

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

大林成行¹・小島尚人²

¹正会員 工博 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278 千葉県野田市山崎 2641)

²正会員 工博 東京理科大学講師 理工学部土木工学科 (同上)

本研究は、筆者が開発した土地分級評価モデル(潜在因子モデル)への階層化意思決定法(AHP)導入の考え方を整理するとともに、新たな分級評価アルゴリズムを構築したものである。従来の潜在因子モデルでは、各種地理情報だけでなく衛星マルチスペクトルデータを融合利用して土地分級評価図を作成できる。本研究では、潜在因子モデルで作成される複数の分級評価図をAHPを導入した場合の評価基準として使用した上で、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し、作成する方法を提案した。さらに、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」を提案している。この相互調整図は「整備・開発または保全の方向性」を示す計画合意形成、意思決定を支援していく上で有用となることを示している。

Key Words : Analytic Hierarchy Process (AHP), land use capability classification, remote sensing, geographical information, quantification method

1. はじめに

土地利用構想・計画、地域計画等に地理情報システム(GIS: Geographical Information System)をはじめ衛星リモートセンシングの技術が導入されるようになり、より付加価値のある情報を抽出しようとする研究開発が注目され、実用段階に入ってきている¹⁾²⁾。筆者らも「国土の調査・計画」と「衛星データの実利用化」といった問題に両面から取り組み、地形、表層、土壌等の地理情報と衛星データを融合利用し、土地の性状を分析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するとともに³⁾、土地分級評価における衛星データそのものの有効性を示した⁴⁾。さらに、評価主題の異な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した⁵⁾。また、これらの研究において十分に議論できなかった個々の分級評価図の精度を高める方法(ニューラルネットワークと数量化理論の併用)も考え、その有用性についても検証している⁶⁾。

以上の一連の研究で提案した土地利用構想図の特徴は、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」といった情報を図上に区分・表現した点にある。しかし、この土地利用構想図の表現形態は、将来にわたる土地利用の方向性を考え、調整していく上での支援情報として有用ではあるが、開発指向あるいは保全指向というような計画者や住民(地権者等)

の意見を反映した情報にはなっていない。つまり、構想図上での相互調整の必要性の有無といった情報から、さらに進めて土地利用政策上の基本要件や制約条件等を加味できる新たな分級評価アルゴリズムの構築が今後の課題として残された。

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、最近注目されている方法論に階層化意思決定法(AHP: Analytic Hierarchy Process)がある⁷⁾。筆者らが提案した土地利用構想図においても相互調整の必要性の有無といった情報からさらに進めて「整備、開発または保全の方向性を示す」といった土地利用政策上の最大公約数的な判断を見出す上で、AHPの導入効果が期待できる。

以上の背景のもとに、本研究では土地分級評価におけるAHPの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AHP導入の考え方と問題点を整理するとともに、新たな分級評価アルゴリズムの構築とその有用性を示すものである。

2. 従来までの研究と本研究の特徴

(1) 土地分級評価へのAHPの導入

AHPは、ピッツバーク大学のThomas. L. Saatyに

よって1970年代から開発・公表されてきたが⁷⁾、曖昧な状況下での意思決定問題に役立つ手法として、最近種々の分野で適用されてきている^{8),9)}。AHPは階層図の作成、一対比較、重要度の決定、総合重要度の計算といった手順で進められる。これらの詳細については多くの参考図書、文献等^{8),10)}に掲載されているので、本文では紙面の都合上割愛する。

本研究の対象である土地利用計画支援の分野においてもAHPを導入した研究事例がみられるようになってきている。例えば、GISにAHPを組み込んで空間データの分析機能を開発しようとする試み等は^{11),12)}、本研究と目的が同じものである。しかし、現状ではAHPの適用そのものを議論する傾向にあり¹³⁾、大きく分けて次の2つの問題が指摘できる。

① AHPの特徴は、曖昧な状況下での意思決定を支援できる手法として推奨されているが、同一問題を対象とした既存の手法との関連性、すなわちAHPそのものの位置付けと適用限界が明確にされていない。

② 評価要因(アイテム)が定量化できるものとそうでないものの取り扱い方が明確になっていない。定量化して分析する必要性のあるアイテムでさえも定性的に扱っている事例もある。また、アイテムがカテゴリーに細分化できる場合でもこれを全く考慮に入れずに、AHPを適用している事例もある。

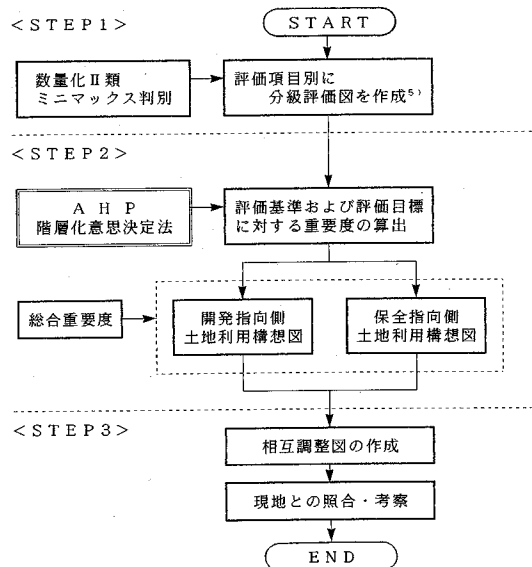
本研究では、これらの問題に対して、潜在因子モデルの中核をなす統計処理機能(数量化Ⅱ類、ミニマックス2群判別手法)とAHPが担うべき役割を分けた上で、新たな土地分級評価アルゴリズムを提案する(4.(2)で詳述)。

(2) 潜在因子モデルにおけるAHPの位置付け

潜在因子モデルにおけるAHPの位置付けを図-1に示す。先に発表した潜在因子モデルでは「潜在価値、存在価値」の範囲において土地分級評価を行うものであったが³⁾、本研究においては、さらに使用価値の側面からの評価にAHPを組み込む点が新たな試みとなる。図-1ではSTEP2とSTEP3に相当する。各ステップの処理内容については後述するが、ここで本研究における使用価値的評価の定義について明確にしておく。

土地利用適性評価に際しては、交通条件や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分析に取り込むことは現実問題として困難である。AHPではこのような定性的で曖昧な要因を網羅して扱えることが利点とされているが、前述したように得られる結果の信頼性の問題は避けられない。

そこで、本研究では自然条件の面から目的別に土地利用適性のある箇所を抽出した上で、道路や下水道等の基



- 注1) STEP1: 各種地理データ、衛星データに基づく潜在価値、存在価値評価
STEP2: 各種制約条件、人為的判断に基づく使用価値評価
2) AHPを適用する際の評価基準: 分級評価項目
AHPを適用する際の評価目標: 開発指向 or 保全指向

図-1 AHPを導入した分級評価アルゴリズム

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。本研究に言う「使用価値的評価」とは、このような各種計画や政策上の条件との照合・調整段階での評価を扱うものとする。このような土地利用政策上の照合・調整段階においてAHPによる重み付けの結果(重要度および総合重要度)が反映される。

例えば、緑化・保全政策を強く打ち出した計画等では、自然条件のよい箇所を最優先して保護したいと言う意向が働き、各種の法規制、宅地等の開発計画との照合が必要となる。このような場面における相互調整段階で本研究の提案方法が一つの支援策として寄与する。つまり、自然条件からの分級評価結果に対して、さらに、不確定な要因が内在する土地利用政策上の制約条件、換言すれば評価者の意向を定量化したAHPの重みをさらに付加することによって、土地利用政策上の相互調整の問題が一層明確になってくるものと期待できる。

なお、本研究では地理情報と衛星データを融合利用した土地分級評価の範囲において、AHPの適用性の検討を第1の目的とすることから、「財」としての土地分級論との関連性を論ずる使用価値評価の問題¹⁴⁾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。

開発と保全のバランスを考慮した土地利用構想・計画の重要性は古くから指摘されているが、これを実現するためには相互調整の結果を評価図上に何らかの形で情報として反映できる技術的方策が求められている¹⁵⁾。そう

することによってはじめて対象とする問題が明らかとなり、代替案の作成、計画合意形成へと結びつくものと言える。本研究では、このような開発指向・保全指向といった2つの視点から分級評価を支援する機能としてAHPを位置付ける。

(3) 土地利用計画策定を支援する相互調整図の提案

図-1に示したAHPを通して得られる総合重要度に基づいて新たに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作成することが、本研究の第1の特色となる。さらにこれらの構想図から、開発と保全のバランスを考慮した「相互調整図」を提案する。

この相互調整図は、「整備・開発または保全の方向性」を示す土地利用計画策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述べるとともに、AHP導入の意義を示す。

(4) 本研究の特徴

本研究は、従来までのAHPを適用した研究と比べて、次の点において新規性がある。

①構想図の種類：開発指向側および保全指向側といった2種類の構想図を定義・作成し、さらに、それらから相互調整図を作成する一連の処理手順を提案する。

②構想図作成の考え方：開発指向側および保全指向側構想図は、筆者らが開発してきた潜在因子モデルから得られる「評価主題の異なる複数の分級評価図の組み合わせ事象」に従って作成される。

③AHPの階層図と構想図の表示形態：既に筆者らが提案した土地利用構想図の作成概念に基づいて⁹⁾、AHPの階層図が構成される。この階層図を適用すれば、AHPにより計算される重み(ウェイト)を「画素単位」に付与でき、評価者の意向の違いを構想図上に色分けして表現できる。

潜在因子モデルの分級結果をAHPの評価基準とし、AHPによる重みを画素単位で構想図として表現するといった着想は、筆者の知る限り既往研究には見当たらない。

なお、潜在因子モデルから得られる分級評価図は、トレーニングデータを基準としたミニマックス2群判別を通して評価結果の曖昧性を排除している。ランク分けされた従来までの土地利用適性評価結果と比較して、その優位性、潜在因子モデルの拡張性、発展性はすでにいくつかの研究を通して示してきた³⁾⁻⁶⁾。潜在因子モデル以外の方法で得られる土地利用適性図等があれば、本研究で提案するアルゴリズムの評価基準の一つに組み込むことも考えられるが、この点については評価基準の適用性の問題として、本研究の範囲には含めず今後の課題としたい。

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の重要性が指摘されている¹⁵⁾。また、GISを導入してシステム分析的に都市計画を考えていく研究分野においても、データの蓄積、加工・編集、管理機能は充実してきてはいるものの、データの付加価値的な利用方法、いわゆる空間データの分析モデリング機能の必要性が求められている¹⁾。このような様々な側面からの問題提起に対して、一つの技術的施策を提示する点において、本研究の意義がある。

3. 本研究の全体構成

前述した図-1の流れに従って本研究の構成を述べる。

(1) STEP 1：分級評価図の作成

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。筆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、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、本研究で提案する相互調整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使用した潜在因子を表-1に示す。土地分類基本調査¹⁶⁾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。

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く³⁾⁻⁵⁾。

c) 分級評価項目の設定

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³⁾。本研究では、表-2に示すように、農村的要因に基づく現状型分級評価項目と都市的要因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

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			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	
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~

設定の基本的考え方については、参考文献5)に詳述してあるので、紙面の都合上割愛する。設定した分級評価項目別に分級評価図を作成し(4.(1)で記述)、AHPを導入した土地利用構想図の作成へと移行する。

(2) STEP 2: AHP を導入した構想図の提案

作成された複数の分級評価図を組合せて土地利用構想図を作成する。この段階においてAHPを導入する。分級評価項目別の分級評価結果をAHPで使用する評価基準とし、筆者らが既に提案した土地利用構想図の作成概念5)を基にして階層図が構成される点において、本研究の特徴がある。さらに、階層図上での評価目標を「開発指向、保全指向」とし、これに付与される総合重要度の値の大小によって土地利用構想図を2種類に区分する。いわゆる開発指向側と保全指向側の土地利用構想図を定義する(4.(2)~4.(5)で詳述)。

(3) STEP 3: 相互調整図の提案

開発指向および保全指向の土地利用構想図上での違いは、開発・保全といった土地利用政策上の意向の違いをAHPを通して定量化し表現したもとなる。そこで、この定量的な違いを利用し、開発と保全のバランスを考慮した相互調整図を作成する。この相互調整図は、将来にわたる土地利用構想・計画を最適化過程の中で調整していく、すなわち、土地利用上の計画合意形成領域を見出すこと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す(5章で詳述)。

表二 分級評価項目の設定

項目	農村的要因	都市的要因
設定するトレーニングデータの属する領域	・畑地 ・水田 ・樹林地	・住居地域
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

4. AHP を導入した分級評価アルゴリズム

(1) 従来までの分級評価図と土地利用構想図5)

表二に示した分級評価項目別に潜在因子モデルを用いて評価図を作成する。この処理は図一のSTEP1に相当する。作成された分級評価図を写真一1~写真一4に示した。色の意味は表三に示すとおりである。

さらに、評価主題を宅地開発として(写真一1)、その他の分級評価図(写真二~写真四:対立分級評価項目5)と呼ぶ)を組合せて土地利用構想図として出力した結果が写真一5である。これらの出力図は、潜在因子モデルを用いた今までの筆者らの研究内容である5)。

本研究ではさらにステップを進め、これら複数の分級評価図をAHPで使用する評価基準とし、開発指向、保全指向といった評価者の意向を反映できる新たな構想図を提案する。写真一5で示した従来までの構想図にはない有用な情報を内包していることを示す。

(2) 本研究の階層図の特徴

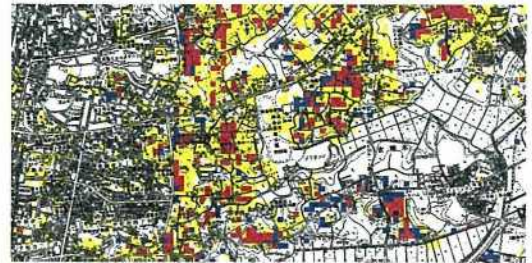
写真一5の土地利用構想図を作成する概念を図二に示した5)。図中のランク4は、宅地適性が有るだけでなく、さらに畑地、水田、樹林地の適性(対立分級評価項目)も「有」として判定される画素が対応することを意味している。開発者、保全者側いずれの立場から見ても良好な立地条件を有することから、土地利用の競合問題を含めて注意すべき箇所となる。

このような相互調整の必要性の有無を色分けして表示した点が提案した構想図の特徴であった5)。しかし、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4は開発抑制地となり、ランク1が開発候補地となる。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立場によって異なり一意的に決定できない。このことが計画意思決定上の問題の一つでもあり、政策上の様々な条件を考慮しつつ、計画調整、合意形成を支援する技術的方策が求められる。

この課題に対してAHPを適用する際に、図二の評価概念を階層図として表現する点が問題となる。どのような階層図にするのかによって評価結果の妥当性が左右



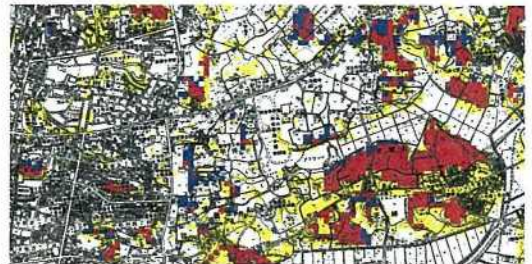
写真一 宅地適性分級評価図



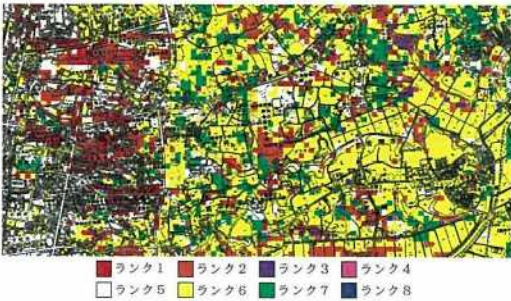
写真二 畑地適性分級評価図



写真三 水田適性分級評価図



写真四 樹林地適性分級評価図



写真五 従来の構想図⁹⁾(評価主題: 宅地開発)

表一 分級評価図上の4つの情報(例: 写真三)

対象データ		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。

され、土地分級評価のみならず階層図の構造については、AHP適用上の問題として指摘されている。

例えば、表一に示したアイテムを用いて土地利用適

ランク	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	樹林地適性	
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: □

図一 従来の構想図(写真五)作成概念

性評価を行う場合の一般的なAHPの適用方法を考える。各アイテムは、火山灰台地、谷底平野、黒ボク土、風化未熟土等といったカテゴリーに区分されているが、「地形因子」や「土壌因子」といったアイテムそのものをAHPの評価基準とし、カテゴリーを考慮に入れない事例が多い。これはアイテムをカテゴリーに細分化すると、AHPの一对比較の組合せが極端に多くなり、一对比較の回答が現実問題と整合がとれなくなることを避けた

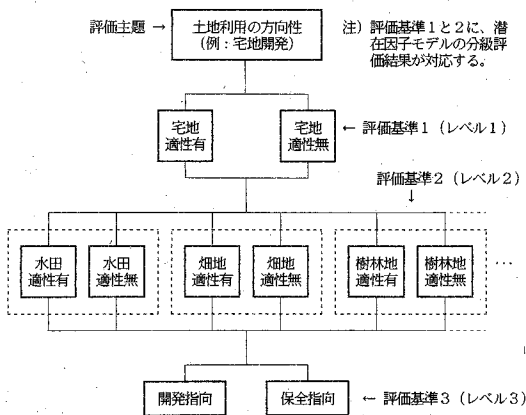


図-3 階層図として図-2を表現

めである⁹⁾。このことが2章で述べた AHP の適用限界と適用上の問題であり、AHP そのもののが担うべき役割が明確でないことに起因する。

そこで、本研究では、まず表-1のカテゴリーを用いて、潜在因子モデルによって分級評価図を作成し、これらを AHP の評価基準とする。これにより、土地のもつ性状の分析 (カテゴリー分析) を潜在因子モデルが受持ち、評価者の意向の分析を AHP が担うといったそれぞれの役割りが明確となり、上述した評価基準設定の問題にも対処できる。つまり、本研究では図-2 の概念をそのままの形で展開し、図-3 のような階層図とした¹⁷⁾。

写真-1 の宅地適性分級評価図上の画素の判別結果 (適性の有無) がレベル1 の評価基準に対応し、レベル2 の評価基準に写真-2 ~ 写真-4 の分級評価図が対応している。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。

(3) 一対比較の方法

AHP における一対比較結果は、評価者の立場や意向の違いに左右され、一意的に定まることはない。分級結果もこれにともなって種々の解を持つことになり、このことが逆に利点ともなる。しかし、複数の結果を単に横並びにして眺めただけでは、その解釈に限界があることは言うまでもない。そこで、本研究では一対比較を実施する上で、評価者の立場の違いを考慮した次の2つのタイプを用意することが重要と考えた。

①分離型評価：開発側、保全側といった評価者の立場を分けた上で、図-3の階層図に従って個別に一対比較行列を作成し評価するタイプ。計画策定者レベルでの評価プロセスに位置付ける。これにより作成される土地利

表-4 アンケート用紙の一例 (図-4のレベル2でのアンケート例)

質問：土地の性状が「宅地適性・有」という条件のもとで、宅地開発に際して、どちらの土地の性状を重要視しますか？ 該当する位置に○印を付けて下さい。

土地の性状 i	絶対重要	大変重要	やや重要	同じ程度	やや重要	大変重要	絶対重要	土地の性状 j
畑地適性有	+	+	+	+	+	+	+	畑地適性無 水田適性有 水田適性無 樹林適性有 樹林適性無
畑地適性無	+	+	+	+	+	+	+	水田適性有 水田適性無 樹林適性有 樹林適性無
水田適性有	+	+	+	+	+	+	+	水田適性無 樹林適性有 樹林適性無
水田適性無	+	+	+	+	+	+	+	樹林適性有 樹林適性無
樹林適性有	+	+	+	+	+	+	+	
樹林適性無	+	+	+	+	+	+	+	

表-5 一対比較値

要素 j と比べた要素 i 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
隣接する値の中間の値に使う	2, 4, 6, 8

注1) $a_{ii} = 1$, $a_{ji} = 1 / a_{ij}$
2) 表-5のアンケート用紙の結果から一対比較値 a_{ij} を読み取る。

用構想図は2種類であり、それぞれを開発指向側および保全指向側土地利用構想図と呼ぶ。

②融合型評価：開発者、保全者といった立場の区別は行わず、一対比較行列を作成し評価するタイプ。住民参加型の評価プロセスに位置付けられる。これにより作成される土地利用構想図は1種類であり、開発指向側か保全指向側かは、図-3に示した評価目標 (レベル3) である「開発指向および保全指向」に付与される総合重要度の値の大小に基づく。

このように一対比較方法の評価対象を区分しておくことによって、対象とする問題が一層明確になってくる。一対比較に際しては、標準化した理解しやすいアンケート用紙を作成し、多くの人々の意見が容易に反映できるように工夫することも必要となる。そこで、本研究では表-4のようなアンケート用紙を作成し、上記の分離型評価に基づく一対比較を実施した。アンケートをとる際に注意しなければならない点は、評価主題を明示した上で、質問に答えてもらうことである。

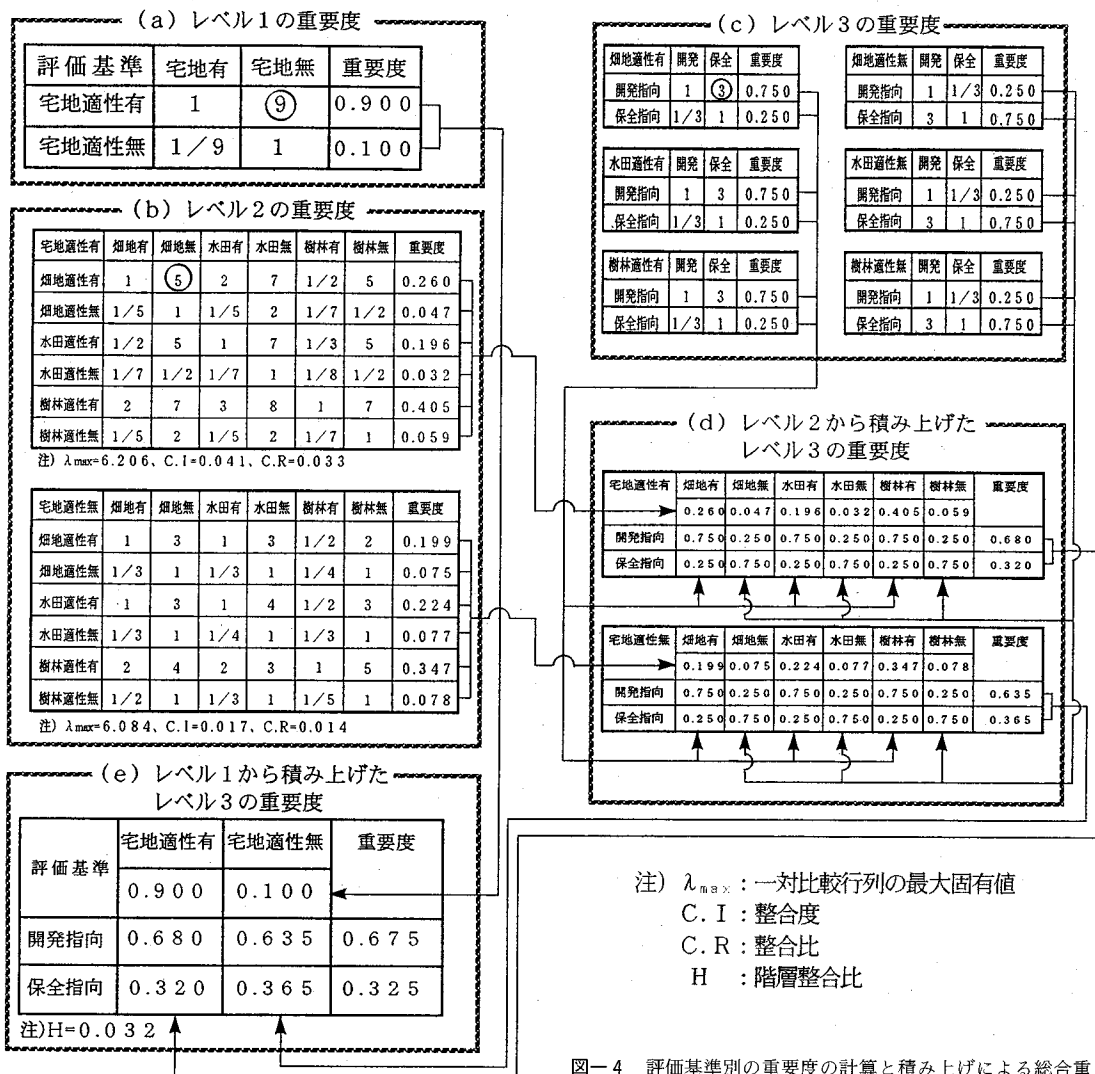


図-4 評価基準別の重要度の計算と積み上げによる総合重要度の計算（開発側）

表-4の例では「評価主題：宅地開発」を設定し、潜在因子モデルによって宅地適性有として判定された条件のもとで、図-3のレベル2の評価基準間で一対比較を実施することを示している。宅地適性無として判定された条件のもとでも質問を読みかえて同様にアンケートを実施する。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。

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多角的な視点から評価できる点が特徴とされているが、本研究では、まず第1にAHPを導入した土地分級評価アルゴリズムの構築とその効用について検討することを目的とすることから、一対比較行列の違いが分級評価結果へ及ぼす感度分析の精度の問題については検討

の範囲には含めていない。この点については「分級評価精度の向上」の問題として今後の課題としたい。

(4) 重要度と総合重要度の計算

図-3の階層図に対応する評価基準に付与される重要度の計算結果の全容を整理したものが図-4である。ここでは判りやすくするために開発者側の一対比較結果をとりあげた。各表が一対比較行列であり、AHPを適用する際に一般に提唱されている表-5のような一対比較値にしたがって作成される。レベル毎の評価基準の重要度とレベル間の積み上げ計算の過程が一目で把握できるように配慮してある。以下、図中(a)~(e)の順に重要度²⁾と総合重要度²⁾の計算過程を説明する。

a) 評価基準 1 (レベル 1) の重要度 (図-4(a))

図-4(a)で○印で指示した箇所は、9点の対比較値が付与されている。これは、潜在因子モデルによって「宅地適性有」と判定された箇所は、「宅地適性無」の箇所に比べて、宅地開発という評価において「極めて重要」と解釈される。つまり、宅地適性有と判定される箇所に対する評価者の開発指向が強くなることになる。

なお、対比較値は複数のアンケートによって得られた値の平均をとってある。重要度として宅地適性有には0.9、宅地適性無には0.1が付与されている。

b) 評価基準 2 (レベル 2) の重要度 (図-4(b))

図-4(b)の中の上段の表は、レベル1の宅地適性有という条件のもとに、レベル2の評価基準間で対比較を実施した結果である。一方、宅地適性無という条件のもとに、対比較を実施した結果が下段の表である。

表中○印で示した箇所は5点の対比較値が付与されている。これは、潜在因子モデルによって「宅地適性有かつ畑地適性有」と判定された箇所は、「宅地適性有かつ畑地適性無」の箇所に比べると、宅地開発候補地として「重要」と解釈される。つまり、開発指向寄りの重みが付与されていることになる。これは表-4で示したアンケート用紙で◎印を示した対比較結果に対応する。

重要度の値を見ると「樹林地適性有」が最も大きく、評価者は宅地開発候補地として樹林地の適性に注目していることが伺える。また、整合度および整合比ともに0.1以下であり、対比較結果の整合性は保たれていると言える。

c) 評価基準 3 (レベル 3) の重要度 (図-4(c))

レベル2の各評価基準に対して、レベル3の評価基準間で対比較を実施する。例えば、図-4(c)で○印を付けた箇所は3点の対比較値が付与されている。これは、潜在因子モデルによって「畑地適性有」と判定された箇所は、宅地開発に際して「やや重要」な候補地と解釈される。その他5つの評価基準も同様に解釈できる。

重要度の値を見ると、各分級評価主題において適地と判定された箇所には、開発指向=0.750、保全指向=0.250が付与されている。一方、各分級評価主題において不適地と判定される箇所に対しては、開発指向=0.250、保全指向=0.750が付与されており、全体として開発指向寄りの重みとなっている。

以上のような各レベルにおける評価基準間の対比較が完了した後に、最終目標であるレベル3の総合重要度を計算する。

d) レベル 2 から積み上げたレベル 3 の重要度の計算

図-4(d)において矢印で指示しているように、レベル2の重要度とレベル3の重要度を積和し、平均をとる。AHPでは、これを「レベル2から積み上げたレベル3の重要度」と言う。潜在因子モデルから得られる「宅地適

性有」と「宅地適性無」の箇所に対して、レベル2の評価基準別の重みを加味し、開発指向か保全指向かといった判断の重みを計算したことに相当する。

e) レベル 1 から積み上げたレベル 3 の総合重要度

さらに、図-4(e)の矢印で指示したように、レベル1の重要度と「レベル2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。開発指向=0.675、保全指向=0.325となっており、開発指向寄りの評価値が得られている。階層整合比は0.15以下であり、階層図全体としての整合性も保たれていると判断できる⁸⁾。

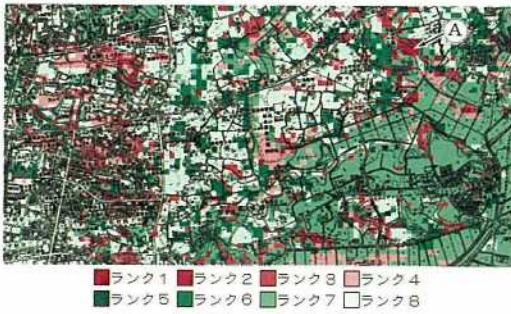
以上までは、「評価主題：宅地開発」に対する開発側の評価結果であるが、この評価主題に対して保全側の立場からも同様な処理を行うことができる。図-4のような積み上げ計算結果は、紙面の都合上割愛するが、総合重要度の値は、開発指向=0.349、保全指向=0.651となり、保全指向寄りの傾向が現れた。各レベルでの重要度の値も保全指向寄りの重みとなることが確認された。さらに、これらの定量的な違いを利用して本研究で提案する構想図の作成へと展開する。

(5) 開発指向側および保全指向側土地利用構想図

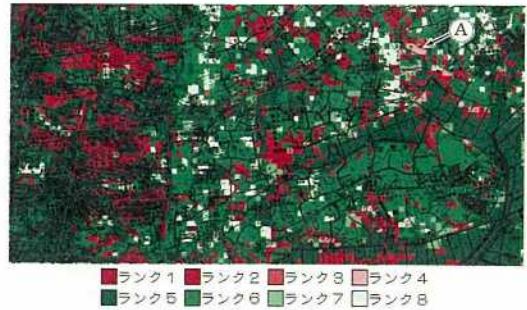
図-4に示した重要度の値は、評価主題を「宅地開発とした場合」の開発者側と保全者側の土地利用への意向を定量化して表したものと考える。そこで、図-2で示した組み合わせ事象に応じて、画素単位で重要度の和をとり、開発者と保全者の意向をそれぞれ評価図として表現してみた。これが本研究で提案する新たな土地利用構想図となる。その処理結果が写真-6および写真-7である。写真-6を「開発指向側土地利用構想図」、写真-7を「保全指向側土地利用構想図」と呼ぶこととする。

これら2種類の構想図の解釈は共通しており、表-6のように整理できる。例えば、写真-6において記号Aで指示した箇所はランク1とランク2を占め、開発意向の強い箇所として判定されており、宅地開発候補地となる。一方、保全指向側構想図(写真-7)では、ランク3とランク4を示し、現状土地利用の維持あるいは開発抑制の意向が反映されている。相互調整の必要性の有無のみを情報として表示した従来までの構想図⁹⁾(写真-5)だけでは、このような開発と保全といった評価者の意向の違いを図上で把握・分析することはできなかった。このことが、AHPを導入した潜在因子モデルの今までにない特色の一つとなる。

さらに、これら2種類の構想図を用いて開発側と保全側の計画合意形成問題を支援する「相互調整図」を提案し、AHPを導入した分級評価アルゴリズムの有用性と発展性を示す点が、本研究の第2の特徴となる。



写真一六 開発指向側構想図 (評価主題：宅地開発)



写真一七 保全指向側構想図 (評価主題：宅地開発)



写真一八 相互調整図 (評価主題：宅地開発)

表一六 写真一六と写真一七の解釈

項目	宅地適性有の領域	宅地適性無の領域
色付け	ランク1 ↔ ランク4 (濃赤) (薄赤)	ランク5 ↔ ランク8 (濃緑) (薄緑)
解釈	開発指向 強 ↔ 弱	開発指向 強 ↔ 弱

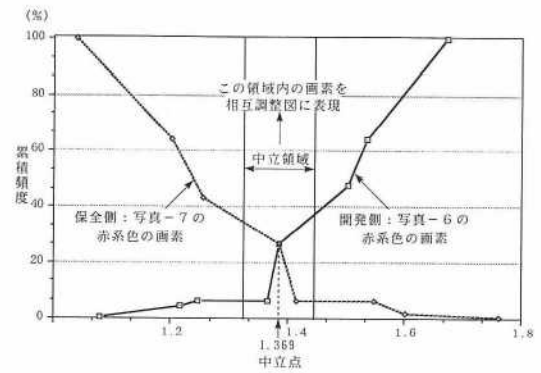
5. 相互調整図の提案

(1) 相互調整図の作成

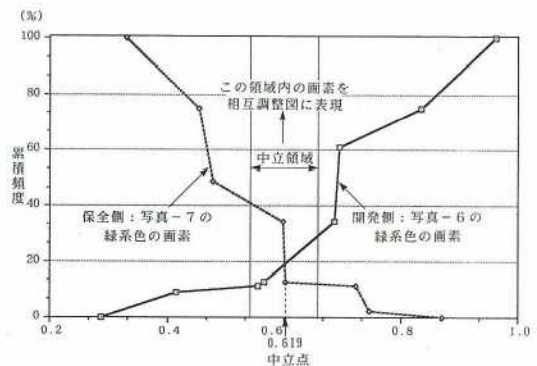
開発指向側と保全指向側の2つの構想図を相互に比較することによって、新たな土地利用の方向性を見出ししていくことが期待できるが、実際の計画意志決定に際しては、開発と保全のバランスを考慮した評価を支援することも望まれる。

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それぞれの意向を譲歩できる領域、すなわち個体に付与された数量を用いて両者の中立点を計算してみる。

具体的には図一五(a)と図一五(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、画素に付与された数量



(a) 宅地適性有の領域に対する処理



(b) 宅地適性無の領域に対する処理

図一五 相互調整図の作成概念

を横軸にとる。値が大きい程、開発指向傾向が強いことを意味することから、図一五の右側から開発指向側の累積頻度曲線を、左側から保全指向側の累積頻度曲線をとって両者が交わる「中立点」を計算する。

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ことは言うまでもない。中立

表一七 相互調整図の一般解釈 (写真一八参照)

相互調整図上の色付け (写真一八)	解 釈
赤 色	潜在因子モデルによって「宅地適性有」と判定された領域のうち、開発側と保全側の両者の意向が調整された後の開発候補地
緑 色	潜在因子モデルによって「宅地適性無」と判定された領域のうち、開発側と保全側の両者の意向が調整された後の開発候補地 (新たなトレーニングデータの候補地となる)

領域は一意的に決定することはできず、この領域の違いによって相互調整図上の結果が異なってくる。

本研究では、極端に狭い中立領域を設定することは避け、一例として中立領域を2ランク分の幅に設定して相互調整図を作成してみた。その結果が写真一八である。

なお、中立領域の設定問題については、AHPの感度分析とともに精度論的研究として今後の課題とし、本研究では相互調整図の標準的な解釈の内容を示した上で、土地利用計画策定上の支援情報としての有用性の有無に焦点を絞って検証を進めることとする。

(2) 相互調整図の解釈

相互調整図は写真一八に示すように、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、表一七のようにまとめられる。

a) 赤色の画素に対する解釈

潜在因子モデルによって「宅地適性有」と判定された領域のうち、開発側と保全側の両者の意向が調整された後の開発候補地と見なされる。写真一で宅地の適地と判定された領域よりもさらに絞り込まれていることが判る。保全側の意向がかなり反映された結果となっている。写真一五で示した従来までの土地利用構想図では、このような領域を抽出することはできないことは言うまでもない。農用地の保全政策、白地領域の線引き等、各種計画案と照合することによって、より一層計画上の問題が明確になってくる。

b) 緑色の画素に関する解釈

潜在因子モデルによって「宅地適性無」と判定された領域のうち、開発側と保全側の両者の意向が調整された後の開発候補地と見なされる。写真一で宅地の適性無と判定された領域の中から、新たな開発候補地を見出す上でも有用となる。例えば写真一八において記号Bで指示した箇所は宅地化が進んでいる。現地ではその周辺は樹林地となっているが、開発側の立場から見ると新たな開発候補地となり得る。その結果が緑色の画素として

現れており、規範的にトレーニングデータを再設定し、繰り返し試行検討を進める上でも相互調整図の情報は有用となることが判る。

評価主題の異なる複数の分級評価図を横並びにして眺めているだけでは、このような評価を展開することはできない。AHPを導入した相互調整図を用いることによってはじめて多角的な視点から分析できることが判る。

6. まとめ

本研究は、筆者らがこれまでに開発した土地分級評価モデル(潜在因子モデル)に階層化意思決定法(AHP)を導入することについての考え方を整理するとともに、AHPを導入した実用性のある分級評価アルゴリズムを構築したものである。得られた成果は次の3点にまとめられる。

①潜在因子モデルの中核をなす統計的処理機能(数量化Ⅱ類、ミニマックス2群判別)とAHPが担うべき役割を明確に区分した上で、新たな分級評価アルゴリズムを提案した。

②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AHPを導入した場合の評価基準として階層図を組み上げた(図一三)、評価主題を設定した上で(例:宅地開発)、評価目標を「開発指向、保全指向」とし、これに付与される総合重要度の値の大小によって作成される土地利用構想図を2種類に区分した。いわゆる開発指向側構想図と保全指向側構想図を定義・作成した(写真一六、写真一七)。この2種類の構想図を相互に比較することによって土地利用政策上の問題点が一層明らかとなり、土地利用計画、地域地区計画策定時に有用となることを示した。

③開発指向および保全指向の構想図上での違いは、開発・保全といった土地利用政策上の意向の違いをAHPを通して定量化し表現したものととなる。この定量的な違いを利用し、開発と保全のバランスを考慮した相互調整図を作成した(写真一八)。相互調整図は、将来にわたる土地利用構想・計画を最適化過程の中で調整していく、すなわち、土地利用上の計画合意形成領域を見出すこと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た。

本研究で示した出力図と分析結果を得るまでのアルゴリズムはシステム化されているが、今後はパーソナルコンピュータをベースとしたウィンドウ環境下において、GUI(Graphical User Interface)に優れた支援システムとしての設計・開発が課題となる。

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。この点に対しても本研究では一つの技術的方策を提示できたのではないかと考えている。

衛星データと地理情報の融合利用技術の開発、さらには AHP の適用分野の開拓といった研究は、いわゆる空間データの分析モデリング機能の開発として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) Lucas, L. F. and N. J. Marijke: Integrating Topographic Data with Remote Sensing for Land Cover Classification, *Photo Eng. and Remote Sensing*, Vol. 57, No. 6, pp. 689-697, 1990.
- 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) Thomas L. Saaty: *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, 1980.
- 8) 刀根薫, 眞鍋龍太郎: AHP 事例集, pp.34-36, 日科技連, 1990年7月.
- 9) 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.
- 10) 眞鍋龍太郎: 階層化意思決定法 AHP, オペレーション・リサーチ, Vol.31, No.8, pp.474-478, 1986年4月.
- 11) Abdullah. A, IKI. K and M. Morozumi: 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 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) 国土庁, 千葉県: 国土調査, 土地分類基本調査図 (千葉県), 1979年.
- 17) 大林成行, 小島尚人, 村上達也, 山森英俊: 土地分級評価における AHP 導入の考え方と問題点について, 土木学会第 50 回学術講演会概要集, 第 4 部門, pp.302-303, 1995年9月.

(1995.12.7 受付)

CONSTRUCTION OF THE LAND USE CAPABILITY CLASSIFICATION ALGORITHM APPLYING THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) METHOD

Shigeyuki OBAYASHI and Hirohito KOJIMA

The purpose of this study is to develop the new algorithm on the land use capability classification applying the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. In the land use capability classification model developed by ourselves in 1990, not only geographical information but also satellite data could be used. In this study, through the AHP method using the plural land use capability classification maps as the evaluation parameters, the algorithm to make the two kinds of the land use conception maps, which is called "the development type" and "the preservation type" respectively, was proposed. Furthermore, from both conception maps, "the mutual regulation map" considering the balance of development and preservation was newly drawn up based on the weight for the evaluation parameters calculated by the AHP method. This mutual regulation map is very useful for supporting the decision making for the future land use plan and planning.