大量輸送機関の運転路線系統および配車の決定について

吉　田　豊　穂

Determination of operation routes and car assignment in mass transportation system

Toyoho YOSHIDA

1 まえがき

戦後の経済成長にともなう経済活動の活発化はモータリゼーションの進展にともなって現れ，その勢いはまことにめざましいものがある。しかし一方では，自動車交通の増大がもたらす大量輸送機関としての鉄道やバスの利用人員の減少は交通企業の経営を圧迫化し，その結果がまた自動車交通量の増大を招くという悪循環を繰返している。こうした悪循環を断ち切り都市交通の現状を改善するためには，バスや鉄道といった大量輸送交通機関施設の合理的な配置と再編は急務と考えられる。本文ではこのうちで特に車両の合理的運用について考究するものである。輸送力を増強し利用者のサービス向上をはかるためには配車台数を増加させることが必要であるが，無計画に配車台数を増せばそれだけ要員も大となり経費もかかることになる。そこで各路線の乗客需要量に対して最小の配車台数で済むような効率的な配車計画の樹立が望まれる。このとき運転路線系統の変更が行なわれると，各路線各区間上の乗客需要量は異なってくるであろう。こうして最適な配車計画が達成されれば，企業経営に余裕をもたらし，ひいてはこれが乗客に対するサービス水準の向上にもはねかえってくるものと期待できる。以下にその運転路線系統および配車の決定方法について基本的な考え方を述べる。

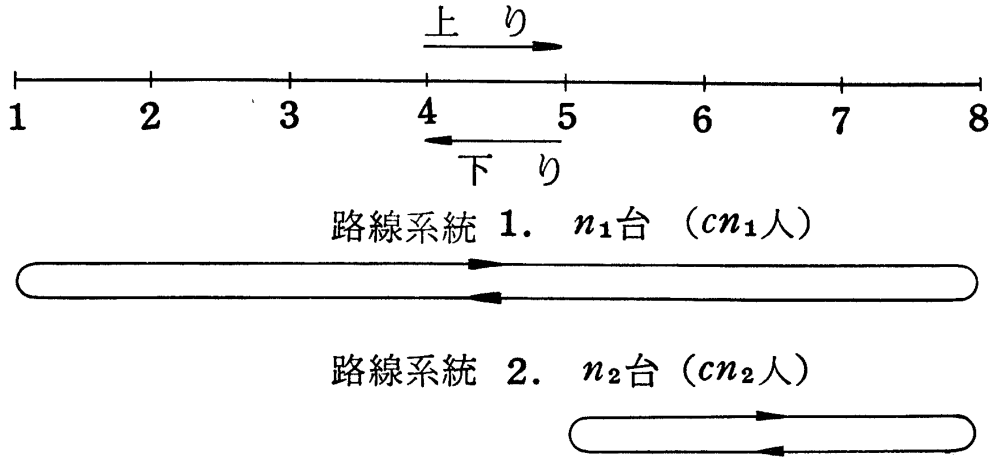
2 基本的な考え方

いま OD 需要量が与えられたある路線についてみれば，各区間毎の乗客需要量は異なっているので，車両の回転運用を高めるためにはこれに見合った循環系統をいくつか組合せて配車計画を行なうのが得策であろう。しかし，循環系統をいたづらに細分化することは，折返地点の時間損失による輸送効率の低下あるいは乗換回数の増加による乗客の不便があって好ましくない。したがって，普通には大循環系統のなかにいくつかの小循環系統を組合せるという配車計画がなされている。一方，路線系統が網状になった場合では，その経路が変更されれば，各区間における乗客需要量は異なってくるものと考えられる。したがって，配車計画は乗客の利便を配慮しつつ運転路線系統と同時に策定されることが必要である。かくして本文では，乗客需要量の OD が与えられたと

し，これに対する一つの路線系統の組合せを設定して，このときの最適配車台数をまず求める。そして，このあと路線系統網の組合せを配車台数がより最適となるように順次変更を行なって探策していく。この場合，制限条件式と目的関数の表記については種々考えられるが，これについては改めて論を加えることにし，ここでは問題を単純化して，適正な乗車定員で乗客に積残しが起らないような最小の配車台数の決定方法について述べる。次に簡単な例で説明を行なう。

(a)　路線系統が線状の場合

図1に示すような路線に対し乗客 OD 交通量が与えられているとき，系統1および系統2のような路線系統を考えてみる。いま，ある輸送時間帯における系統1および系統2の運行回数をそれぞれ k_1 および k_2 とすると，各系統の配車台数 n_1，n_2 に対する制限条件式は式(1)のように示すことができる。すなわち，乗客 OD 量を路線に配分すると各区間毎に方向別に乗客需要量 $Di, i+1$ が算定できるので，輸送量はこれを上回るようにするという条件である。このとき，すべての区間および方向に対して条件式を考慮する必要はなく，制限の上限となる区間，方向だけで十分である。そして，この条件のもとに式（2）の目的関数を最小にすればよい。この問題は整数計画法となるが，実用解としては線形計画法（L P）で計算を行ないその近傍解を採用しても差つかえなかろう。こうして解が得られると今度は系統1および系統2の変更を行なって同様な計画を進めていく。



図－1

制限条件式

$$\left.\begin{aligned} ck_1n_1 &\geqq \max_{i,i+1}\{D_{i,i+1},D_{i+1,i}\} \quad (i=1,\ 2,\ 3,\ 4) \\ ck_1n_1+ck_2n_2 &\geqq \max_{i,i+1}\{D_{i,i+1},D_{i+1,i}\} \quad (i=5,\ 6,\ 7) \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

目的関数

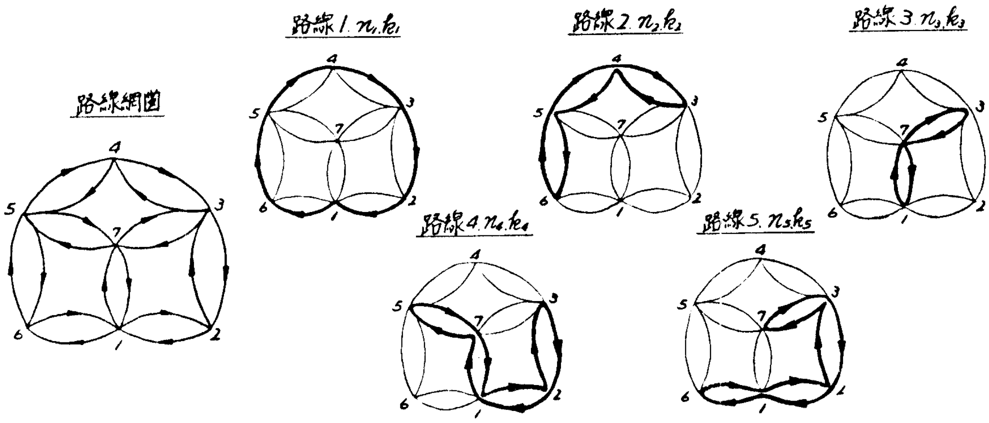
$$f=n_1+n_2\rightarrow \min \qquad (2)$$

ここで，　　C：1台あたりの定員

$Di, i+1$；区間（i, $i+1$）の上り方向の通過人員

(b) 路線系統が網状の場合

この場合もさきの(a)と同じように考えていけばよい。図―2のような5つの路線系統で輸送が行なわれるとしたときの制限条件式と目的関数は式（3）および式（4）のごとく示される。



図―2

制限条件式

$$\left.\begin{array}{l} ck_4n_4+ck_5n_5 \geqq \max(D_{12},D_{23}) \quad ck_1n_1+ck_4n_4+ck_5n_5 \geqq \max(D_{21},D_{32}) \\ \qquad ck_2n_2 \geqq \max(D_{34},D_{45},D_{56}) \\ ck_1n_1+ck_2n_2 \geqq \max(D_{43},D_{54},D_{65}) \quad ck_5n_5 \geqq \max D_{61} \quad ck_1n_1+ck_5n_5 \geqq \max D_{16} \\ ck_3n_3+ck_4n_4 \geqq \max(D_{17},D_{71}) \quad ck_3n_3+ck_5n_5 \geqq \max(D_{73},D_{37}) \\ \qquad ck_4n_4 \geqq \max(D_{75},D_{57}) \end{array}\right\} \quad (3)$$

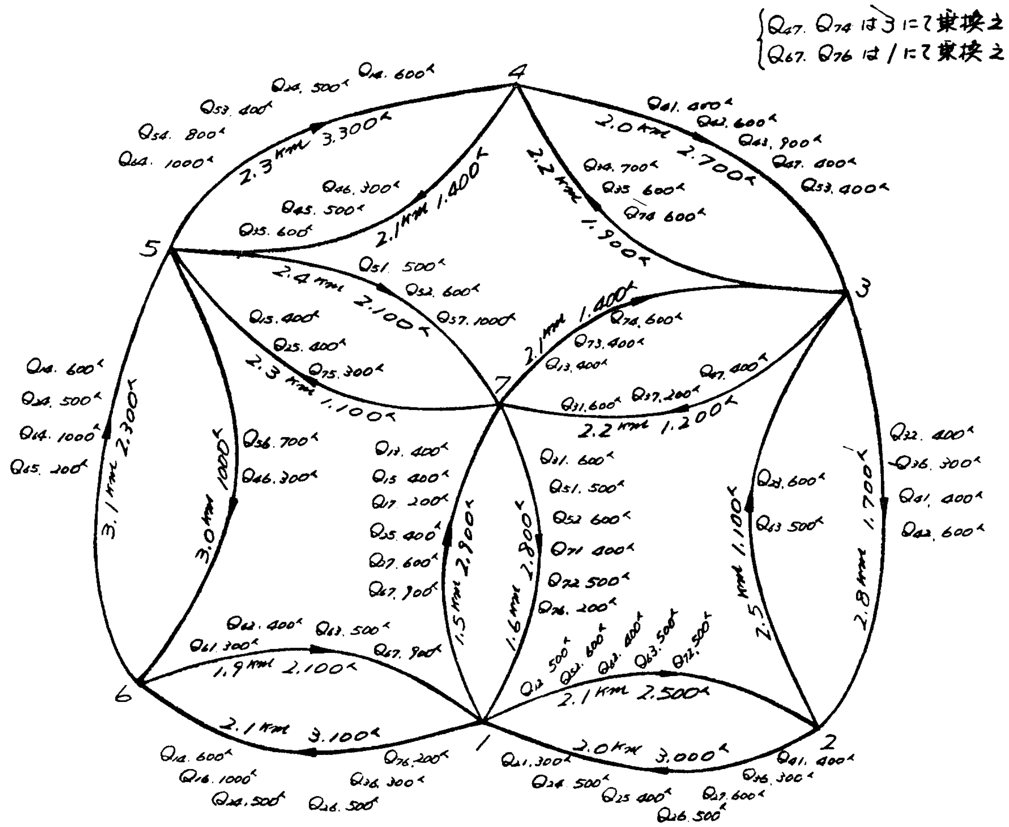
目的関数 $\qquad f=n_1+n_2+n_3+n_4+n_5 \rightarrow \min \qquad (4)$

表1　OD表

（単位人）

	1	2	3	4	5	6	7
1		500	400	600	400	1000	200
2	300		600	500	400	500	600
3	600	400		700	600	300	200
4	400	600	900		500	300	400
5	500	600	400	800		700	1000
6	300	400	500	1000	200		900
7	400	500	400	600	300	200	

いま表1のように乗客 OD 表が与えられたとき，利用者は設定された路線系統の組合せのもとにおいて最短経路により目的地に至るとして各区間の乗客需要量を配分すれば図3のようになる。



図—3　OD 需要量の各区間配分

ここで1台あたりの定員 C を80人として，ある一定輸送時間帯における各系統の運行回数を k_1，$k_2=3$ 回，$k_3=6$ 回，k_4，$k_5=2$ 回とすれば，定員乗車で積残しを起さない各系統の最適配車台数 n_1，n_2，n_3，n_4，n_5 台は式（3）式（4）の制限条件式と目的関数によって次のように求めることができる。

制限条件式

$ck_4n_4+ck_5n_5 \geqq \max$（$D_{12}=2500$人，$D_{23}=1100$人）

$ck_1n_1+ck_4n_4+ck_5n_5 \geqq \max$（$D_{21}=3000$人，$D_{32}=1700$人）

$ck_2n_2 \geqq \max$（$D_{34}=1900$人，$D_{45}=1400$人，$D_{56}=1000$人）

$ck_1n_1+ck_2n_2 \geqq \max$（$D_{43}=2700$人，$D_{54}=3300$人，$D_{65}=2300$人）

$ck_5n_5 \geqq \max D_{61}=2100$人

$ck_1n_1+ck_5n_5 \geqq \max D_{16}=3100$人

$ck_3n_3+ck_4n_4 \geqq \max$（$D_{17}=2900$人，$D_{71}=2800$人）

$ck_3n_3+ck_5n_5 \geqq \max$（$D_{73}=1400$人，$D_{37}=1200$人）

$ck_4n_4 \geqq \max$（$D_{75}=1100$人，$D_{57}=2100$人）

目的関数　　$f=n_1+n_2+n_3+n_4+n_5 \rightarrow \min$

上述の制限条件式に c および $k_1 \sim k_5$ の値を代入して100人単位にすると式は次のとおりとなる。

制限条件式

$1.6n_4+1.6n_5 \geqq 25$——（この式は満たされているので省略する）

$2.4n_1+1.6n_4+1.6n_5 \geqq 30$

$2.4n_2 \geqq 19$

$2.4n_1+2.4n_2 \geqq 33$

$1.6n_5 \geqq 21$

$2.4n_1+1.6n_5 \geqq 31$

$4.8n_3+1.6n_4 \geqq 29$

$4.8n_3+1.6n_5 \geqq 14$

$1.6n_4 \geqq 21$

目的関数　　$f=n_1+n_2+n_3+n_4+n_5 \rightarrow \min$

この制限条件式と目的関数は線形計画法の裏の問題であり表の問題におきかえると式は次のように示すことができる。この場合，不等号を取り去るため変数の $\lambda_1 \sim \lambda_5$ を入れて等式とすれば，

制限条件式

$$
\begin{aligned}
&2.4V_1+2.4V_3+2.4V_5 &&+\lambda_1=1\\
&2.4V_2+2.4V_3 &&+\lambda_2=1\\
&4.8V_6+4.8V_7 &&+\lambda_3=1\\
&1.6V_1+1.6V_6+1.6V_8 &&+\lambda_4=1\\
&1.6V_1+1.6V_4+1.6V_5+1.6V_7 &&+\lambda_5=1
\end{aligned}
$$

目的関数　　$f=30V_1+19V_2+33V_3+21V_4+31V_5+29V_6+14V_7+21V_8 \rightarrow \max$

この式を線形計画法により表2に示す Simplex tableau をつくって計算を進めると末尾記載のとおり，路線1（n_1）6台，路線2（n_2）8台，路線3（n_3）2台，路線4（n_4）14台，路線5（n_5）14台，計44台となりこれが最適配車台数である。また系統変更の組合せに関しては分岐限界法によって計算を進めていけば真の最適解が求められるが計算量が膨大になることを考えて，動的計画法（DP）による近似計算で行なうことを考えている。また，路線系統の組合せの設定に際しては，乗換えによる乗客のわずらわしさを考慮して，どの地点へ行くのにも，たとえば，せいぜい1回で済むようにする。これは設定された少くとも2つの路線系統によって対象とする輸送網グラフが覆えたら条件を満足するので，簡単に検討出来る。

表2　Simplex tableau

		V_j→	0	30	19	33	21	31	29	14	21	0	0	0	0	0		
	V_i↓	変数→↓	S	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	計	θi
	0	λ_1	1	2.4		2.4		2.4				1					9.2	0.416667
	0	λ_2	1		2.4	2.4							1				6.8	0.416667
a	0	λ_3	1						4.8	4.8				1			11.6	
	0	λ_4	1	1.6					1.6		1.6				1		6.8	
	0	λ_5	1	1.6			1.6	1.6		1.6						1	8.4	
		z_j-V_j	0	−30	−19	−33	−21	−31	−29	−14	−21	0	0	0	0	0	−198	
	33→	V_3	0.416667	1		1		1				0.416667					3.833334	
	0	λ_2	0	−2.4	2.4			−2.4				−1	1				−2.4	
b	0	λ_3	1						4.8	4.8				1			11.6	0.208333
	0	λ_4	1	1.6					1.6		1.6				1		6.8	0.625
	0	λ_5	1	1.6			1.6	1.6		1.6						1	8.4	
		z_j-V_j	13.75	3	−19	0	−21	2	−29	−14	−21	13.75					−71.5	
	33	V_3	0.416667	1		1		1				0.416667					3.833334	
	0	λ_2	0	−2.4	2.4			−2.4				−1	1				−2.4	
c	29→	V_6	0.208333						1	1				0.208333			2.416667	
	0	λ_4	0.666667	1.6						−1.6	1.6			−0.333333	1		2.933333	
	0	λ_5	1	1.6			1.6	1.6		1.6						1	8.4	
		z_j-V_j	19.791657	3	−19	0	−21	2	0	15	−21	13.75		6.041657			−1.416686	
	33	V_3	0.416667	1		1		1				0.416667					3.833334	
	0	λ_2	0	−2.4	2.4			−2.4				−1	1				−2.4	
d	29	V_6	0.208333						1	1				0.208333			2.416667	
	21→	V_8	0.416667	1						−1	1			−0.208333	0.625		1.833334	
	0	λ_5	1	1.6			1.6	1.6		1.6						1	8.4	
		z_j-V_j	28.541664	24	−19	0	−21	2	0	−6	0	13.75		1.666667	13.125		37.083331	
	33	V_3	0.416667	1		1		1				0.416667					3.833334	
	0	λ_2	0	−2.4	2.4			−2.4				−1	1				−2.4	
e	29	V_6	0.208333						1	1				0.208333			2.416667	
	21	V_8	0.416667	1						−1	1			−0.208333	0.625		1.833334	
	21→	V_4	0.625	1				1		1						0.625	5.25	
		z_j-V_j	41.666664	45	−19	0	0	23	0	15	0	13.75		1.666667	13.125	13.125	147.333331	
	33	V_3	0.416667	1		1		1				0.416667					3.833334	
	19→	V_2	0	−1	1			−1				−0.416667	0.416667				−1	
f	29	V_6	0.208333						1	1				0.208333			2.416667	
	21	V_8	0.416667	1						−1	1			−0.208333	0.625		1.833334	
	21	V_4	0.625	1				1		1						0.625	5.25	
		z_j-V_j	41.666664	26	0	0	0	4	0	15	0	5.833327	7.916673	1.666667	13.125	13.125	128.333334	
			↑ n_1台 + n_2台 + n_3台 + n_4台 + n_5台									↑ n_1台	↑ n_2台	↑ n_3台	↑ n_4台	↑ n_5台		

最適配車台数　$n_1 = 6$ 台，$n_2 = 8$ 台，$n_3 = 2$ 台，$n_4 = 14$台，$n_5 = 14$台　計44台

3　あ　と　が　き

本文ではひとまず配車台数を最小とするよう目的関数を設定したが，実際的には利用者の便と経営者側の合理化を同時に考えて，その総輸送経費を最小とすることが望ましい。この他，輸送需要増に対する配車計画の信頼性を考慮するため感応分析などを加え，具体的な計算を押進めることによって，モデルを現実的なものにしたいと考えている。また，将来は大量輸送交通機関のサービス水準の向上による輸送機関別分担率への影響も考慮できるようモデルを発展させたいと思っている。

参　考　文　献

吉田豊穂：大量輸送機関の 運転路線系統および 配車の 決定について，土木学会第28回年次学術講演会講演概要集　第4部，pp. 48-49 (1973)

（著者　建設工学科　昭和49年2月19日受理）