

土地分級評価モデルへの衛星マルチスペクトルデータ適用の有効性について

小島尚人*・大林成行**

本研究では、著者らが開発した土地分級評価モデル（潜在因子モデル）に衛星マルチスペクトルデータを適用した場合の分級評価精度について検討するとともに、分級評価プロセスにおける衛星データの実用的な利用方法を提案した。衛星データおよび地理情報を融合した場合と地理情報のみを用いた場合の分級評価精度を比較し、衛星データの有効性を示した。さらに、衛星データの応用的な利用方法として差分画像の概念を提案し、新たな分級評価のプロセスとして実用性のあることを示した。

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

1. はじめに

最近、建設分野においても土地利用計画、地域計画、緑化計画、地域災害対策等々の事業計画を対象に人工衛星を用いた地球観測データ（衛星マルチスペクトルデータ：以後「衛星データ」と言う）を単独で利用するだけでなく、種々の既存情報を融合利用し、より付加価値のある情報を抽出する研究アプローチが多くなってきた。GIS (Geographical Information System) と衛星データの融合利用といった研究もその中の一つではあるが^{2)~3)}、現状では蓄積されている種々の情報をどのように加工し利用してよいのかといった点を模索している状況にあり、衛星データそのものの有効性の評価にまで言及するには至っていない。一方、衛星データの精度はLANDSAT-TM, SPOT-HRVに代表される第2世代から大きく飛躍して第3世代に入ろうとしている現在、国土の計画/評価といった分野はもとより、地理情報と衛星データの融合利用、GISとの有機的な利用方法等、衛星データを利活用する上で新たな技術の展開が必要となってきた。

以上の背景のもと、著者らは第4次全国総合開発計画においても重要課題の一つとして挙げられている「土地利用計画の最適化」⁴⁾といった問題に注目するとともに従来から考案され利用ニーズが高い「土地分級評価手法」を取り上げ、「衛星データの実利用化」と「国土の評価/計画」といった問題に両面から取り組んできた。その結果として衛星データをはじめ、地形や地質、土壌等の国土に関わる種々の地理情報を融合利用できる土地分級評価モデル、いわゆる潜在因子モデルを開発し、その有効性を示すことができた⁵⁾。地理情報と衛星データを融

合利用できる汎用的かつ実用性あるモデルを開発したことで、既往の研究には見られない成果が得られたと考えている。

一方、この研究では潜在因子モデルにおける評価プロセスの設計/開発に主眼を置いたことから、衛星データを他の地理情報と融合して評価アルゴリズムに組み込むことが可能であることを示すにとどまった。そのため衛星データそのものが分級評価に及ぼす影響や精度の問題については言及することができなかった。そこで、本研究ではさらにステップを進め、衛星データの使用の有無によって潜在因子モデルによる分級評価精度がどのような変化を示すのかについて検討した。本研究は衛星データの実利用化を念頭におき、土地分級評価（潜在因子モデル）における衛星データの有効性を示すとともに実用的な利用方法を提案するものである。

2. 既往の研究と本研究の特徴

(1) 土地分級評価における衛星データの有効性評価

衛星データを土地利用計画や地域計画に利用しようとする研究は数多く見られる。著者らの開発した土地分級評価モデル（潜在因子モデル）もその一分野に属するものである。この潜在因子モデルは数量化理論を中核としてトレーニングデータを基準としたミニマックス2群判別手法から構成される⁵⁾。一般に数量化理論を用いて衛星データを分析する方面の研究では、衛星データから新たな情報を算出（例えば、宅地可能性面積、緑地面積等）したり⁶⁾、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（レベルスライス）、あるいは植生指標等のパラメータを利用するといった事例が多く¹⁾、検討ケース毎に衛星データの質や算出されるパラメータの質に大きく左右されることが指摘できる。そこで、著者らが開発してきた潜在因子モデルではあくまでも多次元で構成される画像濃度値の情

* 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

報を集約化（クラスタリング）した上で、1つのアイテムとして組込むことによって汎用性を持たせるように工夫してある。従来、この種の研究では衛星データをどのように利用してよいのかといった点に研究の焦点が絞られ、モデルの構築や手法論的な検討に傾注する傾向がある。本研究のように衛星データそのものの有効性の評価とともにモデルの汎用性、発展性にまで言及した例はほとんど見られない。

(2) 応用的な衛星データの利用方法についての提案

土地分級評価においては農用地適性分級評価や斜面災害危険度分級評価等、多くの分野にわたった研究アプローチが見られる^{1),7),15)}。いずれも衛星データを有効に利用しようとする試みである。実際に評価図を出力してはいるものの、分級評価要因にあらかじめ設定する重みの値や衛星データとの関連性の分析が主観的にならざるを得ないことや、統計ランク分けして表現された分級評価図の解釈が難しいといったことも指摘される。このようなことから本研究の潜在因子モデルでは「適・不適」といった2つの判別結果によって曖昧性を排除し、具体性のある判断が下せるような分級評価プロセスを有している。従来から利用されている代表的な分級評価手法と比較することにより、潜在因子モデルにおける2群判別の有用性と発展性については既に示している⁵⁾。その検討の詳細は割愛するが、例えば畑地適性を評価する場合、土地の持つ潜在的な価値の評価の範囲内において⁸⁾、

- ① 現況畑地を将来にわたって保全すべき地域
- ② 現況畑地を他の土地利用に転換してもよい地域
- ③ 現況畑地と同様な性質を持ち、畑地適性のある地域
(新たに農地振興地域として指定していく地域等)
- ④ 畑地適性のない地域

といった基本的な判断情報が必要となる。潜在因子モデルでは2群判別結果からこの4つの情報を分級評価図上で色分けして表示し、評価者の意志決定を支援できるように配慮してある。本研究ではこの4つの情報を基本として、衛星データを使用する場合と使用しない場合のそれぞれの分級評価図の違いを利用した新たな分級評価プロセス（差画像）を提案する。実際の評価プロセスを想定し、衛星データの応用的な利用方法を示す点において（5章（3））、既往の研究には見られない特徴がある。

3. 研究の構成

本研究は図-1に示す4つのステップから成る。

(1) STEP 1：潜在因子の準備

a) 設定した潜在因子と対象領域

潜在因子モデルの精度を検証するにあたって、国土計画、保全の意味で極めて重要な問題となっている農用地（畑地）適性をテスト評価主題として設定した⁴⁾。対象

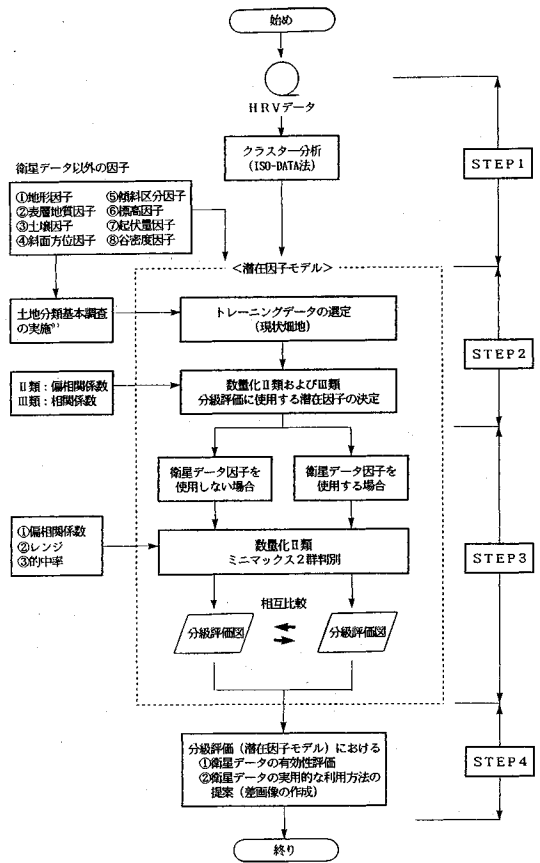


図-1 本研究の流れ

領域は、昭和63年度・都道府県土地分類基本調査の一環として東京理科大学リモートセンシング研究所が実施し⁹⁾、詳細なグランドトゥルスデータが完備されている東京都大島町の元町地区とした。また、畑地適性を評価する上で設定した潜在因子を表-1に示す。土地分類基本調査の成果図面を数値化した基本データとDTM (Digital Terrain Model) からコンピュータ処理によって作成される数値データ（斜面方位、傾斜区分、標高、起伏量、谷密度の各因子）である。これらの因子は土地に内在する潜在的な因子であり、畑地適性を評価する上で最も基本的なものとして設定した。その他、気象条件や生産する作物種別に様々な因子が考えられるが、そのような目的別の詳細な分析については本研究の範囲を越えるのでここでは言及しない。

b) 衛星データの選定

本研究では20 m/ピクセルという高分解能を有し、広く利用されているSPOT・HRVデータを使用した。データの観測時期は1988年10月4日、観測エリアはPATH 231—ROW 280である。潜在因子モデルで衛星データを取り扱う場合、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）した上で、1つのア

表一 本研究で設定した潜在因子

土地分類基本調査成果図 ¹⁾			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 線斜面 一般斜面 人工改変地 砂浜	玄武岩溶岩流 降下火山灰 砂・礫	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	北 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
DTMから作成			衛星データ因子 (HRV)	
標高因子	起伏量因子	谷密度因子	<クラスター分析画像>	
以上~未満 (m)	以上~未満 (m)	(個)	クラス1	
0~20	0~3	0	クラス2	
20~40	3~6	1	クラス3	
40~60	6~9	2	クラス4	
60~80	9~12	3	クラス5	
80~100	12~15	4	クラス6	
100~120	15~20		クラス7	
120~140			クラス8	

注1) 谷密度因子は1メッシュの縦横の区画線と交わる谷線の数でDTMからコンピュータ処理によって算出した。

2) 衛星データ因子はスペクトル情報を集約化するという意味で、教師なし分類に代表されるクラスター分析 (ISO-DATA法) による分類画像を潜在因子として取込む。

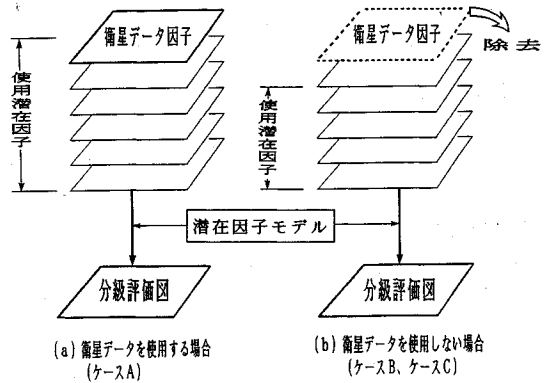
アイテムとして組み込むようになっている。クラスタリングの手法は広く利用されている ISO-DATA 法を採用した。なお、潜在因子モデルにおけるこのような衛星データの取扱い方や地理データの構造等の詳細については参考文献 (5) に詳述してある。

(2) STEP 2: トレーニングデータの選定と数量化Ⅲ類による分析

本研究の一環として都道府県が規定する土地分類基本調査の作業規程に基づき¹⁰⁾、大島の土地分類基本調査を実施してランドトラスデータを整備した。この調査では現地を詳細に踏査し、さらに航空写真をもとに現況畑地の位置を整理した。これを現況畑地トレーニングデータとして使用した。図一1の潜在因子モデルでは、あらかじめ選定した潜在因子のうち実際に分級評価で使用する潜在因子の決定問題と潜在因子のデータ構造分析に数量化Ⅲ類を導入している。本研究では衛星データの使用の有無による分級評価結果への影響に着目し、数量化Ⅲ類を通じてデータ構造を分析するとともに衛星データの有効性について検討した。設定した検討ケースの詳細については第4章 (2) で述べる。

(3) STEP 3: 分級評価精度の検討

図一1の潜在因子モデルでは、数量化Ⅱ類による個体の数量化とミニマックス2群判別手法によって分級評価図が作成される。本研究では図二に示すように衛星データの使用の有無による分級評価精度の違いを定量的に検討するとともに、分級評価図上でどのような変化が現れるのかを視覚的にも評価する。この時の反応画素の



図二 分級評価精度の検討ケース

違いを抽出する新たな分級評価プロセス (差画像の作成) を提案する。

(4) STEP 4: 研究成果のまとめ

衛星データの土地分級評価における有効性と利用方法に関する結論および今後の展望について整理する。

4. 数量化Ⅲ類による分析

(1) 潜在因子の決定

表一で示した9つの潜在因子を用いた場合の数量化Ⅱ類による処理結果を表二に示す。レンジ、偏相関係数は非常に小さい値となっていることから、数値の分析には十分に注意する必要がある。レンジと偏相関係数ともにその値の大きい順に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となるべきである。しかし、多くのカテゴリーに細分化されたアイテムとかサンプル数の少ないカテゴリーは、他と比較して信頼度は低くなることは否めない^{11), 12)}。できるかぎり偏相関係数とレンジの順位が一致するようにアイテムを選択するプロセスが必要となる。そこで、図一1で示した潜在因子モデルでは数量化Ⅲ類によって潜在因子間の相関係数を算出するとともに、互いに相関の高い潜在因子の組合せを見出し、いずれか一方の潜在因子を削除するようになっている。これは数量化Ⅱ類の信頼性を保つ上で重要な点となる。

数量化Ⅲ類によって算出した潜在因子間の相関係数を表三に示す。相関係数を相互に比較することによって潜在因子を削除するが、本研究では相関係数が0.7以上のものを削除の対象となる組とした。それらを枠で囲って示してある。さらに各々の組のうち、いずれか一方の潜在因子を削除する指標として数量化Ⅱ類の偏相関係数を用いる。表三ではわかりやすくするために偏相関係数の高い潜在因子を上から順に記載してあるので、地形因子と表層地質因子は除去されることが判る。同様な視点から傾斜区分因子と谷密度因子では傾斜区分因子が除

表—2 数量化Ⅱ類の処理結果

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	溶岩流	-0.051	標	(以上～未満：m)		
	織物面	0.103		0～20	-1.058	
	一般斜面	0.032		20～40	-0.533	
	人工改変地	0.254		40～60	-0.548	
	砂浜	0.231		60～80	0.655	
	玄武岩溶岩流	-0.022		80～100	1.566	
	降下火山灰	0.070		100～120	0.277	
	砂 礫	-0.324		120～140	-0.625	
	黒ボク土	0.336				
	粗粒黒ボク土	-0.198				
土 壌	人工改変地	-0.345	起 伏 量	(以上～未満：m)		
	岩石地	-1.197		0～3	0.048	
	厚層黒ボク土	0.242		3～6	0.026	
	砂丘未熟土	-0.325		6～9	-0.333	
				9～12	-0.942	
				12～15	2.741	
				15～20	0.829	
	北	-0.331		衛 星 デ ィ タ	クラス1	-0.675
	南	-0.461			クラス2	0.588
	東	-0.361			クラス3	0.235
西	-0.013	クラス4	-0.209			
北西	-1.075	クラス5	0.118			
平地	0.020	クラス6	-0.042			
傾斜区	-0.265	クラス7	0.286			
分	0.019	クラス8	0.119			
0～3	0.165	現 状 型 規 定 法 に よ る ト レ ー ニ ン グ デ ィ タ (現 況 畑 地)			0.935	
8～15	-2.372					
15～20	-2.383	外 的 基 準	評価対象データ	-0.161		
20～30	-0.019					
0 (個)	-0.216					
1	0.100					
谷 密 度	2	-0.181				
	3	0.2473				
	4					

表—3 数量化Ⅲ類による相関係数の算出結果

	標高	衛星データ	土壌	斜面方位	谷密度	起伏量	傾斜	地形
標高	0.685	—	—	—	—	—	—	—
衛星データ	0.300	0.753	—	—	—	—	—	—
土壌	0.193	0.584	0.233	—	—	—	—	—
斜面方位	0.074	0.114	0.530	0.108	—	—	—	—
谷密度	0.371	0.187	0.173	0.128	0.114	—	—	—
起伏量	0.376	0.255	0.180	0.201	0.730	0.091	—	—
傾斜	0.587	0.793	0.859	0.517	0.937	0.319	0.914	—
地形	0.524	0.728	0.496	0.300	0.756	0.237	0.140	0.726

表—4 検討ケース

	ケースA	ケースB	ケースC	
選 定 因 子	衛星データ	○	×	×
	標高	○	○	○
	斜面方位	○	○	○
	谷密度	○	○	○
	起伏量	○	○	○
土 壌	×	○	×	

究ではこの点も考慮に入れ、使用する潜在因子の違いによって表—4に示すような3つの検討ケースを設定した。各ケースを要約すると次のようになる。

- ケースA：選定した5つの潜在因子を用いる場合
- ケースB：ケースAにおいて衛星データ因子の替わりに土壌因子を用いる場合
- ケースC：ケースAから衛星データ因子を除去し、残り4つの潜在因子を用いる場合

(3) データ構造の分析

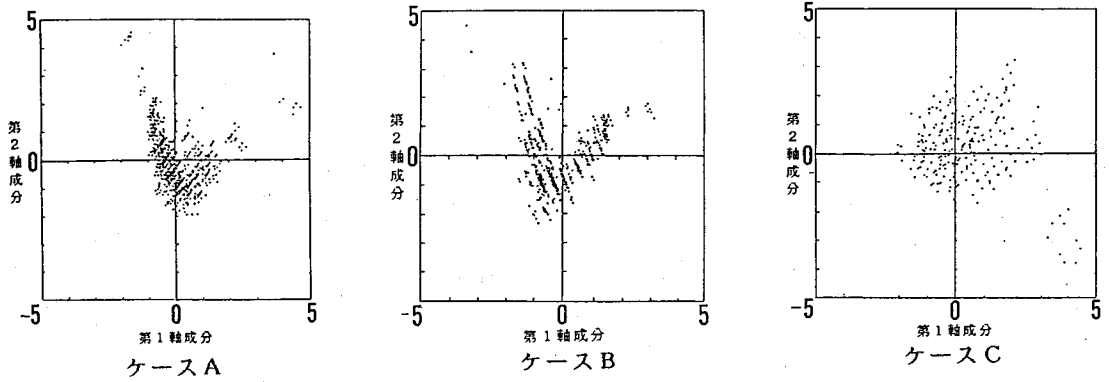
データ構造の分析を通じて衛星データの有用性を検討する上で数量化Ⅲ類を用いる。前述したケースA～ケースCについて対象領域の全個体(画素)に対する個体数量散布図を図—3に示す。なお、第1軸～第3軸までの固有値(λ_n)は、ケースAでは「 $\lambda_1=0.370, \lambda_2=0.316, \lambda_3=0.236$ 」、ケースBでは「 $\lambda_1=0.369, \lambda_2=0.336, \lambda_3=0.299$ 」、ケースCでは「 $\lambda_1=0.351, \lambda_2=0.332, \lambda_3=0.270$ 」である。いずれも第3固有値は第1および第2固有値に比べて比較的小さいことから、ここでの考察は第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—3を見ると、ケースAとケースBでは個体は中央部に集まっており、V字型の特徴的な空間分布の様相を呈する。ケースBはケースAに比べて分布状態が若干散在する傾向にあるが、有意な違いとは言えない。これは数量化Ⅲ類による衛星データ因子と土壌因子の相関が高かったことからむしろ当然の結果と言える。一方、ケースCでは個体が散在して分布していることが判る。さらに分析を進めるためにトレーニングデータのみに着目した個体数量散布図を図—4に示した。ケースAとケースBでは中央部に集まっており、際違った違いは認められないが、ケースCでは明らかに散在していることが判る。以上の数量化Ⅲ類による分析結果は次の2点にまとめられる。

- ①ケースAとケースCの比較結果から、衛星データ因子を使用した場合、特性空間上で全個体とトレーニングデータを識別しやすくなることが判る。
- ②しかし、ケースAとケースBの比較結果から土壌因子を衛星データ因子の替わりに用いた場合には有意な違いは認められない。
- ③の結果から衛星データ因子と土壌因子の違いによる分級評価精度の問題が派生する。そこで、次章において数量化Ⅱ類とミニマックス判別を通じて作成される分級

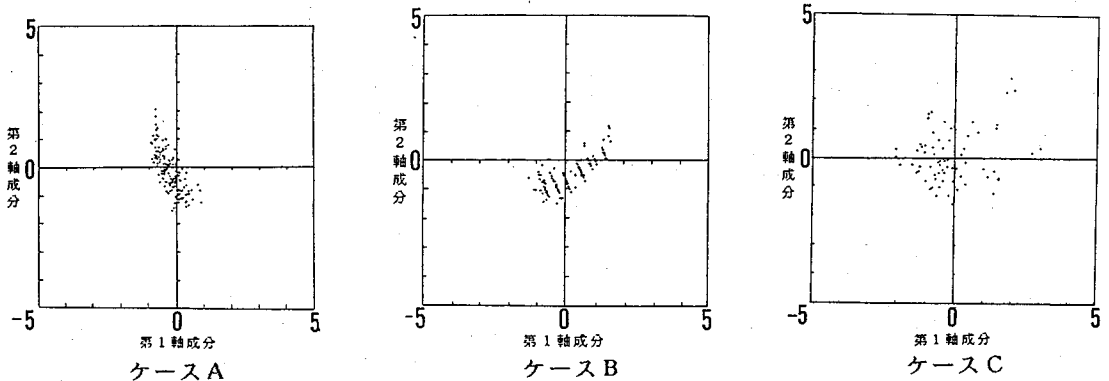
去される。土壌因子は標高因子および衛星データ因子との相関が高いが、偏相関係数から判断すると土壌因子が除去される。以上の結果、残された潜在因子は外的基準への寄与の度合いの高いものから順に「標高、衛星データ、斜面方位、谷密度、起伏量」の5つとなる。以降の検討では、この5つの潜在因子を用いる。なお、このように再選定されたアイテムを用いた場合にも偏相関係数とレンジの順位が必ずしも完全に一致するとは限らない^{5), 11), 12)}。この微妙な順位の違いが数量化Ⅱ類の分析精度へ及ぼす影響については、評価目的や取り扱うデータの性質等に左右されることから、多くの議論が交わされるところではある¹¹⁾。本研究では潜在因子モデルの実利用の立場から、あくまでもトレーニングデータを基準としたミニマックス2群判別を通じて作成される分級評価図上において「実際に現れる反応画素の違い」を分析する点に範囲を絞る(写真等を用いて後述)。

(2) 検討ケースの設定

潜在因子モデルにおける衛星データ因子の有効性を評価する上で、選定された5つの潜在因子から衛星データ因子を除去して検討を進める。ここで注意しなければならない点は、数量化Ⅲ類による分析の結果では衛星データ因子と土壌因子の相関が高かったことから、衛星データ因子を除去することによって経験的に畑地適性評価に重要と言える土壌因子をも除去することとなり、分級評価精度の信頼性が問題となることである。そこで、本研



図—3 評価領域全域の個体数量散布図



図—4 トレーニングデータの個体数量散布図

評価図上に現れる反応画素の違いを分析することによって衛星データの有効性についてさらに検討を進める。

5. 分級評価精度の検討

(1) 数量化Ⅱ類による分析

本研究の潜在因子モデルでは、外的基準と潜在因子との関連性を分析する機能として数量化Ⅱ類を適用している。外的基準として「適・不適」といった2つの事象を設定し、これが種々の分級評価プロセスを発展させる特徴ともなっている。例えば、トレーニングデータを基準として現状型、規範型、仮定型といった3つの評価プロセスがある。衛星データの画像濃度値を人為的に改変して分級評価に組み込むことはできないので、仮定型評価では衛星データを適用することはできない⁵⁾。また、規範型評価はトレーニングデータを規範的に追加・削除して評価するものであり、現状型評価プロセスを拡張したものである⁵⁾。したがって、本研究では衛星データの有効性の評価を目的とすることから、最も基本的で多用される現状型評価プロセスを採用することとした。

数量化Ⅲ類と同様、ケースA～ケースCについて数量化Ⅱ類によって処理した結果を表—5(a)～(c)に示す。ケースAの偏相関係数を見ると衛星データ因子は標高

因子に次いで高くなっており、外的基準を説明付ける上で寄与する因子であることが判る。また、表—5(a)～(c)ともに、外的基準に付与されるスコア値は、トレーニングデータに対して正の値、評価対象データには負の値が付与されており、この符号の違いから畑地適性に寄与するカテゴリーを分析することができる。例えば、衛星データ因子はクラス1、クラス4、クラス6およびクラス8以外が正値を示し、トレーニングデータと因果関係のあるカテゴリーであることが判る。これらのクラスは現地との照合の結果、未耕作の裸地的な畑地であったり、実際に畑地として利用されている箇所も含まれていることを確認している。また斜面方位では「南」、「南西」、「西」および「平地」が正値であり、選定したトレーニングデータが日当りのよい斜面等にあることを示している。このようにカテゴリー数量の正負の違いだけでも外的基準との因果関係を分析できることが判る。次項において実際に分級評価図を作成し、その精度について述べるとともに衛星データの有効性を示す。

(2) ミニマックス2群判別と分級評価図の作成

ケースA～ケースCについて、ミニマックス判別を行った結果を図—5および表—6に示す。図—5では数量化Ⅱ類によって数量が付与された個体のヒストグラム

表一五 数量化Ⅱ類による分析結果

(a) ケース A

潜在因子 (分類評価要因)	カテゴリ —数量—	偏相関係数 (レンジ)	潜在因子 (分類評価要因)	カテゴリ —数量—	偏相関係数 (レンジ)	
標高 (以上～未満: m)	0～20	-1.013	斜面 方位	北	-0.397	
	20～40	-0.468		南東	-0.353	
	40～60	-0.377		南	0.357	
	60～80	0.667		南西	0.037	
	80～100	1.389		西	0.031	
	100～120	-0.043		北西	-0.982	
	120～140	-0.958		平地	0.020	
	衛星データ	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		-0.605 0.683 0.098 -0.519 0.130 -0.243 0.125 -0.107	起伏 量	(以上～未満: m)
			0～3	0.030		
				3～6	-0.144	
				6～9	-0.719	
				9～12	-0.217	
				12～15	-0.614	
				15～20		
谷密度	0 (個)	-0.031	外的 基準	現状型設定法による トレーニングデータ (現況地)	0.906	
	1	-0.228		評価対象データ (現況地以外)		
	2	0.127				
	3	-0.180				
	4	2.438				

(b) ケース B

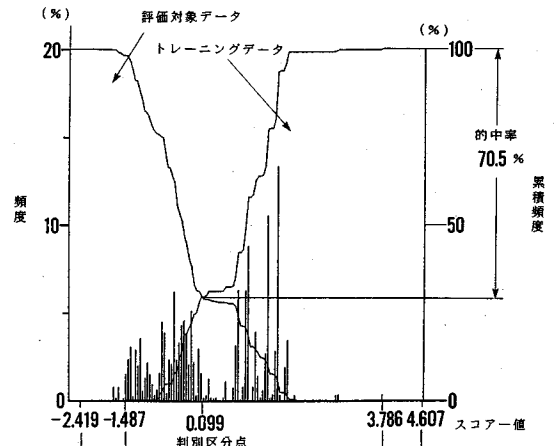
潜在因子 (分類評価要因)	カテゴリ —数量—	偏相関係数 (レンジ)	潜在因子 (分類評価要因)	カテゴリ —数量—	偏相関係数 (レンジ)	
標高 (以上～未満: m)	0～20	-1.074	斜面 方位	北	-0.528	
	20～40	-0.629		南東	-1.025	
	40～60	-0.451		南	0.249	
	60～80	0.812		南西	-0.049	
	80～100	1.571		西	0.091	
	100～120	-0.084		北西	-1.220	
	120～140	-0.890		平地	0.311	
	衛星データ	黒ボク土 箱粒黒ボク土 人工改変地 岩石地 礫砂黒ボク土 砂丘未熟土		-0.458 -0.127 -0.354 -1.020 0.232 -0.127	起伏 量	(以上～未満: m)
			0～3	0.042		
				3～6	-0.133	
				6～9	-0.643	
				9～12	-0.679	
				12～15	-1.078	
谷密度	0 (個)	-0.104	外的 基準	現状型設定法による トレーニングデータ (現況地)	0.838	
	1	-0.275		評価対象データ (現況地以外)		
	2	0.133				
	3	-0.039				
	4	2.888				

(c) ケース C

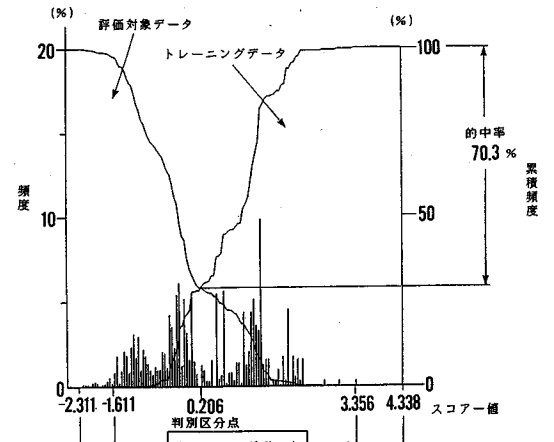
潜在因子 (分類評価要因)	カテゴリ —数量—	偏相関係数 (レンジ)	潜在因子 (分類評価要因)	カテゴリ —数量—	偏相関係数 (レンジ)
標高 (以上～未満: m)	0～20	-1.271	起伏 量	(以上～未満: m)	-0.020
	20～40	-0.554		0～3	0.028
	40～60	-0.224		3～6	-0.088
	60～80	0.932		6～9	-0.551
	80～100	1.505		9～12	-0.710
	100～120	-0.355		12～15	-1.162
	120～140	-1.198		15～20	
	斜面 方位	北		-0.578	谷密度
南東		-0.665	1	-0.297	
南		0.277	2	0.156	
南西		-0.079	3	-0.097	
西		0.121	4	2.954	
北西	0.126	外的 基準	現状型設定法による トレーニングデータ (現況地)	0.806	
平地	0.100		評価対象データ (現況地以外)		

と、トレーニングデータおよび評価対象データの累積頻度曲線を重ねて表示してある。ケース A の的中率は 69.1%，ケース B が 70.3%，ケース C が 70.5% と有意な違いはない。的中率はあくまでも 2 群判別精度を表す定量的な評価指標であり、的中率が高いからといって必ずしも評価適地を抽出できるとは限らない。個体の分布状態についても検証することが重要となる。

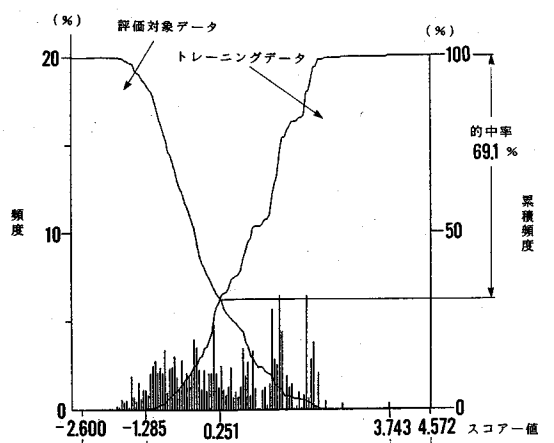
衛星データを用いない場合、図一五 (b) および (c) のように個体のヒストグラムが離散的となり、数量化の信頼性は低下することが判る。一方、衛星データを使用した場合、図一五 (a) のようにヒストグラムは比較的連続性をもつようになりトレーニングデータと評価対象データの分布状態が安定化することが判る。このことは



(a) ケース A



(b) ケース B



(c) ケース C

図一五 ミニマックス 2 群判別結果の整理

表-6 ミニマックス2群判別結果の整理

(単位:画素)

		衛星データを用いた場合		衛星データを用いない場合		分級評価図での色付け
		ケースA	ケースB	ケースC		
判別前	トレーニングデータ	640	640	640	—	
	評価対象データ	3,712	3,712	3,712		
2群判別後	トレーニングデータ	畑地適地	442	450	451	赤色
		畑地不適地	198	190	189	青色
	評価対象データ	畑地適地	1,141	1,072	1,073	黄色
		畑地不適地	2,571	2,640	2,639	白色
	合計	畑地適地	1,583	1,522	1,524	—
		畑地不適地	2,769	2,830	2,828	

前述した数量化Ⅲ類の分析結果からも裏付けることができ、衛星データが有用な潜在因子であることを示唆している。また、ミニマックス判別結果の表-6を見ると、ケースBとケースCではわずか1画素の違いであるが、ケースAでは畑地適地として判定される箇所が増加している(合計の欄参照)。トレーニングデータ内での画素の変化はケースCに対しては9画素であることから評価対象データにおいて適地として判定された箇所が多くなったことが判る。

次に、このような定量的な違いが分級評価図上でどのような違いとなって現れるかを検討する。ケースA~ケースCのそれぞれの分級評価図を写真-1~写真-3に示した。なお、一画素の大きさは20m四方である。ケースBとケースCの違いはほとんどなく、畑地適地として反応する画素(黄色)は偏った分布を示している。一方、ケースAでは畑地適地は散在して反応している。例えば○印で指示した箇所等は、航空写真および現地調査結果との照合を行ったところ、現状の土地利用は畑地ではなく裸地的な状態となつてはいるものの、南西向きの緩やかな傾斜地で日当たりもよい土地柄であった。畑地としての適性は十分にあるものと判断できた。従来の分級評価図や白地図だけからでは、このような画素単位での適地を細かく抽出することが難しいことは言うまでもない。前述した数量化Ⅲ類による分析に加えて、ここでの分析結果から衛星データは分級評価において有効な潜在因子であると言える。

(3) 分級評価における衛星データの利用方法の提案

写真-1と写真-2の分級評価結果の違いは、衛星データの使用の有無によって現れたものである。本研究ではこの違いを利用し、分級評価プロセスにおける衛星データの応用的な利用方法(差画像)を提案する。なお、写真-2と写真-3の結果はほとんど違いはないことから、差画像の作成には土壌因子を加味した写真-2を用いることとする。

写真-1と写真-2の分級評価図上の色は凡例に示した意味を持つ。これは、トレーニングデータを基準としたミニマックス2群判別を組み合わせた考え方から導かれる情報の区分であり⁵⁾、土地利用計画策定段階で最も基本となる情報を表現したものとして潜在因子モデルの特徴の一つである。例えば、赤色の部分は将来にわたって畑地として保全する地域、青色の部分は他の土地利用への転換可能地域、黄色の部分は今後の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。

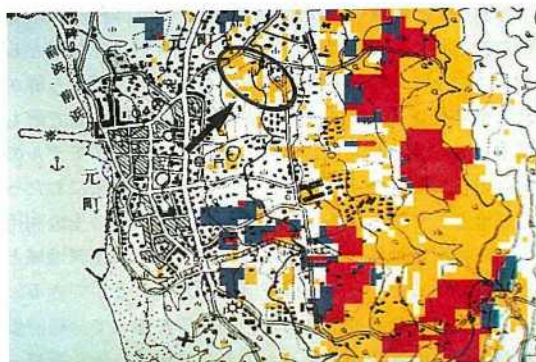
ここで、評価適地以外の白色の部分を加えて分級評価図が4通りの解釈ができるものとして取扱うと、写真-1と写真-2の違いを抽出する際には、表-7のような組合せが考えられる。本研究では写真-1と写真-2の違いを抽出した画像を差画像と呼ぶこととする。表-7からも判るように差画像では8通りの解釈に拡張される。この解釈にしたがって差画像を作成した例を写真-3に示す。以下、実際に評価者がこの差画像を利用する際の状況を想定しつつ、表-7で示したケース名にしたがって差画像のもつ意味について考察する。

ケース1(赤色):衛星データの使用の有無に関わらず畑地適地として反応した画素である。したがって、将来にわたって「畑地として保全していくべき」重要な領域として評価することができる。

ケース2(緑色):衛星データと地理データを併用した場合に限って畑地適地として反応する画素である。衛星データ因子が畑地適性を評価する上でプラス要因として働いたものと考えることができ、現地の土地被覆状態がトレーニングデータとかなり似通っている画素と言える。畑地保全区域として指定する上で赤色の画素とともに重要な箇所と言える。

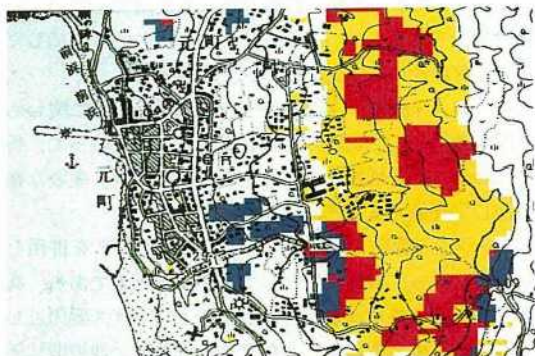
ケース3(ピンク色):地理データのみを使用した場合に限って畑地適地として反応する画素である。したがって、衛星データ因子が畑地適性を評価する上でマイナス要因として働いたものと考えることができ、現地の土地被覆の状態が他のトレーニングデータに比べてかなり相違しているものと推察される。緑色とピンク色の箇所の畑地適性の「度合い」を一意的に決定できないことは言うまでもないが、トレーニングデータについてこのような新たな情報が得られたことは、評価者の様々な意志決定を支援する上で有用と言える。

ケース4(青色):衛星データの使用の有無に関わらず畑地適性のない箇所として反応した画素である。したがって、必要があれば他の土地利用に転換してもよい領域として評価することができる。土地利用基本計画策定段階において重要な情報となる。農用地の保全/開発問題に限らず、土地評価問題においては土地の性状からの評価が重要であることは言うまでもないが、農業の後継者問題や土地価格等の市場メカニズムの中での取扱いを

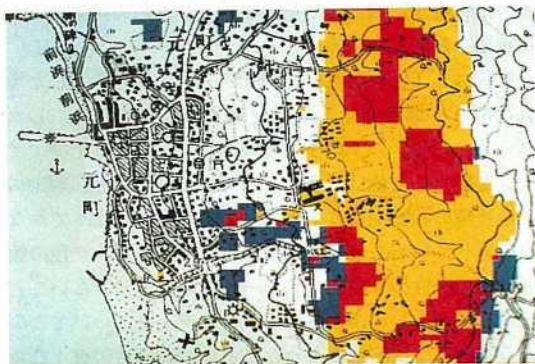


凡 例		
トレーニングデータ (現状型設定法)	赤色	現地において畑地のピクセルであるもののうち、畑地のピクセルとして判別されたもの。
	青色	現地において畑地のピクセルであるもののうち「畑地適性・無」として判別されたピクセル (本来ならば、赤色として判別されるべきピクセル)
評価対象データ	黄色	評価対象データのうち「畑地適性・有」と判別されたピクセル。

写真—1 ケース A の分級評価図



写真—2 ケース B の分級評価図



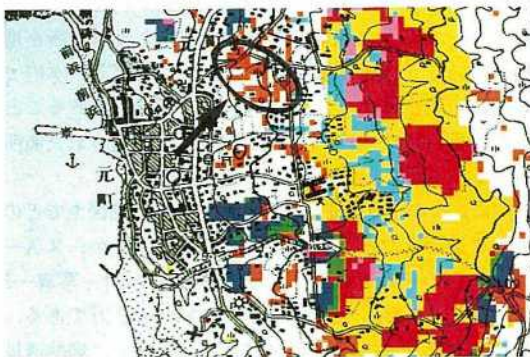
写真—3 ケース C の分級評価図

無視することはできない。潜在因子モデルではこのような社会的あるいは経済的な情報をパラメータとして組込んではいないが、得られた分級評価図を基礎資料としてこのような問題に対して間接的に併用していくといった利用形態をとることが大切となる。

以上まではトレーニングデータの反応画素に関する考察であったが、以下の4ケースは評価対象データに対す

表—7 差画像の作成とその解釈

	画素の組合せ		差画像上での色付け	差画像の解釈	ケース名
	ケースA 写真-1	ケースB 写真-2			
トレーニングデータ	適	適	赤	畑地保全地域	ケース1
		不適	緑	衛星データ因子が畑地適性評価にプラス要因として働いた地域であり「畑地保全地域」か「他用途への転換候補地域」かの判断は、現地との照合が必要な地域	ケース2
	不適	適	ピンク	衛星データ因子が畑地適性評価にマイナス要因として働いた地域であり「畑地保全地域」か「他用途への転換候補地域」かの判断は、現地との照合が必要な地域	ケース3
		不適	青	他用途への転換候補地域	ケース4
評価対象データ	適	適	黄	農地振興候補地	ケース5
		不適	茶	衛星データ因子が畑地適性評価にプラス要因として働いた地域であり「農地振興候補地」か「畑地適性のない地域」かの判断は、現地との照合が必要な地域	ケース6
	不適	適	薄青	衛星データ因子が畑地適性評価にマイナス要因として働いた地域であり「農地振興候補地」か「畑地適性のない地域」かの判断は、現地との照合が必要な地域	ケース7
		不適	白	畑地適性のない地域	ケース8



写真—4 写真—1と写真—2との差画像

る評価となる。

ケース5 (黄色)：このケースは衛星データの使用の有無に関わらず、畑地適性のあるものとして反応した画素である。したがって、農地振興地域として指定したり、実際に農地として開発していく地域として評価できる。

ケース6 (茶色)：衛星データと地理データを併用した場合に限って畑地適地として反応する画素である。写真—3で○印を示した箇所は写真—1に対する考察で述べたように、土地の性状も畑地に適している箇所であり、地理データだけを用了場合には適地として反応しなかった画素である。トレーニングデータとの類似性という観点から考えると土地被覆の状況がかなり似通っている箇所と判断できる。ケース5の場合の画素にくらべて畑地適性はやや劣る領域として解釈することもできる。

ケース7 (薄青色)：地理データのみを使用した場合に限って畑地適地として反応する画素である。衛星データ因子が畑地適性を評価する上でマイナス要因として働

いたものと考えることができ、トレーニングデータの土地被覆状況に比べてかなり異なっているものと推察される。ケース5と比べると畑地適性度はやや劣る領域として解釈することもできる。また、ケース6とケース7の「畑地適性度」の優劣を一意的に決定できないことは言うまでもないが、現地と評価図を照合することによって多角的な視点から考察を加え、評価結果を最適なものとしていくことが大切となる。ケース6とケース7ではややあいまい性を持たせて分級評価の結果を表現したものとなる。分級評価結果のファジー的な表現とも言える。

ケース8(白色)：衛星データの使用の有無に関わらず、畑地としての適性がない地域として反応した画素である。したがって、現状の土地利用の維持あるいは他の土地利用への転換候補地として取り扱うことができる。

以上のように衛星データを利用した差画像では8つの情報を通じて、評価者の知見を加えつつ様々な視点から評価することができる。差画像の基本的な解釈は表-7に要約してある。実際に分級評価図を利用しようとする場合、本研究のように具体的な評価のプロセスを示すことが重要と言える。

土地利用計画等は様々な視点から論じられるが、長期的見通しに立って、個別の計画では明示しにくい地域の将来像をつくり、計画の一体性、総合性を確保することが大切である。例えば市街化区域内の農地は、基本的に市街化の促進が図られるべき対象として扱われるが、一方では「保全すべき農地」と「宅地化すべき農地」に区分し、これをもとに「整備、開発または保全の方針」としてのマスタープラン、ジェネラルプランを策定することも重要なアプローチとなる。本研究で示した分級評価のプロセスは、このような基本計画レベルの評価を支援する上でも有効となる。

6. 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 数量化Ⅲ類による分析の結果、衛星データの使用の有無の違いによって特性空間内の個体の分布状態に有意な違いが認められた。衛星データを使用すると評価対象データおよびトレーニングデータが特性空間内で集団を形成する傾向にあり、それぞれのグループを識別しやすくなることが判った。

② 衛星データを使用せず地理データのみを使用して数量化Ⅱ類による処理を施した場合、数量化された個体(画素)の分布状態が離散的となり、信頼性が劣ることが判った。一方、衛星データと地理データを併用した場合、数量化された個体の分布状態は連続性をもつようになり、トレーニングデータと評価対象データの分布状態が安定化することが判った。これにより衛星データの有用性が示された。

③ 数量化Ⅱ類の分析では、衛星データの使用の有無の違いによる的中率の有意な差は認められなかった。的中率はあくまでも2群判別精度を表す定量的な指標であり、この値が高いからといって必ずしも評価適地を抽出できるとは限らない。このことから潜在因子モデルでは、数量化された個体(画素)の分布状態についても検証することが重要となることが判った。

④ 衛星データを使用した場合と使用しない場合のそれぞれの分級評価図の差画像を作成し、衛星データを有効利用する評価方法を提案した。差画像のもつ8つの情報から、評価者の意志決定を支援できる様々な知見が得られることが判った。この分級評価図の表現形態は従来にはないものであり、衛星データの応用的な利用面で興味ある方法と言える。

7. 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 本研究では評価主題として畑地適性評価を設定したが、今後は緑化計画や宅地開発計画等の種々の土地条件評価項目に対しても衛星データの利用可能性について検討する。

② 本研究では、クラスター分析画像を潜在因子モデルに適用したが、比演算画像や各種強調処理画像等、衛星データから抽出される種々の特徴を潜在因子の一つとして組み込み、分級評価精度を検証する。評価目的別の検討となることから、多くの時間とコンピュータ資源を必要とするが衛星データの実利用面に関わる研究としては興味深いものと言える。

③ 潜在因子モデルでは、ここで報告した衛星データの応用的な利用方法だけでなく、トレーニングデータを基準とした種々の評価プロセスを持つ⁵⁾。この利点を活かして誰しもが容易に利用できることを念頭におき、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。衛星データと地理情報との融合利用方法、さらには国土の評価/計画といった体系化された実用化システムとして具現化することは意義のあることと考える¹³⁾。現在このシステムの設計に着手し、開発を進めている。

8. むすび

土地評価問題や土地利用計画等に関わる研究は多岐にわたっている¹⁴⁾。本研究で報告した衛星データの土地分級評価への適用と分級評価精度の検証等は、そのほんの一部の研究アプローチに過ぎない。しかし、土地分級評価手法は土地に関わる種々の条件を評価するものであり斜面崩壊の問題や洪水氾濫危険区域の抽出・評価等、防災分野においても様々な方法が考えられており¹⁵⁾、今後の国土の評価/分析手法として重要になるものと思われる。

る。本研究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、様々な国土の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ている。

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下さった関係各位に深く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 斉藤元也・山田康晴：ランドサット TM データによる GIS を利用した東北タイの農業生産力把握手法の開発，日本写真測量学会年次学術講演会発表論文集，pp.173～176，1991年5月。
- 2) Lucas L.F. Janssen and Marijke N. Jaarsma : Integrating Topographic Data with Remote Sensing for Land-Cover Classification. Photo. Eng and Remote Sensing. Vol.56, No.11, pp.1503～1506, Nov, 1990.
- 3) Frank W. Davis : Environmental Analysis Using Integrated GIS and Remotely Sensed Data, Some Research Needs and Priorities, Photo. Eng and Remote Sensing, Vol.57, No.6, pp.689～697, June, 1990.
- 4) 森地茂：国土計画の基本的な課題，(社)土木学会編土木学会誌別冊増刊一国土計画一，pp.25～29，1989年11月。
- 5) 小島尚人・大林成行：衛星マルチスペクトルデータを使用した分級評価モデルの開発，土木学会論文集，No.427／VI-14，pp.65～74，1991年3月。
- 6) 出口近士・沼田賞・亀井敏裕：ランドサットデータを利
- 7) 用した土地利用計画支援のための土地条件図作成，土木学会論文集，No.371／IV-5，pp.97～106，1986年7月。
- 7) 後藤恵之輔・瀬戸島政博・岡崎修平：リモートセンシングによる斜面崩壊発生日点の予測手法，土質工学会論文集，Vol.25，No.2，pp.185～194，1985年6月。
- 8) 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。
- 9) 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。
- 10) 東京都労働経済局農林水産部：東京都土地分類基本調査作業規程，1988年。
- 11) 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。
- 12) 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。
- 13) 村井俊治・大野紀久：土地利用計画を支援する土地分級システム，日本写真測量学会年次学術講演会発表論文集，pp.155～158，1987年4月。
- 14) 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。
- 15) 梅園秀平・西川肇：リモートセンシングデータと数値情報を用いた土地条件評価の基礎的研究，日本リモートセンシング学会第6回学術講演会論文集，pp.183～184，1986年12月。

(1991.9.14 受付)

ON THE EFFECTIVENESS OF SATELLITE MULTI-SPECTRAL SCANNER DATA IN THE LAND USE CAPABILITY CLASSIFICATION MODEL

Hirohito KOJIMA and Shigeyuki OBAYASHI

The objective of this study is to evaluate the accuracy of the land use capability classification with Latency Factor (LF) model developed by ourselves in 1990. In this LF model, we used not only Geographical Information (GI) but also the satellite data for the land use capability classification and explained the usefulness of the satellite data. In comparison with the accuracy of agricultural capability classification in case of only using GI and GI with the satellite data, it was found that the later is more useful for extracting appropriate areas. Furthermore, we proposed the new subtracted image made from extracting the different pixels between the capability classification images in the two preceding cases respectively. It was shown that the subtracted image is worthy of the new and wide application on the land use plan and planning.