

# ファジィ推論を用いた土地利用モデルの一事例：高齢者移転促進策の評価\*

An Example of a Land Use Model with Fuzzy Reasoning:

An Estimation of the Location Change Promotion Policy for Advanced Age\*

高木朗義\*\*・秋山孝正\*\*\*・大森貴仁\*\*\*\*

By Akiyoshi TAKAGI\*\*・Takamasa AKIYAMA\*\*\*・Takahito OMORI\*\*\*\*

## 1. はじめに

近年、都市政策は施設整備や規制だけでなく、様々なソフト施策を活用する場面が増えてきている。一方、住民も高度情報化社会になった現在では、立地選択に関する多種多様な情報を容易に入手でき、それに基づいた行動をしている。また、空間情報データの整備が進み、メッシュ単位における土地利用や国勢調査、事業所・企業統計調査などのデータが容易に入手可能となったため、土地利用に関する詳細な分析ができるようになってきた。以上のように土地利用およびその変化を予測する環境は大きく変化してきており、それらに対応した土地利用モデルの開発が必要となっている。これに対し、筆者らはこれまでに伝統的な立地均衡モデルにファジィ推論を導入することで、住民の複雑な意思決定過程を柔軟に表現した上で、詳細な土地利用変化を予測できるファジィ土地利用モデルを構築してきた<sup>1)</sup>。本研究では、このモデルを改良し、より現実的な土地利用およびその変化を予測可能とすることを目的とする。特に、高齢者の立地選択行動に焦点を当て、情報提供などによる高齢者移転促進策について分析した事例を紹介する。

## 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<sup>2)</sup>。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

\*キーワード：土地利用，高齢化社会，ファジィ推論

\*\*正員，博(工)，岐阜大学工学部社会基盤工学科

(〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1,  
TEL:058-293-2445, FAX:058-230-1248,  
E-mail:a\_takagi@cc.gifu-u.ac.jp)

\*\*\*正員，工博，岐阜大学工学部社会基盤工学科

\*\*\*\*工修，三重県北勢県民局鈴鹿建設部企画保全室

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効用関数、中でも消費者余剰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<sup>2)</sup>。人々は自身の効用水準に応じた主観的な行動により居住地選択を行うため、そこには単純な数式で表現することの難しい曖昧さを含んでいる。人々の考え方や感じ方の違いを忠実に表現し、非常に複雑な非線形構造から効用水準を推計することは、土地利用モデルの信頼性や有用性を向上させ、適用範囲を広げるために有効である。

このような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>3)</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>1)</sup>。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。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、人間の曖昧な思考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。

本研究では、より現実的で詳細な土地利用およびその変化を予測するために、以下に示す点についてモデルの改良を行う。①立地選択を行う際、すべての居住者が同時に立地場所を変更するという仮定を用いていたが、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。②立地変更時期は世帯構成や年齢によって異なるとともに、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ために、世代を区分するとともに、コーホートモデルなども利用して、逐次的に多期間の土地利用変化を表現する。③土地利用予測に

は土地利用マイクロシミュレーションモデルを用いた分析も行われている<sup>4)</sup>。本モデルはメッシュ単位のGISデータを用いることで、政策導入に対する詳細な空間単位での土地利用変化を予測する。また、多期間に渡る変化を地区（メッシュ）ごとに取り扱うことで、それぞれの地区特性に応じた詳細な分析や政策の検討などが可能となる。

本研究では、人間の思考や感じ方の変化が土地利用に及ぼす影響について分析した事例を紹介する。なお政策分析については、高齢者世代に焦点を当てて行うため、65歳以上の高齢者のみが立地変更するという強い仮定を置いていることに注意して欲しい。

### 3. ファジィ土地利用モデルの構築

#### (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および土地を供給する土地供給者の2主体が存在するものとする。世帯は、まずファジィ推論を用いて表現した効用最大化行動により土地の魅力度を決定する。次に、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。そして、立地変更すると決めた世帯の立地選択行動を多項ロジットモデルで表現する。一方、土地供給者は立地変更する高齢者に対してどの程度を新たに開発し供給すべきかを決定する土地供給行動を行う。この過程により求まる土地需要量と土地供給量が均衡することで各ゾーンの立地量が決定される。ある時期において均衡状態を満たすが、再度、各主体が同様の過程を繰り返す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

世帯は現況に満足しきれない居住者が、より高い魅力度を得られるゾーンに立地するものとする。

##### a) 効用最大化行動

世帯の立地選択行動に影響を及ぼす要因となり得る環境要因に応じた推論ルールとメンバシップ関数から効用水準 $u_i$ が求まる。これをゾーン*i*における土地の魅力度と考える。まず、魅力度に影響を与える環境要因は、各要因に対する考え方や感じ方を既存のアンケート調査結果<sup>5)</sup>に基づいて把握し選定する。次に、ファジィ推論ルールは各環境要因が土地の魅力度に及ぼす影響を考慮して表現する。高齢者の立地選択行動に関するファジィ推論ルールを表-1に示す。特に高齢者

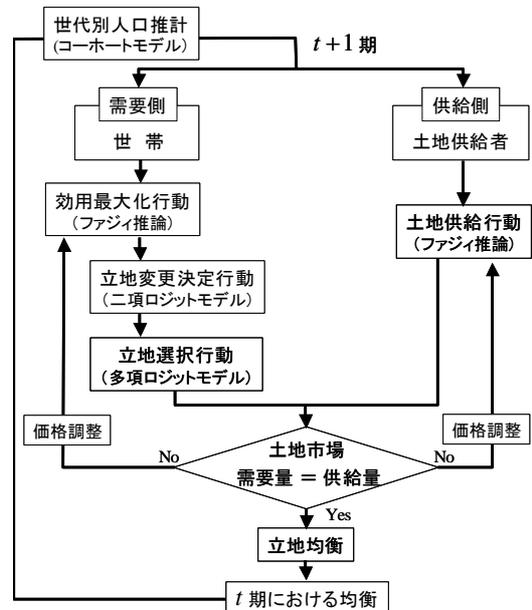


図-1 ファジィ土地利用モデルの概要

表-1 高齢者のファジィ推論ルールの構成

Rule	IF	and	THEN
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			

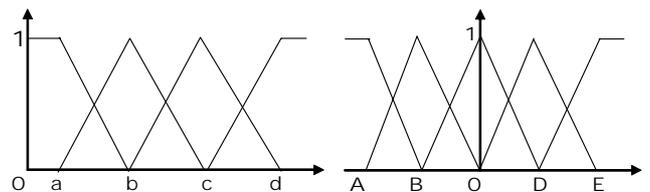


図-2 メンバシップ関数の形状（世帯）

の暮らしにおいて不安要因である医療サービスの受けやすさ(rule3~6), 買い物のしやすさ(rule7~10)について他の要因よりも多くのルールを作成することで、土地の魅力度に及ぼす影響が大きいことを表現した。最後に、各環境要因に対する感じ方を表すメンバシップ関数の形状は、人の選好として常識的なものとなるように各要因の分布状況を基に図-2のように決定した。

##### b) 立地変更決定行動

各ゾーンの効用 $u_i$ と地域内の平均的な効用 $\bar{u}_i$ を式(1)の二項ロジットモデルに代入するとゾーン*i*の立地変更確率が決定する。平均的な効用とは地域内の平均

的な効用水準に移転に対する抵抗感  $c_i$  を加味したものとする。居住地移転は精神面や肉体面、経済面にかかる負担が大きいことを考慮するため、持ち家率と移転費用を用いて抵抗感を表現する。ゾーン  $i$  の世代人口  $N_i(t)$  を乗じると立地変更人数  $N_i^*(t)$  が求まる。

$$P_i^* = \frac{\exp(\bar{u}_i)}{\exp(u_i) + \exp(\bar{u}_i)} \quad (1)$$

$$N_i^*(t) = P_i^* \cdot N_i(t) \quad (2)$$

$$\bar{u}_i = \ln \left[ \sum_{j=1}^J \exp(u_j) \right] - c_i \quad (j \neq i) \quad (3)$$

### c) 立地選択行動

住み替えを決めた世帯は各ゾーンの効用  $u_i$  に基づき居住地を選択する。式(4)の多項ロジットモデルに各ゾーンの効用  $u_i$  を代入するとゾーン  $j$  に対する居住地選択確率  $P_{ij}$  が求まる。これに各ゾーンの立地変更人数  $N_i^*(t)$  を乗じることでゾーン  $j$  の居住人口  $N_j(t+1)$  が決まる。

$$P_{ij} = \frac{\exp(u_j)}{\sum_{j=1}^J \exp(u_j)} \quad (j \neq i) \quad (4)$$

$$N_j(t+1) = N_j(t) - N_j^*(t) + \sum_{i=1}^I P_{ij} \cdot N_i^*(t) \quad (5)$$

### d) 土地需要量

効用関数が微分可能であればロアの定理から土地需要関数が導出され、土地需要量が求まるが、ファジィ効用関数では土地需要量を別に推定しなければならない。そこで、各ゾーンにおける地価  $\rho_j$  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別に定義し、居住者一人当たりの土地需要量  $q_j$  を推定する。これに当該ゾーンの人口増加分を乗じることにより、各ゾーンの世帯土地需要量  $Q_j$  が求まる。

$$q_j = q_j(\rho_j) \quad (6)$$

$$Q_j = q_j \cdot \left[ \sum_{i=1}^I P_{ij} \cdot N_i^*(t) - N_j^*(t) \right] \quad (7)$$

### (3) 土地供給者モデル

土地供給者は自らの視点から土地供給量を決定するものとする。

#### a) 新規開発率 (新規開発規模)

開発率に影響を及ぼす要因となり得る環境要因に応じた推論ルールとメンバシップ関数から新規開発率  $r_j$  が求まる。推論ルールやメンバシップ関数の形状は、

表-2 土地供給者のファジィ推論ルールの構成

Rule	IF	and	THEN
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			

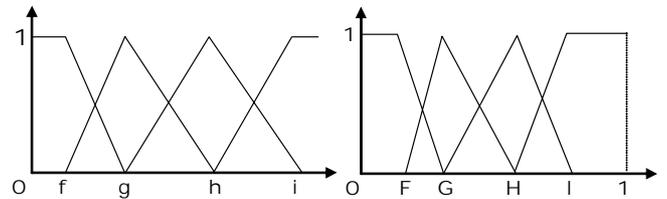


図-3 メンバシップ関数の形状 (土地供給者)

世帯と同様の手法により決定する。土地供給者の推論ルールを表-2に示す。メンバシップ関数は開発率を算出するため、図-3のように範囲を0~1とする。

#### b) 土地供給量

各ゾーンにおける住宅用地について、新規開発率と供給可能面積  $W_j$  から土地供給量  $L_j$  が求まる。

$$L_j = r_j \cdot W_j \quad (8)$$

### (4) 土地需給の均衡

各ゾーンの世帯の土地需要量と供給者の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、最終的に各ゾーンの世帯の立地量が決まる。

## 4. 現況再現性の確認

岐阜市を中心とした  $23\text{km} \times 16\text{km}$  の区域を対象地域とし、1kmメッシュにて368ゾーンに分割する。1995年を基準として2000年を推計した場合の世帯および土地供給者モデルの現況再現結果を図-4、図-5示す。

高齢者の人口増減の推計については、推計誤差が大きいゾーンがいくつかあるものの、相関係数は0.80であるため、比較的精度の高い推計を行うことができたといえる。土地供給者の新規開発率の推計については、推計精度が低いものの、新規開発規模の推計では相関係数が0.81であるため、ある程度の精度を得ることが

できたといえる。このような現況再現性であることを前提にして、本モデルを以降の政策分析に用いる。

## 5. 高齢者移転促進策の評価

構築したファジィ土地利用モデルを用いて情報提供により生じる意識変化が土地利用に及ぼす影響を予測する。本モデルではファジィ推論を用いることにより人間の内面を柔軟に捉えることができるため、意識変化が及ぼす影響を表現することが可能である。ただし、評価関数（メンバシップ関数）を変化させることにより意識変化を捉えるため、従来のような客観的評価を行うことができない。そこで、意識変化が生じた場合における、①居住地移転による社会厚生の変化率、②中心部への移転変化率、という2つの主観的評価指標を用いて政策の有用性を検討することとする。

高齢者の暮らしに重要な3要因（医療サービスの受けやすさ、買い物のしやすさ、中心部までの距離、以下、医療、買い物、距離と略す）について、単独および組み合わせて情報提供した場合を分析する。ここでは情報提供により各要因の“小さい”“中ぐらい”という感覚が現在の1.5倍になると仮定し、2000年を基準に2005年の土地利用を予測する。

予測結果より、移転に対して最も高い効果をもたらす情報は、医療・買い物・距離の組み合わせであり、各要因の意識を変化させると最も移転が促進されることがわかった。この意識変化が土地利用に及ぼす影響を図-6に示す。周辺部、特に岐阜環状道路の外側から内側への移転が多く見られる。郊外への移転も多少見られるが中心部への移転の割合の方が多い。買い物・距離だけを組み合わせた情報提供による影響との比較より、移転を促進させるには医療よりも買い物・距離の意識を変化させることが有効であることがわかった。

## 6. おわりに

本研究ではファジィ推論を用いた土地利用モデルを構築し、高齢者の立地選択行動に焦点を当て、高齢者移転促進策の評価事例を示した。得られた成果を以下に整理する。①高齢者の考えに基づいた推論ルールを構成したことで、より現実的で人間的な立地行動を表現することが可能になった。②高齢者の中心部への移転を促進するためには、買い物と距離を組み合わせ情報提供することが最も効果的であると示された。

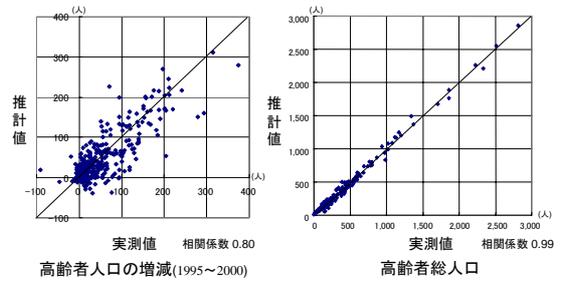


図-4 世帯モデルの現況再現

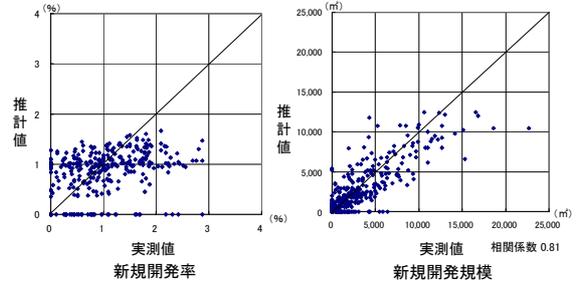


図-5 土地供給者モデルの現況再現

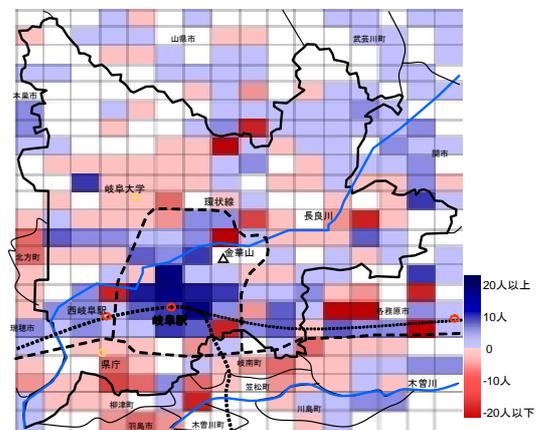


図-6 情報提供による土地利用変化

本研究ではファジィ土地利用モデルを用いることにより意識変化が移転に及ぼす影響を把握できたといえるが、モデルの妥当性の確認については未だ不十分な状態である。したがって今後の課題としては、①モデルの適用範囲を確認し、モデル自体の妥当性を明らかにする。特に通常の都市政策に対する評価を行い、これと比較する必要がある。②土地供給者モデルの改良や商業系企業モデルの導入を行うことで、より現実的な土地利用モデルを構築する、などが挙げられる。

## 参考文献

- 1) 大森貴仁, 高木朗義, 秋山孝正: 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, 土木計画学研究・論文集, Vol.21, 255-264, 2004.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 杉木直, 宮本和明: 土地利用マイクロシミュレーションモデルにおける空間集計・主体集計の影響分析, 土木計画学研究・講演集, No.28, 2003.
- 5) 岐阜市: 岐阜市老人保健福祉計画, 2003.