

都市交通網における通勤交通需要の予測について

FORECASTING THE COMMUTER TRANSPORTATION DEMAND IN THE URBAN TRANSPORTATION FACILITIES NETWORK

天 野 光 三*
By Kozo Amano

要 旨 都市における就業人口の各地区間の流動を分析し、これにもとづいて将来の各地区間通勤交通量を予測することは都市交通計画のもっとも大きな前提でなければならない。

本研究では各地区間交通量、さらには各交通機関の区間別通勤交通量を予測することを目的としてつぎの考察を行なった。

まず都市の通勤交通の一方方向性その他の特性に着目すれば、分布交通量を予測すべき地区の限定が可能となるとともに、各地区の需要・供給就業人口の増分が将来の分布交通量を変化させると考えられるので、この場合の収束計算法について考察した。

つぎに将来における就業人口の都心各地区の需要量、近郊各地区の供給量が与えられた場合、通勤経路としての交通網の相互依存関係をあらわす連関表を作成することにより、交通機関、とくに高速鉄道網各区间ごとの輸送需要を推定しうることを述べる。

1. 都市における通勤分布交通量の予測

(1) OD 表による分布交通量の推定

ある輸送体系において、そこに含まれる地区相互間のすべての交通量を示す現在の OD 表が与えられ、さらに将来の地区ごとの発生交通量および到着交通量が別途の調査または推計によって予測されたとして、これらのデータから将来各地区相互間の区間交通量の推定を必要とする場合が多い。

表-1 現在 OD 表から将来 OD 表の推定

(1) 与えられた行列 (2) 求めるべき行列

X_{11}	X_{12}	\dots	X_{1j}	\dots	X_{1n}	$X_{1\cdot}$	$Y_{ij}=?$	$Y_{1\cdot}$					
X_{21}	X_{22}	\dots	X_{2j}	\dots	X_{2n}	$X_{2\cdot}$		$Y_{2\cdot}$					
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots					
X_{j1}	X_{j2}	\dots	X_{jj}	\dots	X_{jn}	$X_{j\cdot}$		$Y_{j\cdot}$					
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots					
X_{n1}	X_{n2}	\dots	X_{nj}	\dots	X_{nn}	$X_{n\cdot}$	$Y_{n\cdot}$						
$X_{\cdot 1}$	$X_{\cdot 2}$	\dots	$X_{\cdot j}$	\dots	$X_{\cdot n}$	$X_{\cdot \cdot}$	$Y_{\cdot 1}$	$Y_{\cdot 2}$	\dots	$Y_{\cdot j}$	\dots	$Y_{\cdot n}$	$Y_{\cdot \cdot}$

ここに

$$\begin{aligned}
 X_{ij} &\geq 0 & Y_{ij} &\geq 0 \\
 X_{i\cdot} &= \sum_j X_{ij}, & X_{\cdot j} &= \sum_i X_{ij} & Y_{i\cdot} &= \sum_j Y_{ij}, & Y_{\cdot j} &= \sum_i Y_{ij} \\
 X_{\cdot \cdot} &= \sum_i X_{i\cdot} = \sum_j X_{\cdot j} = \sum_i \sum_j X_{ij} & Y_{\cdot \cdot} &= \sum_i Y_{i\cdot} = \sum_j Y_{\cdot j} = \sum_i \sum_j Y_{ij}
 \end{aligned}$$

これは表-1に示すように一つの行列 $[X_{ij}]$ が与えられ、かつ求めるべき行列のすべての行和 $Y_{i\cdot}$ と列和 $Y_{\cdot j}$ が与えられたとき、もとの行列の $[X_{ij}]$ の性格をできるだけ保った行列 $[Y_{ij}]$ を求めるという問題である。

この方法には Detroit 法, Fratar 法, 塚原法などの計算方法がある^{1),2)}。

さらに求めるべき行列の要素 Y_{ij} が,

$$Y_{ij} = k \cdot k_{i\cdot} \cdot k_{\cdot j} \cdot X_{ij} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 k : すべての要素に対する定数

$k_{i\cdot}$: i 行のすべての要素に対する定数

$k_{\cdot j}$: j 列のすべての要素に対する定数

の構造をもつものとして、つぎの収束計算法も提案されている³⁾。

$$X_{ij}^{(l)} = k_{\cdot \cdot}^{(l)} \cdot k_{i\cdot}^{(l)} \cdot k_{\cdot j}^{(l)} \cdot X_{ij} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $X_{ij}^{(l)}$: 計算途中の l 回目の行列を示し $X_{ij}^{(0)}$

ははじめに与えられた行列、すなわち X_{ij} とする。

$$k_{\cdot \cdot}^{(l)} = \frac{Y_{\cdot \cdot}}{X_{\cdot \cdot}^{(l-1)}} \times \frac{Y_{\cdot \cdot}}{X_{\cdot \cdot}^{(l-1)}} \times \dots \times \frac{Y_{\cdot \cdot}}{X_{\cdot \cdot}^{(l-1)}}$$

$$k_{i\cdot}^{(l)} = \frac{Y_{i\cdot}}{C_{i\cdot}^{(l-1)}} \times \frac{Y_{i\cdot}}{C_{i\cdot}^{(l-1)}} \times \dots \times \frac{Y_{i\cdot}}{C_{i\cdot}^{(l-1)}}$$

$$k_{\cdot j}^{(l)} = \frac{Y_{\cdot j}}{C_{\cdot j}^{(l-1)}} \times \frac{Y_{\cdot j}}{C_{\cdot j}^{(l-1)}} \times \dots \times \frac{Y_{\cdot j}}{C_{\cdot j}^{(l-1)}}$$

$$C_{i\cdot}^{(l)} = \sum_j X_{ij}^{(l-1)} \times \frac{Y_{i\cdot}}{X_{i\cdot}^{(l-1)}}$$

$$C_{\cdot j}^{(l)} = \sum_i X_{ij}^{(l-1)} \times \frac{Y_{\cdot j}}{X_{\cdot j}^{(l-1)}}$$

この式によって $X_{ij}^{(l)}$ の計算をくり返せば、 $X_{ij}^{(l)}$ の値は常に式(1)に示す行列式の要素の構造を保っている。そうして $\sum_j X_{ij}^{(l)}$ が与えられた $Y_{i\cdot}$ に、また $\sum_i X_{ij}^{(l)}$ が与えられた $Y_{\cdot j}$ に収束するまで計算を進めることによって Y_{ij} が求められる。

(1) 都市の通勤交通への適用

これらの計算法は都市の通勤輸送の需要予測にもそのまま適用できる。すなわち任意の地区 m から地区 n に対するすべての区間流入交通量の現在 OD 表 $[{}^m X^n]$ が与えられ、かつ、将来のそれぞれの地区 m の供給人口 ${}^m Y_{\cdot}$ と地区 n の需要人口 $\cdot Y_n$ で別個の検討によって得られた場合、たとえば式(2)の反復計算によって合計 K

* 正会員 京都大学助教授 工学部交通土木工学教室

表-2 都市の通勤 OD 表の地区の限定

発		着	需要人口の少ない地区	就業者の主要な需要地区
			M'	$1'2'3' \dots n' \dots N'$
就業者の主要な供給地区	1 2 3 ⋮ m ⋮ M		$M \rightarrow M'$	$M \rightarrow N'$
			供給人口の少ない地区 N	$N \rightarrow M'$

個の地区間の将来 OD 表を求めることができる。

とくに朝の通勤交通流がほとんど一方向性である点に着目すれば、必要によりつぎのように地区を限定することによって近似値が得られる。すなわち対象とする通勤圏内の総計 K 個の地区のうち、供給人口の多い地区 M 個と需要人口の多い地区 N' 個を区別して OD 表を作成すると表-2 に示す 4 つの領域はそれぞれつぎのような昼間人口移動を表わしている。

$M \rightarrow M'$: 主として近郊住宅地区から近郊住宅地区へ

$N \rightarrow M'$: 主として都心事業所地区から近郊住宅地区へ

↕

$N \rightarrow N'$: 主として都心事業所地区内

これに対し、

$M \rightarrow N'$: 主として近郊住宅地区から都心事業所地区へ

↕

であり、都市交通機関の整備条件を論ずる場合には $M \rightarrow N'$ の範囲に示す一方向性の OD 表 [${}^m X^{n'}$] のみにより十分な予測値が得られると考えられる。すなわちこの場合に求めるべき将来 OD 表の各要素 ${}^m Y^{n'}$ は表-3 のようになる。以下においてはすべてこの将来 OD 表についてのべ、その作成方法と、さらにこれを利用して交通機関各路線の通勤輸送需要を予測する方法について考察することとする。

表-3 都市地区を限定した通勤 OD 表

O	D				$\sum m' = M'$	計
	1'	2'.....n'.....N'				
1	$1Y^1$	$1Y^2 \dots 1Y^{n'} \dots 1Y^{N'}$			$1Y^{M'}$	$1Y^{\cdot}$
2	$2Y^1$	$2Y^2 \dots 2Y^{n'} \dots 2Y^{N'}$			$2Y^{M'}$	$2Y^{\cdot}$
⋮	⋮	⋮			⋮	⋮
m	mY^1	$mY^2 \dots mY^{n'} \dots mY^{N'}$			$mY^{M'}$	mY^{\cdot}
⋮	⋮	⋮			⋮	⋮
M	MY^1	$M Y^2 \dots M Y^{n'} \dots M Y^{N'}$			$M Y^{M'}$	$M Y^{\cdot}$
$\sum n = N$	$N Y^1$	$N Y^2 \dots N Y^{n'} \dots N Y^{N'}$			$N Y^{M'}$	$N Y^{\cdot}$
計	$\cdot Y^1$	$\cdot Y^2 \dots \cdot Y^{n'} \dots \cdot Y^{N'}$			$\cdot Y^{M'}$	$\cdot Y^{\cdot}$

ここに ${}^m Y^{n'}$: 近郊地区 m から都心地区 n' への将来交通量 ≥ 0

$${}^m Y^{\cdot} = \sum_{n'=1}^{N'} {}^m Y^{n'} + {}^m Y^{M'}$$

$$\cdot Y^n = \sum_{m=1}^M {}^m Y^{n'} + N Y^{N'}$$

$$\cdot Y^{\cdot} = \sum_{m=1}^M {}^m Y^{\cdot} + N Y^{\cdot} = \sum_{n'=1}^{N'} \cdot Y^{n'} + \cdot Y^{M'}$$

(3) 都市における将来の通勤 OD 表の性格

ここに述べた将来 OD 表 [${}^m Y^{n'}$] を予測するためには、

[${}^m X^{n'}$]: 現在 OD 表

${}^m Y^{\cdot}$: 近郊 m 地区のそれぞれの総供給人口

$N Y^{\cdot}$: 近郊 1~ M 地区以外の供給人口の合計

$\cdot Y^{n'}$: 都心 n' 地区のそれぞれの総需要人口

$\cdot Y^{M'}$: 都心 1'~ N' 地区以外の需要人口の合計

が与えられれば、すでに述べたように式(2)その他の収束計算によって行列のそれぞれの要素を求めることができる。

ところで都市交通機関の通勤輸送需要に関して今後の推移を考えると、交通事象に関する一般的な分布モデルに比してつぎのような諸特性を指摘することができる。

a) 都市における近郊住宅地の供給人口、および都心事業所地域の需要人口はいずれも増加の一途であり、減少することは当面考えられない。すなわち

$${}^m Y^{\cdot} - {}^m X^{\cdot} = \Delta {}^m X^{\cdot} \geq 0$$

$$\cdot Y^{n'} - \cdot X^{n'} = \Delta \cdot X^{n'} \geq 0$$

b) 事業所の移転、既居住者の転宅などの要素は、全数からみるとその比率が小さいと考えられるので、各住宅地区の既居住者の通勤目的地の構成比は、一般的にみて今後においても変化しないと仮定することができる。

c) したがって将来の OD 表の構成に変化をおよぼす交通流は、各近郊地の供給する就業者の増分 $\Delta {}^m X^{\cdot}$ および都心各地区就業者の増分 $\Delta \cdot X^{n'}$ であることとなり、各地区の需要・供給就業人口の増加率 ${}^m Y^{\cdot} / {}^m X^{\cdot}$ 、 $\cdot Y^{n'} / \cdot X^{n'}$ ではなく $\Delta {}^m X^{\cdot}$ 、 $\Delta \cdot X^{n'}$ によって将来の分布交通量の構成を論じなければならないこととなる。

すなわち各地区の就業人口増分合計 ($\sum_n \Delta \cdot X^{n'} + \Delta \cdot X^{M'}$) がこれと同量の ($\sum_m \Delta {}^m X^{\cdot} + \Delta N X^{\cdot}$) で充足され、その各地区間交通量 $\Delta {}^m X^{n'}$ 、 $\Delta {}^m X^{M'}$ 、 $\Delta N X^{n'}$ が求められねばならないといえる。

この場合には ${}^m Y^{\cdot} / {}^m X^{\cdot}$ 、 $\cdot Y^{n'} / \cdot X^{n'}$ にもとづく場合と当然異なった分布交通量が得られ、抜本的な副都心造成や都心再開発の推進、大住宅団地の開発などが行なわれる場合などにおいて、とくに顕著にあらわれるように、増加率にもとづく方法の矛盾が現実にはそくした OD の構成に修正されると考えられるのでこの方法について考察する。

(4) 人口増分分布交通量の第一次近似値

このように各地区の需要・供給就業人口の増分 $\Delta {}^m X^{\cdot}$ 、 $\Delta \cdot X^{n'}$ によって将来の分布交通量を予測しようとする場合、Detroit 法、Fratar 法、塚原法などの計算法をただちに適用することはできない。なぜならばこれらはいずれも ${}^m Y^{\cdot} / {}^m X^{\cdot}$ 、 $\cdot Y^{n'} / \cdot X^{n'}$ が将来の分布交通量の基礎と

なっているからである。したがって、これらの代りに $\Delta^m X$ 、 $\Delta \cdot X^{n'}$ にもとづく収束計算法が必要であり、その場合の第1次近似値を求める方法をのべる。

まず地区 m から地区 n' に流入する就業人口の増分 $\Delta^m X^{n'}$ が、通勤目的地のいかんによって住宅地区を選定する場合の条件について考察する。

図-1 は供給地区を $m=1, 2, 3, 4$ 、需要地区を $n'=1', 2', 3'$ に分割した場合のモデルを示す。

図において、

- ${}^m X^{n'}$: m 地区から n' 地区への昼間流入人口
- ${}^m X$: m 地区から $n'=1' \sim 3'$ 地区への昼間流出人口合計
- $\cdot X^{n'}$: $m=1 \sim 4$ 地区から n' 地区への昼間流入人口合計

このモデルにおいて $m \rightarrow n'$ の両地区間について

$$\frac{{}^m X^{n'}}{{}^m X} = {}^m p^{n'} \cdot \frac{\cdot X^{n'}}{\cdot X} \dots\dots\dots (3)$$

とおくと、この ${}^m p^{n'}$ の値は、「 m からの総流出量のうち n' へ流入する比率は総移動量のうち n' に流入する比率の ${}^m p^{n'}$ 倍である」ことを意味する。同様に式 (3) を $\frac{{}^m X^{n'}}{\cdot X^{n'}} = {}^m p^{n'} \cdot \frac{{}^m X}{\cdot X}$ と変形すると、「 n' への総流入量のうち m からの比率が、総移動量のうち m からの流出量の比率の ${}^m p^{n'}$ 倍である」となり、全く同じ関係を表わしている。

そうしてこの ${}^m p^{n'}$ の値はまた、就業人口供給地区 m と需要地区 n' の間の結合度を、この交通圏全体の標準を1として表わした指数と考えることができる。

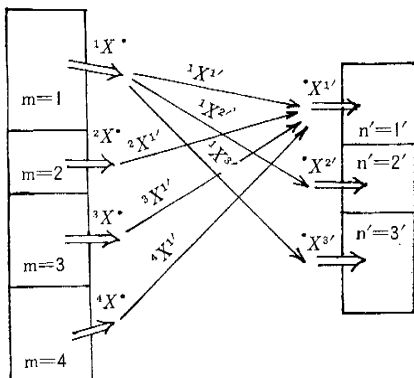
さきにのべたように、各近郊区の供給人口の増分 $\Delta^m X$ の通勤目的地、各都心地区の需要人口増分 $\Delta \cdot X^{n'}$ の供給地のそれぞれの比率に関しても一般には ${}^m p^{n'}$ の結合度がそのまま適合すると考えられるから、

$$\frac{\Delta^m X^{n'}}{\Delta^m X} = {}^m p^{n'} \cdot \frac{\Delta \cdot X^{n'}}{\Delta \cdot X}$$

すなわち

$$\Delta^m X^{n'} = {}^m p^{n'} \cdot \frac{\Delta^m X \cdot \Delta \cdot X^{n'}}{\Delta \cdot X} \dots\dots\dots (4)$$

図-1 近郊から都心への地区間流入比率のモデル



この式において

$$\begin{aligned} \Delta \cdot X^{n'} &= \cdot Y^{n'} - \cdot X^{n'}, \\ \Delta^m X &= {}^m Y - {}^m X, \\ \Delta \cdot X &= \cdot Y - \cdot X, \end{aligned}$$

であり、また ${}^m p^{n'}$ は式 (3) から

$${}^m p^{n'} = \frac{{}^m X^{n'}}{{}^m X} \cdot \frac{\cdot X}{\cdot X^{n'}}$$

でいずれも既知であるから、式 (4) により $\Delta^m X^{n'}$ を求めることができる。

また式 (4) の代りに

$$\begin{aligned} \Delta^m X^{n'} &= \frac{1}{2} \left(\frac{{}^m X^{n'}}{{}^m X} \cdot \Delta^m X + \frac{{}^m X^{n'}}{\cdot X^{n'}} \cdot \Delta \cdot X^{n'} \right) \\ &= \frac{{}^m X^{n'}}{2} \left(\frac{\Delta^m X}{{}^m X} + \frac{\Delta \cdot X^{n'}}{\cdot X^{n'}} \right) \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

によって $\Delta^m X^{n'}$ を求めることもできるが、この場合の OD 表 [$\Delta^m X^{n'}$] は式 (4) の場合と当然異なった構成となる。

こうして得た $\Delta^m X^{n'}$ はいずれも第1次近似値であるから $\Delta^m X^{n'}_{(1)}$ と記すと、 $\sum \Delta^m X^{n'}_{(1)}$ および $\sum_{n'} \Delta^m X^{n'}_{(1)}$ は、一般に $\Delta \cdot X^{n'}$ 、 $\Delta^m X$ に一致しないので、その偏差が許容範囲内と考えられない場合つぎの収束計算が行なわれる。

(5) 人口増分分布交通量の収束計算法

このようにして第1次近似値が得られた場合、人口増分に関する OD 表は表-4 のようになる。

すなわち表-1と同じ構成であるから第2次近似値以後においては増加率、

$$\frac{\Delta^m X_{(l)}}{\Delta^m X_{(l-1)}}, \frac{\Delta \cdot X^{n'}_{(l)}}{\Delta \cdot X^{n'}_{(l-1)}} (l \geq 2)$$

を用いてつぎのようにそれぞれの収束計算法が適用できる。

表-4 $\Delta^m X^{n'}$ の収束計算

(1) $\Delta^m X^{n'}$ の第1次近似値		
$\Delta^1 X^1_{(1)}$	$\Delta^1 X^2_{(1)} \dots \Delta^1 X^{n'}_{(1)} \dots \Delta^1 X^{N'}_{(1)}$	$\Delta^1 X_{(1)}$
$\Delta^2 X^1_{(1)}$	$\Delta^2 X^2_{(1)} \dots \Delta^2 X^{n'}_{(1)} \dots \Delta^2 X^{N'}_{(1)}$	$\Delta^2 X_{(1)}$
\vdots	\vdots	\vdots
$\Delta^m X^1_{(1)}$	$\Delta^m X^2_{(1)} \dots \Delta^m X^{n'}_{(1)} \dots \Delta^m X^{N'}_{(1)}$	$\Delta^m X_{(1)}$
$\Delta^M X^1_{(1)}$	$\Delta^M X^2_{(1)} \dots \Delta^M X^{n'}_{(1)} \dots \Delta^M X^{N'}_{(1)}$	$\Delta^M X_{(1)}$
$\Delta \cdot X^1_{(1)}$	$\Delta \cdot X^2_{(1)} \dots \Delta \cdot X^{n'}_{(1)} \dots \Delta \cdot X^{N'}_{(1)}$	$\Delta \cdot X_{(1)}$
(2) 求めるべき行列		
	$\Delta^m X^{n'} = ?$	$\Delta^1 X_{(1)}$
		$\Delta^2 X_{(1)}$
		\vdots
		$\Delta^m X_{(1)}$
		$\Delta^M X_{(1)}$
$\Delta \cdot X^1$	$\Delta \cdot X^2 \dots \Delta \cdot X^{n'} \dots \Delta \cdot X^{N'}$	$\Delta \cdot X$

a) Detroit 法

$$\Delta^m X^{n'}(l) = \Delta^m X^{n'}(l-1) \times \frac{\Delta^m X^*}{\Delta^m X^{*}(l-1)} \times \frac{\Delta \cdot X^{n'}}{\Delta \cdot X^{n'}(l-1)} \\ \times \frac{\Delta \cdot X^*(l-1)}{\Delta \cdot X^*} \rightarrow m p^{n'}(l-1) \frac{\Delta^m X^* \cdot \Delta \cdot X^{n'}}{\Delta^m X^* \cdot \Delta \cdot X^*} \\ (l \geq 2) \dots\dots\dots (6)$$

ここに

$$m p^{n'}(l-1) = \frac{\Delta^m X^{n'}(l-1)}{\Delta^m X^*(l-1)} \cdot \frac{\Delta \cdot X^*(l-1)}{\Delta \cdot X^{n'}(l-1)}$$

b) Fratar 法

$$\Delta^m X^{n'}(l) = \Delta^m X^{n'}(l-1) \times \left(\frac{\Delta^m X^*}{\Delta^m X^*(l-1)*} \times \frac{\Delta \cdot X^{n'}}{\Delta \cdot X^{n'}(l-1)} \right. \\ \left. + \frac{\Delta \cdot X^{n'}}{\Delta \cdot X^{n'}(l-1)*} \times \frac{\Delta^m X^*}{\Delta^m X^*(l-1)} \right) \times \frac{1}{2} \\ (l \geq 2) \dots\dots\dots (7)$$

ここに

$$\Delta^m X^*(l-1)* = \sum_{n'} \left(\Delta^m X^{n'}(l-1) \times \frac{\Delta \cdot X^{n'}}{\Delta \cdot X^{n'}(l-1)} \right)$$

$$\Delta \cdot X^{n'}(l-1)* = \sum_m \left(\Delta^m X^{n'}(l-1) \times \frac{\Delta^m X^*}{\Delta^m X^*(l-1)} \right)$$

c) 式(2)の方法

$$\Delta^m X^{n'}(l) = \Delta^m X^{n'}(l-1) \times \frac{\Delta^m X^*}{\Delta^m X^*(l-1)*} \\ \times \frac{\Delta \cdot X^{n'}}{\Delta \cdot X^{n'}(l-1)*} \times \frac{\Delta \cdot X^*}{\Delta \cdot X^*(l-1)} \\ (l \geq 2) \dots\dots\dots (8)$$

ここに $\Delta^m X^*(l-1)*, \Delta \cdot X^{n'}(l-1)*$ は式(7)と同じ。

式(6),(7),(8)によって得られる $\Delta^m X^{n'}(l)$ は、都市の通勤分布交通量に関して通常の Detroit 法, Fratar 法などによる $m X^{n'}(l)$ に比し合理的な値を与えるといえる。

ただし、この場合でも現実の需要予測に際しては、反復計算によって高められる予測の精度は必ずしも計算量に比例するとはいえないから、期待する精度が得られるという前提において収束計算の労力と費用の浪費を避ける配慮が必要である。

ここにのべた式(2)および式(8)の収束計算法を、通常の Fratar 法⁴⁾および人口増分による式(7)の Fratar 法と比較するため、一例として東京通勤圏の昭和 35 年度の現在パターンにもとづいて昭和 45 年度の通勤 OD 表を試算した。すなわち労働力供給地域 29 ゾーンと、主要な労働力需要地域 11 ゾーンの間分布交通量をこの4つの収束計算法によって求め、将来 OD 表の収束度として

$$|Y_i - \sum_j X_{ij}^{(l)}| = \varepsilon_i^{(l)}$$

および

$$|Y_j - \sum_i X_{ij}^{(l)}| = \varepsilon_j^{(l)}$$

を比較したのが表-5である。

この表において、たとえば第5次近似値の $\varepsilon_i^{(5)}, \varepsilon_j^{(5)}$ を比較すると、式(2)、式(8)は Fratar 法より収束度

表-5 4つの計算法の収束度の比較

計算回数	増加率法				増分法			
	Fratar 法		式(2)		Fratar 法		式(8)	
	$\varepsilon_i^{(l)}$	$\varepsilon_j^{(l)}$	$\varepsilon_i^{(l)}$	$\varepsilon_j^{(l)}$	$\varepsilon_i^{(l)}$	$\varepsilon_j^{(l)}$	$\varepsilon_i^{(l)}$	$\varepsilon_j^{(l)}$
1	60 856	43 808	20 086	28 437	125 466	68 962	125 466	68 962
2	9 873	10 760	2 779	2 787	10 664	10 890	7 056	5 996
3	2 497	2 275	382	364	2 241	1 787	467	717
4	633	567	65	57	468	364	37	101
5	165	145	32	42	113	101	19	33
6	55	55	33	41	35	48	19	25
7	44	44	41	31	25	31	18	26

がいちじるしく高いことがわかる。また Fratar 法は従来の他の収束計算法より収束度が高いことが知られている⁵⁾から、この面から式(2)、式(8)の計算法の優位性が明らかとなる。

またすでに述べたように、都市通勤 OD 表の予測に際しては、労働力供給・需要人口の増加率ではなく、それぞれの増分によることがのぞましいから、式(8)の収束計算法が他に比べて最もすぐれているといえることができる。

2. 都市交通網の通勤配分, 交通量の予測

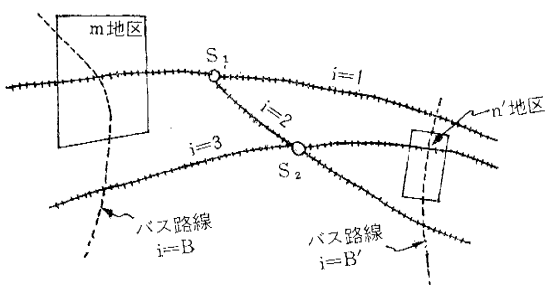
(1) 通勤利用路線に関する連関表

都市近郊の地区 m から都心の地区 n' に流入する通勤者がその経路として利用する交通網の相互接続関係に着目し、現在における交通量の分析結果にもとづいて地区 m 、地区 n' の将来の供給・需要人口の変化に対応するそれぞれの交通路線の輸送需要を予測する一方法を考察する。

すなわち 図-2 に示すモデルのように、近郊の地区 m から都心の地区 n' への流入手段として、 $i=1, 2, 3$ の3本の高速鉄道路線が考えられる場合、通勤者の利用するルートには徒歩、バスを含めそれぞれの乗換関係からみて、さまざまな組み合わせが考えられる。

すなわち各ルートの両端における徒歩も一つの交通手段とみなして $i=0$ 、バス(または路面電車)を $i=B$ の路線とし、たとえば地区 m 内の居住地からバスを利用して路線 $i=1$ のいずれかの駅から乗車し、駅 S_1 で路線 $i=2$ に乗り換え、そのいずれかの駅からバスを利用

図-2 $m \rightarrow n'$ 間の交通網のモデル



して地区 n' の通勤目的地に到着するルートをもつものと理解することができる。

また表-6の要素は ${}^m x'_{ij}$ であるが、

$${}^m x'_{ij} = \sum_{n'} {}^m x^{n'}_{ij}$$

$${}^n x'_{ij} = \sum_m {}^m x^{n'}_{ij}$$

を要素とする連関表を作成することにより、都市近郊の地区 m から流出する通勤者のみ、および都市の地区 n' に流入する通勤者のみによる各交通路線の交通量をそれぞれ分析することができる。

さらに

$${}^n x'_{ij} = \sum_m {}^m x'_{ij} = \sum_{n'} {}^n x^{n'}_{ij}$$

は昼間流入人口の合計に関する路線 i から路線 j への乗換者数であるから、この ${}^n x'_{ij}$ を要素とする連関表は、各交通路線のこの通勤圏全域に関する相互依存関係を表わしている。

このように ${}^m x^{n'}_{ij}$, ${}^m x'_{ij}$, ${}^n x^{n'}_{ij}$, ${}^n x'_{ij}$ を各要素とする連関表（それぞれ ${}^m x^{n'}_{ij}$ -表, ${}^m x'_{ij}$ -表, ${}^n x^{n'}_{ij}$ -表, ${}^n x'_{ij}$ -表という）はいずれも各路線の接続に着目して、ある都市通勤体系における交通機関利用の相互依存関係を表わしているの、以下これらを路線連関表と総称し、各要素を単に x_{ij} で示すこととする。

(2) 路線連関表の応用

ここに述べた路線連関表は、一例としてつぎのように通勤輸送の分析および予測に応用することができる。

a) 通勤交通の現状分析

この方法による分析を試行するため、東京都心3区内に勤務する約3400人に対するサンプル調査⁹⁾の結果からまず小規模な路線連関表を作成した。このうち西武新宿線を最寄路線とする地区内の居住者(計118人)に関する部分のみを表-7に示す。これは西武新宿線最寄地区を m 、都心3区を n' とする ${}^m x^{n'}_{ij}$ -表といえる。実用的にはサンプル数も不足であり、また n' をさらに細分化すべきは当然であるが、つぎにその応用方法を述べる。

① 徒歩およびバス利用者数：徒歩による当初利用路線の内訳は第1行に、乗車駅までのバス利用者の当初利用鉄道路線別内訳は第2行のバス発の欄に示されている。さらに駅勢圏の構成要因を分析するためには、任意の列を駅別に細分化したり、徒歩およびバスの行を所要時間帯に細分化し、 ${}^m X'_{ij}$ -表、 ${}^n X'_{ij}$ -表について分析することが有意義である。

② 路線相互の乗換人数：路線連関表の各要素は相互乗換者数そのものであり、路線 i の列を縦にみれば他の各路線からの乗換者数がわかり、またその合計が他の各路線へ配分されてゆく構成は i 路線の行に示され、その合計は常に等しい。

ここに x_{ij} は各路線間の合計であるが、乗換駅の区別がとくに必要な場合には路線網の構成からみて、乗換箇所を同時に表記することも容易である。これを累計し

(00')	(0B0')	(0BB'0')			
(010')	(0120')	(01230')	(030')	(0320')	
(0B10')	(0B120')	(0B1230')	(0B30')	(0B320')	
(01B'0')	(012B'0')	(0123B'0')	(03B'0')	(032B'0')	
(0B1B'0')	(0B12B'0')	(0B123B'0')	(0B3B'0')		
(0B32B'0')					

これらのすべてのルートの利用者の合計、すなわち、地区 m から地区 n' に流入する全通勤者の利用路線の相互関連性を表-6のように示すことができる。

表-6 地区 m から地区 n' への路線連関表 (${}^m x^{n'}_{ij}$ 表)

	B	1	2	3	B'	0'	計
0	${}^m x^{n'}_{0B}$	${}^m x^{n'}_{01}$	${}^m x^{n'}_{02}$	${}^m x^{n'}_{03}$	${}^m x^{n'}_{0B'}$	${}^m x^{n'}_{00'}$	${}^m X^{n'}_0$
B	0	${}^m x^{n'}_{B1}$	${}^m x^{n'}_{B2}$	${}^m x^{n'}_{B3}$	${}^m x^{n'}_{BB'}$	${}^m x^{n'}_{B0'}$	${}^m X^{n'}_B$
1	${}^m x^{n'}_{1B}$	0	${}^m x^{n'}_{12}$	${}^m x^{n'}_{13}$	${}^m x^{n'}_{1B'}$	${}^m x^{n'}_{10'}$	${}^m X^{n'}_1$
2	${}^m x^{n'}_{2B}$	${}^m x^{n'}_{21}$	0	${}^m x^{n'}_{23}$	${}^m x^{n'}_{2B'}$	${}^m x^{n'}_{20'}$	${}^m X^{n'}_2$
3	${}^m x^{n'}_{3B}$	${}^m x^{n'}_{31}$	${}^m x^{n'}_{32}$	0	${}^m x^{n'}_{3B'}$	${}^m x^{n'}_{30'}$	${}^m X^{n'}_3$
B'	${}^m x^{n'}_{B'B}$	${}^m x^{n'}_{B'1}$	${}^m x^{n'}_{B'2}$	${}^m x^{n'}_{B'3}$	0	${}^m x^{n'}_{B'0'}$	${}^m X^{n'}_{B'}$
計	${}^m X^{n'}_{\cdot B}$	${}^m X^{n'}_{\cdot 1}$	${}^m X^{n'}_{\cdot 2}$	${}^m X^{n'}_{\cdot 3}$	${}^m X^{n'}_{\cdot B'}$	${}^m X^{n'}_{\cdot 0'}$	${}^m X^{n'}_{\cdot \cdot}$

この表において、

${}^m x^{n'}_{ij}$: 近郊の地区 m から都心の地区 n' へ流入する (以下 $m \rightarrow n'$ と記する) ため、路線 i から路線 j へ乗り換える交通量

${}^m X^{n'}_{\cdot i}$: $m \rightarrow n'$ のため、路線 i から他の路線に乗り換える交通量の合計

$${}^m X^{n'}_{\cdot i} = \sum_j {}^m x^{n'}_{ij}$$

${}^m X^{n'}_{\cdot j}$: $m \rightarrow n'$ のため他の路線から路線 j に乗り換える交通量の合計

$${}^m X^{n'}_{\cdot j} = \sum_i {}^m x^{n'}_{ij}$$

ここに ${}^m X^{n'}_{\cdot i}$ (または ${}^m X^{n'}_{\cdot j}$) は $m \rightarrow n'$ のため路線 i (または、路線 j) のいずれかの区間を利用する交通量の合計であるから当然次式が成立する。

$${}^m X^{n'}_{\cdot 1} = {}^m X^{n'}_{\cdot 1}, \quad {}^m X^{n'}_{\cdot 2} = {}^m X^{n'}_{\cdot 2}, \dots, \\ {}^m X^{n'}_{\cdot k} = {}^m X^{n'}_{\cdot k}$$

また ${}^m X^{n'}_{\cdot 0'} = {}^m X^{n'}_{\cdot 0'}$ は式(3)の ${}^m X^{n'}$ に等しい。

さらに、この表において

${}^m x^{n'}_{0j}$: $m \rightarrow n'$ のため路線 j を最初の利用路線とする交通量

${}^m x^{n'}_{i0'}$: $m \rightarrow n'$ のため路線 i を最終の利用路線とする交通量

であり、この2つをそれぞれ付加価値、および最終需要と考えることにより、表-6は産業連関表と全く同じ構

表一 路線連関表の一例 (西武新宿線を最寄路線とする地区から都心3区に対して)

降 車	乗 車	バ ス	国 鉄 中 央 線	西 武		国 鉄			地 下 鉄		バ ス	都 電	徒 歩 (最 終 要)	歩 路 要	合 計	路 線 別 合 計
				池袋線	新宿線	山 手 線		総武線	丸の内線	銀座線						
						内回り	外回り									
徒 歩 (付加価値)		33	9	3	73										118	118
バ	ス		26	1	3					3					33	33
国 鉄 中 央 線	大久保以迄から					1			1	4		2			1	7
	新宿線														0	0
国 鉄 中 央 線	お茶の水へ							9						7	16	16
	神田へ										1			10	11	11
国 鉄 中 央 線	新宿から								1					1	1	1
	お茶の水へ													2	3	3
国 鉄 中 央 線	神田へ													4	4	4
	東京へ													8	8	8
西 武	池袋線							1		3					4	4
西 武	新宿線							31		45					76	76
国 鉄	山手線		16											9	32	32
	内外回り													10	10	10
国 鉄	総武線													9	9	9
地 下 鉄	丸の内線									1				1	2	2
	新宿から									18				28	46	46
地 下 鉄	四谷から									2				2	4	4
	池袋から													3	3	3
地 下 鉄	銀座線													21	21	21
バ 都	ス													1	1	1
	電													2	2	2
合 計		33	51	4	76	32	10	9	55	21	1	2	118	411	411	411

た x_{ij} -表によれば、すべてのターミナル駅における各路線間の相互乗換交通量が明らかになる。

③ 区間別交通量：相互乗換路線および乗換駅を考慮して x_{ij} -表の要素を集計すれば各路線について乗換駅間の通過交通量が得られる。また必要により表一7に示す $m \cdot x'_{ij}$ -表の中央線の行のように細分することにより、 x_{ij} -表についても乗車駅、降車駅をも区別することが可能となる。

④ 地区別平均乗換回数：計 $m \cdot X'_{i0}$ 人の通勤者の総乗換回数 $m \cdot X'_{..}$ のうちには $m \cdot X'_{i0}$ および $m \cdot X'_{i0}$ が含まれているのでバスを含む純乗換回数の1人当り平均は

$$\frac{m \cdot X'_{..} - 2 \cdot m \cdot X'_{i0}}{m \cdot X'_{i0}}$$

また利用する交通機関数の1人当り平均は

$$\frac{m \cdot X'_{..} - m \cdot X'_{i0}}{m \cdot X'_{i0}}$$

となり、これらの値は、地区 m から地区 n' に流入するための鉄道網の整備の程度をあらわす指標といえることができる。

b) 通勤交通需要の予測 将来の各路線別交通需要を予測するためつぎのように路線連関表を応用することができる。

① 最終需要の変化に対応する交通量：路線連関表

が、諸種の経済分析に広く応用されている産業連関表と同じ構成をもっていることについてはすでに述べた。

ところで、産業連関表の最も代表的な利用法は、その体系の外部から将来の最終需要を与え、投入係数を一定、すなわち各産業の投入量は産出量に比例するという仮定により、通常逆行列を利用して各産業間の需給を予測することである^{7),8)}。

これをそのまま路線連関表に適用すると、最終需要は x_{ij} -表における $0'$ 列の要素 x'_{i0} 、すなわち各路線を最終利用機関とする通勤者総数であり、たとえば各地区 n' 内における将来の就業人口需要から、路線 i の将来の最終利用者数 y'_{i0} を想定することができる。

つぎに、産業連関表の投入係数に対応するのは次式の a_{ij} であり、 x_{ij} -表の数値によって容易に求められる。

$$\frac{x'_{ij}}{X'_{..j}} = a_{ij} \dots \dots \dots (9)$$

たとえば地下鉄新線の開通のように線路網の構成や、近郊地域の人口増加率のいちじるしい不均衡がない場合、これらの係数 a_{ij} をそれぞれ一定と仮定することができるから、産業連関表の場合と全く同じ手法によって、将来における y'_{ij} -表をつくることができる。

すなわち、図一2に示す交通網のモデルにおいては、

$$\sum_j y'_{ij} + y'_{i0} = Y'_i \quad (i=j=B, 1, 2, 3, B')$$

したがって

$$\sum_j 'a'_{ij} \cdot Y_{.j} + 'y'_{i0'} = 'Y'_{.i} \quad (i=j=B,1,2,3,B')$$

$$\dots\dots\dots(10)$$

が成立する。ここに y_{ij} , Y_{ij} は、表-1 に示すように、それぞれ x_{ij} , X_{ij} の将来値である。

この式において、 $'y'_{i0'}$ はすでにのべたように体系の外部から与えられ、

$$'Y'_{.k} = 'Y'_{.k} \quad \text{かつ} \quad 'a'_{kk} = 0$$

であるから、この連立方程式を解き、次式によって $'Y'_{.j}$ ($j=B,1,2,3,B'$)、したがって将来の路線連関表の各要素

$$'y'_{ij} = 'a'_{ij} \cdot Y_{.j}$$

を求めることができる。

$$\begin{pmatrix} 'Y'_{.B} \\ 'Y'_{.1} \\ 'Y'_{.2} \\ 'Y'_{.3} \\ 'Y'_{.B'} \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} -1 & 'a'_{B1} & 'a'_{B2} & 'a'_{B3} & 'a'_{BB'} \\ 'a'_{1B} & -1 & 'a'_{12} & 'a'_{13} & 'a'_{1B'} \\ 'a'_{2B} & 'a'_{21} & -1 & 'a'_{23} & 'a'_{2B'} \\ 'a'_{3B} & 'a'_{31} & 'a'_{32} & -1 & 'a'_{3B'} \\ 'a'_{B'B} & 'a'_{B'1} & 'a'_{B'2} & 'a'_{B'3} & -1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 'y'_{B0'} \\ 'y'_{10'} \\ 'y'_{20'} \\ 'y'_{30'} \\ 'y'_{B'0'} \end{pmatrix}$$

すでに述べたように、この手法は $'y'_{ij}$, $'Y'_{.j}$, $'y'_{i0'}$, $'y'_{ij}$ のいずれの予測にも適用可能であり、そのそれぞれの場合について、たとえば本節 a) に述べた分析により、将来の乗換関係や、区間別交通量などを予測することができる。

② 供給・需要地区の就業人口増加に対応する交通量：ここでは都市近郊の地区 m および都心の地区 n' の将来における就業者の供給量 $'mY'$ と需要量 $'n'Y'$ がそれぞれ与えられた場合について、路線連関表を応用する手法を述べる。

まず何らかの方法、たとえば式(6),(7),(8)のいずれかにより、表-3 の将来 OD 表 $['mYn']$ が得られた場合、将来における路線連関表 y_{ij} -表 を作成する手法を考察する。

たとえば、都市交通網の構成に変化がないとし、表-6 に示す $'mXn'$ -表の構成比率は、 m から n' に流入する将来の昼間移動人口 $'mYn'$ のいかにかわらず常に一定に保たれると仮定する。すなわち ① において最終路線利用者数の比 $x_{i0'}/X_{.0'}$ をそれぞれ一定とした場合に相当し、この場合には、将来における路線連関表の構成要素 $'mYn'$ に関して次式が成立する。

$$'mYn'_{ij} = 'mXn'_{ij} \cdot 'mXn'_{ij} \dots\dots\dots(11)$$

ここに

$$'mXn'_{ij} = \frac{'mYn'_{ij}}{'mXn'_{ij}}$$

$$'mYn'_{ij} = 'mYn'_{ij} \dots\dots\dots$$

$$'mXn'_{ij} = 'mXn'_{ij} \dots\dots\dots$$

したがってこの都市通勤圏全域における将来の路線相互依存関係を示す $'y'_{ij}$ -表の構成要素 $'y'_{ij}$ は

$$'y'_{ij} = \sum_m \sum_{n'} 'mXn'_{ij} \cdot 'mXn'_{ij} \dots\dots\dots(12)$$

によって与えられる。

この将来における路線連関表を ① の場合と同様に本節 a) にのべた手法により分析すれば、各路線の乗換関係、および区間別交通需要を予測することができる。そしてこの値がそれぞれの区間の輸送容量を超過する箇所を見出すと同時にその超過量を知ることによって、適正な都市交通網整備計画を策定することが可能となる。

3. む す び

都市における将来の通勤交通需要を予測する場合、都市の経済規模や土地利用計画などによって都心や都市近郊のそれぞれの地区ごとの就業人口の需要、供給量を知り、これによって地区間の分布交通量を求めるための合理的、かつ効果的な収束計算法を提案した。

さらに、交通網の相互依存関係を表わす連関表を提案し、これを利用して交通機関の路線別の将来の需要配分交通量を乗換駅の区間別に予測しうることを述べた。

この方法によれば、都心・近郊の各地区ごとの今後の発展の差異や、各路線間の関連性を考慮した合理的な交通需要予測が可能となると考える。

参 考 文 献

- 1) 米谷栄二・渡辺新三・毛利正光：交通工学，昭 40.3，国民科学社，pp. 169~196
- 2) 佐々木恒一・小林八一：道路交通量の推定，昭 37.10，交通日本社，pp. 71~82
- 3) 横山勝義編：輸送・運搬における OR 技法，昭 39.10，培風館，pp. 85~92
- 4) T.J. Fratar：“Forecasting Distribution of Internal Vehicular Trips by Successive Approximations”，Proc. of the 33 Annual Meeting of Highway Research Board, 1954
- 5) 建設省近畿地方建設局編：大阪周辺における交通量の解析と推計方法について，1963.4.
- 6) 通勤輸送に関する質的調査，昭 39.11 実施，国鉄東京鉄道管理局
- 7) 通産大臣官房調査統計部編：日本経済の産業連関分析，昭 32，東洋経済新報社，pp. 3~17
- 8) 森嶋通夫：産業連関論入門，昭 37.5，創文社 pp. 7~25

(1965. 6.18・受付)