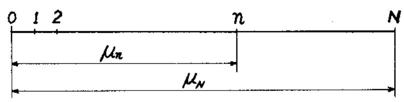
IV−8　運転系統への配車台数の合理的決定法

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
東京都交通局　正員　平出亨

1、はじめに，　大都市の交通混雑の激化にともない，大量輸送機関の都市内交通機関としての重要性がますます高まりつつあるとき，その機能を高めることは緊急な問題である。そこで本研究においては，大量輸送機関の1つであるバス輸送をとりあげ，その運転系統の合理化と，各運転系統への配車台数の合理的な決定法について検討する。ここでは，それぞれの乗客が駅に到着して乗車するまでの待ち時間の総和を最小にするような運転方式を最適なものとして，考察を進める。

図−1



2、単一路線における運転計画　図−1に示すような単一路線において，路線末端駅を，それぞれ0，Nとし，中間駅を1,2,…,n,…によって表わす。この路線において，n駅を途中折返し駅とする0nまたはnN間を往復する小循環系統と0N間を往復する大循環系統の2系統で運行する場合について考える。このとき小循環系統としては，0n間とnN間のうち乗客の待ち時間をより少なくする方を採用するべきであるが，ここでは0n間を往復する小循環を設けた場合について考える。μ_nを小循環系統の単位時間車輛通過回数，μ_Nを大循環系統のそれとする。そして，i駅の単位時間乗客数をλ_iとし，このうち小循環系統内に乗車駅と降車駅を有する乗客数をλ'_iとする。また各駅への乗客の到着は，等時間間隔であるものとする。

一般に，ある駅においてλなる単位時間乗客数に対してμなる単位時間車輛通過回数があるものとすれば，単位時間内に生ずる乗客の総待ち時間は$\lambda/2\mu$となる。　したがって，図−1の場合，λ'_iの乗客に対する利用可能な車輛の単位時間通過回数は$\mu_n+\mu_N$，$\lambda_i-\lambda'_i$の乗客に対するそれはμ_Nとなる。（ここでi駅が小循環系統に含まれる場合は，$\lambda_i-\lambda'_i$の乗客も小循環系統の車輛に乗車できるが，小循環系統の折返し駅nで大循環系統の車輛に乗換える必要があり，このときの待ち時間を考慮すると，$\lambda_i-\lambda'_i$の乗客は大循環系統のみを利用すると考えてよい。）　ゆえに考えている単位時間内に，この路線において生ずる待ち時間の総和Wは次式(1)によって表わされる。

$$W=\frac{F_n}{2(\mu_n+\mu_N)}+\frac{S-F_n}{2\mu_N}\quad,\quad S=\sum_{i=0}^{N}\lambda_i\quad,\quad F_n=\sum_{i=0}^{n}\lambda'_i \qquad (1)$$

式(1)で与えられる待ち時間の総和Wはμ_nとμ_Nを大きくすることによっていくらでも小さくすることができるが，μ_n, μ_Nには必然的にこの路線の最大使用可能車輛数Dによる制限が加わる。いま，小循環系統に使用される車輛数をD_nとし，小循環系統の往復に要する時間をT_n，大循環系統のそれらをD_N，T_Nとするとき，μ_n，T_n，D_nおよびμ_N，T_N，D_Nの間には次の関係式が成立する。

$$\mu_n T_n = D_n \quad,\quad \mu_N T_N = D_N \qquad (2)$$

また $D_n + D_N = D$ であるから，式(2)を用いると次式(3)を得る。 $\mu_n T_n + \mu_N T_N = D$ (3)
よって，式(1)のWの最小値を与える μ_n, μ_N の値は条件式(3)を満足するものでなければならない。ここで， $\frac{\mu_n T_n}{D} = x_n$ ， $\frac{\mu_N T_N}{D} = x_N$ とおくと，式(1)，(3)は次のように書ける。

$$W = \frac{1}{2D}\left[\frac{T_N(S-F_n)}{x_N} + \frac{F_n T_n T_N}{T_N x_n + T_n x_N}\right] \quad (4) \qquad x_n + x_N = 1 \quad (5)$$

式(5)を式(4)に代入してWを x_N のみで表わすと $W = \frac{1}{2D}\left[\frac{T_N(S-F_n)}{x_N} + \frac{F_n T_n T_N}{T_N - (T_N - T_n)x_N}\right]$ (6)
を得る。このとき待ち時間の総和Wの最小値を与える x_N の値 x'_N を求めると，次のようになる。いま $x^{\circ}_N = \frac{T_N\sqrt{S-F_n}}{(T_N - T_n)\sqrt{S-F_n} + \sqrt{F_n T_n (T_N - T_n)}}$ とおくとき

$$\begin{cases} x^{\circ}_N < 1 \text{ なら } & x'_N = x^{\circ}_N \\ x^{\circ}_N \geq 1 \text{ なら } & x'_N = 1 \end{cases}$$

である。以上の計算をON駅を基点として折返し駅番号を順次 $0, 1, \cdots, N-1$ と仮定し，その都度Wを最小にする x_N, x_n の値とそのときの待ち時間の総和の最小値 W_{min} を計算し，これらN個の W_{min} のうち最も小さい W_{min} を与える場合の折返し駅番号 n および x_N, x_n の値を知れば，この路線において，単位時間内の待ち時間総和を最小にする運転計画をたてることができる。また，S，F_n なる乗客数は、乗客の乗降駅調査表より容易に計算することができる。

3、路線網における運転計画　　さきに述べた単一路線における運転計画を応用し，一般的な m 個の複数路線に対する合理的な運転計画をたてる。すなわち，路線網全体での乗客の待ち時間の総和が最小になるような運転方式を検討する。ところで，各路線においては，2.で述べた方法により，その路線に配分される車輌数に関係なく，最適折返し駅および x_N, x_n の最適値を求めることができるので，その結果を利用して各路線に D_j 台の車輌が配分されたときの，その路線での待ち時間総和の最小値 $g_j(D_j)$ を計算することができる。

したがって，路線網全体での待ち時間総和Wは次式(7)によって与えられる。ここでは，この路線網全体で使用可能な車輌数を $\mathbb{D}$ とする。

$$W = \sum_{j=1}^{m} g_j(D_j) \quad , \qquad ここに, \ \sum_{j=1}^{m} D_j = \mathbb{D} \qquad (j = 1, 2, \cdots\cdots, m) \qquad (7)$$

いま，2.における n, x_N, x_n, S, F_n, T_n, T_N, μ_n, μ_N などの値に路線番号を示す Suffix $1, 2, \cdots, m$ をつけて，各路線の値であることを表わし，これらの記号を用いると式(7)の値は次のように書ける。

$$W = \sum_{j=1}^{m} \frac{1}{2D_j}\left[\frac{T_{nj} T_{Nj} F_{nj}}{T_{Nj} x_{nj} + T_{nj} x_{Nj}} + \frac{T_{Nj}(S_j - F_{nj})}{x_{Nj}}\right] = \sum_{j=1}^{m} \frac{C_j}{D_j} \qquad (8)$$

よって，式(8)で与えられる路線網全体での乗客の待ち時間Wを最小にする D_j の値は、Dynamic Programming を応用することによって求めることができる。

4、京都市バス路線に対する適用　　京都市バス1，2，3，4，5号の各路線の午前7時から8時までの交通需要調査に基づき，2.3.で述べた手法を用いて，各路線の折返し駅，および大小両循環系統への車輌の配分比の決定，各路線への最適配車台数の決定を行なった。計算結果は表－1に示すとおりである。

表－1

路線番号	大循環系統(配分比%)	小循環系統(配分比%)	配車係数 C_j	50台を配分する場合の配車台数
1	0――31 (42.5)	0――22 (57.5)	0.614×10^4	9
2	0――25 (60.0)	0――13 (40.0)	0.898×10^4	10
3	0――26 (100.0)	――――	1.001×10^4	11
4	0――31 (56.9)	1――31 (43.1)	0.598×10^4	8
5	0――31 (40.0)	1――31 (60.0)	1.174×10^4	12