

赤字バス路線改善のための総費用最小化に関する研究

A Study on Total Cost Minimization toward Improving Bus Company Operating in Red

北海道大学大学院 工学院 ○学生員 棚田和輝(Kazuki TANADA)
 北海道大学大学院 工学院 正員 内田賢悦(Ken'etsu UCHIDA)
 千歳市 市民環境部 非会員 中出英利(Hidetoshi NAKADE)
 北海道大学大学院 工学院 正員 Katia Andrade
 北海道大学大学院 工学院 正員 田村亨 (Toru TAMURA)

1. 研究の背景と目的

近年、過疎やマイカー普及の影響から地方を中心に多くのバス路線が赤字で運行している¹⁾。そういったバス路線を抱える自治体は、高齢者や車を運転できない者の移動手段である公共交通を守るため、路線バスを運行する民営バス会社に対し補助金を交付することで地域のバス路線を維持している。しかし、人口が減少していく一方で、補助金は変わらず発生し続けているため、バス路線維持が難しくなっている。仮にバス路線が廃止されると、地域に残る人が移動できなくなる結果、地域が成り立たなくなることが考えられる。そのため、バス路線再編により現状の打開を図る地域も多いが、バス運営にかかわる人々の間で考えの食い違いもあり、地域社会的に最適なバス運営形態を迫及することは容易ではない。

本研究では、バス路線を維持したときの地域全体で発生するコストに注目し、バス運営に大きくかかわる住民・バス会社・自治体の三つの立場を考慮しながら、社会的に最適なバス運営形態を考えることを目的とする。

2. 研究方法

本研究では、バス運営に関わる総費用最小化問題と近年新たに提唱されているインセンティブ報奨制度を組み合わせた研究を行う。過疎地域におけるバス運営では一般的な市場原理に任せてしまうと、バス路線を廃止させた方が社会全体での金銭的な負担を小さくするという結果が得られる²⁾³⁾。しかし、路線バスは交通弱者の貴重な交通手段であるため、利用者がいる限り赤字でもバス路線を維持する方が望ましいとする考え方もある。そこで、どうしても赤字が発生するのであれば、その額を少しでも減らすために関係主体の総費用最小化に注目した。

また、バス会社の企業努力を喚起するために近年新たに提唱されているインセンティブ報奨制度を考える。バス会社はバス路線の赤字額に応じて自治体から補助金が投入されるため、赤字改善に消極的である可能性がある。そこで、バス会社が赤字削減に対しインセンティブを働かせるために、赤字削減額に応じて自治体からバス会社に対し報奨金を支払う制度モデルについて分析を行った。

以上の分析を行うに当たり、まず赤字バスを運行している地域についてアンケート調査を行う。調査後、アンケート結果を参考に非集計行動モデルを用いて交通機関選択モデルを構築したのち、先にあげた二つの分析を行うことにより社会的に最適なバス運営形態を考える。

3. 調査

調査および研究の対象地域は、「赤字バス路線を抱える地域」、「バス路線維持と公費負担の在り方に悩む自治体」である千歳市を対象とする。本研究ではテストケースとして千歳市西部に位置する泉沢・向陽台地区を運行するバス1路線を対象とした。アンケート概要を表1に示す。アンケート回答者数は886名であった。

4. 分析

4.1 交通機関選択モデル

交通機関選択モデルは二項ロジット(以下 BL)モデルを用いる。BLモデルの選択確率は次の式で表される。

$$P_m = \frac{1}{1 + \exp(V_m - V_{m'})} \quad (1)$$

以上の式から BL モデルには各交通機関 $m=\{b:\text{バス}, c:\text{車}\}$ に対して、住民が感じる交通機関 m の効用関数 V_m が必要になる(式(2))。

$$V_m = \alpha_m + \alpha_T \cdot T + \alpha_F \cdot F + \beta \cdot \mathbf{X}_m \quad (2)$$

α_m : 選択肢固有パラメータ, α_T : 所要時間パラメータ

α_F : 選択肢固有パラメータ

T : 所要時間(分), F : 運賃、料金(円)

$\mathbf{X} = \{X^1 \dots X^n\}$: ダミー変数ベクトル

$\beta = \{\beta^1 \dots \beta^n\}$: ダミー変数のパラメータベクトル

変数は移動に要する料金、所要時間に加え、移動目的などのダミー変数をいくつか用いる。パラメータ推計に用いたデータは交通機関を「選択している」人々のみとし、学生などバスのみ利用可能な人は次節の手法をとる。

4.2 利用頻度の予測

交通手段がバスのみの人など交通機関が固定されている人々に対しては、交通機関選択モデルが適用できないため、バスの利用頻度の変化でバスサービスの評価を行う。手法はバスサービスと合成財を消費することによって得られるコブ・ダグラス型効用関数によって表現し、バスサービスの改善による効果をバス利用頻度の増加としてとらえることができる。

表-1 アンケート調査の概要

	内容
対象地域	千歳市泉沢・向陽台地区
配布日時	平成24年8月
配布方法	町内会による各戸配布
調査対象	高校生以上の路線バスを利用している住民
調査項目	一日の交通行動(PT調査)、現在のバスの利用状況、バス運行で改善してほしい点、個人属性(性別、年齢など)

4.3 関係主体の総費用最小化問題

(1) 総費用について

採算性のないバス路線を維持するという前提のもと、バス運営上のコストを減らすことを考える。

まず、バス運営における三者それぞれが負担するコストを定式化する。

(2) 住民のコスト

個人、世帯単位での支出はなるべく小さくしたいと考えている。交通機関が固定されている層を除けば、交通サービスを向上させることで利用者のコストは変動する。バス路線 $i \in \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ に対する利用者のコスト UC_i (User Cost) は期待最小費用(ログサム変数)で表す。

$$UC_i = \frac{1}{\alpha_F} \cdot \ln \left\{ \sum_m \exp(V_m) \right\}. \quad (3)$$

(3) 企業の利潤

民間業者であるため、収益が出るバス路線のみを運行したい。しかし、バス路線の収支が赤字でも、自治体からの補助金が投入されることで赤字の補てんができるため、経営改善に積極的ではない可能性がある。バス路線 i の企業(バス会社)の利潤 CP_i (Company Profit) は運賃収入 R_i と運行コスト C_i を用いて式(4)で表す。

$$CP_i = R_i - C_i, \quad (4)$$

$$\text{where } R_i = \sum_{j \in s(i)} N_j \cdot P_b^j \cdot F_j. \quad (5)$$

$s(i)$: バス路線 i のバス停集合、 N_j : バス停 j の勢圏人口

F_j : バス停 j から乗車した場合の運賃

式(4)が負になる場合、利潤が 0 未満、つまり赤字でバスを運行していることになる。

(4) 自治体のコスト

自治体は人口減少などの影響により税収が減少しているため、補助金などの支出を減らしたいと考えている。自治体のコストはバス路線 i ごとに投入される補助金 S_i に加え、インセンティブ報奨制度を導入した際のバス会社の赤字削減額 δd_i に応じて自治体から支払われる報奨金 t_i (δd_i) の和となる。補助金はバス会社に赤字が発生した場合にのみ投入されるため、その関係は式(7)で表わすことができる。

$$GC_i = S_i + t_i(\delta d_i), \quad (6)$$

$$S_i \cdot (CP_i + S_i) = 0, S_i \geq 0, CP_i + S_i \geq 0. \quad (7)$$

(5) 総費用の最小化

バス運営に対する総費用 TC はバス路線 i を運行する地域の住民・企業・自治体のコストおよび利潤の総和であり、この最小化問題は式(8)で表わされる。

$$\min TC = \sum_i (UC_i - CP_i + GC_i). \quad (8)$$

w. r. t. fare, time, etc.

総費用 TC が最小になるとき、バス路線を維持したうえで社会的に最も経済負担が小さいバス運営となる。これをバス運賃や所要時間などの要因に対して、社会的総費用が最小となるようなバス運営形態を考える。

4.4 インセンティブ報奨モデルの設計

インセンティブ報奨モデルを導入した場合のバス会社の総収入を考える⁴⁾。赤字のバス路線 i の赤字削減に必要な費用を $\varphi(\delta d_i)$ 、バス会社の総収入を f とおくと、バス会社は式(9)の最大化問題を解くことによって赤字削減額を決定すると考えられる。

$$\max f = \sum_i (t_i(\delta d_i) - \varphi(\delta d_i)), \quad (9)$$

w. r. t. δd_i

式(9)を満たす時、インセンティブが導入された際にバス会社の総収入が最大となる。赤字削減に必要な費用 $\varphi(\delta d)$ は $N(\mu, \sigma^2)$ の正規分布とし、平均 μ と標準偏差 σ は以下の式に従うと仮定する。

$$\mu = E[P(\delta d_i, z)] = d_{\max} \cdot \left(\frac{\delta d_i}{d_{\max}} \right)^{1+|a|z}, \quad (10)$$

$$\sigma = b \cdot \mu. \quad (11)$$

式(10)、(11)中のパラメータ a 、 b は既存研究⁴⁾より $a = 0.0104$ 、 $b = 0.3042$ であることが推定されている。 d_{\max} は赤字の最大削減額であり、赤字総額と一致する。 z は路線属性であり、本研究では路線長を用いる。

次に、報奨金 $t(\delta d)$ は次のように定式化する。

$$t_i(\delta d_i) = r \cdot \delta d_i. \quad (0 < r < 1) \quad (12)$$

r は定数として、報奨金は赤字削減額に比例すると仮定する。

最終的に、式(9)と式(8)の総費用最小化問題を同時に解析することで、インセンティブ報奨制度を導入した場合の、社会的に最も負担が小さくなるバス運営形態を知ることができる。

5. まとめ

本研究では赤字バスが運行する地域に対し、関係主体の総費用最小化とインセンティブ報奨モデルにより、社会的に最適なバス運営形態を調べた。課題として、分析は調査対象地域を運行するバス路線に限られたため、より多くの地域、路線で分析を行う必要がある。また、インセンティブ報奨モデルは新しく研究され始めたばかりの研究分野であり、実証性を含めた今後の検証が必要である。

<参考文献>

- 1) 国土交通省：「バスの車両数、輸送人員及び走行キロ」、国土交通省統計情報・白書
- 2) 小林潔司ほか：「過疎地域におけるバスサービスの最適維持方策に関する研究」、土木学会論文集, No.611, IV-42, pp45-46, 1999
- 3) 吉村充功ほか：「都市近郊におけるデマンドバスの最適運用に関する分析」、日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会、pp42-43, 2003
- 4) 溝上章志ほか：「熊本都市圏におけるバス路線網再編計画案へのインセンティブ報酬モデルの適用」、土木学会論文集, Vol.68, No.2, 105-116, 2012