Ⅳ～1

旅客輸送網計画に関する一考察

京都大学大学院　学生員　河上省吾

1. はじめに　都市内の各地点間の将来の旅客輸送需要が予測されたとき、それをさばくための輸送体系としてはいかなるものが最適であるかという問題がある。すなわち、いかなる輸送機関を採用し、輸送需要に対してどのような輸送網を構成するのが最も合理的であるかという問題である。本研究においては、合理的な輸送体系とは、全旅客の輸送費用と輸送所要時間を金額に換算した時間費用の総和が最小になるものであると考え、輸送網各部分に採用する最適輸送機関を決定する方法について検討する。ここでは、輸送需要が与えられたとき、まず輸送網の網構成を決め、つぎに旅客を配分し、配分された旅客に最も適した輸送機関の決定を行なうという方法により、最適輸送体系への接近を試みる。旅客輸送機関としては、バスと高速鉄道を考える。

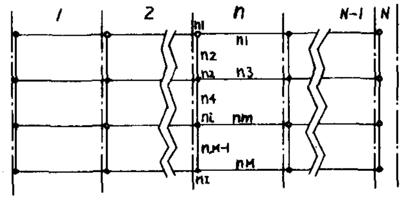
2. 輸送網への旅客の配分　都市内各地点間の旅客輸送需要が表－1のようなOD表の形で与えられたとき、まずいかなる輸送網を構成すべきかを決める。既存の都市施設のまったく存在しない原野に新都市を建設するのでない限り、輸送施設の建設費や用地取得の関係から、一般には既設の道路またはその他の輸送施設に利用しやすい地帯を輸送機関の路線に利用せざるを得ないから、まず都市施設の面より輸送網の構成を決める。輸送網が決まるとこれに旅客を配分しなければならないが、ここでは都市内の旅客輸送を円滑に、能率よく行なうためにはすべて最短経路で輸送するのが望ましいという仮定を設ける。そして、与えられた地点間OD旅客を輸送網に最短経路で配分し、輸送網上各区間の通過人員を求める。輸送網における最短経路はグラフの理論を応用して見つけることができる。　旅客輸送は最短経路で行なうべきであるという仮定は必ずしも正しくないが、ここでは輸送網上の通過人員を求める一方法として、便宜的にこの仮定を導入したわけである。今後、より合理的な配分方法の確立に努める必要があることは言うまでもない。

表－1

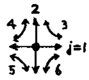
O＼D	1	2	----	n	----	N
1	0	P_{12}		P_{1n}		P_{1N}
2	P_{21}	0		P_{2n}		P_{2N}
⋮						
n	P_{n1}	P_{n2}		0		P_{nN}
⋮						
N	P_{N1}	P_{N2}		P_{Nn}		0

3. 輸送網上の輸送機関の決定　輸送網の各区間における通過人員から、その区間で採用すべき最適輸送機関を決める方法を述べる。ここでは、バスと高速鉄道の輸送人員による輸送機関としての優劣（輸送人員が少ないときはバスが、多くなると高速鉄道が有利となる）と両輸送機関の接続点での乗換えによる不便さを考慮する。また最短経路経由の原則で旅客を配分したときは、ある区間の通過人員が高速鉄道が優位となる輸送人員に達しなくても、高速鉄道を建設することにより輸送速度が速くなると（運賃と乗換えの不便さを考慮すべきだが）輸送人員が増加することもあるが、ここではこのような場合は考慮しない。　輸送網として図－1で与えられるものを考える。図に鎖線―・―・―で示したような境界線を設けて、輸送網を分割する。この分割でできた小部分を区域とよび、区域の境界線または路線の交点で区切られた線分を区間とよぶ。区域を1, 2, …, n, …, Nで

表わし、区域nの区間を図のように$n1, n2, \cdots, nm, \cdots, nM$で表わす。また路線相互または路線と区域境界線の交点は$n1, n2, \cdots, ni, \cdots, nI$で表わす。区域の分割に際しては区域$n$の区間$(n, 2i-1)(n, 2i+1)$の間を結ぶ路線は1本以下であるようにする。区間$nm$の通過人員は$R_{nm}$で表わし、交点$ni$での通過人員は方向別に$S_{ni}^{j}$（$j$は図－2の方向を示す）で表わす。いま、区間$nm$の1人当たり単位距離当たりの輸送機関$k$の輸送費を$C_{nm}^{k}$,（$k=1$ or 2, 1＝バス, 2＝高速鉄道）とし、区間距離をD_{nm}で、各区間の使用輸送機関をk_{nm}（$=1$ or 2）で表わす。そして、バスと高速鉄道の接続点での乗換所要時間をtとし、1人当たりの時間価値をa、輸送機関の速度をv_kとすると、区域nでの総輸送費（輸送費＋時間費用）は次のようになる。



図－1



図－2

$$Y_n(k_{n1}, k_{n2}, \cdots, k_{nm}, \cdots, k_{nM}) = \sum_{m=1}^{M} R_{nm} D_{nm}\left(C_{nm}^{k_{nm}} + a/v_{k_{nm}}\right) + \sum_{i=1}^{I} at\Big\{(k_{n,2i-1} \sim k_{n-1,2i-1})S_{ni}^{1} + (k_{n,2i-2} \sim k_{n,2i})S_{ni}^{2} + (k_{n,2i-1} \sim k_{n,2i-2})S_{ni}^{3}$$

$$+ (k_{n,2i-2} \sim k_{n-1,2i-1})S_{ni}^{4} + (k_{n-1,2i-1} \sim k_{n,2i})S_{ni}^{5} + (k_{n,2i} \sim k_{n,2i-1})S_{ni}^{6}\Big\} \qquad (1)$$

ここに、 $S_{n1}^{2} = S_{n1}^{3} = S_{n1}^{4} = 0$, $S_{nI}^{2} = S_{nI}^{5} = S_{nI}^{6} = 0$ である。

与えられた輸送網の各区間で最適輸送機関を採用するとき、この輸送体系での総輸送費Y

$$Y = \sum_{n=1}^{N} Y_n(k_{n1}, k_{n2}, \cdots, k_{nm}, \cdots, k_{nM}) \qquad (2)$$

は最小にならなければならない。すなわち、Yを最小にする$\{k_{nm}\}$, $n=1, 2, \cdots, N$, $m=1, 2, \cdots, M$, を求めれば各区間の最適な輸送機関を決定することができる。そこで、以下にDynamic Programmingの手法を応用してYを最小にする$\{k_{nm}\}$を求める方法を示す。まず次の関数を定義する。

$$f_n(k_{n-1,1}, k_{n-1,3}, \cdots, k_{n-1,M}) = \underset{\{(k_{l1}, k_{l2}, \cdots, k_{lm}, \cdots, k_{lM})\}}{Min} \sum_{l=n}^{N} Y_l(k_{l1}, k_{l2}, \cdots, k_{lm}, \cdots, k_{lM}), \qquad k_{om} = 0 \qquad (3)$$

そうすると $f_1(0, 0, \cdots, 0) = \underset{\{(k_{l1}, k_{l2}, \cdots, k_{lm}, \cdots, k_{lM})\}}{Min} \sum_{l=1}^{N} Y_l(k_{l1}, k_{l2}, \cdots, k_{lm}, \cdots, k_{lM})$ (4) が輸送網全体の最適計画における総輸送費を表わしており、このときの$\{(k_{l1}, k_{l2}, \cdots, k_{lm}, \cdots, k_{lM})\}$を求めれば輸送網各区間における最適輸送機関を求めることができる。いま式(3)を用いると

$$f_{n-1}(k_{n-2,1}, k_{n-2,3}, \cdots, k_{n-2,M}) = \underset{(k_{n-1,1}, k_{n-1,2}, \cdots, k_{n-1,m}, \cdots, k_{n-1,M})}{Min} \left\{Y_n(k_{n-1,1}, k_{n-1,2}, \cdots, k_{n-1,m}, \cdots k_{n-1,M}) + f_n(k_{n-1,1}, k_{n-1,3}, \cdots, k_{n-1,M})\right\} \qquad (5)$$

という$n=1, 2, \cdots, N$に対する繰返しの関係を得る。また$f_{N+1}(0, 0, \cdots, 0) = 0$であるから次式を得る。

$$f_N(k_{N-1,1}, k_{N-1,3}, \cdots, k_{N-1,M}) = \underset{(k_{N,2}, k_{N,4}, \cdots, k_{N,M-1})}{Min} \left[\sum_{h=1}^{\frac{M-1}{2}} R_{N,2h} D_{N,2h}\left(C_{N,2h}^{k_{N,2h}} + \frac{a}{v_{k_{N,2h}}}\right) + \sum_{i=1}^{I} at\Big\{(k_{N,2i-2} \sim k_{N,2i})S_{Ni}^{2} + (k_{N,2i-2} \sim k_{N-1,2i-1})S_{Ni}^{4} + (k_{N-1,2i-1} \sim k_{N,2i})S_{Ni}^{5}\Big\}\right] \qquad (6)$$

ここに、$S_{N1}^{2} = S_{N1}^{4} = 0$, $S_{NI}^{2} = S_{NI}^{5} = 0$ である。 式(6)により$(k_{N-1,1}, k_{N-1,3}, \cdots, k_{N-1,M})$の各組合せ（$2^{M+1/2}$通り）に対する$f_N(k_{N-1,1}, k_{N-1,3}, \cdots, k_{N-1,M})$を求めると、式(5)の繰返し関係を用いて$f_n(k_{n-1,1}, k_{n-1,3}, \cdots, k_{n-1,M})$を順次求めることができる。そして$f_2(k_{1,1}, k_{1,3}, \cdots, k_{1,M})$が求まると次式(7)によって$f_1(0, 0, \cdots, 0)$を求めることができる。 $f_1(0, 0, \cdots, 0) = \underset{(k_{1,1}, k_{1,2}, \cdots, k_{1,M})}{Min} \left\{Y_1(k_{1,1}, k_{1,2}, \cdots, k_{1,m}, \cdots, k_{1,M}) + f_2(k_{1,1}, k_{1,3}, \cdots, k_{1,M})\right\}$ (7)

ここに、$S_{1i}^{1} = S_{1i}^{4} = S_{1i}^{5} = 0$, $i = 1, 2, \cdots, I$, $S_{1,1}^{2} = S_{1,1}^{3} = 0$, $S_{1,I}^{2} = S_{1,I}^{6} = 0$ である。式(7)によって、区域1の最適輸送機関が決まると、さきに計算した$f_n(k_{n,1}, k_{n,3}, \cdots, k_{n,M})$により順次$(k_{n,1}, k_{n,2}, \cdots, k_{n,m}, \cdots, k_{n,M})$を決めることができる。よって輸送網の各部分での最適輸送機関が得られる。