通勤・通学交通における吸収・発生交通量に影響を及ぼす要因の解析

秋田大学鉱山学部　正員　清水浩志郎
学生員　○大高三雄

1．はじめに

今日の都市は、周辺の農村地区や他の都市などと産業，経済，文化を通して密接な関係をもっている。　特に最近は、経済の高度成長や、交通機関の発達による輸送時間の短縮などにより、都市を中心とするそれらの活動範囲がますます大きくなってきた。　当然，都市の発展や都市計画などによって都市のもっている機能は変化している。　これら都市機能の変化によって吸収交通量（流入人口）発生交通量（流出人口）に変化がみられる。　そこで、都市機能と吸収・発生交通量の関係を把握しておくことは、将来の都市計画などのためにも重要である。　これらを全国の多くの都市について統計的に考察すれば、共通の要因を見い出すことは可能である。

この研究では、国勢調査などの資料に基づいて、都市機能に関するものを要因として選び、吸収・発生交通量との関係について分析し、これら要因の吸収・発生交通量に及ぼす影響の大きさや、相関性を求めた。　また、吸収・発生交通量を推定するモデル式についても検討した。

2．分析方法

多変量解析をもちいて、都市のもつ多数の要因と吸収・発生交通量との関係を求め、また吸収・発生交通量を推定するモデル式を提案する。　なお、多変量解析の手法は、外的基準（基準変量）および説明変数（予測変量）の種類の相違により、表－1のように分類される。　ここでは、数量化理論（第Ⅰ類）により各要因のもつ吸収発生交通量に対する重要性（ウエイト）を求める。　また、因子分析法（バリマックス法）で選択した要因をもちいた重回帰方程式と、変数増減法による要因をもちいた重回帰方程式を求め、検討してみる。　この重回帰方程式は吸収・発生交通量を推定する式である。

表－1　おもな多変量解析の手法[1]

外的基準		説明変数	おもな手法
あり	量的（量の推定）	量的変数のみ	重回帰分析，重相関分析
		質的変数も可	数量化理論（第Ⅰ類）
	質的（質の推定）	量的変数のみ	判別関数
		質的変数も可	数量化理論（第Ⅱ類）
なし	（分類）	量的変数のみ	成分分析，因子分析，正準相関分析
		質的変数も可	数量化理論（第Ⅲ，Ⅳ類）

(1)数量化理論[2]

これは，外的変量と数種の要因（アイテム）との関係が特別な場合を除き線型と考え，要因によって説明された回帰直線からの誤差の2乗の和を最小とするように各要因に重み（ウエイト）を与える方法である。外的変量が数量で与えられる場合を説明する。　要因パターンとして表－2のようなデータがあるとする。　ここでX印

表－2　アイテム・カテゴリー別反応図

外的変量 ＼ アイテム	1				2				・・・	R		
＼ カテゴリー	C_{11}	C_{12}	・・・	C_{1K1}	C_{21}	C_{22}	・・・	C_{2K2}	・・・	C_{R1}	・・・	C_{RKR}
A_1	X				X							X
A_2		X			X							X
⋮												
A_i				X	X					X		
⋮												
A_n				X				X		X		

は反応を示す。　この反応パターンから、外的変量A_iを効率よく予測できればよい。各カテゴリーC_{jk}にx_{jk}なる数量を与える。　すると推定値α_iは次のようにあらわされる。

$$\alpha_i = \sum_j \sum_k \delta_i(jk)\, x_{jk} \quad \cdots\cdots (1)$$

ここでδ_iを次のように定義する。

$\delta_i(jk) = 1$ ⋯ iがjアイテムkカテゴリーに反応を示すとき

$\delta_i(jk) = 0$ ⋯ しからざるとき

このα_iとA_iとの相関がもっとも高くなるようなx_{jk}を求める。　A_iとα_iの相関係数は次式で与えられる。

$$\rho_{A\alpha} = \frac{\frac{1}{n}\sum_i^n (A_i - \bar{A})(\alpha_i - \bar{\alpha})}{\sigma_A \sigma_\alpha} \quad \cdots\cdots (2) \quad \text{ここで} \begin{cases} \sigma_A^2 = \frac{1}{n}\sum_i (A_i - \bar{A})^2 & \bar{A} = \frac{1}{n}\sum_i A_i \\ \sigma_\alpha^2 = \frac{1}{n}\sum_i (\alpha_i - \bar{\alpha})^2 & \bar{\alpha} = \frac{1}{n}\sum_i \alpha_i \end{cases}$$

これを最大とするxを求めるには$\frac{\partial \rho_{A\alpha}}{\partial x_{uv}} = 0$であればよい。　また$\bar{A} = \bar{\alpha}$と考えると解くべき式は

$$\sum_i A_i \delta_i(uv) = x_{uv} n_{uv} + \sum{}' \sum{}' x_{jk} f(uv \cdot jk) \quad \cdots\cdots (3)$$

ここで
$$\begin{cases} f(uv \cdot jk)\text{：アイテム・カテゴリー}uv\text{と}jk\text{に同時に反応するもの} \\ \quad u = 1, 2, \cdots, R\ (\text{アイテム}) \quad v = 1, 2, \cdots, k_u\ (\text{カテゴリー}) \\ n_{uv}\text{：アイテム・カテゴリー}uv\text{に反応した数} \end{cases}$$

$\sum'\sum'$は同時に$j = u$，$k = v$となる場合を除くものとする。　(3)式は$\sum_j k_j$個のx_{jk}に関する連立一次方程式を解くことになる。　こうして求めたx_{jk}によって吸収・発生交通量に影響を及ぼす要因の大小を判定できる。　また、x_{jk}が与えられたことにより表－2の反応パターンから、吸収・発生交通量を推定できる。

(2)重回帰分析[3]

重回帰分析とは、P個の説明変数$x_1, x_2, \cdots, x_p$とそれに対応する目的変数（予測変量）$y_1, y_2, \cdots, y_q$の値がn組（$n \geqq P+1$）得られるとき、これをもちいて最小二乗法により、（$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_p$）の最良不偏推定値（不偏で分散が最小な推定値）を求める方法である。

表－３　必要なデータと予測

サンプル No.	説明変数 $x_1\ x_2 \cdots x_i \cdots x_p$	目的変数 $y_1\ y_2 \cdots y_j \cdots y_q$
1	$x_{11}\ x_{12} \cdots x_{1i} \cdots x_{1p}$	$y_{11}\ y_{12} \cdots y_{1j} \cdots y_{1q}$
2	$x_{21}\ x_{22} \cdots x_{2i} \cdots x_{2p}$	$y_{21}\ y_{22} \cdots y_{2j} \cdots y_{2q}$
⋮	⋮	⋮
α	$x_{\alpha 1}\ x_{\alpha 2} \cdots x_{\alpha i} \cdots x_{\alpha p}$	$y_{\alpha 1}\ y_{\alpha 2} \cdots y_{\alpha j} \cdots y_{\alpha q}$
⋮	⋮	⋮
n	$x_{n1}\ x_{n2} \cdots x_{ni} \cdots x_{np}$	$y_{n1}\ y_{n2} \cdots y_{nj} \cdots y_{nq}$
計	$T_{1x}\ T_{2x} \cdots T_{ix} \cdots T_{px}$	$T_{1y}\ T_{2y} \cdots T_{jy} \cdots T_{qy}$
平　均	$\bar{x}_1\ \bar{x}_2 \cdots \bar{x}_i \cdots \bar{x}_p$	$\bar{y}_1\ \bar{y}_2 \cdots \bar{y}_j \cdots \bar{y}_q$
新	$x_{01}\ x_{02} \cdots x_{0i} \cdots x_{0p} \Rightarrow$	$Y_{01}\ Y_{02} \cdots Y_{0j} \cdots Y_{0q}$

ここに表－３のようにデータがあるとする。これらの変数の間の関係は、次式であらわされる。

$$y_{\alpha j} = f_j(x_{\alpha 1}, x_{\alpha 2}, \cdots, x_{\alpha p}) + \varepsilon'_{\alpha j} \quad (\alpha = 1, 2, \cdots, n;\ j = 1, 2, \cdots, q) \cdots (4)$$

ここで，$f_j(\ )$は$x_1, x_2, \cdots, x_p$のある関数である。$\varepsilon'_{\alpha j}$は$x_1, x_2, \cdots, x_p$では説明しつくせない残差の部分である。上の関数形がわからず、かつ$x_1, x_2, \cdots, x_p$の変域（その値のとる範囲）がそれほど大きくないときには，それぞれの基準値$m_1, m_2, \cdots, m_p$のまわりにf_jをテイラー展開し、その１次の項のみをとり、示すと、

$$y_{\alpha j} \doteqdot m_{yj} + \beta_{1j}(x_{\alpha 1} - m_1) + \beta_{2j}(x_{\alpha 2} - m_2) + \cdots + \beta_{pj}(x_{\alpha p} - m_p) + \varepsilon_{\alpha j}$$
$$= \beta_{0j} + \beta_{1j} \cdot x_{\alpha 1} + \beta_{2j} \cdot x_{\alpha 2} + \cdots + \beta_{pj} \cdot x_{\alpha p} + \varepsilon_{\alpha j} \quad \cdots\cdots (5)$$
$$(\alpha = 1, 2, \cdots, n;\ j = 1, 2, \cdots, q)$$

ただし，$\beta_{0j} = m_{yj} - \beta_{1j} m_1 - \beta_{2j} m_2 - \cdots - \beta_{pj} m_p$である。　$\{\varepsilon_{\alpha j}\}$は$\{\varepsilon'_{\alpha j}\}$と異なる残差で，誤差とよばれる。　この(5)式を重回帰モデルとよぶ。　通常、誤差項については、次のような仮定が

おかれる。「互いに独立であり、期待値はゼロである。分散はすべて等しく、正規分布する。」

上のようなモデルが設定され、表－3のようなデータが得られる時，最小二乗法を適用し，偏回帰係数 $\{\beta_{0j}, \beta_{1j}, \cdots \beta_{pj}\}$ の最小二乗推定値 $\{b_{0j}, b_{1j}, \cdots b_{pj}\}$ が計算で求められる。これをもちいて、次の予測式をうる。

$$Y_j = b_{0j} + b_{1j}x_1 + b_{2j}x_2 + \cdots + b_{pj}x_p \quad \cdots\cdots (6)$$

また、予測の精度をあらわす重相関係数R（ Y_j と Y_{0j} との単相関係数）も計算する。説明変数の選択はバリマックス法を応用した方法と変数増減法にて行なった。

①バリマックス法を応用した方法[4]

全部の予測変量をもちいて，バリマックス法により合成変量を求める。そして、第1の合成変量の構造ベクトルの成分をみて、もっとも絶対値の大きな成分に対応する変量を選ぶ。つぎに、まえの合成変量と直交する第2の合成変量について、同様にして変量を選ぶ。このようにして順次，変量を選ぶ。ここで選択された変量は互いに異なった変動を代表しているものである。

②変数増減法[5]

説明変数を順次、回帰方程式の中に入れていき，1つ変量を入れるごとに、回帰式に含まれている変数の寄与率を調べ，その変数が回帰式に意味がない場合は取り除き，意味のある場合は取り入れる。そして新たに別の変量を回帰式に入れ計算をする。このような計算をくり返して、寄与率の高い変数を残して、できるだけ単純な回帰式を作る。取り除かれる変数はそれが回帰式の中にあることにより、目的変数の変動を与えられたF *level* で意味があるだけ減少させていないもので、取り入れられる変数はそれを加えることによる変動部分の減少が、与えられたF *level* で意味があると判定されたものである。このF *level* は、あらかじめ指定された数値であり、これと比較するFについては $F = \frac{b_i^2}{S^{ii} V_e}$ であらわす。$\frac{b_i^2}{S^{ii}}$ は変数 $x_{(i)}$ を回帰式から取り出すことにより大きくなる残差平方和の量である。V_e は取り入れている全変数についての回帰式の残差分散である。

3．分析結果

もちいた要因[6]は表－4に示したとうりである。流入・流出人口との相関係数は表－4のような結果となった。なお、分析の対称となった都市は人口10万以上の都市で昭和40年度123都市である。

表－4から、流入人口に対する相関係数をみると、相関の高い要因は国勢調査人口，金融機関貯金高，着工住宅数，人口集中地区人口，昼間就業人口となっている。流出人口では相関の高い要因は流動指数，人口密度，人口増加率，才1次産業就業者比であった。

表－4　流入・流出人口と全要因との相関係数

要因	相関係数		要因	相関係数		要因	相関係数	
	流入人口	流出人口		流入人口	流出人口		流入人口	流出人口
国勢調査人口	0.7620	0.3296	教員数(小,中,高)	0.6287	0.0232	電話普及率	0.4272	0.5804
才1次産業就業者の比	-0.3660	-0.5086	卸売業年間販売額	0.4409	-0.1753	飲食店年間売上高	0.6722	0.0552
才2次産業就業者の比	0.1435	0.4565	小売業年間販売額	0.6838	0.1000	小学,中学校数	0.4963	-0.0311
才3次産業就業者の比	0.1326	-0.1119	金融機関店舗数	0.5512	-0.1316	流出入率*1	0.0042	-0.3331
金融機関貯金高	0.7099	0.0817	上水道普及率	0.2476	0.2589	昼間就業人口	0.7476	0.1171
着工住宅数	0.7293	0.4451	対個人サービス業従事者	0.6908	0.1690	管理的職業従事者	0.6924	0.3476
政府機関所在数	0.3879	-0.2996	人口密度	0.4367	0.6759	流動指数*2	0.2556	0.6932
大学,高校数	0.5752	-0.0883	人口増加率	0.0492	0.4797	事業所数	0.6580	0.0096
人口集中地区人口	0.7799	0.4356	公務従事者	0.3904	0.0041			

*1 流出入率＝$\frac{\text{流入人口}}{\text{流出人口}}$　　*2 流動指数＝$\frac{\text{流入人口＋流出人口}}{\text{国勢調査人口}}$

また、バリマックス法の応用によって予測変量を選択し、重回帰方程式の偏回帰係数と定数項 ℓ_0 を求めたら，表－5のような結果となった。　これらの重相関係数も求めた。　この表をみると重相関係数は予測変量が10から2まで減少しても著しい変化はみられない。　要因についてみると、才3次産業就業者比は流入人口に対して多くなるような作用をすると思われる。ところが、係数が負となっている式がある。　これらは不適当である。　予測変量が10の場合は、要因が多すぎてモデル式としては不適当であろう。　以上のことから次式が適当である。

表－5　偏回帰係数と定類項 ℓ_0　（昭和40年度流入人口）

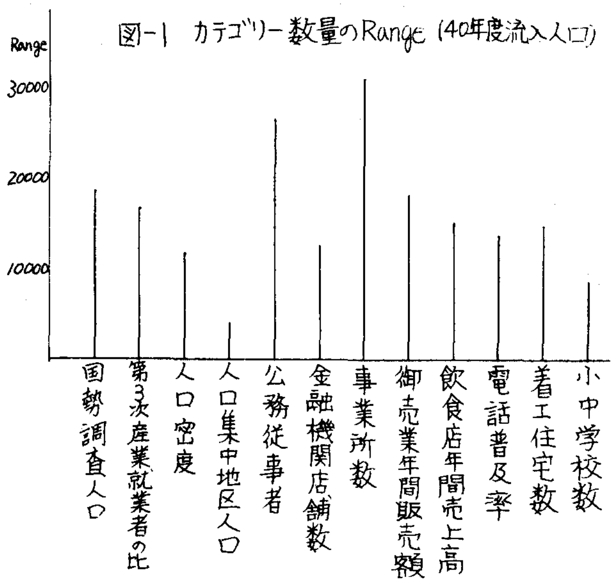
予測変量数	重相関係数	偏回帰係数										定数項 ℓ_0
		人口昼間就業	流動指数	就業者の比才3次産業	人口増加率	普及率上水道	普及率電話	就業者の比才1次産業	流出入率	年間販売額御売業	所在数政府機関	
10	0.9437	2,970	83,241	12,340	-74,330	66,552	171,015	268,441	196,270	-0,585	-51,256	-34952,55
9	0,9434	2,923	84.593	-27,526	-74,163	57,186	167,938	258,783	176,691	-0,620		-33047,06
8	0,9212	2,347	96,428	-134,316	-103,916	85,035	-423,193	204,495	168,586			-23068,70
7	0,9204	2,350	94,643	-109,668	-105,716	87,986	-434,512	199,038				-23493,55
6	0,9190	2,315	91,708	-140,716	-117,491	49,951	-507,751					-14459,46
5	0,9179	2,269	85,973	-169,735	-113,925	44,520						-15392,06
4	0,9175	2,281	87,933	-168,232	-118,503							-12294,13
3	0,9092	2,308	75,092	-166,125								-12451,19
2	0,9061	2,263	75,314									-20558,87

$$Y=2,263X_1+75.314X_2-20558,87$$

X_1：昼間就業人口　X_2：流動指数

この式の重相関係数は0,9061とかなり適合度のよい結果である。

数量化理論をもちいて要因を解析した結果は図－1に示した。12の要因の中でレンジの大きいのは、事業所数，公務従事者，国勢調査人口であった。これらは人口の集積に大きく作用するものである。



図－1　カテゴリー数量のRange（40年度流入人口）

流出人口や昭和35年度の解析、また変数増減法による解析の結果は紙面の都合上割愛します。これらについては講演時、報告します。

（参考文献）

(1) 吉川和広・細見隆「都市開発のための生活環境の総合評価法に関する基礎的研究」土木学会論文報告集才204号1972年8月

(2) 林知己夫「市場調査の計画と実際」日刊工業新聞社

(3) 奥野忠一・芳賀敏郎・久米均・吉沢正「多変量解析法」日科技連出版社

(4) 芝祐順「相関分析法」東大出版会

(5) 日下野幸子「計算機による統計解析(9)－変数選択型回帰分析－」“品質管理”Vol.16，No.6

(6) 「昭和40年 従業地・通学地に関する集計報告」 総理府統計局

「日本都市年鑑」No26．No27　全国市長会

「商業統計 昭和41年」