

知識ベースに基づく用途地域指定支援システム

A KNOWLEDGE-BASED COMPUTER SYSTEM FOR ZONING

清水英範*・巖 網林**・中村英夫***

By Eihan SHIMIZU, Wanglin YAN and Hideo NAKAMURA

The objective of this paper is to develop a knowledge-based computer system for zoning in land use planning. Two main problems are discussed. One is how to acquire knowledge from planning experts and represent them in the form of IF-THEN rules, and the other is how to obtain the final conclusion by utilizing them. The rules are obtained efficiently and objectively based on "knowledge structure graph" which is prepared by DEMATEL method. A new model for fuzzy inference using obtained rules is developed by modifying the Mamdani method in order to simulate human inference mechanism more appropriately. A practical application of developed system is given and its applicability is discussed.

Keywords: knowledge-based computer system, knowledge structure graph, fuzzy inference

1. はじめに

用途地域指定をはじめとする土地利用計画の策定は、単なる計画の技術問題だけでなく、地域における社会的な諸要因および人々の価値意識等と深く絡み合う複雑な判断過程である。そのため計画案の新規作成あるいは既存計画の定期的な見直しには多大な費用と労力を要し、少数の計画担当者の知識や能力によってこれらの作業を行うことは容易なことではない。

このような問題を解決することを目的として、従来より計画案の策定作業を計算機により支援する試みがなされてきた。しかし、これらの多くは従来手作業中心に行ってきた計画作業の一部をプログラム化したものであり、計画策定に不可欠な専門家の知識や経験的判断をシステムの中に合理的にとり入れている例はほとんどない。そのためこれらのシステムは計画作業を効率化することには大きく貢献するが、得られた計画案には依然として多くの恣意的側面が残されることになる。

近年の知識工学の進展はこれらの問題に対して1つの

解決の方向を示唆しているものと考えられる。すなわち、計画担当者の知識や経験、住民の要望、地域の開発戦略等を知識ベースとして計算機に蓄積し、それをを用いて客観的に結論を導き出すことができれば、従来恣意的あるいは不明確であった計画策定過程をより科学的かつ合理的なものへと変えることができる。

本研究は以上の背景のもと、用途地域の指定、見直しという具体的な計画策定を例に、知識ベースに基づく土地利用計画支援システムの開発を試みるものであり、主に以下に示す3つの課題について検討を行う。

① 計画専門家等の知識を IF-THEN 形式のルールとして表現するものとし、これらの計画支援ルールを効率的かつ客観的に作成する方法を構築する。

② このようにして作成した計画支援ルールを用いて、より合理的かつ実用的に計画代替案を導出するための方法を構築する。

③ これらの手法に基づき実際に用途地域指定支援システムを開発し、ケーススタディーを通してその有効性と適用限界について検討する。

本研究は以上の検討を通して土地利用計画支援システムの研究、開発の進展に資することを目的とする。

* 正会員 工博 岐阜大学助教授 工学部土木工学科
(〒501-11 岐阜市柳戸1-1)

** 学生会員 工修 東京大学大学院 工学系研究科
(〒113 文京区本郷7-3-1)

*** 正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科 (同上)

2. システム構築の基本的な考え方

知識ベース・システムとは「一定の形式で構造化された知識とよばれる情報群を蓄える知識ベースと、それを問題解決に利用するための推論機構から構成される」¹⁾ 計算機システムである。

すなわち、知識ベース・システムを構築するためには、

- ① 専門家等の有する知識や経験的判断を計算機上で表現するための“一定の形式”をどのようにするかという、いわゆる「知識の表現」の問題
- ② 専門家がこのような形式を特に意識することなくもっている知識をいかに引き出し、そしてそれらの知識を計算機上で一定の形式に構造化するかという、いわゆる「知識の獲得」の問題
- ③ このようにして作成された計算機上での“知識”を用いていかにして結論を導き出すかという、いわゆる「知識の利用」の問題

についておのおの具体的な方法を用意する必要がある。

本研究ではこれらの課題に対し、以下のような基本的考えのもとにシステムおよび具体的手法の構築を行う。

(1) 知識の表現方法

知識の表現方法としては、プロダクション・ルール、意味ネットワーク、フレーム、述語論理等種々のものが提案されているが、おのおの長短を有しており、適用される問題ごとに適宜選択しなければならない^{1),2)}。本システムでは以下のような考え方のもとにプロダクション・ルールを用いた知識表現を行っている。

- ① 計算機の専門家ではない土地利用計画担当者にとって、知識や判断を知識ベースに移すという観点から最も自然かつ理解しやすい形式となっている。
- ② ルール単位で知識がモジュール化されるので、知識を順次知識ベースに蓄積することができ、また、知識の修正、追加および削除といったシステムの維持・管理が容易に行える。
- ③ ルールはおのおの明確な意味をもち、推論のプロセスを説明することが可能である。これは土地利用計画案の解釈、地域住民との意見交換に非常に有効である。
- ④ 専門家の知識や判断には不確実性を含むものが少なくないが、ルールの確信度の導入によりその処理を容易に行うことができる。

(2) 知識の獲得方法

この問題の重要性は以前より知識工学の研究者に強く認識されているが、知識獲得の実用的かつ体系的方法はほとんど確立されていない³⁾。

一般的な方法は知識エンジニアを介して、専門家に直接聞き出すというものである。この方法では知識エンジニアが長い時間をかけてその専門に馴染む必要があり、

また種々の要因を考慮して専門家の知識をもれなく抽出し、それを完全かつ整合的なルールとして表現することは容易なことではない。そこで、より効率的かつ客観的なルール作成方法が必要とされる。

本研究では人間の意識構造分析手法の1つであるDEMATEL法を援用し、専門家の知識を構造化することによりルールを作成する方法を提案する。

(3) 知識の利用方法

知識の利用において1つの重要な問題は曖昧な知識の処理である。これについてMYCIN法^{4),5)}やDempster-Shafer法^{6),7)}に代表される確率論的推論法やファジィ論理を応用した推論法が開発されている。

このうち確率論的推論では、

- ① 曖昧な知識を扱うときには、きわめて多くのルールを作成することにより対応しなければならない。
- ② 複数ルールを統合して結論を導く際に、ルール間の独立性が仮定されるため、ルール作成時において細心の注意が必要である。

といった問題点を有しており、ルール作成の簡便化を念頭におく本研究の推論法としては適さない。

一方ファジィ推論では、曖昧な知識はファジィ集合(メンバーシップ関数)^{8),9)}で表現し、また複数ルールの統合においてもルール間の独立性の仮定を必要としないため、きわめて操作性に富む方法といえる。

そこで本研究では、計画知識を用いた推論法としてファジィ推論の適用を試みる。

3. 計画支援ルールの作成方法

(1) 計画知識の構造化

用途地域指定のための計画支援ルールの作成とは、図-1の簡単な例が示すように、「緑地が多ければ住環境がよい」、「住環境がよければ第一種住居専用地域にするべきである」、あるいは「高速道路のインターチェンジ(IC)に近ければ工業専用地域にするべきである」といった、計画策定を行うための要因とその土地をどの用途地域にするべきかという結論を関係づける一連のルール群を作成することである。すなわち、個々のルールの前提部と結論部を計画支援ルールという1つのシステムを構成する要素(知識要素)と考えれば、計画支援ルールとは、知識要素をノードに、また個々のルールを2つのノードとその間の矢印に対応させた有向構造グラフとして表現することができる。

以上のような観点から、ルールの作成に対してシステムの構造化手法をそのまま適用することができるものと考えられる。これにより、システムの構成要素としての知識要素の抽出、適当な構造モデルを用いての構造グラフの作成という客観的なプロセスによって自動的にルー

IF	THEN
緑地が多い	住環境がよい
高速道路から遠い	交通騒音が小さい
交通騒音が小さい	住環境がよい
交通騒音が小さい	第一種住居専用地域
住環境がよい	第一種住居専用地域
...	...
...	...
高速道路のICに近い	工業利便性がよい
工業利便性がよい	工業専用地域

図一 用途地域の指定, 見直しに関するルールの例

ルを作成することができる。

具体的には, まず「緑地が多い」, 「高速道路から遠い」, 「交通騒音が小さい」, 「住環境がよい」といった計画策定上の根拠となるようなキーワード, すなわちルールの前提部や結論部を構成する可能性の大きいキーワードを抽出し, それに「第一種住居専用地域」, 「住居地域」といった結論の代替案を加えてシステムを構成する知識要素とする。次に適当な方法によりこれらの知識要素の構造化を行い, 構造グラフを作成する。こうして作成されたルール群に, たとえば「緑地率が〇%より大きければ緑地が多いといえる」といった実データとキーワードを関係づけるルールを加えることによって計画支援ルールが完成される。

以上の考え方を示したものが図-2である。

(2) DEMATEL 法による構造グラフの作成^{10),11)}

構造モデルとしては, ノード間の関係を定量化することが可能な DEMATEL 法を用いる。

まず, 図-2のキーワードや結論代替案に相当する知識要素 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_M\}$ を抽出する。そしてこれら各要素間の関係の強さを示す f_{ij} ($i, j = 1, 2, \dots, N$) をアンケート調査等により決定し, 直接影響行列 $F = \{f_{ij}\}$ を作成する。このとき DEMATEL 法によれば, 間接

的影響を含めた総合影響行列 $G (=|g_{ij}|)$ は以下のよう求められる。

$$G = F * (I - F^*)^{-1} \dots \dots \dots (1)$$

ここで, F^* は F の各行ごとの要素の和の最大値によって全要素を正規化したものである。

このようにして求めた g_{ij} をもとに知識の構造グラフを作成する。ここで, 計画支援ルールを用いた推論とは, 図-2に示されるような構造グラフ内においてデータ部から結論代替案部まで情報が各ノードを通してどのように伝播するかを推定することである。すなわち, 構造グラフ内にフィードバック・ループが存在する場合には推論を行うことができない。このような場合には, ループを構成する要素を1つに集約するなどしてそのループを削除する必要がある。

(3) 構造グラフの解釈と利用方法

いま DEMATEL 法によって作成した構造グラフの一部が図-3(a) のようになったとする。このとき, 要素「第一種住専」を結論部とするルールについてどのように解釈するかを考える。

ここで図-3(a)における g_{13} , g_{23} は, DEMATEL 法による総合影響行列の要素で各要素間の関係の度合を示すものである。そこで, これらの値を各ルールの他のルールに対する優先度, すなわちそのルールのもつ信頼性の度合と考え, ルールの確信度と定義する。また同じく g_{12} は, 要素「交通騒音が小さい」と要素「住環境がよい」の間関係の度合を示すものである。これは, その値が大きいほど要素「第一種住専」にとって2つのルールが独立でないことを示しているものであり, これらのルールの相関度と定義する。以上の関係を示したものが図-3(b)である。

このように求められるルールの確信度やルール間の相関度は, 次章で述べるようにルールに基づく推論において有効に利用することができる。

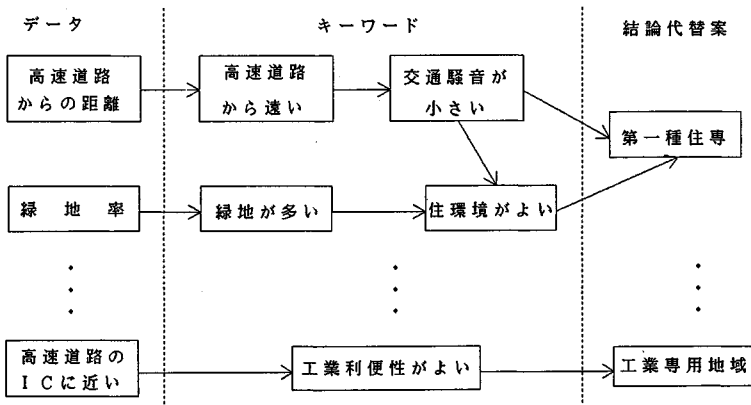
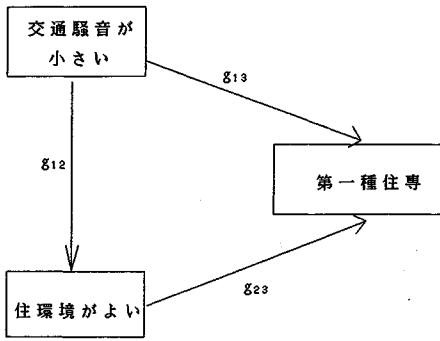


図-2 計画知識の構造化の考え方



(a) 構造グラフの例

IF	THEN	確信度
交通騒音が小さい	第一種住専	g_{13}
} ルール間の相関度： g_{12}		
IF	THEN	確信度
住環境がよい	第一種住専	g_{23}

(b) ルールの表現

図-3 知識構造グラフの解釈

4. 計画支援ルールに基づく推論方法

ここでは前章で求められた計画支援ルールに基づき、ファジィ推論によって各土地が各用途地域に適すべき度合を推論する方法を作成する。

ここで、ファジィ推論の具体的な方法としては、ファジィ制御でよく用いられる Mamdani の方法^{12),13)}を適用

a) ルール

IF A (緑地が多い) THEN C (第一種住専にするべき)
 IF A' (緑地率70%) THEN C' (?)

b) メンバシップ関数

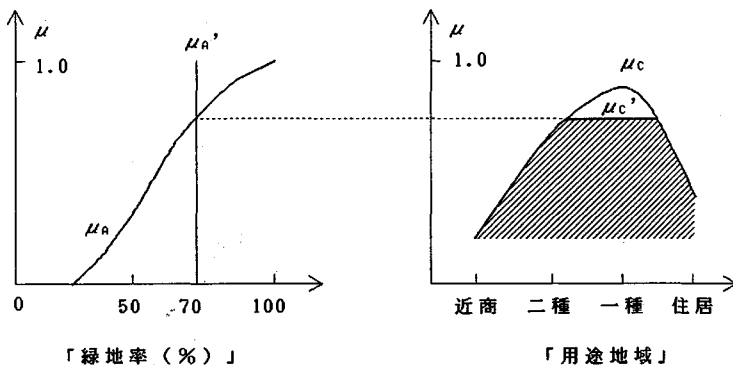


図-4 1つのルールによるファジィ推論

するものとするが、3. で定義したルールの確信度、ルール間の相関度を用いることにより、より合理的かつ実用的な推論方法へと改良を加える。

(1) 1つのルールによるファジィ関係

いま図-4 a) に示すように、

IF A (緑地が多い) THEN C (第一種住専にするべき) なるルールがあり、そのときの前提部、結論部のメンバーシップ関数が図-4 b) のように定義されているとき、A' (緑地率70%) が与えられた場合にどのように推論されるかを考える。なお本論文では、提案するファジィ推論法をより一般的に表わすため、用途地域に対するメンバーシップ関数をあえて連続関数として示している。

Mamdani の方法によればファジィ関係 $A \rightarrow C$ は、

$$\mu_{A \rightarrow C}(u, w) = \mu_A(u) \wedge \mu_C(w) \quad (\wedge = \min) \dots \dots \dots (2)$$

となる。ここで、 \wedge はファジィ集合間の交わりを意味するものであり、一般に Min 演算とよばれる。このとき、A' が与えられたときの結論 C' は推論の合成規則から、

$$\begin{aligned} \mu_{C'}(w) &= \bigvee_u \{ \mu_{A'}(u) \wedge [\mu_A(u) \wedge \mu_C(w)] \} \\ &= \bigvee_u \{ \mu_{A'}(u) \wedge \mu_A(u) \} \wedge \mu_C(w) \\ &= h_A \wedge \mu_C(w) \quad (\vee = \max) \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

のようになる。ここで \vee はファジィ集合間の結びを意味し、一般に Max 演算とよばれる。また h_A は $\mu_A, \mu_{A'}$ の交点の高さを示す。すなわち、Mamdani の方法は、「A と A' が近いものであればあるほど C' も C に近いものになる」ことを表現する1つの方法といえる。

さて、すでに定義されているルールの確信度 g_{AC} はファジィ関係 $A \rightarrow C$ の程度を示すファジィ真値値の一種と解釈し得るものであり、この値が小さければ推論自体の信頼性も小さくなる。ここではこの点を考慮し、

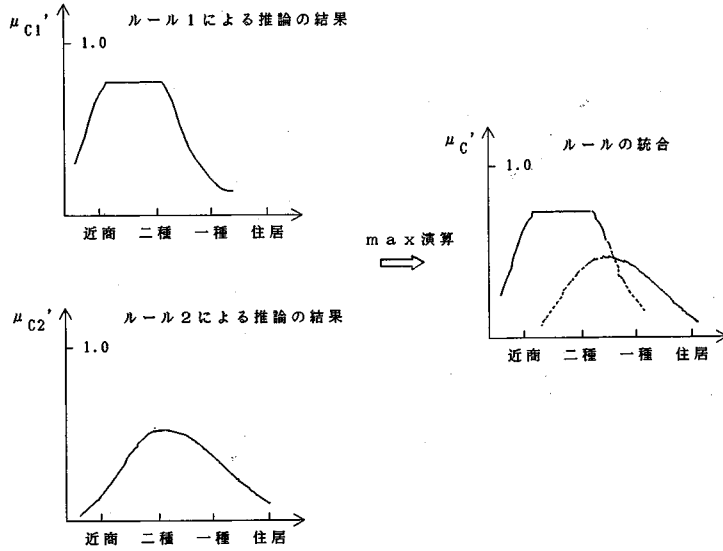


図-5 ファジィ推論によるルールの統合

$\mu_c(w)$ を以下のように定義する。

$$\mu_c(w) = g_{AC} \{h_A \wedge \mu_c(w)\} \dots \dots \dots (4)$$

(2) ファジィ推論による複数ルールの統合

いま図-5に示すように、ルール1、ルール2による結論がおのおの求められているとき、これらを統合して最終的な結論を導出することを考える。このとき Mamdani の方法によれば、Max 演算によって、

$$\mu_c(w) = \mu_{C1}(w) \vee \mu_{C2}(w) \dots \dots \dots (5)$$

となる。この方法は演算としては簡単であるが、ルールすなわち証拠の追加に伴い結論に対する信頼性が増加するという常識的な感覚を十分表現していないと考えられる。たとえば図-5において、変数「第二種住専」のメンバーシップグレードはルール1によって0.8程度、またルール2によって0.4程度が得られているが、最終的なメンバーシップグレードはルール1のみがあるときと同じになっている。

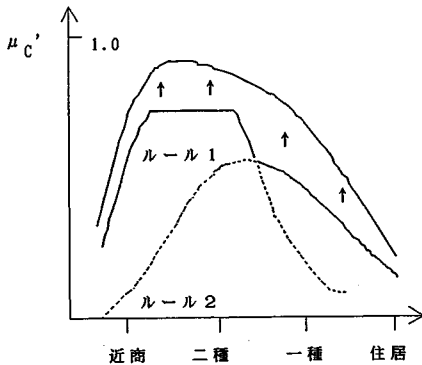


図-6 ルールの統合によるメンバーシップ関数の変化

そこで、ルールの追加により結論のメンバーシップ関数のグレードが図-6に示すように増加するようなルールの統合モデルを考える。しかし、このような場合に問題となるのが統合するルール間に相関がある場合である。たとえば極端な例として、ルール作成時のミスにより2つの全く同じルールを作成し、それらを用いてルールの統合を行ってしまった場合でも結論のメンバーシップグレードが増加するような場合が生じる。Max 演算に基づく Mamdani の方法の1つの利点は、このようなことを回避し得ることにある。

そこで本研究では、以下に示す条件を考慮し得るようなルールの統合モデルを作成する。

- ① 複数ルールを統合した際の結論の、ある変数に対するメンバーシップグレードは、各ルールによって導かれた結論のその変数に対するメンバーシップグレードの最大値以上1以下になる。
- ② 各ルールによって導かれる結論のメンバーシップグレードが大きいほど、ルール統合後の結論のメンバーシップグレードが大きくなる。
- ③ メンバーシップグレードの増加は、相互に相関のないルールを統合したときほど大きく、同一ルールの統合はメンバーシップグレードの増加をもたらさない。

いま、注目するある変数(たとえば第一種住専)を w とし、各ルールの推論結果として得られるメンバーシップグレードおよびその中での最大値をおのおの x_i , x_m とする。またルール統合後の w のメンバーシップグレードを x とする。すなわち、

$$x_i = \mu_{Ci}(w) \quad (i=1, 2, \dots, I)$$

$$x_m = \text{Max}(x_i)$$

$$x = \mu_c(w)$$

ただし、 I ：統合するルールの数

ここで、条件①、②、③を考慮して x_i ($i=1, 2, \dots, I$) から x を求めるモデルは多数考えられる。

本研究では、その1つの簡便法として、これらの条件を考慮するように作成した、 w のメンバーシップグレードが最大となるルール m とその他のルール i を統合するモデル $f(x_m, x_i)$ を順次 x_m と x_i ($i \neq m$) に適用し、これらの結果の平均値をとることによって全ルールを統合した際の w のメンバーシップグレードとすることにした。すなわち、

$$x = \frac{1}{M-1} \sum_i f(x_m, x_i) \quad (i \neq m) \dots \dots \dots (6)$$

とする。当然のことながら、 x は条件①、②、③を考慮した1つの結果となる。

ここで $f(x_m, x_i)$ としては、各条件に対応して、

- ① $x_m \leq f(x_m, x_i) \leq 1$
- ② $x_i \geq x_j$ かつ $r_{mi} = r_{mj}$ のとき、
 $f(x_m, x_i) \geq f(x_m, x_j)$
- ③ $r_{mi} \leq r_{mj}$ かつ $x_i = x_j$ のとき、
 $f(x_m, x_i) \geq f(x_m, x_j)$

ここで、 r_{mi} ：前章で定義したルール m とルール i の相関度
の関係を満足する関数とし、具体的には以下の関数を用いた。

$$f(x_m, x_i) = (1 - x_m) \{1 - \exp(-x_i)\} (1 - r_{mi}) + x_m \dots \dots \dots (7)$$

5. 用途地域指定支援システムの開発

以上の方法に基づき、横浜市港北区（約 4 360 ha）を対象地域として用途地域指定支援システムを開発した。

(1) データの作成

まず用途地域指定を行ううえで重要と考えられる要因を考慮し、表-1に示すデータ項目を選定した。

データは都市計画基礎調査に基づき作成されている横

浜市都市計画課のデータベース⁴⁾を基本とし、それに幹線道路網データ、災害危険区域（浸水危険区域、崖崩れ危険区域）データ等を新たに追加した。なお、人口、建物階数等のデータは都市計画基礎調査に基づくため町丁目単位のデータになっている。

以上の準備によって、町丁目単位のデータに対して構築したシステムの適用が可能になる。しかし、用途地域指定の最小単位として町丁目は一般に広すぎ、またシステムにおいても幹線道路からの距離等の重要な要因を考慮することの意味がなくなってしまう。そこで、より地理的に詳細な単位として 20 m × 20 m のグリッドを設定し、このグリッド単位のプロジェクトデータファイルを作成した。グリッドデータの作成方法は表-1に示すとおりである。

(2) 計画支援ルールの作成

まず表-1に示すデータ項目と8種類の用途地域との間に、①通勤通学の便がよい、②住環境がよい、③交通騒音が少ない、④工場公害が少ない、⑤都市施設の整備度が高い、⑥災害危険性が少ない、⑦買物の便がよい、⑧インターチェンジに近い、という8個のキーワードを抽出した。そして DEMATEL 法により用途地域指定に関する知識の構造化を行い、計画支援ルールを作成した。以上の結果のうち、「第一種住居専用地域」に関する部分を例として、そのキーワードおよび DEMATEL の結果として得られるキーワード間の総合影響度を示したものが図-7である。

ここで、キーワード、DEMATEL における直接影響行列、ルールの前提部、結論部のメンバーシップ関数は、横浜市都市計画課へのヒヤリング結果等を踏まえ、著者が独自に決定したものである。全ルール数は、図-7に示したのもも含めて全部で 127 になった。

以上示したデータおよびルールを用いて用途地域指定のための推論を行った。なお計画支援ルールおよび推論のためのプログラムには FORTRAN を用いている。

表-1 用途地域指定システムにおける使用データ

要因	データ項目	加工方法*	要因	データ項目	加工方法*
人口	人口密度	3	都市施設	公園緑地率	2
建物	非建坪率	2		下水道整備区域	1
	階数	2		文化教育施設への距離	1
	平均敷地面積	2	交通	I C への距離	1
	住居系建物延床面積率	2		高速度道路への距離	1
	商業系建物延床面積率	2		幹線道路への距離	1
	工業系建物延床面積率	2		駅への距離	1
土地利用	住居系土地利用	2	道路面積率	2	
	商業系土地利用	2	自動車交通量	2	
	工業系土地利用	2	防災	浸水危険区域	1
		崖崩れ危険区域		1	

*：グリッドデータの加工方法

- 1 - そのグリッドのデータを利用
- 2 - 近隣 5 * 5 グリッドの平均値を利用
- 3 - そのグリッドの属する町丁目のデータを利用

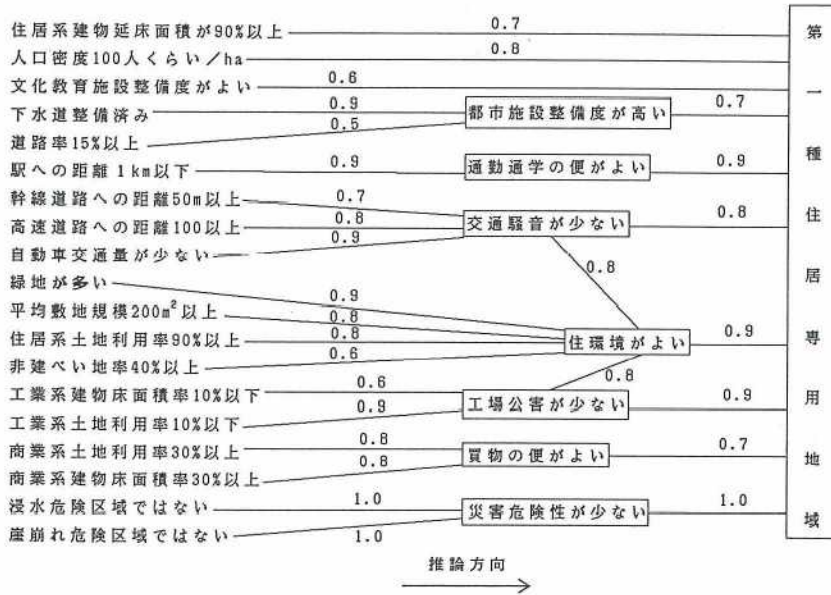


図-7 第一種住居専用地域に関する知識構造

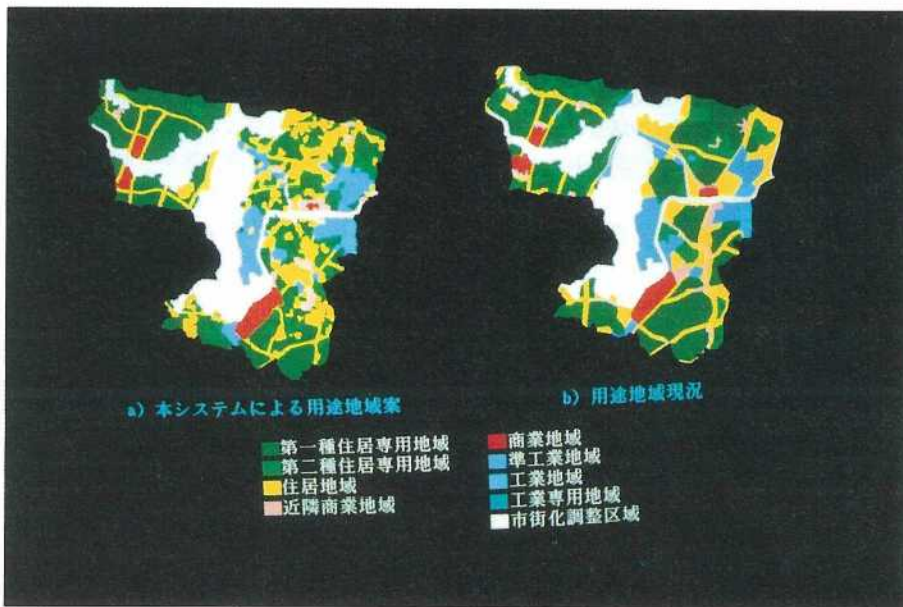


写真-1 本システムによる用途地域指定案と用途地域現況

(3) 計画代替案の作成

本システムの推論によって得られる結果は、「第一種住専にするべきである」、「住居地域にするべきである」、「工業地域にするべきである」といった結論部をもつルールから導かれた8つの結論（メンバーシップ関数）であり、これらが各グリッドごとに与えられる。

用途地域指定案を作成するためには、これらの結果から各グリッドの用途地域を決めなければならない。本研究では以下に示す方法によって用途地域を決定した。

① まず、8つのメンバーシップ関数の統合を行って結論を1つのメンバーシップ関数にする。この際、4.で示したルールの統合モデルは同じ変数の集合に対するメンバーシップ関数の統合演算にも応用可能なものであり、このモデルをそのまま用いることにした。ただし、式(7)におけるルール間の相関度は0とする。このようにして統合したメンバーシップ関数から求める各用途地域のメンバーシップグレードを、そのグリッドをどの用途地域にするべきかを示す適性度と考える。

② 個々のグリッドの各用途地域に対する適性度（メンバーシップグレード）から最終的にそのグリッドの用途地域を決定する問題については、各用途地域の総面積が通常上位計画等によって事前に与えられていることを考慮し、その制約条件のもとに、各グリッドにおいて決定する用途地域の適性度の総和を最大にするように決定するのが適当と考えた。そしてこの最適化問題の1つの簡便解法として以下に示す方法を用いた。

a) グリッドをランダムに抽出し、そのグリッドの各用途地域に対する適性度のうち最大値を示す用途地域に割り当てる。

b) 割り当てた用途地域の面積がその用途地域の上限の面積に達していない場合には割り当てた用途地域をもって決定する。すでに上限に達していれば準最大値を取る用途地域に割り当て、同様の検討を行う。このような過程により、抽出したグリッドを必ずいずれかの用途地域に決定する。

c) 用途地域を決定したグリッドを除き、a), b) の過程を繰り返す。

(4) 適用と考察

横浜市港北区において実際に指定されている各用途地域の総面積をフレームとして与え、以上の方法を適用した。本システムによって得られた用途地域指定案および実際の用途地域指定の状況を示したのが写真—1である。

これらの比較から、本システムによる用途地域指定案には、実際に住居専用系地域であるところを工業地域にするといった非現実的な結果はほとんどなく、ある程度実際の指定状況を反映したものとなっていることがわかる。しかし、このシステムは実際の計画策定作業をそのままシミュレートすることを目的として開発したのではない。ここで得られた用途地域指定案は本研究で作成したルールや推論方法のもとに客観的に導かれたものであり、実際の指定状況との食い違い部分は用途地域指定の見直しを検討すべき地域を少なからず示唆するものと考えられる。

一方本システムによる指定案では一団となる個々の用途地域の面積が小さく、実際の用途地域指定においては各用途地域の地域的連担性をかなり考慮していることがわかる。用地地域の地域的連担性は生活、生産活動や社会基盤整備の効率性の視点から、計画案の作成過程において考慮すべき重要な要因であることはいうまでもない。このことをみても、本システムのような個々の土地（グリッド）単位に用途地域を決定するシステムによって最終的な用途地域指定や見直しの計画案を作成するのは現実的とはいえない。計画者がシステムによる用途地域指定案を評価結果（たとえば本システムの場合でいえ

ば、各グリッドで決定した用途地域の適性度の総和）を参考にしながら逐次修正し、より現実的な指定案へと改善していくことが必要である。

6. おわりに

本研究は知識ベースに基づく土地利用計画支援システムを開発することを目的として、計画専門家等から知識を獲得し、それを IF-THEN ルールとして作成する方法、作成したルールに基づき推論を行う方法等について検討を行った。

本研究で得られた成果は以下のようにまとめられる。

(1) 計画専門家等の知識を DEMATEL 法によって知識の構成要素とこれらの要素間の定量的な関係として構造化し、それに基づき計画支援のためのルールを作成する方法を構築した。

この方法によれば、知識の獲得からルール作成までの過程を DEMATEL 法における直接影響行列作成という過程で代替することができ、これによって本来複雑かつ曖昧なルール作成過程がきわめて容易で、しかも客観性を有するものとなる。

なお計画支援ルールの作成過程で得られるルールの信頼性（確信度）やルール間の相関関係（相関度）は、ルールに基づく推論過程において有効に利用される。

(2) 作成した計画支援ルールに基づく推論方法として、Mamdani によるファジィ推論法におけるファジィ関係の決定方法や複数ルールの統合方法について実用的に改良を施した新たな推論モデルを構築した。

このモデルはルール作成時に得られるルールの確信度や相関度を利用し、ルール、すなわち証拠の追加に伴う結論に対する確信度の増加を考慮することを可能にするなどの改良を加えたものであり、人間の推論パターンをより適切に表現することができる。

(3) 用途地域指定を例に以上の方法に基づく支援システムを開発し、その有効性を検討した。

その結果、開発したシステムは地域的連担性を十分考慮して用途地域指定案を作成するという観点からは改良の余地があるものの、本研究で構築したルールの作成方法や推論方法は実際の用途地域指定やその見直しにおいて十分有効である可能性が示された。

以上のように本研究は、土地利用計画支援システムに対する知識ベースの導入とその利用方法について一応の成果を示したものと考えられるが、残された課題も少なくない。以下に主な点を整理しておく。

(1) 計画支援ルールの作成方法では、ルール作成者が複数、すなわち計画の利害関係者が複数の場合にいかにして作成したルールに対しての合意形成を図るかという問題が重要である。

これは、知識工学におけるルール作成の共通の課題といってもよい。この問題に対し、ここで提案している方法は、個々の知識や判断の相違が影響行列という客観的な指標で明示でき、これが合意形成のための1つの資料として役立つものと期待される。また複数の影響行列をその要素の平均値をとるなどして一元化し、これによってルールを作成するといった試行錯誤を容易に行うことができるという利点も有する。

(2) 計画支援ルールに基づく推論方法では、従来のファジィ推論によるルール統合方法の、証拠が追加されても結論に対する信頼性が増加しない、という点をより現実的に改善する1つの考え方を示したに過ぎない。実際に構築したルールの統合モデルもこの考えを踏まえたものにはなっているが、その合理性を明確に示すまでには至らなかった。ルールの統合モデルについては、他の関数形のモデルも含め、ケーススタディーによって感度分析等を行い、問題点を抽出していくつもりである。

(3) 用途地域指定案の作成方法では、推論結果として得られる各用途地域に対するメンバーシップ関数から、各グリッドの用途地域をいかに決定するかという課題が残されている。

本研究では、これらのメンバーシップ関数をルール統合モデルによって1つに統合し、これによって各グリッドの用途地域指定の適性度としたが、その統合方法や統合されたメンバーシップ関数の解釈についてさらに検討を加えなければならない。また個々の土地(グリッド)単位の推論結果に基づく用途地域の決定方法では、やはり用途地域の地域的連担性を十分考慮することは難しいということもわかった。用途地域の見直し候補地区を抽出するのみであれば問題はないが、より現実的な意志決定支援システムとするためには、地域の連担性といった推論過程において外生条件として処理することが困難な要因を考慮して用途地域を決定する方法が要求される¹⁵⁾。

最後に、本研究を進めるに際し横浜市都市計画課の村俊輔、石黒 徹両氏にはヒヤリングにご協力いただき、

また折にふれ貴重なご意見をいただいた。また本研究の一部に対し、文部省科学研究費(課題番号 01750524)の補助を受けた。記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 田中幸吉：知識工学，朝倉書店，1984。
- 2) Ramsey, C. L. and Reggia, J. A. : A comparative analysis of methods for expert system, Int. J. Man-Machine Studies, Vol. 24, pp. 475~499, 1986.
- 3) 小林重信：知識工学，計測と制御，Vol. 22, No. 1, 1983.
- 4) 石塚 満：不確実な知識の取扱い，計測と制御，Vol. 22, No. 9, pp. 774~779, 1983.
- 5) Shortliff, E. : Computer-based Medical Consultations : MYCIN, America Elsevier, 1976.
- 6) 石塚 満：Dempster & Shafer の確率理論，電気通信学会誌，pp. 900~903, 1983.
- 7) Dempster, A. P. : Upper and Lower Probabilities Induced by A Multivalued Mapping, Annals of Math. Statistics, Vol. 38, pp. 325~339, 1967.
- 8) Zadeh, L. A. and Fu, K. S. : Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive and Decisive Processes, Academic Press, 1975.
- 9) 秋山孝正・佐佐木綱：ファジィ推論と交通行動の記述，交通工学，Vol. 23, No. 3, pp. 21~27, 1988.
- 10) 榎木義一・河村和彦：参加型システムズ・アプローチ手法と応用一，日刊工業出版社，1981.
- 11) 田村坦之：構造モデリング—理論とアルゴリズムを中心として，計測と制御，Vol. 18, No. 2, pp. 171~177, 1979.
- 12) 水本雅晴：基礎としてのファジィ理論，Computer Today, 特集：ファジィコンピュータ，pp. 11~16, 1988.
- 13) Mamdani, H. E. : Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis, IEEE Trans. on Computer, C-26, pp. 1182~1191, 1977.
- 14) 原賀広紀・笹川 正；石黒 徹：人口・土地利用・建物利用現況データベースを利用した都市構造解析手法の確立，AUTOCARTO JAPAN 論文集，No. 4, pp. 139~142, 1988.
- 15) 清水英範・河合毅治：土地分級結果に基づく用途地域の配置問題，土木計画学研究・講演集，1990.

(1990. 2. 5・受付)