

ファジィ推論を用いた立地均衡モデルの構築*

Location Equilibrium Model with Fuzzy Reasoning*

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、これまでも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、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⁾。ロジットモデルは、さまざまな人が存在するために生じる不確実さを考慮した確率的なモデルであるが、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ファジィ・ロジットモデル²⁾を構築し、都市計画やプロジェクト評価に活用できるようにすることを目的とする。

2. 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、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。世帯と商業系企業の効用最大化行動と土地供給行動はファジィ推論を用いて表現する。また、立地選択行動はロジットモデルで表現する。この過程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。

*キーワード：土地利用，住宅立地，都市計画，ソフトウェア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

(〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1，

TEL:058-293-2445，FAX:058-230-1248)

*² 正員，博(工)，岐阜大学工学部社会基盤工学科

*³ 正員，工博，岐阜大学工学部社会基盤工学科

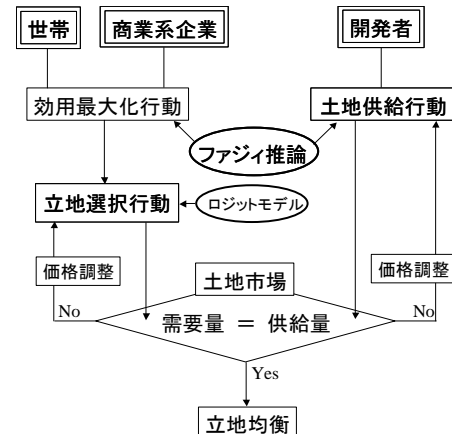


図1 本モデルの概要

(2) 立地者(世帯)の行動モデル

世帯・商業系企業は地域外との流入出量が均衡していると考え、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。立地者は世帯と商業系企業であるが、モデルの構造は同じであるため、ここでは世帯の行動モデルについて説明する。

(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条件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。ファジィ推論は、各環境条件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のように表現する。

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 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のルール構成

メンバシップ関数は、言語変数に基づいて決まる関数であり、各環境条件が土地の魅力度に与える影響を考慮して形状を決める。メンバシップ関数の形状を図

3 に、パラメータを表 1 に示す。

各ゾーンの効用水準 u^i は環境条件に基づく効用水準 u を product-sum-gravity 法により統合することで求まる。

$$\mu^*(Z) = \sum_i \mu(Z) \quad (1)$$

$$u^i = \frac{\int Z \cdot \mu^*(Z) dZ}{\int \mu^*(Z) dZ} \quad (2)$$

ここで、 $\mu^*(Z)$ ：環境条件 i に応じたメンバシップ値，
 z ：原点から重心までの距離。

(b) 居住人口

各ゾーンの効用水準 u^i を式(3)のロジットモデルに代入すると立地選択確率 P_h^i が求まり、これに総居住人口 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。

$$P_h^i = \frac{\exp[\theta \cdot u^i]}{\sum_i \exp[\theta \cdot u^i]} \quad (3)$$

ここで、 θ ：ロジットパラメータ($\theta=1$ とする)

$$N_h^i = P_h^i \cdot N_h \quad (4)$$

(c) 世帯の土地需要量

一方、各ゾーンにおける地価 p_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面積の関係を表した土地需要関数を式(5)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。

$$q_h^i = q_h^i(p_h^i, s^i) \quad (5)$$

$$Q_h^i = q_h^i N_h^i \quad (6)$$

(3) 開発者の行動モデル

開発者は、魅力度の高い土地を開発して供給するものとする。世帯、商業系企業によって土地の魅力度が異なることを考慮し、それぞれに見合った土地供給行動をするものとする。ここでは世帯に対しての開発者の行動モデルについて説明する。

(a) 各ゾーンの開発率 (開発規模)

開発率に影響を及ぼす要因となり得る環境条件に応じたファジィ推論ルールとメンバシップ関数から住宅用地および商業用地に対する開発率が求まる。ファジィ推論は、各環境条件および効用について 3 種類のルールを作成し、PS・PM・PB という言語変数を用いて

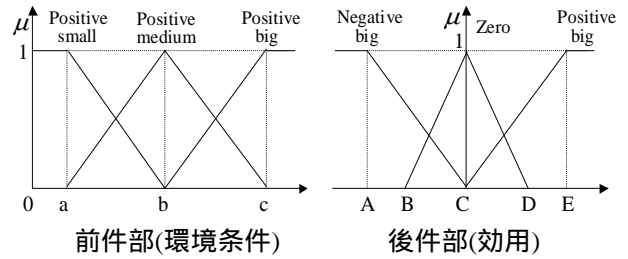


図 3 世帯の行動を表すメンバシップ関数の形状

表 1 メンバシップ関数のパラメータ(世帯)

| | | | | | | | |
|---------------|-----|------|------|------|-----|----|---|
| | a | b | c | | A | B | C |
| 地価 | 1 | 9 | 27 | 効用水準 | -9 | -4 | 0 |
| 交通施設整備率 | 2 | 10 | 95 | | D | E | |
| 都市公園整備水準 | 1 | 45 | 75 | | 5.5 | 12 | |
| 岐阜駅までの一般化交通費用 | 400 | 1550 | 2500 | | | | |

- Rule 1 : IF x_1 is PS THEN r is PB
- Rule 2 : IF x_1 is PM THEN r is PM
- Rule 3 : IF x_1 is PB THEN r is PS
- Rule 4 : IF x_2 is PS THEN r is PS
- ⋮
- Rule 18 : IF x_6 is PB THEN r 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 ：開発率。

図 4 開発者のファジィ推論のルール構成

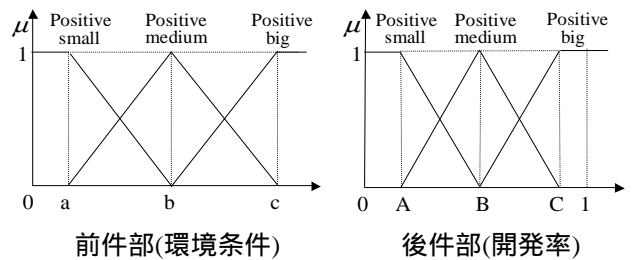


図 5 開発者の行動を表すメンバシップ関数の形状

表 2 メンバシップ関数のパラメータ(開発者)

| | | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|-----|------|------|------|
| | a | b | c | | A | B | C |
| 地価 | 3 | 16 | 30 | 開発率 | 0.25 | 0.35 | 0.60 |
| 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 | 720 | 1000 | 2300 | | | | |
| 隣接ゾーンまでの一般化交通費用 | 730 | 750 | 1500 | | | | |
| 自然の豊かさ | 1 | 5 | 13 | | | | |

図 4 のように表現する。

メンバシップ関数は、各環境条件が開発率に与える影響を考慮して形状を決める。メンバシップ関数の形状を図 5 に、パラメータを表 2 に示す。

各ゾーンの開発率 r_h^i は環境条件に基づいた開発率 r を product-sum-gravity 法により統合することで求まる。

(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。

$$L_h^i = r_h^i \cdot W_h^i \quad (7.1)$$

$$L_c^i = r_c^i \cdot W_c^i \quad (7.2)$$

(4) 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する．すなわち土地需給の均衡が満たされるように土地市場の価格調整メカニズムが働き、世帯・商業系企業の立地量が決まる．

3. 現況再現性

岐阜市を対象地域とし、図6に示すように11ゾーンに分割する．岐阜市外との流入出量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．ファジィ推論モデルを規定するパラメータ決定には試行錯誤法を用い、H7の居住人口、従業人口のデータに対する適合性をもとにモデルを規定した．結果は図7の通り、世帯、商業系企業とも高い的中率となっており、まずは構築したモデルの妥当性が確認できた．

またモデルの概要や環境条件は同じものとして、式(8)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、現況再現性を確認した．結果は図8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．

$$u^i = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (8)$$

ここで、 n ：環境条件の数、 β_n ：パラメータ

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、各ゾーンに対して多少の誤差がみられる．特に南西部では誤差が大きくみられる．このゾーンは、交通の利便性が非常に高いのだが、地価が低いという他のゾーンとは異なる性質がある．立地選択を行う上で交通の利便性は重要な環境条件であるが、線形効用関数では交通の利便性が効用水準に反映されにくいパラメータが用いられているため、推計誤差が大きくなったと考えられる．

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ため、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利点を以下にまとめる．

各環境条件に応じた効用水準を推論ルールから求めることができるため、異なる条件をもつ場合でも柔



図6 対象地域

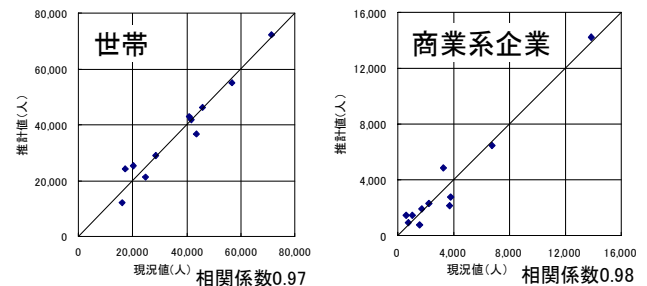


図7 現況再現

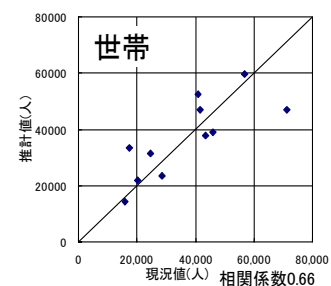


図8 線形効用関数による現況再現

軟に対応することが可能となる．

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、現実的な値を用いることができる．

線形効用関数を用いた場合との比較により、ファジィ推論の導入が立地均衡モデルに有効であることが示された．

4. 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、対象地域に都市政策を実施した場合の土地利用予測を試みた．

中央部は岐阜都市圏の中心地であるが、近年人口が著しく減少しており、さまざま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．

(1) 世帯の容積率を増加させた場合

中央部 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 9 に示す。中心部の容積率を高くすることによって供給量が増加し、土地市場の価格調整メカニズムの働きにより立地状況に変化をもたらす。

中央部 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 3000 人以上増えている。交通の利便性が高い周辺部から中央部 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。特に中央部 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図 10 に示すように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。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) 商業系企業の容積率を増加させた場合

中央部 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 11 に示す。

中央部 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推論ルールを用いているため、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 では、他のゾーンよりも交通の利便性が低いため 100 人程度の減少がみられた。商業系企業は地価よりも交通の利便性を重視するため、容積率増加は中心市街地活性化策としてあまり有効な政策であるとはいえない。

5. 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。

ファジィ推論を用いることで、各環境条件に応じた効用水準を柔軟かつ明示的に表現できるため、従来

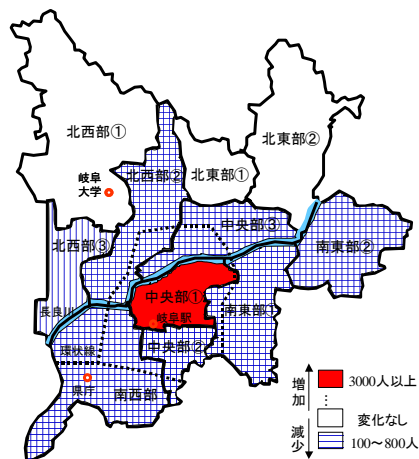


図 9 住居系容積率増加の影響(世帯)

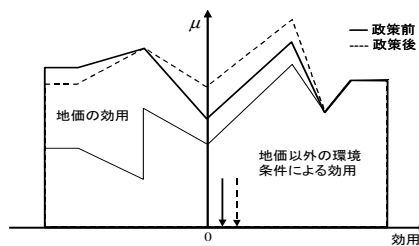


図 10 中央部 の効用水準の変化(世帯)

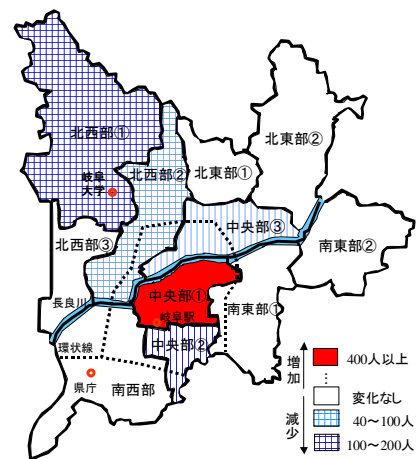


図 11 商業容積率増加の影響(商業系企業)

では予測し難かった内容の都市政策についても分析可能であることが示された。

効用関数を数式ではなく、推論ルールで記述したことで、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。

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、個人の思考を忠実に再現するために、より複雑なファジィ推論ルールの構築、効率的なパラメータの推定方法の検討が挙げられる。

【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, 37-47, 2001。