

九州大学工学部 正会員 榎木 武
九州大学工学部 学生員 〇永尾 祐治

1. はじめに 著者等が文献等で紹介した人口動態に関する理論は、都市圏域における人口動態を、ポテンシャル・フロー的概念でモデル化し、解析するものである。すなわち、人口移動現象を流体相似し、その支配方程式を作成のうえ、その解析のため汎関数を導入し、空間座標について離散化を行い、時間座標に関し、差分法を用いることにより、本理論の諸方程式の定式化を行い、数値解析するものである。その際、定式化された方程式中に定数として導入されるべき、人口移動性係数 R_{ij} 、出生率 α 、死亡率 β 、他地域間移動率 γ の予測手法の確立が重要な問題である。というのは、これらの諸定数の値いかに、将来人口の予測に大きな影響を排つと推察されるからである。これら諸定数のうち、 α, β, γ については、先に、これらに関連する地域構造指標を選出し、相関分析・クラスター分析等を用い、指標の要約を行い、選定された指標により重回帰式を、 α, β, γ 各々について作成し、予測手法としたが、予測段階において、これら重回帰式中の幾つかの説明変数の予測をどのように行うかという問題が残され、実用上、有用な予測手法とは言えない面がある。また R_{ij} についても、対象地域内の三角形要素網において、その種類の分割設定、予測人口密度の非負化等の問題点を抱えている。そこで本研究では、これらの諸点を踏まえ、 α, β, γ 及び R_{ij} の予測上の問題点を解明し、その予測手法の改良を行い、合せて本理論の福岡市への適用を試みるものである。

2. R_{ij} の決定 本理論において、 R_{ij} の値を決定することは、次の手順に依っていた。すなわち、解析領域全体で集積された R_{ij} を未知数とする連立方程式においては、一般に未知数 R_{ij} の数 N 、式の数より少なく、同時に全ての方程式を満足する R_{ij} を決定することは困難であるので、最小二乗法により R_{ij} の値を決定していたところ、本理論では、対象地域内の地域細分ゾーンにおける人口動態を明らかにするという目的を持つ関係上、その予測精度向上のためには、 R_{ij} の種類設定の数を増加させる方が得策と言えるが、前述した R_{ij} を未知数とする連立方程式において、 R_{ij} の数が増加するに従い、その設定地域の分割形式により、 R_{ij} の値が決定できないことがある。なぜなら、 R_{ij} を決定すべき連立方程式が、 R_{ij} の分割形態により従属な式を内包するに至るからである。そこで、 R_{ij} を決定すべき連立方程式が独立になるように、 R_{ij} の分割形態を決定する必要があるので、この条件を満たす様に決定する作業は、極めて複雑となり、またその分割形式も一通りではないことを考慮すると、 R_{ij} の決定にもっと簡明な手法を用いる方がより実用的であると言える。そこで、ここでは R_{ij} を試算算法により逐次算出することにする。つまり R_{ij} に関する連立方程式を

$$AK + Q = 0 \quad (1)$$

ここに $K: (R_{ij})$ の列ベクトル、 $A: K$ の係数行列、 Q : 定数項の列ベクトル

とし、 $A = [a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n]$ (ここに $a_i: A$ の i の列ベクトル) とおけば、式(1)は、

$$[a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n] K = -Q \quad (2)$$

と書けるので、 R_{ij} (或いは R_{ji}) に最小二乗法を適用し、

$$a_i^T a_i \cdot R_{ji} = -a_i^T Q - a_i^T A K_i \quad (3)$$

ここに $A_i: A$ から R_{ji} に並んだベクトルを除いたマトリクス、 $K_i: K$ から R_{ji} を除いた列ベクトル

$$\therefore R_{ji} = -\frac{1}{a_i^T a_i} a_i^T (Q + A_i K_i) \quad (4)$$

として算出する。なお式(4)で用いる K_i は、初期値を0とし、式(4)を繰返し適用することにより、 (R_{ij}, R_{ji}) の値が収束するまで、計算を繰返すこととする。また式(4)の計算を行う順序、すなわち Index- i の値は、計算誤差

が特定の人口移動性係数に集中すること避ける意味から、各ステップごとに乱数を発生させ、その値に応じて、Index- i の適用順を決定する方法を推奨するものである。

3. α, β, γ の決定 α, β, γ については、文献で示したように、 α, β, γ は関係深いと思われる地域構造指標を取捨選択し、これらの一次指標、及び二次指標の合成により得られる二次指標を素データとし、指標間の相関分析や、クラスター分析により指標の分類、要約を行い、選定された指標を用いて、ステップワイズ法により、 α, β, γ の重回帰式を求め、予測モデル式としたが、各回帰式中の説明変数数が比較的多いため、対象地域内三角形ごとに、これらの変量を予測し、 α, β, γ を推定することは、常に満足な結果を得られるとは限らない。そこで α, β, γ を自然増率(X_1)、 γ を転入率(X_2)、転出率(X_3)に分割して取り扱い、次のようなモデルを提案する。すなわち、福岡市及び各区の昭和47, 50, 53年の三年間の表-1のような指標を用い、 X_1, X_2, X_3 毎に、ステップワイズ法により重回帰式を算定する。表-1の指標選定に当り、 γ は、 X_1, X_2, X_3 と関連があり、相互に説明性を持つ様な指標を選定した。

表-1 説明変数

X_1	自然増加率
X_2	転入率
X_3	転出率
X_4	人口密度
X_5	人口増加率
X_6	15歳以上人口比率
X_7	従業者/人口
X_8	2次/3次従業者比率
X_9	1事業所当たり従業者数
X_{10}	人口密度増加
X_{11}	人口密度増加率

$$X_1 = 21.150 + 0.233X_2 - 8.349 \times 10^{-5}X_4 - 30.378X_6 \quad (R=0.928)$$

$$X_2 = 22.481 + 2.649X_1 + 0.136X_3 + 0.003X_4 \quad (R=0.920)$$

$$X_3 = 39.472 + 0.440X_2 - 0.273X_5 + 0.021X_{10} + 23.158X_{11} \quad (R=0.945)$$

$$X_4 = 0.738 - 1.401 \times 10^{-3}X_1 + 6.536 \times 10^{-5}X_2 + 1.121 \times 10^{-5}X_4 - 6.144 \times 10^{-5}X_5 - 4.212 \times 10^{-6}X_{10} - 0.0711X_{11} \quad (R=0.945)$$

ここにR: 重相関係数

式(4)の内生変数 $X = (X_1, X_2, X_3, X_4)^T$ と外生変数 $X = (X_5, X_6, X_{10}, X_{11})^T$ の項に分け式(6)とする。

$$BX = CX + D$$

ここにB: 式(4)の内生変数の係数マトリクス, C: 式(5)の外生変数の係数マトリクス, D: 式(5)の定数項のベクトル

このとき、 X は次のように求められる。

$$X = B^{-1}(CX + D) \quad (7)$$

4. 計算手順、本理論の計算手順は、次の通りである。

i) 過去2期の人口密度及びその期間の X_1, X_2, X_3 のデータを用い、2.の方法により α, β, γ を計算する。

ii) 予測年度における X_1, X_2, X_3 を、3.の方法により算出し、利便性で得られる α, β, γ は過去2期のうち、後期の人口密度を用い、予測年度における境界条件を考慮し、予測年度の人口密度を算出する。なお、この時用いる α, β, γ として、過去数期で得られる α, β, γ を用い、時系列モデル、回帰モデルを作成し、これより得られる値を、予測年度時 α, β, γ とする方法、或いは算出される予測人口密度の非負化を避ける意味から、算出時に線型計画法を導入する方法も考えられる。

iii) 手順iiで得られる人口密度を用い、対象領域内の各三角形要素ごとに将来人口を算出する。

iv) 手順iiiで得られる各要素ごとの人口を、所要の領域、或いは区単位、市単位に集計する。

4. 適用例 福岡市を対象地域とし、国勢調査にもとづき、昭和47年度及び昭和50年度のデータを用いて、昭和50年度における実績値と計算値の比較を(表-2)、また区単位・市単位で人口を集計し、実績値と比較した(表-3)。なお式(4)により算出された X_1, X_2, X_3 の計算値と実績値の相関係数を表-4である。

表-2

kxky の数による人口密度の実績値と計算値					
分割	実績値		計算値		相関係数
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
5	4043	3810	4062	4187	0.972
15	4043	3810	4046	4284	0.956
30	3909	3812	3878	3799	0.998

表-3 人口の実績値と計算値の比較

	実績値	5 分割	15 分割	30 分割
		計算値	計算値	計算値
全市	983,150人	969,038	960,719	971,511
東区	164,325	153,872	160,433	162,348
博多区	163,523	172,571	171,181	167,618
中央区	126,360	146,667	147,454	129,735
南区	193,820	181,852	177,615	186,459
西区	336,120	314,075	304,037	325,351

表-4 X_1, X_2, X_3 の算出

	相関係数
X_1	0.795
X_2	0.778
X_3	0.872

参考文献 1) 櫻木、永尾「人口動態に関する研究(第一報) 第3回土木学会講演会(於北海道大学)

2) 櫻木、永尾「ポテンシャル70-的人口動態論における諸数値の決定について」昭和50年度西部支部会(於九大)