居住地移動推移行列の特性変化把握手法に関する考察

A CONSIDERATION ON ANALYZING METHOD OF RELOCATION TRANSITION MATRIX CHANGE

石坂 公一*

Koichi ISHIZAKA

The purpose of this paper is to develop an analyzing method of relocation transition matrix change, and to confirm the effectiveness of that method through application to actual data.

1. Transition matrix change can be broken roughly to 3 factors. Those are (1) Eigenvalue change, (2) Eigenvector change, (3) the Compound effect of Eigenvalue and Eigenvector change.
2. In the case of relocation transition matrix change, these factors are interpreted as (1) Change of influence in the regional relocation sphere, (2) Change of the regional relocation sphere structure.
3. We applied this method to time series change of the relocation transition matrix in Tokyo metropolitan area, and confirmed the effectiveness of this method.

Keywords : *Transition matrix, Analyzing method, Matrix change, Relocation, Eigenvalue, Eigenvector*
推移行列、分析手法、行列変化、居住地移動、固有値、固有ベクトル

1. はじめに

近年、首都圏ではバブル崩壊以降の地価の下落を背景として住宅需要の「都心回帰」傾向が指摘されてきた。最近では都心部の人口は回復に転じており、都心部の人口回復過程をミクロな地域レベルで詳細に分析した研究¹⁾も行われている。しかし、首都圏全域を対象とした広域レベルでの世帯の居住地移動の構造がバブル以前と以後でどのように変化したのかという点についての検討は未だ十分ではないと考えられる。また、居住地移動構造の変化の分析にあたっては、移動構造の特性と地価等の社会・経済的要因との関連性の分析が重要であるが、そのためにはまず移動構造の特性を的確に把握することが必要である。一般に居住地移動データは地域間の移動世帯数という行列の形で得られるので、そのままでは広域における移動構造の特性やその変化を把握することはそれほど容易ではない。そこで本研究では、首都圏広域における世帯の居住地移動構造の時系列的な変化を社会・経済的要因と関連づけて分析するための基礎として、居住地移動データから作成される推移行列（以下、居住地移動推移行列という）の特性の変化を把握する手法を定式化するとともに、これを用いて地価バブルの影響を比較的強く受けたと思われる「新規持家入居世帯」を対象にバブル以前と以後における居住地移動構造の特性の変化を見ていくことにしたい。

本研究で定式化した手法は、簡単に言えば、居住地移動推移行列の特性を固有値と固有ベクトルを通して把握しようとするものである。このような手法を採用したのは、後述するように、①固有値と固有ベクトルは居住地移動推移行列が持つ特性の指標として解釈できること、②推移行列を固有値と固有ベクトルを用いて表現することで、推移行列の特性の変化を固有値と固有ベクトルという独立したパラメータごとの変化分に分解して把握することが可能となることの2点に着目したためである。

2. 居住地移動推移行列の特性指標としての固有値と固有ベクトル

本章では、居住地移動推移行列の固有値と固有ベクトルが当該推移行列の特性を把握するための指標として解釈できることについて述べる。分析対象となる都市圏を n 個の地域に分割し、居住地移動推移行列 P の要素 p_{ij} を地域 j に居住していた世帯の地域 i への移動確率（ j 地域居住世帯の i 地域選択確率）と定義すると、 P は縦ベクトルに左から作用する推移行列となり、 $p_{ij} \geq 0$ [$i, j=1 \sim n$]、 $\sum_i p_{ij} = 1$ [$j=1 \sim n$] となる。また、地域 $j \rightarrow i$ への移動世帯数を m_{ij} とすると、 p_{ij} はデータから $p_{ij} = m_{ij} / \sum_i m_{ij}$ として求められる。ここで、① P の要素はすべて正である。② P の固有値はすべて異なる。③ P は実数の範囲で対角化可能である。

* 東北大学大学院工学研究科都市建築学専攻 助教授・工博

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Univ. of Tohoku, Dr. Eng.

ことを仮定し、 P の固有値を $1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ 、対応する固有ベクトルを $u_1, \dots, u_n$ とすると以下が成り立つ。(ただし、 u_1 以外の固有ベクトルはノルムが1となるように基準化して考える。)

- ① u_1 は各成分が正で列和が1であるようにとれる。
- ② $\lambda_2, \dots, \lambda_n$ の絶対値は1より小さい。
- ③ $u_2, \dots, u_n$ の列和は0である。
- ④ $u_1, \dots, u_n$ は一次独立である

固有ベクトルを並べた行列を $U = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ とすると U は n 次元空間のひとつの基底を与える。また、 U の逆行列を $V = U^{-1} = \{\ell_{ji}\}$ とすると、 V の第1行は各列とも1になる。また、 P は VPU によって固有値からなる対角行列 Λ に変換される。すなわち $VPU = \Lambda, P = U\Lambda V$ であり、 P の特性を表現するパラメータは Λ と U の要素として表現される。一方、自然基底 $e_i = (0, 0, \dots, 1, \dots, 0)^T$ [T は転置をあらわす] は基底 U によって $e_i = u_{1i} + \ell_{2i}u_2 + \dots + \ell_{ni}u_n$ とあらわされる。 e_i は P による変換を受けると、 $Pe_i = u_{1i} + \lambda_2 \ell_{2i}u_2 + \dots + \lambda_n \ell_{ni}u_n$ となり、地域 i に居住していたという状態は確率的に他の地域へも居住するという状態に変化することになる。ここで、 u_1 は列和が1であり、各 e_i に共通して含まれ、 P による変換に対して不変であることから、各地域に共通する基本的な地域選択確率をあらわすものと解釈できる。また、 $u_2 \sim u_n$ は列和が0であることから、移動行動の面では地域間の相互流動の状況に対応しており、 u_j [$j=2 \sim n$] は、移動行動から見た場合のひとつの流動圏域の構造をあらわしていると解釈できる。このもとで、 $e_i = u_{1i} + \ell_{2i}u_2 + \dots + \ell_{ni}u_n$ の意味を考えると、当初の地域 i 居住世帯は各地域に共通した基本的な地域選択確率をベースとして、各流動圏域から ℓ_{ji} の影響を受け、それらの影響がバランスした結果として地域 i に居住していたと考えることができる。すなわち、 ℓ_{ji} は地域 i 居住世帯が地域 i にとどまる場合を基準とした流動圏域 j の地域 i 居住世帯への影響力をあらわしており、その符号は影響力の方向、絶対値は影響力の大きさをあらわすと解釈できる。ところで、地域 i 居住世帯の移動行動の結果、 e_i は $e_i \rightarrow Pe_i$ に変化する。この変化は u_j [$j=2 \sim n$] の係数が $\ell_{ji} \rightarrow \lambda_j \ell_{ji}$ となることによるものであるから、 $e_i \rightarrow Pe_i$ の変化は地域 i 居住世帯に対する流動圏域 j の影響力が ℓ_{ji} から $\lambda_j \ell_{ji}$ に変わった結果として起こったと考えられる。すなわち、流動圏域 j の影響力が ℓ_{ji} から $\lambda_j \ell_{ji}$ に変わったことで e_i という状態のバランスがくずれ、地域間移動が発生し、 Pe_i という新たな状態に変化したと考えることができる。一方、 $e_i - Pe_i = (1 - \lambda_2) \ell_{2i}u_2 + \dots + (1 - \lambda_n) \ell_{ni}u_n$ となるので、 $1 - \lambda_j$ は流動圏域 j の影響力の変動率をあらわしていると考えられ、 $(1 - \lambda_j) \ell_{ji}$ の絶対値が大きいほど、流動圏域 j に関する影響力の変動は大きく、 j の構造に沿った地域間移動は活発になることになる。

以上が、 u_j [$j=2 \sim n$] が移動行動の面での地域間の相互流動の状況をあらわしていると考えた場合の ℓ_{ji}, λ_j の解釈であるが、 u_j を移動した世帯の意識という面から解釈することも可能である。すなわち、世帯は居住地選択に際して、意識中に地域間のトレードオフ関係に関する構造を持っており、複数のトレードオフ関係を総合的に評価した結果として、居住地の選択を行っていると考えことにすると、 u_j は世帯の居住地選択における j 番目のトレードオフ

関係の構造を示していると解釈できる。この立場からは、 $e_i = u_{1i} + \ell_{2i}u_2 + \dots + \ell_{ni}u_n$ は地域 i 居住世帯が各地域に共通した基本的な地域選択確率をベースとして u_j で示される地域間トレードオフ関係 j に地域 i 居住者に特有の重み ℓ_{ji} をつけて評価した結果として居住地選択確率を決定しており、 ℓ_{ji} は世帯が地域 i にとどまる場合を基準としたトレードオフ関係 j の重視度をあらわしていると考えられる。また、 $e_i \rightarrow Pe_i$ の変化は地域 i 居住世帯の地域間トレードオフ関係の重視度が $\ell_{ji} \rightarrow \lambda_j \ell_{ji}$ に変わったことでもたらされたと見ることができるので、 $1 - \lambda_j$ は j 番目のトレードオフ関係の重視度の変動率と解釈できる。

まとめると、居住地移動推移行列 P の固有値、固有ベクトルおよび固有ベクトルを並べた行列の逆行列の要素は、

- ① u_1 : 各地域に共通する基本的な地域選択確率
- ② u_j [$j=2 \sim n$] : (行動面) 流動圏域の構造
(意識面) 地域間のトレードオフ関係
- ③ ℓ_{ji} : (行動面) 地域 i 居住者に対する流動圏域 j の影響力
[$j=2 \sim n$]
[$i=1 \sim n$] (意識面) 地域 i 居住者の地域間トレードオフ関係 j の重視度
- ④ $1 - \lambda_j$ [$j=2 \sim n$] : (行動面) 流動圏域 j の影響力の変動率
(意識面) 地域間トレードオフ関係 j の重視度の変動率

と考えることができ、居住地移動推移行列 P の特性は、 P の固有値と固有ベクトルを用いてあらわすことができる。

3. 居住地移動推移行列の要因分解

本章では、2つの居住地移動推移行列 P と $P + \Delta P$ の差 ΔP を前章で整理した要因別に分解して把握することを考える。前述したように、居住地移動推移行列の特性は固有値と固有ベクトルを用いてあらわすことができるので、 ΔP を「固有値の差による部分」「固有ベクトルの差による部分」「両者の複合部分」に分解することで、 P と $P + \Delta P$ の特性の差を要因別に分解することができる。前章と同様、① $P, P + \Delta P$ の要素はすべて正である。② $P, P + \Delta P$ の固有値はすべて異なる。③ $P, P + \Delta P$ は実数の範囲で対角化可能である。ことを仮定し、 $P + \Delta P$ の固有値からなる行列を $\Lambda + \Delta \Lambda$ 、固有ベクトルからなる行列を $U + \Delta U$ 、 $U + \Delta U$ の逆行列を $V + \Delta V$ とすると、
 $P + \Delta P = (U + \Delta U)(\Lambda + \Delta \Lambda)(V + \Delta V)$ であり、
 $\Delta P = U \Delta \Lambda V$: 固有値変化の一次分
 $+ \Delta U \Lambda V + U \Delta \Lambda V$: 固有ベクトル変化の一次分
 $+ \Delta U \Delta \Lambda V + U \Delta \Lambda \Delta V$: 固有値と固有ベクトル変化の複合効果
 $+ \Delta U \Lambda \Delta V$: 固有ベクトル変化の二次分
 $+ \Delta U \Delta \Lambda \Delta V$: 固有値と固有ベクトル変化の二次複合効果

となる。詳細は付録で記述しているが、 ΔV は固有ベクトル変化の直接効果分と複合効果分に分解することが可能であるので、推移行列の差 ΔP は、大きくは「固有値であらわされる流動圏域（もしくは地域間トレードオフ関係）の変動率の差の直接効果分」「固有ベクトルであらわされる基本的な地域選択確率および流動圏域（もしくは地域間トレードオフ関係）の構造の差の直接効果分」「その他

の複合効果分」の3つに分解して把握することができる。前2者はさらに固有値ごと、固有ベクトルごとに細分することができる。

4. 「新規持家取得世帯」の居住地移動特性の時系列変化

本章では、前章までに定式化した方法を用いて首都圏で「新規に持家に入居した世帯（持家以外から持家に入居した世帯）」を対象として、バブル期をさむ期間における居住地移動推移行列の特性の時系列的な変化を分析することにする。対象地域は首都50km圏であり、地域区分は「10km圏」「20km圏」「30km圏」「40km圏」「50km圏」の5つ、入居時期は「1984～1988年（バブル前期）」「1989～1991年（バブル盛期）」「1992～1993年（バブル後期）」「1994～1996年（バブル後Ⅰ期）」「1997～1998年（バブル後Ⅱ期）」の5時点である²⁾。分析にあたっては基準となる推移行列 P を設定する必要があるが、ここでは期間を通じての平均的な像を基準行列として用いることを意図して、各期の推移行列の「相乗平均」を基準行列 P とした。具体的には、各期のデータから得られる推移行列 $P_1 \sim P_5$ から $Q = P_1 P_2 P_3 P_4 P_5$ を計算し、 Q の固有値行列 Λ と固有ベクトル行列 U を求めた後、 Λ の要素を $1/5$ 乗し、 $U \Lambda^{1/5} U^{-1}$ によって P を求めた。したがって、基準となる行列の固有値行列は $\Lambda^{1/5}$ 、固有ベクトルは U 、固有ベクトルの逆行列は $V = U^{-1}$ である。なお以下では、固有値については一次の直接効果そのもの、固有ベクトルについては一次と二次の直接効果を合計したものをそれぞれ、固有値変化の直接効果、固有ベクトル変化の直接効果ということにし、その他の複合効果をすべて合計したものを交差効果と呼ぶことにする。また、交差効果はまとめて1つの要因と考えることにする。

4-1. 居住地移動推移行列の変化

基準となる推移行列 P と $\Delta P_i (=P_i - P) \sim \Delta P_5 (=P_5 - P)$ を図1に示す。なお図中の破線の円は負の値をあらわしている。図より居住地

移動は基本的には同一圏域内での移動が多く、30km圏以遠ではこの傾向が顕著であることがわかる。また、時系列的な変化を見ると、バブル前期には10km圏からの移動で平均に比べて圏内移動の割合が少なく、10km→20km圏の割合が多い等、10km、20km圏からの移動でやや遠隔化の傾向が見られるが、30km圏以遠からの移動では平均との差はほとんどなく、20km圏以内からの移動以外では移動先の遠隔化はそれほど進展していない。しかし、バブル盛期になると20km～40km圏でも圏内移動の割合は少なくなるとともに遠隔化の傾向が強くなる。バブル後期でもこの傾向には基本的に変化はないが、遠隔化はやや緩和する兆しが見られ、バブル後Ⅰ期になると10～40km圏では20km圏を中心として圏内移動の割合が多くなるとともに遠隔化の割合は平均よりもやや少なくなる。バブル後Ⅱ期になると同一圏内移動の割合はさらに多くなり、特に10km圏からの移動でこの傾向が顕著となるとともにより遠い距離帯への移動割合は大幅に減少する。これから、新規持家入居世帯の居住地移動行動は、バブルの発生につれてまず都心地域から相対的な遠隔化が始まり、この傾向が次第に郊外部に波及していき、バブルの終焉とともに同一圏内率の上昇という形で遠隔化傾向がおさまるといえる。

4-2. 推移行列の固有値、固有ベクトルの変化

図2に $P_1 \sim P_5$ の固有ベクトルを付録で述べる方法によって P の固有ベクトルに対応づけた結果を示す。なお、比較を容易にするため各固有ベクトルは成分の絶対値の和が1となるように調整して表示してある。また、図3には各距離帯における固有ベクトル行列の逆行列の要素（恒等的に1となる固有ベクトルⅠに対応する要素は除く）の時系列変化の状況を示す。以下では、各固有値、固有ベクトルを基準となる推移行列における固有値の大きい順に固有値Ⅰ～Ⅴ、ベクトルⅠ～Ⅴと呼ぶことにする。

(1) ベクトルⅠの時系列変化

前述したように、ベクトルⅠは各時点における基本的な地域選択確率をあらわしている。時系列的な変化を見ると、バブル前期からバブル盛期にかけては30km圏以内の割合が低下し、40km圏以遠（特に50km圏）が増加したが、バブル後期以降は30km圏内の割合が増加に転じるとともに50km圏は継続して減少している。また、バブル後Ⅱ期では20km圏以内（特に10km圏）の割合の増加が目立っている。

これから新規持家入居世帯の基本的な地域選択確率はバブル期には大幅に郊外化した、バブル後はバブル前の水準以上に都心型となり、中でも10km圏は移動先地域としての比重を増加させたと言える。

(2) ベクトルⅡの時系列変化

ベクトルⅡは成分の状況から基本的には、行動面では50km圏を中心とした遠郊部とその他の地域との間の相互流動をあらわす軸であり、意識面では遠郊部とその他の地域との間のトレードオフ関係をあらわす軸であると解釈できる。また、成分の符号が反転する点が各時点における行動上、意識上の遠郊地域の境界に対応していると考えられる。時系列的な変化を見ると、バブル前期～後期にかけては50km圏のみが遠郊地域であり、その他地域における40km圏の比重が継続的に増大するとともに20km圏以内の比重の低下が見られ、流動圏域の範囲の遠隔化が進行したが、バブル後はその他地域における30km圏以内の比重が増加し、バブル後Ⅱ期では40km圏の符号が負に転ずる等、ベクトルⅡで示される流動圏域はバブル前期以上に都心よりに移動してきたと言える。また、ベクトルⅡの影響力は30km圏以内ではバブル前期～後期にかけて増加した後、減少に転じており、バブル後は50km圏を中心とする遠郊部とその他の地域との間の流動圏域の影響は30km圏内の地域に関してはしだいに弱まってきたと言える。

(3) ベクトルⅢの時系列変化

ベクトルⅢは成分の状況から、行動面では遠郊部のひとつ内側の地域を中心とした流動圏域をあらわす軸であり、意識面では当該地域と遠郊部およびより内側の地域との間のトレードオフ関係を示していると考えられる。成分の時系列的な変化を見ると、バブル前期～バブル後Ⅰ期までの間は符号が負となるのは40km圏のみであり、正の符号を持つ地域内での20km圏内の比重の低下と50km圏の比重の増加が進行したが、バブル後Ⅱ期になると30km圏の符号が負に転じるとともに正の符号地域内での20km圏内の比重の増加が見られる。このことから、バブル前期～バブル後Ⅰ期までは遠郊部のひとつ内側の地域は40km圏であり、主として50km圏との間で流動圏域を構成していたが、バブル後Ⅱ期になると30km圏もこの流動圏域に含まれるようになり、20km圏内との流動の比重も増加してきたと言える。これは、ベクトルⅡの場合に見られた50km圏を中心とした流動圏域の範囲がバブル後Ⅱ期には都心よりに移動したと符合しており、ベクトルⅢで示される遠郊部のひとつ内側の地域を中心とする流動圏域もまた都心よりに移動したと言える。このことは、ベクトルⅢの影響力が20km圏内ではベクトルⅡの場合と同様にバブル後期をピークとして減少する傾向にあること、およびバブル後Ⅱ期になると30km圏に対する影響力の符号が反転していることによっても示されている。

(4) ベクトルⅣの時系列変化

ベクトルⅣはベクトルⅢであらわされる流動圏域よりもさらにひとつ内側の30km圏を中心とした流動圏域をあらわす軸であると考えられる。時系列的な変化を見ると、流動圏域の構造は、バブル前期～盛期の間は主として20km圏と30km圏との間の流動が中心であったが、バブル後期には40km圏の比重が増加した後、バブル後Ⅰ期にはまた以前の状態に戻り、バブル後Ⅱ期になるともっぱら30km圏と40km圏との間の相互流動をあらわすものへと変化している。30km圏を中心とした流動圏域の範囲は、バブル期の遠隔化とバブル後Ⅰ期の

20km圏側への回帰を経て、バブル後Ⅱ期には30km圏と40km圏相互間というより狭いものへと性格を変化させてきたと言える。意識面から見れば、30km圏はバブル前期～盛期までは主として20km圏とのトレードオフ関係の中でとらえられてきたが、バブル後期になると40km圏との対比でとらえられる傾向が強くなり、バブル後Ⅰ期にはまた以前の状態に戻り、バブル後Ⅱ期になると20km圏ではなく、40km圏との対比地域としての性格が明確になったと言える。また、影響力の時系列変化を見ると、10km圏ではベクトルⅡ、Ⅲと同様の傾向を示すが、20～40km圏ではバブル後Ⅱ期には20km圏への影響力がほとんどなくなり、代わって30km圏、40km圏で影響力が増加するという上述した性格の変化を反映した動きが見られる。

(5) ベクトルⅤの時系列変化

ベクトルⅤは、成分の状況から主として20km圏を中心とした流動圏域をあらわす軸であると考えられる。時系列的な変化を見ると、バブル前期～盛期にかけては10km圏と20km圏の間の流動が支配的であったが、バブル後期になると30km圏の比重が増加し、バブル後Ⅰ期にはやや戻した後、バブル後Ⅱ期にはまた30km圏の比重が増加するように変化している。バブル前期～バブル後Ⅰ期までの変化は、ベクトルⅣの場合と同様に流動圏域の郊外よりへの移動と都心よりへの回帰に対応しており、バブル後Ⅱ期における30km圏成分の増加は、20km圏を中心とする流動圏域がそれまでの10km圏との間の流動を中心としたものから30km圏をも含むものへと変化したことの反映と考えられる。このことは影響力の変化にもあらわれており、バブル後Ⅱ期には10km圏への影響力は低下しているのに対し、20km圏、30km圏への影響力はそれほど大きくはないが増加している。これは、バブル後Ⅱ期にはベクトルⅣの性格が30km圏と40km圏の相互流動という比較的狭い流動圏域を示すものに変化したため、それまでベクトルⅣで表現されていた20km圏と30km圏との相互流動がベクトルⅤであらわされるようになったためであると考えられる。

(6) 固有値の時系列変化

ベクトルⅡ～Ⅴに対応する固有値の時系列的な変化を見ると、固有値ⅣとⅤはバブル前期～盛期にかけて低下、バブル後期以降は増加、固有値Ⅱ、Ⅲはバブル前期～後期までは微減、その後は増加という経過をたどっている。これから各流動圏域の影響力の変動率は、バブル期には地域間移動が活発になる方向に変化した後、バブル後はそれが鎮静化するという経緯をたどってきたと言える。また、固有値の変化幅は固有値ⅣとⅤの方がⅡ、Ⅲよりも大きく、バブルの影響は都心よりの地域を中心とした流動圏域の影響力の変動の変化により強くあらわれている。ただ、各ベクトルに対応する固有値の大きさの順序には変わりはなく、バブル前後で流動圏域の影響力（もしくは地域間トレードオフ関係の重視度）の変動率には構造的な変化は見られなかった。すなわち、各期とも変動率は「50km圏中心の流動圏域」→「40km圏中心の圏域」→「30km圏中心の圏域」→「20km圏中心の圏域」の順に大きくなっており、流動圏域の中心が都心部になるにつれて、その圏域の構造に沿った移動が起こりやすいという状況に基本的な変化はなかったと言える。

4-3. 居住地移動推移行列の時系列変化の要因分解

本節では、上記のような推移行列の固有値、固有ベクトルの変化が実際の推移行列の変化にどのように反映されたかについて見ていくことにする。要因分解は固有値別、ベクトル別に可能であるが、

要因を「固有値の変化分」「基本的な地域選択確率の変化分」「その他のベクトルの変化分+交差効果分」の3つに大別し、図1の場合と同様に、基準となる推移行列との差を図示したものが図4～6である。図1と図4と比べてみると、推移行列変化のおおむねの傾向は固有値の変化分で表現されており、推移行列の構造変化は、固有値の変化分のみである程度までの把握が可能であると言える。しかし、バブル前期～後期にかけての遠隔化の進展傾向等、表現が十分ではない部分もある。一方、図5は地域に共通する基本的な地域選択確率の変化の影響を見たものであり、バブル期における遠隔化の進展とバブル後の都心よりへの回帰は見やすい形で表現されているが、地域別の特性については当然のことながら表現されていない。

図6は図1のうち、図4、5で表現しきれていない主として流動圏域（もしくは地域間トレードオフ関係）の構造変化による分を示したものである。図4と図6をあわせて見るとバブル前期における10km圏から20km圏への流出割合の増加、バブル盛期の10km、20km圏からの移動における移動先の遠隔化、バブル後期の遠隔化傾向の30km圏への波及、バブル後の10km圏からの流出率の顕著な減少といった居住地移動推移行列の変化は、固有値の変化による分に流動圏域（もしくは地域間トレードオフ関係）の構造変化による分がおおむね同方向に重ね合わされた結果としてあらわれたと言える。

4-4. 流出率の要因分解

次に、各圏域から別の圏域に移動した世帯の割合（流出率）の時系列変化について、各固有値、ベクトルの変化分別に見ていくことにする。図7は各地域からの流出率の変化を各固有値、固有ベクトルの変化分別に分解して示したものであり、正の値は基準となる行列と比較した場合の流出増加、負の値は流出減少をあらわしている。図より50km圏以外の圏域では、バブル前期～後期では全体として流出増加であったものがバブル後は流出減少に転じており、特にバブル後Ⅱ期における減少幅が大きいことがわかる。地域別には10km圏における変化が最も大きい。要因別には各地域とも固有値の変化による分が支配的であり、10km圏では固有値Ⅴの、20km圏では固有値ⅤとⅣ、30km圏では固有値Ⅳ、40km圏では固有値Ⅲ、50km圏では固有値Ⅱの変化による影響が大きくなっている。すなわち、当然ではあるが、各地域とも流出率は当該地域の比重が大きい流動圏域における変動率の変化の影響を強く受ける傾向がある。

一方、固有ベクトルの変化の影響は全体としては固有値変化の影響ほど大きくはなく、交差効果による緩和が見られる場合もある。

ベクトルⅠの変化による影響は50km圏では比較的大きいものの他の地域ではそれほどではなく、基本的な地域選択確率の変化の影響は50km圏以外ではあまり大きくはなかったと言える。

ベクトルⅡの変化の影響はバブル後Ⅱ期における10km圏と20km、30km圏、バブル盛期～後期における50km圏で比較的大きい。50km圏

とその他地域との流動をあらわすベクトルⅡのバブル期における郊外部の成分の増加は、10km、20km圏からの流出を増加させ、50km圏からの流出を減少させる方向で作用したが、バブル後は10km圏の成分の増加にともない、バブル後Ⅰ期における20km圏での流出率減少への作用を経て、バブル後Ⅱ期には20km、30km圏でも流出増加、10km圏での流出減少の方向に作用するように変化した。ただ、20km圏と50km圏では交差効果はベクトルⅡの作用と逆方向に作用しており、ベクトルⅡの影響はあまり明確なものとはなっていない。

ベクトルⅢは40km圏を中心とした流動圏域を示す軸であるが、その変化の影響はバブル後Ⅰ期までは各地域ともほとんど見られない。バブル後Ⅱ期になると20km圏での流出増加と30km、40km圏での流出減少方向への作用が若干見られるが、各地域とも逆方向の交差効果があるので、実際上は流出率変化へのベクトルⅢの変化の影響はほとんど見られなかったと言えよう。

ベクトルⅣは30km圏を中心とした流動圏域を示す軸であるが、その変化の影響は10km、20km圏からの流出の場合に大きく、変化の方向は10km圏では期間をとおして流出増加、20km、30km圏では流出減少の方向である。図は省略するがベクトルⅣの変化の影響を推移行列の要素ごとに見ると、バブル前期～盛期とバブル後Ⅱ期では30km圏以外の地域では10km、30km、50km圏の割合の減少と20km、40km圏の割合の増加、30km圏ではその逆の方向となっており、30km圏を中心とした流動圏域のバブル期における40km圏側への移動→20km圏側への回帰→30km圏と40km圏相互間流動という変化は、いずれも他地域からの移動先としての20km、40km圏の割合を増加させる方向で作用したと言える。また、ベクトルⅤについては、比較的時系列的な変化が小さいので、その変化の影響はほとんど見られない。

以上をまとめると、各地域からの流出率の時系列的な変化のかなりの部分は固有値で示される各流動圏域の影響力の変動率の変化によるものであり、固有ベクトルの変化であらわされる基本的な地域選択確率および流動圏域（もしくは地域間のトレードオフ関係）の構造変化による分は相対的にそれほど大きくはなかったと言えよう。

5. まとめ

本研究では、「居住地移動行動の特性把握」という観点から居住地移動推移行列の固有値と固有ベクトルの解釈を行うとともに、居住地移動推移行列の変化を固有値変化分、固有ベクトルの変化分および交差効果分に分解して把握する方法を提案した。また、それを用いてバブル前期からバブル後にいたる間の首都50km圏における「新規持家入居世帯」の居住地移動行動の変化の分析を行った。得られた結果をまとめると以下ようになる。

(1)居住地移動推移行列の固有値と固有ベクトルは、「①固有値1に対応する固有ベクトル＝基本的な地域選択確率」「②それ以外の固有ベクトル＝流動圏域（もしくは居住地選択における地域間のトレ

ードオフの関係）の構造」「③1以外の固有値＝対応する固有ベクトルで示される流動圏域の影響力（もしくは対応する地域間トレードオフ関係の重視度）の変動率」と解釈することができる。

(2)居住地移動推移行列の変化は、大きくは「流動圏域の影響力（もしくは地域間トレードオフ関係の重視度）の変動率の変化分」「基本的な地域選択確率の変化分」「流動圏域（もしくは地域間トレードオフ関係）の構造変化分」「交差効果分」に分解して把握することができる。

(3)バブル前期からバブル後までの間の「新規持家入居世帯」における「都心地域からの移動における移動先の相対的な遠隔化の進行」→「この傾向の郊外部への波及」→「同一圏内率の上昇という形での遠隔化傾向の鎮静化」という居住地移動行動の変化は、「流動圏域の影響力の変動率の変化による分」「基本的な地域選択確率の変化による分」「流動圏域の構造変化による分」の3つの要因がおおむね同方向に作用することによってもたらされ、3つの要因のうちでは固有値で示される「変動率の変化」による分の影響が最も大きかったと言える。

今後の課題としては、より多くのデータに本研究で提案した方法を適用することによってその有効性と限界を明確にすること、および得られた要因別の変化傾向と地価等の社会・経済的な状況をあらわす指標との関連性を分析すること等が挙げられる。

付録 居住地選択推移行列の差の要因分解

ここでは、2つの居住地移動推移行列 P と $P + \Delta P$ の差 ΔP を3章で整理した要因別に分解して把握する方法について詳述する。

(1) $\Delta \Lambda$ の細分

3章における仮定③により、 $\Delta \Lambda$ は対角行列で、 $(1, 1)$ 要素は0、 (i, i) 要素 $[i=2 \sim n]$ は $\Delta \lambda_i$ となるので、 $\Delta \Lambda_i$ を (i, i) 要素が $\Delta \lambda_i$ で他の要素は0であるような行列とすれば、 $\Lambda = \Sigma_i \Delta \Lambda_i$ で、 $U \Delta \Lambda V$ は、 $U (\Delta \Lambda_2 + \dots + \Delta \Lambda_n) V$ と各固有値ごとに分解される。

(2) $\Delta U \Lambda V + U \Delta \Lambda V$ の細分

P の固有ベクトル u_i $[i=1 \sim n]$ に対応する $P + \Delta P$ の固有ベクトルを $u_i + \Delta u_i$ とすると、 Δu_i は P の固有ベクトルを用いて、 $\Delta u_i = \alpha_{1i} u_1 + \alpha_{2i} u_2 + \dots + \alpha_{ni} u_n$ とあらわすことができるが、 Δu_i の列和が0であることから $\alpha_{1i} = 0$ となる。すなわち、 $\Delta U = (\Delta u_1, \Delta u_2, \dots, \Delta u_n)$ は、係数行列 A を $\{\alpha_{ij}\}$ とすれば、 $\Delta U = U A$ となり、 $A = A = V \Delta U$ で求められる。

また、 $(V + \Delta V)(U + \Delta U) = I$ 、 $(I + A)^{-1}(I + \Delta A) = I$ の関係より、 ΔV は $\Delta V = \{ (I + A)^{-1} - I \} V$ となるので、固有ベクトルからなる行列の逆行列の差 ΔV は ΔU を U であらわした場合の係数行列 A を用いてあらわすことができる。 $(I + A)^{-1}$ の要素を $\{b_{ij}\}$ とすると、以下が成り立つ。

- ① $\Delta u_1 \sim \Delta u_n$ の値に関わらず、 $b_{11}=1$ 、 $b_{1j}=0$ [$j=2\sim n$]
 ② $(I+A)^{-1}$ の第1列については、
 (a) $\Delta u_1 = 0$ のときは、 $\Delta u_2 \sim \Delta u_n$ の値に関わらず、 $b_{11}=0$ [$i=2\sim n$]
 (b) $\Delta u_1 \neq 0$ 、 $\Delta u_j = 0$ [$j=2\sim n$] の時は $b_{11} = -\alpha_{11}$ [$i=2\sim n$]
 となる。これから $(I+A)^{-1}$ の第1列は Δu_1 に関係する量であって、 Δu_1 のみによる差 $(-\alpha_{11})$ と Δu_1 と $\Delta u_2 \sim \Delta u_n$ の複合効果によって生ずる差に分解できる。すなわち、 $(I+A)^{-1}$ の第1列の $(1,1)$ 要素は1、 $(i,1)$ 要素は、複合効果分を β_{11} とすれば、 $b_{11} = -\alpha_{11} + \beta_{11}$ [$i=2\sim n$] と書くことができ、 $\Delta u_1 = 0$ のときは複合効果分も0となる。
 ③ $(I+A)^{-1}$ の第j列 [$j=2\sim n$] については、
 (a) $\Delta u_j = 0$ のときは、 $b_{1j} = 0$ [$i=1\sim n$]
 (b) $\Delta u_j \neq 0$ 、 $\Delta u_2 = \dots = \Delta u_{j-1} = \Delta u_{j+1} = \dots = \Delta u_n = 0$ のときは $b_{ij} = -\alpha_{ij} / (1 + \alpha_{jj})$ [$i=2\sim n$ 、 $i \neq j$]
 $b_{jj} = 1 / (1 + \alpha_{jj})$
 (c) Δu_i は b_{ij} [$i=2\sim n$] の値に関係しない。

となるので、 $(I+A)^{-1}$ の第j列 [$j=2\sim n$] は、複合効果分を β_{1j} とすれば、 $(1,j)$ 要素は0、 (i,j) 要素 [$i=2\sim n$] は $b_{ij} = -\alpha_{ij} / (1 + \alpha_{jj}) + \beta_{1j}$ [$i \neq j$]
 $b_{jj} = 1 / (1 + \alpha_{jj}) + \beta_{1j}$ [$i=j$] と書くことができ、いずれも右辺の第1項は Δu_1 の直接効果分、第2項は Δu_1 と $\Delta u_2 \sim \Delta u_n$ [Δu_j を除く] との複合効果分をあらわす。

以上より、 $(I+A)^{-1}I$ の (i,j) 要素 [$i=1\sim n$ 、 $j=1\sim n$] は $\{-\alpha_{ij} / (1 + \alpha_{jj}) + \beta_{1j}\}$ と Δu_1 の直接効果分と複合効果分の和の形であらわすことができる。なお、 $\alpha_{1j} = \beta_{1j} = 0$ [$j=1\sim n$] である。すなわち、 $(I+A)^{-1}I$ の第j列は Δu_1 に起因する量であり、第1項は Δu_1 の直接効果分、第2項は Δu_1 と Δu_k ($k \neq j$) の複合効果分となる。また、 Δu_1 の影響は第1列以外には及ばない。

固有ベクトルの差の一次分 $\Delta U \Delta V + U \Delta \Delta V$ は
 $\Delta U \Delta V + U \Delta \Delta V = U \Delta \Delta V + U \Delta \{ (I+A)^{-1}I \} V$
 $= U \{ A \Delta + A \Delta [(I+A)^{-1}I] \} V$

であり、 $A \Delta + A \{ (I+A)^{-1}I \}$ の $(1,j)$ 要素 [$j=1\sim n$] は0、 (i,j) 要素 [$i=2\sim n$ 、 $j=1\sim n$] は

$$\lambda_j \alpha_{ij} + \lambda_i \{ -\alpha_{ij} / (1 + \alpha_{jj}) + \beta_{1j} \}$$

$$= \alpha_{ij} \{ \lambda_j - \lambda_i / (1 + \alpha_{jj}) \} + \lambda_i \beta_{1j}$$

となるので、 $\Delta U \Delta V + U \Delta \Delta V$ は固有ベクトルごとに差の直接効果分と差の間の複合効果分に分解することができる。なお、 $\lambda_1 = 1$ である。また、 $\Delta U \Delta \Delta V + U \Delta \Delta \Delta V$ (固有値、固有ベクトル変化の複合効果) についても、上記において $\Delta \rightarrow \Delta \Delta$ とすることによって同様の手順で各要素を求めることができる。

(3) $\Delta U \Delta \Delta V$ について

固有ベクトル変化の二次分 $\Delta U \Delta \Delta V$ は、 A を用いた表現では $U A \Delta \{ (I+A)^{-1}I \} V$ となる。 $A \Delta \{ (I+A)^{-1}I \}$ の $(1,j)$ 要素 [$j=1\sim n$] は0、 (i,j) 要素 [$i=2\sim n$ 、 $j=1\sim n$] は

$$\Sigma_k \lambda_k \alpha_{ik} \{ -\alpha_{kj} / (1 + \alpha_{jj}) + \beta_{kj} \} \quad [k=2\sim n]$$

となり、第j列 [$j=1\sim n$] は $\Delta u_j = 0$ の時は0となる。また、第j列 [$j=2\sim n$] のうち、 $\{-\lambda_i \alpha_{ij}^2 / (1 + \alpha_{jj})\}$ [$i=2\sim n$] は Δu_i のみによって決まる量であり、 Δu_i の直接効果の二次分

とみなせる。 $(\Delta u_1$ については二次分は0となる。)

すなわち、固有ベクトル変化の二次分 $\Delta U \Delta \Delta V$ についても固有ベクトル変化の直接効果分と複合効果分に分解することができる。

$\Delta U \Delta \Delta \Delta V$ についても同様である。

(4) ΔP の詳細分解

以上をまとめると、

$$\Delta P = U \Delta \Delta V + \Delta U \Delta V + U \Delta \Delta V + \Delta U \Delta \Delta V + U \Delta \Delta \Delta V$$

$$+ \Delta U \Delta \Delta V + \Delta U \Delta \Delta \Delta V$$

$$= U \{ \Delta \Delta + A \Delta + A [(I+A)^{-1}I] + A \Delta \Delta + A \Delta [(I+A)^{-1}I] + A \Delta [(I+A)^{-1}I] + A \Delta \Delta [(I+A)^{-1}I] \} V$$

の右辺の U と V ではさまれた部分の要素は、

$(1,j)$ 要素 [$j=1\sim n$] については各要因とも0

$(i,1)$ 要素 [$i=2\sim n$] については

$$\Delta \Delta_i \quad \Delta u_i \text{ の直接効果分} \quad \Delta u_i \text{ と } \Delta u_i \text{ の複合効果分}$$

$$[U \Delta \Delta V] \quad [\Delta U \Delta V + U \Delta \Delta V] \quad [\Delta U \Delta V + U \Delta \Delta V]$$

$$0 + (1 - \lambda_i) \alpha_{11} + \lambda_i \beta_{11}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta u_i \text{ と } \Delta u_i \text{ の複合効果分} \\ [\Delta U \Delta \Delta V] \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \Delta u_i \text{ と } \Delta \lambda_i \text{ の複合効果分} \\ [\Delta U \Delta \Delta V + U \Delta \Delta \Delta V] \end{array} \right\}$$

$$\Sigma_k \lambda_k \alpha_{ik} (-\alpha_{ki} + \beta_{ki}) - \Delta \lambda_i \alpha_{11}$$

$$[k=2\sim n]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta u_i, \Delta u_i, \Delta \lambda_i \text{ の複合} \\ \text{効果 } [\Delta U \Delta \Delta V + U \Delta \Delta \Delta V] \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \Delta u_i, \Delta u_i, \Delta \lambda_i \text{ の} \\ \text{複合効果分 } [\Delta U \Delta \Delta \Delta V] \end{array} \right\}$$

$$\Delta \lambda_i \beta_{11} + \Sigma_k \Delta \lambda_k \alpha_{ik} (-\alpha_{ki} + \beta_{ki})$$

$$[k=2\sim n]$$

(i,j) 要素 [$i=2\sim n$ 、 $j=2\sim n$] については

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta \Delta_j \\ [U \Delta \Delta V] \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \Delta u_j \text{ の直接効果分 (一次分)} \\ [\Delta U \Delta V + U \Delta \Delta V] \end{array} \right\}$$

$$\Delta \lambda_j [i=j] + \alpha_{ij} \{ \lambda_j - \lambda_i / (1 + \alpha_{jj}) \}$$

$$0 [i \neq j]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta u_i \text{ の直接効果分 (二次分)} \\ [\Delta U \Delta \Delta V] \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \Delta u_i \text{ と } \Delta u_i \text{ の複合効果} \\ \text{分 } [\Delta U \Delta V + U \Delta \Delta V] \end{array} \right\}$$

$$-\lambda_i \alpha_{ij}^2 / (1 + \alpha_{jj}) + \lambda_i \beta_{1j}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta u_i \text{ と } \Delta u_i \text{ の複合効果分 } [\Delta U \Delta \Delta V] \\ (\Delta U \Delta \Delta V \text{ から } \Delta u_i \text{ の直接効果の二次分を除いたもの}) \end{array} \right\}$$

$$\Sigma_k \lambda_k \alpha_{2k} (-\alpha_{kj} + \beta_{kj})$$

$$[k=2\sim n]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta u_i, \Delta u_i, \Delta \lambda_i \text{ の} \\ \Delta u_i \text{ と } \Delta \lambda_i \text{ の複合効果分} \\ [\Delta U \Delta \Delta V + U \Delta \Delta \Delta V] \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{複合効果} \\ [\Delta U \Delta \Delta V + U \Delta \Delta \Delta V] \end{array} \right\}$$

$$\alpha_{ij} \{ \Delta \lambda_j - \Delta \lambda_i / (1 + \alpha_{jj}) \} + \Delta \lambda_i \beta_{1j}$$

$$(\Delta u_i, \Delta u_i, \Delta \lambda_i \text{ の複合効果分 } [\Delta U \Delta \Delta \Delta V])$$

$$\Sigma_k \Delta \lambda_k \alpha_{ik} \{ -\alpha_{kj} / (1 + \alpha_{jj}) + \beta_{kj} \} \quad [k=2\sim n]$$

となる。

以上より、居住地移動推移行列 P と $P + \Delta P$ について、固有値と固有ベクトルを求め、固有ベクトル間の対応づけを行うことによって、パラメータ α_{ij} 、 β_{ij} を経由して推移行列の差 ΔP を要因別に分解することが可能となる。

ところで、 ΔP の右辺の U と V ではさまれた部分の要因 k に対応する部分を Γ^k とすると、 Γ^k もしくは複数要因の部分 $\Gamma^{k1} + \dots + \Gamma^{k\epsilon}$ に右から V を乗じた行列は当該要因 (もしくは部分 and を構成する複数要因) による固有ベクトルからなる座標軸 U における座

標の変化分をあらわす。また、これにさらに右からUを乗じたものは各要因による自然基底上での変化をあらわすことになる。このことから要因別の影響力をあまり詳しく把握する必要がない場合には、対象とする要因についてのみ $P + \Delta P$ のパラメータを求め、その他の要因に関しては $V \Delta P U$ で求められる行列から対象とする要因分の影響力を除けば得られることになる。たとえば要因を大きく「各地域に共通する基本的な地域選択確率の変化」と「それ以外の変化」に分けて把握したい場合には、比較対象の推移行列 $P + \Delta P$ に関しては固有値1に対応する固有ベクトルのみを求めれば良く、他の固有値、固有ベクトルを求める必要はない。また、要因を「基本的選択確率の変化」「固有値の変化」「その他の変化」に分けて把握したい場合には、「固有値1に対応する固有ベクトル」と「固有値」だけを求めれば良いことになる。

(5) 居住地移動推移行列が複素固有値を持つ場合

これまでは理論的な検討を容易にするため、 P と $P + \Delta P$ は実数の範囲で対角化可能であることを仮定してきた。しかし、実際は推移行列の固有方程式が複素根を持つ場合が存在する。このため、本節では推移行列に関する仮定「③ P 、 $P + \Delta P$ は実数の範囲で対角化可能である。」を緩和し、複素固有値が存在する場合について検討しておく。ただし、仮定①、②は引き続き成り立つものとする。この場合、複素固有値に対応する固有ベクトルは複素ベクトルとなるが、固有ベクトルの実部と虚部を別々の実ベクトルと考えると実根に対応する固有ベクトルを含めた固有ベクトル全体は n 次元空間の基底を構成する。複素固有ベクトルの実部、虚部に対応する実ベクトルを u_1 、 u_{1+1} とし u_1 、 u_{1+1} を含む基底を U 、 $V = U^{-1}$ とする。 P から $V P U = \Lambda$ をつくると Λ は複素固有ベクトルの実部、虚部に対応する固有ベクトルの箇所に複素固有値の実部 λ_1 、虚部 $\pm \gamma_1$ の値が入ったものとなる。

$V = \{ \ell_{ij} \}$ とすると、自然基底 e_j は P による変換を受けると $P e_j = u_1 + \lambda_2 \ell_{2j} u_2 + \cdots + \lambda_{1+1} \ell_{1+1,j} u_{1+1} + (\lambda_1 \ell_{1j} + \gamma_1 \ell_{1+1,j}) u_1 + (-\gamma_1 \ell_{1j} + \lambda_1 \ell_{1+1,j}) u_{1+1} + \cdots + \lambda_n \ell_{nj} u_n$ となる。流動圏域の影響力の変動は、固有値が実数となるものについては、 $\lambda_2 \sim \lambda_n$ であらわされるが、固有値が複素数となるものについては

$(\lambda_1 \ell_{1j} + \gamma_1 \ell_{1+1,j}) / \ell_{1j} = \lambda_1 + \gamma_1 (\ell_{1+1,j} / \ell_{1j})$
 $(-\gamma_1 \ell_{1j} + \lambda_1 \ell_{1+1,j}) / \ell_{1+1,j} = \lambda_1 - \gamma_1 (\ell_{1j} / \ell_{1+1,j})$ となっており、2つの流動圏域の影響力は対になって変化することになる。ただ、この場合でも、右辺をそれぞれ、 $\lambda'^{1,j}_1$ 、 $\lambda'^{1,j}_{1+1}$ として、 $\lambda'^{1,j}_1$ と $\lambda'^{1,j}_{1+1}$ を地域 j に居住している世帯における u_1 と u_{1+1} であらわされる流動圏域の影響力の変動の指標と見なすことは可能である。ただし、 $\lambda'^{1,j}_1$ と $\lambda'^{1,j}_{1+1}$ には居住している地域特性をあらわす ℓ_{1j} 、 $\ell_{1+1,j}$ が含まれているので、複素固有ベクトルに対応する流動圏域に関してはその影響力の変動率は地域によって異なることになる。ただ、実際のデータでは複素固有値が存在する場合でもその虚部の値は0に近いことが多いので、 $\ell_{1+1,j} / \ell_{1j}$ 、 $\ell_{1j} / \ell_{1+1,j}$ の値にもよるが複素根の虚部の値の影響力はあまり問題にならないことが多いと考えられる。

また、 P と $P + \Delta P$ の要因分解に際しては、 Λ および $\Delta \Lambda$ が対角行列であることは積極的に利用していないので、複素固有値があ

る場合でも形式的には ΔP の要因分解は可能である。ただし、この場合、 $\Delta \Lambda$ は対角要素のみではなく、行ごとに考える必要がある。(6) その他

以上により、 ΔP の右辺の U と V ではさまれた部分は要因別に分解することができ、表現基底を U から自然基底に変換する（左から U 、右から V をかける）ことで ΔP そのものを要因別に分解することができる。ただ、実際上は解釈が容易な結果を得るためには P と $P + \Delta P$ の固有ベクトル間の対応関係が適切に把握されている必要がある。固有値1に対応するベクトル間の対応関係については問題ないが、その他の固有ベクトル間の対応関係は必ずしも自明ではない。もし、対応関係づけが適切でないと各要因別の結果の和には問題はないものの要因別には変化分の絶対値が無意味に大きくなってしまふことがあり得る。固有ベクトル間の対応づけの適切さは「複合効果による変化分の絶対値の総和をできるだけ小さくする」という規準で一応は評価できると思われるが、可能な対応づけの場合の数は $(n-1)!$ だけあるので n がある程度以上になるとすべての組み合わせを計算することは困難となる。このため本研究では「 u_1 に対応させる固有ベクトル $u_1 + \Delta u_1$ は u_1 に最も近いもの（ Δu_1 のノルムが最も小さいもの）を選ぶ」という規準で作成した固有ベクトル間の対応づけを初期値として、このまわりで固有ベクトル間の対応づけを逐次的に変化させて複合効果に起因する変化分の絶対値の総和が最小となるような組み合わせを選ぶという方法で固有ベクトル間の対応づけを行っている。

ところで、ここでの ΔP の要因分解法は、 P と $P + \Delta P$ の固有値と固有ベクトルの差を基礎にしたものであるため、これらが安定的に求められることが前提となっている。一般に推移行列の要素の変動が小さい場合でも固有値や固有ベクトルの変動は大きくなる可能性があるため、ここで定式化した方法を適用するためには P と $P + \Delta P$ は十分に安定的である必要がある。 P と $P + \Delta P$ は居住地を移転した世帯数のデータから算出せざるを得ないことを考えると、このことは P と $P + \Delta P$ を算出するもととなったデータが十分なサンプル数を有している必要があることを意味している。

注

- 1) 中山学、大江守之：東京都心地域における人口回復過程からみた居住構造の変容に関する研究、都市計画論文集、第38-3号、pp49-54、2003年10月
- 2) 居住地移動データは、1988、1993、1998年の住宅統計調査（都市整備公団による特別集計を含む）より作成した。

参考文献

- 1) 石坂公一：土地利用遷移行列の分析手法に関する考察－首都圏市街化区域における住居系用途を中心とした土地利用変化動向の分析 その1－、日本建築学会計画系論文集、第436号、pp59-69、1992年6月
- 2) 長谷川洋、石坂公一：昭和59～63年の間の居住地移動からみた首都圏の圏域構造－大都市圏における居住地移動に関する研究 その1－、日本建築学会計画系論文集、第493号、pp215-222、1997年3月
- 3) 石坂公一、長谷川洋：首都圏における圏内移転市場構造の時系列変化－大都市圏における居住地移動に関する研究 その2－、日本建築学会計画系論文集、第521号、pp245-252、1999年7月

(2004年6月28日原稿受理、2005年4月28日採用決定)