

バスサービス改善策の経済評価に 関する基礎的研究

A study on the economic evaluation of the counter measures for bus problem

田宮 行朗* 榛沢 芳雄** 福田 敦***

By Hideaki TAMIYA, Yoshio HANZAWA, Atsusi FUKUDA

In terms of economics, illustrating the mechanism of the counter measures for bus problem is helpful to identify the effect on not only bus users but other road users. Each counter measure can be compared with all others objectively also.

Therefore, the operating cost function for a bus enterprise and the congestion cost functions for bus users and other road users were presented using micro economic theory and the interaction between these three cost functions was defined explicitly. As a case study, an application of exclusive bus lane which is one of an effectual counter measures was appraised comparing with a present condition.

1. はじめに

現在、バス需要の減少が問題となっている。その原因としてバスと他の交通手段とを比較した場合のバスサービスの相対的な低下が挙げられている。それに対し、各地域でバスの高速性・快適性等を向上させるバスサービス改善策が導入されており、その導入効果については数多くの研究事例が報告されている。しかしながら、導入効果については各導入地域および各バスサービス改善策ごとにさまざまな評価方法で評価されているため、同一のバスサービス改善策を異なる地域に導入したときの効果および同

一地域に異なるバスサービス改善策を導入したときの効果を同一の基準を用いて比較検討することはできない。

また、バスサービス改善策の導入の目的がバス利用者のバス離れの防止、他の交通手段利用者からバス利用者への転換の促進にあること、およびバス企業、バス利用者がそれぞれ一道路利用者と考えられることから、バスサービス改善策の導入はバス企業、バス利用者への効果のみならず、他の道路利用者への影響効果をも考慮して評価する必要があると考えられる。

そこで、本研究ではミクロ経済学の理論を用いてバス企業の運行費用関数、バス利用者および自家用車利用者の混雑費用関数を構築する。そして、それぞれの費用を評価基準として、同一地域にさまざまなバスサービス改善策を導入したときにどのような効果を生み出すかを比較検討するための一評価手法を提案することを目的とする。

* 学生員 日本大学大学院 理工学研究科

** 正会員 工博 日本大学教授
理工学部 交通土木工学科

*** 正会員 工博 アジア工科大学助教授
(日本大学助手
理工学部 交通土木工学科)
(〒274 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

(1) 既存研究における評価方法

① バス企業の各種原単位による評価

② バス運行費用による評価

③ バス企業の採算性による評価

(2) 本研究の評価方法

本研究は、サービスを提供するバス企業、バスサ

なお、本研究では次のことを仮定している。

- ・対象は乗合バスとする
- ・評価対象はバス1路線とする
- ・時間帯は1時間ごとに区切る
- ・バスの種類は定員 y 人の1種類とする
- ・バスの運行回数は往復で1回とする
- ・運行所要時間は往復の運行に要する時間で、走行時間と停車時間（乗降時間、信号待ち時間、休憩時間）の合計とする

既存研究および本研究の評価方法の一覧を表-1に示す。

表-1 既存研究および本研究の評価方法の一覧 5)-12)

文献名	研究者	評価主体	評価対象	評価基準	内容
バスの経営分析－生涯費の分析を中心として－	武藤 修	・バス企業	・バス企業の経営状況	・各種原単位項目	バス輸送の原単位項目を算出し、経営分析による半期監査とし、13社のバス会社値に基づき全社平均標準値と比較検討
バスシステムの運行コスト分析	木下瑞夫 青木幸彦	・バス企業	・バス各路線の改善	・バス運行コスト原単位	運行コスト割当法を用いて、運行コスト原単位の定量化するとともに、現実のデータを基にコスト原単位の合理性を検証したうえで、現実のバス輸送データを用いたIC建設と運行コストの比較検証
時間需要変動を考慮した鉄道端末バス輸送計画の検討	中村文彦 太田勝敏 新谷幸二	・バス利用者 ・バス企業	・輸送計画 ・経費	・各種費用 ・維持費 ・バス運行コスト	各サイズバスの配属計画により、バスサービス水準の向上とバス企業の運行コストの低下とをどの程度実現することができるかを評価
バス輸送計画策定を考慮すべき問題点－都市バスの経営取次に関する一般的管理中心として－	田井耕造	・バス企業	・バス企業の経営課題	・経費・収入 ・バスの路線・輸送計画 (1人あたり平均運賃)	バス運行にかかる年間の必要経費、年間収入の一般化を構築し、表は運賃営業工程、運転および経費の単純変化させそれぞれの場合のバス企業の経営課題（経営性）を評価
経営的観点から見た適正な路線バス運行方式に関する研究	青森繪乃郎 片岡隆幸 小柳智 松原廣明	・バスを運行する 町村	・運行方法の各種改善案	・町村別収入（年間）	運行方法に関する問題の定式化を行い、年間の町村別収入を表す関数（費用関数）を構築したうえで、3つの町村別バスの運行方法の比較を考え、それぞれを改善計画
採算性を考慮したバス路線の決定	藤田昌弘 緒方達 須田聖	・バス企業	・バス路線網	・個々のバス路線の採算性 (収入－費用) ・運行利益	目的関数法やODの時間分布からバスサービスと運賃・時間コストのシミュレーションを作成したうえでバス運行費用関数を構築して個々のバス路線の採算性計算
バス路線計画手法の検討に関する2, 3の考察	溝上英志 松井寛	・バス企業	・バス路線のサービス水準	・社団策利	社会的競争最大利益法を用いてバス路線のサービス水準と料金の設定を行う場合の考察
重複バス路線の改善に関する考察	古畑隆 高山誠	・バス企業 ・バス利用者	・シャトルバス運行方式の導入	・バス相互交通網 ・バス利用時間増減 ・バス運行費用	表は重複、通常フェーダー、混合フェーダー、バスを重複変形させた路線の組み合わせによるシミュレーションにより導入効果と計画
本研究		・バス企業 ・バス利用者 ・自家車利用者	・バスサービス導入の導入	・バス運行費用 ・路線費用	バスサービス導入の導入費用、および導入後の運行費用と路線費用との間接的なバスサービス導入を評価する手法の検討

3. バス運行費用

ここでは、バスサービス改善策の導入前後のバス運行費用を比較するためにバス運行費用関数を構築する。本研究では、バスの運行費用の項目としてバスサービス改善策を導入した場合に、特に変化が生じると考えられる人件費、燃料油脂費、車両修繕費、車両償却費、施設償却費を考慮し、年間の1路線あたりのバス運行費用関数を構築する。まず、年間の各費用を求める。

人件費はバス企業の費用項目の中では1番の割合を占める従業員に支払われる費用である。バス企業の従業員数はバス輸送の規模に応じて異なるため、各職種の従業員数はバス台数により決定されるとする。その比例定数は職種ごとに異なり、それぞれの職種について α_n とする。職種は運転手、整備員と

$$FC_1 = \sum_{n=1}^2 (w_n \cdot j_n) \quad \dots \dots (1)$$

($n=1, 2$)

FC_1 : 人件費
 w_n : 職種 n の従業員1人当たり年間人件費
 j_n : 職種 n の従業員数
 $j_n = \alpha_n \cdot b$
 b : バス台数
 α_n : 定数

する。これより、人件費は、(1)式で表される。

燃料油脂費はバスの走行のエネルギー源としてかかる費用である。また、冷暖房等の車内サービスにも燃料はかかるため、バスは停車中にも燃料を消費している。そこで、バスが希望の速度(一定の速度とする)で運行したときの燃料油脂費より、時間当たりの燃料油脂費を求め、この値を基準として、燃料油脂費は運行所要時間に比例するとする。これより、燃料油脂費は(2)式で表される。

$$VC = 365 \cdot GB \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^{e_i} t_{im} \quad \dots \dots (2)$$

($i=1, \dots, I : m=1, \dots, e_i$)

VC : 燃料油脂費
 GB : バスの時間当たり燃料油脂費

$$GB = \frac{VC}{t_b}$$

VC : 希望速度で運行したときの燃料油脂費
 t_b : 希望速度で運行したときの運行所要時間
 e_i : 時間帯 i のバスの運行回数
 t_{im} : 時間帯 i の m 回目の運行の運行所要時間
 $t_{im} = t_{1im} + t_{2im}$

t_{1im} : 時間帯 i の往路の m 回目の運行の所要時間
 t_{2im} : 時間帯 i の復路の m 回目の運行の所要時間

車両修繕費はバスが走行距離により必要とする費用である。ここでは一路線のみを仮定しているために修繕回数は運行回数により決定されるとする。また、すべてのバスの走行距離は最終的には、ほぼ等しくなるため、同一路線におけるそれぞれのバスの運行回数は等しいとする。これより、バス車両修繕費は、(3)式で表される。

$$FC_2 = 365 \cdot f \cdot \frac{e}{b} \cdot \beta \cdot b$$

$$= 365 \cdot f \cdot r \quad \dots \dots (3)$$

FC_2 : 車両修繕費
 f : バス1台あたりの車両修繕費
 r : バスの修繕回数
 $r = \beta \cdot e$
 e : バスの1日の総運行回数
 $e = \sum e_i$
 β : 定数

車両償却費はバス車両が耐用年数の範囲である一定の割合で減価すると考える費用である。車両償却費は(4)式で表される。

$$FC_3 = \frac{k}{n_b} b \quad \dots \dots (4)$$

FC_3 : 車両償却費
 k : バス車両購入費
 n_b : バス車両耐用年数

施設に関して、バス停等のバスの運行に最低限必要な施設は既に存在するものとし、バスサービス改善のために必要な施設は新たに設置・建設されるものとする。また、施設の建設費および道路使用料は施設の規模により異なるため、床面積により決定されるとする。これより、施設償却費は(5)式で表される。

$$FC_4 = \sum_{q=1}^Q \frac{(u_q + w_q) h_q}{n_{sq}} \quad \dots (5)$$

($q=1, \dots, Q$)

FC_4 : 施設償却費
 u_q : 施設 q の床面積当たり建設費(設置費)
 w_q : 施設 q の使用面積当たり道路使用料
 h_q : 施設 q の床(使用)面積
 n_{sq} : 施設 q の耐用年数

ここで、時間帯 i に発生するバス需要を満足させるためのバス輸送供給量を S_i とすると、時間帯 i に

おける運行回数は

$$e_i = \frac{S_i}{y} \quad \dots \dots (6)$$

e_i : 時間帯 i のバスの運行回数
 S_i : 時間帯 i のバスの輸送供給量
ただし、 $S_i \geq \{ \text{MAX} | (X_{1i}, X_{2i}) \}$
 X_{1i} : 時間帯 i の往路のバス利用者数
 X_{2i} : 時間帯 i の復路のバス利用者数
 y : バスの定員

となる。

時間帯 i の運行回数が決定されたとき、時間帯 i の運行に必要なバス台数は、同時期に運行するバスの総台数である。時間帯 i の必要バス台数は、その時間帯の総運行所要時間を単位時間（ここでは、60分としている）で割ることにより求められ、(7)式で表される。

$$b_i = \frac{\frac{e_i}{\sum_{i=1}^I t_{im}}}{60} = \frac{\frac{S_i}{y}}{\sum_{i=1}^I t_{im}} \quad \dots (7)$$

b_i : 時間帯 i の1路線の必要バス台数

(7) 式により求められる時間帯 i の必要バス台数のうち最大の b_i 、

$$b = \{ \text{MAX} | b_i \} \quad \dots \dots (8)$$

b : 1路線の必要バス台数

つまり、最大ピーク時の需要を満足させるための最も輸送供給量の多い、時間帯 i の運行に必要なバス台数がバス会社にとって必要なバス台数となる。

年間の運行費用は(1)～(5)式の合計となる。それに(8)式を代入すると(9)式で表される。

$$\begin{aligned} TC = & 365 \cdot GB \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^I \frac{S_i}{y} t_{im} \\ & + \sum_{n=1}^2 \left(w_n \cdot \alpha_n \cdot \left\{ \text{MAX} | \frac{\sum_{i=1}^I t_{im}}{60} \right\} \right) \\ & + 365 \cdot f \cdot \beta \cdot \sum_{i=1}^I \frac{S_i}{y} \\ & + \frac{k}{n_b} \left(\text{MAX} | \frac{\sum_{i=1}^I t_{im}}{60} \right) \\ & + \sum_{q=1}^Q \frac{(u_q + w_q) h_q}{n_{sq}} \quad \dots (9) \end{aligned}$$

4. 混雑費用

混雑費用は、交通混雑による旅行時間の延長に伴う道路利用者の走行費用と時間費用の増加分である。本研究では、混雑費用関数を構築するうえで次のように仮定する。

- ・走行費用および時間費用は旅行時間の単調増加関数とする
- ・走行車両は自家用乗用車（以下、自家用車とする）とバスのみとする
- ・同一時間帯における同一車種の道路利用者の時間価値は等しいとする
- ・自家用車利用者は1台につき1人とする（同乗者がいる場合も運転手のみを考える）
- ・車内混雑等の快適性による混雑費用は考慮しない

ある道路区間において、自家用車台数が交通容量（ f_N ）を越えてない場合には各車はそれぞれが希望する速度で走行することが可能であり、各車の走行費用、時間費用の合計は

$$C_{id} = (GC + r_{ci}) t_{cd} \quad \dots \dots (10)$$

($i=1, \dots, I; d=1, \dots, D$)

C_{id} : 時間帯 i の $D_{Kid} < f_N$ のときの自家用車 d の走行費用と時間費用の合計

GC : 自家用車の時間当たり燃料油脂費

r_{ci} : 時間帯 i の自家用車利用者の時間価値

t_{cd} : 希望速度で走行したときの自家用車 d の旅行時間

D_{Kid} : 時間帯 i の K 方向の自家用車 d が走行するときの自家用車台数 ($K=1, 2$)

と一定となり、各車に混雑費用は生じない。しかし、自家用車台数が交通容量を越えた場合には、各車は希望の速度で走行できなくなり、自家用車が増加すると各車の走行費用、時間費用の合計は

$$\begin{aligned} \Delta C_{Kid} = & n_{Kid} \frac{d C_{Kid}}{d D_{Kid}} \quad \dots (11) \\ = & (GC + r_{ci}) n_{Kid} \frac{d t_{Kid}}{d D_{Kid}} \end{aligned}$$

ΔC_{Kid} : 時間帯 i の K 方向の自家用車 d の混雑費用

C_{Kid} : 時間帯 i の $D_{Kid} > f_N$ のときの自家用車 d の走行費用と時間費用の合計

t_{Kid} : 時間帯 i の $D_{Kid} > f_N$ のときの自家用車 d の旅行時間

n_{Kid} : 時間帯 i の K 方向の自家用車 d が走行しているときの交通容量オーバー台数

$n_{Kid} = D_{Kid} - f_N$

だけ増加する。この増加分が混雑費用である。このとき、この道路区間の自家用車全体では、

$$\Delta SC_{Ki} = \sum_{d=1}^{D_{Ki}} n_{K1d} \frac{d C_{K1d}}{d D_{K1d}} \dots\dots (12)$$

ΔSC_{Ki} : 時間帯 i の K 方向の自家用車全体の混雑費用
 D_{Ki} : 時間帯 i の K 方向の自家用車台数

の混雑費用が生じる。

この道路区間にバスが走行しているとき、自家用車はバスの走行、バス利用者の乗降等の停車の影響を受け、自家用車 1 台について走行車両台数が交通容量を越えてない場合には

$$\Delta CC_{K1d} = (GC + r_{ci}) e_i \frac{d t_{K1d}}{d e_i} \dots (13)$$

ΔCC_{K1d} : 時間帯 i の $A_{K1d} < f_N$ のときの K 方向の自家用車 d の混雑費用
 A_{K1d} : 時間帯 i の K 方向の自家用車 d が走行しているときの走行車両台数
 $A_{K1d} = D_{K1d} + e_i$

の混雑費用が生じ、交通容量を越えている場合には

$$\Delta rC_{K1d} = (GC + r_{ci}) n_{K1d} \frac{d t_{K1d}}{d A_{K1d}} + (GC + r_{ci}) e_i \frac{d t_{K1d}}{d e_i} \dots (14)$$

ΔrC_{K1d} : 時間帯 i の $A_{K1d} > f_N$ のときの K 方向の自家用車 d の混雑費用

の混雑費用が生じる。そして、自家用車全体では

$$\Delta SRC_{K1} = \sum_{d=1}^{D_{K1}} \{ (GC + r_{ci}) n_{K1d} \frac{d t_{K1d}}{d A_{K1d}} \} + \sum_{d=1}^{D_{K1}} \{ (GC + r_{ci}) e_i \frac{d t_{K1d}}{d e_i} \} \dots\dots (15)$$

ΔSRC_{K1} : 時間帯 i の K 方向の自家用車全体の混雑費用

の混雑費用が生じる。

そのとき、バスに生じる混雑費用としてはバス企業のものとしてバス利用者のものが挙げられる。バス企業のは運行費用の増加分で表される。ここでバス利用者の混雑費用について考える。自家用車利用者が走行費用である燃料費を自ら支払っているのに対し、バス利用者はそれぞれがバス企業に運賃を支払って利用している。この運賃がバス企業の燃料費を負担していると考えればバス利用者にとっては運賃がバス利用者の走行費用だと考えられる。しかし、それがなくなるため、混雑費用は生じなくなる。よ

うに、運賃は走行時間にかかわらず一定である。これより、バス利用者の混雑費用は時間費用の増加分となる。よって、時間帯 i のバス利用者の混雑費用は (16) 式で表される。

$$\Delta bc_{K1m} = r_{bi} n_{K1m} \frac{d t_{K1m}}{d A_{K1d}} \dots\dots (16)$$

Δbc_{K1m} : 時間帯 i の $A_{K1d} > f_N$ のときの K 方向の m 回目の運行のバス利用者の混雑費用
 r_{bi} : 時間帯 i のバス利用者の時間価値

以上を図化すると図-1 のように示される。このように自家用車利用限界費用はバス利用限界費用よりも安い場合、自家用車利用者にとってはバスを利用するよりも自家用車を利用したほうが有利となる。

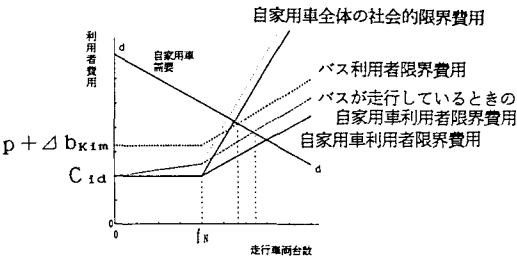


図-1 交通の現況

5. 評価方法

ここで、簡単なバスサービス改善策導入の評価例として片側 2 車線の道路に存在するバス系統全区間に時間帯単位でバス専用レーンを設置する場合を考える。なお、この区間において迂回路は存在せず、バス需要は両方向ともだいたい同程度発生するものとする。

バス専用レーンの設置は自治体の規制によるのでバス企業に特別な施設費はかからない。しかし、バスは希望する速度で走行できるようになりバスの 1 運行あたりの費用は減少する (図-2 参照)。

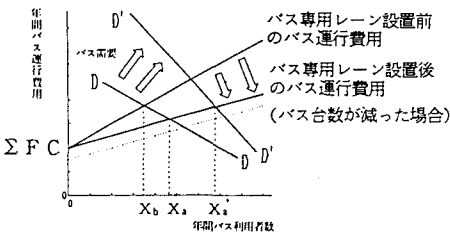


図-2 バス運行費用の変化

また、バス利用者にとっては、発車遅れ、運行遅

てバス利用の限界費用は運賃となる（図-3 参照）。を満たし、バス運行の条件として、

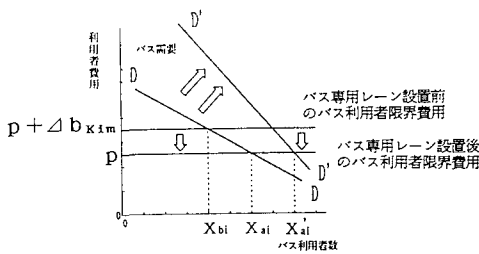


図-3 バス利用者限界費用の変化

一方、自家用車はバスの走行および停車の影響を受けなくなる。しかしながら、利用可能な車線が1車線となるため、交通容量はバス専用レーン導入前と比べると半分になる。その結果、自家用車利用の限界費用は上がり、道路利用への支払い意志額の少ない自家用車利用者にとってはバスを利用した方が有利となる。しかし、自家用車台数がバス専用レーン導入前と比べて変化しない場合は交通混雑が発生する（図-4 参照）。

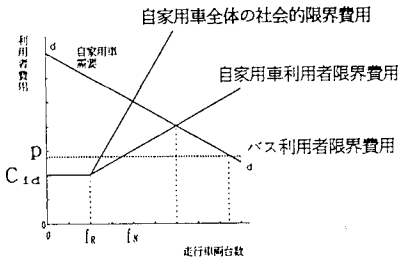


図-4 バス専用レーン導入後

$$\Delta SAC_{ki} = \sum_{d=1}^{D'_{ki}} \{ (GC + r_{ci}) q_{k1d} \frac{d t_{k1d}}{d D'_{ki}} \} \quad \dots \dots (17)$$

ΔSAC_{ki} : 時間帯 i の K 方向のバス専用レーン設置後の自家用車全体の混雑費用

q_{k1d} : 時間帯 i の K 方向の自家用車 d が走行しているときの交通容量オーバー台数

$$q_{k1d} = D'_{ki} - \frac{f_N}{2}$$

D'_{ki} : 時間帯 i のバス専用レーン設置後の K 方向の自家用車 d が走行しているときの自家用車台数

D'_{ki} : 時間帯 i のバス専用レーン設置後の K 方向の自家用車台数

そこで、バス専用レーンの設置が自家用車に悪影響を与えない条件として

$$\Delta SRC_{ki} > \Delta SAC_{ki} \quad \dots \dots (18)$$

$$e_{ai} \geq \frac{(D_{ki} - D'_{ki} + X_{kai})}{y} \quad \dots \dots (19)$$

e_{ai} : 時間帯 i のバス専用レーン設置後の運行回数

X_{kai} : 時間帯 i の K 方向のバス専用レーン導入前のバス利用者数

を満たしたときに時間帯 i において K 方向のバス専用レーンの設置が有効となると考えられる。

6. おわりに

本研究ではバスサービス改善策の評価手法としてバスの運行費用と混雑費用を評価基準とした手法を提案し、簡単な例を示すことができた。まだまだ、考えの域を出てないが、今後、さらに研究を進め、実際の値を用いた評価手法の適用を行うことにより、本手法の妥当性を示すつもりである。

最後に、本研究を進めるにあたって千葉県バス協会、京成電鉄の方々から適切な御意見、御指示をいただいた。ここに感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 土木工学ハンドブック 第53編 プロジェクトの評価 第4章 経済評価
- 2) 岡野行秀; 交通の経済学 入門経済学7 有斐閣選書
- 3) 西村和雄; ミクロ経済学入門 岩波書店
- 4) 山内弘隆、太田和博; ロード・プライシングの経済理論 国際交通安全学会誌 Vol.15 No.4 pp16-23 1989.12
- 5) 武藤修; バスの経営分析 -生産性の分析を中心として- 高速道路と自動車 23巻10号 pp21-25 1980.10
- 6) 木下瑞夫、青木秀幸; バスシステムの運行コスト分析 土木計画学研究・講演集 No.7 pp9-15 1985.1
- 7) 中村文彦、太田勝敏、新谷洋二; 時間帯需要変動を考慮した鉄道端末バス輸送計画の検討 昭和63年度 第23回日本都市計画学会学術研究論文集 pp379-384
- 8) 田中耕造; バス輸送計画策定上考慮すべき問題点 -都市バスの経営収支に関する一般的理論を中心として- 運輸と経済 42巻4号 pp47-58 1982.4
- 9) 青島縮次郎、片田敏孝、小柳智、松原範明; 経営的観点から見た適正な過疎バス運行方式に関する研究 土木計画学研究・論文集 No.5 pp147-154 1987.11
- 10) 藤田昌弘、稲村肇、須田聖; 採算性を考慮したバス路線の決定 土木計画学研究・講演集 No.8 pp177-184 1986.1
- 11) 溝上章志、松井寛; バス路線別評価手法の開発に関する2, 3の考察 土木計画学研究・講演集 No.9 pp265-271 1986.10
- 12) 古池弘隆、高山誠; 重複バス路線の改善に関する一考察 土木学会第44回年次学術講演会講演概要集 pp402-403 1989.10
- 13) (社)日本バス協会; 1990年版 日本のバス事業
- 14) 中村文彦; 用語と解説 バスの表定速度 交通工学24巻4号 pp60-31 1989.7