

住み替え行動を踏まえた首都圏人口予測モデルの実証的研究

A Positive Study of Population Forecasting Models For
Tokyo Capital Region Based on Housing Relocation Behavior

* 古倉徹夫 ** 木田川誠司 *** 上條克之 **** 太田勝敏

by Tetsuo Kokura, Seiji Kitagawa, Katuyuki Kamijou, Katsutoshi Ohta

A positive forecasting system of population distribution based on models of housing relocation behavior is developed for Tokyo Capital Region.

The forecasting system is a recursive model with 5-year intervals and has a three-level hierarchical structure for spatial aggregation. The major submodels include disaggregate nested logit models of housing type-location choice, Cohort component methods, multiple regression models of zonal housing locating probabilities.

1. はじめに

首都圏など大都市圏での鉄道や幹線道路など、特に、大規模交通施設整備の計画策定を行う場合、その効果分析や需要予測検討の際の地区別将来人口、住宅需要の把握は、分析、評価の重要な指標となる。

この様な大都市圏での将来人口の予測に関しては、従来より、種々の手法が研究されてきており、マクロ的な立地要因を踏まえた手法としては、土地利用モデルの予測結果の一連の中で人口予測が計測されるCALUTAS モデルなどがある¹⁾²⁾。

これに対し、住み替え行動、人口移動等を含めた立地行動の視点からの人口予測の研究例は少ない。この分野での最近の研究として、住宅需要実態調査を集計タイプで用いて首都圏人口予測を行った土研モデルなどがある³⁾⁴⁾。また転入、転出人口とコーホート要因法を用い中・四国地方でケーススタディを行った芝原等の研究も行われている⁵⁾。これらの研究の背景には、住み替え行動による転出、転入人口が結果的に地域の将来の人口変化量を決定しており、真の将来人口はこの住み替え行動、転出入現象を把握することによって求められる^{※1)}という考え方に根ざしている。

-
- | | |
|-------------|--|
| * 工修 | パシフィックコンサルタンツ (株)
総合計画部
(〒150 渋谷区神宮前2-8-2) |
| ** 工修 | パシフィックコンサルタンツ (株) |
| *** 正会員 | 東京急行電鉄 (株) 調査課長
(〒150 渋谷区桜町26-20) |
| ****正会員Ph.D | 東京大学助教授 工学部都市工学科
(〒150 文京区本郷7-3-1) |

※1)首都圏内での1975年から80年までの5年間の住み替え移動量は約 1,600万人にも達し、この間の人口増加量の5倍以上に相当しており、これらのメカニズムを踏まえた予測が重要となる。

更に、住み替え行動を非集計タイプで分析する研究も進められており、最近では、宮本・安藤等がCA LUTIAS モデルに組み込むことも考えて、首都圏を3ブロックに分けて行った非集計住宅需要モデルの研究などがある⁶⁾⁷⁾。

しかし、住み替え行動を非集計でとらえ、かつ、諸々の交通計画等の評価フレーム等に用いる人口予測モデルの実用化はまだ充分に進んでいない状況にある。

そこで、特に住宅タイプ等の宅地開発形態などによる開発状況や人口定着が計画に大きく影響する沿線大規模開発型の鉄道計画等において、沿線の宅地開発との整合を図った計画評価での利用を意図して、人口動学的要因、住み替え行動といった立地行動を明示的に組み入れ、しかも小地区での人口予測を可能にする様な準動学的な予測モデルシステムの検討を行った。

この予測システムは後述する様に、①首都圏ブロックモデル②市区町村モデル③地域モデルの3段階で構成されている。

本論文では、その内、特徴的な部分である住み替え行動を組み入れた①②段階の予測モデルを中心としてその内容を説明し、その有効性についての実証的検討結果を述べる。

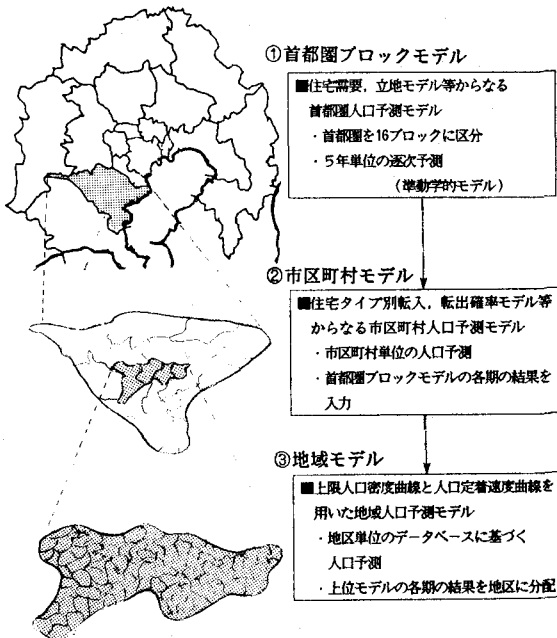


図-1 人口予測モデルシステムの全体構造

2. 人口予測モデルの全体構成

(1) 全体構造

本研究で分析し、構築した人口予測モデルシステムは、上述した3段階で構成されているが（図-1参照）、①首都圏ブロックモデルは5年単位の準動学的人口予測モデルとなっており、この各期の住宅タイプ別移動を与件として受けて②市区町村モデルによる人口予測が行われる。更に、この結果を受けて③地域モデルによるさらに小さい地区単位の人口定着を予測する構造となっている。

なお、3段階構成予測システムの採用に関しては、求めるべき最終対象地区が小さく、首都圏全体で一括してモデル化することは、計算上からもデータ取り扱い上からも困難と考えられるためである。

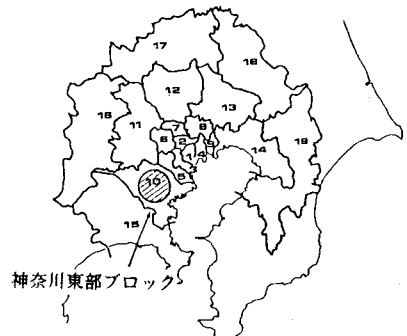
更に、この様な3段階構成を採用することにより、要因を各レベルの特徴に応じて詳細に組み入れ、また、各レベルごとでのシステムの検証が行えるという利点も有している。

3. 首都圏ブロックモデル

(1) 住み替え行動NLモデルの分析

a) 分析の方法

住み替え行動とは、住宅タイプ・立地の変更を意味し、本研究では、効用最大化理論に基づく非集計ロジットモデルによる接近を試みる。住み替え行動には、住宅タイプ及び立地の両方の選択が係わるため、それらの階層化を組み入れることのできるネステッドロジットモデル（以下、NLモデル）を適用する。



- 1) B₁ (ブロック 1) ~ B₉ は東京都23区
- 2) 首都圏16ブロックとはB₁ ~ B₄ を都心部として1つに統合している。

図-2 首都圏のブロック区分

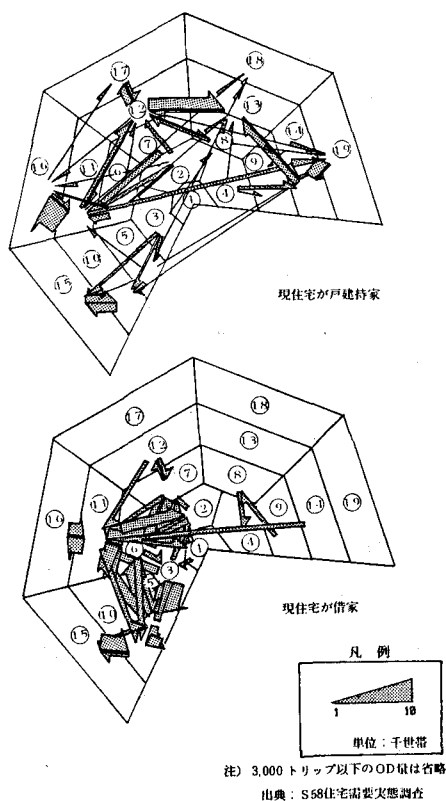


図-3 住宅タイプ別世帯移動分布

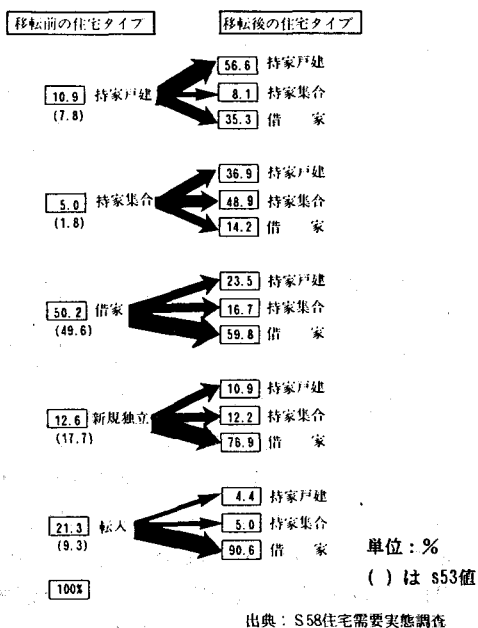


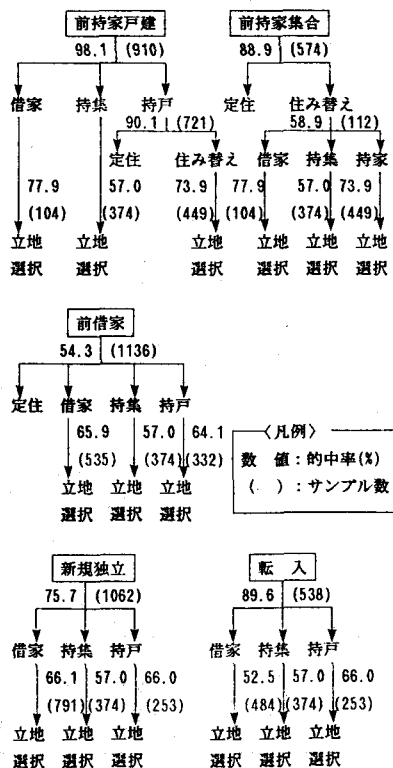
図-4 移転前後の住宅タイプ構成

更に、住宅需要・立地NLモデルを構築するに際し、住宅需要だけでなく、住宅立地を合わせたモデル構造を考える。そのため、世帯移動の空間的特性がある程度判読できる様、首都圏を都心部と3リング、5放射方向からなる16ブロックに区分する(図-2参照)。

これは、住宅需要実態調査データを分析した結果、住み替えに伴う移動パターンが住宅タイプ別に首都圏のリング状と放射方向で異っていること(図-3参照)と首都圏の放射状交通体系を配慮したものである。また、セグメントは住宅タイプ間の住み替え比率の相違(図-4)を反映させるため、住宅タイプについて前持家戸建、前持家集合、前借家の3タイプと新規独立世帯、転入世帯の5セグメントとした。

b) モデルの分析結果

住宅需要・立地NLモデルは、昭和53年住宅需要実態調査等を用いて分析し、以下の様な結果を得た(図-5)。



*なお、サンプル数は選択肢間でのデータの片寄りを少なくするため、再サンプリングした場合の値を示す。

図-5 NLモデルの選択ツリー

立地ブロックについては、リング立地と放射方向立地でヒエラルキーを持たせることも検討したが、ツリーレベルに差が生じず、16ブロックを同一レベルで求める形としている。

また、説明変数に関し、立地選択レベルでは、世帯移動パターンの分析を通じて、特に従業地の位置に関連して立地が選択されていることなどから、従業地と同方向ダミー、従業地と同一ダミー、前住地からの距離などを取り上げた。

住宅タイプの選択レベルでは、従業地が都心、郊外部などの位置により住宅タイプ選択の可能性に違いが生じることなどから、従業地のリング要素を加味した変数を組み入れている。

更に、住み替え選択においては、給与住宅や自営業世帯などによってその行動に違いが生じると指摘されている⁶⁾が、ここでは立地選択を重視したことなどにより、セグメントを5区分に限定し、それらの影響はダミー変数として取り入れている。また、世帯主の年齢についてもその区分の細分化等を図っている。

これらの説明変数に関して、分析の結果、選択肢との符号条件は、一般的な住み替え行動の想定範囲内で一応満たしていた。また、各変数のt値に関しても、部分的に低いものもあるが、全体の予測に与

える影響は小さく、符号条件も満たしていることから、t値の極端に低い変数のみを除きモデルを構成させている。

なお、具体的なモデルの例として、前持家戸建世帯の住み替え行動モデルの一部を表1～3に示す。

表一2 住み替え選択レベルのモデル推定結果
(前持家戸建→持戸の住替え)

No.	要 因	選 択 肢		パラメータ	t 値
		無 ²⁾	住み替え ¹⁾		
1	合 成 変 数		X	0.856E+00	7.54
2	前住地通勤時間(分)	T		-0.155E-01	-3.10
3	前住地居住不満足度(m ²) ^{*1)}	W ₂		-0.505E-01	-8.06
4	給与住宅ダミー	D _K		^{*2)} —	—
5	自営業ダミー		D _J	^{*2)} —	—
6	世帯主35才未満ダミー		D ₃₄	0.113E+01	2.10
7	世帯主35～44才未満ダミー		D ₃₅₄₄	0.368E+00	1.00
8	選択肢固有ダミー		1	0.435E+01	6.17

*1) 前住地居住不満足度(m²)

=世帯標準面積-前住地居住面積

*2) このケースでは変数No.4,5は採用されていない。

表一3 住宅タイプ選択レベルのモデル推定結果

(前持家戸建の住宅タイプ選択)

No.	要 因	選択肢(住宅タイプ)			パラメータ	t 値
		借家 3	特集 2	持戸 1		
1	合 成 変 数	X _{J73}	X _{J72}	X _{J71}	0.563E+00	6.58
2	年収(万円)			I	0.140E-02	1.91
3	〃		I		0.285E-02	2.96
4	世帯主年齢(歳)		A		-0.205E-01	-1.08
5	〃	A			-0.137E-01	-1.16
6	従業地リングA ^{*2)}	D _A			^{*1)} —	—
7	〃 B	D _B			^{*1)} —	—
8	〃 C			D _C	0.962E+00	3.67
9	〃 D			D _D	0.108E+01	2.83
10	選択肢固有ダミー			1	-0.203E+01	-2.41
11	〃	1			0.176E+01	2.97

*1) このケースでは変数No.6,7は採用されていない。

*2) リングAはB₁～B₄、リングBはB₅～B₉、リングCはB₁₀～B₁₄、リングDはB₁₅～B₁₉。

表一1 立地選択レベルのモデル推定結果
(前持家戸建→持戸の立地選択)

No.	要 因	パラメータ	t 値
1	前住地からの距離(km)	-0.104E+00	-12.88
2	通勤時間(分)	-0.319E-01	-5.06
3	居住面積条件 ^{*1)} (m ²)	-0.359E-02	-0.18
4	従業地と同方向ダミー ^{*2)} D ₁	0.106E+01	3.67
5	地価/収入(千円/㎡/万円)	-0.275E+01	-2.51
6	従業地と一致ダミーD ₂	0.254E+00	0.79
7	選択ブロック固有変数 1	-0.201E+02	-0.00
8	〃 2	-0.213E+01	-2.12
9	〃 3	-0.261E+01	-3.06
10	〃 4	-0.316E+01	-3.53
11	〃 5	-0.342E+01	-3.78
12	〃 6	-0.468E+01	-6.11
13	〃 7	-0.128E+01	-2.01
14	〃 8	-0.112E+01	-1.62
15	〃 9	-0.235E+01	-3.56
16	〃 10	-0.290E+01	-4.55
17	〃 11	-0.200E+01	-3.81
18	〃 12	-0.219E+01	-2.77
19	〃 13	-0.288E+01	-3.08
20	〃 14	-0.383E+01	-4.70
21	〃 15	-0.173E+01	-1.36

*1) 居住面積条件(m²)
| (ブロック別住宅タイプ別平均居住面積) - (世帯標準面積) |

*2) 同方向ダミーとは図-1の放射状のブロックを示す。例えばB₅、B₁₀、B₁₉が同方向である。

*3) このケースでは、t値の極端に低いNo.3,7の変数を除いて使用している。

(2) 首都圏ブロックモデルによる予測システム

a) システムの概要

予測システムは、住宅需要実態調査が5ヶ年の住宅立地移動を示していることなどより5年逐次予測システムである(図-6参照)。

産業立地(従業人口)予測に関しては、本モデルのケーススタディでは取り扱わず、外生値として各期ごとに与えるものとしている。また、住宅の供給量に係わる内容に関しては、各ブロックが十分に大きく、少なくともその供給容量を越えるものではないとして制約条件として加味していない。

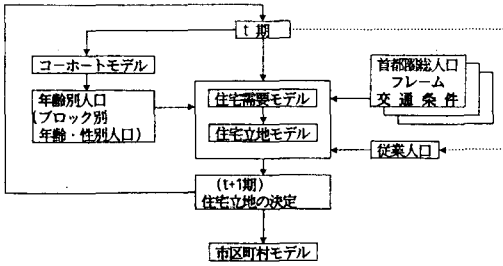


図-6 首都圏ブロックモデルの予測システム (I)

なお、住み替え行動モデルでは非集計NLモデルを用いているため、予測にあたっては集計化する必要があり、この集計化には、セグメントを更に世帯主年齢別、居住ブロック別、従業ブロック別に分けた分類法を用いている。

b) コホート要因法の導入

本システムでは、各ゾーンの各期で5才階級別性別人口を保有し、これをコホート要因法で各期ごとに予測する。また、システム全体で世帯と人口ベースのデータを各モデルと計算フローの中で相互に移動させている。また、これらの要素を加味するこ

とは以下の背景による。

①経年的な実際の世帯、人口の推計にあたっては出生、死亡といった人口動学上の要因を加味して推計の方が精度上好ましい。

②住宅需要、立地選択行動において世帯主年齢は重要な要因である。

③首都圏への転出、転入や新規独立世帯の状況は年齢により大きく異っている。

c) その他のサブモデル

5才階級別人口を組み込んでいることにより、以下の様なサブモデルを設定している(図-7参照)。

①「世帯独立モデル」として、住宅需要実態調査と国勢調査より年齢別性別新規独立世帯率を求め、これに各ブロック別の年齢別人口を掛け合わせてブロック別新規独立世帯数を求める。

②「転出口人口モデル」として、国勢調査より、各ブロック別性別年齢別転出率を求めている。

③「転入世帯モデル」として、住宅需要実態調査と国勢調査より転入人口に関し、人口から世帯への世帯変換率を求め、また、転入世帯の従業地設定に関しては、住宅需要実態調査の転入世帯従業地分布比率を用いている。

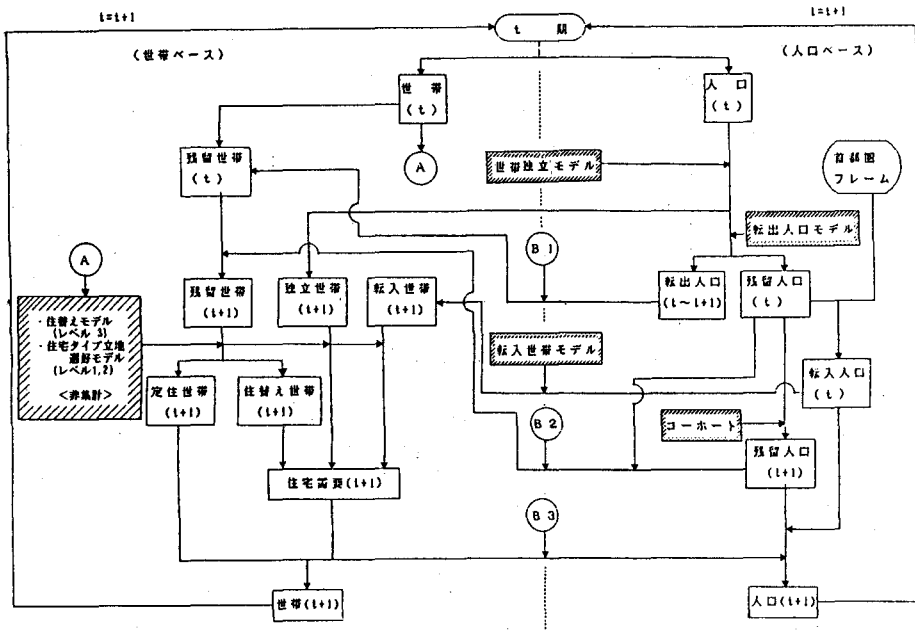


図-7 首都圏ブロックモデルの予測システム (II)

④世帯と年齢構成の相互移動に関しては、住宅需要実態調査と国勢調査より、ブロック別性別年齢別転出世帯主比率 (B_1)、残留世帯主比率 (B_2)、更に、世帯より人口への変換は、世帯主年齢構成別の家族年齢構成 (B_3) を設定し移転世帯のみにについて取り扱っている。そして首都圏全体の年齢構成でコントロールしている。

(3) 予測システムの検証

首都圏ブロックモデルによる人口予測システムの検証を行ったがその結果の概要を示す。

①昭和53年住宅需要実態調査を用いてNLモデルのブロック別再現性の検討を行った結果の一部を表-4に示す。

この結果、16ブロックでの推計値と昭和53年住宅需要実態調査実績値の相関係数、誤差率は良好な内容となっており、モデルの信頼性が証明された。

②予測システム全体の検証として、昭和55年より昭和60年を予測し、国勢調査の昭和60年実績値との比較の一部を図-8に示す。

表-4 再現性の検定結果：予測値と実績値の比較
(s53年値の住宅タイプ別世帯数予測)

	相 関 関 係	単 純 平 均 誤 差 (%)	加 重 平 均 誤 差 (%)
持 家 戸 建	0.998	12.6	14.8
持 家 集 合	0.988	16.4	29.6
借 家	0.996	14.0	17.6
合 計	0.988	14.3	21.5

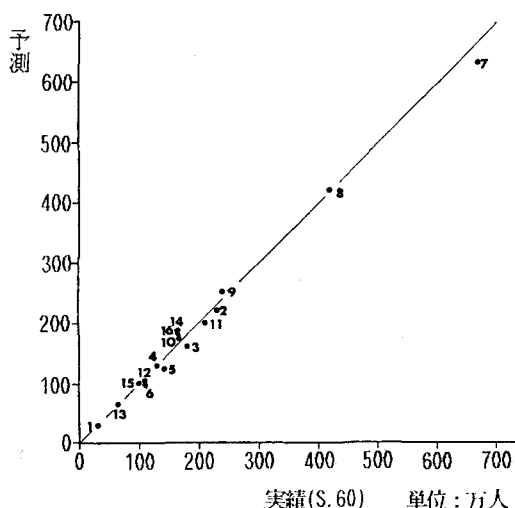


図-8 再現性の検証結果：

昭和60年での予測、実績比較

この昭和60年での予測値と実績値の回帰式の相関係数は0.988, 単純平均誤差が 5.6%, 加重平均誤差が 6.4%となり、この段階でのシステムの信頼性も証明された。

4. 市区町村モデル

(1) 市区町村単位の住み替え行動モデル

首都圏ブロックモデルにより、各期ごとの住宅タイプ別の世帯移動状況(従業地別の前住地・現住地分布)が算出され、これを受けた市区町村単位の住み替え行動を予測するモデルを考える。

住宅需要実態調査の集計拡大後の結果を用い、市区町村単位の前住宅タイプ別住み替え確率 (m_i^k)、現住宅タイプ別従業地別住宅立地確率 (n_{ij}^k) を次式で表現する。

この際、住宅立地選択は首都圏ブロックモデルの分析でも判る様に、従業地の位置との関係が強いということから、従業地の要素を加味したモデルとしている。

$$m_i^k = \frac{\Delta TO_i^k}{T_i^k} \quad (= f_1(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})) \quad (1)$$

$$n_{ij}^k = \frac{\Delta TI_{ij}^k}{S_i} \quad (= f_2(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})) \quad (2)$$

ΔTO_i^k :ゾーンi の前k タイプ住宅の住み替え世帯

ΔTI_{ij}^k :従業地j の現k タイプ住宅のゾーンi への立地世帯

T_i^k :ゾーンi の前k タイプ住宅の総世帯数

S_i :ゾーンi の可住地面積

そして、この住み替え確率、住宅立地確率をゾーンの特性を示す変数 (x_{in}) を用いて説明する。この変数として、ゾーンの人口密度、都心距離、地価、アクセシビリティ、昼夜率を取り上げた。

なお、これらの変数は、臨海部の業務中心地区や住宅高密度市区、また、郊外部の住宅中心市区や自立型市区など、これらの種々の地域特性を想定し、これを表現する指標として取り上げている。

また、業務地への接近性、利便性に関しては、東京駅までの距離という指標だけでなく、副都心、自立型都市的な意味あいから、別途鉄道による従業地までのアクセシビリティの指標を考えた。

(2) ケーススタディとモデルの分析結果

本研究では、研究目的の一つとして、田園都市線の輸送計画検討という背景も有していたため、首都圏ブロックの1つである神奈川県東部ブロック（B₁₀）の34市区町村をモデルケースとして取り上げ、モデルの分析を行う。その際、従業地とデータ数の関係より、従業地区分を立地と同一地区となるB₁₀ブロックとそれ以外の地区の2種類に分類している。

重回帰式によるモデル分析の結果、式は線型式で示され、説明変数で一部t値の低いものもあるが、全体の予測に与える影響も小さく、符号条件も満たしていることから、これらを含めてモデルを構成している。

なお、これらのモデル検定とモデル式の一部を以下に示す。

表-5 住宅立地確率モデルの重相関係数

	従業地	従業地がB ₁₀	従業地がB ₁₀ 以外
現住宅タイプ	ブロック	ブロック以外	
持家一戸建立地確率モデル	R=0.73	R=0.91	
持家集合立地確率モデル	R=0.99	R=0.98	
借家立地確率モデル	R=0.98	R=0.91	

*)持戸建(B₁₀)ではx₁, x₂, x₄, 持戸建(B₁₀以外)ではx₁, x₂, x₃, 持家集合(B₁₀),(B₁₀以外)ではx₁, x₂, x₄が変数として取り上げられた(表-7参照)。

表-6 住み替え確率モデルの重相関係数

前住宅タイプ	重相関係数
持家一戸建住み替え確率モデル	R=0.67
持家集合住み替え確率モデル	R=0.67
借家住み替え確率モデル	R=0.82

*)持戸建ではx₁, x₂, x₄, 持集合ではx₁, x₂, x₃が変数として取り上げられた(表-8参照)。

表-7 現借家の立地確率モデル

説明変数		従業員がB ₁₀ ブロック		従業員がB ₁₀ ブロック外	
		パラメーター	t値	パラメーター	t値
x ₁	人口密度	0.677E-03	3.001	0.142E-03	0.321
x ₂	アクセシビリティ	0.686E-06	4.281	0.463E-06	1.199
x ₃	都心距離	—	—	—	—
x ₄	地価	-0.108E-02	2.908	0.141E-02	2.075
x ₅	昼夜率	—	—	—	—
c	定数	-0.436E-01	1.470	-0.164E+00	2.787

x₁ : 人口密度 (人/ha) : (t-1期人口)/可住地面積

x₂ : アクセシビリティ (人/分) : $\sum (E_j / T_{ij})$ E_j:ゾーンjの就業人口 T_{ij}:ゾーンi,jの鉄道所要時間

x₃ : 都心:東京駅までの鉄道所要時間(分)

x₄ : 地価 (千円/㎡):昭和60年公示地価

x₅ : 昼夜率:従業人口/夜間人口

表-8 前借家住み替え確率モデル

説明変数	パラメーター	t値
x ₁ 人口密度	—	—
x ₂ アクセシビリティ	-0.839E-06	1.756
x ₃ 都心距離	0.404E-02	1.366
x ₄ 地価	0.154E-02	4.549
x ₅ 昼夜率	—	—
c 定数	0.338E+00	1.646

(3) 市区町村人口予測システム

首都圏ブロックモデルの結果を用いて、市区町村の人口、世帯数予測を行うシステムは図-9のようになる。

ここで、対象ブロックの変化量をゾーンに配分するゾーン別住宅タイプ別住み替え世帯配分率(P^k)、ゾーン別住宅タイプ別従業地別立地世帯配分率(q^k_{ij})は、住み替え確率モデル、立地確率モデルを用いて以下の様に表現される。

$$P_i^k = m_i^k \cdot T_i^k / \sum m_i^k \cdot T_i^k \quad (3)$$

$$q_{ij}^k = m_{ij}^k \cdot S_i / \sum m_{ij}^k \cdot S_i \quad (4)$$

なお、ここでいう可能容量検討は、各ゾーンの土地利用(用途)から判断した張り付き可能容量を制限式として用いている。

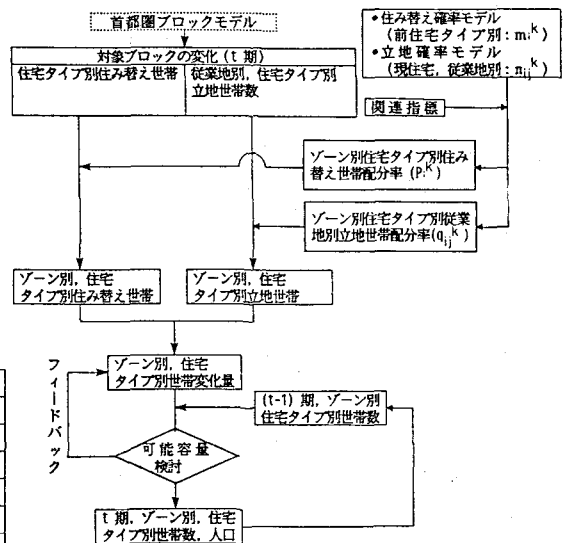


図-9 市区町村人口予測システムフロー

(4) 予測システムの検証

市区町村人口予測システムの検証として、B₁₀ブロックに対し、昭和55年より昭和60年を予測し、昭和60年における国勢調査の実績値との比較(図-10

参照)及び5年間の人口変動分の実績値との比較を行っている。その結果、予測値と実績値の回帰式による相関係数はそれぞれ0.92, 0.82, 単純平均誤差16.9%, 43.1%となり、モデル精度の高さが示された。

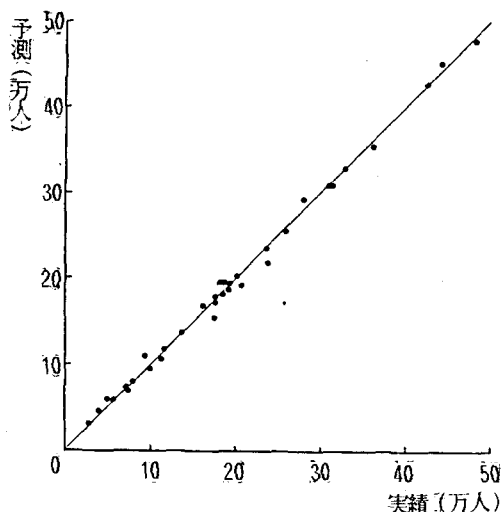


図-10 再現性検証結果：市区町村別の人口の予測と実績

5. おわりに

本研究は、鉄道計画等の評価に用いることを意図して、空間レベルを3段階構成とした準動学的人口予測モデルシステムを構築した。そのうち、新たに開発した住み替え行動を組み入れた第1, 第2段階の人口予測モデルについて報告した。

なお、今回はふれられなかった第3段階の地域モデルにおいても検証の結果、実用化できる内容を得、更に、人口予測システム全体での将来人口予測結果においても、他の予測手法結果との比較などから妥当な結果が得られた。

第1, 第2段階の首都圏ブロックモデル、市区町村モデルに関しては、人口予測の実証的分析という面から、次の様な点で意義があると考えられる。

①NLモデルによる立地選択をも重視した住宅タイプ需要・立地モデルを構築し、首都圏16ブロックでも住宅タイプ需要・立地動向が分析できるようになった。

②首都圏ブロックモデルでは5段階別人口とコーホート要因法を用い、これを、住み替え、世帯独立、転出入世帯モデルの入力として用いることによ

りモデルの論理性を高めた開発ができた。

③市区町村モデルでは、首都圏ブロックモデルで求めた住宅タイプ別世帯移動の考え方を受け継ぎ、市区町村単位での住み替えモデルが構築できた。

④これらのモデルが準動学的予測システムの中で検証され、実用化に向けての前進が図られた。

しかし、本研究の予測システムは、①住み替え行動を中心とした予測システムとなっており、そのため従業人口は外生値で与えていること、②住宅の需給バランスについては首都圏モデルでは考慮しておらず、市区町村モデルで可住地面積制約でしか与えていないこと、③更に、市区町村モデルでは一部地域(神奈川東部)のみをケーススタディとしてモデル構築していること、等の制約を有している。

従って、従業人口モデルのシステム挿入、供給サイドの要因の挿入、市区町村モデルの首都圏全体への適用など、今後の検討課題が残されている。更に、近年の地価高騰は過去の行動パターンを越えるものであり、これらの新しいデータによるモデル改良、分析等も望まれるところである。

おわりに、本研究を進めていくに当り、手法等で多くの御指導をいただいた東工大の森地教授、東大の原田助手、また、計算等で手助けしていただいたパソコンの竹田氏、東急電鉄調査課の方々に深く謝意を表します。

参考文献

- 1)中村、林、宮本：広域都市圏土地利用交通分析システム、土木学会論文報告集、1983
- 2)宮本、中村、増田他：非集計行動モデルに基づく土地利用モデルの構成—特に工業立地モデルを中心として、土木計画学研究講演集、1985
- 3)建設省土木研究所：広域圏土地利用モデルの開発(中間報告)、S59年3月、土研資料第2116号
- 4)柴崎、芝原、久米：居住地選択モデル、土木計画学シンポジウム—都市の土地利用モデル—、No.18, '84
- 5)芝原、青山他：人口の社会活動を考慮した地域政策シュミレーションモデル、土木計画学研究論文集、1986
- 6)宮本、安藤、清水：非集計行動分析に基づく都市圏住宅需要モデル、土木学会論文集、1986
- 7)天野、戸田、西村：大阪都市圏における人口移動と住宅需要実態に関する実証的研究、土木計画学研究講演集、1986