IV-16　　バス運行システムについての基礎的研究

信州大学　学生員　○牧野芳男
信州大学　正　員　　奥谷　巌

1. 緒言　従来どちらかと言うと経験によって決定されていたバスの運行を 最適計画法を用いて決定する方法については、前回までの土木学会年次講演会などに於て発表済みであるので、今回は、それを複雑な街路網に適用する場合 解析の難しさを如何にしたら軽減できるかについての基礎的な研究を行なってみた。

2. 路線系統システムと乗換えシステム　路線系統システムは、乗客が出発地から目的地まで乗換えをしなくて済み その乗客自身にとって最短経路を通過してくれるバスを選択するとしたときの最適なバス運行システム（限られた稼動台数のもとで常にバスをその定員以下の状態で運行し、なおかつ、乗客の総所要時間を最小にしたバス運行）である。一方、乗換えシステムは、乗客が乗客自身にとって最短経路を通過できるように乗換えることも考慮した上でバスを選択するとしたときの最適なバス運行システムである。

3. バス停が直線的に連なる場合　左端のバス停から順に番号を付け、次のように記号を定義する。A_{ij}：バス停iからjへのパーソントリップ数。X_{il}：il路線への配車台数。RT_{il}：il路線に配車されたバスが、その路線を往復するのに要する時間。UX_{il}：il路線の単位時間バス通過台数。U_{ij}：バス停i，j区間の単位時間バス通過台数。AU_{ij}：A_{ij}のバス待ち時間。$CI_{il,j}$：il路線のバスで、バス停jのI方向リンクをI方向に通過する単位台数当りの乗客数。C：バスの容量。D：総稼動バス台数。

(i) 路線系統システム

a) 目的関数　この場合 各々のパーソントリップに対して最短経路がただ一つづつしかないから、変数（各路線への配車台数）に関連して目的関数に影響を与える項は、乗客がバスを待つ待ち時間だけである。したがって 目的関数は次のようになり、これが最小になるように配車台数を決定してやればよい。

$$F=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}AU_{i,j}\quad (1)$$　ただし nはバス停数である。

b) 制約条件　制約条件は、各路線に配車されるバス台数の和が総稼動台数以下であることと、各路線の各々バスにおいて常にバスの乗客数がそれの定員以下であることが必要であるから、前者は式(2)、後者は式(3)になる。ただし、$CI_{il,j}$は右方向を$CE_{il,j}$、左方向を$CW_{il,j}$で表わし、また、il_nは路線数であり、il_s，il_eはil路線の始点と終点で$il_s<il_e$とする。

$$\sum_{il=1}^{il_n}X_{il}\leq D\quad (2)\qquad CE_{il,j}\leqq C,\ CW_{il,j}\leqq C\quad (3)\quad (j=il_s,\cdots il_e)$$

そして、式(3)での$CE_{il,j}$と$CW_{il,j}$は、各パーソントリップ数と配車台数から次式で求めることができる。

$$CE_{il,j}=\sum_{k=j+1}^{il_e}AU_{j,k}-\sum_{i=il_s}^{j-1}AU_{i,j}+CE_{il,j-1}\qquad \text{ただし.}\ CE_{il,il_s}=\sum_{k=il_s+1}^{il_e}AU_{j,k},\ CE_{il,il_e}=0$$

$$CW_{il,j}=\sum_{k=il_s}^{j-1}AU_{j,k}\quad \sum_{i=j+1}^{il_e}AU_{i,j}+CW_{il,j+1}\qquad CW_{il,il_s}=0,\quad CW_{il,il_e}=\sum_{k=il_s}^{il_e-1}AU_{j,k}$$

(ii) 乗換えシステム　新たに次のような記号を定義する。CA_{ij}：バス停iで乗換え バス停jが目的地であるパーソントリップ数とA_{ij}との和のパーソントリップ数。CAU_{ij}：CA_{ij}がバス停iでバスを待つ時間。

a) 目的関数および制約条件　目的関数は乗換え客が乗換えバス停でのバス待ち時間も含んで考えなければならないから式(4)のようになるが、制約条件は路線系統システムと同様になる。ただし、式(3)での$CE_{il,j}$，$CW_{il,j}$は次式で求めなければならない。

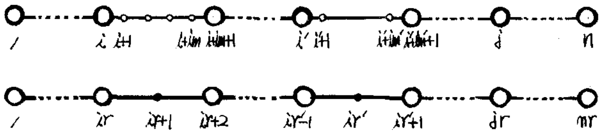
$$CE_{il,j}=\sum_{k=j+1}^{n}CAU_{j,k}-\sum_{i=il_s}^{j-1}CAU_{i,j}+CE_{il,j-1}\qquad \text{ただし.}\ CE_{il,il_s}=\sum_{k=il_s+1}^{n}CAU_{j,k},\ CE_{il,il_e}=0$$

$$CW_{il,j}=\sum_{k=1}^{j-1}CAU_{j,k}-\sum_{i=j+1}^{il_e}CAU_{i,j}+CW_{il,j+1}\qquad CW_{il,il_s}=0.\quad CW_{il,il_e}=\sum_{k=1}^{il_e-1}CAU_{j,k}$$

$$F=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}CAU_{i,j}\quad (4)$$

(iii) 簡便法　バス停数が非常に多くなると解析上大変な労力と時間を要する。しかし、多少の誤差を覚悟す

れば次のような方法が考えられる。記号は次のように定義する。$P_{i_r j_r}$：i_rからj_rへのパーソントリップ数。$PU_{i_r j_r}$：$P_{i_r j_r}$がバスを待つ時間。ここでi'を•にi''を○のバス停に対応させると　$P_{i_r j_r}$をA_{ij}で次のように表わすことができる。$P_{i_r'' j_r''}=A_{i'' j''}$。$P_{i_r'' j_r'}=\sum_{j=j+1}^{j+jm'} A_{i'' j}$。$P_{i_r' j_r''}=\sum_{i=i+1}^{i+im'} A_{i j''}$。$P_{i_r' j_r'}=\sum_{i=i+1}^{i+im'}\sum_{j=j+1}^{j+jm'} A_{ij}$。



○：バスの進行方向の変更が可能なバス停
∘：バスの進行方向の変更が不可能なバス停
•：バスの進行方向の変更が不可能なバス停の集合
mr：バス停数

a) 路線系統システムの目的関数および制約条件　目的関数は式(5)になり　制約条件は式(2)と式(6)になるが、式(6)での$CE_{i_l j_r}$と$CW_{i_l j_r}$、$\alpha_{i_l j_r'}$と$\beta_{i_l j_r'}$は次式で求めなければならない。

$$CE_{i_l j_r}=\sum_{kr=jr+1}^{i_{le}} PU_{j_r kr}-\sum_{ir=i_{ls}}^{j_r} PU_{i_r j_r}+CE_{i_l, j_r-1}\qquad ただし.\ CE_{i_l i_{ls}}=\sum_{kr=i_{ls}+1}^{i_{le}} PU_{i_{ls} kr},\ CE_{i_l i_{le}}=0$$

$$CW_{i_l j_r}=\sum_{kr=i_{ls}}^{j_r-1} PU_{j_r kr}-\sum_{ir=jr+1}^{i_{le}} PU_{i_r j_r}+CW_{i_l j_r+1}\qquad CW_{i_l i_{ls}}=0.\qquad CW_{i_l i_{le}}=\sum_{kr=i_{ls}}^{i_{le}-1} PU_{i_{le} kr}$$

$$\alpha^{i}_{i_l, j_r'}=\sum_{k=j_r'+i+1}^{i_{le}} AU_{j_r'+i, k}-\sum_{i_r=i_{ls}}^{j_r'+i-1} AU_{i_r, j_r'+i}+\alpha^{i-1}_{i_l, j_r'}\qquad ただし.\ i=1,\cdots,jm-1.\ \alpha^{0}_{i_l j_r'}=0$$

$$\beta^{i}_{i_l j_r'}=\sum_{k=i_{ls}}^{j_r'-i-1} AU_{j_r'-i, k}-\sum_{i_r=j_r'-i+1}^{i_{le}} AU_{i_r, j_r'-i}+\beta^{i+1}_{i_l j_r'}\qquad i=2,\cdots,jm\quad \beta^{jm+1}_{i_l j_r'}=0$$

$$\alpha_{i_l, j_r'}=\max(\alpha^{i}_{i_l, j_r'})。\ \beta_{i_l, j_r'}=\max(\beta^{i}_{i_l, j_r'})$$

$$F=\sum_{i_r=1}^{mr}\sum_{j_r=1}^{mr} PU_{i_r j_r}-\frac{1}{2}\sum_{i_r=1}^{mr} PU_{i_r i_r}\quad (5)$$

$$CE_{i_l j_r'}+\alpha_{i_l j_r'}\leqq C,\ CE_{i_l j_r'+1}+\alpha_{i_l, j_r'}\leqq C,\ CW_{i_l j_r'}+\beta_{i_l j_r'}\leqq C,\ CW_{i_l j_r'-1}+\beta_{i_l j_r'}\leqq C\quad (6)$$

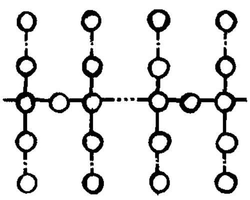
b) 乗換えシステムの目的関数および制約条件　上記方法と同様な方法で決定できる。

4　各パーソントリップに対し最短経路が一つしかない街路網　一般的な対象街路を右図のようにし　3で定義した添字i, jを行列形式で表わす。

(i) 路線系統システムの目的関数と制約条件　目的関数は、バス待ち時間だけでよいから式(7)　制約条件は、式(2)と式(3)での2つの方向にもう2つの方向N方向とS方向を加えた式(8)で表わすことができる。

$$F=\sum_{i_s=1}^{nh}\sum_{j_s=1}^{nv}\sum_{i_e=1}^{nh}\sum_{j_e=1}^{nv} AU_{i_s j_s i_e j_e}\quad (7)$$

$$CE_{i_l, i_h, j_v}\leqq C,\quad CW_{i_l, i_h, j_v}\leqq C,\quad CN_{i_l, i_h, j_v}\leqq C,\quad CS_{i_l, i_h, j_v}\leqq C\quad (8)$$



nh：横方向のバス停数
nv：縦方向のバス停数

(ii) 乗換えシステムの目的関数と制約条件　目的関数も制約条件も乗換えを考慮に入れれば、路線系統システムと同様な手法によって決定できる。

5. 計算例　当日発表

6. 結言　稼動台数が多ければ利用者にとって大変便利であるが、地方財政圧迫の原因を公共大量輸送機関がかなりの部分を占めている現在　利用者に不便をきたさない程度に稼動台数をできるだけ少なくすることを考えるべきであると思われる。その点を考慮して本研究で取り上げた両システムを考えてみるに　稼動台数を減らせる点、路線の重複が少ない点、路線長があまり長くならない点などから　乗換えシステムが現在の公共大量輸送機関の運行システムとしてよりよいものであるのではないかと思われる。そこで、このシステムを実際に適用するにあたっては、解析のための労力と時間を軽減するために、本研究の計算結果から次のように現在の路線を変更し配車台数を決定すればよいと考えられる。まず、路線の重複している部分をすべて単一路線で置き換え、配車台数をその路線の最大通過乗客数をもとにして決定する。もし、その時、総稼動台数に余裕がないなら、各々の路線において、乗客数のバラツキが少なくなるよう　その路線をいくつかに細分してやる。逆に　余裕があるなら　乗客数のバラツキを考えて　いくつかの路線をつなぎ合わせてやる。そのようにすると、かなり簡単に最適な運行に近いものが得られる。

[参考文献]　奥谷、牧野　第31回土木学会年次講演会概要集