

ファジィ推論と GIS データを用いた世代別立地均衡モデルの構築*

A Cohort-based Location Equilibrium Model with Fuzzy Reasoning and GIS Data*

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、都市政策は規制や誘導制度、情報提供といったソフト的な施策を活用する場面が増えてきている。一方、高度情報化社会の現在では、住民も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、詳細な住宅立地が予測できるファジィ立地均衡モデルを構築してきた¹⁾。本研究ではこのモデルを拡張し、より現実的な立地分布およびその変化を予測可能とすることを目的とする。具体的には、これまでの立地均衡モデル以下の改良点を追加する。

- ①1km メッシュの GIS データを利用することにより、都市空間における立地分布を詳細に捉える。
- ②世代別に区分することにより住民の立地選択行動特性を詳細に捉える。
- ③時間軸を追加し、ある時点を起点とした立地変化量を推計することにより、現実の立地変更行動をより忠実に捉える。

この改良したモデルを岐阜都市圏に適用して特定化し、現況再現性を確認した後、治水対策と洪水リスク認知促進策の評価を行い、モデルの適用性を確認するとともに、洪水対策に関する政策的示唆を示す。

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

*キーワード：土地利用，住宅立地，ファジィ推論，GIS

**学生員，岐阜大学大学院工学研究科土木工学専攻

***正員，博(工)，岐阜大学工学部社会基盤工学科

(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

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マイ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²⁾。

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さや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³⁾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⁾。ファジィ推論とは「もしXが～ならば、Yは～である」という形で表現される計算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えることから、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。

- ①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。
- ②立地変更時期は年齢に依存する一方、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。
- ③土地利用予測には分析地域をゾーン別とした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。タイプ別の世帯分布を住宅タイプまで考慮し、時間経過を考慮した世帯属性と居住地変化を記述したタイプ別世帯分布予測システムの構築が行われている⁴⁾⁵⁾。これに対し、本モデルは誰もが入手可能な国勢調査や事

業所・企業統計調査の地域メッシュ統計を始めとしたメッシュ単位の GIS データを用いる。パネルデータ、特に世帯の立地選択行動に関するパネルデータを用いれば、世帯構成や属性との関連性を把握した上で、将来の立地分布が予測できる。しかし、このようなパネルデータを全戸に収集することは大変困難である。一方、クロスセクションデータは、一時点のデータであるため、それを時系列で比較しても時点間の差分はわかるが、転入出量まではわからない。しかし、クロスセクションデータはある時点の調査対象者（個人）所在地に関する空間情報と、メッシュ単位で得られる場所の属性を組み合わせることが可能であり、これを活かした分析ができる。特に環境や防災に関する物理量は現在空間的に詳細なデータが整ってきており、それらとリンクしていく上では、大変有効であると考えられる。したがって、本研究ではこのような視点から分析できる政策を検討し、施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し、評価することを試みる。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少子高齢化による人口構造変化を考慮した政策の検討などが可能となる。

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。社会には立地を選択し土地を需要する個人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。居住地決定行動は世代によって異なるため、世代を 0-19 歳、20-34 歳、35-49 歳、50-64 歳、65 歳以上に区分する。個人は、まずファジィ推論を用いて表現した効用水準決定行動モデルにより土地の魅力度を決定する。次に、二項ロジットモデルで表現した立地変更決定行動モデルにより立地変更するかどうかを決定する。最後に、多項ロジットモデルで表現した立地選択行動モデルにより、立地変更すると決めた個人が立地ゾーンを選択する。一方、土地供給者は立地変更する個人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という土地供給行動を行う。このような過程によって求まる土地需要量と土地供給量が各ゾーンにおける土地市場の価格調整メカニズムによって均衡することで、ある期から次期までの立地変化量が決定される。これによりある期における立地量が予測できる。さらに時間が経過した場合には、再び各主体が同様の過程を繰り返すことで多期間に亘る住宅立地の変化を予測することができる。

(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

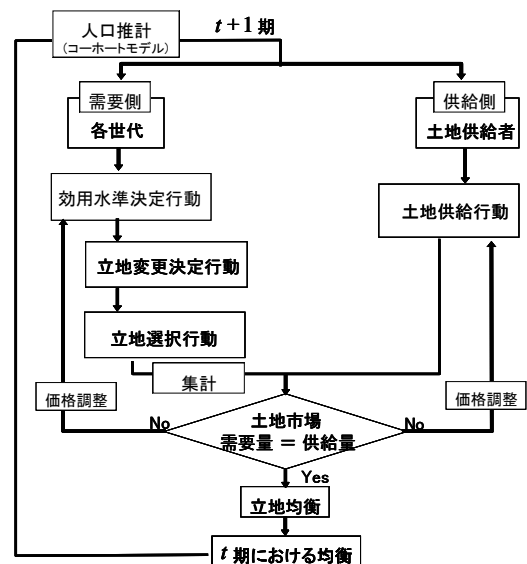


図-1 世代別立地均衡モデルの概要

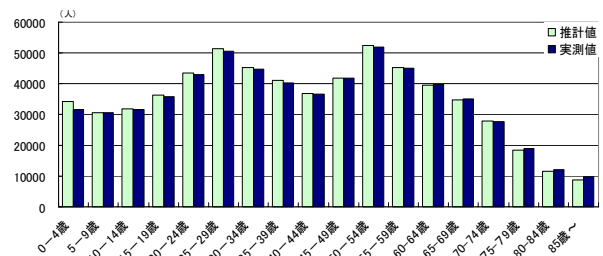


図-2 コーホート法を用いた世代別人口推計

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」、「コーホート法」、「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ーホート変化率法を用いる。この手法は、あるコーホート（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。コーホート変化率法の特徴としては、以下のような点が挙げられる。①コーホートごとの時間変化を捉えた分析ができるため、住民の年齢と深い関係がある人口移動を捉えやすい。②二時点間におけるコー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。③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 を予測しており、対象期間が短いため出生率や死亡率を一定にしているが、図-2 に示すように予測は良好に行われる。なお、長期間の予測を行う際には、これらを考慮する必要がある。

ある T 年次の n 番目の世代に対しては基準人口にコーホート変化率を乗じることにより、次の世代の人口 N が求まる。これは次式のように表される。

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

図-2はH2, H7の国勢調査のデータを用い、5歳ごと世代でのコーホート変化率により推計したH12の人口推計値と、H12の国勢調査の実測値を比較した図である。なお、H12の0-4歳人口は20-34歳を親世代とし、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。推計値と実測値の相関係数は0.998であり、高い推計精度が得られたといえる。このような人口の遷移を分析する手法はSugikiら⁶⁾のように統計データを用い、遷移確率を算出する方法もあるが、本研究では、将来の人口推計に多く用いられているコーホートモデルを用いて将来の世代別人口推計を行うものとする。

(3) 個人の居住地決定行動モデル

個人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) 効用水準決定行動モデル

個人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ファジィ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。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決定するもので、式(2)のように表現される。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。また人間の知識や知恵をそのままルールとして記述することができるという利点がある。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る。メンバシップ関数の形状は、小さい、中ぐらい、大きい、とても大きいといった言語変数を用いて三角形ファジィ数として表現する。

$$\begin{aligned} \text{Rule 1: } & \text{IF } x \text{ is } a \text{ and } y \text{ is } b \dots, \text{ Then } u \text{ is } c \\ \text{Rule 2: } & \text{IF } x \text{ is } a'_2 \text{ and } y \text{ is } b'_2 \dots, \text{ Then } u \text{ is } c'_2 \\ & \vdots \\ \text{Rule } n: & \text{IF } x \text{ is } a_n \text{ and } y \text{ is } b_n \dots, \text{ Then } u \text{ is } c_n \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 x, y : 環境条件, u : 効用水準, a_k, b_k, c_k ($k = 1, \dots, n$) : 言語変数。

各ゾーンの効用水準は、各環境要因に基づく効用水準を統合することで求まる。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-3に示すとともに以下で説明する⁷⁾。

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。

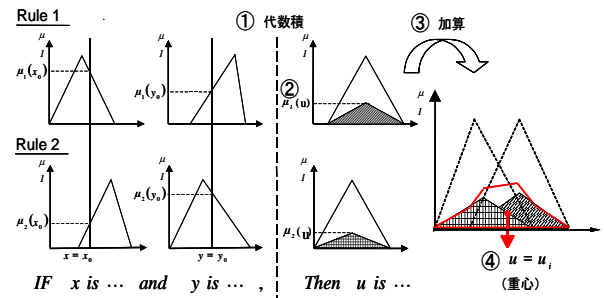


図-3 product-sum-gravity 法の推論手順

$$w_k = \mu_k(x_i) \times \mu_k(y_i) \quad (3)$$

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とする。

$$\mu_k(u) = w_k \times \mu_k(u) \quad (4)$$

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。

$$\hat{\mu}(u) = \sum_k^K \mu_k(u) \quad (5)$$

④全体の推論結果の重心を求めたものが確定値である。

$$u_i = \frac{\int u \cdot \hat{\mu}(u) du}{\int \hat{\mu}(u) du} \quad (6)$$

ここで、 $\mu_k(\cdot)$: 環境要因 k に応じたメンバシップ値, w_k : 適合度, u : 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, $\int \cdot du$: 後件部における積分。

b) 立地変更決定行動モデル

各ゾーンの効用水準 u_i と地域内の平均的な効用水準 \bar{u}_i を式(7)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 P_i^* が決定する。平均的な効用水準とは地域内での効用水準の平均値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。なお抵抗感の推計にあたってはファジィ推論を用いる。ゾーン i における立地変更確率 P_i^* に世代人口 $N_i(t)$ を乗じることでより立地変更人数 $N_i^*(t)$ が求まる。

$$P_i^* = \frac{\exp(\bar{u}_i)}{\exp(u_i) + \exp(\bar{u}_i)} \quad (7)$$

$$N_i^*(t) = P_i^* \cdot N_i(t) \quad (8)$$

$$\bar{u}_i = \ln \left[\sum_{j=1}^J \exp(u_j) \right] - c_i \quad (j \neq i) \quad (9)$$

c) 立地選択行動モデル

住み替えを決めた個人は各ゾーンの効用水準 u_i に基づき居住地を選択する。式(10)の多項ロジットモデルに各

ゾーンの効用水準 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 $N_j(t+1)$ が求まる。

$$P_{ij} = \frac{\exp(u_j)}{\sum_{j=1}^J \exp(u_j)} \quad (j \neq i) \quad (10)$$

$$N_j(t+1) = N_j(t) - N_j^*(t) + \sum_{i=1}^I P_{ij} \cdot N_i^*(t) \quad (11)$$

ここで、個人がどのゾーンを選択するかは距離などに依存せず、ゾーンの立地魅力度によってのみ決まるとする。

d) 土地需要量

間接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、式(12)のように各ゾーンにおける地価 ρ_j と一人当たりの居住地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、各ゾーンの一人当たりの土地需要量 Q_j が求まる。

$$q_j = q_j(\rho_j) \quad (12)$$

$$Q_j = q_j \cdot \left[\sum_{i=1}^I P_{ij} \cdot N_i^*(t) - N_j^*(t) \right] \quad (13)$$

ここで、居住者一人当たりの土地需要量 q_j は各ゾーンにおける地価 ρ_j と戸建て住宅および共同住宅の平均容積率 σ^H, σ^M により土地需要関数を特定化して推定する。後述するように、土地供給者は新たに開発した土地面積を個人に供給するため、個人の土地需要量は延べ床面積ではなく、敷地面積 A_i で表すことが必要となる。そこで、各ゾーンの戸建て住宅および共同住宅の割合とそれぞれの平均容積率により、各ゾーンの居住者一人当たり延べ床面積を敷地面積に変換し、土地需要量を算出する。

まず、居住者一人当たりの延べ床面積の算出式を式(14)のように特定化(()内は t 値)する。重回帰分析の結果、相関係数は0.400と高い値を得ることができなかったものの、符号条件を満たしており、各パラメータの t 値も有意であるため、この式を採用するものとする。

$$A_i = -0.11 \rho_i + 43.92 \quad (14) \\ (-5.44) \quad (33.35)$$

次に、各ゾーンの戸建て住宅および共同住宅の割合 ψ_i^H, ψ_i^M と戸建て住宅および共同住宅の平均容積率 σ^H, σ^M を用いて、延べ床面積を敷地面積に変換することにより、居住者一人当たりの土地需要量を推定する。これを式で表すと(15)式ようになる。それぞれの平均容積率は、 $\psi_i^H = 47.8\%^8$ 、 $\psi_i^M = 106.0\%^9$ として推計を行う。これに人口増加分を乗じることにより、各ゾーン

の一人当たりの土地需要量 Q_j が求まる。

$$q_i = \left(\frac{\psi_i^H}{\sigma^H} + \frac{\psi_i^M}{\sigma^M} \right) \cdot A_i \quad (15)$$

(4) 土地供給者の行動モデル

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。土地供給者が開発率を決定する際、多くの情報を処理しなければならないことや、災害情報や環境条件に対する住民との認知の違いなどの曖昧性が存在するため本研究ではファジィ推論を用いる。

a) 新規開発率

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ファジィ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。ファジィ推論ルールは各環境要因が開発率に及ぼす影響を考慮して決定するもので、式(16)のように表現される。メンバシップ関数は開発率を算出するため、0~1までとする。メンバシップ関数の形状は、小さい、中ぐらい、大きい、とても大きいといった言語変数を用い、三角形ファジィ数として表現する。

$$\text{Rule 1: IF } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \dots, \text{ Then } r \text{ is } C_1 \\ \text{Rule 2: IF } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \dots, \text{ Then } r \text{ is } C_2 \quad (16) \\ \vdots \\ \text{Rule } n: \text{ IF } x \text{ is } A_n \text{ and } y \text{ is } B_n \dots, \text{ Then } r \text{ is } C_n$$

ここで、 x, y : 環境条件、 r : 開発率、 A_k, B_k, C_k ($k = 1, \dots, n$) : 言語変数。

b) 土地供給量

各ゾーンにおける新規開発率 r_j と供給可能面積 W_j から土地供給量 L_j が求まる。

$$L_j = r_j \cdot W_j \quad (17)$$

(5) 土地需給均衡

各ゾーンにおけ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、最終的に各ゾーンの個人の立地量が決まる。したがって、土地需要量 Q_j と土地供給量 L_j との均衡条件式が次式のように導かれる。

$$Q_j = L_j \quad (18)$$

4. 現況再現性

岐阜市を中心とした23km×16kmの岐阜都市圏を対象地域とし、1kmメッシュにて368ゾーンに分割する。ここでは、H2からH7への立地変化の実績を用い、H7からH12への立地変化を予測し、その実績との比較により各世代の立地分布に関する現況再現性を確認した。

表-1 効用水準決定行動モデルにおけるファジィ推論ルール

Rule	前件部				後件部	0-19歳	20-34歳	35-49歳	50-64歳	65歳以上
[I]	1	地価	とても高		低				○	
	2	地価	高		中					○
	3	地価	高		低	○	○	○		○
	4	地価	中		中	○	○	○		○
	5	地価	中		とても低				○	
	6	医療サービスの受けやすさ	とても高		とても高	○	○	○		○
	7	医療サービスの受けやすさ	高		高	○	○	○	○	○
	8	医療サービスの受けやすさ	中		中	○	○	○	○	○
	9	医療サービスの受けやすさ	低		とても低	○	○	○	○	○
	10	医療サービスの受けやすさ	とても高	公共交通の利便性	とても高	とても高			○	○
	11	医療サービスの受けやすさ	中	公共交通の利便性	大	中				○
	12	買い物のしやすさ	とても高		とても高	○	○	○	○	
	13	買い物のしやすさ	とても高		高					○
	14	買い物のしやすさ	高		高	○	○	○	○	○
	15	買い物のしやすさ	中		中	○	○	○	○	○
	16	買い物のしやすさ	中	公共交通の利便性	高	大			○	○
	17	買い物のしやすさ	低	公共交通の利便性	高	中	○	○	○	○
[II]	1	中心部までの距離	とても長		とても低				○	○
	2	中心部までの距離	長		低	○	○	○	○	○
	3	中心部までの距離	中	公共交通の利便性	高	中	○	○	○	○
	4	中心部までの距離	短		とても高	○	○	○	○	○
	5	中心部までの距離	短		高				○	○
	6	公共交通に対する利便性	高		高				○	○
	7	公共交通に対する利便性	中		中				○	○
	8	自然環境	とても高		低	○	○	○	○	○
	9	自然環境	高		高	○	○	○	○	○
	10	自然環境	低		低	○	○	○	○	○
	11	自然環境	高	高齢者コミュニティ	高	低			○	○
[III]	1	洪水危険度	とても高		低	○	○	○	○	○
	2	住工混在度	とても高		低	○	○	○	○	○
[IV]	1	高齢者コミュニティ	低		低				○	○
	2	高齢者コミュニティ	高	同居率	高	高			○	○
	3	近所付き合い	とても高	同居率	低	低			○	○
	4	近所付き合い	高	同居率	低	低			○	○
	5	近所付き合い	高		高		○	○		
	6	近所付き合い	低		とても低				○	○
	7	地域への愛着	低	高齢者コミュニティ	大	中			○	○

※ 「I」：生活サービス、「II」：快適性、「III」：安心・安全性、「IV」：居住状態

※ ○は当該世代で採用したルールを示している。

(1) 立地選択行動モデルの特定化

各世代に適用したファジィ推論ルールを表-1 に示す。ここで採用したファジィ推論ルールは住民の居住や暮らしに関して多数実施されている様々な既往調査・研究結果の報告書・資料・論文等に基づいて整理したものである。各環境要因が土地の魅力度に及ぼす影響の程度を既存資料から読み取り、それぞれの環境要因について適当なファジィ推論ルールを位置付けている。また、ファジィ推論ルールを整理するために、土地の魅力度を構成する環境要因によって「I：生活サービス」、「II：快適性」、「III：安心・安全性」、「IV：居住状態」の4つに区分している。採用したファジィ推論ルールのうち、たとえば Rule [I]-1~5 では、地価が高い地域は暮らしには便利であるが、世代によって金銭的な負担の感じ方がことなることを考慮しつつ、魅力度が中くらいから低くなるというルールを用いており、一方、地価が安い地域は都市環境施設が整っていないなど暮らしのなかで不便さを感じるため、魅力度が低くなるようなルールを用いている。全体的な特徴としては、若年層世代が高齢者世代より採用したルール数が少ないといったことが挙げられる。たとえば、近所づきあいといった環境要因は若年層世代では採用されていない。また、医療・福祉施設といった住環境に関する要因は全世代に適用されている。各環境要因に対する感じ方を表わすメンバシップ関数の形状とパラメータを図-4 および表-2 に示す。前件部のメンバシップ関数の形状は、小、中くらい、大きい、とても大きい (a~d) という4つの言語変数を用いて表現

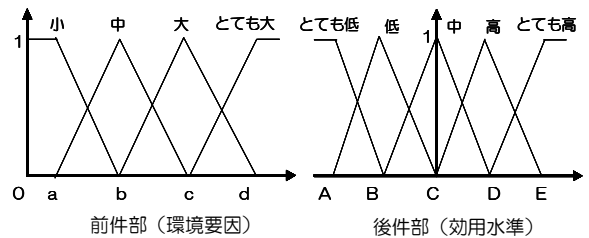


図-4 メンバシップ関数の形状 (効用水準決定行動モデル)

表-2 立地選択行動モデルのパラメータ

	前件部				後件部				
	a	b	c	d	A	B	C	D	E
①地価(千円/m ²)	15	60	120	400					
②病院(人)	20	35	300	2,000					
③買い物(人)	20	230	400	3,000					
④中心部までの距離(km)	0	8	12	15					
⑤公共交通に対する利便性(%)	0	3	7	10					
⑥自然環境(%)	0	55	80	100					
⑦洪水危険度(m)	0	1	3	7					
⑧住工混在度(人)	0	100	680	2,000					
⑨高齢者コミュニティ(%)	0	9	15	30					
⑩近所付き合いの無さ(%)	10	65	80	100					
⑪地域内コミュニティ(%)	0	25	40	70					
⑫地域への愛着(%)	15	75	95	100					
0-19歳の効用水準	-1	-0.4	0	2.2	3.5				
20-34歳の効用水準	-1	-0.4	0	2.2	3.5				
35-49歳の効用水準	-1	-0.4	0	2.2	3.5				
50-64歳の効用水準	-1.3	-0.4	0.6	0.7	3.5				
65歳以上の効用水準	-1.2	-0.1	0	0.7	4				

する。形状を規定するパラメータは、人の選好として常識的なものとなるように環境要因の分布状況なども参考に決定した。5. 施策評価とも関係するが洪水危険度のパラメータ決定には長良川および木曾川の破堤による想定浸水深を用いた。浸水深の感じ方として、浸水しない、床上浸水、1階が完全に浸水する、2階まで浸水するという4つに区分し、メンバシップ関数のパラメータとして0m, 1m, 3m, 7mを適用した。一方、洪水危険度が中くらい以下では個人は立地選択に対して反応しない、

すなわち非常に危険な状況にしか反応しないであろうということから Rule [III]-1 という推論ルールを選定した。後件部のパラメータは試行錯誤により決定した。また高齢者は若い世代に比べて敏感に反応しないように、パラメータを設定した。

(2) 立地変更決定行動モデルの特定化

現居住地と他のゾーンとの効用水準を比較することで、立地変更する人が現れる。住み替える場合の効用水準は、地域内の平均的な効用水準に立地変更することへの抵抗感を加味したものにより表される。抵抗感を持ち家率と移転費用という要因により構成されるものとし、抵抗感を求めるためのファジィ推論ルールを表-3、メンバシップ関数の形状を図-5 のように決定した。

(3) 土地供給者行動モデルの特定化

土地供給者行動モデルに用いたファジィ推論ルールを表-4 に示す。土地供給者は各要因が新規開発率に及ぼす影響の大きさを考慮し、それぞれの環境要因についてファジィ推論ルールを採用した。その際、新規開発率を決定する際に考慮される環境要因を「I：利益の得やすさ」、「II：土地に内在するリスク」、「III：都市計画的な要因」の3つに区分して整理している。新規開発率に影響を及ぼす環境要因の選定には、土地供給者の考えを捉えるとともに人々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必要がある。人々の考え方を考慮し開発率の影響を及ぼす環境要因の選定を行った結果、開発率は10 要因により構成されるものとした。メンバシップ関数は開発率を算出するため、図-6 のように決定した。メンバシップ関数のパラメータを表-5 に示す。メンバシップ関数の形状は個人と同様、小さい、中くらい、大きい、とても大きい (f~i) という4つの言語変数を用いて表現する。

(4) 現況再現性の確認

図-7 の上段に実績の立地変化分布図、下段に推計した立地変化分布図を示す。実績値と推計値の相関を図中右下に示す。これ見ると、65 歳以上の世代は地域の大部分において増加していることがわかる。その他の世代の立地量については中心地（図中では中央よりやや左斜め下方）で減少、周辺部で増加傾向である。よって、都市圏全体で傾向については現況再現できており、岐阜都市圏における現在都市政策上の課題である高齢化と中心市街地の空洞化を再現することができたといえる。

また、図-8 の上段には立地変化量の実測値と推計値の比較、下段には立地量の実測値と推計値の比較を示す。推計結果は何れも土地供給者の行動モデルとも関係するが、立地変化量の現況再現性は50-64 歳、65 歳以上で相

表-3 抵抗感を表す推論ルール

Rule	前件部		後件部	
	IF		THEN	
①	持ち家率	高	効用	とても低
②	持ち家率	中	効用	低
③	移転費用	ある	効用	低

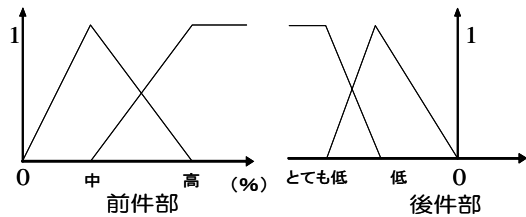


図-5 抵抗感を表すメンバシップ関数の形状

表-4 土地供給者行動モデルにおけるファジィ推論ルール

Rule	前件部			後件部	
[I]	1	地価	高	高	
	2	地価	中	中	
	3	地価	低	低	
	4	医療サービスの受けやすさ	高	とても高	
	5	医療サービスの受けやすさ	中	中	
	6	医療サービスの受けやすさ	低	とても高	
	7	買い物のしやすさ	高	とても高	
	8	買い物のしやすさ	中	中	
	9	買い物のしやすさ	低	中	
	10	中心部までの距離	長	公共交通の利便性	高
	11	中心部までの距離	中	公共交通の利便性	中
	12	自然環境	中		中
	13	自然環境	低		低
[II]	1	洪水危険度	とても高	高齢者コミュニティ	高
	2	住工混在度	とても多		低
	3	高齢者コミュニティ	とても高	同居率	高
[III]	1	市街化区域	多		中
	2	市街化区域	少		低
	3	区画整理時期	早		低
	4	区画整理時期	中		中
5	区画整理時期	遅		とても高	

※ 「I：利益の得やすさ」、「II：土地に内在するリスク」、「III：都市計画的な要因」

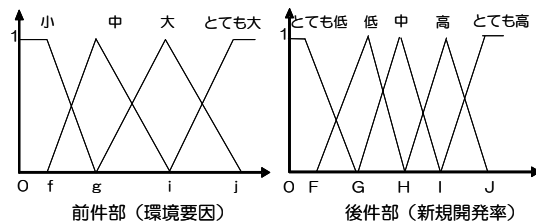


図-6 メンバシップ関数の形状 (土地供給者行動モデル)

表-5 土地供給者行動モデルのパラメータ

	前件部				後件部				
	f	g	h	i	F	G	H	I	J
(1)地価(千円/m ²)	13	30	120	500					
(2)病院(人)	0	40	290	1,300					
(3)買い物(人)	0	200	420	8,000					
(4)中心部までの距離(km)	0	6	11	19					
(5)公共交通に対する利便性(%)	1	5	8	15					
(6)自然満足度(%)	30	50	70	100					
(7)洪水危険度(m)	0	1	3	8					
(8)迷惑施設(人)	0	80	300	2,000					
(9)高齢者世帯率(%)	2	15	20	45					
(10)同居率	10	30	50	80					
(11)市街化区域(km ²)	0	0.4	0.5	1					
(12)区画整理時期(年)	1960	1985	1997	2004					
新規開発率					0	0.1	0.8	2	3

関係数が0.7前後となっており良好な結果を得ている。これ以外の3世代では相関係数はいずれも0.5以下であり、再現精度はあまり良くない。しかし、立地量の現況再現性は各世代とも相関係数が0.9以上となっており、良好な結果が得られた。

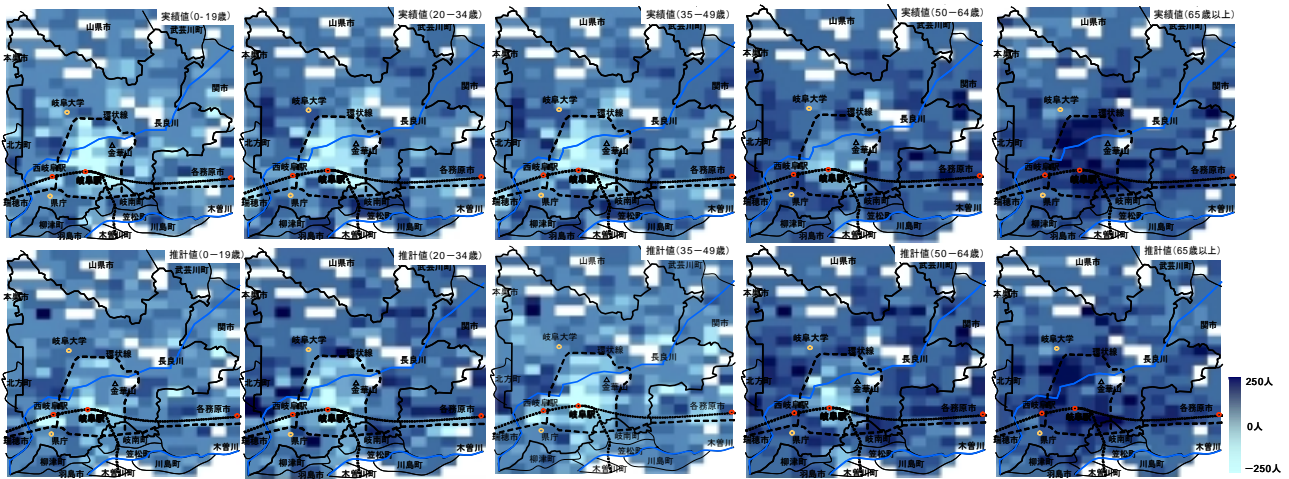


図-7 立地変化分布の実績値[上段]と推計値[下段]の比較

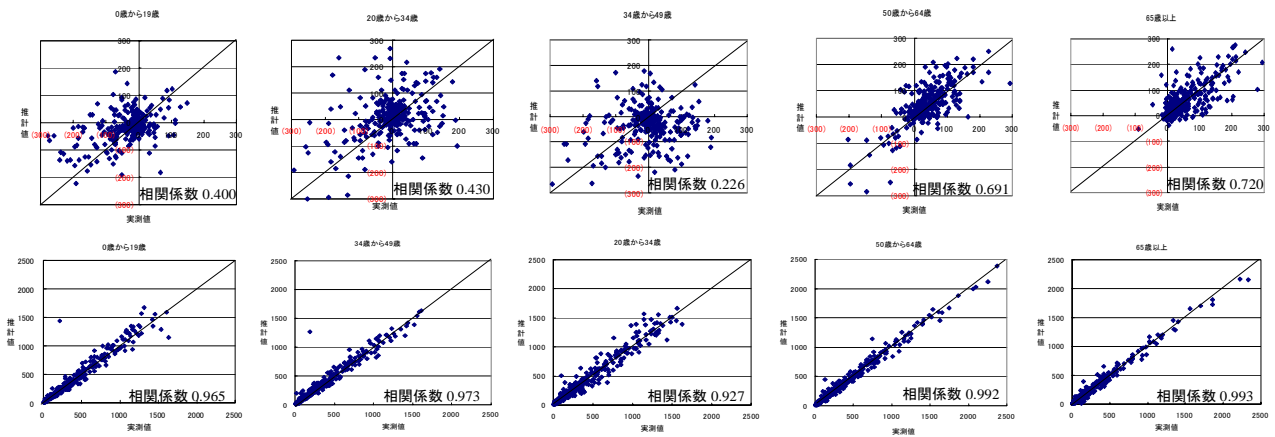


図-8 メッシュ単位の立地変化量 [上段]と立地量[下段]における実績値と推計値の比較

図-9 は新規開発率と新規開発量の実測値と推計値の比較を示している。土地供給者の開発率については、相関係数は 0.219 であり推計精度は良くないが、新規開発量の推計については相関係数が 0.746 であり良好な結果が得られているため、概ね現況が再現できたと言える。

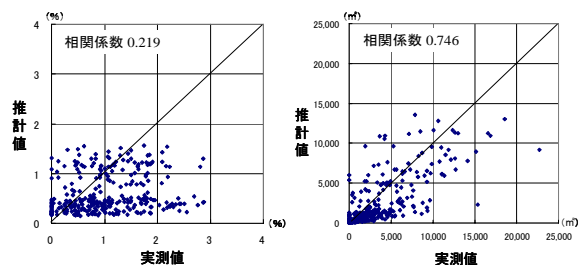


図-9 新規開発率[左]と新規開発量[右]の実績値と推計値の比較

5. ファジィ立地均衡モデルによる施策評価

対象地域では2002年に洪水ハザードマップ¹⁰⁾が作成され、図-10の[左]に示すような洪水リスク(90年分の1の確率で発生する洪水によって長良川が破堤した場合の想定浸水深)の分布図が公開されている。それに対し、住民の洪水リスク認知の程度を表すメンバシップ関数はモデルの再現性確認において同定され、図-10の[右]のようになっている。そこで本研究では治水対策と洪水リスク認知促進策という2種類の施策を取り上げ、前章までで構築したファジィ立地均衡モデルを用いて施策評価を行い、モデルの適用性を確認するとともに、洪水対策に関する分析を行う。通常の効用関数ではEV、CVの定義により便益を求めることが可能であるが、本研究におけるファジィ推論ルールを用いた効用関数ではEV、CV

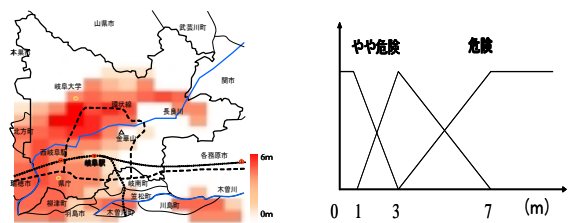


図-10 洪水リスクの分布[左]と洪水リスク認知のメンバシップ関数[右]

の定義により施策の便益を求めることができない。よって本研究では土地利用変化や洪水リスク認知、地価の変化に着目して施策評価を行う。

(1) 治水対策と洪水リスク認知促進策

治水対策としては堤防補強等によって堤防破壊時の洪水氾濫量を減少させることにより、地域全体で均等に洪水リスクが3%, 5%, 10%, 15%減少[CASE I~IV]することを想定した(表-6)。一方、洪水リスク認知促進策としては、防災教育等により危険だと判断するレベル(浸水深)が変化することを想定した。具体的には図-11に示すように前件部のメンバシップ関数において危険と感じるレベルのパラメータを変化させ、表-6に示す[CASE 1~4]を想定した。図-11[左]に示す[CASE 1]では「洪水リスク(想定浸水深)が7mなら危険である」という認識が「4mでも危険である」という認識に変更されることを想定する。浸水深の認知が7mから4mに変わるという心理は以下のように考えられる。たとえば、川が決壊したのが真夜中の睡眠時間中である場合、避難を開始する頃にはすでに道路の冠水が始まっていると想定される。そうなれば結局2階に留まらざるを得ないケースも考えられるため、ここでは一戸建ての家で2階まで浸水するような地域は回避的であると想定した¹¹⁾。これに対し、図-11[右]に示す[CASE 4]では、例えば、自宅周辺地域だけでなく広い範囲で洪水リスクが大きいにもかかわらず、多くの人々がそれに対応した行動をとらないために自身も安心してしまふことや、洪水の発生確率が低いために洪水リスクに対して楽観視することを想定した。具体的には「3mでやや危険である」という判断が「6mでやや危険である」という判断に変更される状況を想定した。

(2) 立地変化量から見た施策効果の比較

治水対策と洪水リスク認知促進策の施策効果を立地変化量の視点から比較する。図-12は治水対策[CASE III]の効果(治水対策の有無による立地変化量の差)と洪水リスク認知促進策[CASE 1]の効果(洪水リスク認知促進策の有無による立地変化量の差)について、全世代を合計した値の分布を示している。

治水対策を実施すると洪水リスクが高いメッシュで立地変化量が增大する傾向がみられた。逆に、洪水リスク認知促進策を実施すると洪水リスクが高いメッシュで立地変化量が減少する傾向がある。これより、局所的ではあるが、治水対策を行うと洪水リスクは減少するものの、まだ安全と言い切れない地域に却って移転促進してしまう可能性がある。一方、情報提供や防災教育等により住民が洪水リスクを正しく認知すればリスク回避行動が促進され、住民が自ら危険な地域から安全な地域に移転する可能性があることがわかった。

(3) 地域全体における洪水リスクの期待値の比較

治水対策と洪水リスク認知促進策について、地域全体における洪水リスクの期待値を次式により求めた。

表-6 施策の概要

CASE	施策の概要
CASE I	洪水リスク(想定浸水深)が3%減少する
CASE II	洪水リスク(想定浸水深)が5%減少する
CASE III	洪水リスク(想定浸水深)が10%減少する
CASE IV	洪水リスク(想定浸水深)が15%減少する
CASE 1	危険と感じる浸水深が7mから4mに変わる
CASE 2	危険と感じる浸水深が7mから5mに変わる
CASE 3	やや危険と感じる浸水深が3mから2mに変わる
CASE 4	やや危険と感じる浸水深が3mから6mに変わる(洪水リスクに対して楽観視するようになる)

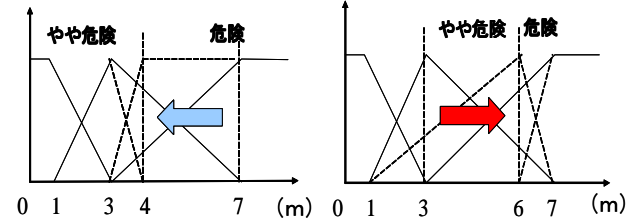


図-11 メンバシップ関数における洪水リスク認知変化の表現方法CASE1[左], CASE4[右]

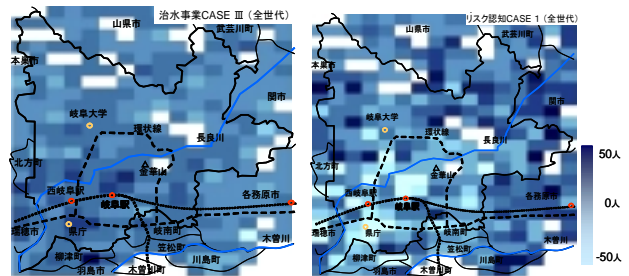


図-12 治水対策による立地量変化の差[左]と洪水リスク認知促進策による立地量変化の差[右]

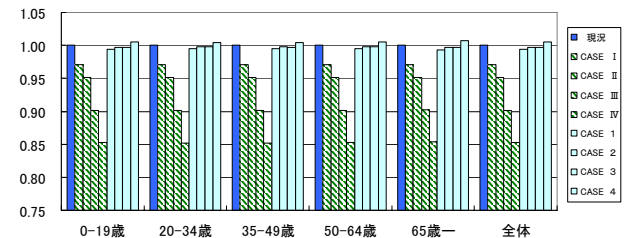


図-13 岐阜都市圏全体における洪水リスクの期待値

$$\frac{\sum r_i \cdot N_i}{\sum N_i} \quad (19)$$

ここで、 r_i はメッシュ*i*における洪水リスク(想定浸水深)、 N_i はメッシュ*i*における立地量である。

現況を1とし、[CASE I~IV]と[CASE 1~4]の施策を行った場合の洪水リスクの期待値を算出した結果を図-13に示す。[CASE I~IV]の結果が示すように、当然のことながら治水対策を実施するに従って、洪水リスク低減効果は大きくなる。一方、洪水リスク認知促進策においては、[CASE 1~3]で1~2%の低減効果が生じている。これに対し、洪水リスクに対して楽観的になると想定した[CASE 4]では若干であるが洪水リスクの期待値が高くなった。ゆえに、洪水リスクを正しく認知することは重要であり、それにより僅かながらでも地域全体の洪水リス

クを減少させる可能性があるため、防災教育や情報提供などの洪水リスク認知促進策を実施していく必要がある。

(4) 地価変化に着目した施策効果の比較

施策の効果を地価に着目して分析した。治水対策による地価の変化を図-14、洪水リスク認知促進策による地価の変化を図-15、16に示す。

治水対策を実施すれば、洪水リスクが3～6mの地域で地価が上昇する傾向があることがわかった。図-15は洪水リスク認知促進策[CASE1～3]による地価の変化と洪水リスクの関係を示している。この図では3～6mといった洪水リスクの高い地域で地価が下落しており、1～3mといった洪水リスクが低い地域で地価が上昇している。図-16は[CASE4]に対する地価の変化である。この図によれば3～6mといった洪水リスクの高い地域で地価が上昇し、治水対策の実施と同様の傾向にある。

(5) 土地資産額に着目した施策評価の比較

治水対策と洪水リスク認知促進策を実施した場合における岐阜都市圏全体の土地資産額（総額）を求めた。結果は図-17の通りである。治水対策によって地域全体が安全になるにも拘わらず、洪水リスクが減少するに従って土地資産額が減少する傾向にある。洪水リスク認知促進策を実施した場合、[CASE1～3]のように正しくリスクが認知されれば岐阜都市圏全体の土地資産額も増大する。一方、[CASE4]のように洪水リスクを楽観視するようになると、岐阜都市圏全体の土地資産額が減少してしまうことになる。防災教育等により洪水リスク認知を促進し、それによって住民が自主的に行動するだけで、岐阜都市圏域全体の洪水リスクは減少し、土地資産額が増加する可能性がある。なお、ここでは洪水対策に関する費用については考慮していないが、通常、洪水リスク認知促進策は治水対策に比べて費用はかなり安価であるため、費用対効果の面から見ても、洪水リスク認知促進策は効率的な施策であると言える。

6. おわりに

本研究では、筆者らがこれまでに開発してきたファジィ立地均衡モデルを基礎として、①時間軸を追加してある期を起点とした立地変化量を推算することにより、より精度高く立地分布が予測できる、②世代別に区分することにより人口構造変化を捉えられる、③GIS データを利用することにより詳細な空間分析ができる、という3つの改良を行って世代別立地均衡モデルを構築した。次に世代別のファジィ推論ルール、メンバシップ関数を特定化してモデルの現況再現性を確認した。最後に治水対策と洪水リスク認知促進策による立地分布の変化につい

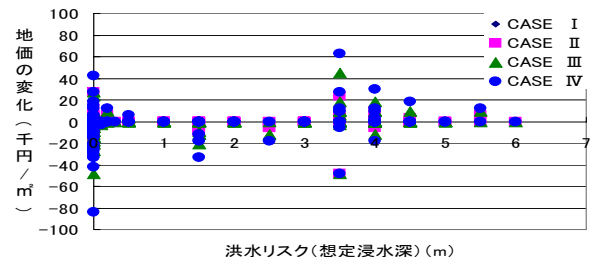


図-14 治水対策による地価の変化

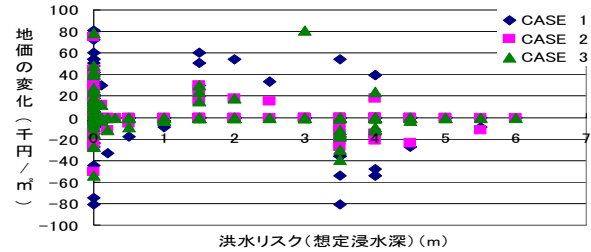


図-15 洪水リスク認知促進策による地価の変化 (1)

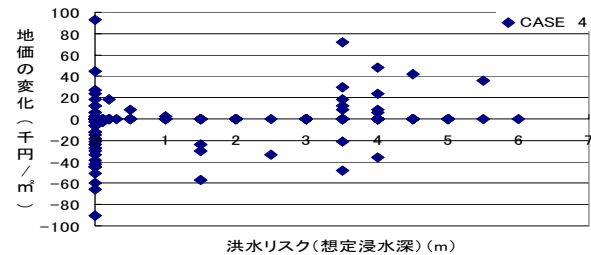


図-16 洪水リスク認知促進策による地価の変化 (2)

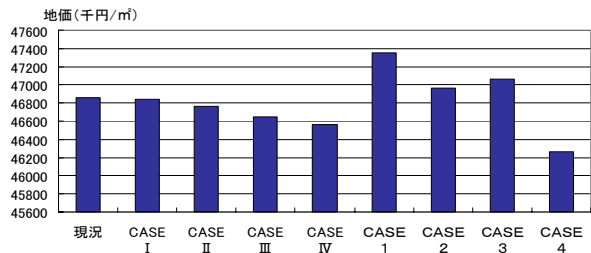


図-17 洪水対策実施による土地資産額

て比較し、防災教育や情報提供などの洪水リスク認知促進策を実施していくことの意義を示した。本研究で得られた結果を以下に整理する。

- ①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。
- ②立地変化量の現況再現性については、50-64歳と65歳以上の高齢者世代で高い結果が得られたが、それ以外はやや精度が低かった。しかし、立地量についてはどの世代においても高い推計精度を得ることができた。
- ③メッシュ単位で分析したことにより、岐阜都市圏における重要な課題である中心部の空洞化が詳細に表現することができた。
- ④治水対策の効果分析を通しては、治水対策を実施すると洪水リスクが高いメッシュで立地変化量が増大し、地価が上昇するばかりでなく、逆に都市圏全体では土

地資産額が減少する結果が得られた。

⑤洪水リスク認知促進策の効果分析を通しては、洪水リスクが正しく認知されると、洪水リスクが高いメッシュで立地変化量が減少し、地価が下落するにも拘わらず、都市圏全体の土地資産額は却って増大する結果となった。

⑥洪水情報提供や防災教育等による洪水リスク認知促進策は、従来型の治水対策と比較しても遜色ない、あるいは治水対策以上の効果があり、効率的な洪水リスクマネージメントとなる可能性がある。ただし、防災教育等の実施の困難性やどうすれば実際に住民が行動を変化させるのかといった難しさがある。

今後の課題としては以下のようなことが挙げられる。

①多期間を予測可能なモデルを構築したが、実際の分析においては一期間しか行っていない。したがって、今後は都市圏における人口構造変化や都市構造変化、具体的には少子高齢化や中心市街地活性化などについても分析を試みたい。

②土地利用に関する施策は土地供給者に対するものが直接的で効果も表れやすい。したがって、開発者や土地所有者に対する土地利用規制や誘導制度など施策についても分析を試みたい。

③メンバシップ関数を特定化するためには、住民に対しての意識調査が必要であるため、アンケート調査等を実施してモデルの精度向上を図りたい。

なお、本研究の一部は、平成17年度科学研究費補助金(基盤研究(C), 課題番号:17560472, 研究課題名:災害リスクの認知と自主防災行動を考慮した災害リスクマネ

ジメントに関する研究)によるものである。ここに記して感謝の意を表す。

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, pp 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) 五十嵐豪, 徳永幸之, 宮本和明, 杉木直: 詳細な属性を考慮した都市圏世帯分布予測システムの構築, 都市計画論文集, No.40-3,2005.
- 6) Nao Sugiki and Kazuaki Miyamoto: Spatial-Temporal Aggregation Effects and Path-Dependence in a Land-Use Microsimulation System, Selected-Proc. of 10th WCTR, 2005.
- 7) 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.
- 8) 総務省統計局: 住宅・土地統計調査 都道府県編 岐阜県, 1998.
- 9) 世田谷区: 共同住宅一棟当たりの平均容積率, 1998. <http://www.city.setagaya.tokyo.jp/topics/toshiseibibu/index.html>
- 10) 岐阜市: 岐阜市洪水避難地図 (長良川洪水ハザードマップ), 2002.
- 11) 災害時における障害弱者の支援・救援を考える会: できることからはじめよう～災害弱者防災ハンドブック～.

ファジィ推論と GIS データを用いた世代別立地均衡モデルの構築*

宮澤俊治**・高木朗義***・秋山孝正****・大森貴仁*****

本研究では、筆者らが開発したファジィ立地均衡モデルを拡張し、より現実的で詳細な立地分布およびその変化を予測可能とするモデルを構築した。具体的には、①詳細な空間分析を行うためにGISデータを利用する、②都市の人口構造変化を分析するために世代別に区分してファジィ推論ルールを作成する、③住民の立地行動をより忠実に捉えるために、ある時点を起点とした立地変化量を推計可能とする、という3つの改良を行った。また、治水対策と洪水リスク認知促進策の評価を行い、モデルの適用性を確認するとともに、洪水リスク認知促進策を実施していくことの意義を示した。

A Cohort-based Location Equilibrium Model with Fuzzy Reasoning and GIS Data*

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

In the present study, the location equilibrium model was built which has three advantages. They are 1) application of fuzzy reasoning for describing ambiguity and complexity in the location choice behavior, 2) using the GIS data for performing the detailed spatial analysis in urban area and 3) make use of the rules of fuzzy reasoning for analyzing the change of Cohort-based urban population distribution for the horizon years. This model evaluated the effect on the change of location distribution caused by the flood control works and the flood risk perception of citizens. As a result of that, the significance of implementing the promotion measure of flood risk perception was shown.