

東京工業大学 正員 森 地 茂
興銀情報開発 牛 尾 進

1. はじめに

都市内バス輸送は、速度の低下、定時性の欠如等、サービス水準の低下が著しく、利用者の減少、運行効率の低下によりバス事業経営も悪化の一途をたどっている。

バス利用者に対する既存調査結果によれば、彼らの不満は、運行頻度、信頼性、運行時間差、路線等に対するものが多く、特に前者に対するものが多い。

一方、従来、運行頻度の決定方法に対する研究は、Mohring、Flowerや松・波多野の論文等数多く発表されているが、運行の乱れを考慮したものは少ない。

筆者らは先に、バスの信頼性(定時性)に着目した運行改善策の評価方法を提案したが¹⁾、本研究は、バスの信頼性を考慮したバス運行決定方法について考察したものである。

2. バス信頼性の費用換算

バスの信頼性は文献1)に於いて次の様に定義した。

$$Re = Pr(X + W \leq \varepsilon) \quad \text{---- (1)}$$

ここで、 Re はバスの信頼度であり、 X は走行時間の実現値と期待値の差、 W は停留所での旅客の待ち時間である。 ε は旅客がバスストップに対して見込余裕時間であり、 Pr は $(X + W) \leq \varepsilon$ となる確率である。ここでは信頼度を費用換算するために、所要時間の分布を図-1のように想定し、例えば、90%の信頼度での見込余裕時間を ε と考える。平均所要時間 T_m のかわりに、 $T_m + \varepsilon$ を用い、これに時間価値を割ることにより、利用者に対する費用関数に信頼度を組み込むことが可能である。バス事業者に対する費用としても、同様にこの時間延長分から算出することが可能である。即ち、始発停留所をバスが発車する時刻になつても発車すべきバスが遅れて帰つてこない状態を想定して、このために予備車両、予備乗務員を用意しておくに伴う直接・間接費用を信頼度に見合う費用と想定する。一般には、特にこの遅れを想定した予備車を準駐させない場合も多いため、後に示すケーススタディでは、事業者費用を所有バス台数に比例するものと仮定して計算している。

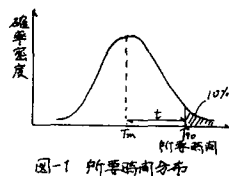


図-1 所要時間分布

3. 費用関数の検討

利用者の時間費用と、待ち時間費用、走行時間費用、見込余裕時間費用に分けて考えると、利用者の時間費用は次式で表すことができる。

$$T.C. = V_1 \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\lambda_i X_i^2}{2} + V_2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N t_{ij} P_{ij} + V_3 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N Z_{ij} P_{ij} \quad \text{---- (2)}$$

ここで、 m :平均運転間隔 t_{ij} : i, j 間所要時間 P_{ij} : i, j 間乗客人数、 λ_i : i 停留所における単位時間当り乗客発生数、 Z_{ij} : i, j 間乗客の見込余裕時間、 X_i : i 停留所における運転間隔、 V_1 :待ち時間に対する時間価値、 V_2 :走行時間に対する時間価値、 V_3 :見込余裕時間に対する時間価値。

待ち時間については次のように考える。バス停において、バスの運転間隔 X_i の間に発生する乗客数は $\lambda_i X_i$ であ

リ1人当り $X_i/2$ 待つとすると、1運転区隔間における待ち時間・人の合計は $\lambda_i X_i/2$ となる。単位時間当り、 $1/m$ バスが運行するから、単位時間当り合計待ち時間価値は、 $V_1 \lambda_i X_i/2m$ となる。

今、 X_i と δ_i を確率変数としてこのTCの期待値は次式で表される。

$$E(TC) = \frac{V_1}{2m} \sum \lambda_i E(X_i) + V_2 \sum \sum E(t_{ij}) P_{ij} + V_3 \sum \sum \sum Z_{ij} P_{ij} \dots (3)$$

$$E(X_i^2) = \text{Var}(X_i) + \{E(X_i)\}^2 \dots (4)$$

次に、運行の乱れ、時間価値の分散によつて生ずる時間費用の変動については、次式が誘導される。まず、時間価値の分散を考えた場合については(5)式に示す結果を得た。

$$\text{Var}(TC)_0 = \frac{V_1^2}{2m^2} \sum \lambda_i \delta_i^2 (\delta_i^2 + 2m^2) + V_2^2 \sum \sum P_{ij}^2 \sigma_{ij}^2 \dots (5)$$

時間価値の分散を考慮した場合の結果は(6)式に示す通りである。

$$\begin{aligned} \text{Var}(TC)_c = \text{Var}(TC)_0 &+ \left(\frac{1}{2m}\right)^2 \sigma_1^2 \left\{ 2 \sum \lambda_i \delta_i^2 (\delta_i^2 + 2m^2) + \left(\sum \lambda_i (\delta_i^2 + m^2)\right)^2 \right\} \\ &+ \sigma_2^2 \left\{ \sum \sum P_{ij} \sigma_{ij}^2 + \left(\sum \sum P_{ij} \mu_{ij}\right)^2 \right\} + \sigma_3^2 \left(\sum \sum \sum Z_{ij} P_{ij}\right)^2 \dots (6) \end{aligned}$$

ここで、 δ_i : 停留所 i の運転区隔の分散、 σ_{ij} : 区間 ij の走行時間の分散、 σ_1 : 待ち時間に对する時間価値の分散、 σ_2 : 走行時間に对する時間価値の分散、 σ_3 : 見込余裕時間に对する時間価値の分散、

一方、文献1)で示したように、バス運行挙動の解析より走行時間変動 ($\text{Var}(t_{in})$)、運転区隔変動 ($\text{Var}(BN)$) に関しては次の関係式が誘導される。

$$\text{Var}(t_{in}) = \sum_{k=1}^N \sum_{l \in S_j} \left\{ \Delta t_{ij}(k, l) \right\}^2 (\sigma_k^2 + a^2 m \lambda_{k-1}) \dots (7)$$

$$\text{Var}(BN) = \sum_{k=1}^N \sum_{l \in S_j} \left\{ \Delta t_{ij}(k, l) - \Delta t_{ij} + 1(k, l) \right\}^2 \cdot (\sigma_k^2 + a^2 m \lambda_{k-1}) \dots (8)$$

ここで、 t_{in} : 停留所1から N までの走行時間、 BN : 停留所 N の運転区隔、 $\Delta t_{ij}(k, l)$: 区間 k のバス j に生じた遅れが、バス j の停留所 i における遅れに及ぼす影響、 σ_k : 区間 k の走行時間の標準偏差、 a : 1人当り乗車所要時間。

4. 運行頻度決定のケーススタディ

特定バス路線と、需要が与えられたとき、各種の m を与えて、図-2の手順により、バス運行費用の分析が可能である。図-3は、都営バス系統についての検討結果を示すものである。見込余裕時間の考慮の有無による費用期待値は図のように異なり、最適運行頻度も異なっている。

定式化の詳細及び、より詳しい費用分析については当日説明することとする。

(文献1)

「バス路線改善のための基礎的考察」
森田耕樹、土木学会論文報告集、
第238号、1975.6.

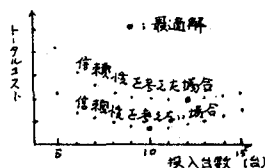


図-3 トータルコスト期待値

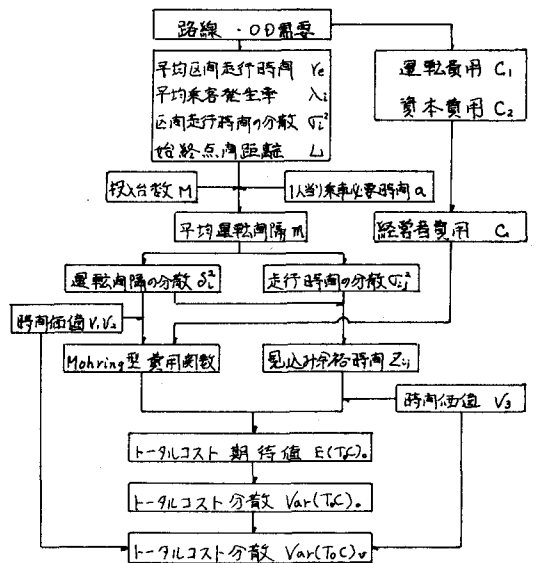


図-2 費用関数値計算手順