1996年度日本オペレーションズ・リサーチ学会
秋季研究発表会

バス運行管理システムにおける路線バス運行制御法

01700130 慶応義塾大学 柳井 浩 YANAI Hiroshi
慶応義塾大学 *松田 学 MATSUDA Manabu

1 はじめに

バス輸送は道路交通の円滑化，省エネルギー化等の面から，その果たす役割は非常に重要である．しかし，近年運行の不定時性等により利用客の不評を買い，いわゆる「バス離れ現象」が問題となっている．このような問題の改善のために，あらゆる対策が検討されてきたが，なかでもバス運行管理システムの検討が活発である．これは，各バスとの情報の授受により，バス運行業務の高度化を図ろうとするものである．

本研究は，バス運行管理システムにより即時的な情報の授受が可能であるという条件の下で，定時性の確保のための運行制御法をバス運行モデル上で検討したものである．

2 路線バスの運行

路線バス運行の乱れの2大要因として，

①バス停における待ち客数 → バス停停車時間
②道路混雑状況 → バス旅行時間

が挙げられる．これらの要因に影響されるバス旅行時間，バス停停車時間を，次のように時刻の関数として表す．

$\phi_i(t)$ ：時刻 t にバス停(i－1)を発車したときのバス停 i への到着時刻

$\psi_i(t)$ ：時刻 t にバス停 i を発車するためのバス停 i への到着時刻

関数$\phi_i(t),\psi_i(t)$を用いて，リフレクション・チャート上にバスの運行を示すことができる．また，それぞれの関数に幅をもたせ，関数を太い線状のものとして考えると，バス運行の大まかな予測ができる．図1は，バス停数が起点を除いて3つの場合について，最速運行と最遅運行を比べたものである．起点を同時に発車しても，上記の2つの要因により運行が大きく異なるのがわかる．

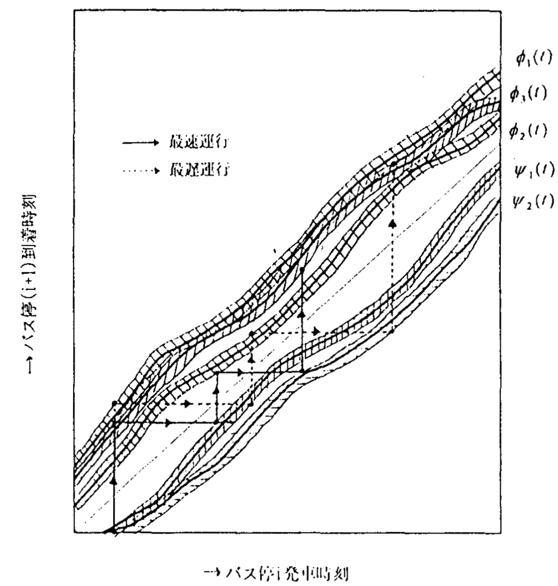

図1 リフレクション・チャートによるバス運行予測

3 路線バス運行モデル上での運行制御

3．1 要因①のみを考慮した路線バス運行モデル

ここでは，バスの旅行速度は常に一定であると仮定する．従って，要因①のみを考慮したモデルを扱う．また，バスはバス停1，バス停2，バス停3，・・の順に運行し，起点となるバス停をバス1，バス2，バス3，・・の順に発車するものとする．

総バス停数Nのバス路線において，バスmが定常運行から乱れた場合を考える．このとき，

$\mathbf{e}_m$ ：各バス停におけるバスmの定常運行からの時間差を縦に並べて作った列ベクトル．これを，バスmの時間差ベクトルと呼ぶ．

とすると，バスmとそれに続いて走行するバス(m+1)の時間差ベクトルの関係は，

$$\mathbf{e}_{m+1}=A\mathbf{e}_m$$

と表される．ここに，

$$A=\begin{bmatrix} \frac{1}{\rho-1} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \frac{\rho}{(\rho-1)^2} & \frac{1}{\rho-1} & 0 & \cdots & 0 \\ \frac{\rho^2}{(\rho-1)^3} & \frac{\rho}{(\rho-1)^2} & \frac{1}{\rho-1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\rho^{n-1}}{(\rho-1)^n} & \frac{\rho^{n-2}}{(\rho-1)^{n-1}} & \frac{\rho^{n-3}}{(\rho-1)^{n-2}} & \cdots & \frac{1}{\rho-1} \end{bmatrix}$$

ρ ：単位時間あたりのバス停到着人数に対する搭乗人数

とする．ここで，行列Aは下三角行列であるから，その固有値は

$$s=-\frac{1}{\rho-1}$$

であり，ρの値は2より大きいと考えてよいから，固有値sの取りうる範囲は，

$$-1 < s < 0$$

となる．これは，mが増すごとに時間差ベクトルは振動しながら小さくなることを示している．

このモデルから，運行に乱れが生じた場合，次のことがわかった．

・一旦乱れが生じたバスは，その後バス停ごとに乱れが大きくなっていく．しかし，その後に続くバスへのその乱れによる影響は，バスごとに小さくなっていく．

・定常運行より早い運行のバスと遅い運行のバスが1台ずつ交互に運行される．この結論は，バスのバンチング運行（団子運行）を示している．

3．2　路線バス運行制御法

バス運行管理システムにおいて実際に行われている運行制御法として，次のようなものがある．

・起終点運行制御

起終点では他のバス停に比べ停車時間に余裕を持たせてあるので，待機，発車の指示により運行乱れを解消しやすい．

・前車接近表示

2台のバスが接近して走行する状態になったとき，2台を引き離すために後続バスに前車の接近を指示．

ここでは，起終点運行制御について，モデル上での検討を行う．

バスmがバス停n_d（≥ 3）にt_d遅れて到着すると予想されるとき、バスmを起点において定常運行よりt_cはやく出発させることを考えると、このときのバスmの時間差ベクトルは、

$$\mathbf{e}_m=\begin{bmatrix} t_c \\ \gamma t_c \\ \vdots \\ \gamma^{n_d-2}t_c \\ \gamma^{n_d-1}t_c+\gamma t_d \\ \vdots \\ \gamma^{N-1}t_c+\gamma^{N-n_d+1}t_d \end{bmatrix}, \quad \gamma=\frac{\rho}{\rho-1}$$

となる．バス運行を定常運行に近づけるために、

$\mathbf{e}_m$の各要素の二乗和$S_e \to \min$

とすることを考えると

$$t_c=-\frac{\sum_{J=0}^{N-n_d}\gamma^{2J+n_d}}{\sum_{i=0}^{N-1}\gamma^{2i}}t_d$$

となるようなt_cをとればよい，このとき，S_eは最小となる．

4　おわりに

本稿で扱ったモデルは要因①のみを考慮したもので　あるが，運行の乱れを要因②によるものと見れば，このモデルでの議論も1つの運行制御法として有効となろう．さらに的確な制御の実現のために，複数の場所で乱れが生じた場合のモデル，確率を導入したモデルでの議論が考えられる．