Ⅳ－9　運転系統の合理化に関する一考察

京都大学工学部　正員　工博　米谷栄二
京都大学大学院　学生員　工修　○河上省吾

1. まえがき　現在ほとんどの大都市は交通混雑に陥り、都市内交通の円滑化に多大の努力が払われている。かかる状況において都市内交通の大きな部分を占める大量輸送機関の運行を合理化することは目下の急務である。そこで本研究では、大量輸送機関としてバスをとりあげ、その輸送系統の合理化について検討する。

2. 乗車人員調査　各バス路線ごとに、各駅間の1日の往復乗車人員を調査し、その結果を表1のように整理する。表1より隣接駅 $i-1, i$ 間の全乗車人員 P_i を計算するとつぎの(1)式のようになる。

$$P_i = \sum_{j=0}^{i-1} A_j - \sum_{j=0}^{i-1} B_j \qquad (1)$$

駅	0	1	2	3	---	n	--------	N	計
0		a_{01}	a_{02}	a_{03}	---	a_{0n}	--------	a_{0N}	A_0
1			a_{12}	a_{13}	---	a_{1n}	--------	a_{1N}	A_1
2				a_{23}	---	a_{2n}	--------	a_{2N}	A_2
⋮									⋮
n							a_{nn+1} -----	a_{nN}	A_n
⋮									⋮
N									A_N
計	B_0	B_1	B_2	B_3	---	B_n	--------	B_N	

表 1

3. サービス率　バスは輸送系統ごとに等時間間隔で運転し、乗客も一定の割合で発生するものと考える。いま隣接駅 $i-1, i$ 間の1日の往復運行バスの定員合計を C_i とすると、その区間の1人キロ当たりの乗車定員キロ b_i は(2)式で与えられる。

$$b_i = C_i L_i / P_i L_i \qquad ここに\ L_i = 隣接駅\ i-1, i\ 間の距離 \qquad (2)$$

この b_i はバスの乗客に対するサービスの評価規準と見なすことができる。b_i をサービス率と定義する。大量輸送機関の公共性から乗客に対するサービスを均等化すべきであり、またサービスを均等化することは都市内交通の円滑化に他ならないので、(2)式で示されるサービス率を均等化するようにバスを運行する必要がある。本研究においては、サービス率の変動をできるだけ小さくするようなバスの運行方法を検討する。

全路線においてサービス率が均等であるかどうかの尺度としては

$$V = \sum_{i=1}^{N} (b_i - \bar{b})^2 \qquad ここに\ \bar{b} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} b_i \qquad (3)$$

を用いる。このVの値が小さいほど乗客へのサービスは均等であると考えられる。

4. 簡単な路線　まず簡単な例として図1のような1本の路線について考えてみよう。路線ABの乗客に均等なサービスを提供するためには運転系統数を多くすることが望しいが、現実には使用バス台数その他の制約から系統数を増加するにも限度がある。ここではAC間を往復する系統とAB間を往復する系統の2系統で運転する場合について考える。このとき、乗客へのサービスを均等化するためには、AC, ABの2系統の定員合計の比 $k_1 : k_2$ をいかにすべきであるかが問題となる。ここでは $k_1 = 1$ としたときの k_2 の値を決めることにする。すなわちAC間の定員合計を $(1+k)C$ としたとき、CB間では kC であると仮定する。P_i を隣接駅間乗車人員とし、AB間に $N+1$ 駅あるとすると、$\bar{b}$ および V はつぎのようになる。

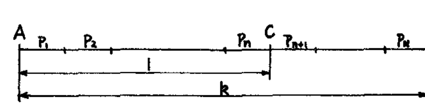

図 1

$$\bar{b}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} b_i=\frac{C}{N}\left\{\frac{1}{P_1}+\frac{1}{P_2}+\cdots+\frac{1}{P_n}+k\left(\frac{1}{P_1}+\cdots+\frac{1}{P_n}+\frac{1}{P_{n+1}}+\cdots+\frac{1}{P_N}\right)\right\} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} V&=\sum_{i=1}^{N}(b_i-\bar{b})^2=\sum_{i=1}^{N} b_i^2-N\bar{b}^2 \\ &=\frac{C^2}{N}\left[k^2\left\{N\left(\frac{1}{P_1^2}+\cdots+\frac{1}{P_N^2}\right)-\left(\frac{1}{P_1}+\cdots+\frac{1}{P_N}\right)^2-2k\left(\frac{1}{P_1}+\cdots+\frac{1}{P_n}\right)\left(\frac{1}{P_1}+\cdots+\frac{1}{P_N}\right)\right.\right. \\ &\qquad\left.+N\left(\frac{1}{P_1^2}+\cdots+\frac{1}{P_n^2}\right)-\left(\frac{1}{P_1}+\cdots+\frac{1}{P_n}\right)^2\right] \end{aligned} \tag{5}$$

このときVを最小にするkの値は(6)式で与えられ，Vの最小値V_0は(7)式で与えられる。

$$k=\left(\frac{1}{P_1}+\cdots+\frac{1}{P_n}\right)\left(\frac{1}{P_1}+\cdots+\frac{1}{P_N}\right)\Big/N\left(\frac{1}{P_1^2}+\cdots+\frac{1}{P_N^2}\right)-\left(\frac{1}{P_1}+\cdots+\frac{1}{P_N}\right)^2 \tag{6}$$

$$V_0=\frac{\left\{N\left(\frac{1}{P_1^2}+\cdots+\frac{1}{P_n^2}\right)-\left(\frac{1}{P_1}+\cdots+\frac{1}{P_n}\right)^2\right\}\left\{N\left(\frac{1}{P_1^2}+\cdots+\frac{1}{P_N^2}\right)-\left(\frac{1}{P_1}+\cdots+\frac{1}{P_N}\right)^2\right\}-\left(\frac{1}{P_1}+\cdots+\frac{1}{P_n}\right)^2\left(\frac{1}{P_1}+\cdots+\frac{1}{P_N}\right)^2}{N\left(\frac{1}{P_1^2}+\cdots+\frac{1}{P_N^2}\right)-\left(\frac{1}{P_1}+\cdots+\frac{1}{P_N}\right)^2}\times\frac{C^2}{N} \tag{7}$$

路線ＡＢにおいて途中折返し駅Ｃを何所にするかによって，Ｖの最小値V_0は変動するので折返し駅を順次変えてV_0を計算し，V_0が最小となる運転系統を採用すればよい。

5. バス路線網

つぎに図２のようなＡＢ，ＢＣ，ＣＡの３路線について考える。先の場合と同様に各路線を２系統で運転し，ＡＢ路線を$k_{AB}:k_{BA}$の比率で，ＢＣ路線を$k_{BC}:k_{CB}$の比率で，ＣＡ路線を$k_{CA}:k_{AC}$の比率で（k_{AB}，k_{BC}，k_{CA}が途中折返し系統を表わす），バスを運転するものと仮定する。そしてＡＯ間にＬ+１駅，ＢＯ間にＭ+１駅，ＣＯ間にＮ+１駅あるものとする。このときも以下に示すように先の場合と同様な考え方で全路線上のサービスを均等化するようなk_{XY}の値を決定することができる。隣接駅間の乗車人員をP_iとするとb_i，$\bar{b}$，Ｖはつぎのようになる。

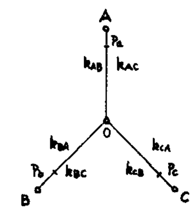

図 2

$$b_i=k_{XY}C\big/P_i \qquad ここに\quad k_{XY}C＝その区間での定員合計 \tag{8}$$

$$\begin{aligned}\bar{b}=\frac{C}{L+M+N}\Big\{&k_{AB}\left(\frac{1}{P_a}+\cdots+\frac{1}{P_l}\right)+k_{BA}\left(\frac{1}{P_a}+\cdots+\frac{1}{P_l}+\frac{1}{P_{l+1}}+\cdots+\frac{1}{P_b}\right)+k_{BC}\left(\frac{1}{P_b}+\cdots+\frac{1}{P_m}\right)\\ &+k_{CB}\left(\frac{1}{P_b}+\cdots+\frac{1}{P_m}+\frac{1}{P_{m+1}}+\cdots+\frac{1}{P_c}\right)+k_{CA}\left(\frac{1}{P_c}+\cdots+\frac{1}{P_n}\right)+k_{AC}\left(\frac{1}{P_c}+\cdots+\frac{1}{P_n}+\frac{1}{P_{n+1}}+\cdots+\frac{1}{P_a}\right)\Big\}\end{aligned} \tag{9}$$

$$V=\sum_{i=1}^{L+M+N}(b_i-\bar{b})^2=\sum_{i=1}^{L+M+N} b_i^2-(L+M+N)\bar{b}^2 \tag{10}$$

従ってVの最小値を与えるk_{XY}は$\frac{\partial V}{\partial k_{XY}}=0$を解けば得られる。すなわち

$$k_{XY}=\frac{\bar{b}}{C}\left(\frac{1}{P_q}+\cdots+\frac{1}{P_r}\right)\Big/\left(\frac{1}{P_q^2}+\cdots+\frac{1}{P_r^2}\right), \qquad q=a,b,c\,;\ r=a,b,c,l,m,n\,;\ X,Y=A,B,C \tag{11}$$

ここに求めたk_{XY}を用いるとVの最小値V_0を計算することができる。故に折返し駅をいろいろ変えてV_0を計算し，V_0が最小となる運転系統を採用すればよい。この方法はもっと複雑な路線網にも全く同様に適用できる。

6. 配車台数の決定

各路線におけるバスの１日の稼働時間およびバスの定員は一定であるとする。以上の計算の結果k_{XY}の値が決まると，各系統の運転時間間隔の比はその逆数$1/k_{XY}$の比に等しいので，これと各運転系統の往復に要する時間T_{XY}からつぎのようにして各系統の運転時間間隔と所要バス台数を決定することができる。いま全路線で使用可能なバス台数をＤとし，運転時間間隔比にｈを乗じたものが実際の運転時間間隔であると仮定する。このとき

$$\sum_{XY} k_{XY}T_{XY}\big/h＝D, \qquad \therefore\ h=\sum_{XY} k_{XY}T_{XY}\big/D \tag{12}$$

であるから，各系統の運転時間間隔は，h/k_{XY}で与えられ，また所要バス台数は$k_{XY}T_{XY}/h$で与えられる。