

# 土地区画整理設計支援システムの開発

## A COMPUTER AIDED DESIGN SYSTEM FOR LAND READJUSTMENT PLANNING

川口有一郎\*・中村英夫\*\*・柴崎亮介\*\*\*

By Yuichiro KAWAGUCHI, Hideo NAKAMURA and Ryosuke SHIBASAKI

The objective of this paper is to develop a computer aided design system for land readjustment planning. The system consists of three subsystems. The subsystems are for block configuration design, replotting design and estimation of land parcel value respectively.

The characteristics of the system are : optimization techniques incorporated for making design alternatives, man-machine system for improving design alternatives interactively, fuzzy expert system for evaluating them and a spatial database based on GIS (Geographical Information System) for managing land information. Binary tree model for representing the relative position of land parcels is proposed for effectively supporting replotting design process. The practicality of the system is demonstrated through a case study using the prototype.

*Keywords* : land readjustment planning, computer aided design, geographical information system, fuzzy expert system

### 1. はじめに

土地区画整理における従来の計画・設計の方法には、いくつかの問題が存在する。煩雑な設計作業を要するこの仕事に際して、手作業にたよる部分が多く、そのため検討し得る代替案が限定されてしまうことがその1つである。その作業過程においては、地区の地理的条件、上位の都市計画あるいは施行地区内の住民の意向といった多種多様な条件を考慮したうえで、設計対象としてきわめて複雑な街路網の配置、街区の構成および画地の組合せ等を扱わねばならないのである。

また、設計の客観性においても問題があるとの指摘もされる。これは換地において権利者間の公平性を確保する「照応」の解釈や、設計の根拠となる土地評価における評点作業の方法が必ずしも明確ではないため、十分に客観的な判断を下すことが困難であるからである。そのため、地権者に提供される技術的な情報が不十分であることもあって、計画者と地権者間に無用の不信感を生み

出す場合もある。

このような計画策定における設計方法上の問題を改善する1つの方法は設計案を効率良く、しかも客観的な評価のもとで作成でき、また結果がわかりやすく提示できる計算機支援システムの導入であると考えられる。従来から土地区画整理の設計業務に関していくつかの計算機システムが開発されてきた<sup>1),2)</sup>。しかし、これらの多くは測量データや権利関係データを用いて、たとえば換地の権利価格や清算金の勘定といった帳票計算を主体としたもの、あるいはドラフターの代わりに計算機を用いて製図作業を行うものといった個別作業を支援するシステムである。そのため設計作業を部分的に効率化したにすぎず、代替案作成における合理性および客観性等を向上したとはいいがたい。

本研究は以上のような問題意識のもとに、土地区画整理の設計支援の方法論を整理し、それに基づいてこの設計作業を有効に支援し得る合理的かつ実用的な計算機支援システムを提案しようとするものである。

### 2. 設計問題としてみた土地区画整理設計

#### (1) 土地区画整理の計画立案過程

土地区画整理事業における計画作業は、おおむね次の手順に従って多段階の設計過程として進められる。

\* 正会員 工修 読売東京理工専門学校助教授 土木工学科 (〒108 港区芝 5-26-16)

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

\*\*\* 正会員 工博 東京大学助教授 工学部土木工学科 (同上)

① 対象地区の広域的な位置づけや市街化の進行状況などの調査に基づき、居住環境上の問題点を整理し、計画立案に際して考慮すべき前提を明らかにする（現況調査）。

② 現況調査の結果をもとに、土地利用計画、交通計画、および、供給処理施設計画等を立案し、市街地整備の基本方針を明らかにする（基本構想）。

③ 上記の基本構想を具体化するために、街路網の配置、街区構成および公園などの配置・形状を決定し（街区設計）、加えて事業採算の見通しを立てる（事業計画）。

④ 上の案について審議会などの諮問を経た後、都市計画として決定する（都市計画決定）。

⑤ 街区や個別の土地の評価および、換地設計を行い、地権者の同意を得たのち、具体的な工事計画を立てる（換地計画）。

以下においては、上記③の街区設計と⑤の換地設計とを総称して土地区画整理設計とし、本研究で開発する計算機システムの支援の対象とする。

## （2）土地区画整理設計問題の構成とその特徴

土地区画整理の設計は、与えられた条件のもとで、目標を最大限に満たすように都市空間の構成を決定する作業である。ここでの目標とは、その地区の安全性、保健性、利便性、および快適性などの多数の目的から構成されるものであり、都市空間の構成とは街路網、公共施設の配置あるいは画地の用途、形状および位置などである。また、多目的からなる目標の望ましい方向は当然、事業実施者、地権者、および自治体などのこれに関与する主体によって異なる。そのため、設計案の決定に際しては、これらの主体間の利害の調整が最も重要な課題となる。

土地区画整理設計は、前記のように一般に多段階の設計システムである。ここでは図一のように基本構想、街区設計、換地設計が段階的に行われ、前段の設計結果は下段の設計に対して前提条件として扱われるのが通例である。これは、全体における設計変数が膨大であること、また、その設計変数の他への影響の度合いが全体的なものから部分的なものとしてきわめて多岐にわたることなどによる。各段階の設計においては、与えられた設計

条件のもとで、多目的からなる評価関数を最大のものにする方向で設計変数の値を求めようとする。表一は、このような土地区画整理設計の各段階における設計条件、設計変数、および評価関数を示すものである。

また、ここでの各評価関数を目的関数とすればこの設計は多目的最適化問題と考えることができる。しかしながら、表一に整理した評価関数は居住環境の水準、費用負担の公平性、さらには地区周辺との調和や地権者の意向といったきわめて多様でしかも適切な計量化が困難な要素をも含んでいる。また制約条件も多く、しかも数量化しにくいものが少なくない。また、道路、街区、画地の配置といった膨大な設計変数の組合せは、たとえ定式化し得たとしても最適化問題としてこれを解くことを実用上不可能としている。

## 3. 土地区画整理設計の支援方法

### （1）基本的な考え方とその実現方法

前章で整理したように区画整理設計を数理的な最適化問題としてとり扱うことはきわめて困難である。しかしながら、設計案の決定に関連する主体間の利害をより合理的に調整するためには、この設計案の作成は最適化という論理の枠組みの中で行われるべきであり、しかも現実の作業としても実用が可能なるものであることが必要である。そこで、取り得る1つの方法は次のように多数の比較設計を通してより改善された設計案を見出すことである。すなわち、設計案の決定において検討すべき多種多様な代替案を多様な規範の下で想定し、これらを可能な限り客観的に比較評価することによってより改善された設計案を見出そうとするものである。土地区画整理設計を計算機で支援する目的は以上のような比較設計をより少ない人手や時間で行うことを可能とすることであり、そのために本研究では次の方法を取り入れる。

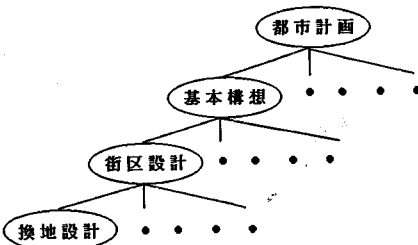
① 人間と計算機との相互の対話により設計の効率化を図り、さらに計算機の計算処理能力と人間のもつ経験的知識や総合的判断力の双方を適切に利用することを目指す。

② その際、問題の単純化が可能でその解が一次近似解として有効なものは、可能な限り数理的な最適化問題として定式化し最適解を求める方向を目指す。

③ 土地評価の過程においては経験的知識を利用するために知識ベースを作成し、それを用いて経験的かつ客観的な推論を可能とするエキスパートシステムを取り入れる。

④ 設計には各土地に関する膨大なデータを必要とする。このデータの処理には汎用的に整備された地図データベースを利用することを考える。

以上の4つの考え方を必要に応じて、またこれを組み合



図一 土地区画整理設計のハイアラキ

表一 土地区画整理における多段階設計問題

	設計条件 $g(x)$	設計変数 $x$		評価関数 $f(x)$
基本構想	<ul style="list-style-type: none"> <li>上位計画等による条件 広域計画（土地利用、交通等） 都市計画（市街化区域等） 開通計画（公共下水、河川等）</li> <li>物理的に規定される条件 概略の地形、地質、水準等 地区の位置、面積等 周辺の状況（諸施設の配置等） その他</li> <li>法的に規定される条件 自然環境保全法によるもの その他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人口 ・住区</li> <li>幹線道路 ・土地利用</li> <li>公園緑地 ・公益施設 ・供給処理施設 ・排水路等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画人口、世帯数 近隣住区の範囲、規模 概略位置、幅員構成等 各用途の概略配置 遊歩公園、幹線緑道等 の概略配置 種類、概略配置等 種類、概略配置等 種類、概略位置等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>市街地整備の水準 公益施設整備の水準 公益施設整備の水準 その他</li> <li>経済活動の効率性 都市活動の機能性 土地の有効利用 その他</li> <li>公共の利益 交通の円滑化 資源利用の効率性 その他</li> </ul>
街区設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>上位設計による条件 〔概略の土地利用配置、 幹線道路等の位置等〕</li> <li>物理的に規定される条件 地形、土質等（斜面構成等） 土地条件（現況の地価等） その他</li> <li>技術的に規定される条件 道路構造、公園の規模等 その他</li> <li>法的に規定される条件 土地所有者の権利等 補助金等の助成等 その他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>補助幹線道路 ・区画道路 ・歩行者道路</li> <li>住宅用地 ・街区</li> <li>公園緑地</li> <li>公益施設</li> <li>その他用地</li> <li>計画地盤</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>配置、幅員構成等 配置、幅員構成等 配置、幅員構成等</li> <li>種類、配置、面積等 位置、形状、辺長等</li> <li>種類、配置、面積等</li> <li>種類、配置、規模等</li> <li>種類、配置、面積等</li> <li>地盤高、傾斜方向等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>居住環境の水準 安全性 保健性 利便性 快適性</li> <li>開発利益の配分と費用負担 の公平性 開発利益（土地資産価値増価） 費用負担（減歩、事業費用等）</li> <li>効率性 最適配置 （最小費用、資産価値最大等） 公共施設等利用の効率性等</li> </ul>
換地設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>上位設計による条件 〔街区の形状、面積等〕</li> <li>平均減歩率、増進率</li> <li>物理的に規定される条件 整理前面地の位置、地積等 固定構造物等の位置等</li> <li>技術的に規定される条件 換地地積の配分方法等</li> <li>法的に規定される条件 画地に対する所有権等の権利 宅地としての地積、開口長等</li> <li>地権者に規定される条件 換地の位置、地積等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>画地</li> <li>保留地</li> <li>清算金</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>位置、面積、形状、 開口長、奥行長さ等</li> <li>位置、面積、形状、 開口長、奥行長さ等</li> <li>交付額、徴収額</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>換地の公平性 照応の原則 原位置換地 減歩負担の程度 土地資産価値増の程度</li> <li>画地利用の効率性 公共施設等の利用性 画地の形状、開口等 境界線の傾斜角等</li> <li>画地の環境水準 日照、採光、通風、 排水、防火性等</li> </ul>

わせて取り入れ、より改善された設計を行うものとする。

a) 設計者と計算機の適切な組合せによる CAD

このシステムでは次のように計算機に適した処理を行う。すなわち最適手法や後述する 2 分木モデルを用いた初期案の作成、および減歩率、土地資産価値、事業費といった数量的な計算処理、さらに街路網、公共施設、街区・画地等の配置といった設計案の図解的な表現などである。一方、設計者は地区の周辺環境との調和、住民の意向など数量化し得ない評価項目についての判断や、いくつかの要素の総合的な判断を必要とする作業を分担して設計案を修正する。その修正案に基づいて必要な計算処理が再び実行される。このような図形を媒介とした対話型の処理によって、設計者の想定する道路網の構成や公園、街区の配置等の設計案を容易に作成・変更することを可能としている。

b) 数理的最適手法による設計案の作成

可能な限り最適化という論理の枠組みの中で、しかも現実の解として意味をもつ設計案を作成するためには、以下のように部分的にはあるが、数理的最適手法を用いて設計諸元を決定することが良いと考えられる。たとえば換地設計においては、各区画が換地の前後で可能

な限り移動が小さいことが要請される。このような要件は全区画の総移動距離を最小化するという問題として簡単に定式化でき、また最適解を数理的に見出すことも容易である。このようにして得た解は換地設計の解の設計初期案として十分意味をもち得るものである。そして他の目標への影響をみながらこの設計初期案を修正し、より改善された設計案を得ようとするものである。

c) エキスパートシステムによる設計案の評価

土地区画整理設計の評価に際しては、地区の歴史的発展の経緯や住民の意向などのような地区固有の条件が大きな意味をもつ。また道路、公園等の整備や画地形状の変更に対する地権者の要求もきわめて多様であるのが一般である。このため設計評価は地区の実状に熟知した専門家によってなされることが必須であるとされ、計算機による支援は困難なものであるとされてきた。

しかし近年の知識工学の進展は、この問題に 1 つの解決方法を与えている。専門家等の知識や経験を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、地区の状況にも柔軟に対応し得るうえ、しかも再現可能で明確な推論過程をもつ評価を行うことができる。そこで本研究では、設

計案の評価指標として土地評価値を用い、この評価作業にエキスパートシステムの導入を試みた。これにより、従来恣意性が入り得るとされてきた路線価を構成する各係数の評点付けなどもより明確なものできると期待し得る。

d) 地図データベースを利用した土地データの管理  
 設計案の作成・評価に必要な膨大な土地データを効率よく処理・管理し、支援システムを構成する各サブシステムの連動をより容易にすることを目的として、地図データベースを区画整理設計のためのデータベースとして作成する。

なお、地図データベースにおいては従来空間表現の方法として地図グラフやグリッド表現等が使われてきた。ところが、特に換地設計案の作成や修正作業においては画地の相対的な位置関係を頻繁に参照する必要がある。従来の方法はこのような位置関係の表現に必ずしも適していない。そこで、本研究では画地の相対的な位置関係を柔軟に表現し得る2分木モデルを開発し、地図データベースに新しい空間表現機能を付加する。

(2) 全体構成

土地区画整理設計支援システムの全体構成を図-2に示す。システムは、街区設計、換地設計および、土地評価の3つの独立したサブシステムからなる。各サブシステムは前節で述べた基本的考え方に基づいて構築されている。すなわち、街区設計および換地設計システムでは、対話処理と数理的最適化手法とが組み合わされて適用されている。特に換地設計システムにおいては2分木モデルの利用により換地割り込みの初期案の自動作成や半自動修正が可能になっている。また、土地評価システムではエキスパートシステムを核にしたシステム構築を行っている。そして土地評価システムと街区設計および換地設計システムとを地図データベースによって連動させることで、数多くの繰り返しを伴う設計作業の効率的な支援を可能としている。

4. 街区設計

街区設計では対話処理と地図データベースとを組み合わせることで、設計案の容易な作成を可能としている。ここでは図形上での設計案の修正がただちに

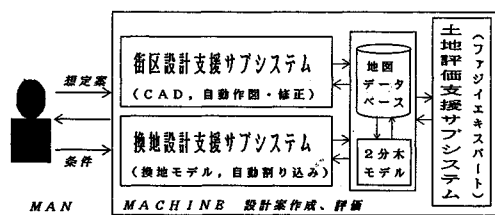


図-2 土地区画整理設計支援システムの全体構成

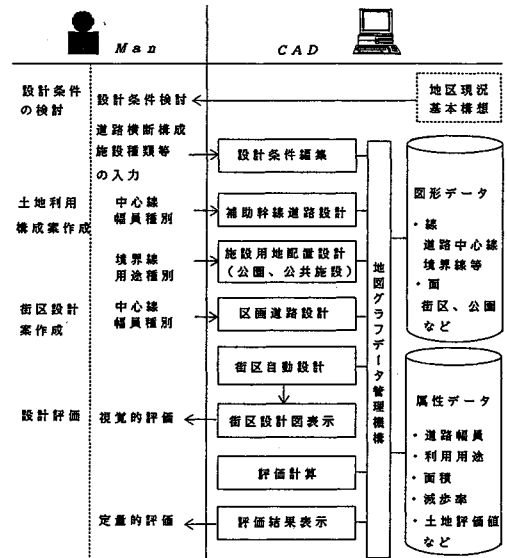


図-3 街区設計支援サブシステムの構成

もとの設計変数の修正へとフィードバックされる。このようなシステムを用いた設計の方法を図-3に示す。ここでは設計者が設計条件の編集から評価結果の表示に至る一連のプログラムを用いて設計案を作成する。設計例を写真-1に、またその鳥瞰図の一部を写真-2に示す。

そこではまず地形、土地条件、広域道路網等の条件を考慮して、地区内の道路網や施設配置等の案を作成する。道路網作成のためには中心線を、また施設用地を描くためには境界線および用途をマウスにより直接画面上で入力すればよい。これらの入力データをもとに、公共減歩率、概略事業費、土地資産価値等の評価計算はほとんど人手を介することなく計算機により行われる。

次に設計者は区画道路の位置や公共施設の配置などを土地評価値などからみてより良い方向に画面上で修正する。その際、計算機は道路によって区分される土地利用の面積が与えられた条件を満足するように道路の中心線をさらに調整する。あるいは設計者が道路中心線を入力したり、その位置をずらしたりといった操作を行うだけで、計算機が道路幅員線や交差点を自動設計する。このように数多くの設計案を迅速かつ正確に作成することが可能となっている。

なお、景観のような評価は設計者のもつ経験や感覚に基づいて主観的に判断されることになるが、以上のデータを用いてCG (Computer Graphics) 等による視覚的シミュレーションを行うことも比較的容易である。

5. 換地設計

換地設計は、土地価格、地権者の権利、画地相互の隣接関係といった多種多様な条件の下で画地の位置、形状、

および地積等を決めるものである。この作業は一般に次の2つの手順からなる。第一の手順は整理前の画地を街区設計で定めた各街区に割り当てるものであり、街区と画地との組合せを求める作業である。第二の手順は先の結果に基づいて街区を分割することによって換地を割り込み、各街区ごとに割り当てられた画地の位置、形状、地積等を決めるものである。

ここでは上記の2つの手順に対応して画地を街区へ割り当てる手順をまず簡略な最適化問題として定式化し(換地モデル)、これを近似的に解くことにより街区と画地の組合せを求める。次に画地の相対位置を表現する2分木モデルを用いて、位置の照応に基づいた換地割り込みを行う。

(1) 換地モデルによる街区割り当て

画地の街区への割り当ては、評価関数や制約条件を単純なものに限定し計量化すれば、いくつかの定式化が可能である。ここでは、換地設計の最も一般的な設計規範である原位置換地を取り上げ、画地の総移動距離の最小化を目的関数とした定式化を以下に示す。なお、換地地積の計算方法には評価配分や地積配分等いくつかの方式があるが、ここでは評価方式の比例評価計算式を用いる。

整理後の街区数を  $n$ 、整理前の画地数を  $m$ 、また換地に与えられる地積(権利指数)を  $A_i$ 、整理後街区の地積(街区評価指数)を  $B_j$  とする。また移動距離は画地の図心から街区の辺までの距離の中で最も小さいものとし、 $i$ 画地が  $j$ 街区へ割り当てられるときこれを  $C_{ij}$  とする。すでに  $i$ 画地が  $j$ 街区内に存在する場合には  $C_{ij}=0$  とする。さらに各画地の移動距離に極端な差を生じさせないために各画地の移動距離に制限値を設けそれを  $C_{max}$  とする。ここで、 $i$ 画地が  $j$ 街区に割り当てられるとき  $x_{ij}=1$ 、割り当てられないとき  $x_{ij}=0$  といった決定変数  $x_{ij}$  を導入すると、街区と画地の組合せ問題は次のように定式化できる。

$$\text{目的関数: } \sum_i^m \sum_j^n C_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min$$

制約条件:

$$\text{面積制約 } \sum_i^m A_i \cdot x_{ij} \leq B_j \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$\text{移動制約 } C_{ij} \leq C_{max} \quad i=1, 2, \dots, m$$

$$j=1, 2, \dots, n$$

$$\text{割当制約 } \sum_j^n x_{ij} = 1 \quad i=1, 2, \dots, m$$

ここでは、各画地を最小の移動距離となる街区へ割り当てたものを初期値として設定し、この初期割り当てを面積制約を満足させるように逐次変更することによって近似解を見出すものとする。ここでは、最小の  $C_{ij}$  と2番目に小さい  $C_{ij}$  との差が最も小さい画地  $i$  から順に他

の街区へ割り当てている。さらにこの条件を満たす画地の変更だけでは制約条件が満たされない場合には比較する  $C_{ij}$  を2番目に小さいものから、3番目、4番目と順次変更していく方法を用いている。

このほかに異なった考え方による定式化も可能である。たとえば画地間の減歩率の公平化を1つの目的とする定式化である。そこでは各画地の減歩率の分散の最小化等が目的関数となる。

(2) 2分木モデルを用いた換地割り込み

換地割り込みにおいてはおのおのの地権者の有する画地が整理前後においてなるべく変化しないように、そして他の地権者の換地となるべく不公平が生じないように換地を定めることが要求される。そこでの画地間の比較、すなわち照応は位置、形状、地積などの要素によって評価される。特に整理前の画地相互の相対位置を保持したままで(位置の照応)、全く異なった位置や形状を有する街区の中へ、与えられた地積を確保するように画地を再配置することが重要である。

このように換地割り込みは設計者のもつ図解的な判断に依存する作業であり、従来は換地割り込みを計算機で支援することは困難とされてきた。そこで本研究では、図-4に示す2分木モデルを用いて画地の相対的な位置関係を表現し、この割り込み作業を計算機により行う方法を試みている。

図-5にその割り込み過程を示す。まず街区を2つに分割し、各画地を2つの領域の近い方に振り分ける。次に、各領域の面積比が振り分けられた画地の合計面積の比に、等しくなるように領域分割線を移動させる。この手順を、分割された領域にただ1つの画地が対応するまで順次繰り返す。このように2分木モデルを用いて領域を分割する側界線を構造化し、既存画地の相対位置を表現する。

また、2分木モデルで表わされた分割パターンを街区にあてはめ側界線を描き、換地の割り込みを行う。このとき、側界線の絶対的な位置は土地評価作業との繰り返しにより各画地の地積が決まる過程で同時に決定される。

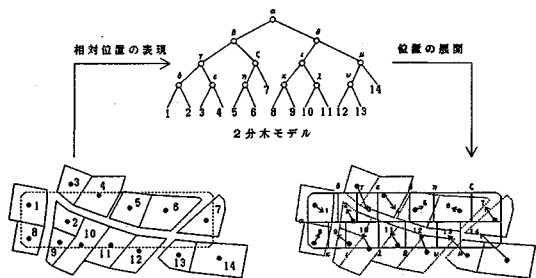
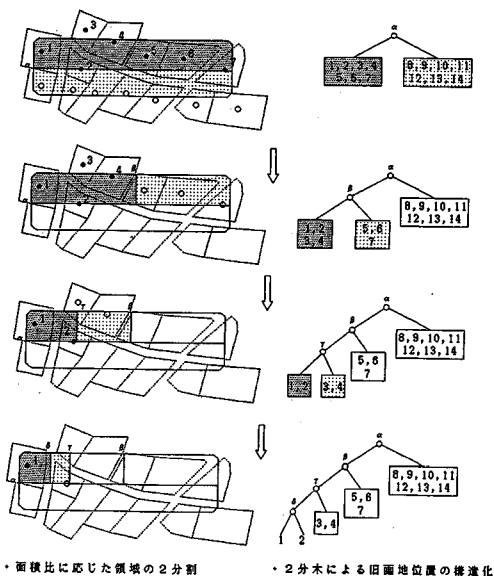


図-4 2分木モデルによる相対位置の表現



・面積比に応じた領域の2分割      ・2分木による旧画地位置の標準化

図-5 2分木モデルによる換地割り込みの方法

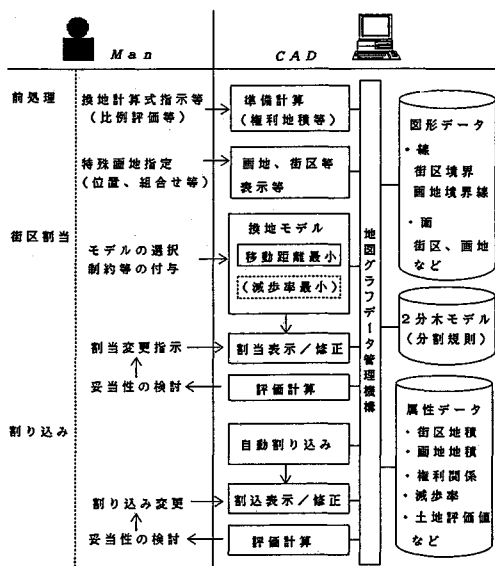


図-6 換地設計支援サブシステムの構成

(3) 換地設計の方法

換地モデルによる街区割り当てと2分木モデルによる換地割り込みを用いた換地設計の方法を図-6に示す。実際の換地設計にあたっては同一所有地の集約換地、不換地交付、および角地などの換地位置の指定といった特別な条件を考慮する必要がある場合が多い。これらの特殊条件を処理するためには換地モデルをそのまま適用することはできない。そこで、集約する宅地はあらかじめ1つの画地として指定するなど図-6のフローに示され

るように前処理における特殊画地指定段階で処理することとしている。このような指示は図形処理機能を用いて画面上で対話的に行う。また、換地に与えられるべき地積(権利地積)などの設計の準備計算式もこの前処理過程で指定する。

計算機は以上の結果に基づいて換地モデルを用いて画地を街区へ割り当てる。たとえば、写真-3は換地移動距離の総和最小化を目的関数として画地を街区へ割り当てた結果を示したものである。写真中の放射状の線は、各画地とそれらの割り振られた街区の図心間を結んだものである。さらに、この割り当て結果に基づいて2分木モデルを用いた自動換地割り込みを行い設計案を作成する。写真-4はこのようにして作成した割り込み例であり、写真中の赤い線は整理前後の画地の対応を示すものである。

設計者は画地の位置を変更する、あるいは画地の側界線を移動するといった設計案の修正をマウスを用いて直接画面上で行う。減歩率や土地評価値等の計算評価は地図データベースを介して計算機が行う。そのため、設計者はこれらの評価関数の変化や設計解の図解的な表示をみながら効率よく設計案を修正することができる。

本システムでは換地モデルや2分木モデルで求めた第1次案を第2次案、第3次案...と順次修正するという漸進的かつ対話的なアプローチにより案を改善する。また、換地に対する地権者のさまざまな意向は換地の位置、形状などの変更といった形で扱うことが可能であり、案の修正が他の画地の減歩率や評価値等へ与える影響を明示的に示し得る。

6. 土地評価

土地区画整理では、一般に路線価算定方式による評価手法が用いられる。この方法は路線価の付設と画地の評価といった2段階の手順からなる。図-7は路線価算定方式の構成を示している。まず、各街路の路線価は街路係数、接近係数、および宅地係数の和として求められる。路線価はその街路に面する標準的な宅地の評価点(単位指数)として定義される。次に、路線価と画地の地積に各画地に固有の修正係数を乗じて各画地の評価指数を算出する。修正係数は各画地の形状や間口長から標準宅地を基準として算出される。この評価指数は点数表示されているため不動産鑑定評価や売買事例価格等と比較することによって土地価格に換算される。

(1) エキスパートシステムの構築

図-7において、街路係数、接近係数、および宅地係数が与えられれば路線価はきわめて簡便な算定式によって求められる。しかしながら、これら3つの係数の評点すなわち、 $t$ ,  $u$ ,  $m$ 等の路線価パラメータ値を合理

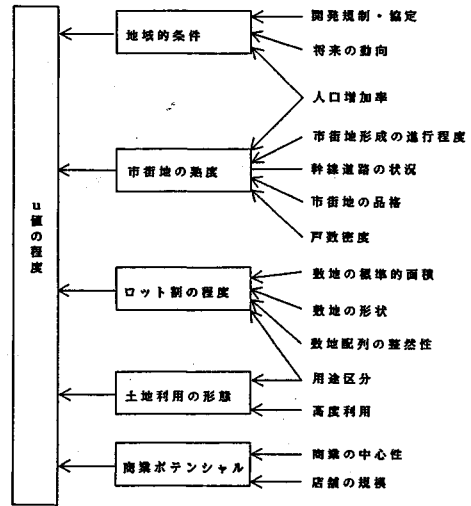
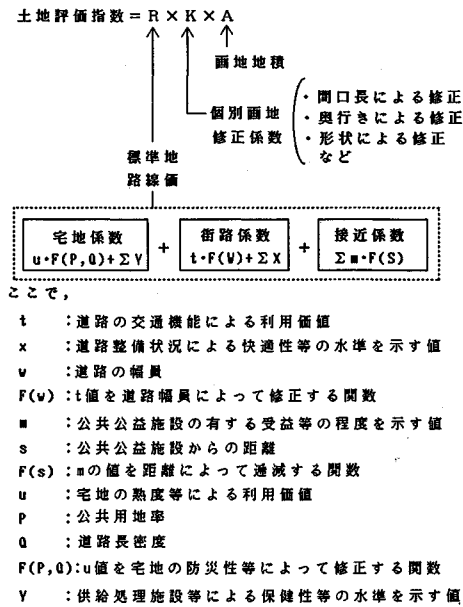


図-8 u 値に関する知識の構造化

的かつ体系的に決定する方法は提案されていない。本研究では、すでに 3.(1) c) で述べたようにこの路線価パラメータの評点付けの作業にエキスパートシステムの導入を試み、これを核とした土地評価支援システムの構築を行った。

a) 知識ベースの作成方法

知識ベースの作成においては、路線価パラメータの評点作業に関する知識の整理とその表現をいかに行うかが重要な問題となる。そこで本研究では、路線価決定に関する専門家のもつ知識を、知識要素の組合せとして表現することを試みる。ここで、知識要素とは宅地率や平均画地面積等のデータや「道路の系統性がよい」、「市街地の熟度が高い」、「ロット割りの程度は大きい」等のキーワードを示す。

この考えに基づいて、路線価パラメータと土地に対して与えられる上記のデータおよびキーワードとの因果関係を整理したものを知識ベースとして作成する。知識の整理には ISM 法、DEMATEL 法、および KJ 法を用いる等いくつかの方法が提案されている。本研究では、アンケート等の結果からきわめて客観的に知識要素間の影響関係を構造化できることから DEMATEL 法を援用した<sup>3)</sup>。その際、実務で用いられている区画整理土地評価基準(案)を基本とし、これをアンケート調査で補完することにより知識要素の抽出を行っている。この方法によって路線価パラメータのうち  $u$  値に関する知識を整理した例を図-8 に示す。

また、図-8 に示される各矢印を、if-then 形式のプ

ログクシヨナルールを用いて表現し、これを路線価パラメータに関する知識ベースとした、if-then ルールは他の表現形式に比べ以下のような利点があると考えられる。すなわち、個々の知識が独立した意味をもち論理が明確である。そのため、地権者等にもわかりやすかつ理解が得られやすい。また、計算機処理上の観点からもルールのモジュール性が高いため知識の追加、削除等の編集作業が容易であるなどである。

以上の考え方に基づいて作成したルールの例は次のとおりである。

- if 市街地熟度 = [高い] then  $u$  値 = [大きい]  
with [very strong]
- if ロット割り = [普通] then  $u$  値 = [ 中 ]  
with [strong]

ここで、ルールの前件部、結論部に含まれる「高い」「大きい」といった言語的な曖昧さは、三角形分布型のメンバーシップ関数で表現されている。また、with 以下の [very strong], [strong] は知識要素間の関係の強さの確からしさを言語的真理値 (Linguistic Truth Value)<sup>4)</sup> で示したものである。本研究ではこのようにして得られた 181 本の if-then ルールを路線価パラメータに関する知識ベースとして作成した。

b) ファジィ関係を用いた路線価パラメータの推論方法<sup>5),6)</sup>

if-then 型のファジィルールを用いた推論方法にはルールのパターンマッチングにより行うものと、ルール全体をあらかじめファジィ関係に変換しこれを用いて行う方法がある。本研究においては実用性を重視し推論に要する処理時間を短縮するために、後者のファジィ関係を用いた方法を採用した。すなわち、前項で作成したルー

		土地の状態					
		市街地の熟度			ロット割の程度		
		高	中	低	大	中	小
u 値の程度	大	x <sub>11</sub> x <sub>12</sub> x <sub>13</sub>	x <sub>21</sub> x <sub>22</sub>		x <sub>31</sub> x <sub>32</sub> x <sub>33</sub>	x <sub>41</sub> x <sub>42</sub>	...
	・	x <sub>51</sub> x <sub>52</sub>	x <sub>61</sub> x <sub>62</sub>		x <sub>71</sub> x <sub>72</sub>	x <sub>81</sub> x <sub>82</sub>	...
	中	x <sub>91</sub> x <sub>92</sub>	x <sub>101</sub> x <sub>102</sub>	x <sub>111</sub> x <sub>112</sub>	x <sub>121</sub> x <sub>122</sub>	x <sub>131</sub> x <sub>132</sub>	x <sub>141</sub> x <sub>142</sub>
	・		x <sub>151</sub> x <sub>152</sub>	x <sub>161</sub> x <sub>162</sub>		x <sub>171</sub> x <sub>172</sub>	x <sub>181</sub> x <sub>182</sub>
	小		x <sub>191</sub> x <sub>192</sub>	x <sub>201</sub> x <sub>202</sub>		x <sub>211</sub> x <sub>212</sub>	x <sub>221</sub> x <sub>222</sub>
	・			x <sub>231</sub> x <sub>232</sub>		x <sub>241</sub> x <sub>242</sub>	x <sub>251</sub> x <sub>252</sub>

注) \* の数は関係の強さの程度を示し、  
[STRONG]等の言語ラベルに対応する。

図-9 路線価パラメーター u と土地の状態とのファジイ関係の例

ル全体を図-9 に示されるファジイ関係  $R_f$  を用いて次のような方法で路線価パラメーターを推論する。

本研究では、路線価パラメーターの評価作業を「土地の状態 X とファジイ関係  $R_f$  を用いてパラメーターの大きさ Y を推論する」過程として考える。ここで X はロット割りが [大きい] といったファジイ集合を、Y はパラメーター u が [大きい] といったファジイ集合を表わす。このとき、評点過程は集合の結合則 “・” を用いて  $R_f \cdot X \rightarrow Y$  といったファジイ推論として定式化される。さらに、上記の結合則 “・” を max・min 合成により表現すればこのファジイ推論は次のようなファジイ演算として扱うことができる。

$$Y_j = \vee (R_{fi} \wedge X_i) \quad i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$$

ここで、 $\vee, \wedge$  は max, min 演算を、 $X_i$  および  $Y_j$  はファジイ集合の要素を表わす。

なお、路線価パラメーターの値は Y のメンバーシップ関数の重心値を用いている。

(2) 土地評価の方法

エキスパートシステムを取り入れた土地評価の方法を図-10 に示す。ここでは、まず計算機は土地利用、人口密度、および画地の地積など各路線に沿接する土地の条件をファジイ集合として表わす。そしてこのファジイ集合と知識ベースに蓄えられたファジイ関係とを用いて上記パラメーターを推論する。

推論によって得られた路線価パラメーターから求められる路線価は、不動産鑑定評価額などの他の土地評価額から求められた路線価とも整合する必要がある。そこで本サブシステムでは目標計画法を用いてより客観的にパラメーターの調整を行う方法を採用している<sup>7)</sup>。

次に計算機は以上に求められた路線価パラメーターから街路係数、接近係数、および宅地係数を求め路線価を計算する。設計者は計算機によって求められた結果を写真-5 に示すような表示によって確認することができ

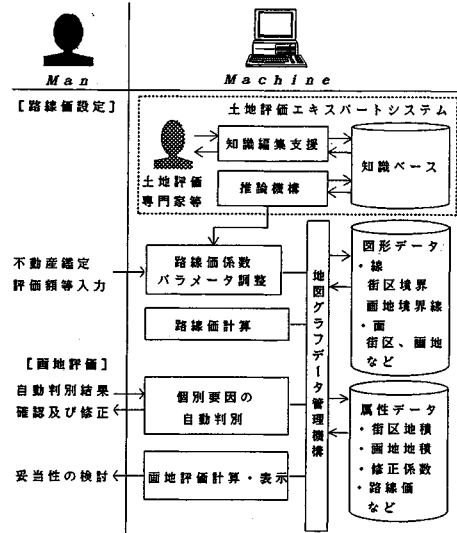


図-10 土地評価支援サブシステムの構成

る。写真の左図は当該路線の拡大図であり、右下の表には路線価やそれを構成する上記の3係数および路線価パラメーターの値が示されている。

さらに計算機は上記の路線価を用いて画地の評価指数を計算する。すなわち、各画地の個別要因に応じた修正係数を求め、路線価と地積を乗ずることで評価指数を算定する。各画地の個別要因とは角地、正背路線地といった画地分類や画地の間口長といったものであり、地図データベースを用いて検索される。これらの計算結果は地図としても表示され、路線価や画地評価指数の分布などを容易に確認することができる。

7. 結果の表示と設計案の再修正

写真-6 はさきに示した街区設計 (写真-1) を与件として換地設計を行ったものである。さらに、写真-7 はこの設計案を修正した例である。ここでは、全体の公共減歩率を変えずに街路網の構成を格子状からループ状に変更し小公園を2か所に分散させている。写真-7 でわかるように街区設計の変更が換地へ与える影響がビジュアルなわかりやすい形で示されている。

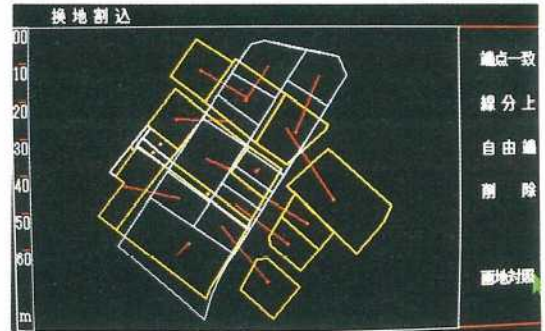
こうした一連の処理において各サブシステムに必要な計算時間は32ビット系のパソコンで数分から数十分程度である。しかも設計データの入力、修正といった作業もマウスを用いた画面入力が主体であり容易なものとなっている。

本研究では省力化効果等を定量的に評価できるほど十分な数のケーススタディを行っていないが、以上のことから本システムには実用性の面で特に問題はないと判断できる。

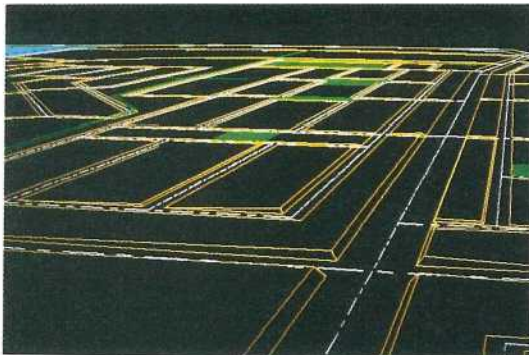




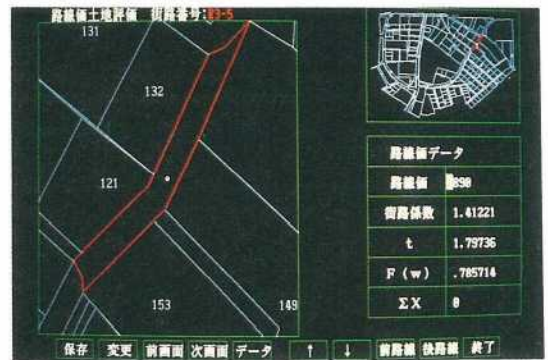
写真—1 街区設計結果の表示



写真—4 2分木モデルによる換地割り込み



写真—2 街区設計の鳥瞰図



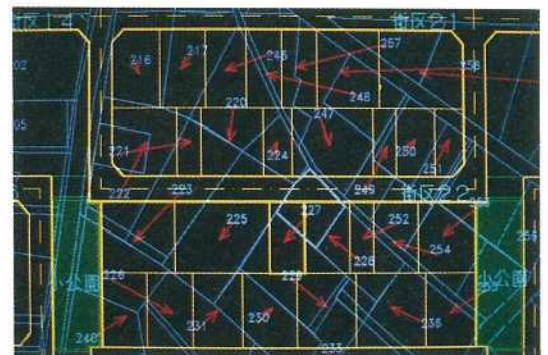
写真—5 土地評価結果の表示



写真—3 換地モデルによる街区への割り当て



写真—6 街区・換地設計案



写真—7 街区設計の変更と換地への影響

## 8. おわりに

本研究においては、土地区画整理計画を設計問題という視点から整理し、その設計の代替案を客観的な評価のもとで効率良く作成することを可能とする設計支援の概念を示した。さらに、その基本的な考え方を計算機を用いて実現する具体的な方法を提案した。すなわち、街区設計、換地設計、および土地評価の3つの基本的なサブシステムを実際に構築しその適用を試みた。本研究での多くのプログラム作成、データ処理は東京大学測量研究室で卒業研究を行った吉岡直行、原田彰久、谷下雅義、山東徹生の4氏の多大な努力によるものである。その中で彼らの示した貴重なアイデアが多々含まれていることを付言しておく。

なお、本研究は昭和63年度、および平成元年度文部省科学研究費試験研究の補助を得て行われたものである。

## 参 考 文 献

- 1) 阿部六郎・林 俊男：土地区画整理業務における電算機利用について，APA，No.11，pp.67～72，1980.1.
- 2) たとえば，佐々木正：土地区画整理業務システムの開発について，APA，No.43，pp.18～20，1989.4.
- 3) 清水英範・川口有一郎・巖 網林：地理情報システムとエキスパートシステムを用いた用途地域指定支援システム，応用測量論文集，No.1，pp.55～62，1990.6.
- 4) 本多中二・大里有生：ファジィ工学入門，海文堂，pp.89～93，1989.7.
- 5) 川口有一郎：土地区画整理のための土地評価ファジィエキスパートシステム，土木計画学ワークショップ，土木計画学とエキスパートシステム，1989.10.
- 6) 田崎栄一郎：ファジィ・エキスパートシステム，数理科学，No.284，pp.46～54，1987.2.
- 7) 谷下雅義・川口有一郎・柴崎亮介：土地区画整理のための土地評価支援システムの開発，土木学会第44回年次学術講演集，pp.262～263，1989.10.

(1990.5.24・受付)