

衛星マルチスペクトルデータを適用した分級評価モデルの開発

DEVELOPMENT OF LAND USE CAPABILITY CLASSIFICATION MODEL APPLYING SATELLITE MULTI-SPECTRAL SCANNER DATA

小島尚人*・大林成行**

By Hirohito KOJIMA and Shigeyuki OBAYASHI

Research on the land use investigation using satellite data is being carried out very actively. We have developed "Latency Factor (LF) model" for the land use capability classification and evaluation. Points to which special attention should be paid are that satellite data and geographical information are defined as latency factors in the land. LF model doesn't evaluate a value in use of the land but a potential value or a value of existence in the land. The analysis processes are as follows: 1) Quantification Method Type III are used to analyze the causality between latency factors. 2) The land use capability classification map is made by Quantification Method Type II and the min-max method distinguishing areas resembled training data.

Furthermore, LF Model has the three evaluation processes called "Present situation type", "Normative type" and "Hypothetical type". By comparison of classification maps of the farm land made by LF model and the former grading method, LF Model is very useful for extracting appropriate areas.

Keywords: land use capability classification, remote sensing, land use plan (and planning) quantification method, geographical information

1. はじめに

現在、衛星マルチスペクトルデータの利用範囲は海洋観測、森林管理、環境モニタリング等、多岐にわたっている。しかし、衛星マルチスペクトルデータの処理/解析技術は基礎研究段階から実用研究段階へと進展し、数多くの要素技術が蓄積されてきてはいるものの、利用ニーズに応じた処理/解析手法を1つの体系として整理し、建設分野等、実際の事業計画へ有効に利活用している事例はそれほど多くみられない。このような状況の中、最近の衛星データの利用動向をみると衛星データを単独で利用するというよりも、数値地形モデル (DTM: Digital Terrain Model) から得られる種々の情報や地形、地質、土壌といったさまざまな国土に内在する情報 (以下、本研究ではこれらの情報を「国土に内在する潜在因子」とよぶ) を融合利用することによって、土地利用計画、農地振興計画、緑化計画等、国土の面的な調査、計画の分野への実用化研究がさかんに行われるようになってきた¹⁾。諸外国では、GIS (Geographical In-

formation system) とリモートセンシングを融合利用し、付加価値のある情報を抽出する研究も多い²⁾。

国土の面的な評価手法には、土地の地価変動や人口流動、交通条件、経済資質等を考慮に入れたさまざまな土地評価モデル、土地利用モデルが考案されている³⁾。土地の評価といってもそれらをどのような視点からとらえるのかによって、取り扱う評価の目的と方法は大きく異なる。さらに、実際に評価を進めるうえで、多くの前提条件や制約条件があることや、一意的な評価モデルであるために他地域には適用することができない等、実用的な評価プロセスが求められている。

本研究では第4次全国総合開発計画にも重要課題として取り上げられている「土地利用計画の最適化」といった問題に対して従来から考案され利用ニーズが高い「土地分級評価」に着目し、「国土の評価/計画」と「衛星マルチスペクトルデータの実利用化」といった問題を両面から論ずる研究命題を設定する。国土 (狭義には土地) に内在する価値を「空間価値」としてとらえ^{3),4)}、衛星マルチスペクトルデータをはじめとした国土にかかわる種々の面的な情報を組み込むことのできる新たな土地分級評価モデル、いわゆる本研究で提案する「潜在因子モデル」を開発する。

* 正会員 東京理科大学助手 理工学部土木工学科
(〒278 野田市山崎 2641)

** 正会員 工博 東京理科大学教授 理工学部土木工学科
(同上)

2. 研究の目的

本研究の目的は以下の3点である。

① 国土の評価手法として従来から考案され、利用ニーズの高い分級評価手法の問題点を抽出、整理し、これをもとに新たな分級評価の考え方を提案する。

② ①で提案した分級評価の考え方に従って実際に分級評価モデル（以下、「潜在因子モデル」とよぶ）のプロトタイプを開発する。

③ 従来の分級評価手法と本研究で開発した潜在因子モデルを用いて実際に分級評価図を作成し、結果を相互比較するとともに潜在因子モデルの有用性を示す。

また、本文の構成は図-1に示すとおりである。以下、この流れに従って順を追って説明する。

3. 土地分級評価の問題点⁵⁾

「土地分級評価」とは、土地がもつ「空間価値（使用価値、存在価値、潜在価値）」をいくつかの等級に区分し、自然的、社会的、経済的な諸条件に基づいて、その土地の価値を分析することにより、現在あるいは将来に向けての最適な土地利用形態を形成すること」を目的とした国土の評価手法の1つであり、土地利用計画というマクロ的な視点とミクロ的な視点の中間に位置する。

わが国における土地分級論は農林水産技術会議を中心とした研究グループによる「新しい農村計画のための土地利用区分の手順と方法（1964年）⁴⁾」にまとめられた

研究を出発点としている。現状では土地分級論がようやく土地利用計画手法の1つとして位置付けられ、その方向性が見出されてきたばかりという状況にある。このような分級評価にかかわる問題点を整理すると大きく分けて次の4つの項目が挙げられる。

- ① 分級評価要因の設定の問題
- ② 分級評価基準の設定の問題
- ③ 評価項目毎に適用すべき分級評価手法の選定の問題
- ④ 分級評価精度の評価方法の問題

これらの内容については参考文献5)にて詳述してあるので割愛するが、この問題点をもとに、本研究では分級評価プロセスの望ましい姿を図-2のように整理した。すなわち、分級評価項目と分級評価要因間、さらには分級評価要因間の因果関係分析が行えるモデルとする必要がある。本研究で開発した潜在因子モデルでは、分級評価項目と分級評価要因間の分析に数量化Ⅱ類を、分級評価要因間の分析に数量化Ⅲ類を導入し、分級評価図作成においてはミニマックス2群判別を用いる。なお、潜在因子モデルは、空間価値のうち「潜在価値」、「存在価値」を取り扱うものであり、「使用価値」の評価は「財」としての土地評価論との関連性を論ずる研究に委ねることとし、今後の課題としたい。

4. 潜在因子モデル

(1) 潜在因子モデルの全体構成⁶⁾

潜在因子モデルの全体構成を図-3に示す。すなわち、衛星データをはじめとする種々の潜在因子と目的とする評価項目（外的基準）との関連性を数量化Ⅱ類によって分析するとともに、算出される個体数量に対するミニマックス2群判別の処理プロセスの組合せによって構成される。これによって、従来から利用されているランク分けによる分級評価結果の曖昧性を排除した。そして、外的基準を設定しない潜在因子間のデータ構造の分析を

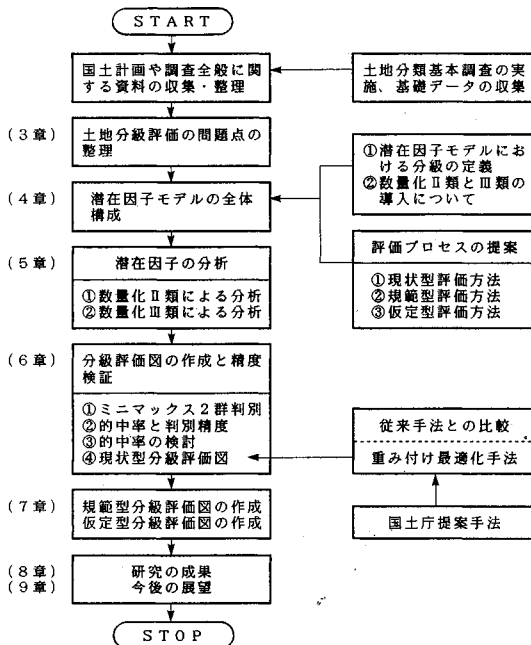


図-1 研究の流れ

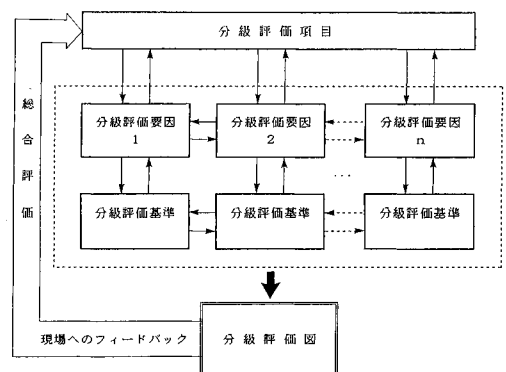


図-2 望ましい分級評価プロセス

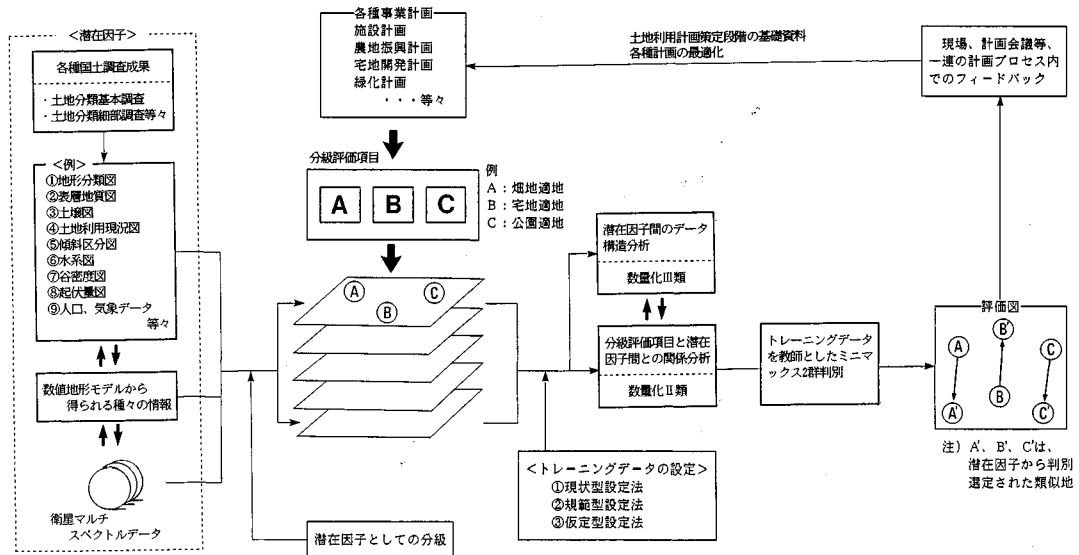


図-3 潜在因子モデルの全体構成

数量化Ⅲ類に受け持たせることによって、分級評価要因間の関連性をとらえることの可能なモデルを指向した(前述の問題点①, ②に対応)。さらに2群判別問題で使用するトレーニングデータの設定方法の違いによって①現状型, ②規範型, ③仮定型といった3つの評価方法を提案し, 評価プロセス時の意思決定に寄与できるシステムとして構成した。

土地分級評価手法は, 斜面崩壊危険地域や洪水氾濫危険地域の評価等にも適用される。したがって, このような防災分野においても, 土地に内在する潜在的な営力を評価するといった視点から潜在因子モデルの「現状型評価プロセス」が適用できる。著者らは, すでに潜在因子モデルの現状型評価プロセスを斜面崩壊予測問題に適用し, その有効性を立証している⁷⁾。本研究ではさらにステップを進め, 「規範型」, 「仮定型」といった評価プロセスを組み込み, 種々の評価項目に対応できる体系化した分級評価モデルとした。

(2) 潜在因子モデルにおける分級の定義

従来の分級の概念は, 個々の潜在因子に対して評価項目を説明する評点を与え, 各種の評価モデルによって数値処理していた。これはエキスパートシステムにおけるルールの記述やファジィ理論におけるファジィ関数決定の段階にも相当する。しかし, 評点を与える段階で不明確な要因が介入し, さらに数値処理された分級結果には信頼性の問題が指摘されていることは前述した問題点③に示したとおりである。そこで, 本研究における「分級」とは, 図-4に示すように「評価対象メッシュが潜在因子のどの項目に属するのかといった現状の土地の状況に即した判定処理」と定義する。

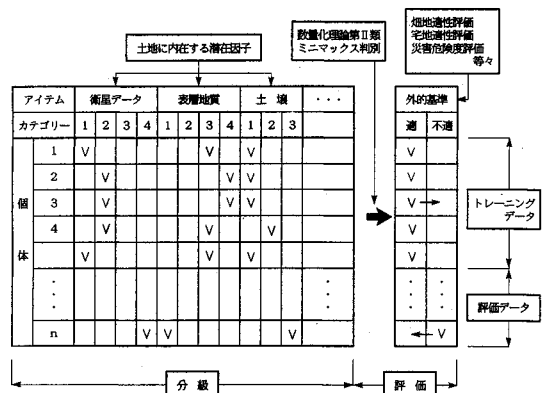


図-4 潜在因子モデルにおける「分級」と「評価」

ここでいうカテゴリは, たとえば土壌アイテムの場合, 1→黒ボク土壌, 2→粗粒黒ボク土壌といった凡例項目に対応する。従来の分級では黒ボク土壌, 粗粒黒ボク土壌等の凡例項目に対して, 外的基準(畑地適性の有無等)を説明するためにあらかじめ数量を与えて分級評価基準を作成していた。しかし, 図-4では個体がどの凡例項目に反応するのかといった現象のみに着目してカテゴリ反応マトリックスを作成する。この段階を「分級」として新たに定義する。

衛星データを数量化理論のアイテムの1つに組み込む場合, 従来この方面の研究では衛星データの情報を用いて別のアイテム(宅地可能性面積等)を設定したり¹⁾, 単バンドデータの画像濃度値の範囲を数段階に区切って, 質的データに置き換えて適用することが多く⁸⁾, 検討ケースごとに衛星データの質や算出されるパラメー

ターの精度に大きく左右される。そこで、本研究では、あくまでも多次元で構成される画像濃度値の情報を集約化(クラスタリング)したうえで、1つのアイテムとして潜在因子モデルに組み込み汎用性をもたせる。なお、衛星データのクラスター分析は、他の手法に比べて分類精度が高く、比較的よく用いられる ISO-DATA 法を採用した。

(3) 潜在因子モデルにおける3つの評価プロセス

潜在因子モデルの評価プロセスは、ミニマックス2群判別の基準となるトレーニングデータの設定方法の違いによって、図-5に示したように①現状型、②規範型、③仮定型といった3つの評価方法から構成される。

① 現状型評価プロセス

現状型評価とは現地調査結果や土地利用現況図等から、現状が評価適地である箇所(たとえば畑地適性評価ならば現状が畑地である箇所)をトレーニングデータとして設定し、このデータに最も性質が似通った類似地を選定するものである。現状の土地の状況を忠実に反映させる判別の考え方であり、土地利用計画策定段階における最も基本となる評価方法として位置付けられる。

② 規範型評価プロセス

このプロセスは、現状型評価プロセスで設定したトレーニングデータに加え、評価者や専門家の知見を付加し、規範的にトレーニングデータを設定して分級評価図を作成するものである。規範型分級評価図と現状型分級評価図との違いをとらえることによって規範的要因に寄

与する適地を抽出することが可能となる。規範型評価プロセスは潜在因子モデルの必要不可欠な構成要素である。

③ 仮定型評価プロセス

この評価プロセスは、ある潜在因子(傾斜、土壌等)を人為的に変化させたと仮定してトレーニングデータを設定し、その改変地域が適地と判断できるか否かを評価するものである。現状型および規範型評価プロセスは、トレーニングデータを基準として未知の類似地を選定することから、これら2つの評価プロセスをトレーニングデータに対する「前向き評価プロセス」とするならば、仮定型評価は「後ろ向き評価プロセス」とよぶこともできる。

5. 潜在因子の分析

(1) 設定した潜在因子と対象領域

潜在因子モデルを構築するにあたって、国土計画、保全の意味できわめて重要な問題となっている農用地(畑地)適性をテスト主題として設定した¹¹⁾。

畑地適性を評価するうえで設定した潜在因子を表-1に示す。また、対象領域は昭和63年度土地分類基本調査の一環として国土庁と東京都の指導のもとに東京理科大学リモートセンシング研究所が実施し¹²⁾、グランドトルースデータが完備されている東京都大島町とした。なお、現地調査と航空写真判読によって設定したトレーニングデータは、写真-1の赤色および青色で示された画素である。この色のもつ意味については後述する。

(2) 数量化Ⅱ類による分析

表-1で示した潜在因子を説明変量に、畑地「適・不

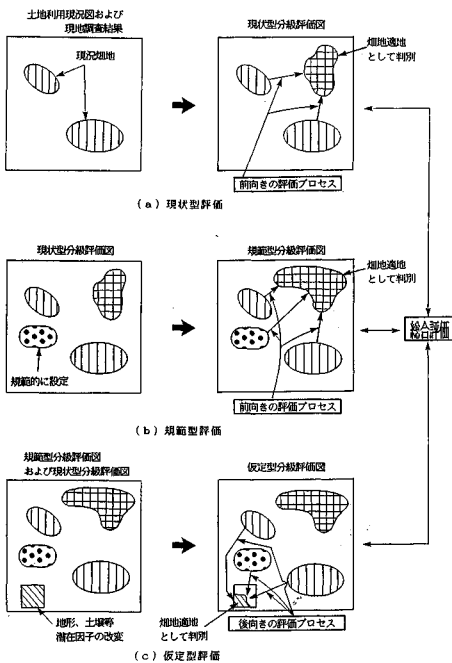


図-5 潜在因子モデルにおける評価プロセス

表-1 設定した潜在因子(東京都伊豆大島対象)

土地分類基本調査成果図			DTMから作成	
地形分類因子	表層地質因子	土壌因子	斜面方位因子	傾斜区分因子
溶岩流 スコリア丘 火山 カルデラ 緩斜面 急斜面 一般斜面 人工改変地 崖 浜 磯	玄武岩溶岩流 スパタースコリア 降下火山灰 砂、礫 火山 海	黒ボク土 粗粒黒ボク土 人工改変地 岩石地 層厚黒ボク土 砂丘未熟土 火山灰土物未熟土	北 東 南東 南 南西 西 北西 平地	以上~未満 (度) 0~3 3~8 8~15 15~20 20~30 30~
DTMから作成			衛星データ因子 (MES RR, TM, HRV)	
標高因子	起伏量因子	谷密度因子	<クラスター解析画像>	
以上~未満 (m) 0~100 100~200 200~300 300~400 400~500 500~	以上~未満 (m) 0~3 3~6 6~8 9~12 12~15 15~20 20~25 25~30 30~	(個) 0 1 2 3 4 5	クラス1 クラス2 クラス3 クラス4 クラス5 クラス6 クラス7 クラス8 クラス9	

注1) DTMはランドサットTMデータと合わせるために1メッシュ30mで作成した。
 2) 谷密度因子は1メッシュ30メートルの縦横の区画線と交わる谷線の数をDTMからコンピュータ処理によって算出した。
 3) 衛星データ因子はスペクトル情報を集約化する意味で、教師なし分類に代表されるクラスター解析(ISO-DATA法)による分類画像を潜在因子として取り入れた。

表—2 数量化Ⅱ類による分析結果

潜在因子 (分級評価要因)	カテゴリ —数量—	偏相関係数 (レンジ)	潜在因子 (分級評価要因)	カテゴリ —数量—	偏相関係数 (レンジ)	
地形分類因子	溶岩流	0.130	標高因子	(以上～未満: m)		
	スコリア丘	-0.182		0~100	0.422	
	火口	-0.034		100~200	-0.082	
	カルデラ	-0.506		200~300	-0.308	
	緩斜面	-0.001		300~400	-0.206	
	急斜面	0.123		400~500	-0.188	
	一般斜面	0.097		500~	-0.240	
	人工改変地	-0.054		(以上～未満: m)		
	崖	-0.852		0~3	0.336	
	洪積	0.085		3~6	-0.037	
表層地質因子	玄武岩溶岩流	0.062	起伏量因子	6~9	-0.070	
	スパーススコリア	0.049		9~12	-0.124	
	輝石火山灰	-0.037		12~15	-0.199	
	砂・礫	-0.041		15~20	-0.166	
	火口海	0.257		20~25	-0.170	
土壌因子	黒ボク土	0.432	谷密度因子	25~30	0.069	
	粗粒黒ボク土	0.132		30~	0.401	
	人工改変地	-1.127		0 (個)	-0.009	
	岩石地	-0.046		1	-0.037	
	層厚黒ボク土	-0.955		2	0.048	
斜面方位因子	砂丘未熟土	-1.006	谷密度因子	3	-0.076	
	火山灰山物未熟土	-0.987		4	-0.136	
	北	0.018		5	-0.380	
	北東	0.187		(形状-解析画像)	クラス1	0.099
	東	0.655			クラス2	-0.456
南東	0.575	クラス3	-0.416			
南	0.393	クラス4	0.277			
南西	-0.238	クラス5	1.176			
傾斜区分因子	北西	0.041	衛星データ因子	クラス6	-0.065	
	西	0.013		クラス7	-0.367	
	北西平坡	2.655		クラス8	-0.323	
	0~3 (度)	0.504		クラス9	-0.795	
	3~8	-0.144		現状型法定法による トレーニングデータ (現況畑地)		1.540
8~15	-0.213	評価対象地域 (現況畑地以外)			相関比 = 0.226	
15~20	-0.143					
20~30	-0.303					
30~	-0.423					

適」といった2つの情報を外的基準とし、数量化Ⅱ類によって分析した結果を表—2に示す。レンジ、偏相関係数、相関比とも非常に小さい値を示すことから、設定した潜在因子によって外的基準を説明する際には、数値の微妙な変動をとらえることが重要となる。

レンジと偏相関係数は、ともに大きい順にそのアイテムが外的基準に寄与しているものであるから、本来その順位は同一になるはずである。しかし、図—7に示すように数量化された個体の分布状態が正規分布に従わない場合には、表層地質のようにレンジの値が極端に大きくなることもある。多くのカテゴリに細分化されたアイテムとか、サンプルの反応の少ないカテゴリは、他のカテゴリと比較して信頼度が低くなる⁹⁾。特に本研究のように地理情報を扱う場合、このような現象が現われやすい。レンジのみの順位から外的基準への寄与の影響度を評価することは危険であり、0~1に正規化されて算出される偏相関係数が有用となる場合もあるといわれている¹⁰⁾。

これらの点に注意してレンジや偏相関係数をみまると、経験的に畑地適性に関係があると考えられる土壌因子や畑地の被覆状況をスペクトル情報としてとらえることができる衛星データ因子は、他の潜在因子に比べて相対的に高い順位に位置し、外的基準を説明するうえで寄与するものと判断できる。また、畑地適性の「有・無」といった2つの質的事象がカテゴリ数量の正、負によって区別できることもわかる。

さらに細かくみると、斜面方位因子で南西だけの

カテゴリ数量が負(畑地として不適)を示し、起伏量「0~3 m」および「25 m以上」で正(畑地として適地)となっているが、これは、本研究で設定した畑地としてのトレーニングデータの性質が反映されているためである。このように潜在因子モデルでは、トレーニングデータを介して地域の特性を取り込むことができ、汎用性をもたせている。

以上の分析結果を踏まえて、後述する分級評価図作成のための「ミニマックス2群判別手法」の導入へと展開する。

(3) 数量化Ⅲ類による分析

数量化Ⅲ類では外的基準を設定せず潜在因子間のみの関連性を分析する。これは、3.で述べた分級評価の問題点①に対応するものである。具体的には、

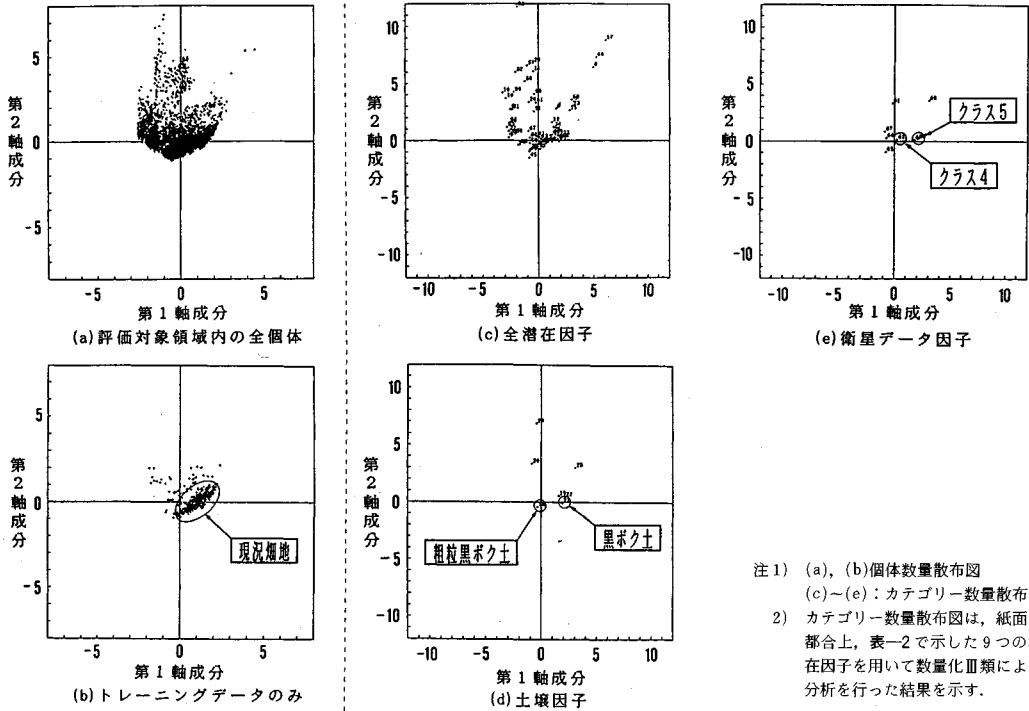
a) トレーニングデータに着目しながら潜在因子間の関連性をとらえる。

b) 設定した潜在因子間の相関係数を算出し、互いに相関の高い潜在因子の組合せを見出す。

といった2つの機能をもつが、特に、a)の機能は数量化Ⅱ類で使用する潜在因子を選定するうえで重要なものとなる。b)の機能については6.で述べるので、ここでは、a)の分析結果について説明する。

図—6(a)、(b)に対象領域内の全個体に対する個体数量散布図とトレーニングデータのみの個体数量散布図を示す。また、図—6(c)~(e)には対象領域内の全個体に対するカテゴリ数量散布図を示す。なお、第1軸~第3軸までの固有値が $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > (\lambda_1=0.404, \lambda_2=0.357, \lambda_3=0.253)$ であり、かつ第3固有値は第1、第2固有値に比べて比較的小さいことから、ここでは、第1軸と第2軸で構成される特性空間内で分析した結果を示す。

図—6(a)、(b)をみるとトレーニングデータが全データの個体に対して偏った分布を示す。このことは、設定した潜在因子によって畑地のもつ性質が説明付けられることを示唆する。また、図—6(c)のカテゴリ数量散布図では、その分布状態は全体的に散在した傾向にあるが、土壌因子のみに着目したカテゴリ数量散布図をみると、潜在的に畑地の適性に関連性がある「黒ボク土」、「粗粒黒ボク土」といった因子が原点付近に位置している。この空間位置に対応する衛星データ因子のカテゴリに着目すると(図—6(e))、「クラス4」および「クラス5」と土壌因子の関連性がとらえられる。このことは表—1で示した数量化Ⅱ類の分析結果として「黒ボク土」、「粗粒黒ボク土」および「クラス4」、「クラス5」といったカテゴリが正の値を示すことから説明付けられる。数量化によって見出される特性空間内の分布の違いから、衛星データと質的な要因である他の潜在因子



注1) (a), (b)個体数量散布図
 (c)~(e):カテゴリー-数量散布図
 2) カテゴリー-数量散布図は、紙面の都合上、表-2で示した9つの潜在因子を用いて数量化Ⅲ類による分析を行った結果を示す。

図-6 数量化Ⅲ類による分析

との間を間接的に説明付けることができる。

6. 分級評価図の作成と精度検証

(1) ミニマックス2群判別⁷⁾

畑地適性の「有・無」という2つの質的な外的基準がどの程度説明されるのかといった統計指標の1つに表-2で示した相関比(=外分散/全分散)が挙げられる。数量化理論Ⅱ類の検討結果では、相関比は非常に小さい値を示したが、これは図-7に示すように畑地のトレーニングデータと評価対象データが正規分布とならず、全分散が大きくなったためである。このように分析対象データが正規分布に従わない場合には、相関比によって2群判別性能を評価することは適切ではない。そこで本研究では畑地適性の「有・無」についてミニマックス2群判別の考え方を適用、評価することとした。2群判別の精度を表わすミニマックス解としての的中率Pと判別区分点 α の算出問題について考える。図-8に示すように累積頻度曲線を作成し、

$$\left. \begin{aligned} F_A(Y) &= 1 - \int_{-\infty}^Y f_B(y) dy, \quad \left(\int_{-\infty}^{+\infty} f_A(y) dy = 1 \right) \\ F_B(Y) &= \int_{-\infty}^Y f_B(y) dy, \quad \left(\int_{-\infty}^{+\infty} f_B(y) dy = 1 \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

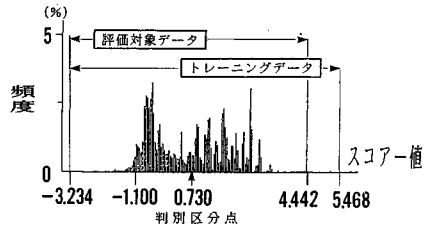


図-7 数量化Ⅱ類によるスコア値の分布状態

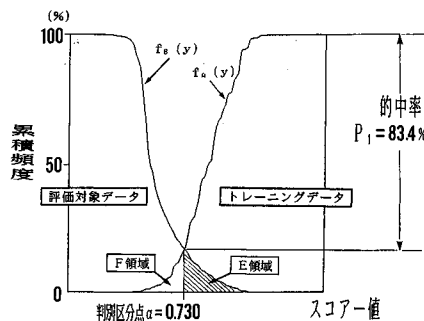


図-8 判別区分点および的中率の算出結果

(ただし、 $f_i(y)$: $i=A, B$ グループのスコア値 y の度数) と表現するとき、2つの累積頻度分布 $F_i(Y)$, $i=A, B$ の交点が求める判別区分点 α となる。すなわち、

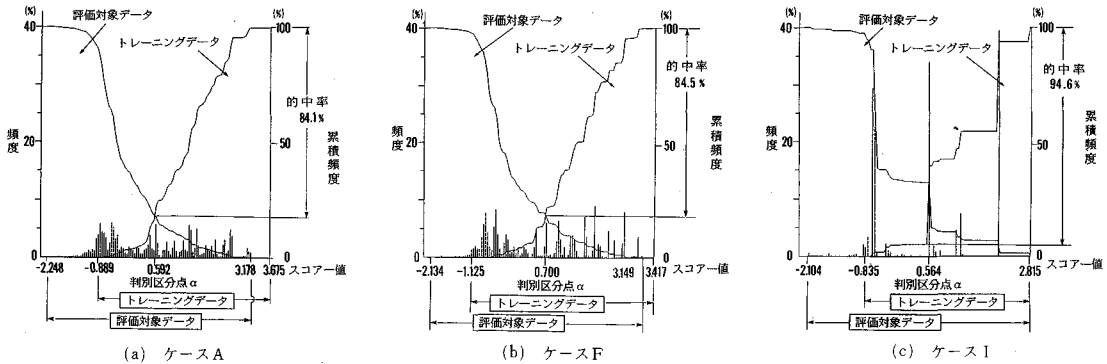
表—3 数量化Ⅲ類を用いた相関係数の算出結果

衛星データ	衛星	土壌	傾斜区分	標高	斜面方位	地形分類	起伏量	表層地質
衛星データ	—	—	—	—	—	—	—	—
土壌	0.606	—	—	—	—	—	—	—
傾斜区分	0.397	0.245	—	—	—	—	—	—
標高	0.725	0.508	0.535	—	—	—	—	—
斜面方位	0.468	0.603	0.191	0.491	—	—	—	—
地形分類	0.548	0.364	0.327	0.575	0.640	—	—	—
起伏量	0.415	0.253	0.001	0.540	0.225	0.747	—	—
表層地質	0.325	0.001	0.346	0.329	0.819	0.892	0.001	—
谷密度	0.061	0.063	0.101	0.105	0.105	0.103	0.093	0.074

表—4 使用する潜在因子の違いに伴う的中率の変化

ケース名 →	A	B	C	D	E	F	G	H	I
①衛星データ因子	○	○	○	○	○	○	○	○	○
②土壌因子	○	○	○	○	○	○	○	○	○
③傾斜区分因子	○	○	○	○	○	○	○	○	○
④標高因子	×	○	○	○	○	○	○	×	×
⑤斜面方位因子	○	○	○	○	○	○	○	×	×
⑥地形分類因子	×	○	○	○	○	○	×	×	×
⑦起伏量因子	○	○	○	○	×	×	×	×	×
⑧表層地質因子	×	○	○	×	×	×	×	×	×
⑨谷密度因子	○	○	×	×	×	×	×	×	×
的中率 P ₁ (%)	84.1	83.4	83.5	84.3	83.0	84.5	83.1	90.5	94.6

注) ○: 使用する潜在因子、×: 使用しない潜在因子



図—9 使用する潜在因子の違いに伴う個体の分布状態の比較

Aグループの領域: $Y \geq \alpha$

Bグループの領域: $Y < \alpha$

であり、このとき判別の度合いを表わす的中率 P は、

$$P = 1 - F_i(\alpha) \quad (i=A, B) \dots\dots\dots (2)$$

として求められる。なお、この P の値は一般解(厳密解)であり、後述する離散解 P_1 と区別して扱う必要がある。

(2) 的中率と判別精度について

本研究で取り扱う適地評価問題は、たとえば図—8に示したようにトレーニングデータと評価対象データのラップ部分の問題に帰着される。図—7で定義されるE領域、F領域の説明は後述する分級評価図の写真—1の凡例に示すとおりである。ここでE領域に入る個体、すなわち「畑地適性・有」とみなされる個体の判別精度は、あくまでも教師データとして設定した実際の畑地グループとの類似性という観点から間接的、客観的に評価するほかはない。したがって、次式(3)で示すように畑地グループのデータが判別区分点によって畑地適性「無」のグループに誤判別される割合をもって、判別の精度指標 P_1 とみなすことができる。

$$P_1 = 1 - K_f / K_a \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 K_f : 図—9のF領域に判別される個体数

K_a : トレーニングデータの全個体数

定義上 P_1 の値は一般解(厳密解)としての的中率 P と一致するはずであるが、当然の結果としてピクセル単位の離散的な解 P_1 との誤差は生じる。本研究では後述する分級評価図の表示形態も考慮し、適地判別精度は厳

密解 P ではなく、ピクセル単位でとらえる離散解 P_1 で表現することとした。

(3) 使用する潜在因子の違いに伴う的中率の変化

分級評価図は設定した潜在因子を用いて機械的に作成することができる。したがって、設定する潜在因子の違いによつて的中率がどのように変化するかといったことは重要な問題となる。そこで、本研究では次の検討ケースを設定し、的中率の変動を調べた。

ケースA: 5.(3)で述べた数量化Ⅲ類の機能b)を用いて、潜在因子間の相関係数を算出する。高い相関を示す2つの潜在因子があれば、数量化Ⅱ類で算出した偏相関係数の小さい方の潜在因子を削除する。

ケースB~ケースI: ケースAと比較するために数量化Ⅱ類で算出した偏相関係数の小さいものから順に潜在因子を削除する。

まず、ケースAの検討として、数量化Ⅲ類を用いて潜在因子間の相関係数を算出した結果を表—3に示す。表中、相関係数が高いものについて枠で囲ってある。このうち、数量化Ⅱ類の偏相関係数の順位の高いものは採用するものとする、地形分類、表層地質、標高因子が削除される。残された6つの潜在因子を用いて、ミニマックス判別を行った結果を図—9(a)に示す。ケースBの状態(図—8)と比べて顕著な違いはない。

また、ケースA~ケースIまでについて、潜在因子消去過程で算出された的中率の値を表—4にまとめて整理

した。ケースAの的中率は84.1%であり、すべての潜在因子を用いたケースBの的中率83.4%より0.7%高い。この違いは分級評価図上で、ケースAの方が適地として判別される画素数が10画素少なくなる程度であり、ケースAとケースBでの有意な差はないといえる。また、図-8で示したように個体の分布状態は正規分布に従っていないことから、的中率の有意差検定を行うことは信頼性の点で得策とはいえない。ケースC~ケースGについても的中率の変動はほとんどなく、有意な差は認められない。参考までにケースC~ケースGのうち的中率の最も高いケースFの個体の分布状態を示したものを図-9(b)に示す。図-9(a)と比較しても顕著な違いはない。

一方、ケースHとケースIではかなり高い的中率を示すが、これは図-9(c)からわかるように使用する潜在因子が少ないためにスコア値の分散が極端に大きくなり、単なる数学上の処理結果としての的中率が高くなったにすぎず、畑地を説明する潜在因子として適切とはいえない。

以上をまとめると、使用する潜在因子の違いによつて的中率の変動について次の2点がわかった。

① 互いに相関が高い潜在因子をあらかじめ除去するとの中率は若干増加するが、有意な差は認められなかった。分級評価図上では、適地として判別される箇所がすべての潜在因子を用いた場合に比べて、数画素が少なくなる程度である。

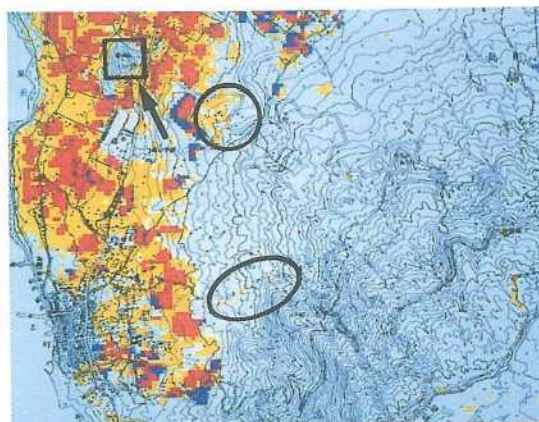
② 使用する潜在因子が極端に少なくなると、的中率の信頼性はない。

ケースA~ケースGまでの的中率には有意な違いは認められず、現実問題として最適な潜在因子を選定することは困難といえる。しかし、的中率の大小によって、分級評価図上では十数画素の違いが現われることから、少なめに適地を抽出する場合には高い的中率を示す潜在因子を用い、その逆の場合には低い中率を示す潜在因子を用いるといったように評価者の柔軟な対応が必要となる。得られる分級評価図を現地へフィードバックすることによって評価者自らが、結果の妥当性を検証することが不可欠な要素となることはいうまでもない。

(4) 現状型分級評価図の作成

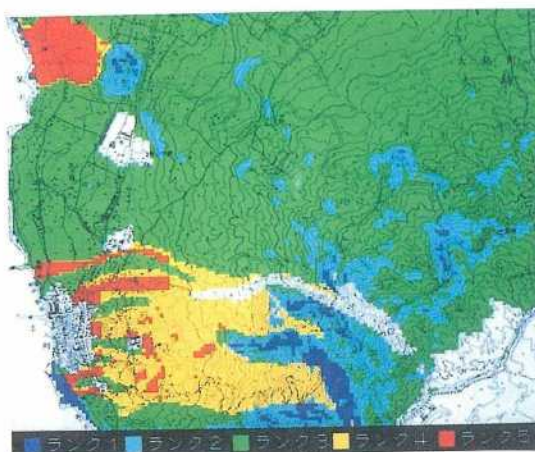
実際に分級評価図を作成する際には、潜在因子モデルに汎用性をもたせるうえで、前述したケースAのように数量化Ⅲ類を通じて選定される潜在因子の組合せを優先して採用することが適切であるといえる。そこで、ケースAの潜在因子を用いて現状型分級評価図を作成した例を写真-1に示す。

図の表示色は凡例に示す意味をもち、背景には地形図をスキャナーで読み取ってデジタル化した画像データ



凡 例		
トレーニングデータ (現状型設定法)	赤色	現地において畑地のピクセルであるもののうち、畑地のピクセルとして判別されたもの。
	青色	現地において畑地のピクセルであるもののうち「畑地適性・無」として判別されたピクセル。(図-8のF領域に入るピクセルで本来ならば、赤色として判別されるべきピクセル)
評価対象データ	黄色	評価対象データのうち「畑地適性・有」と判別されたピクセル。(図-8のE領域に入るピクセル)

写真-1 現状型分級評価図



(国土庁土地条件分級評価基準¹³⁾を参照)

ランク1(畑地適性小)→ランク5(畑地適性大)

写真-2 重み付け最適化手法による分級評価図の例

を用い、図上での位置と等高線や周囲の地形の関連性を判断できるような支援型の情報形態となるよう配慮した。また、比較のために従来手法として国土庁で提案された土地条件分級評価基準をもとに作成した畑地適性分級評価図の一例を写真-2に示す¹³⁾。この手法の詳細については割愛するが、種々の評価プロセスを通じてランク分けされた分級評価図と比較して潜在因子モデルの2群判別による評価図のほうが、現状の土地の状況と整合がとれており、農地振興計画図の作成等、土地利用計画策定段階における基礎資料として十分に利用できる。た

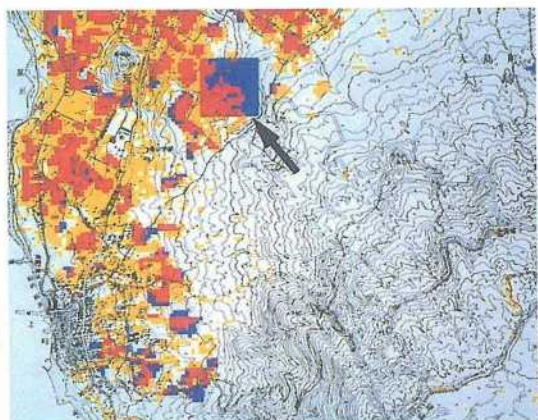
例えば、写真一1において赤色の部分は畑地として保全し、青色の部分は他の土地利用に転換していき、さらに黄色の部分は今後農地振興地域として計画するといった基礎評価を加えることができる。

また、写真一1の○印で示した箇所は南向きの斜面で日当たりもよく、畑地としての適性があることが現地調査の結果確認されており、白地図だけからでは判断できないような適地の抽出/評価に潜在因子モデルは有効であることがわかる。さらに、衛星データの地上分解能に対応する画素単位（TM データ：約30m/画素）でこのような評価が加えられ、土地利用計画策定段階において精度の面からみても十分に実用に供するものといえる。

7. 規範型分級評価と仮定型分級評価

(1) 規範型分級評価

潜在因子モデルを用いて規範型分級評価図を作成した結果を写真一3に示す（色の意味は写真一1と同じ）。写真中、矢印で指示した矩形領域が規範的性質を内包した



写真一3 規範型分級評価図



（差画像：現状型分級評価結果－規範型分級評価結果）

写真一4 規範的トレーニングデータを用いることによって新たに適地として反応した画素

トレーニングエリアである。既存の農地振興区域図とともに、畑地としての営力がある領域とみなし、現状型トレーニングデータを加えることによって規範型トレーニングデータとした。写真一1の現状型分級評価図に比べて、評価図中央から上部にかけて適地が多く現われていることがわかる。

さらに、現状型分級評価図との違いをより詳細にとらえるために、潜在因子モデルでは新たに適地として反応した箇所だけを抽出した評価図を作成することができる。その結果が写真一4である。規範的に設定するトレーニングデータをさまざまに変えることによって、このような評価図が容易に作成でき、多角的な視点から分級評価が行える。

(2) 仮定型分級評価

仮定型分級評価の適用事例として、写真一1の□印で指示される領域（東西方向6画素×南北方向5画素：約180m×150m四方）を設定した。この30画素の領域は、等高線をもみてもわかるように傾斜が急であり、現状型および規範型分級評価では適地として反応しなかった箇所である。そこで、「傾斜区分因子」を30画素すべてについて「0度～30度」のほぼ平坦なカテゴリーに改変（仮定）する。トレーニングデータおよび最適潜在因子は、現状型分級評価で設定したものをを用いる。

ただし、衛星データ因子については、画像濃度値を改変させることはできないため、仮定型分級評価では使用できないことはいうまでもない。

傾斜区分因子の改変前と改変後の画素（個体）に付与された数量を図一10に示す。このとき、判別区分点（0.700）を境にして適地が変わった画素をハッチングで示してある。30画素のうち25画素が適地が変わっている。この周辺は畑地としての土壌も肥えており、周辺にも畑地が存在することから、妥当な結果が得られている。

	a	b	c	d	e	f
A	0.493	0.493	0.441	0.473	0.473	0.473
B	0.493	0.493	0.493	-0.143	-0.277	0.473
C	0.493	0.493	0.493	-0.611	-0.277	0.473
D	0.230	0.230	0.230	-0.559	-0.673	-0.806
E	0.230	0.230	0.230	-0.366	-0.299	0.195



	a	b	c	d	e	f
A	1.683	1.683	1.633	1.682	1.662	1.662
B	1.683	1.683	1.683	0.913	0.913	1.682
C	1.683	1.683	1.683	0.353	0.913	1.662
D	1.419	1.419	1.419	0.403	0.382	0.382
E	1.419	1.419	1.419	1.152	0.382	1.251

注1) ハッチング部が適地が変わった画素
2) 判別区分点のスコア値=0.700

図一10 仮定型分級評価における個体数量の変化

8. 研究の成果

本研究の成果は、以下の4点にまとめられる。

(1) 土地に内在する価値を存在価値、潜在価値、使用価値といった「空間価値」の観点からとらえ、存在価値、潜在価値の2つの視点から土地利用計画策定段階における「土地評価」の考え方を整理し、潜在因子モデルの全体構成を明確にした。この検討過程において土地分級評価手法に内在する問題点を抽出整理し、潜在因子モデルが具備すべき要件を明確にした。

(2) 衛星マルチスペクトルデータをはじめ地形、表層、土壌といった種々の情報を土地に内在する潜在因子として定義し、衛星マルチスペクトルデータを土地に内在する潜在因子として組み込むことができる「分級」と「評価」の概念を提案した。

(3) 従来から考案されている分級評価手法と潜在因子モデルから得られた分級評価図(テスト評価主題:畑地適性評価)を比較することによって、ランク分けされた分級評価結果の曖昧性を排除し、ミニマックス2群判別の有効性を示すことができた。

(4) トレーニングデータの設定方法の違いによって現状型、規範型、仮定型といった3つの評価プロセスを提案し、人間の意思決定プロセスに反映させることが可能な柔軟かつ発展性のあるモデルとすることができた。

9. 今後の展望

本研究における今後の展望を次の3点に整理する。

(1) 本研究ではテスト評価主題として「畑地適性分級評価」を取り上げたが、今後は土地に内在する潜在因子からの評価アプローチとして将来にわたる住居専用地区、商工業用地区等の開発問題や地域計画図、土地条件図等の作成について多角的な検討を行う。

(2) 現在、フランスのSPOT、アメリカのLANDSAT、そしてわが国のMOS-1等、種々の衛星から観測されるマルチスペクトルデータが入手できるようになっている。このような複数の衛星データを潜在因子モデルに適用することによって地上分解能やデータ観測時期の違い等に伴う分級評価結果への影響をとらえ、複数の衛星データの代替的な利用等、さまざまな利用方法を検討する。

(3) パーソナルコンピュータ上で潜在因子モデルが稼働できるようにシステム開発を進める。特に、繰り返し処理を要する規範型および仮定型評価では有効となる。

10. むすび

土地評価問題や土地利用計画等に関する研究は専門分

野ごとに複雑多岐に分かれており、その数は枚挙にいとまがない。ここで報告した内容は、これらの研究領域のほんの一部にすぎないものではあるが、衛星マルチスペクトルデータを含めた先端技術の適用と実利用化を含め、さまざまな国土の評価/計画にかかわる応用技術の開発、展開への参考となることを期待したい。多くの分野にわたる専門家の方々のご批判とご叱正を仰ぐことができれば幸いである。

最後に本研究を進めるにあたって、貴重な資料を提供してくださった関係各位に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 出口近士・沼田 實・亀井敏裕：ランドサットデータを利用した土地利用計画支援のための土地条件図の作成，土木学会論文集，No.371/Ⅳ-5，pp.97～106，1986年7月。
- 2) Carol A. Johnston and John Bonde：Quantitative Analysis of Ecotones Using a Geographic Information System, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.55, No.11, pp.1643～1647, 1989.
- 3) 青山吉隆：土地利用モデルの歴史と概念，土木学会論文集，No.347/Ⅳ-1，pp.19～28，1984年7月。
- 4) 中村英夫編著：土木学会編・新体系土木工学50国土調査一地域の調査と分析一，技報堂出版，1984年。
- 5) 大林成行・小島尚人・前田宏宗：衛星リモートセンシングデータを用いた分級評価手法の問題点，土木学会第44回年次学術講演会講演概要集第4部門，pp.480～481，1989年10月。
- 6) 大林成行・小島尚人・石原利信：衛星リモートセンシングデータを適用した分級評価支援システムに関する考察，土木学会第17回関東支部技術研究発表会講演概要集，pp.254～255，1990年3月。
- 7) 大林成行・小島尚人・笠 博義：斜面崩壊予測を対象とした衛星マルチスペクトルデータの実利用化について，土木学会論文報告集，No.415/Ⅳ-12，pp.71～80，1990年3月。
- 8) 堺 毅・西川 肇，ほか：ランドサットデータMSSデータを用いた早川流域の斜面崩壊の研究一新崩壊地の探索一，日本リモートセンシング学会誌，Vol.5, No.1, 1985年。
- 9) 大橋健一・青山吉隆：土木計画への数量化理論Ⅱ類適用の信頼度に関する実験的研究，土木学会論文集，No.353/Ⅳ-2，pp.67～74，1985年1月。
- 10) 村上幸利・箭内寛治：数量化法による転落型落石の危険度評価，土木学会論文集，No.406/Ⅲ-11，pp.223～231，1989年6月。
- 11) 森地 茂：国土計画の基本的な課題，土木学会誌別冊増刊一国土計画一，pp.25～29，1989年11月。
- 12) 大林成行：土地分類基本調査，成果図面一式，大島5万分の1，東京理科大学出版会，1989年10月。
- 13) 国土庁土地局国土調査課：メッシュデータに関する分級評価基礎調査，調査報告書一土地条件分級評価一，1977年9月。

(1990.5.14・受付)