

地理情報システムを用いたシステム分析的都市計画

中村英夫*・川口有一郎**・清水英範***・
 巖網林****・柴崎亮介*****

本論文は、都市計画の合理化に資することを目的に、システム分析的都市計画の重要性を示し、その実現方法について議論したものである。具体的には、都市計画における地理情報システム（GIS）利用の意義を踏まえ、これを要素とした総合的な都市計画支援システムの全体構成を明かにし、これを数理的最適化手法、知識工学、CAD等の技術を駆使して実現する方法、及びそれに基づくシステム構築の具体的な事例について述べている。

Key Words : geographical information system, city planning, systems analysis, mathematical programming, knowledge-base

1. はじめに

都市計画における従来の計画立案の方法にはいくつかの対処すべき課題がある。その1つは、計画案の合理性を明示的に示すことが困難なことである。すなわち、計画案の作成には計画者の経験的な知識や直感的な判断が不可欠である。しかし、これは恣意的なものであってはならず、その正当性を可能な限り客観的に説明しうるものでありたい。このような合理性を説明できないと、計画に関連する住民に無用な不信感を生じさせ、あるいは、一部住民の政治的恣意に対しても明確に反論し得ない場合が生じる。

いま1つは、大量かつ表現の異なったデータを取り扱わねばならないにもかかわらず、その管理、及び処理の効率性において問題があることである。そのため、主に時間的な制約から検討すべき代替案が限定されることになる。地図、航空写真、及び統計資料といった多様な形態のデータをより効率的に管理し、利用しうる方法の確立が望まれている。第3に挙げるべき課題は、計画立案作業に複雑に絡みあう多数の判断過程が存在することに起因するものである。すなわち、これら全体が各部分からなる過程として有機的に整理されていないため、部分的な修正や他の計画者による再現が極めて困難である。そのため、首尾一貫した計画過程として全体システムを構築することが必要である。

このような計画立案における問題を改善する一つの方法はシステム分析的アプローチを導入することである。すなわち、可能な限り客観的な評価のもとで多様な代替

案を体系的かつ効率よく作成することが可能な計画プロセスを作り上げることである。しかしながら、都市計画において、システム分析的アプローチによる計画案の作成は次の理由により困難とされていた。

① 多種多様な都市問題を適切かつ柔軟に取り扱うことが可能な意志決定支援システム等の科学的な手法・道具の開発が十分に行われなかった。

② 専門家の技術的判断や経験的知識は計画の策定に不可欠なものであるが、これを計画プロセスに合理的に取り入れる方法が確立されていなかった。

③ 計画分析に必要なとなる多種多様なデータの整備も、その処理方法も不十分であった。

しかし昨今では、地理情報システム（GIS）、及び設計支援システム（CAD）といった計算機関連技術の高度化、知識工学やファジィ工学等のヒューリスティックな情報処理分野の発展、さらに地図、土地関連資料、及び社会経済統計等の都市計画に関連する諸データの蓄積が充実してきている。そのため、システム分析的な計画立案方法を実現するための技術的な隘路が緩和されつつあると言える。

このような状況下で、本研究は主として現行の法定都市計画の作業を一層合理化すべく、可能な限りシステム分析的な方法を取り入れることを試みている。特に、各自治体でGISの整備が進められつつある現状を踏まえ、都市計画の策定作業にGISを有効に利用する方法を提案する。そこでは、まず初めに現在の都市計画の作業を行うに際し、GISがどのような機能を持ちうるのかを明らかにする。次に、このような情報システムを用いてシステム分析的な都市計画の立案を進めるための考え方、及びシステム構築の基本方針について議論する。さらに、代表的な法定都市計画の計画案作成業務を例としてとりあげ、その計算機支援システムを作り上げることを試みる。

*正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科
 (〒113 東京都文京区本郷7-3-1)

**正会員 工博 明海大学講師 不動産学部

***正会員 工博 岐阜大学助教授 工学部土木工学科

****正会員 工博 慶応大学助手 環境情報学部

*****正会員 工博 東京大学助教授 生産研究所第5部

2. 都市計画における GIS 利用の現状と課題

(1) 都市計画への GIS 利用の意義

都市計画には、地形、土地利用、交通、地価等に関する多種多様な情報を必要とする。これらの情報を計画の立案過程に有効に利用していくには以下のような課題が存在する。

① これらの情報は一般に各機関、部局に散在し、また実際には地図や台帳、統計資料等の多様な形態によって管理されている。したがって、まずこれらの情報の管理、更新を一元化し、必要とする情報を迅速に検索し、利用できるようにする必要がある。

② 地域の現状把握には、用途地域別の建物用途、幹線道路沿道の土地利用といったように、複数の内容の情報を組み合わせた検索や解析が不可欠であり、これを正確かつ迅速に行えるようにする必要がある。

③ 都市計画に関する情報公開、あるいは住民参加型の街づくりの必要性が叫ばれる昨今においては、計画決定事項や計画策定のための種々の分析結果を分かりやすく表現する必要性が高まっている。

GIS の都市計画への利用の意義は、以上のような課題を解消し、より効率的かつ正確な情報の管理、利用体制を計算機の支援によって実現することにある。

(2) 都市計画への GIS 利用の現状^{1), 2)}

わが国における都市計画への GIS の利用は、建設省の都市情報システム (UIS) 構想によって始まった。UIS 構想は、地理情報の管理、処理技術の開発を目的とした第 1 期 (昭和 50～56 年度) 及び、GIS を自治体に実際に導入することを前提に、その具体的な利用方法を探ることに主眼をおいた第 2 期 (昭和 60 年度以降) に分けられ、一貫して GIS の都市計画への利用に関する技術的な指針を作り上げてきた。UIS 構想では、第 1 期では北九州市と西宮市が、また第 2 期では大垣市、越谷市等が各々モデル都市に指定され、具体的なシステムの開発や利用方法が検討されてきた。またこの間、県レベルでは神奈川、千葉、兵庫等、また市レベルでは横浜、我孫子、松戸等をはじめいくつもの自治体では、UIS 構想の成果を踏まえつつも独自にシステムの開発と実用化を進め、GIS 導入のプロトタイプとしての役割を担ってきた。

以上のような GIS 利用の先進自治体の影響、また計算機関連機器の高性能化と低価格化等を背景に、現在では、都道府県、政令指定都市を中心に多くの自治体において GIS の都市計画への利用が何らか形で実現され、またそれ以外の自治体においても、GIS の利用を積極的に検討する段階に至っている。

自治体が GIS を導入するためには、計算機器に加え、データベース管理やデータの検索、表示等の機能を備え

たソフトウェアを整備する必要がある。この際、各自治体は GIS の利用目的や費用制約等を勘案し、相応のシステムを選択することになる。また、高性能なシステムを導入し、計画業務を高度に支援することを目的とする場合でも、その実際の利用に際しては、地図データ等の入力作業に膨大な労力と経費を要することから、一般には初期段階においては利用目的をある程度限定し、その実績を踏まえつつ、利用分野を拡張していくという方針をとるのが普通である。

このような背景から、GIS の実際的な利用形態は各自治体の事情によって少なからず特徴的なものとなる。これまで実用化されているシステムの利用形態は大方以下のように 3 つに分けられる。

a) 都市計画決定情報縦覧システム

地方自治体における窓口業務の 1 つに都市計画決定情報の縦覧がある。これは市民からの問い合わせに応じて用途地域等の地域地区、都市計画道路や市街地開発事業等の法定都市計画の内容を提供するものであり、従来から職員や市民が直接地図を調べることによって行われてきた。「都市計画決定情報縦覧システム」は、種々の都市計画決定情報をデータベース化し、行政側での管理業務を効率化するとともに、窓口業務による市民サービスの向上を図るシステムである。現在、横浜市、仙台市等で実用化されている。

このシステムの大きな特徴は、検索の直接的な対象となる都市計画決定情報のみをベクターデータ化し、地形図等の背景図はラスターデータとして管理していることである。地図のラスター化は、スキャナーによって容易かつ安価に行えるため、このようなシステムは今後急速に増えることが予想される。

b) 都市計画情報管理システム

各自治体は、都市計画法によって、都市計画に関する基礎的な情報の調査 (都市計画基礎調査) を定期的に実施し、その成果を上位機関に報告することが義務づけられている。都市計画基礎調査の項目は都市計画の立案に一般に必要な情報をほぼ網羅しており、従来これら多様な情報の作成、管理、あるいは報告のための統一様式への集計作業等に多大な労力が費やされてきた。「都市計画情報管理システム」は、この都市計画基礎調査をはじめとして都市計画行政における日常、定期的なデータの作成、管理、集計等のデータ処理を効率化することを目的としたシステムである。

このシステムでは、地図データの管理、処理が多用されること、町丁目や街区単位での集計作業が多い等の理由から、一般にはベクターモデルによる GIS が採用されている。またこれらのシステムを開発している自治体のほとんどが、都市計画の策定過程をより直接的に支援することを最終目標としているため、高度な空間検索機

能を有する GIS が導入されている。

c) 都市計画策定支援情報システム

このシステムは、上記の「都市計画情報管理システム」をベースとし、これを GIS の空間検索機能を十分活用することにより、計画案の作成や評価の過程に対して適宜必要な情報を提供しうるシステムにまで利用形態を高度化したものである。換言すれば、「都市計画策定支援情報システム」は、GIS の既存の機能のみによって実現可能な最高レベルの利用を目指すものである。しかし、わが国においてこの段階に至っているのは、いまだ UIS のモデル都市や一部の先進自治体に限られている。

これらの地域では、オーバーレイ処理、バッファ処理、ポロノイ分割、ネットワーク解析をはじめとする計算幾何学を駆使した情報処理を行い、土地利用の住工混在地区の検索、幹線道路沿道の建物用途の分析、駅圏の設定とその圏域内の人口分布の推定といった分析が試みられ、その結果が GIS の都市計画への利用例として各方面で報告されている。しかし、筆者らの見聞の範囲においては、これらは多分に GIS によるデータ処理のデモンストレーションの様相を呈し、その成果が法定都市計画の策定や見直しに実際にどのように利用されているのか、また今後どのように利用していくのかは明示されていない。

(3) GIS の都市計画への有効利用のための課題

これまで見てきたように、わが国における GIS の都市計画への利用は、いまだ計画担当部局の日常あるいは定期的な作業を GIS の既存の機能によって支援する段階にあり、その成果を計画案の作成や評価という、より高度な意志決定を必要とする過程に有効に利用しているとは言い難い状況にある。

このことは、多くの自治体がいまだデータベースの整備段階にあること、また現時点においては、GIS の利用も費用対効果が比較的明瞭に現れる日常業務にある程度限定せざるをえない、といった行政側の事情によるところが大きい。しかし、GIS での情報処理成果を計画策定過程に明確に反映させるための手法が確立されていないという技術的な問題もあり、将来的にはこの問題が GIS のより有効かつ広範な利用の大きな障害となることが予想される。

この問題を回避するには、都市計画における現況分析から計画案の作成、評価に至る一連の過程を支援する総合的なシステムを設計し、その中のサブシステムとして GIS を位置づけることが必要である。すなわち、GIS が計画案の作成や評価過程にいかなる情報を提供し、それがいかにして合理的に利用され計画策定へと結びつくのかを明確にすることが重要である。これにより、都市計画における GIS の役割、意義は不動のものとなる。そしてそのためには、従来ともすれば曖昧かつ恣意的と

なりがちな計画策定過程を、確固たる論理的な枠組みのもとに体系化し、システム化しなければならない。これが本研究でいう、システム分析的都市計画である。以上の課題が解決されなければ、GIS はデータベースやプレゼンテーションの道具としての域を脱することはできず、GIS によって都市計画を合理化するという目標を十分達成することはできないのである。

3. システム分析的都市計画とその支援方法

(1) 最適化過程としてみた都市計画

前章で述べたように現在の都市計画策定の最も重大な問題点は、この過程が体系的な統一した概念、手法のもとに組み立てられていないことである。すなわち、計画策定過程がブラックボックス化しており、なぜその計画案が良いのか、そのような案が導出されるまでにどのような判断がなされたのかを明示的に示すことができない。そのため、結果の再現性が確保できないばかりでなく、計画に対する代替的な要求がどのような影響をもたらすのかを明らかにすることができない場合もありうる。このことは、地元住民、関係部局、及び市町村議会等の合意を前提とする法定都市計画の決定において、これら計画に関連する多様な主体の利害を合理的に調整することを阻む一因でもある。

このような問題を改善する一つの方法は、都市計画の立案過程を計画目標への最適化過程という統一的、合理的概念によって捉え、これをいかに実現するかという観点から、従来の過程を整理・補強することによって、首尾一貫した計画過程を組み立てることであると考える。ここで最適化過程とは、与えられた条件のもとで目標を最大とする計画案を、① 計画問題の設定、② 解の探索、③ 解の評価、④ 解の改善といった体系的な手順に従って、より望ましい計画案を探索しようとするものである。この最適化過程はシステム分析的な手法の導入によって実行可能な計画策定過程として実現される。しかし、数理的最適化問題がそのままこの複雑な都市計画の計画案作成に通用しうるものではない、ということは言うまでもない。そこでは当然ヒューリスティックなアプローチをとらざるを得ない。そのため本研究では、人間と計算機の協同作業に基づく漸進的アプローチによって計画案を逐次改善する方法を提案している。

(2) システム分析的都市計画の実現方法

a) 基本的な考え方

本研究では法定都市計画のうちでも主として用途地域指定、および土地区画整理計画を議論の対象とする。これらを探り上げるのは第一に、計画的な都市を実現するために必要不可欠な計画であること、第二に、定期的に立案作業が行われる、あるいは実施する地区が多いこと、第三に、これらの計画の立案作業が住民の利害や権利に

表一 システム分析的な計画策定過程

計画策定過程		計画策定作業の例		システム分析的な策定作業		
		用途地域指定	土地区画整理	最適化過程	手法	具体的な技術
現況分析	現況把握	一地域現況の把握 ・市街化動向 ・土地利用分布 等	一地域現況の把握 ・公共施設整備状況 ・画地利用動向 等	計画問題の 設定	・情報管理 ・情報検索 ・情報表示	・GIS
	現況評価	一居住環境評価 (安全性、保健性、 利便性、快適性等)	一居住環境評価 (安全性、保健性、 利便性、快適性等)		・評価	・知識ベース (ファジイ推論)
計画案の 作成	初期案の 作成	一用途地域指定基準への 適性度評価 (土地分級)	一土地評価 ・路線価算定式 ・街区、及び画地の 評価	解の探索	・最適配置	・数理最適化問題 ・空間自動分割 アルゴリズム
	案の評価	一用途地域の配置 ・各用途地域の総面積 ・用途地域間の隣接関係 ・用途地域の規模・形状 等	一街区、及び換地の設計 ・減歩率、増進率 ・事業の採算性 ・照応の原則 等		・評価	・知識ベース (ファジイ推論)
	案の改善			解の評価と 改善	・感度分析	・CAD ・CG

直接関わることなどの理由による。

本研究では表1に示すように、これらの配置計画の策定過程を以下の部分的な過程に分けている。

(i) 現況分析

① 現況の把握 地域の問題発見といった観点から、より正確に現況の把握を行い、土地利用の用途、都市施設、及び街区等の配置を改善すべき地域を検討する。

② 現況の評価 ここでは安全性、保健性、利便性、及び快適性等の多種多様な観点から、可能な限り定量的に居住環境の評価を行う。

以上の結果に基づいて問題地区を選定し、計画の目標、および制約条件などを明らかにする。

(ii) 計画案の作成

① 初期案の作成 最適化の枠組みの中で客観的な手法によって自動的に初期案としての空間配置を行う。

② 案の評価と改善 初期案の作成において設定した計画目標の達成度、居住環境水準の向上の程度、及びこれらの評価過程で定式化あるいは明示的に考慮できなかった計画条件等のチェックといった観点から計画案を総合的に評価する。さらに、この評価結果に基づいて人間のヒューリスティックな判断に基づいて計画案の改善を試みる。

b) 用いられる主たる手法

(i) 現況分析

現況把握で扱うデータはその量が多く、地図、航空写真、報告書、数値データといった多様な形式をとっている。このことが分析作業を労働集約的なものとするため、主に時間的な制約から分析項目を限定する一因となっている。すなわち、これらのデータをいかに効率よくしかも統一した形式で扱うかは現況分析における重要な課題

となる。GISはこのような分析データを統一のかつ効率的に管理するうえで重要な役割を果たす。また、GISシェルとして汎用的に提供されているオーバーレイ解析、及びバッファ解析といった空間解析機能の利用は単に作業の効率化を図るばかりでなく、地区の状態をより正確に分析することを可能とする。

(ii) 居住環境の評価

居住環境の評価においては、住民の価値観、及び地区の実状に熟知した専門家等の知識を考慮することが必要であるが、これらを実地作業の中に客観的に取り入れることは容易なことではない。

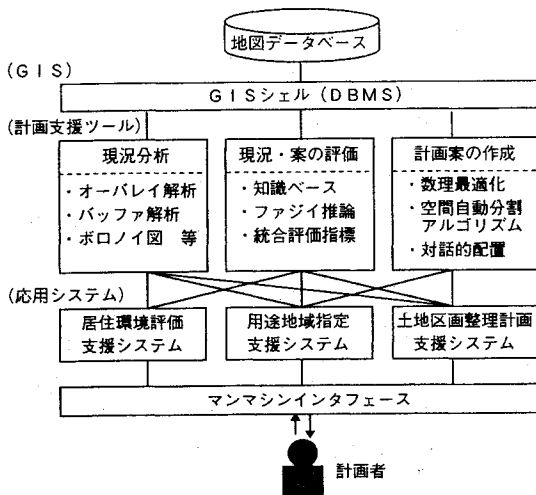
本研究ではこのような課題に対応して次の二つの方法を導入する。

① 評価を行う過程に知識ベースを用いた推論方法を導入する。計画者などの知識や住民の価値判断等を主体間の合意の上でIF-THENルール等の形式で収集して知識ベースとして計算機に蓄積し、それを用いて客観的かつ論理的に結論を導き出すことができれば、地区固有の条件にも柔軟に対応しうろうえ、しかも再現可能で明確な推論過程に基づいて計画案を評価することができる。

② 知識や判断に含まれる主観的な判断をよりの確に扱うために、ファジイ情報処理を導入する。言語的なあいまいな表現をファジイ集合のメンバーシップ関数として定量化するとともに、ファジイ推論を用いた新たな評価指標の統合化手法の構築を試みている。

(iii) 計画初期案の作成

用途地域指定、および土地区画整理における計画案の作成は、空間を分割することにより用途地域や画地の配置を明らかにするといった作業を基本的な内容としてい



図一 都市計画支援システムの構成

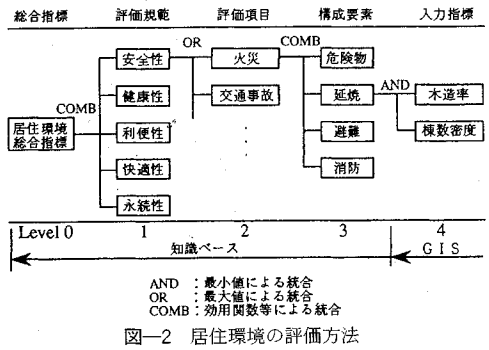
る。このような空間分割の問題は、分割する土地の最小単位を所与とするか否かによって2つのタイプに類型化できる。

① 最適割り当て問題による空間分割モデル 用途地域指定や市街化区域区分（線引き）においては、初期案の作成という観点からは、空間分割の対象となる最小単位の土地を画地や数十mのグリッドと考えても問題はない。このとき、空間分割問題は最適割り当て問題として定式化できる。このように実用上数理最適化問題として扱えるものについては、実行可能な解法を適宜、導入あるいは開発することによって近似解を求め、これを初期案として用いる。

② 空間自動分割アルゴリズム 区画整理の換地割り込みに代表される画地の配置を決定する空間分割問題は、事前に分割の最小単位としての土地を定義できず、形状、面積、及び画地相互の位置関係を同時に決定する必要がある。そのため、解析的な関数を用いた最適配置問題として定式化することは事実上不可能である。そこで、本研究では計画条件として与えた画地の面積、形状、位相関係等を可能な限り遵守しながら自動的に空間を分割し、配置を決定していくアルゴリズムを構築している。

(iv) 計画案の評価と改善

定量的な目標の達成度を検討する、あるいは周辺環境との調和、および景観といった定量化が困難な側面からの感度分析的にチェックすることによって案を評価し、この結果に基づいて案の改善を図る。ここでは大量のデータの効率的な処理、及びヒューリスティックな判断をよりの確に行うための計画案の視覚化等が不可欠となる。そのため、本研究ではこの作業に計算機との対話による設計手法を導入することになる。すなわち、CADあるいはCGとして標準的に整備されたソフトウェ



図二 居住環境の評価方法

ア・ツールを用いることにより、図形上の案の変更がこれに関連するデータ・ベースを修正し計画案の容易な変更を可能とする。あるいは、多様なグラフィック出力、3次元表現等を利用することにより計画案の分かりやすい表現を可能とする。

(3) 都市計画支援システムの構成

以上述べてきた本研究で提案するシステム分析的都市計画の策定過程の概要を図一に示す。システムは計画支援ツール、アプリケーション・システム、及びGISの3つの部分からなる。計画支援ツールは最適配置、対話による感度分析的な配置、及び知識ベースとファジイ推論を用いた評価を行うものであり、本支援システムの核をなすものである。また、アプリケーションは居住環境評価、用途地域指定、及び土地区画整理計画の3つの独立したサブシステムからなる。各サブシステムでは計画支援ツールの機能を組み合わせると共に、GISシェルを介して地図データベースと連動させることにより計画作業の効率的な支援を可能としている。

次章以下において具体的なシステム構築の事例として居住環境評価、用途地域指定、及び土地区画整理計画の3つの支援システムの概要について述べる。なお、紙幅の都合上、用途地域指定及び土地区画整理の各支援システムでは、初期案の作成過程を中心に記すことにする。

4. 居住環境評価システム³⁾

(1) 居住環境の評価方法⁴⁾

居住環境は地区の都市施設状況や住民活動等の多様な要因から構成されるものであり、その評価は地区の様々な固有条件及び住民の多様な価値観に柔軟に対応するものでなければならない。

そのため、まず多種多様な評価指標を明確な論理に基づいて整理し、分かりやすく利用のしやすい形式で体系化することが必要である。本システムにおいては居住環境の評価要因を図二のようなツリー構造を用いて記述する。評価ツリーの最下位の入力指標がGISと連結されており、地区の状況を示す多様なデータは構成要素→評価項目→評価規範といった順に統合化される。これ

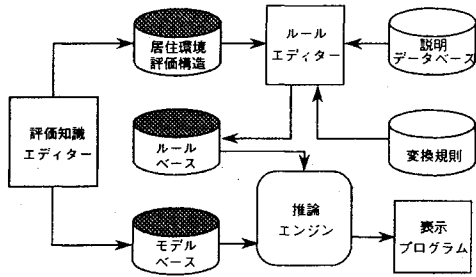


図-3 居住環境評価支援システムの構成

らの指標の統合に関しては、従来最大値法や最小値法、効用関数法のいずれかによって行われてきたが、住民の居住環境に対する多様な要求及び直感的な評価知識の取扱いに対応するために、本研究では各種の手法にファジイ推論を組み合わせた評価方法を提案している。

(2) システムの全体構成

評価システムは図-3のようにデータベース、知識ベース、及び推論エンジンから構成されている。データベースには地図データベースに加えて、ファジイ言語説明データベース、及び言語変換規則データベースが付加されている。また、知識ベースは評価指標を体系的に記述した居住環境評価ツリー、評価関数を管理するモデルベース、及び評価知識を構成するルールベースにより構成されている。推論エンジンはルールベースからファジイルールを作成し、地図データベースとモデルベースを用いて推論による評価を実行する機能を有している。

評価者はモデルベースを用いて住民の価値観に対応する統合規則を容易に指定することが可能であり、評価ツリーに基づいて体系的に評価指標を求めることができる。その際、評価情報に含まれる「快適である」、「景観がよい」といった感覚的な表現はファジイ集合のメンバーシップ関数によって定量的に扱う。このようなあいまいな情報を用いた評価指標の算出はファジイ集合の拡張定理に基づくファジイ推論を用いて行っている。

(3) 適用⁴⁾

構築したシステムを用いて鎌倉市深沢・腰越地区の居住環境評価を試みた。写真-1は評価ツリーを示している。評価項目の重みは写真中の各バーの長さで表現されている。評価ルールに関する情報はその指標を画面上でクリックすることにより容易に得ることができる。このとき、ルールエディタが起動され、ファジイルールやメンバーシップ関数が写真-2のように表現される。このようにメンバーシップ等の確認、及び修正も画面上で容易に行うことが可能である。

居住環境の総合評価指標を推論した結果を写真-3に示す。計画的に開発された一戸建て住宅地や街路景観の整っている地域が高い水準にあり、これとは対照的に木造住宅の密集する南西部や工業と農業が混在する北部は

最も低い居住環境水準にあることなどが示されている。

このような評価システムを用いることにより、ある計画目標（評価視点）からみた地区間の居住環境の比較、居住環境の整備を必要とする地区の抽出、さらには整備効果の検討、整備計画案の比較等を効率的かつ正確に行うことが可能となり、多様な主体間での合理的な合意形成に資することができる。

5. 用途地域指定支援システム

(1) システムの構成⁵⁾

用途地域指定は、都市計画法等によってその大枠が規定されている各用途地域の設定基準に基づいて行われる。また、各用途地域の総面積は市町村等の上位計画によってその概要が決められるのが一般である。すなわち用途地域指定の問題は、この面積制約のもとに、各用途地域の設定基準に対する個々の土地の適性度をなるべく大きくするように、各土地に用途地域のいずれか1つを割り当てる、以下のような最適化過程として表現することができる。

$$\min. f(x) = -\sum_i \sum_s U_{is} X_{is} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{s.t. } A_s - \sum_i a_i X_{is} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

U_{is} : 用途地域 s に対する土地 i の適性度

X_{is} : 土地 i の用途地域 (s ならば 1; s でないならば 0)

A_s : 用途地域 s の総面積

a_i : 土地 i の面積

ここで、各用途地域の設定基準の内容には、既存の土地利用や社会基盤整備の状況等、計画策定の外的要因に関する基準に加え、用途地域間の隣接関係や用途地域の規模・形状等に関する基準のように、計画案が示されてはじめて評価が可能になるものが含まれている。したがって、適性度評価は本来上記の最適化過程に内生化される。しかし、計画の初期案を作成するという観点からは、この問題を以下のような2つの独立な問題に分けて考えても構わないだろう。

① 外的に与えられる土地特性のみによって、用途地域 s に対する土地 i の適性度 U_{is} を評価する問題。

② 適性度の評価結果を所与とし、さらに用途地域の隣接条件や規模・形状条件を考慮した最適化過程によって、土地 i の用途地域 X_{is} を決定する問題。

本研究では、用途地域指定支援システムを以上の過程を支援する2つの独立なサブシステムから構成し、これにより計画初期案を作成する。

(2) 支援手法の概要

a) 適性度評価支援システム⁶⁾

適性度評価においては、各用途地域の設定基準からなるべく忠実に IF-THEN ルールによる知識ベースを構

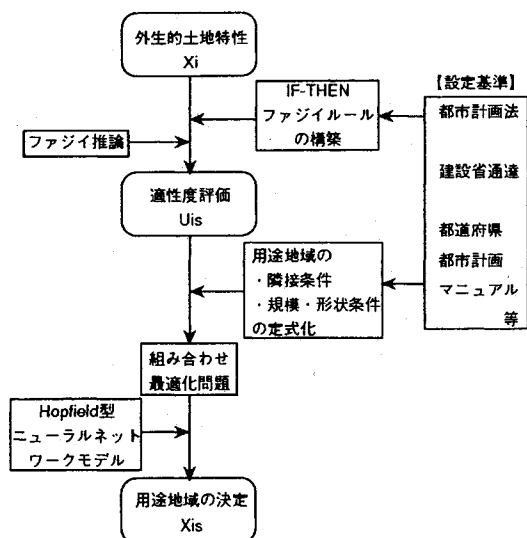


図-4 用途地域指定支援手法の概要

築し、ファジィ推論によって評価を行う方法を構築している。ルールは各々明確な意味を有し、推論すなわち評価の過程を分かりやすく説明することが可能であるため、計画案の解釈や地域住民との意見交換に有効である。

なお、知識ベースの構築、ファジィ推論等の具体的な方法は、居住環境評価支援システムと同様である。

b) 用途地域決定支援システム⁷⁾

用途地域の決定問題は、式(1)、(2)にさらに用途地域の隣接条件や規模・形状条件等を加えた多目的な最適化過程である。本研究ではこの過程を可能な限り合理化するため、これを数理的最適化問題として扱う。もちろん、定式化等は逐次変更し、試行錯誤的な計画案の作成を行うことが前提である。

この最適化問題は、各土地に用途地域のいずれかを割り当てる、組み合わせ最適化問題であり、巡回セールスマン問題等と同様なNP完全問題である。しかも想定する土地の数は数千、数万のオーダーとなる。従来このような問題を数理的な最適化問題で解くことは事実上不可能であり、結果としてこの過程の計算機支援の方法に関する研究は皆無であった。本研究では、Hopfield型ニューラルネットワークモデルを援用した実用的な近似解法を構築している。

以上述べた用途地域指定支援手法の概要を図-4に示す。

(3) 適用⁸⁾

横浜市港北区を対象として用途地域指定支援システムを構築した。

写真-4は本研究で構築した手法による用途地域指定案を示す。一方、写真-5の赤色部分は指定案と現行指定状況との食い違い部分を示しており、また写真-5の

2つのウィンドウは、北東部での現行の指定状況と指定案(右)の比較である。このようにGISの利用によって計画案の表示や現行の指定状況との比較をきわめて容易に行うことができる。これらの比較は、用途地域指定の見直しに際して十分に有効な資料となりうるものと考ええる。

6. 土地区画整理計画支援システム

(1) 基本的な考え方⁹⁾

土地区画整理の計画は街区の配置を決定する街区設計、事業前の画地を換地として配置する換地設計といった2つの手順からなる。この2つの過程は以下のような最適化過程として表現することができる。

$$f_1(x^*, y'(x^*)) = \max. f_1(x, y'(x)) \dots\dots\dots (3)$$

$$s. t. g_1(x, y'(x)) \leq 0 \dots\dots\dots (4)$$

$$f_2(x, y'(x)) = \max. f_2(x, y) \dots\dots\dots (5)$$

$$s. t. g_2(x, y) \leq 0 \dots\dots\dots (6)$$

x : 街区(道路網、公園等を含む)の配置

y : 新画地(換地)の配置

f_1, f_2 : 各配置計画における目的関数

g_1, g_2 : 街区及び換地の配置の制約条件

$y'(x)$: 与えられた x のもとでの換地設計のパラメトリック最小解

ここで、式(3)の目的関数の内容は道路、公園等の公共施設の整備改善の効果を最大とするもの、あるいは事業のコストを最小とするもの等の多様な目標からなる。また、換地設計では照応の原則に基づいて地権者間の公平性を確保するといった観点から、式(5)の目的関数は各画地の減歩率、土地増価の程度、および事業前後の移動距離等の分散をなるべく小さくするといったものから構成される。なお、事業の効果や土地の増価は路線価に基づく土地の評価によって求められる。

計画の初期案を作成するといった観点から、この問題を以下のような3つの独立な問題に分けて考える。

① 地区全体の総資産価値を可能な限り大きくする街区の平面配置案を作成し、この案を所与として事業コストを最小とする土地造成案を決定する問題。

② 街区の配置を所与として、事業前の画地を各街区に割り当てる。さらに、この結果に基づいて街区を分割することにより画地の新たな配置を決定する問題。

③ 外性的に与えられる土地の条件によって、事業前後の街区および画地の土地の評価値を求める問題。

土地区画整理計画支援システムを以上の過程を支援する3つの独立なサブシステムから構成し、これにより初期案を作成する。

(2) 支援手法の概要

a) 街区設計支援システム⁹⁾

街区の配置案作成の支援は対話的な設計と自動設計を組み合わせて行う。すなわち、人間によって与えられた区画道路の中心線、都市施設用地の境界線等のデータを用いて計算機が街区の平面配置案を自動的に作成する。さらに、この案に基づいて土地の評価値がデータベースを介して c) で後述する土地評価支援システムにより求められる。地区全体の土地の評価値を最大とする案は以上の手順を試行錯誤的に反復することによって行う。ここでは配置の変更がこの評価値に及ぼす影響を容易にチェックすることができる。

一方、造成地形の決定は街区の平面配置案に道路網の各点、および各街区に計画高を付与する問題と考えている。まず、道路高を決定する手順を総土工量および地区全体の平均勾配を最小化する問題として定式化し、この問題を解くことにより道路高を求める。次に、道路高を所与とし、さらに街区の法勾配や高低差等の条件を用いて計算機が自動的に造成地形を作成する。

b) 換地設計支援システム¹⁰⁾

(i) 換地の街区への割り当て¹¹⁾

一般に、街区と画地の組み合わせをを求める作業是一群の画地の移動がなるべく小さく、しかも減歩率のバラツキをなるべく小さくするように行われる。そのため、この手順を画地の総移動距離、及び減歩率の分散の最小化を目的関数とする最適化問題として定式化している。

なお、画地と街区の増加に伴いその組み合わせ数が指数関数的に増大するため、5. の用途地域指定支援システムと同様に Hopfield 型ニューラルネットを援用した近似解法を作成している。

(ii) 換地の割り込み¹⁰⁾

この作業は事業前の画地の位置、形状、および地積などを考慮して、画地の新たな配置を求めるものである。ここでは、事業前の画地相互の相対位置を保持したままで、ある一定の地積や形状を確保するように街区を分割することが要請される。

画地の配置パターンや形状を解析可能な関数として定式化することは困難である。そこで本研究では図-5に示す2分木モデルを用いて計画条件を満足するように街区を自動分割するアルゴリズムを作成している。図-5に示すように、既存の画地の配置パターンは画地の面積比によって街区を再帰的に2分割する側境界線を構造化した2分木として表現される。この2分木に表された分割パターンを街区にあてはめ、側境界線を描くことにより街区を自動的に分割する。ここでは、街区を分割するルールに街区構成線と側境界線の直交条件等を入れることにより、画地の形状条件を確保している。

c) 土地評価支援システム¹²⁾

土地評価では、路線価を求める過程で IF-THEN ルールによる知識ベースを構築し、ファジイ推論によって路

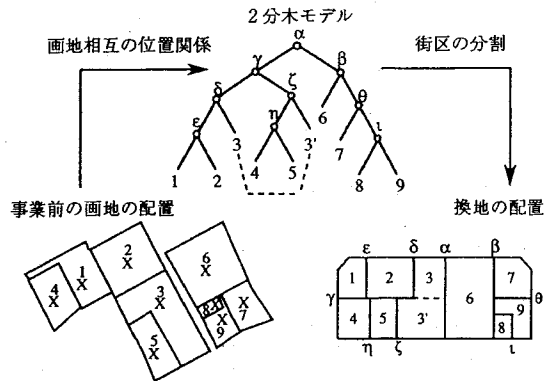


図-5 2分木モデルによる換地の割り込み

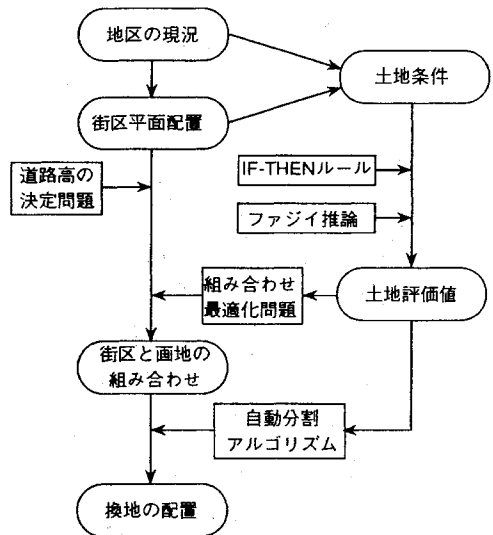


図-6 土地区画整理計画支援手法の概要

線価の評点付けを行う方法を作成している。さらに、この路線価と GIS の位相データ等を用いて街区および画地の評価値を自動的に求める方法を構築している。

なお、知識ベースの構築、ファジイ推論等の具体的な方法は、居住環境評価支援システムと同様である。

以上述べた土地区画整理計画支援手法を図-6に示す。

(3) 適用⁹⁾

千葉県八千代市の約 40 ha の地区を対象として土地区画整理計画支援システムの適用を行った。

街区の配置案の作成ではグリッド、及びループ等の多様な街区形態のパターンを容易に試行することができる。写真-6はその一例である。この案に基づいて土地評価、及び造成計画を行った結果をそれぞれ写真-7、写真-8に示す。また、写真-9は最適化手法、および2分木モデルを適用した結果を示す。さらに、街区を一部変更し再度、換地設計を行った結果を写真-10(右下)

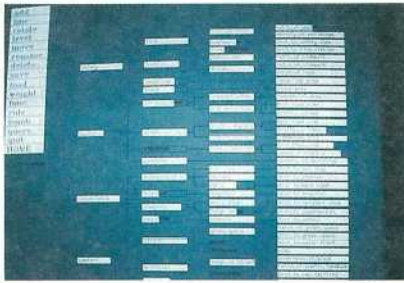


写真-1 居住環境評価ツリー

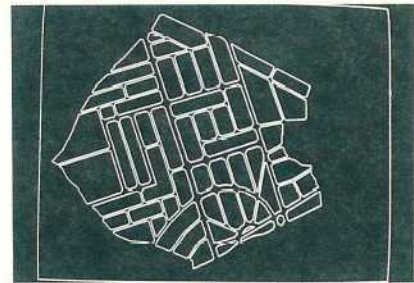


写真-6 街区の配置

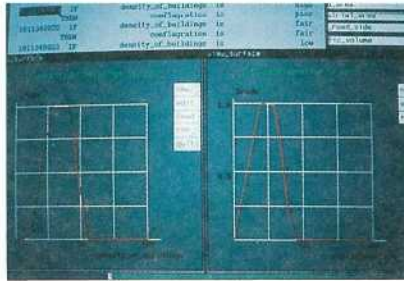


写真-2 メンバシップ関数の修正

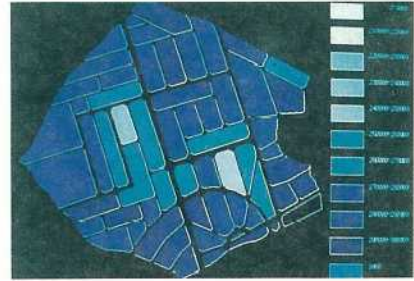


写真-7 土地評価の結果

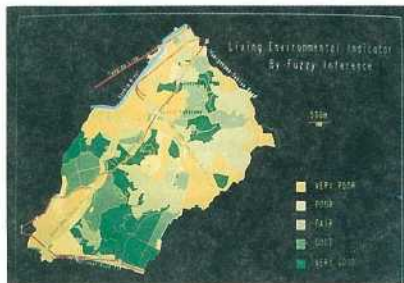


写真-3 居住環境評価の結果

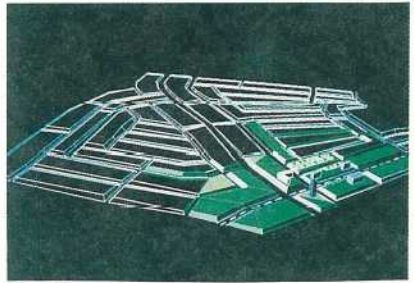


写真-8 土地造成案の表示



写真-4 用途地域指定案

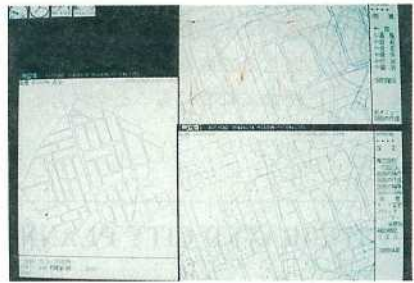


写真-9 街区および換地の第一次配置案

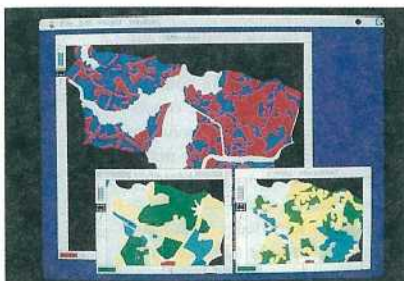


写真-5 指定案と現況との比較

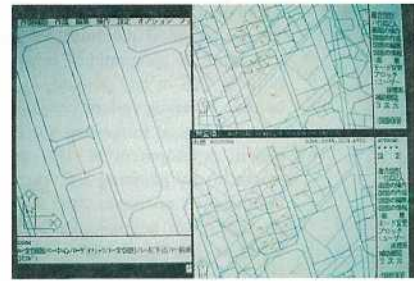


写真-10 第一次配置案の改善

に示す。そこでは減歩率及び換地の総移動距離が小さくなっている。従来の手法では、街区の案に対するこのような代替的な要求が換地に及ぼす影響を明示的に示すことは困難であった。

なお、写真—8に示されるように本システムでは2.5次元的な建物モデルを扱う機能を有している。そのため、図—5に示した2分木モデルにおいて、換地の配置を建物の床配置に置き換えることにより立体換地、及び市街地再開発事業との合併施行等に適用することは容易である。

5. おわりに

都市計画へのGIS利用の重要性がしばしば語られる。実際、多くの自治体においてGISの都市計画への利用が試みられ、計画策定作業の一部を効率化している。しかし、GISはあくまで情報の管理、検索、及び表示のための道具であり、これ自体が都市計画において問題とされる恣意性や曖昧性を排除するものではない。GISという画期的な技術を都市計画の合理化に真に資するためには、情報管理から計画策定までを一貫した論理的な枠組みの中で体系化し、GISを構成要素として明確に位置づけた都市計画支援システムの構築が必要である。

筆者らはここ数年来、このような計画支援システムの実現に向け、法定都市計画を具体的に支援するシステムの研究開発を通して多くの議論を行ってきた。本論文はこれらの一連の研究を集めて整理し直したものである。今後は構築したシステムを実際の計画作業に積極的に応用し、ここで提案したシステム構築の理念から逸脱しない範囲で実用性を高めたいと考えている。

なお、本研究は東京大学測量研究室の多くの学生諸氏の協力を得て行ったものであり、本研究の成果には彼らの貴重なアイデアが含まれていることを付言しておく。

参考文献

- 1) Nakamura, H. and Shimizu, E. : Development and Utilization of Geographical Information Systems in Urban Management-Reviewed from Examples in Japan, Geo-Information-Systeme, Vol.3, No.3, pp.3~9, 1990.
- 2) 中村英夫・清水英範：地理情報システムの開発、利用動向と将来展望、都市・地域計画における地理情報システムの利用に関するワークショップ、日本測量協会、pp.5~17, 1991.
- 3) 巖網林・中村英夫・柴崎亮介：居住環境整備計画支援システムの開発と利用、土木計画学研究・講演集、No.14, pp.679~686, 1991.
- 4) 巖網林・中村英夫・柴崎亮介：市街地整備のための居住環境評価支援システム、都市・地域計画における地理情報システムの利用に関するワークショップ、日本測量協会、pp.61~71, 1991.
- 5) 清水英範：用途地域指定支援システム、都市・地域計画における地理情報システムの利用に関するワークショップ、日本測量協会、pp.43~60, 1991.
- 6) 清水英範・巖網林・中村英夫：知識ベースに基づく用途地域指定支援システム、土木学会論文集第425号/IV-14, pp.107~115, 1991.
- 7) 清水英範・河合毅治：分級結果に基づく最適ゾーニング問題、土木計画学研究・講演集、No.14, pp.441~446, 1991.
- 8) 川口有一郎：最適化過程としてみた土地区画整理計画、都市計画学会論文集、Vol.27, pp.241~246, 1992.
- 9) Kawaguchi, Y., Nakamura, H. and Shibasaki R. : A Computer Aided Design System for Land Readjustment Planning, ICCCB, pp.199~206, 1991.
- 10) 川口有一郎・中村英夫・柴崎亮介：土地区画整理設計支援システムの開発、土木学会論文集第425号/IV-14, pp.193~202, 1991.
- 11) 堤盛人・川口有一郎：土地区画整理設計のための対話型換地モデル、土木学会第46回学術講演会講演概要集、pp.658~659, 1991.
- 12) 川口有一郎・谷下雅義・清水英範：土地情報システムと知識ベースを用いた土地評価支援システム、応用測量論文集、Vol.3, No.1, 日本測量協会、pp.67~74, 1992.
(1993.6.14 受付)

A GIS INTEGRATED CITY PLANNING SYSTEM BASED ON SYSTEMS ANALYSIS

Hideo NAKAMURA, Yuichiro KAWAGUCHI, Eihan SHIMIZU,
Wanglin YAN and Ryosuke SHIBASAKI

This paper shows the importance of city planning based on systems analysis and discusses the technical measures for its realization, in particular, from the viewpoint of the utilization of geographical information system (GIS). From the status quo of applications of GIS in city planning, it is emphasized that the development of more comprehensive planning system integrated with GIS is inevitably required, and that the consistent and logical framework for the system structure should be developed. The policy of system development in this study is the optimization to planning goals. The major works in city planning are rearranged into concrete processes according to the practical optimization processes: the search, evaluation and improvement of solutions. The applicabilities of technologies such as mathematical programming, knowledge-base, and CAD to each process are examined. The practical examples of computer systems for 1) evaluation of residential environment, 2) zoning plan and 3) land readjustment design are shown.