都市高速鉄道のタイダルフロー・コントロールシステムについて

信州大学工学部　正員　奥谷　巌
信州大学工学部　学生員　○古山　毅彦

1.まえがき　近年日本の都市においては、朝夕の通勤・通学における首都高速鉄道のラッシュは、世界に類を見ないほどすさまじく、またこの問題を解決する手段は、地上における土地利用が飽和状態になっているため、地下鉄建設に活路を見い出す以外有効な解決手段を見い出せないような現状である。しかし、これとて膨大な費用を要するため有効な解決手段とは言い難い。そこで本研究では、既存の路線を利用しつつ、輸送人員を増加させる方式について考察してみた。

2.基本的モデルの定式化　図−1のように駅数が3つに限定された場合を考える。まず、表−1のような各駅相互間の乗降客に関するOD表において、各駅相互間の乗降客を総人数Tで除したOD表を求めこれを新たに表−2とする。また新方式によるシステムを図−2のように、左側を郊外右側を都心とし、上下線とも郊外から都心に流す場合(第1段階)、上線は郊外から都心、下線は都心から郊外へ流す場合(第2段階)、としこの流し方を繰り返すことにする。郊外から都心へ向う列車の編成車両数をm，第2段階で都心から郊外へ向う列車の編成車両数をm^*，1両当りに乗れる乗客可能数をg、列車の発車間隔をx、各駅間の所要時間をt、第1段階で上下線とも郊外から都心に向って列車を流す時間をd_1、第2段階上線は郊外から都心、下線は都心から郊外へ向って列車を流す時間をd_2とすれば、1−2、2−3、3−2、2−1の各駅における制約条件式は、それぞれ

$$Tq'_{12}+Tq'_{13}\leqq\left(2\frac{d_1}{x}+2\frac{t_1+t_2}{x}+\frac{d_2}{x}\right)mg \quad —(1) \qquad Tq'_{23}+Tq'_{13}\leqq\left(2\frac{d_1}{x}+2\frac{t_1+t_2}{x}+\frac{d_2}{x}\right)mg \quad —(2)$$

$$Tq'_{32}+Tq'_{31}\leqq\frac{d_2}{x}m^*g \quad —(3) \qquad Tq'_{21}+Tq'_{31}\leqq\frac{d_2}{x}m^*g \quad —(4)$$

の4式となる。また列車を円滑に運行するために要する全車両数N、および関係式はそれぞれ、

$$N=\left(2\frac{d_1}{x}+2\frac{t_1+t_2}{x}+2\frac{d_2}{x}\right)m \quad —(5) \qquad \frac{d_2}{x}m^*=\left(2\frac{d_1}{x}+2\frac{t_1+t_2}{x}+\frac{d_2}{x}\right)m \quad —(6)$$

となる。(5)、(6)を平衡条件式と呼ぶことにする。よって以上(1)〜(4)の制約条件式と(5)、(6)の平衡条件式のもとに目的関数　F＝T　の最小値を求める問題となる。ところで、新方式と従来の方式を比較するために、従来の方式にも同様な操作をすれば制約条件式は、1−2、2−3、3−2、2−1の各路線において

$$Tq'_{12}+Tq'_{13}\leqq\left(\frac{d_1}{x}+2\frac{t_1+t_2}{x}+\frac{d_2}{x}\right)mg \quad —(7) \qquad Tq'_{23}+Tq'_{13}\leqq\left(\frac{d_1}{x}+2\frac{t_1+t_2}{x}+\frac{d_2}{x}\right)mg \quad —(8)$$

$$Tq'_{32}+Tq'_{31}\leqq\left(\frac{d_1}{x}+2\frac{t_1+t_2}{x}+\frac{d_2}{x}\right)mg \quad —(9) \qquad Tq'_{21}+Tq'_{31}\leqq\left(\frac{d_1}{x}+2\frac{t_1+t_2}{x}+\frac{d_2}{x}\right)mg \quad —(10)$$

となる。また、目的関数　F＝T　は同じである。以上の式を発展させれば、駅数がn個になっても利用できる。

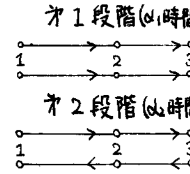
図−1

表−1

O＼D	1	2	3	Q_i
1	0	q_{12}	q_{13}	Q_1
2	q_{21}	0	q_{23}	Q_2
3	q_{31}	q_{32}	0	Q_3
S_j	S_1	S_2	S_3	T

表−2

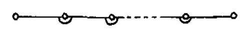
O＼D	1	2	3	Q_i/T
1	0	q_{12}/T	q_{13}/T	Q_1/T
2	q_{21}/T	0	q_{23}/T	Q_2/T
3	q_{31}/T	q_{32}/T	0	Q_3/T
S_j/T	S_1/T	S_2/T	S_3/T	T/T



図−2

3.一般的モデルの定式化と最適化の方法　ところで上に述べたように駅数がn個となった場合、新システムで制御を行えば、始発駅から終着駅までの所要時間が長くなれば、従来行なわれている運行方式の方が優れていることが判明する。そこで、この問題を解消するために、図−3のように下線

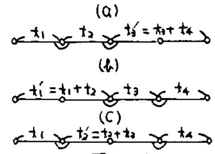
の各駅に引き込み線を設置し、下線においても発車間隔x_1時間ごとに流す方式をとってみる。ただし、この場合においてもあくまでも、ラッシュ緩和の意味からも郊外から都心へ向う列車を優先させることに変わりはないものとする。ここで引き込み線を設置した場合の下線における列車間隔を決定するために以下のように記号を定める。初めに郊外と都心を同時に出発した列車が行き合う駅までの各々の列車の所要時間をそれぞれ $\sum t_i$, $\sum u_j$, 郊外から都心に向う列車および都心から郊外へ向う列車の発車間隔をそれぞれx_1 , x_2とすれば、1番目に都心を出発した列車と2番目に郊外を出発した列車が初めて出合う駅においての列車間隔がδより大なることから $(\sum t_i + x_1) - (\sum u_j + \tau + \max t_i) \geq \delta$ ただし、$\tau = \sum t_i + \max t_i - \sum u_j$ であり各駅間の所要時間の最大値をとったのは、より安全な発車間隔とするためである。従って、$x_1 \geq \delta + 2\max t_i$ —— (11)



図－3

同様に、1番目に郊外を出発した列車と2番目に都心を出発した列車とが初めて出合う駅での列車間隔がδより大なることから $(\sum t_i + 2\max t_i) - (\sum u_j + x_2) \geq \delta$ 従って $x_2 \leq \sum t_i - \sum u_j + 2\max t_i - \delta$ — (12)

よって、引き込み線を設置した場合、郊外から都心へ向う列車および都心から郊外へ向う列車の制約条件式は、 $T \leq \{(\frac{\alpha_1}{x} + 2\frac{\sum t_i}{x} + \frac{\alpha_2}{x}) + (\frac{\alpha_1}{x_1} + 2\frac{\sum t_i}{x_1} + \frac{\alpha_2}{x_1})\} mg/\sum q_{ij}$ — (13) $T \leq (\frac{\alpha_1}{x_2} + 2\frac{\sum t_i}{x_2} + \frac{\alpha_2}{x_2}) mg/\sum q_{ij}$ — (14)となり、この条件のもとに目的関数 $F = T$ を最小にすることである。ところで上式は、各駅すべてに引き込み線を設置することを前提とした式であるが、今日、首都高速鉄道建設にあたっては膨大な費用を要する。したがって、引き込み線設置にもおのずとその制約が付される。そこで、制約される引き込み線の数をa、駅の個数をnとすれば、その組み合せの数は$_{n-2}C_a$となる。例えば図－4の簡単な場合を考えれば、その組み合せは3通りとなる。図－4(a)の場合を考えれば、



図－4

第1の引き込み線のある駅までの所要時間を$t_1' = t_1$、第2の引き込み線のある駅までの所要時間を$t_2' = t_2$、終点の駅までの所要時間を$t_3' = t_3 + t_4$、とすれば、すべての駅に引き込み線を設置した場合の式(11)、(12)、(13)、(14)がそのまま使え、以下同様に図－4(b)、(c)についても同様な操作を行いそのうちの最大となるTを求めればよい。

4.計算例　駅の個数$n = 19$とし、20行20列のOD表を用い、許容される列車間隔$\delta = 3.0$、列車の発車間隔$x = 3.0$、編成車両数$m = 10$、1両当りの乗客可能数$g = 150$、全車両数$N = 400$、第2段階で都心から郊外へ流す際の編成車両数$m^* = 50$、始発駅から終着駅までの所要時間$\sum t_i = 25.7$、とし、すべての駅に引き込み線を設置した場合と引き込み線を設置せずに新システムを適用した場合、従来の方式をそのまま適用した場合の3方式について数値計算を行いそれらを比較検当してみた。その結果は、それぞれ表－3のようになった。なお、引き込み線を設置した場合の下線における郊外から都心、都心から郊外へ向う列車の発車間隔は、それぞれ$x_1 = 7.1$、$x_2 = 3.45$となった。ところで、引き込み線を設置した場合と設置しない場合においては、さほど顕著な輸送人員の差は表われなかったが、この点は比較的路線が短かったために表われた結果と思われる。また引き込み線の数に制約が付された場合についての計算結果は当日発表する。

表－3

新システム		従来のシステム
引き込み線設置の場合	引き込み線設置しない場合	
236,093	229,885	16,5967

5.結論　ここに述べた方式が、従来の方式よりは輸送人員の増加という点から見れば、有効であることがわかった。今後の課題としては、相互に各路線が乗り入れる際にもこの方式を適用できるように研究を進めることである。