Ⅳ〜2

路線別輸送需要予測に関する一考察

京都大学工学部　正員　天野光三
京都大学大学院　学生員　○森　眞彦

<u>まえがき</u>　交通量の増加に対応して交通施設を整備してゆかねばならないが、大都市とその近郊の鉄道路線網において最大の輸送能力を要求するのは通勤輸送である。したがって今後、輸送能力を整備してゆくにあたっては将来の通勤者の輸送需要を予測することが重要な課題となる。本文では郊外住宅地における発生交通量と各路線から他の路線への分岐の比率、さらにそれぞれの発生地点からそれぞれの吸収地点への起終点交通量いわゆるOD交通量が別途の何らかの方法で推定された場合に、それぞれの郊外住宅地を出る通勤者がいかなる路線を経て目的地に到達するかということを推定し、それにもとづいて将来の路線別輸送需要を予測する方法について考察した。

<u>推定の一方法</u>　まず都市の通勤交通に対して吸収マルコフ連鎖の理論を適用して各地点(*node*)間の通過交通量を解析する。いま通勤交通の発生地数をM, 吸収地数をN, 路線網の区間(*link*)数をLとする。また*link* iから*link* jへの分岐の比率を行列の(i,j)要素とするような行列（遷移確率行列）を考える。

$$P=(p_{ij})=\left(\begin{array}{c|c} I & O \\ \hline R & Q \end{array}\right) \cdots\cdots (1)$$

I : Nの元をもつ単位行列
O : $N\times(M+L)$の零行列
R : $(M+L)\times N$　　Q : $(M+L)\times(M+L)$

ここでQについては、　$I+Q+Q^2+\cdots = (I-Q)^{-1}$ $\cdots\cdots$ (2)

という関係式が成立つ。この行列$(I-Q)^{-1}$の(i,j)要素は*link* iを出発または経由した人がまわりまわって*link* jを通過する回数の期待値を表わしている。この性質によって郊外住宅地の発生交通量を$\mathcal{U}=(u_1,u_2,\cdots,u_m,\cdots,u_M)$, 都心部の吸収交通量を$\mathcal{V}=(v_1,v_2,\cdots,v_n,\cdots,v_N)$, 各*link*の通過交通量を$\mathcal{X}=(x_1,x_2,\cdots,x_l,\cdots,x_L)$とすれば、$\mathcal{X}$, $\mathcal{V}$は次式によって求められる。

$$(\mathcal{U},\mathcal{X})=(\mathcal{U},0)(I-Q)^{-1} \cdots\cdots (3)$$

$$\mathcal{V}=(\mathcal{U},\mathcal{X})R=(\mathcal{U},0)(I-Q)^{-1}R \cdots\cdots (4)$$

つぎにOD交通量が与えられた場合に、いかなる路線を経て目的地に到達するかについて考察する。一つの発生地から一つの吸収地に向かう交通流についても可能な経路が多数存在するのが普通である。目的地に行ける経路が二通り以上ある場合には、通勤者は何らかの基準でその経路の優劣を判断して路線を選択しているはずである。一つの発生地と一つの吸収地との間に多数の経路があるときに路線選択の基準となるものはいろいろ考えられるが、目的地までの所要時分は最も重要な要素であるので、たとえば所要時分のみによって最適経路（最短経路）から次適経路，三適経路といった具合に順位がつけられる。一般にはOD交通量は最適経路に最も多く流れ、次適経路、三適経路となるにしたがって少なくなる。発生地mと吸収地nの間の交通量のうちk適経路を流れる量を${}^{m}\overset{(k)}{x}{}^{n}$とし、*link* lを通れば*link* lの交通量を${}^{m}\overset{(k)}{x}{}^{n}_{l}$とする。いまは各起終点について$K$適経路まで考えることにする。発生地$m$から吸収地$n$へのOD交通量が${}^{m}X^{n}$で与えられているとすれば次ずが

成立つ。 $$ {}^{m}X^{n} = \sum_{k=1}^{K} {}^{m}x^{(k)n} \quad \cdots\cdots (5) $$

また $$ {}^{m}x_{l}^{(k)n} = \begin{cases} {}^{m}x^{(k)n} \geq 0 & \text{m から n への k 通経路が link } l \text{ を含むとき} \\ 0 & \text{m から n への k 通経路が link } l \text{ を含まないとき} \end{cases} \quad \cdots\cdots (6) $$

ここで次のような式を考える。

$$ f = \sum_{l=1}^{L} \left(\sum_{m=1}^{M} \sum_{n=1}^{N} \sum_{k=1}^{K} {}^{m}x_{l}^{(k)n} - X_{l} \right)^2 \quad \cdots\cdots (7) $$

(5), (6) という制約条件のもとで(7)式の f を最小にする ${}^{m}x^{(k)n}$ を求めるという二次計画法の問題として近似的に各OD交通量がいかなる路線を経て流れるかを推定できると考えられる。

簡単な例によって説明しよう。図-1 のような路線網を考えれば区間交通量は式(3)を用いて、それぞれ表-2の最下欄に記入してあるように求まる。つぎに表-1のようにOD交通量が与えられている場合について各OD交通量が経由する路線を求めよう。このためにはまず

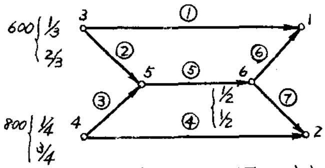

図-1 発生交通量と遷移確率

O＼D	1	2	計
3	300	300	600
4	200	600	800
計	500	900	1400

表-1 OD交通量

O	D＼link	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	k	交通量
3	1	✓							1	x_1
	1		✓			✓	✓		2	x_2
3	2		✓			✓		✓	1	x_3
4	1			✓		✓	✓		1	x_4
4	2				✓				1	x_5
	2			✓		✓		✓	2	x_6
区間交通量		200	400	200	600	600	300	300		

表-2 経路別交通量

(5), (6) より
$$ \left.\begin{aligned} x_1 + x_2 - 300 &= 0 \\ x_3 - 300 &= 0 \\ x_4 - 200 &= 0 \\ x_5 + x_6 - 600 &= 0 \end{aligned}\right\} \cdots\cdots (8) $$

という制約条件のもとで

$$ f = (x_1 - 200)^2 + (x_2 + x_3 - 400)^2 + (x_4 + x_6 - 200)^2 + (x_5 - 600)^2 + (x_2 + x_4 - 300)^2 + (x_3 + x_6 - 300)^2 \cdots\cdots (9) $$

を最小にする $x_1, x_2, \cdots, x_6$ を求めることになる。このような制約条件が若干個の等式で与えられている極値問題の解法にラグランジュの未定係数法がある。これによって解くと $x_1 = 200,\ x_2 = 100,\ x_3 = 300,\ x_4 = 200,\ x_5 = 600,\ x_6 = 0$ となり各OD交通量の経路がわかる。

あとがき　以上に述べた路線別あるいは区間別輸送需要の推定法は各起終点について経路を多く考えればそれだけ正確な推定ができる。上の例では、簡単な路線網を考えたので各起終点について可能なすべての経路の交通量を変数に採用した。しかし一般の路線網は複雑であり、同じOD交通量についても数多くの可能な経路が考えられ、各経路の交通量をすべて変数にとると膨大な数になる。通勤交通については、ほとんどの通勤者は上位の経路に集中しているので3通経路程度まで考えれば、かなり正確な推定ができるのではないかと考えられる。以上によって現在の各起終点についての優位性からみたいろいろの経路の交通量がわかれば、将来のOD交通量についても、同一OD交通量については将来も現在と分岐の比率がかわらないと仮定することによって、別途の方法によって得られた将来のOD交通量を用いて、路線別あるいは区間別交通量を推定することが可能となる。