.59	0.799
3 田 畑 地 1	5.83	6.88	0.866
4 田 畑 地 2	1.92	4.74	0.820
5 森 林・緑 地	8.71	8.46	0.992
6 空 地 1	1.22	0.36	0.707
7 空 地 2	7.87	6.03	0.609
8 荒 地	5.51	7.21	0.870
9 野 草 地	2.42	2.52	0.724
10 工 場・倉 庫	12.42	11.99	0.854
11 高密度市街地	13.31	11.91	0.911
12 中密度市街地	5.96	7.87	0.801
13 低密度市街地	4.67	4.96	0.736

表一八 土地被覆率と相関係数（航空機 MSS）

分類項目	土地被覆率 (%)		相関係数
	目視判読	分類結果	
1 水 域	3.07	3.23	0.963
2 水 際	2.05	2.05	0.744
3 樹 木	4.75	5.38	0.955
4 緑 色 植 物	6.03	5.95	0.954
5 野 草 地	4.76	9.10	0.840
6 運 動 場	1.43	0.49	0.678
7 荒 地	13.52	14.14	0.721
8 白色系構造物	2.56	1.60	0.776
9 灰色系構造物	15.40	15.37	0.791
10 高密度市街地	22.92	24.09	0.857
11 低密度市街地	23.51	18.60	0.801

様に、両者は視覚的にもおおむねよく対応しており、本法の妥当性がうかがえる。

4. おわりに

本文は、ランドサットおよび航空機によるリモートセンシング MSS データを用いた土地被覆分類における分類項目の設定に関し、その理論的背景となる統計的有意性検定を導入した1つの方法を提案したものである。本法の特徴として、次のことが挙げられる。

(1) 分類項目設定の適否、分類項目の統合、およびこれらとクラスターとの対応が統計的基準によって検討されるため、データ指向型の方法としては従来の目視的方法に比べ、より客観的な分類項目の設定が可能である。

(2) 空間分解能の高い航空写真や土地利用図等から分類項目を極力詳細に初期設定し、これらとクラスター分析により抽出される MSS データの土地被覆情報との対応が段階的に検討されるので、分類項目の統合履歴が明示され、MSS データのもつ土地被覆情報の抽出に有効である。

(3) MSS データのほか航空写真等の目視判読データが必要となるが、本法が MSS データに依存し、

かつ分類項目とクラスターのメッシュ・データのメッシュ地域での変動に基づく方法であるため、従来のようにデータごとにピクセル単位の教師データを選定する必要がない。したがってランドサット・データのような周期的に入手可能なデータに対して、一度詳細な目視判読データを作成しておけば、あまり季節や年次が異ならないかぎり、複数のデータに対しても適用が可能である。

(4) 分類項目とクラスターとの対応づけに必要な有意水準としては、 $\alpha=1$ ないし 0.5% 程度の高水準の設定が望ましい。

(5) 未知データのクラスターへの割り付けの際のサブ・データの過少性の問題に対しては、複数回の割り付けの繰り返しが有効である。

本法は、リモートセンシング MSS データによる土地被覆分類に関して、前述のように主として多重スペクトル情報に基づいた分類項目の設定方法について、統計上の理論的背景を配慮しつつ検討したものである。今後より多くのデータに対して本手法の適用を繰り返すことにより、分類精度向上の手立てとなることを期するものであるが、さらにリモートセンシング・データの土地利用計画等への高度な利用を考える場合、MSS データによる土地被覆情報の抽出とともに、これら計画の策定の際必要となる空地率や建ぺい率等の土地利用情報や、人口密度等との関連を明確化することも重要な課題となってくるものと考えられる。

最後に、データの入手ならびに研究にあたっては長崎大学工学部 後藤恵之補助教授に負うところが少なくない。土地被覆分類手法については宇宙開発事業団の新井康平氏に、航空機データの CCT については九州大学工学部 梅干野晁助教授に有益なご指導を頂いた。また、解析では鉄道研究室の池上正春(現・運輸省)、横山 巖、松尾和巳の諸君に協力を得た。なお、ランドサット・データは宇宙開発事業団より提供されたものである。ここに記して感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 山本芳樹ほか：土地被覆分類結果を指標としたランドサット MSS データの検証，第 8 回リモートセンシングシンポジウム，pp.165～168，昭和 57 年 11 月。
- 2) 山岸健太郎ほか：リモートセンシング画像データのノンパラメトリックな分類法，日本リモートセンシング学会第 2 回学術講演会論文集，pp.3～6，昭和 57 年 12 月。
- 3) 堤 捨男ほか：双 1 次空間フィルタを用いた都市の土地利用解析，日本リモートセンシング学会第 2 回学術講演会論文集，pp.31～34，昭和 57 年 12 月。
- 4) 出口近士・沼田 實ほか：ランドサット・データの地域および都市計画への適用—土地被覆分類—，九州大学工学集報，Vol.55，No.6，pp.561～568，昭和 57 年 12 月。
- 5) 池上正春・沼田 實ほか：ランドサット・データを用いた人口推定の基礎的研究，土木学会第 37 回年次学術講演

- 会講演概要集, pp.115~116, 昭和 57 年 10 月.
- 6) 山内豊聡・後藤恵之輔ほか：リモートセンシングによる桜島の土地被覆分類, 桜島地域学術調査協議会調査研究報告, pp.164~165, 昭和 55 年.
 - 7) 浦野良夫ほか：ランドサットデータによる都市の土地被覆状況の解析 (その 2), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.421~422, 昭和 55 年 9 月.
 - 8) Townshend, J.R.G. and Justice, C.O. : Information extraction from remotely sensed data, International Journal of Remote Sensing, Vol. 2, No.4, pp.313~329, 1981-10~12.
 - 9) 北村貞太郎ほか：デジタル土地条件図作成方法と複合シーンの構造—リモートセンシングによるデジタル土地条件図作成方法に関する研究 (1)—, 農業土木学会論文集, 第 78 号, pp.52, 昭和 53 年 12 月.
 - 10) Townshend, J.R.G. and Justice, C.O. : Unsupervised classification of MSS Landsat data for mapping spatially complex vegetation, International Journal of Remote Sensing, Vol.1, No.2, pp.105~120, 1980-4~6.
 - 11) 松尾芳雄ほか：現況土地利用のテクスチャ解析による識別—リモートセンシングによるデジタル土地条件図作成方法に関する研究 (2)—, 農業土木学会論文集, 第 79 号, pp.1, 昭和 54 年 2 月.
 - 12) 前出 7)
 - 13) 星 仰：航空機による MSS データの処理システム (USAS) とその適用に関する研究, 土木学会論文報告集, No.285, pp.69~83, 昭和 54 年 5 月.
 - 14) 前出 7)
 - 15) 奥野忠一ほか：多変量解析法, 日科技連, pp.41, 昭和 46 年 10 月.
 - 16) 前出 15), pp.70~71, pp.135~143
 - 17) 前出 6)
 - 18) 日本統計協会編：地域メッシュ統計ガイド, pp.6~9, 昭和 53 年 2 月.
 - 19) 日本リモートセンシング研究会編：画像の処理と解析, 共立出版, pp.179~181, 昭和 56 年 5 月.
 - 20) 奥野忠一ほか：統多変量解析法, 日科技連, pp.215~216, 昭和 51 年 3 月.
 - 21) 前出 15)
 - 22) Quirk, B.K. and Sgarpage, F.L. : A comparison between aerial photography and Landsat for computer land-cover mapping, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.48, No.2, pp.235~240, 1982-2. (1983.8.29・受付)
-