

# ファジィ推論を用いた土地利用予測に関する研究\*

## A Study on Prediction of Land Use with Fuzzy Reasoning\*

大森貴仁\*<sup>1</sup>・高木朗義\*<sup>2</sup>・秋山孝正\*<sup>3</sup>

By Takahito OMORI\*<sup>1</sup>・Akiyoshi TAKAGI\*<sup>2</sup>・Takamasa AKIYAMA\*<sup>3</sup>

### 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整合的に行えることから、現在広く活用されている<sup>1)</sup>。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、効用水準に基づいて行われる立地選択行動や土地供給行動においても、このような曖昧さがあると思われる。これまで効用水準の推計には間接効用関数が用いられてきたが、非常に複雑な非線形構造である効用水準を、より忠実に推計することがモデルの精度向上に不可欠である。

このことを考慮するため、著者らはこれまで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<sup>2)</sup>を構築し、都市政策による土地利用変化の予測を行ってきた<sup>3)</sup>。ファジィ推論とは、人間の認知・判断の過程を IF / THEN ルールにより表現することができ、また言語変数をもつことで曖昧さを取り扱うこともできるため、この手法を用いて人間の曖昧な認知・判断により決定される立地選択行動や土地供給行動を表現している。

既存モデル<sup>3)</sup>では、土地の需要側に世帯と商業系企業、供給側に開発者という3主体の行動により土地利

\*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

\*<sup>1</sup> 学生員，岐阜大学大学院工学研究科土木工学専攻  
(〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1, FAX: 058-230-1248

E-mail: i3101008@guedu.cc.gifu-u.ac.jp)

\*<sup>2</sup> 正員，博(工)，岐阜大学工学部社会基盤工学科

\*<sup>3</sup> 正員，工博，岐阜大学工学部社会基盤工学科

用の変化をとらえてきたが、現実的な土地利用変化を表現できていない部分があるため、本研究では以下に示す点について改良を行う。立地選択を行う際、すべての居住者、従業者全員が同時に立地場所を変更するという仮定を用いているが、現実には立地場所の選択は人によって異なるため、まず現状に満足しきれずに立地変更を決断する人を抽出し、その人のみが立地選択を行うように改良する。世帯の立地選択行動と商業系企業の立地選択行動は、互いになんらかの影響を及ぼし合っている。しかし、既存モデル<sup>3)</sup>ではこの相互関係を直接的に考慮していない。そこで世帯と商業系企業の立地変更の結果が、お互いに関係するように改良する。立地変更時期は、世帯構成や年齢によって異なり、世代は常に変化している。ここでは、このような時間変化をとらえることにより、多期間の土地利用変化を表現する。

本研究では、このような点に関して既存モデル<sup>3)</sup>の改良を行うことで、より現実的な土地利用予測モデルを構築し、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。世帯と商業系企業は、まず立地変更するかどうかを決定する行動を二項ロジットモデルで表現する。次に、立地変更者の効用最大化行動と開発者の土地供給行動をファジィ推論により表現する。この推論ルールには、世帯と商業系企業の相互関係を考慮することのできる指標を用いる。また立地選択行動は多項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

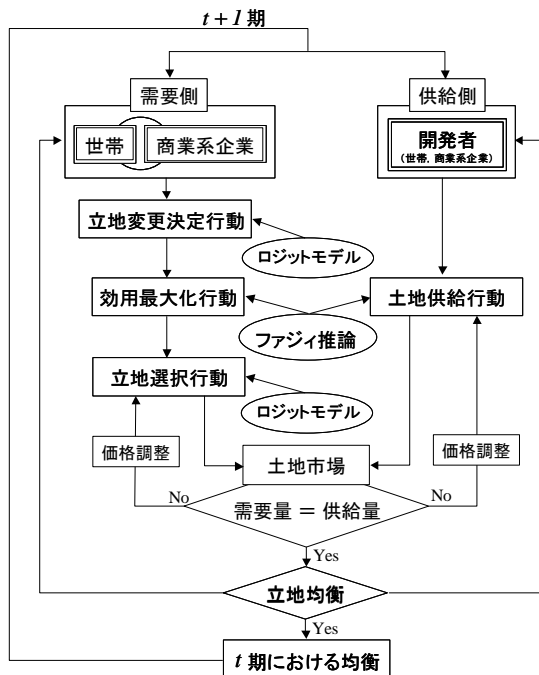


図1 本モデルの概要

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とする。ある時期において均衡状態を満たすが、次の期には世代が進むことにより再度、各主体が同様の過程を繰り返す<sup>4)</sup>ことで、多期間に渡る土地利用変化を表現する。

## (2) 世帯の行動モデル

世帯は地域外との流入出量が均衡していると考え、現況に満足しきれない居住者が、地域内でより高い効用水準を得られるゾーンに立地するものとする。

### (a) 立地変更者

現在立地しているゾーンの魅力度よりも、他のゾーンのほうが非常に高い場合に、立地変更する人が生じる。立地変更者は20歳～40歳が多く、60歳以上になると少なくなるというように、世代によって異なる。このことを考慮するため、各ゾーンにおいて世代ごとの効用水準を考える。ゾーン*i*に居住している世代*j*の中で住み替える場合[1]の効用水準を $u_h^{i,j,1}$ 、住み替えない場合[0]の効用水準を $u_h^{i,j,0}$ とし、式(1)の二項ロジットモデルに代入すると立地変更確率 $P_h^{i,j,0}$ が求まる。これにゾーン*i*に居住している世代*j*の総人口 $N_h^{i,j}$ を乗じることで立地変更人数 $N_h^{i,j,1}$ が求まる。

$$P_h^{i,j,1} = \frac{\exp(u_h^{i,j,1})}{\exp(u_h^{i,j,0}) + \exp(u_h^{i,j,1})} \quad (1)$$

$$N_h^{i,j,1} = P_h^{i,j,1} \cdot N_h^{i,j} \quad (2)$$

### (b) 効用水準(各ゾーンの立地魅力度)

地価や交通の利便性、自然環境の豊かさなど、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。

ファジィ推論ルールは、それぞれの環境条件が各ゾーンの効用水準にどの程度影響を及ぼすのかを主観的に判断し、ルール構成を決定する。また環境条件を組み合わせることで、立地者の選好をより忠実に表現する。この推論ルールは、人間が知識や経験に基づき、曖昧で主観的な判断を行っていることを表現しており、複雑な非線形構造となっている人間の思考を忠実に捉えているといえる。ファジィ推論ルールを図2に示す。

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が決まる。メンバシップ関数の形状を図3に示す。

Rule 1: IF  $x$  is  $a_1$  and  $y$  is  $b_1$  ... THEN  $u$  is  $c_1$   
 Rule 2: IF  $x$  is  $a_2$  and  $y$  is  $b_2$  ... THEN  $u$  is  $c_2$   
 ...  
 Rule  $n$ : IF  $x$  is  $a_n$  and  $y$  is  $b_n$  ... THEN  $u$  is  $c_n$   
 ここで、 $x, y$ : 環境条件、 $u$ : 効用水準、 $a, b, c$ : 言語変数。

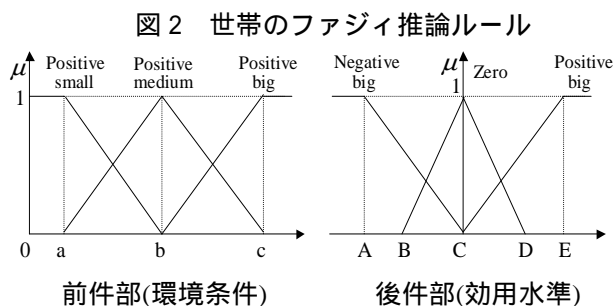


図3 世帯の行動を表すメンバシップ関数の形状

ゾーンの効用水準 $u^i$ は環境条件に基づく効用水準 $u$ を統合することで求まる。これは各推論ルールから得られる $u$ がファジィ数であるため、product-sum-gravity法を用いて非ファジィ化を行うことにより、クリスプ数(確定数)として $u^i$ が求まる。

$$\mu^*(Z) = \sum_i \mu^i(Z) \quad (3)$$

$$u^i = \frac{\int Z \cdot \mu^*(Z) dZ}{\int \mu^*(Z) dZ} \quad (4)$$

ここで、 $\mu^i(Z)$ : 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。

(c) 居住人口

各ゾーンの効用水準  $u^i$  を式(5)のロジットモデルに代入するとゾーン  $i$  に対する居住地選択確率  $P_h^i$  が求まる。これに総立地変更人数  $\sum_{i,j} N_h^{i,j,1}$  を乗じることで各ゾーンの居住人口  $N_h^i$  が決まる。

$$P_h^i = \frac{\exp[\theta \cdot u^i]}{\sum_i \exp[\theta \cdot u^i]} \quad (5)$$

ここで、 $\theta$  : ロジットパラメータ

$$N_h^i = P_h^i \cdot \sum_{i,j} N_h^{i,j,1} + \sum_i N_h^{i,j,0} \quad (6)$$

(d) 世帯の土地需要量

一方、各ゾーンにおける地価  $P_h^i$ 、地域特性  $s^i$  と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(7)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、この土地需要関数を求められるが、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。

$$q_h^i = q_h^i(p_h^i, s^i) \quad (7)$$

$$Q_h^i = q_h^i N_h^i \quad (8)$$

(3) 商業系企業の行動モデル

商業系企業も世帯と同様に、地域外との流入流出が均衡していると考え、現況に満足しきれない企業が地域内でより高い効用水準を得られるゾーンに立地するものとする。なお、推計のし易さとデータの制約から企業数は従業人口によって捉えることとする。

(a) 立地変更企業

世帯と同様に現在立地しているゾーンの魅力度よりも、他のゾーンのほうが非常に高い場合に、立地変更する企業が生じる。立地変更のしやすさはどの業種も同じものとする。住み替える場合の効用水準、住み替えない場合の効用水準と二項ロジットモデルにより、立地変更企業数  $N_c^i$  が求まる。

(b) 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。ファジィ推論ルールを図3に、メンバシップ関数の形状を図4に示す。

Rule 1 : IF  $x$  is  $a_1$  and  $y$  is  $b_1$  ... THEN  $\pi$  is  $c_1$   
 Rule 2 : IF  $x$  is  $a_2$  and  $y$  is  $b_2$  ... THEN  $\pi$  is  $c_2$   
 ...  
 Rule  $n$  : IF  $x$  is  $a_n$  and  $y$  is  $b_n$  ... THEN  $\pi$  is  $c_n$   
 ここで、 $x, y$  : 環境条件、 $\pi$  : 効用水準、 $a, b, c$  : 言語変数。

図4 商業系企業のファジィ推論ルール

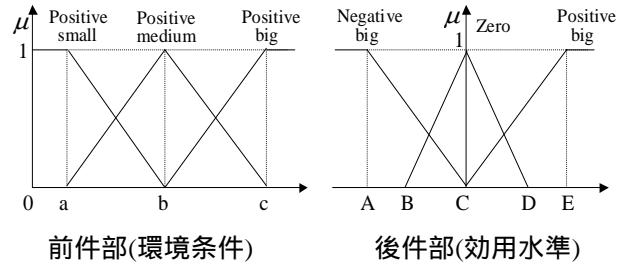


図5 商業系企業の行動を表すメンバシップ関数の形状

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

(c) 従業人口

各ゾーンの効用水準とロジットモデルにより、各ゾーンの従業人口  $N_c^i$  が求まる。

$$N_c^i = P_c^i \cdot \sum_{i,j} N_c^{i,j,1} + \sum_i N_c^{i,j,0} \quad (9)$$

(d) 商業系企業の土地需要量

各ゾーンにおける地価  $P_c^i$ 、地域特性  $k^i$  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(10)のように定式化し、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。

$$q_c^i = q_c^i(p_c^i, k^i) \quad (10)$$

$$Q_c^i = q_c^i N_c^i \quad (11)$$

(4) 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。

(a) 各ゾーンの開発率(開発規模)

地価や交通の利便性など、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。

ファジィ推論ルールは、世帯、商業系企業それぞれ

についての立地変更者の選好を忠実に捉えるようなルールを作成する。これは、需要に見合った供給を行うことが開発者に求められるためである。ファジィ推論ルールを図5に示す。

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6に示す。

Rule1: IF X is  $A_1$  and Y is  $B_1$  ... THEN R is  $C_1$   
 Rule2: IF X is  $A_2$  and Y is  $B_2$  ... THEN R is  $C_2$   
 ...  
 Rule n: IF X is  $A_n$  and Y is  $B_n$  ... THEN R is  $C_n$

ここで、X, Y: 環境条件, R: 開発率, A, B, C: 言語変数。

図6 開発者のファジィ推論のルール構成

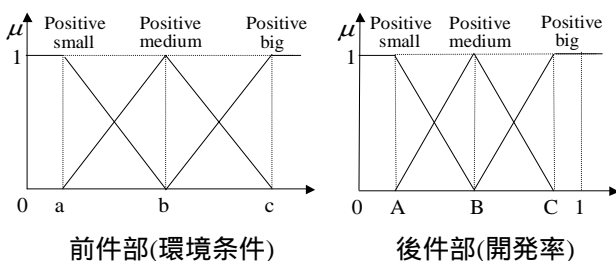


図7 開発者の行動を表すメンバシップ関数の形状

各ゾーンの開発率  $r_h^i$  は、環境条件に基づく開発率  $r$  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。

$$L_h^i = r_h^i \cdot W_h^i \quad (12)$$

$$L_c^i = r_c^i \cdot W_c^i \quad (13)$$

(5) 立地均衡

(a) 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、ワルラス的な他市場同時均衡<sup>5)</sup>に基づいて、世帯・商業系企業の立地量が決まる。

(b) 多期間の土地利用変化

ある期に立地変更を決断した人が立地選択を行い、各ゾーンの立地量が決定されるが、次の期では世代が進むとともに土地利用の変化に伴って周辺の環境が変

わり、さらには都市政策が進められれば外生的に周辺状況が変化するため、新たに立地変更を決断する主体が生じる。それらの主体は再び同様の行動をすることで立地変更が行われる。本モデルはこれが繰り返されると考えて、多期間の土地利用変化を求めるものである。

3. 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。既存モデル<sup>3)</sup>に改良を加えることで、より現実的な土地利用予測が可能になったと思われる。これらの研究成果を以下に整理する。

立地変更する人をあらかじめ抽出し、その人のみが立地場所を選択することとしたことで、現実的な立地選択行動を表現することが可能になった。

立地変更時期は、世帯構成や年齢によって異なるため、土地利用状況が時間とともに変化することを考慮した。これにより多期間に渡る土地利用変化を表現することが可能になった。

構築したモデルの有効性を高めるための今後の課題としては、土地の魅力度を忠実にとらえることのできる環境条件を選定し、それに応じた複雑な推論ルールを構築する。岐阜都市計画区域を対象地域として現況再現性の確認を行い、構築したモデルの妥当性を示す。対象地域に実際の政策を行った場合の世帯、商業系企業の多期間に渡る土地利用予測を行う。

【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, p.p.37-47, 2001.
- 3) 大森貴仁, 高木朗義, 秋山孝正: ファジィ推論を用いた立地均衡モデルの構築, 土木計画学研究・講演集, No.27, 2003.
- 4) 西村和雄: ミクロ経済学入門, 第2版, pp.395-401, 岩波書店, 1995.
- 5) 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, 339-348, 1996.