

# 土地分級評価における評価作業を 支援するアルゴリズムの構築

小島尚人<sup>1</sup>・大林成行<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東京理科大学助教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

<sup>2</sup>正会員 工博 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 ( 同 上 )

本研究は、筆者らが開発してきた土地分級評価モデル(潜在因子モデル)において、評価者の意向が分析結果に及ぼす影響を分析するアルゴリズムを新たに構築し、その有用性を示したものである。潜在因子モデルは、衛星データと各種地理情報を融合して作成される主題別の土地分級評価図を階層化意思決定法に言う「評価基準」とし、開発側と保全側の両者の意向を調整した「相互調整図」を作成・分析するものである。評価基準間の一対比較値の変化に伴う相互調整図への影響を分析するとともに、図上に現れる変化を表示した「影響分析図」を新たに提案した。影響分析図とその解釈の内容は、「整備・開発または保全の方向性」を示す計画合意形成を支援していく上で、今までにない有用な情報を内包していることを示した。

**Key Words :** *influence analysis, land use capability classification, Analytic Hierarchy Process(AHP), geographical information, remote sensing*

## 1. はじめに

衛星リモートセンシングデータ(以下、衛星データ)や地理情報を融合して、土地利用計画、地域・地区計画へ適用しようとするアプローチが注目されてから久しくなる<sup>1),2)</sup>。GIS(Geographical Information Systems)や衛星データの処理・解析システム等は、パーソナルコンピュータ上でも手軽に利用できるようになり、国土空間情報の処理解析技術は、広く一般の人々が利用できる段階に入っている。筆者らも土地利用構想・計画策定における意思決定支援を目的として、地形、表層、土壌等の各種地理情報と衛星データを融合利用し、土地の性状を分析する土地分級評価モデル、いわゆる「潜在因子モデル」を開発するとともに<sup>3)</sup>、衛星データそのものの活用方法の提示、土地分級評価精度の向上に関する基礎研究を進めてきた<sup>4)-6)</sup>。

さらに、これらの検討内容をベースとして、潜在因子モデルから作成される土地分級評価図(以下、分級評価図)を活用し、計画策定上の相互調整支援に関する応用研究へと展開した<sup>7)</sup>。具体的には、潜在因子モデルによって作成される主題別の分級評価図を階層化意思決定法(AHP: Analytic Hierarchy Process)で規定される「評価基準」として捉えることによって<sup>8)</sup>、開発指向側および保全指向側といった2種類の土地利用構想図を定義するとともに、これらの構想図から開発

側と保全側の両者の意向を考慮した「相互調整図」を提案した。ここでは、開発と保全といった相反する意向の譲歩領域が抽出・表現される点において、この相互調整図は計画策定上の支援情報として有用であることを示した。

しかし、相互調整領域は、AHPの特徴である評価基準間の一対比較に基づく調査データに依存し<sup>9)</sup>、モデル解として一意的に得られるものであることから、代替領域を見出していく上で、おのずと限界があった。つまり、相互調整図の結果から、さらに政策上の種々の制約条件に基づいて計画案を練り直していくといった繰返し分析、換言すれば、評価者の意向の違いを分析する「影響分析」の問題については、今後の課題として残された。

以上の背景のもとに、本研究では、分級評価における影響分析の必要性と位置付けを明確にした上で、筆者らが開発した潜在因子モデルにおける「影響分析」の考え方を整理することによって、新たな影響分析アルゴリズムを組み上げ、その有用性を示すものである。

## 2. 既往の研究と本研究の特徴

### (1) 土地分級評価における影響分析の位置付け

本研究で提案する影響分析の流れは、図-1に示す

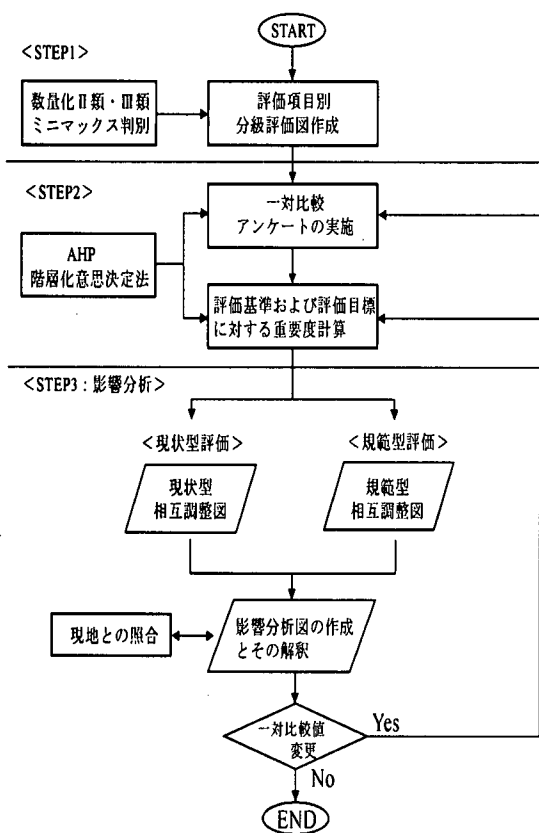


図-1 本研究の処理の流れ

3つのステップから成る。STEP3が本研究で新たに提案する影響分析に位置付けられる。

土地利用適性を評価する場合、一般に「潜在価値、存在価値、使用価値」といった3つの空間価値に分けて議論される<sup>9)</sup>。このうち、衛星データと地理情報を融合して作成される分級評価図は、「潜在価値と存在価値」評価の範囲において活用される<sup>3)</sup>。図-1ではSTEP1に相当する。また、STEP2以降のAHPを導入した土地分級評価では、使用価値の側面からの評価を担う。なお、潜在因子モデルの空間価値評価の考え方については、参考文献7)に記述してあるので本文では割愛する。

## (2) 本研究の特徴

衛星データや地理情報を活用して土地利用構想計画策定を支援する、あるいは土地利用上のポテンシャルを評価しようとする研究は、これまで数多く発表されている。本研究の目的もこれらと同じくするが、従来までの研究と比較して、以下の点において特徴がある。

### a) 影響分析アルゴリズムの構築

開発か保全かという選択をせまられたとき、計画者

は種々の政策上の制約条件に基づいて決定を下す。評価基準は複数あり、しかも人間の価値判断に左右され、互いに土地利用上の利害が相反するといった問題が内在している。このような意思決定の場面において、まさに潜在因子モデルの「一対比較値の変化」に伴って相互調整図上に現れる影響、いわゆる「影響分析」が不可欠となる。本研究の特徴は、図-1のSTEP3に示すように、影響分析プロセスを「現状型と規範型」といった2つの評価ステージに分けた上で、一対比較値の変化に伴う相互調整図への影響を分析する点にある。

なお、「現状型評価」は、従来までのAHPを導入した潜在因子モデルの評価プロセスであり<sup>7)</sup>、「規範型評価」が本研究で新たに拡張するものである。

### b) 影響分析図の提案とその解釈

一対比較値の変化に伴う相互調整上に現れる変化は、評価者の意向を反映したものとなる。そこで、本研究では、図-1に示すように現状型相互調整図と規範型相互調整図の違いを抽出した「影響分析図」を新たに定義・作成する。この影響分析とその解釈の内容が土地利用構想・計画上の支援情報として有用となることを示している点が本研究の特徴となる。

本研究と同様に、AHPを導入して土地利用適性評価や用途指定等に関わるゾーニングを試みた研究も見られる<sup>10)</sup>。この種の研究では、開発と保全といった意向の違いを相互調整・分析できることが検討課題として指摘されてはいるものの<sup>2)</sup>、具体的な評価プロセスまでに言及した例は見られない。本研究は、まさにこの問題に対する一つの施策を提示したものであり、「相互調整領域の抽出」だけでなく、さらに「代替領域の分析」を担う影響分析アルゴリズムを提示している点が、従来までの研究との違いである。

### c) 空間情報の融合利用技術分野への寄与

地理情報や衛星データ等のいわゆる国土空間情報の融合利用技術に関する研究に多くの人々が注目している。GISやリモートセンシングデータの処理解析システムが普及していることもその証拠の一つである。国土空間情報の階層管理、情報の3次元表示、データの集計・統計処理等といった要素機能は確かに充実している。このような機能群によって提示される情報は、あくまでも現状認識支援に使用されるものであり、計画策定・意思決定支援に使用していく上では十分なものではないことは言うまでもない<sup>2)</sup>。

評価者がコンピュータ処理を介してインタラクティブに解を修正しつつ、より良い解に近付けようとする考え方、いわゆるDSS(Decision Support System)に関する研究は古くからあるが、国土空間情報を統合処理しようとする研究分野においては、この点に関する検討が不足していると言える。このことは、前述したように国土空間情報の

表-1 本研究で使用した潜在因子

土地分類基本調査成果図			衛星データ (TMデータ)
表層地質	地形分類	土壌	
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 谷底低地 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 布佐統 布佐P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
数値地形モデルから作成			
標高	起伏量	谷密度	傾斜区分
以上~未満 (m)	以上~未満 (m)	(個)	以上~未満 (度)
0 ~ 8	0 ~ 2	0	0 ~ 2
8 ~ 12	2 ~ 4	1	2 ~ 4
12 ~ 16	4 ~ 6	2	4 ~ 6
16 ~ 20	6 ~ 8	3	6 ~ 8
20 ~ 24	8 ~ 10	4	8 ~ 10
24 ~	10 ~		10 ~
			北 北東 東 南東 南 南西 西 北西 平地

生成からデータモデルの構築や処理・管理といった各種の要素機能を備えたソフト開発そのものが市場として成り立つが故に派生する盲点と言える<sup>10)</sup>。衛星データや各種地理情報を土地利用構想・計画、地域・地区計画等に適用する際に、意思決定支援機能(モデル)として必要なものは、どのようなものなのかについて、今一度原点に立ち返って考える必要がある。

以上のような技術的背景のもとに、本研究の内容は、開発側と保全側の両者の意向を調整し、土地利用計画上の相互調整・代替領域を見い出していく上の分析アルゴリズムを提示している点において特徴がある。

特に、衛星データや地理情報を統合して分級評価図を作成するといった従来までの研究アプローチから更にステップを進め、これらの複数の分級評価図を活用して、「評価意向の影響を分析」するモデル構築へと展開している点は、国土空間情報を融合して計画意思決定支援を行おうとする研究分野の展開にも寄与できるものと考えている。

### 3. 研究の構成

前述した図-1の流れに従って本研究の全体構成を述べる。

#### (1) STEP1: 土地分級評価図の作成

##### a) 対象領域と設定した潜在因子

筆者らの大学の近くに位置し、本研究で提案する影響分析図と現地との照合を繰り返し行えることを条件として、対象領域は千葉県流山市の近郊とした。さら

表-2 分級評価項目の設定

区分	分級評価項目
農村的要因	畑地立地適性 水田立地適性 樹林地立地適性
都市的要因	宅地立地適性

に、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、影響分析図が支援情報として活用できるか否かを検討することを念頭に置き、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る。本研究を進める上で使用した潜在因子を表-1に示す。土地分類基本調査<sup>12)</sup>の成果図面を数値化した地理データと数値地形モデル(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。

##### b) 衛星データの選定

本研究では30(m/pixel)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。筆者らが開発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(クラスタリング)した上で、1つのアイテムとして組み込むようになっている<sup>3)5)</sup>。

##### c) 分級評価項目の設定

潜在因子モデルでは、土地の性状を判別する際の基準となる領域(以下、トレーニングデータ)を用いて、分級評価図を作成する。本研究では、表-2に示すように、農村的要因に基づく分級評価項目と都市的要因に基づく分級評価項目を設定する。設定した評価項目別に分級評価図を作成し、AHPを導入した相互調整図の作成へと移行する。

なお、これら2つの分級評価項目設定の考え方については、参考文献5)に詳述してあるので、紙面の都合上割愛する。

#### (2) STEP2: 一対比較アンケートと重要度の計算

開発側と保全側の2つのグループに分けて、一対比較アンケートを実施する。作成された分級評価図を

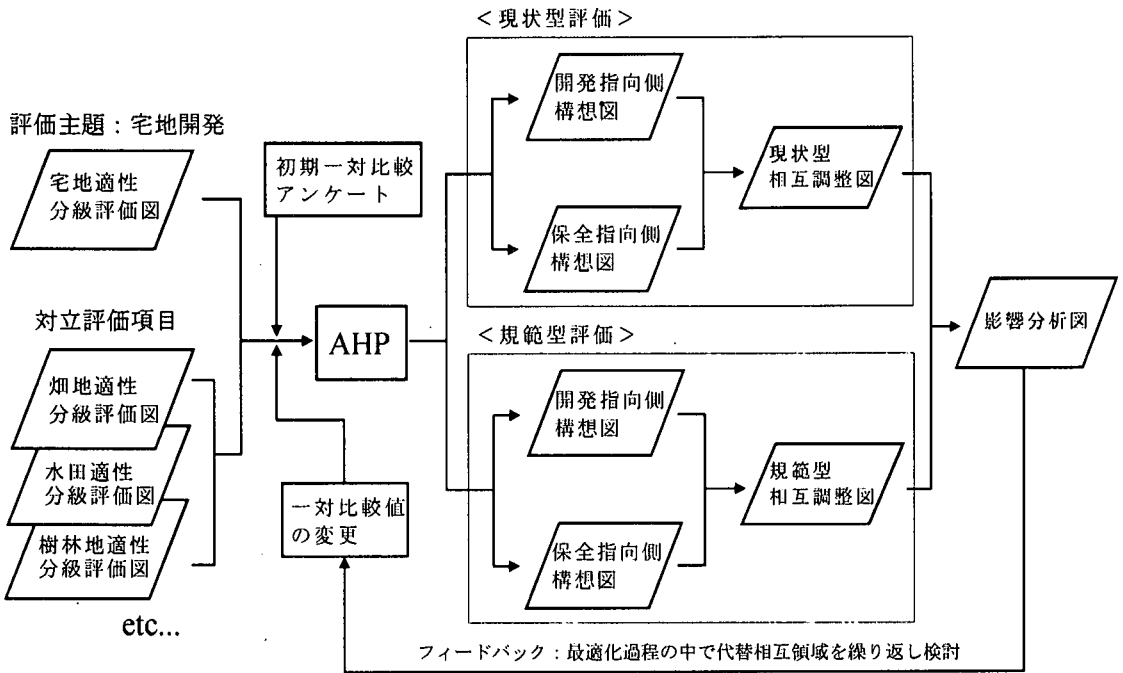


図-2 影響分析アルゴリズムの全体構成

AHPにおいて定義されている「評価基準」とし、これに付与される重要度を計算する。なお、一対比較アンケート調査の考え方およびAHPに言う階層図については後述する。

### (3) STEP3: 一対比較値の影響分析

一対比較値を変化させた場合の相互調整図上に現れる違いを分析するとともに、この違いを図上に表現した影響分析図を作成する。図-1に示すように、影響分析アルゴリズムは、「現状型評価」と「規範型評価」といった2つの評価ステージから構成される点に注意を要する(4(2)で詳述)。

## 4. 影響分析アルゴリズムの全体構成

本研究で、提案する影響分析アルゴリズムの全体構成を図-2に示す。以下、この構成図にしたがって、影響分析の全容について順を追って説明する。

### (1) 評価主題と対立評価項目の設定

「宅地開発」を想定した場合、農用地適性のある箇所や樹林地立地適性のある箇所の現状維持(環境保全)をしておきたいといった土地利用計画上の対立要求が派生することは言うまでもない。本研究における分級評価は、この点をモデル化したものであり、前提

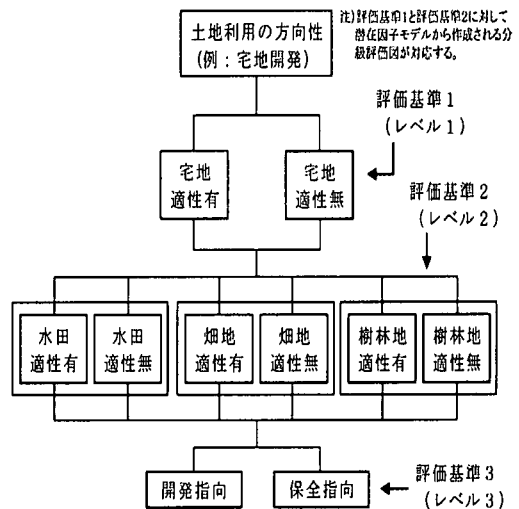


図-3 潜在因子モデルにおける階層図

要件として「評価主題」を設定した上で、これに対する「対立評価項目」を設定する。この評価主題および対立評価項目に対応する分級評価図を用いて相互調整領域を抽出するものである。本文では、一例として図-2に示すように、評価主題を「宅地開発(宅地立地適性分級評価)」とし、対立評価項目を「畑地、水田、樹林地」とした。

なお、評価主題としては、農用地適性分級評価等の

保全指向側のもをを設定することも可能である。また、対立評価項目についても上記以外のものを追加できることは言うまでもないが、本研究では、一対比較値の違いに伴う相互調整図上への影響を分析することをまず第1の目的とすることから、土地利用計画上、最も基本となる評価主題と対立評価項目を設定した。

## (2) 階層図

前述したとおり、潜在因子モデルの特徴は、作成される分級評価図を AHP で定義される「評価基準」として活用するとともに、AHP の処理結果を構想図（開発側、保全側）として、さらには相互調整図として視覚表現できるようになっている点の特徴である<sup>7)</sup>。これを実現するための「階層図」を図-3に示す。

レベル1の評価基準に評価主題となる分級評価図が対応し、レベル2の評価基準には対立分級評価図が対応する。このように潜在因子モデルから得られる複数の分級評価図を AHP の評価基準として直接取り込めるような階層図とすることによって、はじめて AHP の処理結果を土地利用構想図として視覚表現できるようになる。なお、図-3の階層構造に至った経緯等の詳細は、文献7)を参照されたい。

## (3) 初期一対比較

「評価主題：宅地開発」を設定し、宅地適性分級評価図上において「宅地適性有」と判定された領域に対する評価として、図-3のレベル2の評価基準の間で一対比較アンケートを実施する。

同様に「宅地適性無」として判定された領域に対しても、質問を読みかえて一対比較アンケートを実施する<sup>7)</sup>。アンケート対象者として、流山市役所の都市計画系と農政系の技術者各5名、計10名に依頼した。都市計画系が開発者側、農政系が保全者側に位置付けられる。この段階におけるアンケート調査を本研究では「初期一対比較」と呼ぶこととする。なお、AHP の評価プロセスそのもの詳細については、多くの書籍があるので本論では割愛する<sup>8),13)</sup>。

## (4) 現状型評価と規範型評価の定義

### a) 現状型評価

初期一対比較結果をベースとし、AHP を通して開発指向側と保全指向側の構想図を作成する。さらに、この2つの構想図の違いを抽出した相互調整図を作成・分析する。本研究では、初期一対比較結果をベースとした分級評価を新たに「現状型評価」と定義し、後述する「規範型評価」と区別する。

なお、構想図（開発指向側、保全指向側）および相互調整図の作成と解釈の方法等を含めて、AHP を導入

した潜在因子モデルの処理の詳細については、文献7)を参照されたい。

### b) 規範型評価

現状型評価からさらに評価の範囲を拡げ、本研究では、一対比較値を変化させて相互調整図を作成・分析する。この処理を新たに「規範型評価」と定義する。影響分析アルゴリズムの中核となる評価区分に位置付けられる。本研究では、規範型評価において作成される構想図を、「規範型構想図（開発指向、保全指向）」および「規範型相互調整図」と呼ぶこととする。

## 5. 一対比較値の変更と相互調整シナリオ

### (1) 一対比較値の変更

「開発と保全」といった相反する意向を相互調整しようとする場合、様々なシナリオが想定されることは言うまでもない。この相互調整のシナリオ（以下、相互調整シナリオ）をモデルに取り込み、分析できるようにすることが求められる。本研究で提示する影響分析アルゴリズムにおいては、初期一対比較アンケート結果をベースとして、開発側と保全側両者の意向を反映させるように一対比較値を様々に変更し、分析することに相当する。

評価主題を「宅地開発」として、一対比較値の変化に伴う重要度の変化を計算・整理した例が図-4である。各表の上段は、初期アンケート結果に基づく一対比較値と重要度の計算結果、下段は一対比較値を変化させた場合の計算結果である。AHP を適用する場合には、階層図の構造が複雑になる程、積み上げ計算結果が煩雑となることが問題として指摘できる。図-4のように、一対比較値の変更に伴う重要度および総合重要度の変化が一目で判るような情報の整理書式を提示している点も本研究の特徴となる。なお、重要度とは、図-3に示した評価基準において、上位のレベルを説明付ける上で下位の評価基準のうちどれが最も良いのかを定量化した指標である。また、総合重要度とは、レベル1の「評価目標」を説明付ける上でレベル3の代替案に付与される重要度を言う。

図-4の各表において○印で示した箇所が一対比較値の変更箇所である。レベル1とレベル2の一対比較値を変化させる相互調整シナリオの例である。具体的には、「宅地開発」を評価主題とした場合に、宅地適性分級評価図上において「宅地適性有」と判定された領域に対する「宅地開発行為を抑制しようとする方向」に一対比較値を変化させたものである。

レベル1とレベル2におけるそれぞれの相互調整シナリオは、以下のように要約できる。

(a) レベル1の重要度

宅地適性有	宅地有	宅地無	重要度
宅地適性有	1	9	0.900
	1	8	0.889
宅地適性無	1/9	1	0.100
	1/8	1	0.111

(b) レベル2の重要度

宅地適性有	畑地有	畑地無	水田有	水田無	樹林有	樹林無	重要度
宅地適性有	1	5	2	7	1/2	5	0.260
畑地適性有	1	5	2	7	1/2	5	0.281
畑地適性無	1/5	1	1/5	2	1/7	1/2	0.047
	1/5	1	1	2	1/7	1/2	0.088
水田適性有	1/2	5	1	7	1/3	5	0.196
	1/2	1	1	1	1/3	1	0.088
水田適性無	1/7	1/2	1/7	1	1/8	1/2	0.032
	1/7	1/2	1	1	1/8	1/2	0.048
樹林適性有	2	7	3	8	1	7	0.405
	2	7	3	8	1	7	0.434
樹林適性無	1/5	2	1/5	2	1/7	1	0.059
	1/5	2	1	2	1/7	1	0.083

注)現状型:  $\lambda_{max}=8.208$ ,  $C.I.=0.041$ ,  $C.R.=0.033$   
 規範型:  $\lambda_{max}=6.284$ ,  $C.I.=0.057$ ,  $C.R.=0.046$

宅地適性有	畑地有	畑地無	水田有	水田無	樹林有	樹林無	重要度
宅地適性有	1	3	1	3	1/2	2	0.199
畑地適性有	1	3	1	3	1/2	2	0.210
畑地適性無	1/3	1	1/3	1	1/4	1	0.075
	1/3	1	1	1	1/4	1	0.088
水田適性有	1	3	1	4	1/2	3	0.224
	1	1	1	1	1/2	1	0.130
水田適性無	1/3	1	1/4	1	1/3	1	0.077
	1/3	1	1	1	1/3	1	0.101
樹林適性有	2	4	2	3	1	5	0.347
	2	4	2	3	1	5	0.383
樹林適性無	1/2	1	1/3	1	1/5	1	0.078
	1/2	1	1	1	1/5	1	0.089

注)現状型:  $\lambda_{max}=6.084$ ,  $C.I.=0.017$ ,  $C.R.=0.014$   
 規範型:  $\lambda_{max}=6.163$ ,  $C.I.=0.039$ ,  $C.R.=0.028$

(e) レベル1から積み上げた  
レベル3の重要度

	宅地適性有	宅地適性無	総合重要度
	0.900	0.100	
	0.889	0.111	
開発指向	0.680	0.635	0.675
	0.652	0.602	0.646
保全指向	0.320	0.365	0.325
	0.348	0.398	0.354

注)現状型:  $H=0.032$   
 規範型:  $H=0.044$

(c) レベル3の重要度

畑地適性有	開発	保全	重要度	畑地適性無	開発	保全	重要度
開発指向	1	3	0.750	開発指向	1	1/3	0.250
	1	3	0.750		1	1/3	0.250
保全指向	1/3	1	0.250	保全指向	3	1	0.750
	1/3	1	0.250		3	1	0.750

水田適性有	開発	保全	重要度	水田適性無	開発	保全	重要度
開発指向	1	3	0.750	開発指向	1	1/3	0.250
	1	3	0.750		1	1/3	0.250
保全指向	1/3	1	0.250	保全指向	3	1	0.750
	1/3	1	0.250		3	1	0.750

樹林適性有	開発	保全	重要度	樹林適性無	開発	保全	重要度
開発指向	1	3	0.750	開発指向	1	1/3	0.250
	1	3	0.750		1	1/3	0.250
保全指向	1/3	1	0.250	保全指向	3	1	0.750
	1/3	1	0.250		3	1	0.750

(d) レベル2から積み上げた  
レベル3の重要度

宅地適性有	畑地有	畑地無	水田有	水田無	樹林有	樹林無	重要度
宅地適性有	0.260	0.047	0.196	0.032	0.405	0.059	0.680
	0.281	0.086	0.088	0.048	0.434	0.083	
開発指向	0.750	0.250	0.750	0.250	0.750	0.250	
開発指向	0.750	0.250	0.750	0.250	0.750	0.250	0.320
保全指向	0.250	0.750	0.250	0.750	0.250	0.750	0.348
保全指向	0.250	0.750	0.250	0.750	0.250	0.750	0.385
保全指向	0.250	0.750	0.250	0.750	0.250	0.750	0.398

注1) 各表の上段: 初期アンケートに基づく計算結果  
 各表の下段: 一対比較値変更後の計算結果  
 注2) ○印: 一対比較値変更箇所(開発抑制意向を反映)  
 注3)  $\lambda_{max}$ : 一対比較行列の最大固有値  
 C.I.: 整合度  
 C.R.: 整合比  
 H: 階層整合比

図-4 一対比較値の変化に伴う重要度および総合重要度の変化(開発側の例)

### a) レベル1に対する相互調整シナリオ

レベル1の表中(図-4(a)),「宅地適性有 vs.宅地適性無」の欄を見ると,初期一対比較値は「9(上段)」、変更後は「8(下段)」となっており,重要性の値が低くなっている。

つまり,評価主題である宅地適性分級評価図上において「宅地適性有」と判定されている領域と,「宅地適性無」と判定されている領域の重要性を比較した場合,宅地開発に際して「宅地適性無」と判定されている領域も「新たに宅地化候補領域に加える」といった意向を反映させることに相当する。見方を変えれば,「宅地適性有」の領域に対しては,開発抑制の意向が反映されることになる。

### b) レベル2における相互調整シナリオ

レベル2の表中(図-4(b)),「水田適性有 vs.畑地適性無」の欄を見ると,初期一対比較値は「5(上段)」、変更後は「1(下段)」となっており,重要性の値が低くなっている。つまり,宅地開発に際して「水田適性有」と判定されている領域における「宅地化を抑制」し,逆に「畑地適性無の領域を宅地化候補領域に加える」といった意向を反映させることに相当する。

ここまでの例は,「宅地開発行為を抑制」しようとする方向に一対比較値を変化させたものである。この他にも種々の相互調整シナリオが想定できるが,以上のような種々の相互調整シナリオについて,一対比較値を変化させることによって繰り返し試行し,評価者の意向の違いを影響分析図として表現できる点が,本研究の特徴となる。

## (2) 一対比較行列の整合性

図-4で示したレベル2の一対比較については,比較結果の矛盾がないこと,いわゆる整合性がとれているかを検証する必要がある。特に,規範型評価においては,前述したように相互調整シナリオに基づいて,一対比較値が様々に変化することから,整合性の検証は不可欠となる。

AHPでは,一般に「整合度(C.I.: Consistency Index)と整合比(C.R.: Consistency Ratio)」といった指標を用いて,整合性の有無を評価する<sup>8)</sup>。また,階層図全体としての整合性の評価には,「階層整合比」を用いる。整合度,整合比,階層整合比の定義については,多くの参考図書に記載されているので,本文では割愛するが<sup>8),14)</sup>,いずれも0.15以下であれば,整合性があるものと判断される。

これによると図-4のレベル2の表下に記載したように現状型,規範型ともに,整合度,整合比ともに0.15以下であり,一対比較行列の整合性は維持されていると判断できる。階層整合比についても0.15以下で

あり,階層図全体としての整合性も確保されている。

## (3) 土地利用構想図の作成

重要度の値は,評価主題を「宅地開発とした場合」の開発者側と保全者側の土地利用への意向を定量化して表したものと言える。そこで,画素単位で重要度の和をとり,開発者と保全者の意向をそれぞれ評価図として表現してみた。その処理結果が写真-1(a)および写真-1(b)である。

写真-1(a)を「開発指向側構想図」,写真-1(b)を「保全指向側構想図」と呼ぶ。さらに,一対比較値を変化させた場合の構想図(規範型)を写真-1(d)および写真-1(e)に示す。構想図の解釈は,写真-1の右下に示した。この凡例は,評価主題である宅地適性分級評価図において「宅地適性有」と判定された箇所と「宅地適性無」と判定された箇所それぞれについて,開発指向の重みが表示されていることを意味する。

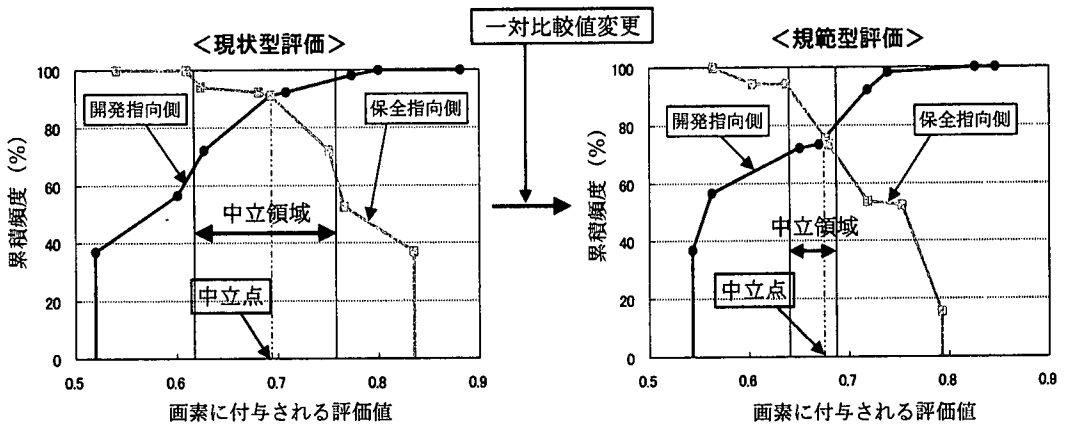
写真-1(a)と写真-1(d)を比較すると,一見して,緑色系が濃くなっている箇所と薄くなっている箇所があることが判る。一対比較値の変化はこのような構想図上の変化となって現れる。この場合は,「宅地適性無」と判定されている領域も「新たに宅地化候補領域に加える」といった意向が反映されたことを意味する。同様に写真-1(b)と写真-1(e)を比較して見ると,一対比較値の変化が構想図上に反映されていることが判る。

## (4) 相互調整図の作成

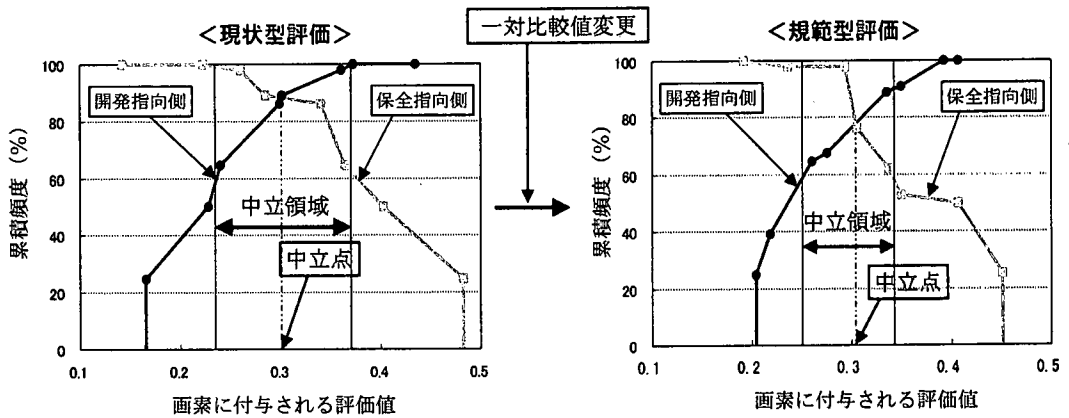
以上のような開発指向側と保全指向側の構想図は,AHPを通してそれぞれの意向が定量化して反映されたものと言える。そこで,開発側と保全側の評価者が意向を譲歩できる領域,すなわち,全画素に付与された評価値を用いて両者の「中立点」を計算する。

具体的には図-5(a)と図-5(b)に示すように,宅地適性有(赤系色)および無(緑系色)として判定されたそれぞれのグループに対して,画素に付与された評価値を横軸(X軸)にとる。値が大きい程,開発指向傾向が強いことを意味する。そこで,開発側と保全側の譲歩領域を抽出するために,図-5に示すようにX軸左側から開発指向側の累積頻度曲線を,右側から保全指向側の累積頻度曲線を描き,両者が交わる中立点を計算した。中立点を含むように判定領域を設定(これを中立領域と呼ぶ)して,この領域内に存在する画素を抽出し,図上に色付けして表現する。

中立領域の幅を広く設定すれば,相互調整領域が多く抽出され,逆に狭く設定すれば,相互調整領域は少なくなる。中立領域は一意的に決定することはできな



(a)宅地適性有の領域に対する評価値の変化



(b)宅地適性無の領域に対する評価値の変化

図-5 相互調整領域の抽出

いことは言うまでもないが、本研究では、極端に狭い中立領域を設定することは避け、図-5の横軸上で開発側と保全側それぞれにおいて譲歩できる方向に向かって2ランクの幅を中立領域として設定し、「相互調整図」を作成することとした<sup>7)</sup>。その結果が写真-1(c) (現状型相互調整図) および写真-1(f) (規範型相互調整図) である。なお、中立領域設定の問題については、AHP から得られる解の「精度論的研究」として本研究の範囲には含めず、今後の課題としたい。

相互調整図は「宅地適性有」の箇所と「宅地適性無」の箇所に対して、赤色と緑色に分けて表示されている。それぞれの領域の解釈は、写真-1の右下に示した。

赤色の画案が「宅地適性有」と判定された領域に対して、開発側と保全側それぞれの意向が調整された開発候補地である。また、緑色の画案は「宅地適性無」と判定された領域に対して、同様に開発側と保全側の

両者の意向が調整された開発候補地となる。特に、一対比較値の変化に伴って、緑色の画案が評価領域の右下部で大きく変化していることは興味深い。評価者の意向の違いは、相互調整図上にこのような変化として現れる。この違いの解釈の問題について更に検討を進める。

## 6. 影響分析図の作成と解釈

開発指向側構想図と保全指向側構想図上の違いは、「写真-1(a) vs. 写真-1(d)」および「写真-1(b) vs. 写真-1(e)」を目視で比較しても容易に把握できる。しかし、相互調整領域の違いの比較は簡単ではない。なぜなら図-2にも示したように、相互調整図は、評価主題である分級評価図上での評価結



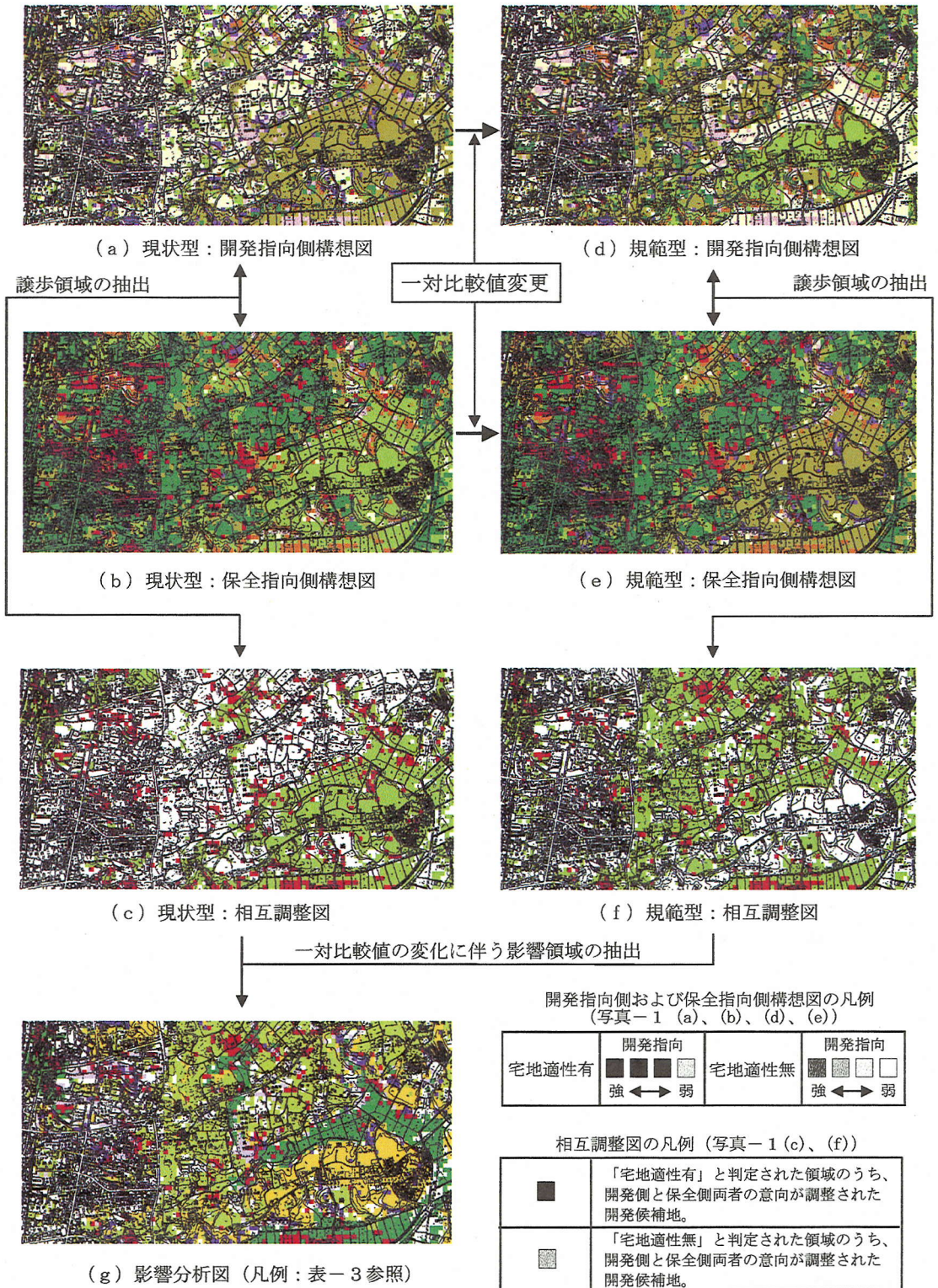


写真-1 影響分析図の作成 (評価主題：(例) 宅地開発)

表-3 影響分析図の一般解釈表

評価主題 (分級評価図上の解)	現状型 相互調整図 (写真-1(c))	規範型 相互調整図 (写真-1(f))	影響分析図の一般解釈	開発候補 適性	影響分析図 上の色付け	ケース名
適性有	○	○	・一対比較値の変化に伴う 相互調整領域変化無。 ・開発側と保全側の譲歩領域。	有	赤	ケース1
		×	・一対比較値の変化に伴って 相互調整領域減少。 ・開発側と保全側で譲歩できない 領域として改めて判定された箇所。	無	紫	ケース2
	×	○	・一対比較値の変化に伴って 相互調整領域増加。 ・開発側と保全側の譲歩領域として 改めて判定された箇所。	有	橙	ケース3
		×	・一対比較値の変化に伴う 相互調整領域変化無。 ・開発側と保全側で譲歩できない領域。	無	ピンク	ケース4
適性無	○	○	・一対比較値の変化に伴う 相互調整領域変化無。 ・開発側と保全側の譲歩領域。	有	緑	ケース5
		×	・一対比較値の変化に伴って 相互調整領域減少。 ・開発側と保全側で譲歩できない 領域として改めて判定された箇所。	無	黄	ケース6
	×	○	・一対比較値の変化に伴って 相互調整領域増加。 ・開発側と保全側の譲歩領域として 改めて判定された箇所。	有	黄緑	ケース7
		×	・一対比較値の変化に伴う 相互調整領域変化無。 ・開発側と保全側で譲歩できない領域。	無	白	ケース8

注) ○：相互調整領域として判定された箇所

×：相互調整領域として判定されなかった箇所

果、すなわち、土地利用適性「有・無」の領域それぞれに対して現状型および規範型相互調整図の解の違いの組み合わせ事象が存在するからである。

この点を考慮すると、写真-1(c)と写真-1(f)の相互調整図の違いを抽出する場合、解の組み合わせ事象は、表-3のように整理できる。この組み合わせにしたがって作成された評価図が、本研究で提案する「影響分析図」となる。その結果が写真-1(g)である。

影響分析図では、評価主題である宅地適性分級評価図上において「宅地適性有の領域」に対して赤色系を割り当て、「宅地適性無の領域」に対して緑色系を割り当てている。さらに、それぞれの色系において濃色系のものを開発候補適性有、薄色系のものを開発候補無とし、一見して開発候補適性の有無が判るように配慮した。国土空間情報の統合分析モデルから得られる様々な解(主題図等)については、常に情報量が多くなる傾向にあることから、利用者が判読・解釈しやすくする上で、このような可視化の際の工夫が不可欠と

なる。

以下、この影響分析図(写真-1(g))と表-3の解釈表を照合しつつ、順を追って解釈の内容について説明する。

(1)「評価主題：宅地適性有」の領域に対する解釈

ケース1~ケース4は、評価主題である分級評価図上において「宅地適性有」と判定された領域に対する解釈となる。なお、対象領域(写真-1)の総画素数は、100画素×50画素=5,000画素である。

a) ケース1(赤色:310画素):現状型と規範型評価ともに相互調整領域であり、しかも一対比較値を変化されても解の違いがない箇所である。開発側と保全側の譲歩領域であり、評価主題に対する「開発候補適性・有」と見なされる。

b) ケース2(紫色:166画素):一対比較値の変化に伴って、規範型評価において相互調整領域が減少したケースである。換言すれば、開発側と保全側両者の間で譲歩できない領域として改めて判定された領域であ

る。評価主題に対する「開発候補適性・無」と解釈される。

c) ケース3 (橙色: 27 画素): 一対比較値の変化に伴って、規範型評価において相互調整領域が増加したケースである。換言すれば、開発側と保全側両者の間の譲歩領域として改めて見い出された領域である。評価主題に対する「開発候補適性・有」と見なされる。

d) ケース4 (ピンク色: 373 画素): 現状型と規範型評価ともに相互調整領域として判定されず、しかも一対比較値を変化させても解の変化がなかった箇所である。開発側と保全側で譲歩できない領域であり、評価主題に対する「開発候補適性・無」と解釈される。

以上までは、宅地適性有の領域に対する解釈である。土地利用構想・計画においては、中長期的展望といった理由から土地利用適性の有無に関わらず、土地利用配分が誘導・策定されることが多い<sup>14)</sup>。本研究の影響分析アルゴリズムにおいては、この点についても分析できるように配慮されている。表-3の解釈では、宅地適性無の領域に対する解釈に該当する。これらの解釈は以下のとおりとなる。

## (2) 「評価主題: 宅地適性無」の領域に対する解釈

a) ケース5 (緑色: 598 画素): 現状型と規範型評価ともに相互調整領域であり、しかも一対比較値を変化させても解の変化がない箇所である。開発側と保全側の譲歩領域であり、評価主題に対する「開発候補適性・有」と見なすことができる。宅地適性無の領域ではあるが、評価者の開発意向が反映された結果が現れたことになる。前述したケース1 (宅地適性有) の領域の代替候補地として扱うこともできる。

b) ケース6 (黄色: 889 画素): 一対比較値の変化に伴って、規範型評価において相互調整領域が減少したケースである。換言すれば、開発側と保全側両者の間で譲歩できない領域として改めて判定された領域である。評価主題に対する「開発候補適性・無」と解釈される。現状の土地利用維持あるいは樹林地帯等であれば環境保全領域としての候補となる。

c) ケース7 (黄緑色: 1,532 画素): 一対比較値の変化に伴って、規範型評価において相互調整領域が増加したケースである。開発側と保全側両者の間の譲歩領域として改めて見い出された領域である。宅地適性無の領域ではあるが、評価者の開発意向が反映された結果である。前述したケース1やケース2のような開発候補領域の代替候補地として扱うこともできる。

d) ケース8 (白色: 1,105 画素): 現状型と規範型評価ともに相互調整領域として判定されず、しかも一対比較値を変化させても解の変化がなかった箇所である。開発側と保全側で譲歩できない領域であり、評価主題

に対する「開発候補適性・無」と見なされる。

以上のように、土地利用計画における相互調整過程は極めて複雑であり、分級評価モデルに組み込むことの難しさはこの点にある。本研究で提示した影響分析図(写真-1 (g))とその解釈表(表-3)を併用すれば、相互調整過程における評価者の意向を分析する上での支援情報として役立つ。

本研究の検討を通して得られた影響分析アルゴリズムの特徴は、以下の3点にまとめられる。

- ①表-3の解釈表は一般的な書式としてまとめたものであり、本研究で取り上げた「評価主題: 宅地開発」以外にも適用できる。これを基本情報とすれば、誰もが容易にかつ様々な視点から影響分析図(写真-1)の解釈を展開できる。
- ②一対比較値の変化に伴う相互調整領域の分析支援(評価者の意向分析)が可能となる。
- ③影響分析図上の情報(ケース1~ケース8)から相互調整領域に関する代替領域をも見い出すことができる。土地利用構想計画上の支援情報の一つとして役立つ。

土地利用構想図の表現形態として評価者の意向を反映されることが求められてはいるが<sup>15),16)</sup>、この分析を担う支援モデルの構築に関する研究は意外にも見逃されている。これは、開発と保全といった両者のバランスを考慮に入れた、いわゆる「相互調整領域の分析支援情報」を図上に表現することが容易ではないことに起因する。本研究を通して、この問題に対する一つの技術的施策を提示できたのではないかと考えている。

## 7. まとめ

### (1) 研究の成果

本研究は、筆者らが開発した土地分級評価(潜在因子モデル)において、評価者の意向が分析結果に及ぼす影響を分析するアルゴリズムを新たに構築し、その有用性を示したものである。本研究の内容は、次の3点にまとめられる。

a) 開発と保全といった両者のバランスを考慮に入れた「相互調整領域の分析支援策」の必要性を指摘するとともに、この分析を担う支援モデルの構築に関する研究が見逃されている点を指摘した。この問題に対して、本研究ではAHPに言う評価基準間の「一対比較値の違い」に伴う相互調整図への影響を分析するアルゴリズム、いわゆる「影響分析アルゴリズム」を新たに組み上げた。

b) 一対比較値の違いに伴って現れる相互調整図上の変化は、開発・保全といった土地利用政策上の意向

の違いが AHP を通して定量化・表現されたものとなる。この定量的な違い抽出・表示した「影響分析図(写真-1)」を新たに定義・作成するとともに、影響分析図に対する一般解釈表(表-3)を提示した。

c) 影響分析図とこの解釈の内容が「整備・開発または保全の方向性」を示すといった土地利用計画上の合意形成、意思決定を支援していく上で有用な情報となることを示した。

## (2) 今後の課題

今後の課題として以下の2点が挙げられる。

a) 本研究では、図-3に示したように、階層図を固定した上で、「一対比較行列の変化」に伴う相互調整図上への影響について分析したが、もう一つの視点として、評価基準そのものの影響に関する検討も想定される。「階層構造の変化」に伴う相互調整図上への影響分析として興味深い検討課題となる<sup>17)</sup>。この検討では、階層図の変化に伴って整合比が大きく変動する場合も想定される。解の違いを解釈する上で、一対比較結果の整合性の問題について検討することが必要となる<sup>18)</sup>。

b) 図-2で示した影響分析を実施するためには、使用するデータセットの管理はもとより、相当量の画像処理と中間ファイルの管理が必要となる。誰もが容易に一連の分析を実施できるようにパーソナルコンピュータをベースとした GUI (Graphical User Interface) に優れた操作性の高い分級評価支援システムを設計・開発することも不可欠な課題となる。

## 8. おわりに

地域の個性を活かした土地利用の見方、考え方が求められている中、独自の視点による土地の適性評価を実施し、「整備・開発または保全の方向性」を含めて土地利用構想図として提示していくことが大切となる。

特に最近では「開発と保全」といった相反する立場に分けるのではなく、「持続可能な開発」といった視点から国土の利用・計画が議論されるようになってきている。そのための技術的な対策として、GISを導入してシステム分析的に土地利用計画を考えていこうとする研究に期待が寄せられているが、データの蓄積、加工・編集、管理機能といったGISの持つ要素機能を利用するだけのアプローチでは、実際の土地利用構想計画、地域・地区計画の支援策として十分とは言えない。

土地利用構想計画の策定に際しては、最適案はあり得ない。常に試行検討過程の中で議論していく必要がある<sup>19),20)</sup>。本研究の内容は、土地利用適性評価におけるほんの一部の研究範囲を扱うものではあるが、こ

で提示した影響分析アルゴリズム(図-2)は、この課題に対する技術者支援型の分析アルゴリズムの一つとして役立つものと考えている。

また、本研究の内容は、衛星データと地理情報の融合利用分野における意思決定支援策(AHPの適用分野の開拓)の検討、いわゆる「空間データの分析モデリング機能」の開発にも位置付けられる。この点に関する研究は、現在、世界的にも注目されている。本研究の内容が、これらの研究分野にも何らかの形で寄与できれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 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。
- 2) Armstrong, Marc P.: Requirements for the development of GIS-based group decision-support systems, *Journal of the American society for information science*, 45(9), pp669-677, 1994.
- 3) 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。
- 4) 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。
- 5) 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土地利用構想図の作成に関する研究, 土木学会論文集, No.504/VI-25, pp.91-100, 1994年12月。
- 6) 小島尚人, 大林成行, 山森英俊: ニューラルネットワークを導入した土地分級評価精度の向上, 土木学会論文集, No.516/VI-27, pp.223-233, 1996年3月。
- 7) 大林成行, 小島尚人: 階層化意思決定法を導入した土地分級評価アルゴリズムの構築, 土木学会論文集, No.546/VI-32, pp.169-179, 1996年9月。
- 8) Thomas L.Saaty: *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- 9) 中村英夫編著: 土木学会編・新体系土木工学50, 国土調査, 地域の調査と分析, 技報堂出版, 1984年。
- 10) Abdullah,A., IKI,K. and Morozumi,M.: An integrated approach of AHP and GIS applications to analyze and develop recreational zoning, *J.Archit.Plann.Eng.AIJ*, No.463, pp.213-222, 1991.
- 11) Herring, J.R.: The open GIS data model, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.65, No.5, pp.585-588, 1999.
- 12) 国土庁, 千葉県: 国土調査, 土地分類基本調査図(千



- 葉県), 1979年.
- 13) 真鍋龍太郎: 階層化意思決定法 AHP, オペレーションズ・リサーチ, Vol.31, No.8, pp.474-478, 1986年4月.
  - 14) 大岩浩一: AHP法による長期的展望に立った市街地適性の地域的評価, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No.62, pp.205-208, 1989年3月.
  - 15) 中村隆司: 市町村土地利用計画における土地利用構想図の提示形態, 土木計画学研究講演集, No.17, pp.907-910, 1995年1月.
  - 16) 星野敏, 北村貞太郎: AHPを用いた評価手法の理論的考察, 農村計画学会誌, Vol.7, No.4, pp.2-12, 1989年3月.
  - 17) 大林成行, 小島尚人, 青山貴洋, 清宮大輔: 土地分級評価を目的とした AHP における評価基準の影響分析について, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集, 共通セッション, pp.436-437, 2000年9月.
  - 18) Millet, I. and Harker, P.T.: Globally effective questioning in the Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research* 48, pp.88-97, 1990.
  - 19) 槇谷博光: 最適化過程としてみた土地利用計画, 土木学会論文集, No.389/IV-8, pp.131-140, 1988年1月
  - 20) 玄昌澤, 金文漢: AHP および LCC 概念を利用した最適案選定システムの開発, 日本建築学会計画系論文集, 第 469 号, pp.149-156, 1995年3月.

(2000.12.11 受付)

## CONSTRUCTION OF AN ALGORITHM FOR SUPPORTING THE LAND USE CAPABILITY CLASSIFICATION

Hirohito KOJIMA and Shigeyuki OBAYASHI

This paper presents the analysis algorithm on the influences of the planner's intention in the land-use capability classification applying the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. The land-use capability classification maps are integrated as the criteria-parameters for the pairwise comparison of the AHP operations. Based on the weights of those criteria-parameters, the compromised area considering the both intention of the "development and preservation" are visually zoned on the "mutual regulation map." Furthermore, the alternative areas extracted by changing the pairwise comparative matrices in accordance with the planner's intention are newly delineated on the "influence analysis map." This influence analysis map and its interpretation are useful as supporting information for land use plan and planning.