

土地分級評価を目的とした 相互調整支援アルゴリズムの構築

小島尚人¹・大林成行²・清宮大輔³

¹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)

²正会員 工博 東京理科大学 教授 理工学部土木工学科 (同 上)

³学生会員 東京理科大学 大学院 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階層化意思決定法 (AHP: Analytic Hierarchy Process) をベースとした土地分級評価モデル (潜在因子モデル) の適用範囲を拡張し、ネットワーク化意思決定法 (ANP: Analytic Network Process) を併用した新たな相互調整支援アルゴリズムを構築したものである。潜在因子モデルでは衛星データと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 AHP 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」を作成する。評価主題に対する土地利用上の評価シナリオを考慮した場合とそうでない場合の相互調整図の違い (ANP と AHP の解の違い) を抽出した差画像を新たに提案した。この差画像と解釈の内容が「整備・開発または保全の方向性」を示す支援情報として役立つことを示した。

Key Words : *mutual regulation, land use capability classification, Analytic Network Process(ANP), Analytic Hierarchy Process(AHP), geographical information, satellite remote sensing data*

1. はじめに

衛星リモートセンシングデータや地理情報、いわゆる国土空間情報を融合して、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¹⁾²⁾。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段階」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³⁾、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⁴⁾⁶⁾。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⁷⁾。

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土地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⁸⁾、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。この相互調整図をもとに、さらに案を練り直していくといった繰返し分析、いわゆる開発側に立つ評価者と保全側に立つ評価者の意向の違いを分析する「影響分析」の問題についても検討を進めた⁹⁾。相互調整図は、開発と保全といった相反する意向の譲歩領域が抽出・表現されている点が特徴であり、計画策定上の支援情報の一つとして実際の事業計画において活用されている¹⁰⁾¹¹⁾。

潜在因子モデルの適用範囲は、土地の空間価値 (潜在価値, 存在価値, 使用価値) のうち³⁾¹²⁾、潜在価値と存在価値の評価、いわゆる現状の土地利用と自然立地条件から潜在的な土地利用のポテンシャルを評価することであった。そのため、AHP の分析過程で使用する階層構造図は⁸⁾、衛星データと地理情報に基づき作成される土地分級評価図により構成されていた⁷⁾。

しかし、開発と保全といった相反する意向は、土地利用上の用途規制や各種法規制等によって左右されることから、都市計画図や土地条件図等に規定されている土地利用要件をモデルに組み込むことが避けては通れない検討課題として持ち上がってきた¹⁰⁾¹¹⁾。換言すれば、土地利用上の開発行為に対する許容・抑制要件を「評価シナリオ」として、柔軟にモデルに取り込めるようにすることである。

以上の背景のもとに、本研究では、筆者らが開発し

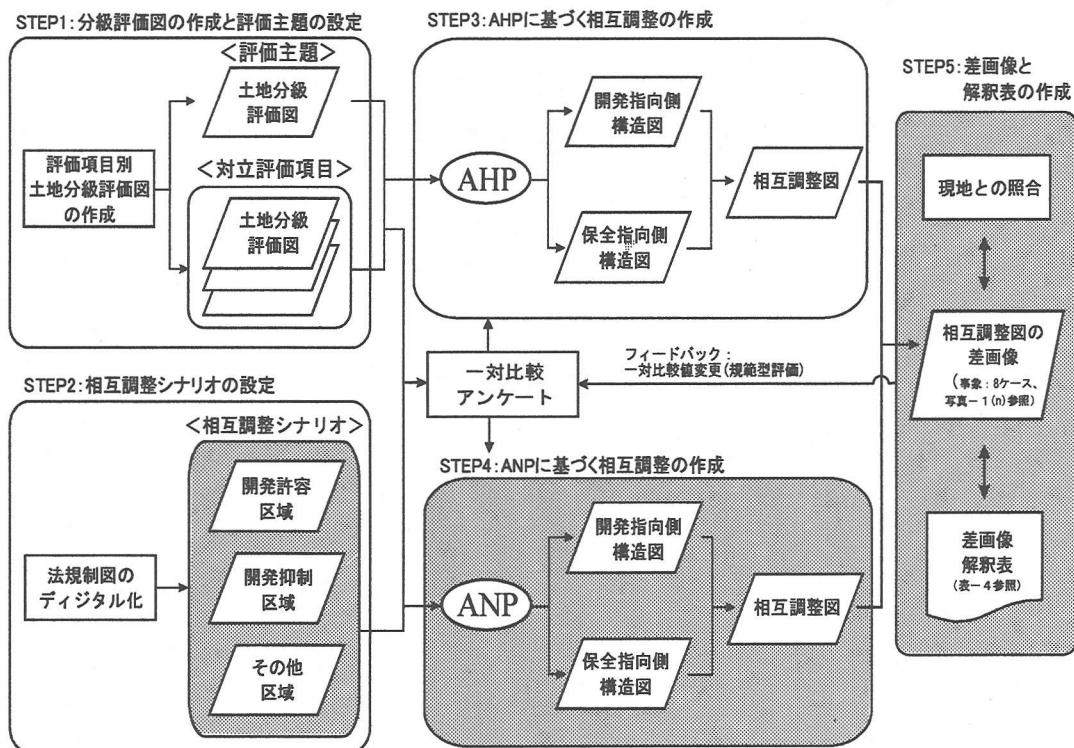


図-1 相互調整支援アルゴリズムの全体構成

てきた階層化意思決定法（AHP：Analytic Hierarchy Process）をベースとした土地分級評価モデル（潜在因子モデル）の適用範囲を拡張し、ネットワーク化意思決定法（ANP：Analytic Network Process¹³⁾）を併用した新たな相互調整支援アルゴリズムを構築する。

評価主題に対する土地利用上の相互調整シナリオを考慮した場合の「相互調整図（ANP ベース）」と従来までの「相互調整図（AHP ベース）」の違いを抽出した「差画像」を新たに提案し、この差画像と解釈の内容が「整備・開発または保全の方向性」を検討するといった土地利用構想計画上の支援情報として役立つことを示す。

2. 既往の研究と本研究の特徴

(1) 本研究の位置付け

本研究で提案する相互調整支援アルゴリズムは、図-1に示す5つのステップから成る。STEP1とSTEP3が従来までの研究に相当する。この部分と「STEP2, STEP4, STEP5」の拡張部（図-1：灰色反転箇所）を含めた全体のアルゴリズムが、本研究で新たに提案する相互調整支援アルゴリズムとなる。

前述したとおり、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¹²⁾。このうち、衛星データと地理情報を融合して作成される土地分級評価図は、「潜在価値と存在価値」を評価する範囲において活用される³⁾。図-1ではSTEP1に相当する。

STEP2以降がAHPとANPを併用した相互調整支援策に相当し、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位置付けについては、筆者らの既発表論文（参考文献3）と7))に記述してあるので本文では割愛する。

(2) 本研究の新規性

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) 評価シナリオの取り込み方（階層構造図の工夫）

これまでに筆者らが開発した潜在因子モデルでは、評価主題（評価目標）を「宅地開発」とした場合、「開発と保全」を指向する側の意向に関する重み（AHPの一対比較値）は、宅地開発といった評価目標に対する

価値判断に基づいて一意的に付与されていた。これも一つの分析過程と言えるものではあるが、実際には土地利用上の「許容・抑制要件」に関するシナリオの違いによって各評価基準に付与されるウェイトの値が左右されることは無視できない。このようなシナリオのことを ANP においては「評価シナリオ」と定義している¹³⁾、付³⁾。

これまでの研究では、このような土地利用構想段階における評価シナリオを考慮した一対比較値の与え方については言及していなかった。したがって、土地利用構想計画上の相互調整支援策として、従来までの AHP をベースとした分析方法にはおのずと限界があった。換言すれば、AHP の分析に使用する階層構造図そのものに適用限界があることを意味する。

そこで、本研究では、都市計画図や土地条件図等をもとに「開発許容区域、抑制区域、その他区域」といった3つの区域を定義し、これらを「評価シナリオ」に対応させることとした。さらに、この評価シナリオの組み合わせを「相互調整シナリオ」と呼ぶこととした(4(2)で説明)。土地利用構想計画上の相互調整を議論する上で最も基本となる。

これらの評価シナリオを従来までに筆者らが提示した AHP の階層構造図に付加し、新たな階層構造図を提示する(4(3)で詳述)。この階層構造図をベースとして、ネットワーク化意思決定法、いわゆる ANP に基づく相互調整支援アルゴリズムを組み上げている点が本研究の特徴となる。

b) AHP と ANP を併用した相互調整支援アルゴリズムの提案

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¹⁴⁾。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²⁾、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る。

上述した評価シナリオを追加した上で、ANP の分析を通してなんらかの解を得ることはできるが、これに対する解釈は簡単にはいかない。もともと ANP は、評価シナリオを考慮した評価ができないといった AHP の適用限界をカバーする上で開発されたことから、ANP は優位な解を導くとの誤解が多いことも事実である。必ずしも評価シナリオを組み合わせることが得策であるとは言えない。評価シナリオを考慮することによって問題はより複雑となり、解の解釈が困難となるからである。

この問題に対して、本研究では、土地利用上の「開発許容区域、開発抑制区域、その他区域」といった3

つの区域(評価シナリオ)をベースとして、相互調整図上に評価結果を表示している。さらに、AHP と ANP それぞれの分析を通して得られる「相互調整図」の違いを抽出した「差画像」を提示し、土地分級評価における ANP そのものの導入意義を明確にするとともに、差画像上の情報に対する「一般解釈表」を提示し、計画者の意思決定支援情報としての活用方法とその有用性を示している。

本研究は、AHP の適用限界を指摘した上で、単に ANP を導入するといった拡張研究にとどまっていけない点にも注意を要する。土地分級評価において「AHP と ANP を併用」して実用性の高い相互調整支援アルゴリズムとして体系化・具現化した研究は、筆者の知る限り見当たらない。

c) 空間情報を利用した意思決定支援分野への寄与

本研究の相互調整支援アルゴリズムは、大きく分けて次の3つの処理ステップから構成される。

- ① 衛星データと地理情報を併用して土地分級評価図を作成(数量化理論、ミニマックス2群判別)。
- ② 作成された土地分級評価図と各種法規制図を入力情報として開発指向側と保全指向側の意向を反映した土地利用構想図(AHP と ANP)を作成。
- ③ 開発指向側と保全指向側構想図から両者の譲歩領域を抽出した相互調整図(AHP と ANP)とその差画像を作成。

この処理過程からも判るように、衛星データや地理情報といった、いわゆる国土空間情報を融合利用するモデルの開発にとどまるだけでなく、さらに、作成される種々の土地分級評価図や各種法規制図をも融合利用して計画意思決定を支援することを目的とした新たな拡張研究に位置付けられる。

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、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。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。

評価者がコンピュータ処理を介してインターラクティブに解を修正しつつ、より良い解に近づけようとする考え方は、いわゆる DSS (Decision Support System) に関する研究は古くからあるが²⁾、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、国土空間情報の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である¹⁵⁾。衛星データや各種地理情報を土地利

用計画、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、本研究では、従来までの研究アプローチからステップを進め、衛星データと地理情報から作成される複数の土地分級評価図と土地利用上の各種法規制図を活用した「相互調整支援アルゴリズム」を構築している。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における新たな「研究ステージ」を提示するものとして意義あるものと考えている。

3. 本研究の全体構成

図-1に本研究で提案する相互調整支援アルゴリズムの全体構成を示す。以下、図中に記載したSTEPの順に処理内容について説明する。

(1) STEP1: 分級評価図の作成と評価主題の設定

a) 対象領域と設定した潜在因子

本研究の対象領域は、東京都瑞穂町(約16.8km²)とした。瑞穂町は平成10年度から国土調査事業の一つである土地分類細部調査事業を実施しており、筆者らもこの事業に携わっている。多くのグランドトゥースデータが収集・整理され、提案する相互調整図や差画像等と現地調査情報との照合を繰り返し行える。このことは、本研究を進める上での対象領域として重要な要件である。

瑞穂町では、地域・地区指定がなされている箇所は市街地化しており、白地領域は畑地、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。限られた領域の中で、用途指定区域と白地領域内の土地利用のあり方が重要な課題となっており、本研究を進める上でも意義ある対象領域に位置付けられる。

土地分級評価図を作成する上で使用した潜在因子を表-1に整理した。土地分類基本調査¹²⁾の成果図面を数値化した地理データ(表層地質、地形分類、土壌)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、傾斜区分、斜面方位、谷密度の各因子)である。

さらに、本研究では1999年12月19日(日本時間)に打ち上げられた地球観測衛星EOS-Terraに搭載された光学センサ・ASTER¹⁴⁾から観測された最新の衛星データ(以下ASTERデータ、2001年1月11日観測)を使用している。ASTERは我が国が開発した光学センサであり、15(m/pixel)という高分解能の衛星観測を実現し、観測データも蓄積されてきており、まさにこれ

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 (ASTERデータ)		
表層地質	地形分類	土壌			
沖積層・ 現河床堆積物	新期土石運地形・ 沖積層	厚層黒ボク土壌 黒ボク土壌・多量植質	クラス1		
立川ローム層・ 立川段丘堆積物	丘陵地内の谷底低地	黒ボク土壌・ 多量植質(農地)	クラス2		
武蔵野ローム層・ 武蔵野段丘堆積物	武蔵野立川中間地	黒ボク土壌・ 多量植質(林地)	クラス3		
多摩ローム層	大規模宅地造成地	淡色黒ボク土壌(農地)	クラス4		
浮城層・奥根層	大規模人工改変地	淡色黒ボク土壌(林地)	クラス5		
谷っ粘土層・ 仏子粘土層	埋立てられた大きな穴 山地斜面(15°未満)	乾性褐色森林土壌・ 堆積岩起源			
三ッ木層 砂利採掘跡地	山地斜面(15°以上 30°未満)	褐色森林土壌・ 堆積岩起源 人工改変地I (住宅、工場等)			
数値地形モデルから作成					
標高	起伏量	傾斜区分	斜面方位	谷密度	
(以上～未満)	(以上～未満)	(以上～未満)	北	西	0層
123m～130m	0m～1m	0°～1°	北北東	西	1層
130m～135m	1m～2m	1°～2°	北東	西北西	2層
135m～140m	2m～4m	2°～3°	東北東	北西	3層
140m～145m	4m～6m	3°～5°	東	北北西	4層以上
145m～150m	6m～8m	6°～8°	東南東	平地	
150m～160m	8m～10m	9°～12°	南東		
160m～170m	10m～12m	12°～15°	南南東		
170m～180m	12m～14m	15°～18°	南		
180m～190m	14m～16m	18°～21°	南南西		
190m～196m	16m～	21°～	南西		

からの活用が期待されている。

本研究は、このような衛星データの適用分野を拡げるといった面においても意義があるものと言える。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^{3)・5)}。

b) 分級評価項目の設定と分級評価図の作成

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、土地分級評価図を作成する。農村的要因に基づく土地分級評価項目として「畑地立地適性分級評価と緑地立地適性分級評価」、都市的要因に基づく土地分級評価項目として「宅地立地適性分級評価、商業立地適性分級評価、工業立地適性分級評価」といった項目を設定した。これら評価項目別に、数量化Ⅱ類とミニマックス2群判別を通して、土地分級評価図を作成する³⁾。

(2) STEP2: 相互調整シナリオの設定

本研究では、都市計画図や土地条件図をもとに「開発許容区域、開発抑制区域、その他区域」といった3つの区域に区分し、これらをANPに言う「評価シナリオ」に対応させる。

以下、本研究では、この3つの評価シナリオのことを「相互調整シナリオ」と言う。図-1に示したように、数値化された図面としてモデルの入力情報となる。この入力情報が本研究で新たに追加する部分となる。

(3) STEP3: AHPに基づく相互調整図の作成

AHPでは一対比較の整合性について回答者毎に検

証し、一対比較回答が全体にわたって矛盾がないかを調べる。矛盾があるアンケート結果は除外し、整合性のある回答のみ分析に採用する。一対比較アンケートの整合性を検証すると、評価目的によっては、整合性のない回答が多いことを経験する。土地利用構想計画支援という社会的制約要件が内在する意志決定問題において、不特定多数の多くの人にアンケートを依頼することは、一対比較回答の整合性の確保と分析作業の効率化の面において問題がある。そこで、本研究では、土地利用に関わる行政業務に常時携わっている技術者を対象として、一対比較アンケートを依頼することとした。

土地利用構想計画において最適解は存在し得ない。したがって、**図-1**で示した相互調整支援アルゴリズムを通して得られる分析結果（後述する構想図や相互調整図）を検討案としてとりまとめ、これを他の関連部署や関係住民等に提示し、繰り返し分析するという運用となることは言うまでもない。

以上の考察のもとに、アンケート対象者として、瑞穂町役場の都市計画系と農政系の技術者計14名に依頼し、アンケート調査結果に基づいて開発者側と保全者側のグループに分けた。

STEP1で作成された土地分級評価図をAHPにおいて定義される「評価基準」とする。評価基準と評価目標に付与される重要度を計算し、開発指向側と保全指向側の構想図を作成する。さらに、これらの構想図から、開発側と保全側に立つ評価者が互いの意向を譲歩できる領域（相互調整領域）を抽出した、いわゆる「相互調整図」を作成する。このAHPに基づく相互調整図が、参考文献7）において提示した研究内容に相当する。**図-1**ではSTEP1とSTEP3に相当する。

（4）STEP4：ANPに基づく相互調整図作成

STEP2で準備した相互調整シナリオを加味した場合の一対比較を実施する。なお、本研究の特徴である相互調整シナリオを加えた場合の階層構造図の詳細については後述する（4（3）で説明）。評価基準と評価目標に付与される重要度を再計算した上で、新たな相互調整図を作成する。これがANPに基づく相互調整図となる。

（5）STEP5：差画像の作成と一般解釈表の提示

AHPとANPを介して作成されるそれぞれの相互調整図の違いを抽出した「差画像」を新たに提示する。差画像上の違いはまさに、相互調整シナリオ導入の有無に伴う違いが図上に表れたものとなる。さらに、誰もが差画像上の情報を解釈しやすくするために「一般解釈表」を提示する。

4. 相互調整支援アルゴリズムの全体構成

本章では、**図-1**に示した相互調整支援アルゴリズムに基づく実際の処理内容について説明する。

（1）評価主題と対立評価項目の設定

評価主題として「宅地開発」を想定した場合、おのずと農用地適性のある箇所や緑地の現状維持（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。これを「評価主題」に対する「対立評価項目」と言う⁷⁾。潜在因子モデルでは、評価主題と対立評価項目に対応する土地分級評価図を用いて相互調整領域を抽出する。

本論では、瑞穂町の意向を反映し、**図-1**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「農業立地適性分級評価、工業立地適性分級評価、緑地立地適性分級評価」とした。それぞれに対応する土地分級評価図を**写真-1(a)～写真-1(d)**に示す。写真については、提案アルゴリズムの全容を判りやすくするために本文5章にまとめて掲載した。

なお、評価主題としては、農業立地適性分級評価等の保全指向側のものを設定することも可能であり、対立評価項目についても上記以外のものを要求に応じて追加できることは言うまでもない。

（2）相互調整シナリオ設定の考え方

都市計画図や土地条件図には、用途区域や各種の法規制領域が描かれている。これらは、まさに将来の土地利用のあり方を誘導する規範領域とみなすことができる。この規範領域を考慮して土地利用構想計画が策定されるが、この段階において様々な相互調整意向が働くことになる。これを相互調整シナリオとしてモデルへ取り込むことは簡単にはいかない。

そこで、本研究では、相互調整上の計画者の視点から以下の3つの領域区分にグループ化した上で、ANPの分析に取り込むシナリオ設定問題について考える。

- ① 開発許容区域
- ② 開発抑制区域
- ③ その他区域

例えば、評価主題を「宅地開発」とすると、これらの区域は、以下のように対応付けることができる。

- ① 開発許容区域：宅地開発を許容する区域
- ② 開発抑制区域：宅地開発を抑制する区域
- ③ その他区域：上記のいずれにも属さない区域

これら3つの区域は、**表-2**に示す法規制ゾーンにしたがってグループ化できる。この結果が**写真-1(e)～写真-1(g)**である。これらを次節で説明する

表-2 土地利用上の主な法規制に関わる区域

評価主題(例):宅地開発		
開発許容区域	開発抑制区域	その他区域
第1種低層住居専用地域	近隣商業地域	「開発許容区域」と「開発抑制区域」のいずれにも属さない区域
第2種低層住居専用地域	商業地域	
第1種中高層住居専用地域	準工業地域	
第1種住居地域	工業地域	
準住居地域	第1種特別工業地区	
...	第2種特別工業地区	
	農業振興地域	
	緑地保全区域	
	...	

ANPで規定される階層構造図上(図-2)の「評価シナリオ」に対応させる。評価シナリオには、表-2に示す様々な法規制ゾーンの対応付けが考えられる。これらの組み合わせのことを本研究では「相互調整シナリオ」と呼ぶ³⁾。

(3) 階層構造図

以上までに定義した「評価主題、対立評価項目、相互調整シナリオ」の関係をANPで規定される「階層構造図」として表現する。その結果が図-2であり、各種評価図や図面は以下のように対応する。

- ・相互調整シナリオ：表-2の領域区分 (写真-1 (e) ~ (g))
- ・評価基準1：評価主題に対応する土地分級評価図 (写真-1 (a), 例：宅地開発)
- ・評価基準2：対立評価項目に対応する土地分級評価図 (写真-1 (b) ~ (d))
- ・評価基準3：最終評価値 (写真-1 (h) ~ (k))

ANPを適用する際には、評価シナリオを追加することによって一対比較が極めて煩雑となり、このことがモデル構築上の問題の一つとして指摘されている^{16),17)}。

この問題に対して、本研究では、表-2で示したようにシナリオをグループ化することによって、一対比較の煩雑性を避けるとともに、相互調整上の問題をより一層明確にできることを示す(6章で詳述)。

(4) 一対比較アンケート

図-2に示した階層構造に基づいて、シナリオと評価基準について、一対比較を実施する。AHPとANPの一対比較アンケートおよび評価プロセスそのもの詳細については、多くの書籍に解説があるので本論では割愛するが^{8),13)}、例えば、宅地立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-2で示される評価基準2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

表-3 本研究で適用した一対比較値

項目iと比べた項目jの重要度	a_{ij}
同じ程度に重要	1
やや重要	3
重要	5
大変重要	7
絶対重要	9
隣接する値の中間値として使用	2, 4, 6, 8
項目jと比べた項目iの重要度 (上記数値の逆数)	$1/a_{ij}$

注) $a_{ii} = 1$ (一対比較行列の対角要素)

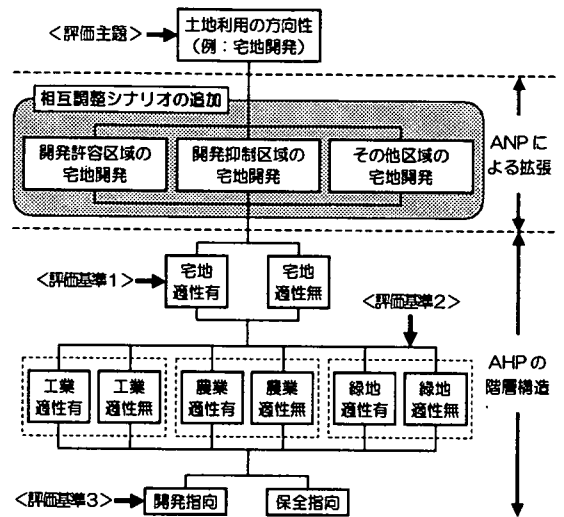


図-2 シナリオを追加した階層構造図

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⁷⁾。なお、一対比較時のウェイトは、一般に利用されている表-3に示す値を用いた^{13),18)}。

先述した通り、アンケートの対象者として瑞穂町役場の都市計画系と農政系の技術者計14名に依頼し、アンケート調査結果に基づいて開発者側と保全者側にグループ分けをした。結果として開発側となった技術者は都市計画系5名、農政系1名、保全側となった技術者は、都市計画系2名、農政系6名であった。都市計画系に保全側の意向が、また農政系に開発の意向が内在していることが伺える。

このアンケート調査における母集団のサイズについて明確な基準を設定することは困難である。本研究では、開発側と保全側の意向の違いを相互調整図上に表現する技術的施策を提示することを第1の課題とした。図-1のアルゴリズムを適用すれば、アンケート調査

における母集団の感度分析も実施できることは言うまでもないが、この点については本研究範囲には含めず、今後の検討課題としたい。

また、一般に AHP は一対比較判断の違いに伴う感度分析を通して様々な視点から分析ができることが特徴とされている。筆者らは、AHP を介して作成される相互調整図について、一対比較値の影響分析の問題に関する検討を進めた⁹⁾。本研究においても ANP を介して作成される新たな相互調整図に対する一対比較値の影響について分析することも考えられる。しかし、本研究では前述したとおり、まず第1に ANP と AHP を併用した相互調整支援策の提示、すなわち、シナリオの導入方法と導入効果に関する検討を目的とすることから、ANP における一対比較値の影響分析の問題については、本研究の範囲には含めず今後の課題としたい。

なお、図-1にも示しているが、初期のアンケートに基づく評価を「現状型評価」と呼び、一対比較値の変更に伴う繰り返し評価の過程を「規範型評価」と呼んでいる。以降の検討結果は、すべて現状型評価に位置付けられる。

なお、一対比較アンケート結果は、図-3のような積み上げ計算表として整理され、相互調整図等を含めて検討内容は報告書としてまとめられている¹¹⁾。他の関連部署や関係する行政機関、さらに関係住民も閲覧できるようになっている。

5. AHPとANPに基づく相互調整図の作成

(1) 一対比較表の整理

図-2の階層構造図に対応する評価基準に付与される重要度の計算過程を整理したものが図-3である。ここでは、説明を判り易くするために、開発者側の一対比較結果を取り上げた。それぞれの表を一対比較行列と呼ぶ。なお、一対比較値は複数のアンケートによって得られた値の幾何平均である。

AHP あるいは ANP を適用する場合には、階層構造が複雑になる程、重要度を積み上げていく計算過程が煩雑となり、実用上の問題となる。図-3のように重要度と総合重要度の積み上げ計算過程が一目で判るような整理書式を提示することもモデル構築上、重要な要素になる。

なお、重要度とは図-2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「相互調整シナリオ」から積み上げ計算を経て得られる「評価基準3に付与される最終の重要度」を言う。

(2) 一対比較行列の整合性検証

図-3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、一対比較値が様々な変化することから、整合性の検証は不可欠となる。

AHP では整合度 (C.I.: Consistency Index)^{付3)}と整合比 (C.R.: Consistency Ratio)^{付4)}といった指標を用いて、整合性の有無を評価する⁸⁾。また、階層構造全体としての整合性評価には、階層整合比^{付5)}を用いる。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-3のレベル2の表下に記載したように整合度C.I.、整合比C.R.ともに0.15以下であり、一対比較行列の整合性は保たれていると判断できる。階層整合比についても0.15以下である。階層構造全体としての整合性も確保されている。

(3) 重要度と総合重要度の見方

a) 重要度の見方

図-3を見て判るように、「相互調整シナリオ(図-2)」に関わる積み上げ計算部分が、従来のAHPに基づく計算過程との違いとなる。図-3(a)、(b)、(f)の一対比較行列がこれに相当する。この部分と各レベルでの積み上げ計算結果が、最終的に図-3(g)の総合重要度の値に反映される。

図-3(a)中、○印で指示した箇所は、一対比較値1.948が付与されている。このことは「宅地開発」という評価目標に対して、「開発許容区域」が「開発抑制区域」に比べて「極めて重要」と解釈していることを意味する。つまり、開発許容区域に対して、積極的に宅地開発を推進していこうとする意向が働いていることを示唆している。

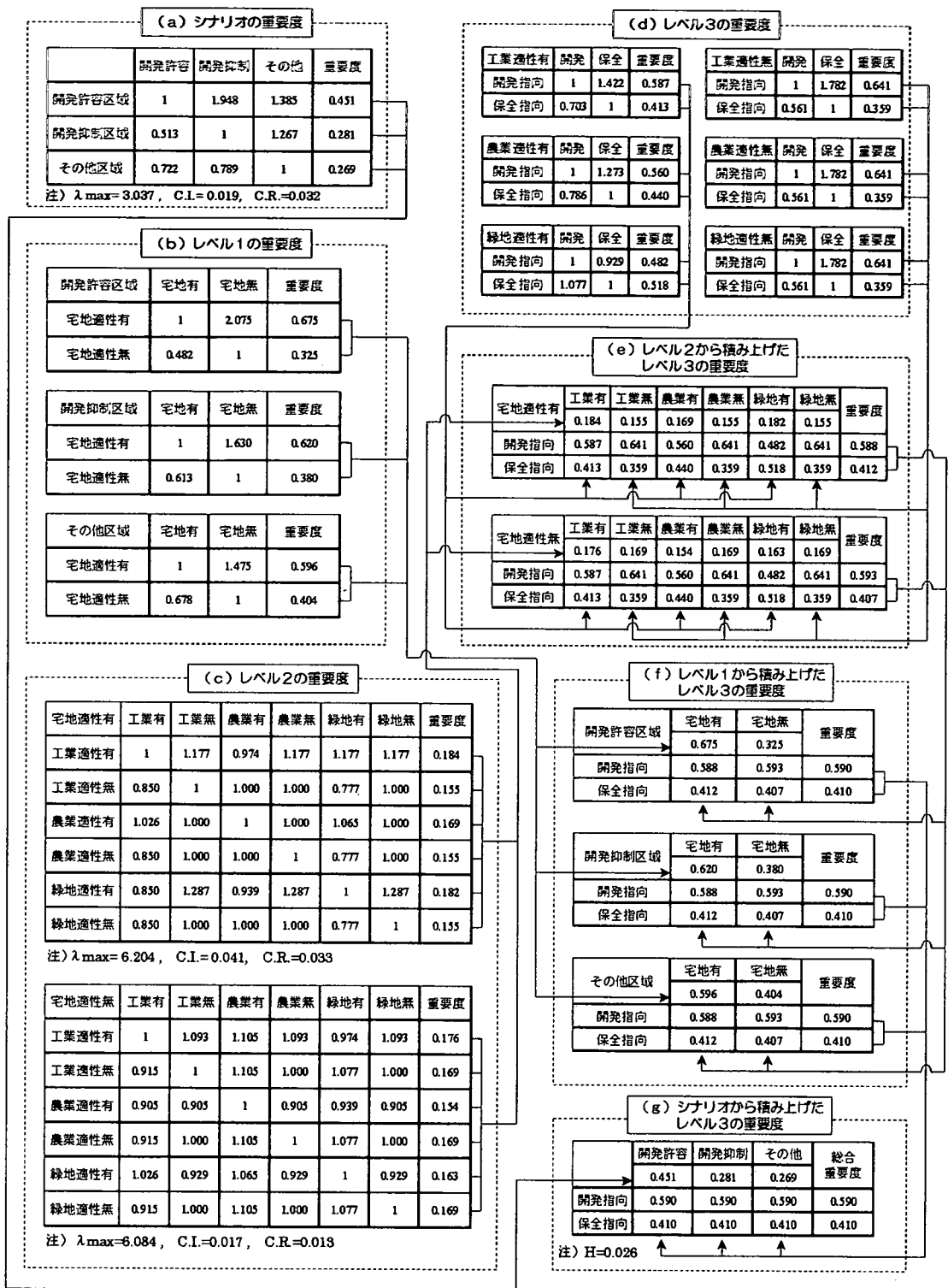
その他の一対比較行列についても、同様な読み方ができるが、個別の一対比較値に対する考察については冗長となるので本文では割愛する。

b) 総合重要度の見方

図-3(g)が総合重要度の計算結果となる。シナリオの重要度と「レベル1から積み上げたレベル3の重要度」を積和し、平均をとる。これを「総合重要度」と呼び、開発指向か保全指向かの最終評価値となる。ここでは、開発指向=0.590、保全指向=0.410となっており、「開発指向寄り」の評価値が得られている。

以上までは「評価主題：宅地開発」に対する開発側の評価結果であるが、この評価主題に対して保全側の立場からも同様な処理を行うことができる。

図-3のような積み上げ計算結果は紙面の都合上、



注) λ_{max} : 一対比較行列の最大固有値, CI : 整合度, CR : 整合比, H : 階層整合比

図-3 現状型: 一対比較図 (評価主題: 宅地立地適性 (開発側))

割愛するが、保全側の評価結果における総合重要度の値は、開発指向=0.359、保全指向=0.641となり、保全指向寄りの傾向となった。各レベルでの重要度の値も保全指向寄りの重みとなることが確認されている。これらの定量的な違いを利用し、開発指向側と保全指向側の構想図の作成へと展開する。

(4) 開発指向側と保全指向側構想図の作成

重要度の値は、評価主題を「宅地開発とした場合」の開発側と保全側の土地利用への意向を定量化して表したものである。そこで、画素単位で重要度の和をとり、開発側と保全側の意向を評価図上に表示した。その結果が写真-1 (h) ~写真-1 (k) である。本研究では、これらを「開発指向側構想図」と「保全指向側構想図」と呼ぶ。写真の対応は以下の通りとなる。

写真-1 (h) : 開発指向側構想図 (AHP 適用)

写真-1 (i) : 保全指向側構想図 (同上)

写真-1 (j) : 開発指向側構想図 (ANP 適用)

写真-1 (k) : 保全指向側構想図 (同上)

これらの構想図の解釈は共通しており、その凡例を写真-1の右下に記載した。赤色系の凡例は、評価主題である宅地適性分級評価図上で「宅地適性有」と判定された画素に対する「開発指向の程度」を表す。また、緑色系の凡例は「宅地適性無」と判定された画素に対する「保全指向の程度」を表す。

以下、AHPとANPの解の違い、すなわち、図-1と図-2に示した相互調整シナリオを考慮した場合とそうでない場合の解の違いに焦点を絞り、構想図に対して考察を加える。

a) 開発指向側構想図の比較

(写真-1 (h) vs. 写真-1 (j))

写真-1 (h) に比べて写真-1 (j) は赤色系の領域が多く現れ、全体として緑色系が薄くなっていることが判る。例えば、写真-1 (h) と写真-1 (j) において記号Aで指示した箇所は開発許容区域であり、このシナリオを考慮した場合 (ANP) に、開発者側にとって宅地開発の意向が強く現れたことを意味する。

b) 保全指向側構想図の比較

(写真-1 (i) vs. 写真-1 (k))

写真-1 (i) に比べて、写真-1 (k) は赤色系の領域の変化が少なく、全体として緑色系が濃くなっていることが判る。例えば、写真-1 (i) と写真-1 (k) において記号Bで指示した箇所は、開発抑制区域 (狭山丘陵) であり、シナリオを考慮した場合 (ANP) に、この地区については、保全者側にとって開発意向が強く現れたことを意味する。

以上の開発指向側と保全指向側構想図の比較から、ANPの導入効果は以下のように要約できる。

- ① シナリオを考慮した場合の開発と保全側のそれぞれの意向の違いを図上に顕在化できる。
- ② 開発許容区域、開発抑制区域、その他区域といった3つの区域に対する開発と保全意向を図上に表現できる。

これらのことは、AHPを用いた従来までの分析では実現できなかった点であり、相互調整シナリオを導入したANPの導入効果の一つである。

(5) 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構想図は、AHPとANPを通してそれぞれの意向を定量化して反映されたものである。この構想図から表-2で示した相互調整シナリオ (法規制等) に対応する領域に対する開発意向の分析が可能となるが、前述したとおり、限られた用途区域や土地利用制約下において、開発と保全の意向についてバランスをとることも必要となる。つまり、開発側と保全側に立つ評価者が互いの意向を譲歩できる領域 (これを「相互調整領域」と言う) を抽出することが必要となる。

そこで、全ての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-4 (a) と図-4 (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。

開発側と保全側の譲歩領域を抽出するために、図-4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-4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」を作成した⁷⁾。

その結果が写真-1 (l) (AHPに基づく相互調整図) および写真-1 (m) (ANPに基づく相互調整図) 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」

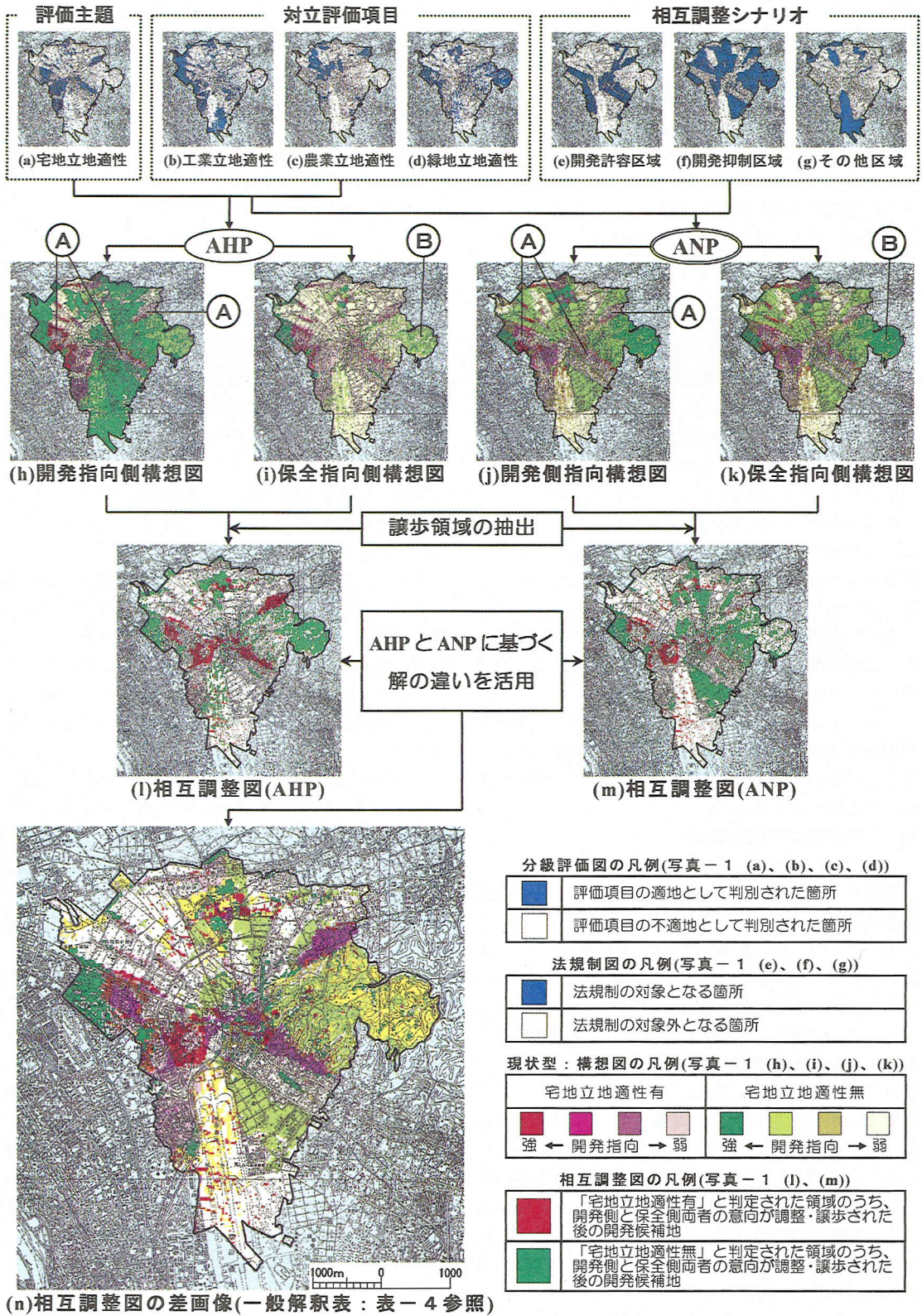
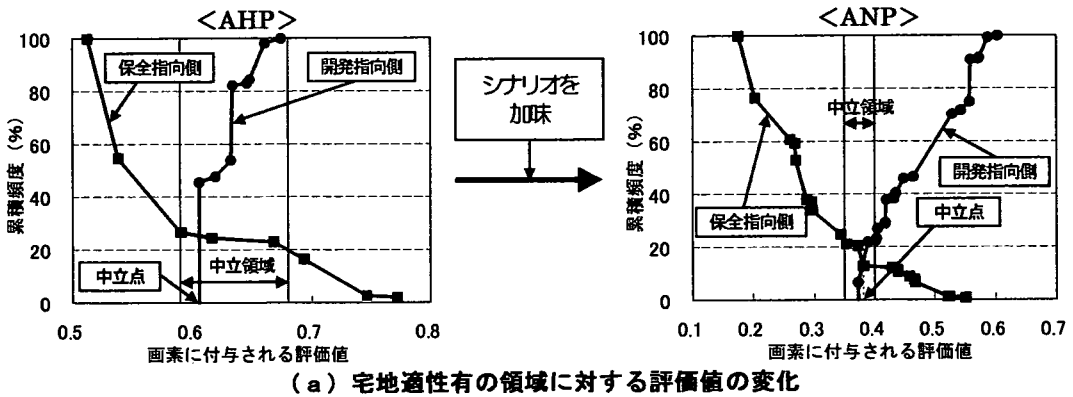
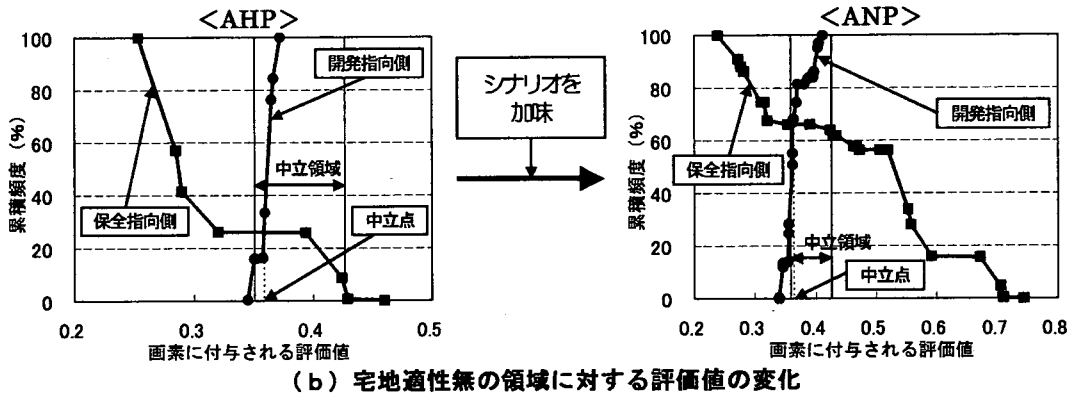


写真-1 相互調整図の差画像の作成 (評価主題：宅地開発)



(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-4 相互調整領域の抽出 (AHP と ANP に基づく分析結果の比較)

の箇所に対して、赤色と緑色に分けて表示されている。それぞれの領域に対する解釈は、凡例として写真-1の右下に示した。

赤色の画素が「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。一方、緑色の画素は「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。

写真-1 (l) (AHP に基づく相互調整図) に比べて写真-1 (m) (ANP に基づく相互調整図) では、赤色の画素が少なくなり、緑色系の画素が多くなっている。相互調整シナリオ (法規制等) をモデルに考慮する場合とそうでない場合の違いは、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. 相互調整図の分析 (差画像の作成と解釈)

(1) 差画像の作成

AHP と ANP に基づくそれぞれの相互調整図の違い

を明確にするために、「差画像」を作成する。つまり、写真-1 (l) と写真-1 (m) 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-4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「差画像」が写真-1 (n) である。

宅地適性分級評価図上 (評価主題) 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、情報量が過多になる傾向にある。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と標準化といったアプローチは、モデル構築上、不可欠な要素と言える。

以下、写真-1 (n) と表-4の解釈表を照合しつつ、差画像の解釈の内容について説明する。

(2) 「宅地適性 (評価主題) : 有」の領域の解釈

ケース1~ケース4は、宅地適性分級評価図上 (評

表-4 相互調整図の差画像に対する一般解釈表

評価主題 (分級評価図上の解)	相互調整図		差画像の一般解釈	開発候補 適性	差画像上 の色付け	ケース名
	AHP	ANP				
適性有	○	○	・シナリオ(法規制)を考慮するとしないう関わらず「相互調整領域」として判定される領域。 ・開発側と保全側の譲歩領域。	有	赤	ケース1
		×	・シナリオ(法規制)を考慮したことによって「相互調整領域」減少。 ・開発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
	×	○	・シナリオ(法規制)を考慮したことによって「相互調整領域」増加。 ・開発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
		×	・シナリオ(法規制)を考慮するとしないう関わらず「相互調整領域」として判定されない領域。 ・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	○	○	・シナリオ(法規制)を考慮するとしないう関わらず「相互調整領域」として判定される領域。 ・開発側と保全側の譲歩領域。	有	緑	ケース5
		×	・シナリオ(法規制)を考慮したことによって「相互調整領域」減少。 ・開発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
	×	○	・シナリオ(法規制)を考慮したことによって「相互調整領域」増加。 ・開発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
		×	・シナリオ(法規制)を考慮するとしないう関わらず「相互調整領域」として判定されない領域。 ・開発側と保全側で譲歩できない領域。	無	白	ケース8

注1) ○ : 相互調整領域

× : 相互調整領域でない箇所

(相互調整領域: 開発側と保全側に立つ評価者の意向の譲歩領域)

2) 開発候補適性欄の「有・無」は、法規制(相互調整シナリオ)を考慮した場合の一般解釈。

3) (例)評価主題: 宅地適性

開発候補適性: 評価主題に対する開発候補適性

価主題)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、260画素×270画素=70,200画素(対象領域内:26,995画素,対象領域外:43,205画素)である。

a) ケース1(赤色:1,213画素):表-2の法規制(相互調整シナリオ)を考慮するとしないう関わらず、「相互調整領域」として判定されるケースである。開発側と保全側の譲歩領域であり、宅地開発(評価主題)に対する「優先候補地」となる。

b) ケース2(紫色:1,633画素):法規制(相互調整シナリオ)を考慮したことによって「相互調整領域」として判定される箇所が減少したケースである。換言すれば、法規制(相互調整シナリオ)が反映されたことによって、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領域である。宅地開発(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:399画素):法規制(相互調整シナリオ)を考慮した場合において「相互調整領域」として判定される箇所が増加したケースである。換言すれば、法規制(相互調整シナリオ)が反映されたことによって、開発側と保全側で譲歩領域として改めて見出された領域である。宅地開発(評価主題)に対する「開発候補適性・有」と解釈される。

d) ケース4(ピンク色:2,125画素):法規制(相互調整シナリオ)を考慮するとしないう関わらず、「相互調整領域」として判定されないケースである。開発側と保全側で譲歩できない領域であり、宅地開発(評価主題)に対する「開発候補適性・無」と見なされる。

以上までは、宅地適性分級評価図上(評価主題)において「宅地適性有」と判定された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¹⁹⁾。本研究の相互調整支援アルゴリズムでは、この点についても分析できるように配慮してある。つまり、表-4では、宅地立地適性分級評価図上において「宅地適性無」として判定された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。

(3) 「宅地適性(評価主題):無」の領域の解釈

a) ケース5 (緑色: 1,920 画素): 法規制(相互調整シナリオ)を考慮した場合としない場合のいずれにおいても「相互調整領域」として判定される箇所が同じとなるケースである。開発側と保全側の譲歩領域であり、宅地開発(評価主題)に対する候補地となる。宅地開発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。見方を変えれば、ケース1(宅地適性有)で判定された領域以外の代替候補地として扱うこともできる。

b) ケース6 (黄色: 3,621 画素): 法規制(相互調整シナリオ)を考慮した場合において「相互調整領域」として判定される箇所が減少したケースである。換言すれば、法規制(相互調整シナリオ)が反映されたことによって、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: 4,819 画素): 法規制(相互調整シナリオ)を考慮した場合において「相互調整領域」として判定される箇所が増加したケースである。換言すれば、法規制(相互調整シナリオ)が反映されたことによって、開発側と保全側で譲歩領域として改めて見出された領域である。宅地適性無の領域ではあるが、相互調整シナリオに基づく開発者の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3で判定された開発候補領域以外の代替候補地として扱うこともできる。

d) ケース8 (白色: 11,265 画素): 法規制(相互調整シナリオ)を考慮するとしないに関わらず、「相互調整領域」として判定されないケースである。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、この点が土地分級評価モデルに組み込むことの難しさでもある。本研究で提示した相互調整図の差画像(写真-1(n))とその解釈表(表-4)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。

なお、表-4の解釈の欄は、差画像の一般的な解釈

として文章化したものである。したがって、これらの解釈の妥当性を評価するために現地と照合することは不可欠となる。写真-1で示した差画像と現地の状況を都市計画担当者とともに照合した結果、相互調整領域は、白地領域等の整備開発または保全の方向性を示すための土地利用計画上の検討支援情報(線引きや逆線引き等)として役立つことが判明している。これらの検討内容は、報告書とともに現地調査台帳としてとりまとめている¹¹⁾。

以上までの検討結果から、相互調整支援アルゴリズムの導入効果は、以下の4点にまとめられる。

①表-4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相互調整図間の差画像に対する解釈を展開できる。

②地理情報や衛星データはもとより、法規制領域を相互調整シナリオとして取り込み、相互調整領域の抽出支援が可能となる。

③ANPに基づく開発指向側構想図(写真-1(j))と保全指向側構想図(写真-1(k))、さらには相互調整図(写真-1(m))は、用途地域の見直し(線引き・逆線引き)や土地条件図の更新、白地領域の土地利用構想等といった各種計画策定上の支援情報としても役立つ。

④相互調整図の差画像(写真-1(n))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」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有用となる。

土地利用構想図の表現形態として、整備・開発または保全の方向性を検討する行政業務に携わる評価者の意向を図示することが求められてはいるが²⁰⁾²¹⁾、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、筆者らが開発してきた階層化意思決定法(AHP: Analytic Hierarchy Process)をベースとした土地分級評価モデル(潜在因子モデル)の適用範囲を拡張し、ネットワーク化意思決定法(ANP: Analytic

Network Process) を併用した新たな相互調整支援アルゴリズムを構築したものである。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具体的な事例を用いて指摘した。

b) 都市計画図や土地条件図等の各種法規制図をもとに、「開発許容区域、開発抑制区域、その他区域」といった3つの領域区分を定義した上で、これを ANP に言う「評価シナリオ」に対応させた(本研究では、これを「相互調整シナリオ」と言う⁴⁾)。さらに、衛星データと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 AHP に言う「評価基準」として、これに「相互調整シナリオ」を加えた新たな階層構造図(図-2)を提示した。

c) 評価シナリオを考慮した場合の「相互調整図(ANP 適用)」と考慮しない場合の相互調整図(AHP 適用)の違いを抽出した差画像を新たに提案した。さらに、差画像の一般解釈表を提示した。この差画像と解釈の内容が、「整備・開発または保全の方向性」を示す土地利用構想計画上の合意形成、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、相互調整シナリオを考慮した場合とそうでない場合の相互調整図上の違いを分析したが、別の見方をすれば、図-2に示したように「階層構造の変化」に伴う相互調整図の違いを分析したことになる。もう一つの視点として「一対比較行列の変化」に伴う相互調整図上への影響に関する検討も今後の課題となる。これは図-1で示したフィードバックプロセスに相当する。

この検討では、一対比較値の変化に伴って整合度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入念に検討することが必要となる²⁾。

b) 図-1で示した相互調整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・開発することも意義ある課題となる。

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。

「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から久しい。そのための技術的な対応として、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²³⁾²⁴⁾。本研究のアプローチは、

①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の提示。

②AHP と ANP の融合利用策の提示。

といった2つの側面を持つ。特に、都市計画図や土地条件図等の法規制図等を ANP で定義される「相互調整シナリオ」として取り込み、AHP と ANP の解の違いを利用して土地利用構想計画上の新たな支援情報を導出していることが今までにない特色となっている。

本研究の内容は、土地利用適性評価におけるほんの一部を担うにすぎないものではあるが、計画者の意向を図上(相互調整図、差画像)に判りやすく表現・分析できる技術者支援型の分析アルゴリズム(図-1)として役立つものと考えている。

国土空間情報の統合・分析モデルの構築に関する研究分野は多岐にわたり、現在、世界的にも注目されている。本研究の内容が、関連分野の研究の展開においても何らかの形で寄与できれば幸いである。

謝辞: 本研究を進めるにあたって、野崎保氏(瑞穂町役場都市計画課係長)には、都市計画図を含めて土地利用構想に関わる各種情報をご提供いただくとともに、一対比較アンケート、現地調査等にご協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

付録 用語解説

1) ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)

1999年12月19日(日本時間)に打ち上げられた地

球観測衛星 EOS-Terra に搭載された光学センサ。ASTER は、我が国が開発したセンサであり、可視近赤外放射計 (VNIR)、短波長赤外放射計 (SWIR)、熱赤外放射計 (TIR) から構成されている。可視バンドから熱赤外バンドまでの 14 のスペクトラムチャンネルを有する。可視域のデータの地上分解能は 15 (m / 画素) である。(cf. <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>)

2) 相互調整シナリオ

総合目的、評価基準、代替案で階層構造図が構成される AHP では、総合目的から一意的に評価基準の重みが決定されるといった問題があった。この対策として ANP では「評価シナリオ」を設定し^{13),16)}、このシナリオによって評価基準の重みを決定する。この点に関する詳細は、多くの文献や図書に掲載されているので割愛するが、本研究では、この評価シナリオとして、表-2 に示す様々な法規制ゾーンの対応付けを考えている。本研究では、ANP に言う評価シナリオと区別するために、この対応付け後のシナリオのことを「相互調整シナリオ」と定義している。

3) 整合度 (C.I.: Consistency Index)

一対比較アンケートの首尾一貫性を評価する指標を言う。一対比較行列の最大固有値を λ_{max} とすると整合度 C.I. は次式で表される。

$$C.I. = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

C.I. の値が小さい程、一対比較行列の整合性が保証される。一対比較行列が完全な整合性をもつ場合、C.I. は 0 となる。一般には、C.I. の値が 0.15 以下であれば、整合性があるものと見なされる。

4) 整合比 (C.R.: Consistency Ratio)

整合度に加えて、一対比較アンケートの整合性を評価するもう一つの指標。整合比 C.R. は次式で表される。

$$C.R. = C.I. / M$$

但し、C.I.: 整合度

M: ランダム整合度

なお、ランダム整合度 M とは、一対比較行列 (N×N) において、一対比較値 (表-3) をランダムに入力した場合の C.I. を計算し、その平均をとったものである。C.R. の値も 0.15 以下であれば、整合性があるものと見なされる。

5) 階層整合比 (H: Hierarchy Consistency Ratio)

一対比較行列の整合性は、C.I. や C.R. を用いて評価するが、階層整合比 H は、階層図全体としての整合性評価に用いる。計算は、以下の手順を踏む。

- ① 一対比較表の各 C.I. に親要素 (上位の評価基準) の重要度を乗算するとともに、階層図全体としての総和をとる。その値を C とする。
- ② 一対比較行列のサイズ N によって定まるランダム整合度 M に親要素 (上位の評価基準) の重要度を

乗算して、階層図全体としての総和をとる。その値を R とする。

- ③ C/R を計算する。これが階層整合比 H となる。階層整合比 H が 0.15 以下であれば、階層図全体としての整合性があるものと見なされる。

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), pp.669-677, 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) Saaty, T.L.: *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York, 1980.
- 9) 小島尚人, 大林成行: 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, 土木学会論文集, No.686/VI-52, pp.145-157, 2001 年 9 月.
- 10) 東京都青梅市, 東京理科大学リモートセンシング研究所: 平成 10 年度・青梅市土地分類細部調査報告書, A4 判, 全 210 頁, 1998 年 3 月.
- 11) 東京都瑞穂町, 東京理科大学リモートセンシング研究所: 平成 12 年度・瑞穂町土地分類細部調査報告書, A4 判, 全 235 頁, 2001 年 3 月.
- 12) 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.
- 13) Saaty, T.L.: *The Analytic Network Process*, RWS Publication, 1996.
- 14) 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. All*, No.463, pp.213-222, 1991.

- 15) Herring, J.R. : The open GIS data model, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.65, No.5, pp.585-588, 1999.
- 16) 木下栄蔵, 吉川耕司 : 問題解決シナリオに基づく ANP 手法の住民合意形成への適用の試み, 第 35 日本都市計画学会学術研究論文集, 2000 年.
- 17) 高橋卓也, 岸邦広, 佐藤馨一 : ANP モデルによる観光地のリスク評価に関する研究, 土木計画学研究論文集, Vol.16, No.16, pp.155-160, 1999 年 9 月.
- 18) 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.
- 19) 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.
- 20) 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.
- 21) 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.
- 22) Millet, I. and Harker, P.T.: Globally effective questioning in the Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research* 48, pp.88-97, 1990.
- 23) 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.
- 24) 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.

(2001. 12. 14 受付)

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR SUPPORTING THE MUTUAL REGULATION IN THE LAND-USE CAPABILITY CLASSIFICATION

Hirohito KOJIMA, Shigeyuki OBAYASHI and Daisuke KIYOMIYA

This paper presents an algorithm for supporting the mutual regulation in the land-use capability classification applying the Analytic Network Process (ANP) method jointly with the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. Through the ANP operations, the compromised area considering the intention of both "development and preservation" could be visually zoned on the "mutual regulation map". The differences between previous "AHP-based regulation map" and newly proposed "ANP-based regulation map" introducing various scenarios with respect to the land-use restriction are also delineated on a final product of "difference map (termed DIF map)." Through the practical applications, it is indicated that the DIF map and its interpretation are indeed useful as supporting information for the land use conception plans.