

ファジィ推論を用いた世代別立地均衡モデルの開発*

Location Equilibrium Model according to the Generation with Fuzzy Reasoning

宮澤俊治**・高木朗義***・秋山孝正****・大森貴仁*****

By Shunji MIYAZAWA **・Akiyoshi TAKAGI***・Takamasa AKIYAMA****・Takahito OMORI*****

1. はじめに

近年,都市政策は施設整備だけでなく規制や誘導制度,情報提供といった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,詳細な住宅立地の予測できるファジィ立地均衡モデルを構築してきた¹⁾本研究では,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.

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²⁾.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.立地選択行動をロジックモデルにより表現,土地市場のモデル化,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いわれてきた³⁾.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ク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・ロジックモデル⁴⁾を構築し,都市政策による住宅立地変化の予測を行ってきた¹⁾²⁾.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住宅立地およびその変化を予測するために,以下に示す点に着目してモデルを構築する.立地選択を行う際,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する.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,コーホートモデルを利用して,逐次的に多期間の住宅立地変化を表現する.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⁵⁾.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住宅立地変化を予測する.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.

*キーワード:土地利用,住宅立地,ファジィ推論

**岐阜大学大学院工学研究科博士前期課程土木工学専攻

***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

3. ファジィ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世帯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。これによりある期における住宅立地変化が予測できる。また再び各主体が同様の過程を繰り返すことで多期間に渡る住宅立地の変化を予測することができる。

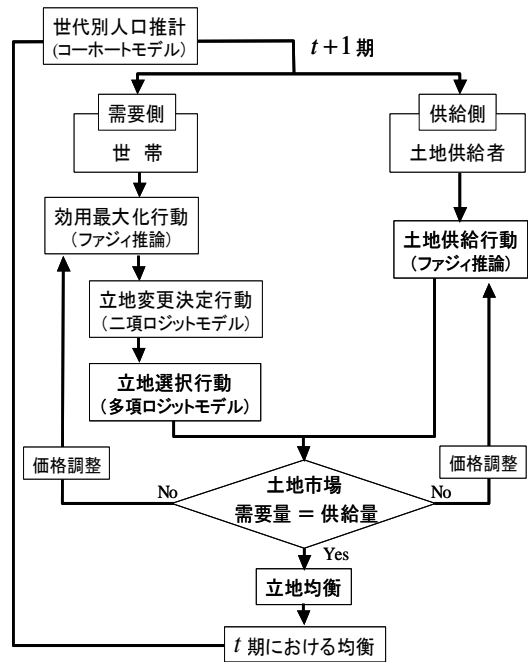


図-1 ファジィ立地均衡モデルの概要

(2) コーホートモデル

将来の住宅立地を予測するためには、対象地域内の将来人口を推計する必要がある。将来人口の推計手法には、大きく分けて「数学的方法」、「社会経済モデル」、「コホート法」、「比率法」の4つがある。本研究では、主に地域人口の推計に多く用いられているコホート変化率法を用いる。この手法は、あるコホート（同年または同期間に出生した集団）の一定期間における人口の変化率に着目し、その変化率が将来にわたって維持されるものと仮定して将来人口を推計するものである。変化率法の特徴を以下に記す。

コホートごとの時間変化を捉えた分析を行うことができるため、住民の年齢と深い関係がある人口移動を捉えやすい。

二時点間におけるコホートの変化率の情報を必要とするが、この情報を国勢調査により得ることができるため、誰でも容易に推計することが可能である。

将来の長い期間には出生・死亡の各要因は変化することが多く一定の率で推移することは考え難い。本研究ではH7からH12を予測しているため出生率や死亡率を一定にしてあり考慮されていない。図-2に示すように短期間の予測には支障がない。今後長期間の予測を行う際には、これらを考慮する必要があり何らかの工夫が必要である。

あるT年次のn番目の世代に対しては基準人口にコホート変化率を乗じることにより求まる。

$$N_{T+1}^{n+1} = N_T^n \times (N_T^{n+1} / N_{T-1}^n) \quad (1)$$

n : 世代 T : 年次

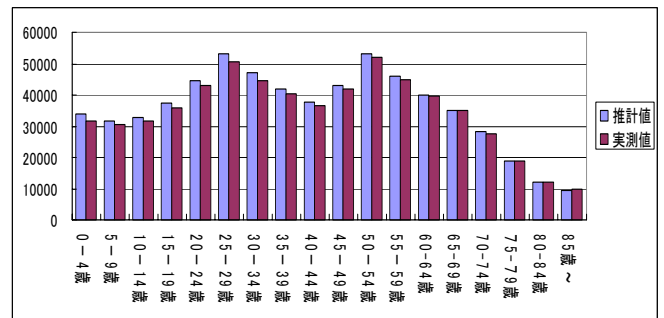


図-2 コーホート法を用いた世代別人口推計

図-2はH2, H7の国勢調査のデータを用い、5歳毎の世代でのコホート変化率によりH12の人口推計を行い、国勢調査と比較した図である。

H12の0-4歳人口は20-34歳親世代とし、これにH7の0-4歳人口をH2の親世代で除した値をかけることにより推計した。実測値と比較すると、非常に高い中率で推計できているといえるため、本研究ではコホートモデルを用いて将来の世代別人口推計を行うとする。

(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．ファジィ推論ルールを表-1に示す．

表-1 世帯のファジィ推論ルールの構成

Rule	前件部				後件部		
	IF		and		THEN		
(I)	1	地価	高		効用	低	
	2	地価	小		効用	とても低	
	3	医療サービスの受けやすさ	とても高		効用	とても高	
	4	医療サービスの受けやすさ	高		効用	高	
	5	医療サービスの受けやすさ	中		効用	中	
	6	医療サービスの受けやすさ	低		効用	低	
	7	買い物のしやすさ	とても高		効用	とても高	
	8	買い物のしやすさ	高		効用	高	
	9	買い物のしやすさ	中		効用	中	
	10	買い物のしやすさ	低	公共交通に対する利便性	とても高	効用	中
	11	公共交通に対する利便性	高		効用	高	
	12	公共交通に対する利便性	中		効用	中	
(II)	13	中心部までの距離	短		効用	とても高	
	14	中心部までの距離	中	公共交通に対する利便性	とても高	効用	中
	15	中心部までの距離	長		効用	とても低	
	16	自然環境	とても高		効用	とても低	
	17	自然環境	高	高齢者コミュニティ	高	効用	低
	18	自然環境	少		効用	とても低	
(III)	19	災害の危険度	とても高		効用	低	
	20	住居環境	とても多		効用	低	
(IV)	21	高齢者コミュニティ	低		効用	低	
	22	高齢者コミュニティ	高		効用	とても高	
	23	近所付き合いの無さ	高	地域内コミュニティ	低	効用	低

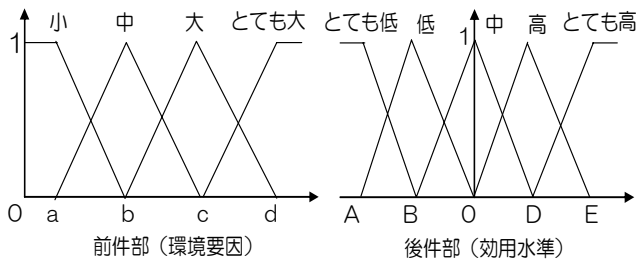


図-3 メンバシップ関数の形状 (世帯)

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-3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 の世帯人口 $N_i(t)$ を乗じることにより立地変更人数 $N_i^*(t)$ が求まる．

$$P_i^* = \frac{\exp(\bar{u}_i)}{\exp(u_i) + \exp(\bar{u}_i)} \quad (2)$$

$$N_i^*(t) = P_i^* \cdot N_i(t) \quad (3)$$

$$\bar{u}_i = \ln \left[\sum_{j=1}^J \exp(u_j) \right] - c_i \quad (j \neq i) \quad (4)$$

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(5)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 $N_i^*(t)$ を乗じることによりゾーン j の居住人口 $N_j(t+1)$ が決まる．

$$P_{ij} = \frac{\exp(u_j)}{\sum_{j=1}^J \exp(u_j)} \quad (j \neq i) \quad (5)$$

$$N_j(t+1) = N_j(t) - N_j^*(t) + \sum_{i=1}^I P_{ij} \cdot N_i^*(t) \quad (6)$$

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 ρ_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．

$$q_j = q_j(\rho_j) \quad (7)$$

$$Q_j = q_j \cdot \left[\sum_{i=1}^I P_{ij} \cdot N_i^*(t) - N_j^*(t) \right] \quad (8)$$

(4) 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) 土地供給率 (土地供給規模)

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土地供給率 r_j が求まる．土地供給者の推論ルールやメンバシップ関数の形状は, 世帯と同様の手法により決定する．メンバシップ関数は開発率を算出するため範囲を 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, 土地供給率と供給可能面積 W_j から土地供給量 L_j が求まる．

$$L_j = r_j \cdot W_j \quad (9)$$

(4) 土地需給の均衡

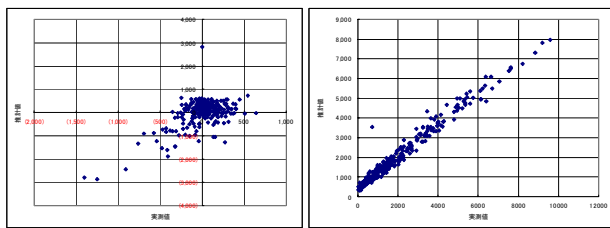
各ゾーンの世帯の土地需要量と供給者の土地供給量が

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。つまり世帯土地需要量 Q_j と土地供給量 L_j との均衡条件式が導かれる。

$$Q_j = L_j \quad (10)$$

4. 現況再現性の確認

岐阜市を中心とした 23km×16km 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。本研究では各世代の立地分布に関する現況再現性の確認を行った。図-4 では世帯の立地変化量に関する推計精度は低いものの、立地量そのものに対する推計精度は比較的高いことが示されている。これは全世代に同じ推論ルールを適用したことが最大の原因であると思われる。このため、これについては世代ごとに推論ルールを作成していく必要がある。



立地変化量 立地量
図-4 世帯の立地分布に関する現況再現

H12 を推計した場合の立地量の増減と実際の立地量の増減以下の図-5～図-7 に示す。全世代の増減を図-5、0-19 歳の立地量の増減を図-6、高齢者の立地量の増減を図-7 に示す。0-19 歳の世代および高齢者の世代の立地量の増減に関する現況再現性は比較的高い。全世代の立地量の増減については中心地で減少、周辺部で増加傾向である事についてはおおむね現況再現が出来ている。全世代の推計については周辺部の推計について逆になっている傾向がある。

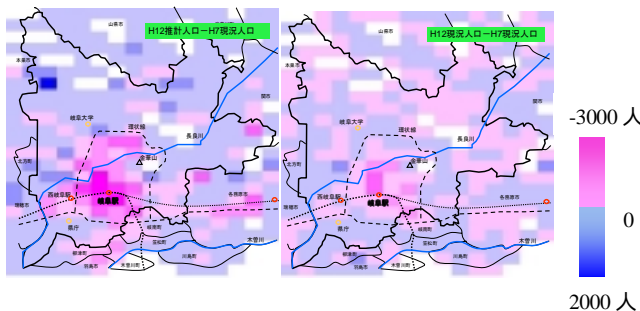


図-5 全世代の立地量の増減

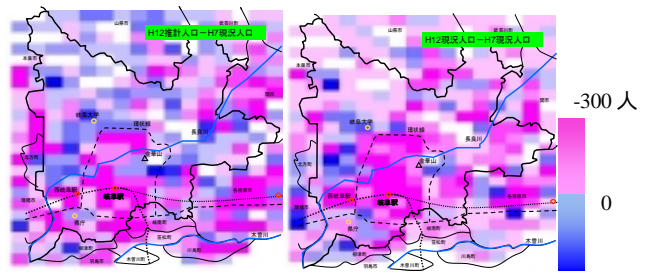


図-6 0-19 歳の立地量の増減

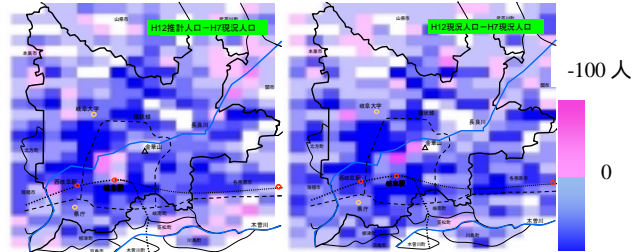


図-7 高齢者の立地量の増減

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開発した。そしてモデルの一部について現況再現性を確認した。得られた結果を以下に整理する。

コーホートモデルにより、各世代別人口推計を行った結果高い精度を得た。0-19 歳と高齢者世代の立地量分布に関する現況再現性について高い結果が得られた。全世代については、立地量の増減についてやや精度が低かったものの立地量そのものについては高い推計精度を得た。

今後の課題としては、各世代に区分し、適用される推論ルールを作成することで、よりきめ細やかな立地行動を表現することが必要である。土地供給者に対する適用される推論ルールを作成し立地均衡計算を行う、等が挙げられる。

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) 高木朗義, 秋山孝正, 大森貴仁: 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, 土木計画学研究・講演集 Vol.31 2005.
- 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 / -44, pp 65-78, 1999.
- 4) 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.
- 5) 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.