

日本国有鉄道 正員 菅原 操
 東京工業大学 正員 森地 茂
 東京工業大学○学生員 鈴木 純夫

1) はじめに

本研究は交通機関、特にバスの信頼性を計量する方法を考察し、各種バス運行改善政策がどの程度バスの信頼性を回復できるかを評価することが目的である。

2) バスの信頼度

交通機関が信頼できる、できないということはその定時性や安全性などの要因によるが、バスの場合特に定時性が信頼性と密接に関係している。そこでバスの信頼度を次のように考える。

信頼度 (Re) = f (走行時間の不規則さ, 待ち時間の長さ)

これは待ち時間が短く、また走行時間が正確である程信頼度が高いと考えるものである。また信頼性理論などという信頼度とは機械などがある時間無故障で働く確率であるから、交通機関の信頼度も確率で与えることが妥当である。したがって、ある余裕時間 Z 以内に目的地に到着できる確率を交通機関、特にバスの信頼度 Re と定義する。

$$Re = Pr(X + W \leq Z)$$

(1)

X は走行時間の期待値からの偏差、 W は待ち時間の長さである。ある余裕時間 Z が旅行時間に関係していると思われたので調査を行なった。その結果、都市内での通勤交通の場合 Z は旅行時間に関係せず、個人の性格と利用交通機関だけに関係していることがわかった。よって Z を適当に設定すれば Re は交通機関の特性を表現することになるから(1)式のように定義できる。走行時間変動 X は正規分布、待ち時間 W は図1右上のような分布と仮定すると Re , σ_x , σ の関係は図1ようになる。 σ_x は走行時間変動の標準偏差、 σ は待ち時間の指標として運転間隔変動の標準偏差である。これを信頼度平面と呼ぶことにする。あるバス路線の信頼度を求める為には、各停留所 i での運転間隔変動 σ_i 及びその停留所から目的地迄の走行所要時間変動 σ_{xi} を知ればよい。 σ_{xi} は目的地によって異なるが、ある停留所 i での信頼度という場合、その停留所から終点迄の走行所要時間変動を採用することにする。これは停留所 i からの最長利用者にとっての信頼度となり、他の利用者にとっての信頼度はこれよりも高くなる。各停留所での σ_i , σ_{xi} を信頼度平面にプロットすることによりその停留所での信頼度を知ることができる。

3) バス運行の定式化

バスの遅れは伝播されてダング運転となり、走行時間変動や運転間隔変動を大きくする。バスの運行挙動については、高岸・戸松両氏による基礎的考察¹⁾があるが、本研究では次のように定式化を行なった。あるバスが何らかの原因によって遅れた場合、利用客が増加してその乗降時間が増す為に遅れは一層拡大される。あるバス j が停留所 i に到着する遅れを Δ_{ij} とすると、 Δ_{ij} はバス j の停留所 $(i-1)$ における遅れだけでなく、それ以前のバスの $(i-1)$ における遅れにも関係して決まる。今、定式化の為に停留所 i での乗客到着は

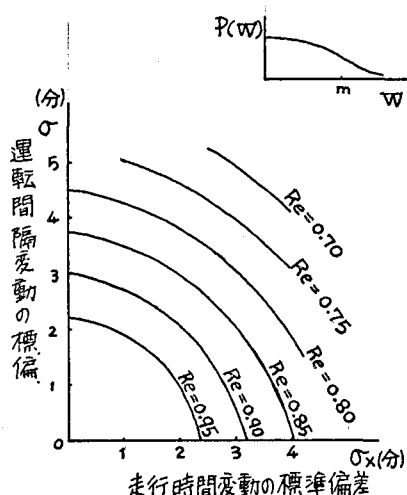


図1 信頼度平面
 (4分間隔運転, $Z=6$ 分)

一樣で λ_i (1/分)、一人当り乗車必要時間も一定で a (分/人) とする。
 実際には両者とも確率変数であるから、以後導かれる式は期待値での議論となる。 Δ_{ij} が生じたことによってひき起こされる遅れ $\Delta_{i+1,j}$ を1次の遅れ、 $\Delta_{i+1,j+1}$ を2次の遅れ、 $\Delta_{i+1,j+2}$ を3次の遅れなどすると、 Δ_{ij} は結局停留所 $(i-1)$ における j 以前のバスの1次、2次、3次、……の遅れの和となる。これを式で表わすと次のようになる。

(1次の遅れ) (2次の遅れ) (3次の遅れ)

$$\Delta_{ij} = \frac{1}{1-a\lambda_{i-1}} \Delta_{i-1,j} - \frac{a\lambda_{i-1}}{(1-a\lambda_{i-1})^2} \Delta_{i-1,j-1} + \frac{(a\lambda_{i-1})^2}{(1-a\lambda_{i-1})^3} \Delta_{i-1,j-2} - \dots \quad (2)$$

この漸化式は次のように図形へのアナロジーを考へて解くことができる。図ろのように経路の伝播係数をとると、 $\Delta_{k,l}$ が $\Delta_{i,j}$ に及ぼす影響は (k,l) から (i,j) に至るすべての経路の伝播係数積の和となる。伝播係数積とはある経路に含まれるすべての伝播係数とかけ合わせたものである。このように $\Delta_{k,l}$ が $\Delta_{i,j}$ に及ぼす影響を $\Delta_{ij}(k,l)$ とすると、走行所要時間変動の分散 $\text{Var}(R)$ と運転間隔変動の分散 $\text{Var}(B)$ は次式で計算される。

$$\begin{aligned} \text{Var}(R) &= \sum_k \sum_l \{ \Delta_{ij}(k,l) \}^2 (\sigma_R^2 + a^2 m \lambda_{k-1}) + \sigma^2 \\ \text{Var}(B) &= \sum_k \sum_l \{ \Delta_{ij}(k,l) - \Delta_{ij+1}(k,l) \}^2 (\sigma_R^2 + a^2 m \lambda_{k-1}) \end{aligned} \quad (3)$$

但 σ_R^2 … 区間 k の走行所要時間変動の分散
 m … 平均運転間隔
 σ^2 … 走行所要時間の日変動

この計算法は乗員通過や降車に乗車より時間のかかった場合などが組み込まないのど、さらに研究の必要があり、今後の課題としたい。

4) 各種バス運行改善政策の評価

図4は 都営バス王40系統を例として (3) の方法により信頼度を計算し、バス優先レーン政策、二人同時乗車政策、バス優先信号政策を行なった場合の信頼度回復をみたものである。優先レーン政策は(3)式での σ' を減少させ、優先信号政策は σ_k を減少させるとした。二人同時乗車政策とは二ノミは三ノミが同時に乗車できる乗降システムを持った都市バスの開発であり、遅れの伝播の程度を減少させるものである。本例では二人同時乗車政策がバス優先信号と同程度の信頼度回復を示してより興味深い。

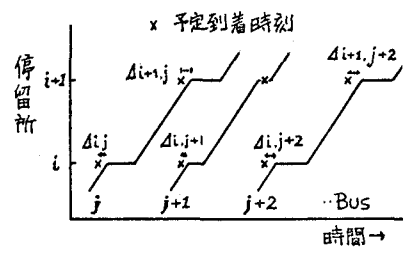


図2 バスの遅れの伝播

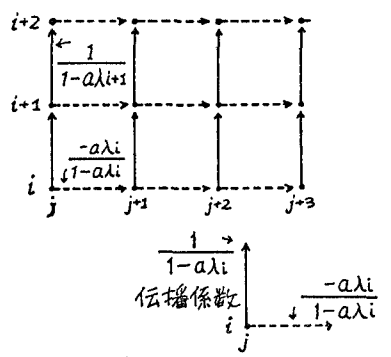
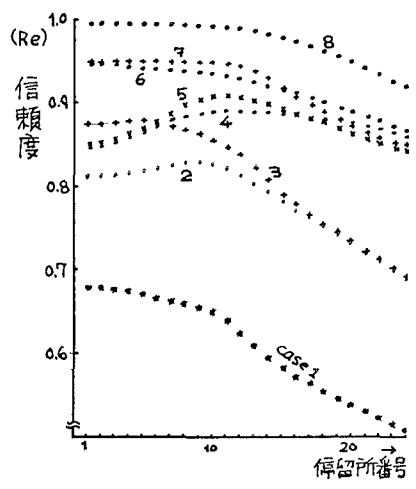


図3 伝播式の解法のアナロジー



case	1	2	3	4	5	6	7	8
優先レーン政策			○			○	○	○
二人同時乗車				○		○	○	○
優先信号					○	○	○	○

時刻変動あり → 時刻変動なし

図4 各政策と信頼度

1) 高岸・戸松 「バス運行挙動に関する二、三の考察」
 土木学会論文報告集 No.199 (p.79)