

# 衛星マルチスペクトルデータを適用した 土地利用構想図の作成に関する研究

小島尚人\*・大林成行\*\*

本研究は、衛星マルチスペクトルデータと地理情報を融合して土地利用構想図を作成する新しい手法を提案したものである。これまでに著者らが開発してきた土地分級評価手法の適用範囲を拡張し、土地利用構想/計画段階における「開発と保全」行為に対する「相互調整の必要性の有無」といった情報を構想図上に区分・表現した。この構想図は「整備、開発または保全の方向性」を示す計画意志決定を支援していく上で有用な情報を内包していることを示し、GIS等の利用分野にも寄与できることを述べている。

**Key Words:** remote sensing, land use conception map, land use capability classification, geographical information, quantification method

## 1. はじめに

都市の一極集中から多極分散を念頭に置いた国土の保全・開発に関わる政策が唱われてから久しい。その結果、現実問題として対処するべく、<sup>1)</sup>将来を見通したよりきめこまやかな土地利用構想/計画の策定が必要となってきている。GIS (Geographical Information System) の利用技術や各種地理データと衛星マルチスペクトルデータ (以下、衛星データと言う) との融合利用技術に関する研究が数多くなってきたこともその証拠の一つと言える<sup>2)</sup>。衛星データはLANDSAT/TM, SPOT/HRV等の第2世代から大きく飛躍して、JERS1/OPS, SARデータ等に代表される第3世代に入ろうとしている。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との効果的な利用方法等、衛星データを活用していく上で新たな技術展開が必要な時期に差し掛かってきている。

このような状況の中、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<sup>3)</sup>」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、その有効性を示した<sup>4)</sup>。さらに、衛星データを使用した場合と使用しない場合の各々の分級評価結果の違いを利用した差画像を提案し、その解釈の方法を含めて衛星データそ

のものの有効性を立証した点は、関係方面から高い評価を得るに至っている<sup>5)</sup>。しかし、ここまでの研究では潜在因子モデルにおける分級評価プロセスの設計/開発に主眼を置いたことから、テスト主題として「農用地 (畑地) 適性評価」を設定し、分級評価精度を検証するにとどまった。これは土地の開発/保全の意味において重要かつ基本的な評価主題と言えるものではあるが<sup>6)</sup>、さらに、計画者のニーズに応じて他の分級評価項目を設定することによって、潜在因子モデルの適用範囲の拡張と汎用性を検証することも課題として残された。

そこで、本研究ではトレーニングデータの種類の違いによる潜在因子モデルの分級評価精度への影響について検討するとともに、潜在因子モデルが様々な評価ニーズに対応した分級評価図を作成できることを示す。さらに、作成される複数の分級評価図を組合せ、土地の性状を多角的な視点から分析できる「土地利用構想図」の作成アルゴリズムを提案するとともに、作成される構想図は「開発または保全の方向性」を示す土地利用計画、地域計画を支援する上で有用な情報を内包していることを示す。

## 2. 既往の研究と本研究の特徴

### (1) 潜在因子モデルの適用範囲の拡張

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が見られる<sup>6)</sup>。いずれも衛星データと地理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、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ていた。このようなことから、著者らが開発・提案してきた潜在因子モデルでは「適・不適」といった2群判別結果によって曖昧性

\*正会員 工博 東京理科大学講師 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

を排除し、具体性のある判断が下せる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<sup>4)</sup>。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、

- 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

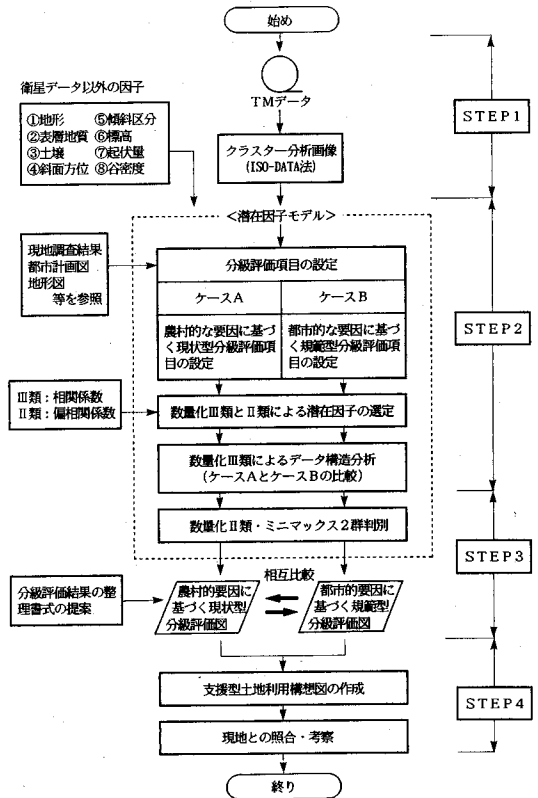
といった最も基本的な判断を支援する情報が必要となる。潜在因子モデルでは2群判別結果からこの4つの情報を分級評価図上で自動的に色分けして表示し、評価者の意志決定を支援できるように配慮してある。本研究では従来の研究をさらに進めて、種類の異なるトレーニングデータを設定した場合の分級評価精度を検討し、潜在因子モデルの適用範囲を拡張できることを示す。さらに、作成される複数の分級評価図を組合わせた技術者支援型の土地利用構想図の作成アルゴリズムの提案へと展開する。

### (2) 土地利用構想図の作成アルゴリズムの提案

土地分級評価に関する調査・研究は、衛星データの利用問題も含めてかなり古くから行われており、農用地適性分級評価図、宅地開発適性分級評価図、土地生産力分級評価図等のようにその種類も多岐にわたる。しかし、評価者の立場（開発と保全）の違いによって、同じ土地であっても分級評価図上では全く相反する評価結果が表現され、各種の事業計画へ反映させる上で、有効に活用できないことが指摘されている<sup>8)</sup>。この問題に対して分級評価図を様々な組合わせるオーバーレイ手法も用いられるが、ランク分けされた個別的分級評価図を解釈する以上にオーバーレイ処理された結果は複雑となり、現実問題と斉合のとれないことが指摘されている。そこで、本研究では評価者の視点（開発と保全）の違いを考慮した新たな分級評価図の組合せ方法と、これにより得られる土地利用構想図の解釈の方法を提案する。この構想図は、唯一、潜在因子モデルから得られる分級評価図を組合わせることによってのみ作成が可能となる点も特徴の一つである。1992年3月に都市計画法が一部改正され、土地利用計画、地域計画におけるマスタープラン、ジェネラルプランの位置付けが益々重要になっている<sup>9)</sup>。このような状況の中、衛星データと地理データを融合して土地利用構想図を作成しようとする本研究の試みは、時節を捉えた研究課題として意義あるものと考えている。

### (3) 本研究で提案する土地利用構想図の適用範囲

土地利用計画や地域計画等における計画者の視点を考える場合、「潜在価値、存在価値、使用価値」といった土



図一 研究の構成

地に内在する3つの空間価値を相互に考慮することが重要となる<sup>9)</sup>。使用価値のみに傾注した計画では乱開発を誘発し、自然環境の悪化を招くことになる。一方、潜在価値や存在価値のみに着目した計画では生活環境の快適性や利便性等を向上させる上で限界がある。両者のバランスを調整しつつ、地域の特性に適合した将来計画を策定していくことが益々重要な要素となってくる。

本研究の潜在因子モデルは衛星データと地理データの融合利用技術として潜在価値、存在価値の範囲において分級評価を行うものであるが<sup>4)</sup>、得られた分級評価図を基礎情報として間接的に使用価値的側面からの評価へと展開するといった体制をとることも大切となる。本研究で提案する「土地利用構想図」についても、潜在価値、存在価値の範囲内での分析/評価結果を基に、柔軟性、発展性のある利用形態を目指している。

なお、使用価値そのものの評価については「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、本研究の範囲には含めず今後の課題とする。

## 3. 研究の構成

本研究は図一に示す4つのステップから成る。

### (1) STEP1: 潜在因子の準備

a) 対象領域と設定した潜在因子：対象領域は千葉県流山市の近郊とした。著者らの大学の近くに位置することから、本研究で提案する土地利用構想図と現地との照合を繰り返し行える。土地利用構想図が地域地区指定の線引きや逆線引き等の問題に対しても支援的に利用できるか否かを検討することを念頭に置き<sup>10)</sup>、対象領域として都市計画によって地域指定がなされている箇所と白地領域が含まれている箇所を選定した。地域地区指定がなされている箇所は市街化しており、白地領域は水田や畑地、樹林地等の農村的立地条件に依存する土地利用となっている。白地領域は今後の土地利用計画を展開する上で注目される箇所であり、本研究で提案する土地利用構想図の有効性を検証する上で重要となる。

本研究を進め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<sup>11)</sup>の成果図面を数値化した地理データと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 (標高, 起伏量, 谷密度, 斜面方位, 傾斜区分の各因子) である。なお, 宅地適性評価では, 交通条件や下水道等の社会基盤施設の有無 (整備計画を含む) 等の政策条件も評価要因として考えなければならない。しかし, このような政策条件をすべて網羅して取り入れることは現実問題として困難である。本研究ではまず第1に土地利用構想図作成のためのアルゴリズムの開発に主眼を置くことから, 当面入手できる要因を採用し, 自然条件の面から住宅適地である箇所を抽出した上で, 道路や下水道等の基盤施設との位置関係や整備計画と照合していくといった利用形態をとる。適用範囲は限られるが, 自然条件からの評価結果を基準とすることによって, 土地利用構想に係わる政策上の問題が一層明確となってくるものと期待できる。

b) 衛星データの選定：本研究では30m/ピクセルという高分解能を有し, 広く利用されているLANDSAT・TM データ (1990年11月5日) を使用した。潜在因子モデルでは, 多次元で構成される画像濃度値の情報を集約化 (クラスターリング) した上で, アイテムとして組み込むようになっている<sup>4), 9)</sup>。

(2) STEP2：分級評価項目の設定と分析

潜在因子モデルでは, 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つの評価プロセスを持つ<sup>9)</sup>。本研究では土地利用構想図を作成する上で, 農村的要因に基づく現状型分級評価項目と, 都市的要素に基づく規範型分級評価項目を設定する。これら2つの分級評価項目設定の基本的考え方については, 4.(1) 節にて述べる。ここでは, 分級評価精度の信頼性を高めるために使用する潜在因子を数量化Ⅱ類およびⅢ類を用いて再選定する処理を行う (4.(2) 節) とともに, 分級評価項目毎に再選定された潜在因子を用い, 数量化Ⅲ類を通じてデータ構造の違いの有無について分析する。いわゆ

表-1 本研究で設定した潜在因子

土地分類基本調査成果図			衛星データ因子 (TMデータ) 1990年11月5日観測	
表層地質因子	地形分類因子	土壌因子		
埋立地堆積物 泥がら堆積物 砂がら堆積物 砂質堆積物 ローム1 ローム2	火山灰台地 谷底平野 自然堤防 切土地 盛土地 崖	八街F統 八街統 船木統 上砂F統 布佐F統 平三統	クラス1 クラス2 クラス3 クラス4 クラス5 クラス6	
DTMから作成				
標高因子	起伏量因子	谷密度因子	斜面方位因子	傾斜区分因子
以上~未満 (m) 0~8 8~12 12~16 16~20 20~24 24~	以上~未満 (m) 0~2 2~4 4~6 6~8 8~10 10~	(個) 0 1 2 3 4	北 北東 東 南東 南 南西 西 北西 平地	以上~未満 (度) 0~3 3~6 6~9 9~12 12~

表-2 分級評価項目の設定

	ケース A	ケース B
	農村的要因	都市的要素
設定するトレーニングデータの属する領域	①畑地 ②水田 ③樹林地	①第1種住居専用地域 ②第2種住居専用地域 ③住居地域 ④近隣商業地域
作成される分級評価図	現状型分級評価図	規範型分級評価図

る現状の土地利用と土地の性質 (ミクロな視点から見た土地評価では立地条件とも言える) との関係进行分析するものであり, 潜在因子モデルの拡張性・汎用性を裏付ける上で重要な過程となる (分析結果: 4.(3) 節)。

(3) STEP3：分級評価図の作成

STEP2の分析結果を踏まえて, 農村的要素に基づく現状型分級評価図と都市的要素に基づく規範型分級評価図を作成し, それぞれの違いを分析する。これらの分級評価結果を誰もが有効に利用できるようにするために標準化した書式の整理表にとりまとめる。

(4) STEP4：土地利用構想図の作成と評価

個別に作成された複数の分級評価図を組み合わせることによって, 本研究の最終目標である土地利用構想図を作成するとともに, 現地の状況と照合し結果の妥当性を検証する。STEP3でとりまとめた分級評価結果の整理表と土地利用構想図とを併用することによって様々な視点から評価が展開できることを示す。

4. 潜在因子モデルの適用範囲の拡張

(1) 分級評価項目を設定する際の基本的考え方

潜在因子モデルの適用範囲の拡張と汎用性を検証する上で, 本研究では表-2に示すように農村的要素と都市的要素といった2つに分級評価を区分して検討を進める。

a) 農村的要素に基づく分級評価の定義 (ケース A)

表-3 潜在因子間の相関関係(数量化Ⅲ類)

	標高	土壌	表層	衛星	地形	斜面方位	谷密度	傾斜区分
標高	—							
土壌	0.569	—						
表層地質	0.742	0.778	—					
衛星データ	0.342	0.306	0.336	—				
地形	0.739	0.753	0.786	0.369	—			
斜面方位	0.279	0.188	0.292	0.172	0.231	—		
谷密度	0.234	0.074	0.075	0.057	0.081	0.185	—	
傾斜区分	0.284	0.228	0.225	0.225	0.287	0.243	0.208	—
起伏量	0.322	0.228	0.239	0.239	0.299	0.307	0.253	0.912

現状の土地の性状を反映させた「現状型トレーニングデータ<sup>9)</sup>」を設定して、分級評価図を作成するケースである。本研究では「畑地、水田、樹林地」といった自然の立地条件に依存する3種類の分級評価項目を設定した。

b) 都市的要因に基づく分級評価の定義(ケースB)

この分級評価ケースは、都市的な要因(政策上の種々の目的、制約条件を含む)に基づいて立地している土地の性状の分析を目的とする。例えば、用途指定区域内にトレーニングデータを設定する場合等が該当する。本研究では土地利用構想図の信頼性を保証する上で、宅地適性評価においては、実際に住宅地となっている箇所の中で、現地調査を通して地形的な要因(傾斜度、起伏の変化が少ないことや日照条件のよい地形等)の点から立地条件が極めて良いと判断される領域をトレーニングデータとして設定した。立地条件が良好な地点があらかじめ判っていれば、現在は宅地になっていなくともその箇所をトレーニングデータとして設定すればよい。いずれも規範的判断に基づくものであり、潜在因子モデルではこれを規範型トレーニングデータと呼ぶ<sup>9)</sup>。なお、分級評価項目名としては便宜上、表-2に示すようにトレーニングデータが存在する用途指定区域名で表現している。

以上のように2つに区分した分級評価は、第5章で述べる土地利用構想図の作成に関わる議論を展開する上でも重要な要素となる。

(2) 潜在因子の選定

潜在因子モデルでは、数量化Ⅲ類によってあらかじめ設定した潜在因子間(表-1)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いずれか一方を除去した上で分級評価図を作成するようになっていく。これは、数量化Ⅱ類の信頼性を高める上で重要なプロセスに位置付けられる。このとき、相関の高い潜在因子の組を判断する際の「いき値」が問題となる。著者らの今までの検討<sup>10)</sup>と統計処理上の一般的な判断として、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。使用するデータの性質によってはこの値が必ずしも適切ではない場合も考えられる。このような問題に対する詳細な検討については本研究の範囲には含めず、今後の課題とする。以上の処理は、表-2で示した分級評価項目別に行われるが、ここでは紙面の都合上、ケースAの「水田」に着目して処理結果を述べる。

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-3に示す。表中、相関係数が0.7以上のものを枠で

表-4 潜在因子の選定結果

分級評価項目	潜在因子	衛星	表層	地形	土壌	標高	起伏	谷密	斜面方位	傾斜区分
ケースA	畑地	○			○		○		○	
	水田	○			○	○			○	○
	樹林地	○			○	○	○		○	
ケースB	第1種住居専用地域	○		○					○	○
	第2種住居専用地域	○			○	○			○	○
	住居専用地域	○	○						○	○
	近隣商業地域	○		○					○	○

表-5 分級評価項目別の固有値算出結果

分級評価項目	第1固有値	第2固有値	第3固有値	
農村的要因	畑地	0.283	0.259	0.205
	水田	0.304	0.240	0.175
	樹林地	0.328	0.245	0.183
都市的要因	第1種住居	0.301	0.281	0.202
	第2種住居	0.286	0.236	0.175
	住居専用地域	0.332	0.264	0.201
	近隣商業地域	0.287	0.261	0.219

囲って示してある。さらにこれらの組のうち、いずれか一方を除去する際の指標として数量化Ⅱ類の偏相関係数を用いる。表-3では判り易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、表層地質因子と地形因子および起伏量因子が除去されることが判る。最終的に残される潜在因子は「標高、土壌、衛星データ、斜面方位、谷密度、傾斜区分」の6種類となる。

他の分級評価項目に対しても以上の処理を通して潜在因子を選定するが、紙面の都合上最終的に選定された潜在因子を表-4にまとめて整理した。いずれの分級評価項目においても衛星データが選定されており、分級評価において有効な潜在因子であることが伺える。また、すべての分級評価項目に対して谷密度と斜面方位因子が選定されていることは興味深い結果である。著者らの今までの研究においても同様な傾向にあったことから<sup>9)</sup>、これらの潜在因子は分級評価図、さらには土地利用構想図を作成する上で重要な因子であると考えられる。以降の検討では、選定されたこれらの潜在因子を使用する。

(3) 数量化Ⅲ類によるデータ構造の分析

潜在因子モデルにおける数量化Ⅲ類は、前項で述べた潜在因子の選定プロセスに利用されるのに加え、潜在因子のデータ構造分析に利用される。ここでは分級評価項目別に設定したトレーニングデータに着目し、数量化Ⅲ類によってデータ構造を分析した結果を示す。図-2に分級評価項目別の個体数量散布図を整理した。なお、第1軸~第3軸までの固有値(λ<sub>i</sub>)は、表-5のとおりであり、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、ここでは第1軸と第2軸で構成される特性空間を採用した。

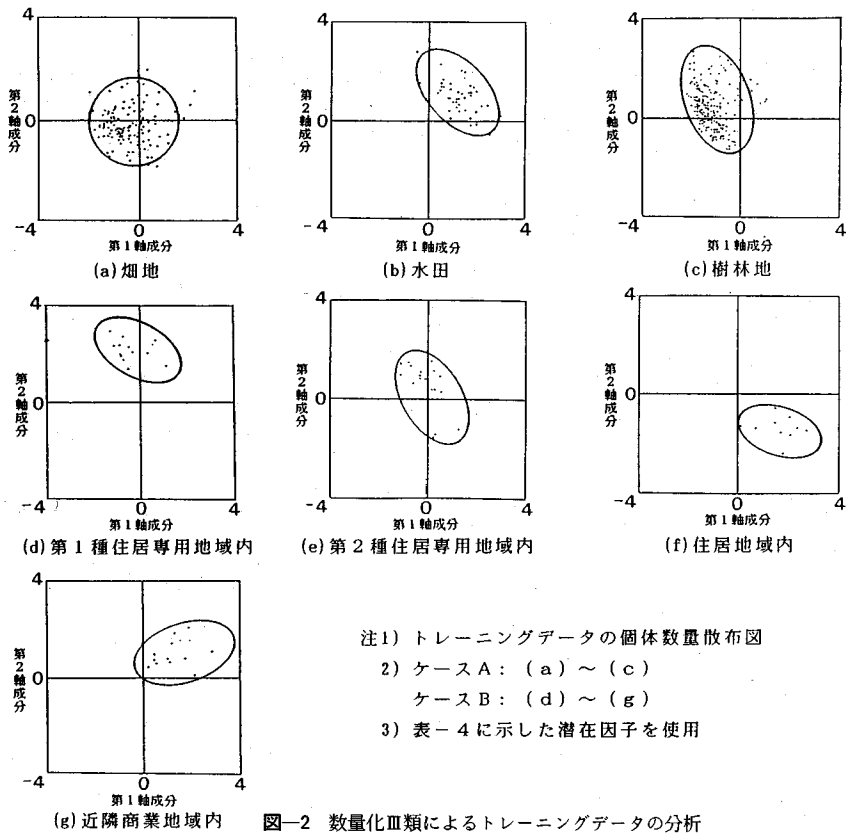


図-2 (a) ~ (g) を個別に比較するとそれぞれのトレーニングデータは特性空間内で偏った分布を示している。例えば畑地は中央部、水田は第1象限、樹林地は第2象限、第1種住居地域は第1~第2象限、住居地域は第4象限に分布しており、設定したトレーニングデータのデータ構造がそれぞれ異なっていることが判る。このことから分級評価項目別に設定するトレーニングデータの性質の違いが、分級評価結果に反映されるものと考えられ、潜在因子モデルの適用範囲が拡張できることが裏付けられる。この結果をもとに、次章にて潜在因子モデルの中核をなす数量化Ⅱ類の分析結果と分級評価図上に実際に現れる違いについて検討を進める。

## 5. 土地利用構想図の作成

### (1) 分級評価図の作成

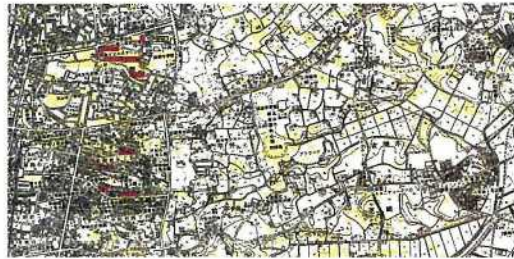
土地利用構想図の作成に先だって、表-2で設定した分級評価項目別に分級評価図が作成される。ここでは紙面の都合上、住宅地、畑地、水田、樹林地の立地適性分級評価図を写真-1 (a) ~ (d) に示す。なお、住宅立地適性分級評価は、住居専用地域内にトレーニングデータを設定したケースである。前述した数量化Ⅲ類の分析結果の違いが、このような分級評価図上での違いとなって現れ、潜在因子モデルがトレーニングデータの性質の違

いを十分に反映できることが判る。この結果より、5. (3) 節で述べる土地利用構想図の作成に係わる検討の展開が可能となる。

写真-1で示した分級評価図は数量化Ⅱ類によって数量が付与された全個体に対して、トレーニングデータを基準としたミニマックス2群判別を通じて作成され、表-6に示すような4つの情報をもつ。著者らは従来から利用されているランク分けされた分級評価図との比較を通じて、これらの情報の区分が評価者の意志決定を種々の視点から支援できることを既に示している<sup>9)</sup>、ミニマックス判別の詳細については紙面の都合上割愛する。

### (2) 数量化Ⅱ類による分析と整理表の提案

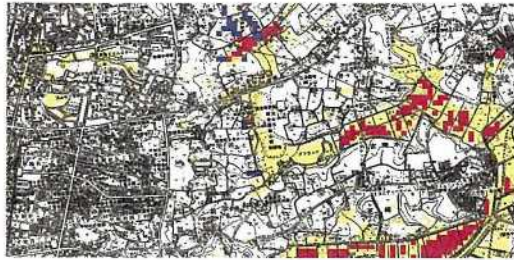
分級評価図の分析は数量化Ⅱ類を通して行われる。数量化Ⅱ類の処理結果を表-7に示す。外的基準の欄を見ると、すべてのケースにおいてトレーニングデータには正值、評価対象データには負値が付与されていることから、この符号の違いから立地適性に寄与するカテゴリーを抽出できる。例えば水田の場合を見ると(表-7(c)), 土壌因子では「布佐統」、衛星データ因子では「クラス3, クラス6」、斜面方位因子では「南東, 平地, 東向き」といったカテゴリーが現状の立地条件に関係するものと考えられる。その他の分級評価項目についても表-7の結



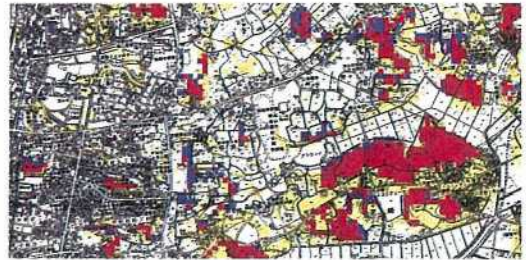
(a) 住宅立地適性分級評価図



(b) 畑適性分級評価図



(c) 水田立地適性分級評価図



(d) 樹林地適性分級評価図

写真-1 個別分級評価図の作成 (潜在因子モデルの拡張性の検討)

表-6 分級評価図上の4つの情報 (例: 写真-1 (C))

		解釈
トレーニングデータ	赤色	現地において水田の画素であるものうち「水田適性・有」として判別されたもの。
	青色	現地において水田の画素であるものうち「水田適性・無」として判別されたもの。
評価対象データ	黄色	評価対象データのうち「水田適性・有」として判別されたもの。
	白色	評価対象データのうち「水田適性・無」として判別されたもの。

表-8 分級評価結果の整理表 (記入例)

トレーニングデータの種類		水田			
分級評価のタイプ	現状型	○	規範型	仮定型	
トレーニングデータを構成する地理データと関連があると考えられるもの。 注) 各カテゴリーはスコア値の高いものから順に記載する。	土壌 衛星データ 標高 斜面方位 傾斜区分 谷密度	布佐統 クラス3、クラス6 0~8m、12~16m 南東、平地、東 0~3度 3、1、0個			
分級評価図に対する主な所見					
トレーニングデータ	赤色の画素に対する評価 (適性地)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・数量化Ⅱ類による偏相関係数の値を見ると、土壌因子が最も高くトレーニングデータの性質を代表している潜在因子と言える。布佐統のカテゴリーのみが正値を示し、水田適性に寄与していることが判る。現状の立地条件と整合がとれている。</li> <li>・衛星データ因子では「クラス3」と「クラス6」といったカテゴリースコア値が正値を示す。特にクラス3のカテゴリーは水田の画像濃度値 (輝度値) を代表している。</li> <li>・標高因子では「0~8m」と「12~16m」のカテゴリーが正値を示している。現状の水田がこの標高区分の付近に立地していることが判る。</li> <li>・斜面方位因子では、「南東、平地、東」といったカテゴリースコア値が正値を示す。「南東、東」といったカテゴリーは水田の立地条件に関して着目すべきものと言える。</li> <li>・その他にも種々の評価が加えられるが、ここで反応した画素は、将来に渡って水田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。</li> </ul>			
	青色の画素に対する評価 (不適性地)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水田適性のない箇所として反応した画素である。他の土地利用への転換候補地であるが、個別に細部調査を行う必要がある。</li> <li>・農業の後継者問題や地価等の土地経済的な諸問題に対して支援的な情報の一つとして間接的に利用していくことも考えられる。</li> </ul>			
評価対象データ	黄色の画素に対する評価 (適性地)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現状の水田と土地の性状が類似している箇所である。評価者のニーズに応じて農地 (水田) 転換候補地として指定したり、実際に農地として保全/開発していく地域として評価することができる。</li> <li>・住居専用地域内にも水田適地として反応している箇所がある。この箇所は過去に水田であった箇所も含まれている。</li> <li>・散在して反応している領域についても現地との照合を含めて注目することが大切となる。</li> </ul>			
	白色の画素に対する評価 (不適性地)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水田として適性がない地域として反応した画素である。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評価することができる。</li> </ul>			
備考: 現地調査所見等					
<ul style="list-style-type: none"> <li>・現状の水田とほぼ同様の土壌の地域が忠実に反応している。</li> <li>・斜面方位 (東および南東) の寄与については現地の状況から人間が即座に判断することが難しい。DTMを利用した潜在因子モデルの地理精度は高い。</li> <li>・規範型トレーニングデータを設定して本評価結果との感度分析を行う必要がある。</li> </ul>					

果から同様に分析することができる。

以上の数量化Ⅱ類による分析と分級評価図に対する評価結果を要領よく整理するために、本研究では表-6に示した4つの情報区分をベースとして、表-8に示すような整理表を提案する。上の欄から順にトレーニングデータの種類と分級評価のタイプを記載し、次の欄には表-7で示した数量化Ⅱ類の処理結果からトレーニングデータを構成する地理データと関連があると考えられるものを抜き出してある。この場合の「(判断の)しきい値」を明確に設定することは難しいが、本研究では前述したように、カテゴリースコア値が正値を示すものを対象としている。また、上から順に偏相関係数の値の高いものから記載することによって、どの潜在因子が分級評価に寄与しているのかが判るように配慮している。表-8では土壌と衛星データが上位に位置しており、水田の立地適性評価に寄与する潜在因子であることが読み取れる。ここで記載されるカテゴリーは現地と照合する場合等に有効な支援情報となる。さらに、トレーニングデータと評価対象データに分けて、表-6に示した4つの情

表一 潜在因子モデルにおける数量化Ⅱ類の処理結果

(a) 住宅地					(b) 畑地							
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)	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)	
土壌	八街F統	-0.273	傾斜 区分	以上~未滿		土壌	八街F統	-0.479	斜面 方位	北	0.238	
	船木統	-0.152		0~3	0.390		船木統	-0.633		北東	0.400	
	上砂F統	-0.830		3~6	-0.184		上砂F統	-0.449		東	0.260	
	布佐統	0.918		6~9	-0.099		布佐統	-1.202		南東	0.162	
	布佐P統	0.329		9~12	-3.448		布佐P統	-1.187		南	-0.196	
	平三統	0.877		12~(度)	-0.296		平三統	-1.455		南西	-0.531	
八街統	-0.623	0(個)	-0.111	八街統	0.746	北西	-0.063					
衛星データ	クラス1	0.124	谷 密度	1	0.804	衛星 データ	クラス1	-0.821	谷 密度	0(個)	0.055	
	クラス2	0.263		2	0.600		クラス2	-0.531		1	-0.343	
	クラス3	-0.223		3	-0.257		クラス3	0.576		2	-0.228	
	クラス4	-0.500		4	-0.249		クラス4	-0.907		3	-0.928	
	クラス5	0.165		以上~未滿	0~8		-0.830	クラス5		0.450	4	2.181
	クラス6	0.000		8~12	0.031		12~16	0.524		クラス6	0.304	20~(m)
斜面方位	北	-0.470	標 高	16~20	0.122	斜面 方位	以上~未滿	0.224	外的 基準	トリークテー プ		
	北東	-0.431		20~(m)	0.246		0~2	-0.146		現 状 型 (畑地)	0.812	
	東	-0.465		トリークテー プ	2.176		2~4	-0.658		評 価 対 象 テ ラ	-0.075	
	南東	-0.444		規 範 型 (住宅地)			4~6	-0.698				
	南	1.207		評 価 対 象 テ ラ	-0.015		6~8	-0.621				
	南西	0.095					8~10	-0.621				
西	-0.323			10~(m)	-2.089							
北西	-0.623											
平地	0.350											

(c) 水田					(d) 樹林地							
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)	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)	
土壌	八街F統	-0.916	傾斜 区分	以上~未滿		土壌	八街F統	1.519	起 伏 量	以上~未滿		
	船木統	-0.249		0~3	0.093		船木統	-0.329		0~2	-0.275	
	上砂F統	0.286		3~6	-0.159		上砂F統	0.674		2~4	0.197	
	布佐統	1.080		6~9	-0.373		布佐統	0.014		4~6	0.815	
	布佐P統	-0.209		9~12	-0.296		布佐P統	-0.322		6~8	0.614	
	平三統	-1.154		12~(度)	-0.262		平三統	-0.980		8~10	0.994	
八街統	-0.263	0(個)	0.001	八街統	0.023	10~(m)	0.456					
衛星データ	クラス1	-0.655	谷 密度	1	0.075	衛星 データ	クラス1	-0.356	谷 密度	0(個)	-0.028	
	クラス2	-0.187		2	-0.179		クラス2	-0.321		1	0.078	
	クラス3	0.992		3	0.133		クラス3	-0.063		2	0.050	
	クラス4	-0.021		4	-0.016		クラス4	0.771		3	1.324	
	クラス5	-0.015		以上~未滿	0~8		0.650	クラス5		-0.021	4	1.617
	クラス6	0.244		8~12	-0.312		8~12	-0.312		標	以上~未滿	0~8
斜面方位	北	-0.282	標 高	12~16	0.135	斜面 方位	北	0.300	外的 基準	8~12	-0.353	
	北東	-0.237		16~20	-0.297		東	-0.118		12~16	0.009	
	東	0.254		20~(m)	-0.212		南東	-0.195		16~20	0.326	
	南東	0.581		トリークテー プ	1.836		南	-0.139		20~(m)	0.083	
	南	-0.030		規 範 型 (水田)			南西	-0.066		トリークテー プ	現 状 型 (樹林地)	1.217
	南西	-0.261		評 価 対 象 テ ラ	-0.080		西	0.068		評 価 対 象 テ ラ		
西	-0.304			北西	0.236							
北西	-0.255			平地	0.038							
平地	0.302											

報区分に対して数量化Ⅱ類から得られる知見を記述する。また、最下段には現地調査所見を記載する。

この提案書式に従えば、どのような分級評価項目に対しても数量化Ⅱ類の分析結果を要領よく整理でき、分級評価図の分析はもとより後述する土地利用構想図を現地と照合する際にも効果を発揮する。以上のように処理/分析手順や得られる情報の整理方法を標準化することによって対象とする問題点がより一層明確になってくる。

(3) 土地利用構想図の作成

a) 土地利用構想図に望まれる情報

GISの利用・研究分野等では、宅地適性分級評価図や畑地適性分級評価図等のように目的に応じた分級評価図が作成されている。これら複数の評価図を横並びにして眺めて見ると、興味ある問題に直面する。

例えば、宅地適性分級評価図と生産緑地保全を念頭において作成された畑地適性分級評価図を比較するといった最も単純な場合を想定する。宅地適性分級評価図上で「適性有」として判定されている箇所でも、畑地適性分級評価図を見ると「畑地適性有」として判定されている場合

がある。開発者の立場から見れば宅地適性評価を目的とした分級評価図のみを利用すれば十分であるとも言えるが、その一方で農用地を保全しようとする立場から見れば、当該箇所の開発を抑制し、優良農地の保全政策を押し進めることが必要となる。このように評価者の立場の違いによって、同一の土地に対する評価と将来にわたる土地利用計画の方向性が全く異なってしまうことは、以前より指摘されている点である<sup>9)</sup>。自治体等において目的に応じた種々の分級評価図が作成されているものの、現実には有効に利用されていない理由の一つである。

以上の問題に対処するために、本研究では具体的な評価主題を設定した上で、それに対立する評価項目(以下、対立分級評価項目と呼ぶ)との関係から、「開発と保全」といった相反する行為に対して「相互調整の必要性の有無」といった情報を提供し、この情報が計画意志決定を支援していく上で極めて有用となることを示す。本研究で提案する土地利用構想図の特徴はこの点にある。

b) 土地利用構想図の作成手順

土地利用構想図は、次の4つの過程を経て作成され

る。

① STEP1：評価主題の設定

開発あるいは保全行為に対応する評価主題を設定する。本研究では、開発行為に代表される「宅地開発適性地評価」を設定した。これは表-2で定義した都市的要因に依存する規範型分級評価図（住居専用地域）に対応する。

② STEP2：対立分級評価項目の設定

STEP1で設定した評価主題に対する対立分級評価項目を設定する。本研究では、宅地開発行為に対して現状の畑地、水田、樹林地域の保全を念頭においた3つの対立分級評価項目を設定する。これは、表-2で定義した農村的要因に依存する現状型分級評価図に対応する。

③ STEP3：分級評価図の作成

評価主題および対立分級評価項目別に潜在因子モデルを用いてそれぞれ分級評価図を作成する。分級評価図は、前述した潜在因子モデルの拡張性に関する検討において、既に写真-1に示したとおりである。写真-1(a)が評価主題で、写真-1(b)～(d)が対立分級評価項目に対応する分級評価図である。ここまでの処理は図-1で示したSTEP3までの処理／分析手順に相当する。

④ STEP4：土地利用構想図の作成と解釈

この過程が本研究で提案する土地利用構想図を作成する上の特徴となる。潜在因子モデルを用いて作成される分級評価図は「適・不適」の2群に判別されていることから、評価主題と対立分級評価項目それぞれに対する分級評価図の組合せとして、図-3のような組合せ事象が考えられる。図中、黒色と白色で表現されている「ひし形」記号が、それぞれ適地および不適地として判定された画素を意味する。合計8つの情報を持つ土地利用構想図が作成される。なお、対立分級評価項目は地域の特性に応じて斜面崩壊危険箇所評価図等のような防災に係わるものも加えることができ、「相互調整の必要性の有無」といった情報を通じて柔軟性、発展性のある評価が可能となっている。この土地利用構想図は、唯一、潜在因子モデルから作成される目的別の分級評価図の組合せから作成され、次に述べる解釈の方法を含めて、一般に利用されているオーバーレイ手法等とは性質を異にする。

(4) 土地利用構想図の解釈

宅地適性を主題として図-3の組合せにしたがって作成された土地利用構想図の一例を写真-2に示す。はじめに、宅地適性があるものとして判定されたランク1～ランク4の解釈について考察する。

a) ランク1(赤色)：対立分級評価図では、いずれの分級評価項目においても適性がないと判定された画素である。したがって、評価主題側(開発者側)の立場から見れば、対立分級評価項目に対する相互調整を意識する

	評価主題	対立分級評価項目			一般解釈
		宅地適性	畑地適性	水田適性	
ランク1	■	□	□	□	相互調整を必要としない地域
ランク2	■	■	□	□	
ランク3	■	■	■	□	相互調整を必要とする地域
ランク4	■	■	■	■	
ランク5	□	□	□	□	相互調整を必要としない地域
ランク6	□	■	□	□	
ランク7	□	■	■	□	相互調整を必要とする地域
ランク8	□	■	■	■	

注) 適地: ■ 不適地: □

図-3 土地利用構想図の作成概念



写真-2 宅地適性を主題にした土地利用構想図の出力例

必要のない箇所であり、現状の土地利用状況と政策上の問題等を勘案しつつ開発候補地として注目できる。

b) ランク2(橙色)：唯一、1種類の対立分級評価項目において適性があると判定された画素である。したがって、開発者側の立場から見れば対立評価項目に対して相互調整が要求される箇所となる。例えば市街地調整区域内の農地保全や緑地保全を前提とした開発計画等を想定した場合、このランクの画素が相互調整対象として着目される。当然のことではあるが、現地との照合を通じて計画を策定していく姿勢も忘れてはならない。

c) ランク3(紫色)：2種類の対立分級評価項目において適性があると判定された画素である。したがって、開発者側の立場から見れば、ランク2に比べて対立分級評価項目に対する相互調整の必要性が高い箇所となる。このようなランク間の解釈の違いを利用すれば、土地利用の方向性について、より詳細な検討が展開できる。

d) ランク4(ピンク色)：すべての対立分級評価項目において適性があると判定された画素である。したがって、開発者側の立場から見れば、宅地適性地として判定された画素のうち、相互調整の必要性が最も高い箇所となる。特にこの箇所は開発者側、保全者側いずれの



立場から見ても良好な立地条件を有することから、土地利用の競合問題を含めて注意すべき箇所となる。

以上のように図-3に示したような「相互調整の必要性の有無」といった情報から、様々な解釈へ展開することができ、土地利用構想図は開発と保全のバランスを考慮した計画意志決定を支援していく上で実用性の高いことが判る。さらに、宅地適性のない画素として判定されたランク5~ランク8に対する解釈を示す。

e) ランク5(白色):すべての対立分級評価項目において適性がないものと判定された画素である。現状が既に市街化されているか、あるいは農村的立地条件があまりよくない箇所である。

f) ランク6(黄色):唯一、1種類の対立分級評価項目において適性があると判定された画素である。現状土地利用の維持あるいは他の土地利用への転換を図っていくのか等の問題について別途検討が必要となる。

g) ランク7(緑色):2種類の対立分級評価項目において適性があると判定された画素である。ランク6に比べて、自然立地条件が良好な箇所である。現状土地利用の維持あるいは自然環境保全箇所として着目できる。

h) ランク8(青色):すべての対立分級評価項目において適性があると判定された画素である。したがって、現状の土地利用の維持あるいは自然環境保全箇所としての優先候補となる。

以上のように提案した土地利用構想図では、計画者の立場の違いを考慮でき、柔軟性、発展性のある評価を展開することができる。自然環境保全政策を強く打ち出した宅地開発計画等を想定した場合には、ランク1が宅地開発候補地となり、ランク4が開発抑制地となる。逆に、一方的な宅地開発指向の計画では、ランク4が開発優先候補と見なされる場合もある。ランク間の優先度の違いは評価者の視点によって異なり、一意的に決定することはできない。このような土地利用構想/計画段階における「開発と保全」行為に対する「相互調整の必要性の有無」といった情報を提供することは、計画意志決定/合意形成を支援していく上で極めて重要な要素となる。

## 6. 研究の成果と今後の展望

本研究の成果は、以下の4点にまとめられる。

① 土地利用構想図を作成する上で、農村的要因と都市的要因といった2つの視点から分級評価項目を区分し、潜在因子モデルによって目的別の分級評価図を作成する基本的な考え方を明示した。

② 数量化Ⅲ類によるデータ構造分析の結果、トレーニングデータの構造が各々異なっていることが確認された。これにより目的別に設定するトレーニングデータの性質の違いが分級評価に反映されることが裏付けられ、潜在因子モデルの適用範囲の拡張と汎用性が示された。

③ 農村的要因に依存する「現状型分級評価図」と都市的要因に依存する「規範型分級評価図」を定義し、作成された複数の分級評価図を様々な組合せ、開発/保全といった計画者の視点を考慮できる土地利用構想図を作成するアルゴリズムを提案した。具体的には評価主題を設定した上で、それに対立する評価項目(対立分級評価項目)との関係から「開発と保全」行為に対する「相互調整の必要性の有無」といった情報を土地利用構想図上に色分けして表現した。この表現形態は既往の研究には見られないものであり、「整備、開発または保全の方向性」を示す土地利用計画、地域計画を支援する上で極めて有用な情報であることを示した。

④ 分級評価結果を活用しやすくするために標準化した整理書式を提案した。現地調査時にこの整理表を参照するとともに土地利用構想図と併用することによって様々な視点から評価が展開できることが確認された。

今後の展望として次の3点が挙げられる。

① 本研究で提案した土地利用構想図を作成する一連の処理手順は標準化されてはいるものの(図-1)、トレーニングデータの設定/解除や複数の分級評価図のオーバーレイ処理(評価主題や対立分級評価項目の設定等を含む)等、繰り返し試行処理を要する。このような問題に係わる研究は、衛星データと地理データのデータセット化とその管理/運用問題等を含めて、情報システム科学研究としても意義ある課題となる。

② 土地利用構想図は評価主題と対立分級評価項目を様々な設定して作成し、解釈を展開できることが特徴である。例えば農村的要因に係わる対立分級評価項目だけでなく、斜面崩壊危険箇所の評価といった防災に係わる評価項目の設定も可能である。今後は様々な評価主題に対して土地利用構想図を作成し、適用事例の蓄積と評価精度の向上を目指すことが課題となる。

③ 国内では米所と呼ばれている典型的な稲作地帯や、段々畑のように明らかに稲作には不向きな山岳地帯に立地する水田もある。つまり、評価対象とする地域の特性とは別の尺度での適・不適の立地評価も必要となる。現時点ではトレーニングデータはあくまでも対象領域内のみで設定し、地域の特性を反映した土地利用構想を立案するようになっているが、全く別の地域のトレーニングデータを用いることもできる。この際には、潜在因子モデルは数量化理論を中核としていることから、地理データを構成するカテゴリーの地域格差(例えば、土壌や表層地質の表現方法、地形特性の解釈の違い等)について十分に検討した上で、カテゴリーの統廃合を行う処理が不可欠となる。これにとまう分級評価への影響については今後の課題としたい。

## 7. まとめ

本研究は、衛星マルチスペクトルデータと地理情報を融合して土地利用構想図を作成する新しい手法を提案したものである。これまでに著者らが開発してきた土地分級評価手法（潜在因子モデル<sup>4),5)</sup>の適用範囲を拡張することによって、簡便で使い勝手の良い地理情報の利用方法を示すとともに技術者支援型の新たな土地利用構想図の作成方法を提案した。具体的には土地利用構想／計画段階における「開発と保全」行為に対する「相互調整の必要性の有無」といった情報を土地利用構想図上に区分・表現した。この構想図は「整備、開発または保全の方向性」を示す計画意志決定を支援していく上で極めて有用な情報を内包していることを示した。本研究の内容がGISの応用分野<sup>13)</sup>の一つとして、また、現在世界的にも注目されている「衛星データと地理情報の融合利用技術」の一つとして寄与できれば幸いである。

なお、本研究は平成5年度文部省科学研究（奨励研究A：057505112）の成果の一部でもあります。貴重な資料を提供いただきました関係各位に深く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) Frank, W.D.: Environmental Analysis Using Integrated GIS and Remotely Sensed Data, Some Research Needs and Priorities, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, No. 6, pp. 689~697, 1990.
- 2) Lucas, L.F. and N.J. Marijke: Integrating Topo-

- graphic Data with Remote Sensing for Land Cover Classification, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, No. 6, pp. 689~697, 1990.
- 3) 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。
- 4) 小島尚人・大林成行：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，土木学会論文集，NO. 427/VI-14, pp. 65~74, 1991年3月。
- 5) 小島尚人・大林成行：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，土木学会論文集，NO. 453/VI-17, pp. 87~96, 1992年9月。
- 6) 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。
- 7) 瀬戸島政博・赤松幸生：イメージオーバーレイ処理による崩壊危険度分級の試み，土木学会第10回電子計算機利用に関するシンポジウム，1985年10月。
- 8) 中村隆司：土地利用基本計画の実態に関する考察，第47回土木学会年次学術講演会講演概要集，第IV部門，pp. 262~263, 1982年9月。
- 9) 野口和雄：改正都市計画法，解説と活用法，自治体研究社，1993年2月。
- 10) 河合毅治・清水英範・中村英夫：土地分級結果に基づく用途配置問題，土木学会第45回年次学術講演会講演集，第IV部門，pp. 132~133, 1990年9月。
- 11) 国土庁・千葉県：国土調査，土地分類基本調査図（千葉県），1979年。
- 12) 大林成行・藤田圭一・小島尚人：衛星リモートセンシングデータを用いた土地分級評価モデルにおける分級評価要因の選定方法について，土木学会第46回年次学術講演会講演集，第IV部門，pp. 550~551, 1991年9月。
- 13) 中村英夫・川口有一郎・清水英範・巖網林・柴崎亮介：地理情報システムを用いたシステム分析的都市計画，土木学会論文集，NO. 476/IV-21, pp. 67~76, 1993年10月。

(1994.2.7 受付)

# MAKING THE LAND USE CONCEPTION MAP WITH LAND USE CAPABILITY CLASSIFICATION MODEL APPLYING SATELLITE MULTISPECTRAL DATA

Hirohito KOJIMA and Shigeyuki OBAYASHI

The objective of this study is to propose the algorithm for making the land use conception map by using the land use capability classification model (LF model) developed by ourselves in 1990. In this LF model, we used not only Geographical Information but also the satellite data. The different kinds of training data, which were defined in the LF model as the rural and urban area factor, were set up to evaluate the accuracy of the land use capability classification. As a result, the applicability of the LF model for making the various kinds of the land use capability classification maps was confirmed through the quantification method type-II and III. Furthermore, by combining with these maps, the new land use conception map was made and its effectiveness for supporting the optimization to the mater planning goals was investigated. It was shown that the land use conception map proposed in this study could be supported to discuss the land use master plan and planning from different points of view what is called the development and the preservation.