

ファジィ推論を用いた都市政策評価のための立地均衡モデルの構築*

A Location Equilibrium Model with Fuzzy Reasoning for Evaluating Urban Policy *

大森貴仁^{*1}・高木朗義^{*2}・秋山孝正^{*3}

By Takahito OMORI^{*1}・Akiyoshi TAKAGI^{*2}・Takamasa AKIYAMA^{*3}

1. はじめに

都市計画における様々な場面で土地利用を予測することは重要であり、これまでも数多くの土地利用予測モデルが開発されてきた。中でもロジットモデルを用いた立地均衡モデルは、経済原理を基礎としており、プロジェクト評価を統合的に行えることから、現在広く活用されている¹⁾。土地利用は人々の主観的な行動により行われているため、そこには数式で表現することの難しい曖昧性を含んでいる。そこで本研究では、従来のロジットモデルを用いた立地均衡モデルにファジィ推論を組み入れたハイブリッドモデル²⁾を構築し、より人間的な立地行動を表現するとともに、都市政策導入による土地利用変化の原因を人間の内面から分析し、都市政策を評価する一つの手段として活用することを目的とする。

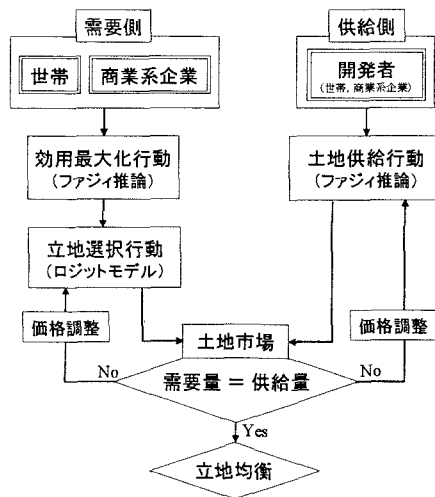


図1 本モデルの概要

2. 既往研究の整理と本研究の位置付け

わが国における土地利用モデルの開発は、1970年代後半から始まり、適用実績も多く蓄積された³⁾。このような時期を経て、80年代後半から開発されたモデルには、いくつかの共通特性が見られる。①立地選択行動をロジットモデルにより表現、②土地市場のモデル化、③都市経済学の理論や一般均衡理論の適用、という共通した方向性に加え、効用水準の推計にはミクロ経済学に基づいた間接効用関数や消費者余剰を直接的に表し、その変化分を便益とすることのできる準線形効用関数が用いられてきた³⁾。

本研究においても、これまで開発されてきたモデルと同様な共通特性を持ったモデルを構築する。その際、立地選択時に生じる人々の考え方や感じ方の違いを忠実に表現すること、つまり、非常に複雑な非線形構造である効用水準を忠実に推計することは、モデル自体の信頼性を向上させるために不可欠である。

*キーワード：土地利用，都市計画，ソフトコンピューティング

^{*1} 学生員，岐阜大学大学院工学研究科土木工学専攻

^{*2} 正員，博(工)，International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA)，岐阜大学工学部社会基盤工学科
(〒501-1193 岐阜市柳戸1-1，TEL:058-293-2445

FAX:058-230-1248,E-mail:a_takagi@cc.gifu-u.ac.jp)

^{*3} 正員，工博，岐阜大学工学部社会基盤工学科

そこで曖昧性を伴う人間の意思を表現する手法としてファジィ推論を用いる。ファジィ推論とは、「もしXが～ならば、Yは～とする」という形で表現される計算機科学の表現方法の一つである⁴⁾。例えば、「もし雨が降りそうならば、傘を持っていく」という人間が日常的に行う認知・判断の過程をIF/THENルールにより柔軟に取り扱うことができる。また、言語変数を用いることにより、曖昧性を含んだ人間の言葉をそのまま扱うことができることから、これまで交通行動分析において、さまざまな分析が行われてきた経緯がある。交通機関選択や交通経路選択の分析では、交通現象を引き起こす根源である交通行動者の内的側面を考慮することは重要であり、これは立地選択行動や土地供給行動においても同様である。そこで、人間の曖昧な意思により決定されるこれらの行動を表現する手法として、ファジィ推論の導入は有効であると考えられる。

本モデルでは、都市政策を導入した場合の土地利用変化をゾーン単位で捉えるため、詳細な予測ではなくマクロ的な土地利用予測を行う上で有効なモデルであると位置付けている。

3. 立地均衡モデルの構築

(1) モデルの概要

本モデルの概要を図1に示す。社会には、立地選択を

行う世帯と商業系企業（小売業、飲食店業）および土地を供給する開発者の3主体が存在するものとする。需要側を2主体に限定した理由は、都市政策導入に敏感に反応し、それによって立地状況に変化をもたらすと考えられるためである。

世帯は効用最大化行動を行い、地域内でより高い効用を得られるゾーンに立地するものとする。商業系企業は利潤最大化として捉えるのではなく、企業経営者の効用最大化行動として捉える。具体的には、企業は利潤以外に経営の安定さなども考えながら立地選択を行うことを考慮する。例えば岐阜市では、中心部への過度な企業の集積がみられるため、これを利潤が最大に得られる場所に立地しているという行動で表すことは難しいと思われる。また、利潤最大化行動として捉えるためには、ゾーンごとに売り上げや経費などの生産要素に関するデータが必要であるが、このような詳細なデータをゾーンごとに得ることは極めて困難であると思われる。なお、推計のし易さとデータの制約から企業数は従業員人口によって捉えることとする。

開発者は世帯、商業系企業それぞれについて、各ゾーンの中でどの程度を開発し、供給することが利潤を最大にすることができるのかを考えた行動をするものとする。ここでは、所有する土地を需要側の行動に合わせながら供給（売却）することが、長期的な利潤を最大にすると仮定し、この行動を土地供給行動とする。実際には、開発者が大規模な開発をしたり、逆に開発を抑制するなど、戦略的に行動することがあるが、本研究ではこのような特別な行動については考慮しないこととする。

各主体の行動はさまざまな考えを持つ人によって行われている。人は同じ状況でも異なる行動を取ることがあるという曖昧さを含んだものであるため、これをファジィ推論により表現する。また、立地選択行動では、個々が必ずしも常に合理的な選択行動を行うとは限らず、それぞれの土地の情報も十分でない場合もある。このような不確実な状況を考慮するために、ロジットモデルを用いて表現する⁹⁾。

土地は居住用と商業用を区別し、土地市場は居住用と商業用の2市場が存在するものとする。開発者は世帯と商業系企業に対し、別々に土地供給行動を行う。そして、各主体の行動により求まる土地需要量と土地供給量が一致するように土地市場の価格調整メカニズムが働き、各ゾーンの立地量が決定される。

(2) 世帯の行動モデル

世帯の立地行動を表現する際に考慮すべき事柄を以下に記す。

①人によって土地の魅力度に対する考え方や感じ方はさまざまである。そのような人が多数存在することによ

り土地の魅力度を決める環境要因への感じ方にも幅がある。

これは、幅のある言語変数を用い、人間の認知・判断に内在する曖昧性を取り扱うことができるファジィ推論を用いることで表現する。

②世帯が立地場所に求めるものは、住みやすさであると考えられるため、このことを表す環境要因を選定する必要がある。

この部分には、各地域の状況や地域住民の考え方を考慮することが必要である。まず考えられるのが、交通の利便性に関することである。これは通勤や通学、買い物など日々の生活を送る上で欠かすことのできないものである。次に地価が考えられる。さらに自然環境や衛生面の環境、安心・安全な場所といった住環境の良さが考えられる。世帯が考える土地の魅力は、主に上記の要因により構成されていると考えられるため、これらの要因を満たすものを用いてゾーンごとの効用水準を算出する。

(a) 効用水準(各ゾーンの立地魅力度)

立地選択に影響を及ぼす要因となり得る環境要因に応じたファジィ推論ルールとメンバシップ関数から効用水準が求まる。

ここで、土地の魅力度を表す環境要因について説明する。環境要因には、地価、交通施設整備率、都市公園整備水準、岐阜駅までの一般化交通費用を用いる。まず地価は一般に土地の形状・周辺状況・交通施設との接近状況などの立地条件を考慮したものである。これは立地選択行動や土地供給行動に必要な要因であるため、世帯だけでなく、商業系企業、開発者の各行動モデルに用いる。交通の利便性を表す要因としては、交通施設整備率を用いる。子供を育てる環境に良い、野外活動の場があるといった生活環境の一部を表す要因としては、都市公園整備水準を用いる。岐阜駅までの一般化交通費用は中心部までの行き易さや通勤の便利さを表す要因として用いる。

ファジィ推論は、各環境要因および効用について3種類のルールを作成し、PS・PM・PB・NB・ZOという言語変数を用いて図2ように表現する。ファジィ推論ルールとは、言語を使ってモデルの構造を説明できるため、内容を理解しやすい。例えば、ルール1では、「もし地価が低いならば、効用水準は高い」ということを示しており、人間の知識をそのままルールとして記述することができる。本来ならば、各環境要因の特徴を活かすようなルール構成が必要であるが、現段階では土地利用予測モデルへのファジィ推論の適用性について確認することが優先されるため、ここでは単純なルールを用いている。

メンバシップ関数は、大きい、小さいという言語変数に基づいて決まる数である。ファジィ推論を規定するパラメータは、H7の居住人口の現況値と推計値の誤差が最小になり、かつ、人の選好として常識的なものとなるよ

うに試行錯誤により決定した。メンバシップ関数の形状は、人の認知・判断に含まれる曖昧さを表現するため、さまざまな形が考えられるが、ここでは推論ルール同様、土地利用予測モデルへのファジィ推論の適用性の確認を優先するため、図3に示すように3つの言語変数について最も単純な三角形を用いた。また、商業系企業、開発者のメンバシップ関数の形状についても同様の形を用いた。各パラメータについては表1に示し、選定理由を以下に記す。地価については、郊外への立地が目立つ岐阜市の現状から、地価が土地の魅力度に大きく影響すると考えられるため、平均値(13)でも魅力度が低くなるように設定した。交通施設整備率については、岐阜市郊外には環状線があるなど、どのゾーンでもある程度満足のいく道路整備がなされていると考えられるため、整備率については正の魅力度を得るようにした。都市公園整備水準については、ある一定以上の規模があれば満足するとの考えから、最大値(34)でも魅力度は得にくいものとした。岐阜駅までの一般化交通費用については、平均値(1200)より少々高くても魅力度を得ることができるとした。なぜなら、郊外に立地する人々の中にはほとんど中心部に魅力を感じず、ほとんど出向くことがない人が多数存在することを考慮するためである。

各ゾーンの効用水準 u^i は、各環境要因に基づく効用水準 u を統合することで求める。各推論ルールの推計結果はファジィ数であるため、非ファジィ化することで確定数となる。非ファジィ化には多くの方法があるが、一般的に用いられているものは、ファジィ数の分布重心を用いるものである。また、これを求めるにはいくつかの方法があるが、本研究ではproduct-sum-gravity法を用いることとする。product-sum-gravity法の基本的な流れを図4に示すとともに以下で説明する⁶⁾。

- ①各ルールの前件部において、各環境要因の値に対するメンバシップ値から次式を用いて、後件部への適合度を求める。

$$w_j = \mu_j(x_i) \times \mu_j(y_i) \quad (1)$$

- ②後件部のメンバシップ関数に、①で求めた適合度を掛けることにより各ルールの後件部の推計結果を求める。

$$\mu_j(z) = w_j \times \mu(z) \quad (2)$$

- ③②で求めた各ルールの推論結果を統合し、全体の推計結果とする。

$$\mu^*(z) = \sum_j \mu_j(z) \quad (3)$$

- ④全体の推論結果の重心を求める。これが確定値である。

- Rule 1 : IF x_1 is PS THEN u is PB
 Rule 2 : IF x_1 is PM THEN u is ZO
 Rule 3 : IF x_1 is PB THEN u is NB
 Rule 4 : IF x_2 is PS THEN u is NB
 Rule 5 : IF x_2 is PM THEN u is ZO
 Rule 6 : IF x_2 is PB THEN u is PB
 Rule 7 : IF x_3 is PS THEN u is NB
 Rule 8 : IF x_3 is PM THEN u is ZO
 Rule 9 : IF x_3 is PB THEN u is PB
 Rule 10 : IF x_4 is PS THEN u is PB
 Rule 11 : IF x_4 is PM THEN u is ZO
 Rule 12 : IF x_4 is PB THEN u is NB

ここで、 x_1 : 地価, x_2 : 交通施設整備率, x_3 : 都市公園整備水準, x_4 : 岐阜駅までの一般化交通費用, u : 効用, PS: Positive Small, PM: Positive Medium, PB: Positive Big, NB: Negative Big, ZO: Zero.

図2 世帯のファジィ推論ルール

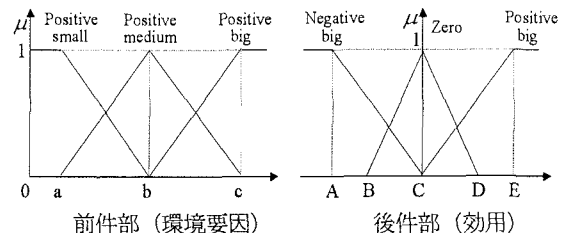


図3 世帯の行動を表すメンバシップ関数の形状

表1 メンバシップ関数のパラメータ(世帯)

前件部					
	a	b	c		
地価(万円/㎡)	1	9	27		
交通施設整備率(%)	2	10	95		
都市公園整備水準(%)	1	45	75		
岐阜駅までの 一般化交通費用(円)	400	1550	2500		
後件部					
	A	B	C	D	E
効用水準	-9	-4	0	5.5	12

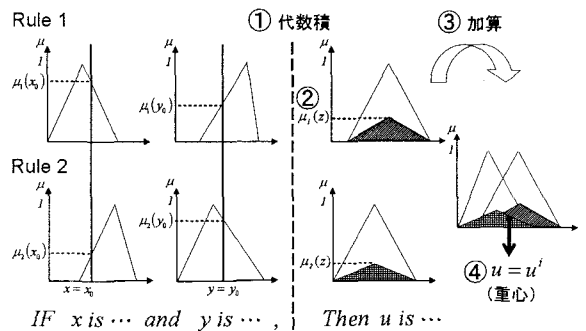


図4 product-sum-gravity法の推論手順

$$u^i = \frac{\int z \cdot \mu^i(z) dz}{\int \mu^i(z) dz} \quad (4)$$

ここで、 $\mu_j(z)$ ：環境要因 j に応じた後件部のメンバーシップ値、
 z ：後件部における原点から推論結果の重心までの横軸の距離、
 $\int \cdot dz$ ：後件部における A～E までの積分。

(b) 世帯の立地選択行動

世帯は各ゾーンの効用水準 u^i に基づき居住地を選択する。この立地選択行動をランダム効用理論を用いて定式化すると次式のようになる⁷⁾。

$$S_h = \max_{P_h^i} \left[\sum_i P_h^i u^i - \varepsilon \right] \quad (5)$$

$$s.t. \sum_i P_h^i = 1$$

ここで、 S_h ：世帯の立地選択における最大期待効用値、
 P_h^i ：ゾーン i の立地選択確率、 ε ：確率項。

ランダム効用理論では、効用水準は観測可能な要因による確定項と観測不可能な要因により確率的に変動する確率項により構成される⁸⁾。本モデルは、確定項についてのみファジィ推論を用いて表現したものである。したがって、モデル全体では人間のもつランダム性とファジィ性を同時に考慮した現実的なモデルであるといえる⁹⁾。

ここで、確率項の分布をガンベル分布と仮定して式(5)を解くことにより、式(6)の多項ロジットモデルが得られる。これに各ゾーンの効用水準 u^i を代入すると立地選択確率 P_h^i が求まり、さらに総居住人口 N_h を乗じることで各ゾーンの居住人口 N_h^i が決まることとなる。

$$P_h^i = \frac{\exp[\theta \cdot u^i]}{\sum_i \exp[\theta \cdot u^i]} \quad (6)$$

ここで、 θ ：ロジットパラメータ($\theta=1$ とする)

$$N_h^i = P_h^i \cdot N_h \quad (7)$$

(c) 世帯の土地需要量

各ゾーンにおける地価 ρ_h^i 、岐阜駅までの距離 s^i と居住者一人当たりの土地利用の関係を表した土地需要関数を式(8)に示すように定式化し、居住者一人当たりの土地需要量 q_h^i を推定する。なお、通常、すなわち微分可能な効用関数であれば、ロアの定理¹⁰⁾を用いることによって、この土地需要関数は求められるが、本研究ではファジィ効用関数を採用しているため、このように別途土地需要関数を定式化している。これに居住人口 N_h^i を乗じるこ

とによって各ゾーンの世帯土地需要量 Q_h^i が求まる。

$$q_h^i = q_h^i(\rho_h^i, s^i) \quad (8)$$

$$Q_h^i = q_h^i N_h^i \quad (9)$$

(d) 世帯の行動モデルの特徴

世帯の行動モデルの特徴としては以下のことが挙げられる。

- ①言語変数を用いることで、人間の認知・判断の過程における曖昧さを表現できる。例えば、地価 10 万円/㎡ という値に高いと感じるか低いと感じるかとは人によってさまざまであるが、このような認知の幅を考慮することが可能になったといえる。
- ②世帯の行動を推論ルールにより表現することで、論理関係を明確に示すことができる。なお、本モデルで採用した推論ルールは単純なものであり、本来ファジィ推論で表すことができる高度な非線形性については十分表現できているとはいえない。

(3) 商業系企業の行動モデル

商業系企業の立地行動を表現する際に考慮すべき事柄を以下に記す。

- ①世帯と比べて土地の魅力度に対する考え方が異なることを表現する必要がある。

これは、メンバーシップ関数の形状を変化させることで表現する。世帯との大きな違いは、地価に対する考え方である。地価が高いと世帯にとっては負効用しか生じないが、商業系企業では、より利潤を得るためには地価が高くとも人が集まる都心部には、魅力を感じるということが考えられるからである。そこで、世帯と商業系企業の地価に対する考え方の違いを比較すると、図5に示すように、商業系企業の方が地価に対する抵抗が低くなっている。このように、各主体の考え方を柔軟に取り扱うことができることもファジィ推論を用いる利点である。

- ②商業系企業が立地場所に求めるものは、道路整備の状況など、交通に関する要因である。集客力に直接関係すると考えられるこの要因は商業系企業の立地を捉える上で不可欠なものであるため、このことを考慮した環境要因を選定する必要がある。

そのため、環境要因の選定において交通の利便性を示す

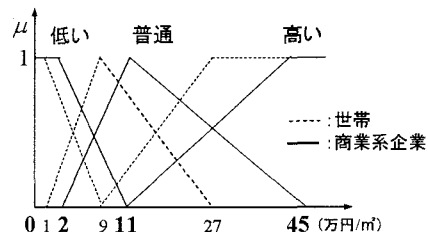


図5 世帯と商業系企業の地価に対する形状の違い

要因を重視する。まず、交通施設整備率の他に、集客のしやすさなど商業地の魅力度に大きく影響する要因として環状線の有無を用いる。また商業系企業がターゲットにしているのは付近住民であり、ゾーン周辺部に立地する人の来やすさを表す要因として隣接ゾーンからの一般化交通費用を用いる。商業系企業が考える土地の魅力は、主に上記の要因により構成されていると考えられるためこれらの要因を用いてゾーンごとの効用水準を算出する。

(a) 効用水準(各ゾーンの立地魅力度)

地価、交通施設整備率、隣接ゾーンからの一般化交通費用についての推論ルールの形式は世帯と同様であるが、メンバシップ関数の形状を変化させることで、世帯との考え方の違いを表現している。環状線の有無を扱うルールについては、「もし環状線が通っているならば効用は1、通っていないならば効用は0」というルールを用い、効用水準をクリスプな数で表現する。メンバシップ関数の形状も世帯と同様であり、ファジィ推論を規定するパラメータは、H7の従業人口の現況値と推計値の誤差が最小になり、かつ、人の選好として常識的なものとなるように試行錯誤により決定した。パラメータを表2に示し、その選定理由を以下に記す。地価については、世帯に比べて地価への抵抗が低いものとした。なぜなら、少しぐらい高くても賑わいのある場所、世帯が多く立地している場所へ立地したいという考えを考慮するためである。交通施設整備率については、最大値(66)では非常に高い魅力度を得ることができるが、平均値(37)では魅力が得られないとした。このように選定した理由は、車利用者の多い岐阜市においては、道路整備の状態が商業系企業に非常に大きな影響を与えることを考慮するためである。隣接ゾーンからの一般化交通費用については、どのゾーンでも大きな違いはみられないため、最小値(630)でも最大値(1100)でも魅力度は大きく変化しないものとした。

(b) 商業系企業の立地選択行動

各ゾーンの効用水準 π^i と多項ロジットモデルにより、各ゾーンの従業人口 N_c^i が決まる。

$$N_c^i = P_c^i \cdot N_c \quad (10)$$

(c) 商業系企業の土地需要量

各ゾーンにおける地価 ρ_c^i 、岐阜駅までの距離 s^i と従業者一人当たりの土地利用面積の関係を表した土地需要関数を式(11)に示すように定式化し、従業者一人当たりの土地需要量 q_c^i を推定する。これに従業人口 N_c^i を乗じることによって各ゾーンの商業系企業の土地需要量 Q_c^i が求まる。

$$q_c^i = q_c^i(\rho_c^i, s^i) \quad (11)$$

$$Q_c^i = q_c^i N_c^i \quad (12)$$

表2 メンバシップ関数のパラメータ(商業系企業)

前件部

	a	b	c
地価(万円/㎡)	2	11	45
交通施設整備率(%)	12	62	66.8
隣接ゾーンからの一般化交通費用(円)	100	400	1,300

後件部

	A	B	C	D	E
効用水準	-9	-2	0	6	13

(d) 商業系企業の行動モデルの特徴

商業系企業の行動モデルの特徴としては以下のことが挙げられる。

- ①世帯との考え方の違いをメンバシップ関数の形状により明示的に示すことができる。
- ②商業系企業の立地行動に大きな影響を及ぼす交通の利便性は非常に曖昧なものであるが、ファジィ推論を用いることで明確に表現できる。

(4) 開発者の行動モデル

開発者の土地供給行動を表現する際に考慮すべき事柄を以下に記す。

世帯や商業系企業の行動は各自がより満足するために行うものであるが、開発者の行動は需要側の考えを捉えた行動であるとする。開発者は世帯、商業系企業それぞれの土地市場において、どの程度の面積を開発し、供給することが最適であるかを考えた行動を行う。各ゾーンの様々な要因に応じて開発規模を決定するためには各主体がどのような土地に魅力を感じているのかを忠実に捉えることのできる環境要因を選定することが求められる。

開発者は世帯や商業系企業より、土地に関する情報を多く保有していることから、各主体で用いた環境要因に他の要因を加えたものを用いることで、それぞれに見合った土地供給行動を行うものとする。なお、世帯と商業系企業に対する開発者の行動モデルは同様であるため、ここでは世帯に対するモデルのみ説明する。

(a) 各ゾーンの開発率(開発規模)

環境要因には、世帯で用いた要因の他に、隣接ゾーンまでの一般化交通費用、自然の豊かさを加える。なお、自然の豊かさは中心部からの距離(km)により表現する。この理由としては、自然の豊かさを表す指標として緑地面積を取り扱い、緑地面積は中心部からの距離に従って大きくなっていくと考えられるためである。そして、これらの要因を用いて住宅用地および商業用地に対する開発率を求める。

ファジィ推論は、各環境要因および開発率について3種類のルールを作成し、PS・PM・PB・NB という言語変数を用いて図6ように表現する。ただし、現況の地価と供給量との間には通常の供給行動にみられるような明確な

関係が成立していなかったことから、本モデルでは通常の供給関数の性質とは異なるルールを用いている。具体的には需要側に合わせた供給行動を表現するために、地価に関して需要側と同様のルールを用いるとともに、地価の変動が開発率に大きな影響を与えないようなメンバシップ関数の形状を設定した。

メンバシップ関数は効用水準ではなく開発率を算出するため、0～1までとする。ファジィ推論を規定するパラメータは、H7の開発率の現況値と推計値の誤差が最小になり、かつ、人の選好として常識的なものとなるように試行錯誤により決定した。メンバシップ関数の形状は、世帯と同様に、3つの言語変数について単純な三角形を用いた。その形状を図7に示す。また、各パラメータを表3に示し、その選定理由を以下に記す。地価については、世帯に比べて地価に対する抵抗が低く、平均値(13)でも高い魅力度を得ることができるように設定した。交通施設整備率については、世帯よりも強い選好となるであろうことを考慮し、平均値(37)でも高い魅力度を得ることができるように設定した。都市公園整備水準については、平均値(8)以上では高い魅力度を得るものとし、公園の規模が魅力度に大きく影響するものとした。岐阜駅までの一般化交通費用については、現況の岐阜市のデータから得られた最小値(700)、平均値(1200)、最大値(2100)を基に設定した。隣接ゾーンまでの一般化交通費用については、どのゾーンでも大きな違いはみられないため、魅力度は大きく変化しないものとした。自然の豊かさについては、先に述べたことに基づき、現況の岐阜市のデータの最小値(1)、平均値(6)、最大値(11)を基に設定した。

(b) 土地供給量

各ゾーンにおける住宅用地と商業用地のそれぞれについて開発率と供給可能面積 W_h^i 、 W_c^i から土地供給量 L_h^i 、 L_c^i が求まる。

$$L_h^i = r_h^i \cdot W_h^i \quad (13.1)$$

$$L_c^i = r_c^i \cdot W_c^i \quad (13.2)$$

(c) 開発者の行動モデルの特徴

開発者の行動モデルの特徴としては以下のことが挙げられる。

- ①世帯、商業系企業で用いた環境要因に他の要因を加えることで、現実的な土地供給行動を表現できる。
- ②各環境要因に対する推論ルールは需要側と同様であるため各主体の行動を把握した開発を行うことができる。

(5) 土地需給の均衡

各ゾーンの世帯・商業系企業の需要量と開発者の供給量が一致し立地量と地価が同時に決定される過程は、市

- Rule 1 : IF x_1 is PS THEN r^h is PB
 Rule 2 : IF x_1 is PM THEN r^h is PM
 Rule 3 : IF x_1 is PB THEN r^h is NB
 Rule 4 : IF x_2 is PS THEN r^h is NB
 Rule 5 : IF x_2 is PM THEN r^h is PM
 Rule 6 : IF x_2 is PB THEN r^h is PB
 Rule 7 : IF x_3 is PS THEN r^h is NB
 Rule 8 : IF x_3 is PM THEN r^h is PM
 Rule 9 : IF x_3 is PB THEN r^h is PB
 Rule 10 : IF x_4 is PS THEN r^h is PB
 Rule 11 : IF x_4 is PM THEN r^h is PM
 Rule 12 : IF x_4 is PB THEN r^h is NB
 Rule 13 : IF x_5 is PS THEN r^h is PB
 Rule 14 : IF x_5 is PM THEN r^h is PB
 Rule 15 : IF x_5 is PB THEN r^h is NB
 Rule 16 : IF x_6 is PS THEN r^h is NB
 Rule 17 : IF x_6 is PM THEN r^h is PM
 Rule 18 : IF x_6 is PB THEN r^h is PB

ここで、 x_1 : 地価、 x_2 : 交通施設整備率、 x_3 : 都市公園整備水準、 x_4 : 岐阜駅までの一般化交通費用、 x_5 : 隣接ゾーンまでの一般化交通費用、 x_6 : 自然の豊かさ、 r^h : 開発率(世帯)

図6 開発者のファジィ推論ルール

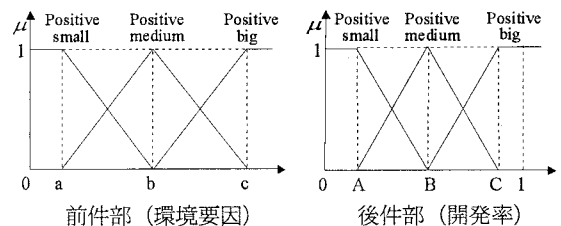


図7 開発者の行動を表すメンバシップ関数の形状

表3 メンバシップ関数のパラメータ(開発者)

前件部			
	a	b	c
地価(万円/㎡)	3	16	30
交通施設整備率(%)	11.5	55	66
都市公園整備水準(%)	2.5	7	95
岐阜駅までの一般化交通費用(円)	720	1000	2300
隣接ゾーンまでの一般化交通費用(円)	730	750	1500
自然の豊かさ	1	5	13
後件部			
	A	B	C
開発率	0.25	0.35	0.60

場均衡と立地均衡をいう2つの均衡条件が同時に成立することにより表現される¹¹⁾。その計算手順を図8に示す。

(a) 市場均衡

①各ゾーンに立地した世帯、商業系企業が土地需要関数に基づき土地需要を行い、②開発者は構築したモデルにより土地供給を行う。各立地量が固定された状態を考えると、③市場で集約された需要と供給が均衡し、④各

ゾーンの市場均衡価格が決定される。

(b) 立地均衡

市場均衡によって決定された地価により、⑤各ゾーンの効用水準が決定し、⑥世帯、商業系企業はそれに基づいて立地選択行動を行う。⑦その結果、各ゾーンの立地量が決定される。⑧ここで立地均衡条件が成立しなかった場合、土地市場の価格調整メカニズムが働く。すなわち、地価を変更することで、再度、各主体の行動が行われる。

(c) 市場と立地の同時均衡

市場均衡条件と立地均衡条件より、ワルラス的な他市場同時均衡に基づき、⑨各ゾーンの立地量と地価の均衡解が同時に決定される。

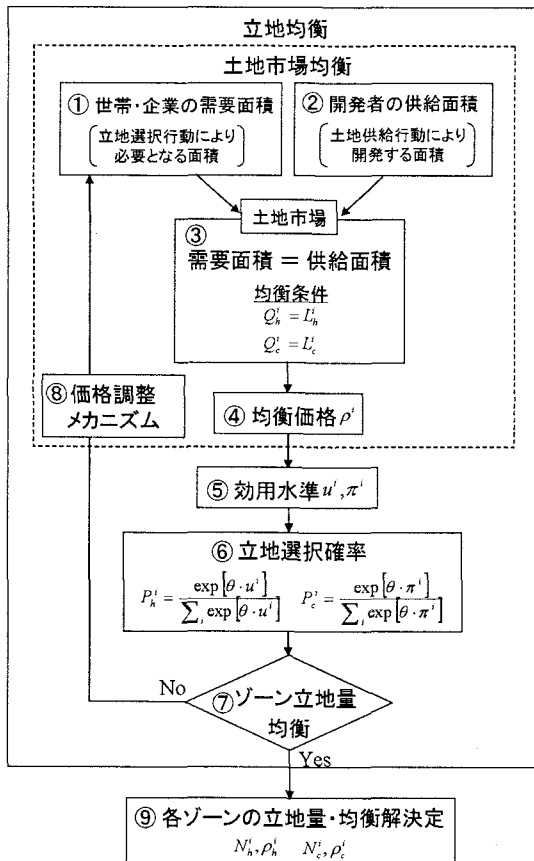


図8 立地量と地価の同時均衡解の決定方法^④

4. 現況再現性

岐阜市を対象地域として本モデルの適用性を確認した。まず図9に示すように岐阜市を11ゾーンに分割する。ここでは、岐阜市外との流入流出は均衡していると仮定しモデルの現況再現性を確認した。構築した各主体のモデルにより推計した結果を図10に示す。結果は世帯、商業系企業とも高い的中率となっており、まずは構築した



図9 対象地域

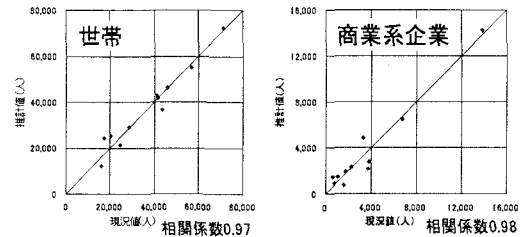


図10 ファジィ推論による現況再現

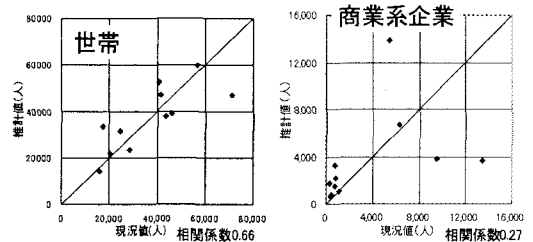


図11 線形効用関数による現況再現

モデルの妥当性が確認できた。

また、モデルの概要や環境要因は同じものとして、式(14)に示すような線形効用関数を用いた立地均衡モデルを構築し、現況再現性を比較する。

$$u^i = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (14)$$

ここで、 β_i ：パラメータ、 n ：環境要因の数。

結果は図11の通り、世帯は的中率が低く、商業系企業は土地需給の均衡を満たさなかったため現況再現を行うことができなかった。そこで、商業系企業に対する開発者については、開発率にあまり影響を及ぼさなかった隣接ゾーンからの一般化交通費用という環境要因を除いた線形効用関数により現況再現を行ったが、やはり精度の高い結果は得られなかった。この理由としては、開発者の行動モデルの精度が低いこと、並びに、商業系企業が特定ゾーンに集中するという世帯とは異なる立地状況を忠実に表現することができなかったためである。なお、

ここで用いた世帯、商業系企業、開発者の効用関数の各パラメータを表4に示す。

各ゾーンの効用水準は、個々によってさまざま見方があるため不確実で曖昧なものである。このような非常に複雑な非線形構造となっている効用水準の推計を線形効用関数で行うと、世帯、商業系企業ともに、各ゾーンに対して多少の誤差がみられる。特に世帯の南西部については図10に示すように最も誤差が大きくなっている。このゾーンは交通施設整備率が非常に高いが、地価が低いという他のゾーンとは異なる性質がある。この理由としては、ゾーンの特異な要因について、線形効用関数では柔軟に取り扱うことができなかったのではないかと考えられる。その反面、ファジィ推論では言語変数を用いることで高度な非線形性を表現することができ、また、各環境要因についてそれぞれにふさわしいメンバシップ関数を用いることで、ゾーンの特異な要因についても柔軟に取り扱うことができるため、精度の高い推計が可能になったといえる。

線形効用関数を用いた場合との比較により、ファジィ推論を用いることで推計精度を高めることができた。そこで効用関数を数式ではなく、ファジィ推論により記述することの特徴を以下にまとめる。

- ①各環境要因に応じた効用水準を推論ルール、メンバシップ関数から求めることで、特異な要因をもつ場合でも柔軟に対応することが可能となる。
- ②パラメータ推定を現況データに対する適合性をもとに行うため、人間的な思考を考慮した現実的な値を用いることができる。
- ③推論ルールの選定は主観的に行うため、一意的な効用関数を同定することが難しい。
- ④試行錯誤によるパラメータ推定では、従来の統計手法のように最適なパラメータを決定することができないため、必ずしも最適な解になっているとは限らない。この問題の解決方法としては、GAを用いた推定が有効な手法として挙げられる。これまでもGAにより最大対数尤度を基準としたパラメータ推定が水谷、秋山¹²⁾により提案されている。
- ⑤ファジィ推論では解析的な微分不可能であるため、解の一意性、収束性を解析的に示すことができない。ただし、数値的にはこれらを示すことは可能である。また、土地需要関数を求めることができないなど、関数型モデルに対して劣る部分がある。

5. 都市政策による土地利用変化の予測

構築したモデルを用いて、岐阜市に都市政策を実施した場合の土地利用変化の予測を試みた。

中央部①は岐阜都市圏の中心地であるが、近年、人口

表4 各主体の効用関数のパラメータ

	世帯		商業系企業		開発者 (世帯)		開発者 (商業系企業)	
	β_i	t値	β_i	t値	β_i	t値	β_i	t値
地価	0.012	0.9	0.093	5.57	0.0072	0.64	-0.001	-0.23
交通施設整備率	0.001	0.37	0.003	0.39	0.0005	0.16	0.002	0.91
都市公園整備水準	0.009	2.38			-0.003	-0.75		
岐阜駅までの一般化交通費用	-0.0008	-6.94			0.0001	0.66	0.00007	0.81
隣接ゾーンからの一般化交通費用			-0.0008	-1.00				
隣接ゾーンまでの一般化交通費用					0.0003	1.24		
環状線の有無			0.665	3.31			0.056	1.00
自然の豊かさ					0.0075	0.30		

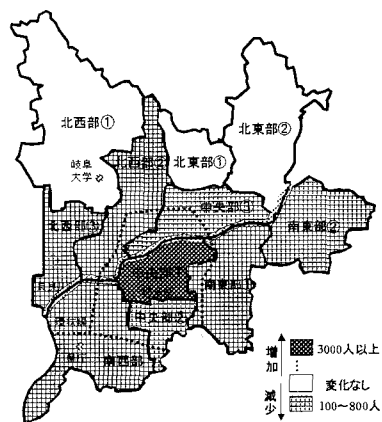


図12 住居系容積率増加の影響(世帯)

が著しく減少しており、現在、様々な中心市街地活性化策が計画・実行されている。そこで中央部①を対象に世帯または商業系企業の容積率を増加させる政策を想定した。なお、容積率の変化は供給可能面積を増加させることにより表現するものとする。

(1) 中心地の居住に関する活性化の可能性

中央部①の容積率を増加させ、中心地の居住スペースを広げることは、周辺からの立地変更を促すことが予想される。政策導入により、どの程度立地状況が変化するか、どのゾーンからの立地変更が多いのか、なぜそのような現象が起きたのか、を分析し、容積率増加が中心市街地活性化に有効な施策であるのかを検討する。ここでは中央部①の住居系の平均的な容積率を200%から250%に増加させた場合の土地利用を予測した。結果を図12に示す。

中央部①では地価が下がり、その変化率も他のゾーンに比べて大きい。人口が約3200人増えている。交通の利便性が高い周辺部から中央部①への立地変更者が多くなり、どのゾーンも500人程度減少している。これは交通の利便性よりも地価の変化が効用水準に大きな影響を及ぼす推論ルールとメンバシップ関数の形状を用いて

いるためである。

図13に示すように、中央部①では、地価の効用水準が非常に低かったが、地価が下がったことで全体の効用水準が他のゾーンよりも上がったため、人口が増加した。

図14に示すように、南西部では、地価が下がったにも関わらずその減少率が他のゾーンより低く、全体の効用水準には影響を及ぼさないため、中心部へ立地変更する人が見られた。

中心部は、交通の利便性が良く、生活する上では過ごしやすい環境であるが、地価が高く、住宅面積も狭いため、現状では周辺部や郊外への立地が進んでいる。しかし、中心部に新たなスペースが生まれることにより、特に周辺部に居住している人が多く立地変更を行うという現象を、本モデルで捉えることができた。従って、容積率増加は周辺部から中心部への立地変更を促すため、中心市街地活性化策として有効であると思われる。

(2) 中心地の商業に関する活性化の可能性

世帯と同様に、中心部①の商業用地において容積率を増加させ、中心地の商業スペースを広げることが、より魅力ある商業域を形成することができると考えられる。ここでは、中央部①の商業の平均的な容積率を400%から500%に増加させた場合の土地利用を予測した。結果を図15に示す。

中央部①においてのみ地価が下がり、従業人口が500人程度増加している。交通の利便性が土地の魅力度に大きな影響を与えるという推論ルールの影響により、環状線が通っている周辺部では政策後も土地の魅力度が非常に高く、立地変更はあまりみられなかった。北西部①では、他のゾーンよりも交通の利便性が低いため100人程度の減少が見られた。商業系企業は地価よりも交通の利便性を重視するため、容積率増加だけでは中心市街地活性化を促すことはできないのではないかと考えられる。

6. おわりに

本研究ではファジィ推論を用いた立地均衡モデルを構築した。複雑な非線形構造となっている人間の思考をファジィ推論により表現することで、推計精度の高い人間的な立地行動を表現することが可能になった。これらの研究成果を以下に整理する。

- ①ファジィ推論を用いることで、それぞれの主体の行動を柔軟かつ明示的に表現できるため、従来では予測し難かった内容の都市政策についても評価することのできるモデルを構築した。
- ②効用関数を数式ではなく、推論ルールとメンバシップ関数で記述したことにより、土地利用の変化が生じた詳しい原因を明らかにすることができる。

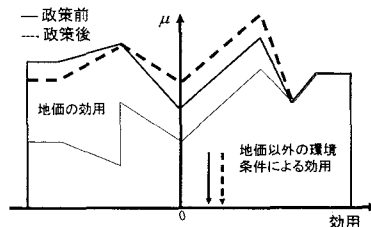


図13 中央部①の効用水準の変化

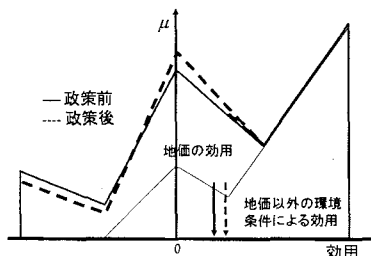


図14 南西部の効用水準の変化

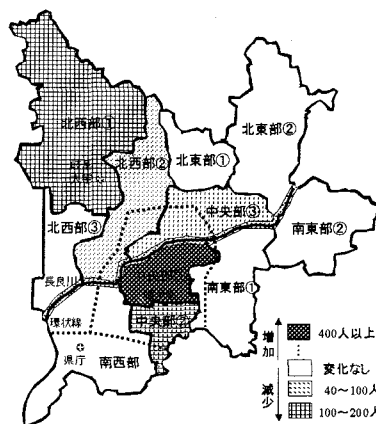


図15 商業系容積率増加の影響(商業系企業)

今後、さらに現実的な土地利用予測を行っていくための課題としては、以下のことが挙げられる。

- ①各主体の特徴を明確にするために複雑なファジィ推論ルールを作成し、現実的な行動モデルを構築する。
- ②都市政策導入による土地利用変化を表現することができたため、他の都市政策についても適用していきたい。

参考文献

- 1) 森杉壽芳：社会資本整備の便益評価～一般均衡理論によるアプローチ，勁草書房，1997。
- 2) 秋山孝正：知的情報処理を利用した交通行動分析，土木学会論文集No.688/IV-53，pp37-47，2001。
- 3) 上田孝行，堤盛人：わが国における近年の土地利用モデルに関する統合フレームについて，土木学会論文集，No.625/IV-44，pp 65-78，1999。
- 4) 古田均，小尻利治，宮本文穂，秋山孝正，大野研，背野康英：ファジィ理論の土木工学への応用，森北出版，1992。

- 5) 宮城俊彦, 小川俊幸: 共役性理論を基礎とした交通配分モデルについて, 土木計画学研究・講演集, No.7, pp301-308, 1985.
- 6) 水本雅治: ファジィ制御の改善法 (IV) (代数積 - 加算 - 重心法による場合), 第6回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp9-13, 1990.
- 7) 宮城俊彦: ネステッド・エントロピーモデルとその応用, 土木計画学研究・講演集, No.18, pp163-166, 1995.
- 8) (社) 交通工学研究会: やさしい非集計分析, 丸善, 1994.
- 9) 水谷香織, 秋山孝正: ファジィ推論型効用関数をもつロジットモデルに関する検討, 第20回交通工学研究発表会論文報告集, pp197-200, 2000.
- 10) 西村和雄: ミクロ経済学, 中島資皓, 1990.
- 11) 高木朗義, 森杉壽芳, 上田孝行, 西川幸雄, 佐藤尚: 立地均衡モデルを用いた治水投資の便益評価手法に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.13, pp339-348, 1996.
- 12) 水谷香織, 秋山孝正: ファジィ推論型多項ロジットモデルによる交通機関選択行動の記述, 第21回交通工学研究発表会論文報告集, pp37-40, 2001.

ファジィ推論を用いた都市政策評価のための立地均衡モデルの構築*

大森貴仁*¹・高木朗義*²・秋山孝正*³

都市計画におけるさまざまな場面で土地利用を予測することは重要であり, これまでに数多くの土地利用予測モデルが開発されてきた. その中でもロジットモデルを用いた立地均衡モデルは, プロジェクト評価を整合的に行えることから現在広く活用されている. しかし, 人は同じ状況でも異なる行動をとることがあり, 立地選択行動においてもこのような曖昧さがあると思われる. そこで本研究では, 従来の立地均衡モデルに曖昧性を考慮することのできるファジィ推論を組み入れ, その適用性について検討した. その結果, 推計精度の高い人間的な立地行動を表現することが可能になり, 構築したモデルが都市政策を評価する方法の一つになることが示された.

A Location Equilibrium Model with Fuzzy Reasoning for Evaluating Urban Policy *

By Takahito OMORI*¹・Akiyoshi TAKAGI*²・Takamasa AKIYAMA*³

A lot of land use models have been developed until now, since it is important that we predict the land use in urban planning. The location equilibrium model with the logit model which can consistently evaluate a project has been applied in various opportunities. However, people may take a deferent behavior at same situation, the location choice behavior has an ambiguity. In this study, we built the location equilibrium model with the fuzzy reasoning which can take the ambiguity of behavior. As the result, the model accurately caught the human behavior of location choice, therefore we showed that this model was one of the method which was able to evaluate an urban policy.