地方都市郊外におけるタクシー車両を用いた乗合交通手段の成立可能性に関する研究

石川　凌大[1]・紀伊　雅敦[2]・玉置　哲也[3]

[1] 学生会員　香川大学大学院　創発科学研究科（〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20）
E-mail:s22g252@kagawa-u.ac.jp

[2] 正会員　大阪大学大学院教授　工学研究科（〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1－1）
E-mail: kii@see.eng.osaka-u.ac.jp

[3] 正会員　香川大学準教授　創造工学部（〒761-0396 香川県高松市林町 2217-20）
E-mail: tamaki.tetsuya@kagawa-u.ac.jp

本研究では，地方都市郊外におけるバス路線の乗り合いタクシーサービスによる代替可能性を，利用者，事業者，行政の 3 者の利得を推計して評価することが目的である．これらの指標は，所要時間や運賃などにより異なるため，本研究では選択モデルを作成し，様々な条件での需要及び 3 者の利得を推計した．

その結果，適切な運賃と補助率の設定により 3 者が利得を得られること，一方で条件次第ではデメリットが生じうることが示された．

Key Words: *local public transportation, vatacs, bus, taxi*

1. はじめに

現在，日本の多くの地方都市では少子高齢化が進行しており，増加する高齢者の免許返納により公共交通の必要性は高まる一方，人口減少や自動車利用の増加による輸送人員の低下によって路線維持が課題となっている．これに対し，赤字となっているバス路線の代替としてコミュニティバスや乗合タクシー等を導入することが多くなっている．しかし，そうした交通サービスもほぼ赤字であり，行政の負担は少なくない．

高松市ではバタクスと呼ばれる距離に応じた変動運賃と相乗りを併用したバスとタクシーの中間となる新たな交通モードを提案している．バタクスは乗用タクシー車両の活用や独自の運賃制度，エリア限定のドアツードア型のデマンド交通といった特徴を有している．バタクスは事業補助により事業者が運行するものであり，行政が借り上げて運行することが多い同様の乗合タクシーと違う運行形態をとっている．従って，事業者が当該事業に参入するかを見通すには，運賃収入と補助金を考慮した事業収入の考慮が不可欠である．また，予約がない際には車両は通常のタクシーとして営業することで収入を得ることができる．このバタクスを，現在運行補助を受けながらも赤字であるバス路線と置き換えることで，運行経費の削減，補助金の削減，および利便性の向上を目指している．しかし，その効果は十分には検証されていない．

そこで，本研究ではバタクスについて，運賃を変化させた際の利便性，事業収支，補助額という 3 つの指標を利用者，事業者，行政の利得として表すことで成立可能性を評価することを目的とする．

具体的には，高松市で 2022 年の 1 月から導入実証が行われた地域を対象地域として設定し，実証実験で回収されたアンケート結果に基づき，利用者の選択行動を Mixed Logit モデルで表し，所要時間や運賃等の条件を変化させる場合の需要を推計する．その結果をもとに 3 者の利得を推計しバタクスの事業性を評価する．

2. 既往研究と本研究の位置づけ

(1) 既往研究

地方都市における公共交通の路線維持には様々な課題があり，コミュニティバスに関する研究やタクシーをバスの代替手段とする数多くの研究がなされている．天野ら[1)]は，コミュニティバスを運行している全国市区町村の担当課を対象としたアンケート結果に基づき，コミュニティバスの運行取組状況の把握と分析をし，事業評価を行うことで路線の維持の問題点を整理した．これによると，バス事業の問題点として採算性の厳しさが挙げられている．また，運賃の割引による需要の増加に関して，秋山ら[2)]は岐阜県の本巣市を対象に実証実験を行い，運賃の割引による需要増加及び運行経費の変化等を調べた．

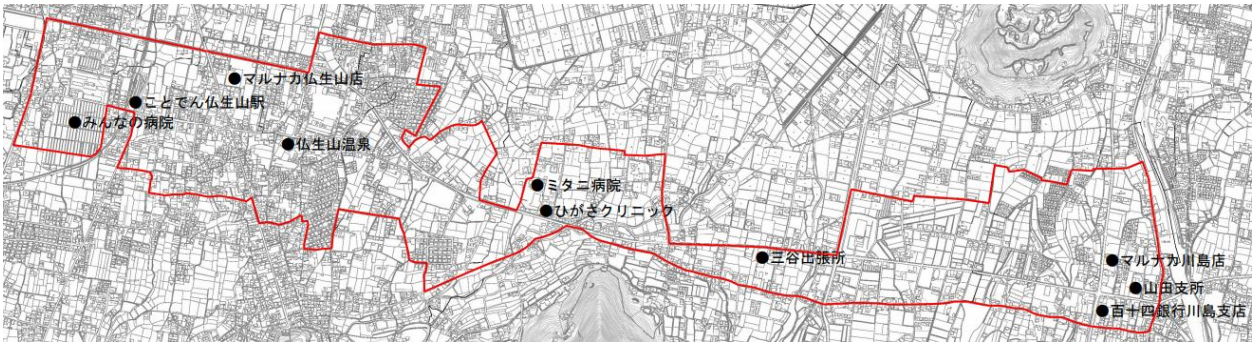


図１　仏生山川島線を基に周辺地域を含んだ対象エリア

その結果，運賃の割引によって需要は増加するが，採算はあまり改善せず，運行経費の面から持続可能性は少ないとみなしている．

このように割引等によるバス需要の喚起策により路線を維持目指す事例がある一方で，タクシーをバスの代替として用い運行経費を削減する取り組みもみられる．塚田ら [3]はタッチパネル式の装置を用いて，タクシーを容易に呼び出せるシステムを公共交通不便地域に導入し，コミュニティバスをタクシーで代替する実験を行っている．その結果，システム導入により公共交通不便地域でタクシー交通需要は増加し，システム導入費用を考慮しても全体の経費を削減できると結論付けている．

鈴木ら [4]は高齢者を対象としたタクシー運賃の割引が高齢者の外出行動に与える影響について分析している．アンケート調査に基づく分析から割引率が大きいほど高齢者の利用が促進されることが示されている．

(2)　本研究の位置づけ

既往研究より，公共交通維持のための施策は様々検討されており，タクシーをバスの代替手段とする研究も存在するが，これらの手法では従来のバスよりもコストが多くかかる場合も存在しており，実施には検討の必要性がある．しかし，収支やコストの観点からバス路線のタクシーによる代替の可能性を検討しているものでは，同一距離運行時のコスト比較や需要を従来のバスのものを使用しての分析にとどまることが多い．これらに対し，本研究で対象としているバタクスでは，バスやタクシーとは異なる運賃制度を用いた上，バタクスとしての運行と通常のタクシーとしての運行を同時に行う．既往研究ではバスやタクシーの運行形態をそのまま用いて分析していることが多いが，それではバタクスでの運行形態に対する分析を行うことは難しい．

本研究ではバタクスにおける独自の料金制度やサービス体系を考慮して利用者，事業者，行政の利得の推計を行う．

3.　分析手法と使用データ

(1)　分析手法

本研究ではバタクスにおける需要について推計し，それを基に作成した利用者，事業者，行政の利得モデルを従来のバス事業やタクシー事業と比較することで評価を行う．本研究の需要推計について，高松市で行われた導入実証で得られたアンケート結果を基に Mixed Logit モデルの各パラメータを推計し，バタクスの運行条件となるように変数を設定してバタクスの需要を推計しモデルを作成する．この作成した需要モデルを基に 3 者の利得を算定する．バタクスの導入実証ではバスを 8 時間，バタクスを 4 時間運行しているため，本研究でも同様の運行条件を仮定している．また，導入実証では運賃が 600 円で固定であったことから，本研究では乗車距離や相乗りによって運賃が変動することはないとしている．

本研究の対象エリアを図 1 に示す．これは高松市が設定した導入実証の対象エリア [5]と同じ範囲である．

本研究で用いる Mixed Logit モデルは次の式(1)～(5)によって表せる．

$$P_i = \frac{\exp(U_i)}{\sum_{m \in M} \exp(U_m)} \tag{1}$$

$$U_v = \beta_c * X_{cv} + \beta_t * X_{tv} \tag{2}$$

$$U_b = \beta_c * X_{cb} + \beta_t * X_{tb} + \beta_{wb} * X_{wb} + \beta_{0b} \tag{3}$$

$$\beta_c \sim N\left(\beta_c^{'}, \sigma_c^2\right) \tag{4}$$

$$\beta_t \sim N\left(\beta_t^{'}, \sigma_t^2\right) \quad (5)$$

ただし
Pi：交通機関 i の選択確率
Ui：交通機関 i の効用
Uv：交通機関バタクスの効用
Ub：交通機関バスの効用
M：交通機関の選択肢集合
Xc i：かかる運賃
Xt i：かかる所要時間
βc ：運賃にかかるパラメータ
βt ：所要時間にかかるパラメータ
βwb ：天候にかかるパラメータ
β0b ：バスに対するパラメータ

βc は平均 $\beta_c^{'}$，分散 σ_c^2 の正規分布に，βt は平均 $\beta_t^{'}$，分散 σ_t^2 の正規分布に従うと仮定した.

Mixed Logit モデルにより算出されたパラメータを表に示す．また，アンケート結果よりバスの利用頻度はバス停までの距離に影響を受けていると考えられたため，対象エリアをバス停から徒歩 1 分圏，5 分圏，10 分圏，15 分圏の 4 つのエリアに分け，それぞれのエリアごとに式(6)を用いて外出頻度を推計した.

$$n = (a_{Fixed} + a_{Random}) + (b_{Fixed} + b_{Random}) \times X \quad (6)$$

ただし，
n：公共交通を用いての外出頻度
aFixed ：固定効果の切片
aRandom ：ランダム効果による回答者ごとの切片の変動
aFixed ：固定効果の傾き
aRandom ：ランダム効果による回答者ごとの傾きの変動
X：ログサム変数

これらの結果を基に式(7), (8)を用いて需要の推計を行った.

$$q_i = \sum_a p_a \times r \times n_a \times P_{ia} \quad (7)$$

$$Q_{id} = q_{vd} + q_{bd} \times \frac{t_{bd}}{T_{bd}} \quad (8)$$

ただし，
qi：交通機関 i の需要
pa：a 圏人口
r：高松市の公共交通利用率
na：a 圏における外出頻度

表　Mixed Logit モデルのパラメータ

	パラメータ	標準誤差	p 値
所要時間（平均）（分）	-0.382	0.016	2×10^{-16}
所要時間（標準偏差）（分）	0.031	0.019	0.102
運賃（平均）（円）	-0.012	4.784×10^{-4}	2×10^{-16}
運賃（標準偏差）（円）	0.042	0.002	2×10^{-16}
天候	3.031	0.138	2×10^{-16}
固有パラメータ	-2.566	0.146	2×10^{-16}

Pia：a 圏における交通機関 i 選択確率
Qid：1 日当たりの実証運行形態での総需要
qvd：1 日当たりのバタクスの需要
qbd：1 日当たりのバスの需要
tbd：1 日のバタクス実証運行形態でのバスの運行時間
Tbd：1 日の従来のバス路線でのバス運行時間

Mixed Logit モデルより推計した需要を基に式(9)～(14)を用いてバタクスの年間当たりの利用者，事業者，行政の利得を算出する.

$$C^m = -\frac{1}{\beta_c}\ln\sum_i exp(U_i) \quad (9)$$

$$B_i = D_{iy} \times Q_{id}\left(C^0 - C^v(C_i)\right) \quad (10)$$

$$I_v = C_{taxi} \times P(x=0;C_i)^2 + 2\left(C_i + C_{ig}\right) \times \sum_{k=1}^{3}\left(P(x=k;C_i) \times P(x=0;C_i) + P(x=k;C_i)^2\right) \quad (11)$$

$$I_i = T_{iy}(I_v - C_{taxi}) \quad (12)$$

$$S_v = T_{iy} \times 2C_{ig} \times \sum_{k=1}^{3}\left(P(x=k;C_i) \times P(x=0;C_i) + P(x=k;C_i)^2\right) \quad (13)$$

$$S_i = S_b - \left(S_v + S_b \times \frac{T_{by} - T_{iy}}{T_{by}} \right) \qquad (14)$$

ただし,

C^m：交通機関 i の期待最小費用

βc：運賃のパラメータ

Bi：年間当たりの利用者の利得

Diy：年間当たりのバタクス運行日数

C^0：バスの選択確率が 1 の時の期待最小費用

$C^v(Ci)$：バタクスの運賃が C_i の時の期待最小費用

Iv： 1 時間当たりの事業者の収入

Ctaxi；1 時間当たりのタクシー期待収入

Ci；バタクスの運賃

Cig；1 回の運行当たりの高松市からの補助額

P(x=k；Ci)：運賃が C_i の時に片道で k 人が乗車する確率

Ii：年間当たりの事業者の利得

Tiy：年間当たりのバタクス運行時間

Sv：年間当たりのバタクスの補助額

Si：年間当たりの行政の利得

Sb；現在のバスの年間補助額

本研究では事業者と行政の利得の式で用いる高松市からの補助額を 1 回の運行につき, (1950-Ci)×補助率とし, 補助率を 0, 1/4, 1/3, 1/2, 2/3, 3/4 の 6 パターンに変化させて推計する.

(2) 使用データ

需要を推計する際に用いたバタクスとバスの運賃と所要時間のデータは, 所要時間が同じで, バスの運賃は 200 円としてバタクスの運賃水準を 0 円から 1950 円まで変化させたものを使用している.

また, 1 時間当たりのタクシー期待収入は, 輸送人員あたりの営業収入を 1020 円とし, 1 日 18 時間営業するとして, 1 時間あたりの輸送人数を 0.65 人と想定し, 663 円/時間を 1 時間当たりの期待収入として設定した.

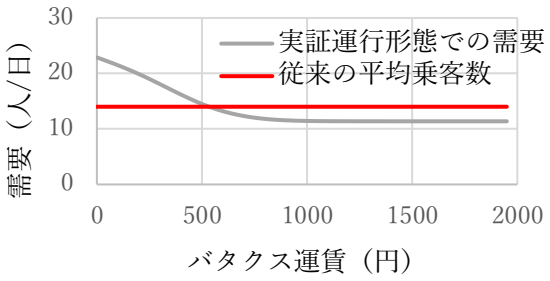


図 2 1 日当たりの需要

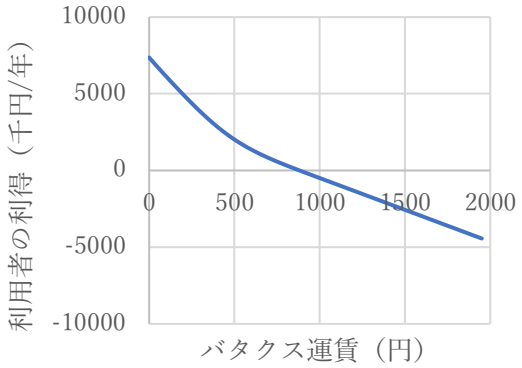


図 3 年間当たりの利用者の利得

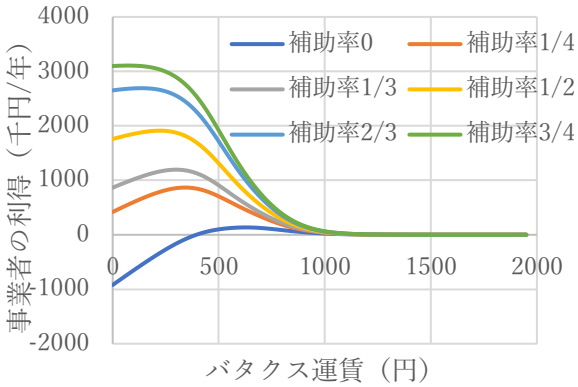


図 4 年間当たりの事業者の利得

4. 分析結果

運賃に対する需要のモデルを図 2 に示す. 需要の推計値を見ると, 運賃が 520 円以下であればバタクスの需要が従来の平均乗客数を上回っている. これは現在のバス運賃である 240 円よりバタクス運賃が高くなっても需要が見込めることを示しており, バタクスのメリットがバスよりも大きいことも考えられる. 次に, 利用者の利得を図 3 に示す. これを見ると 880 円までは利得があることがわかる. 需要の結果と併せると, 520 円以上の運賃の時, 需要は従来の平均乗客数を下回るが 880 円までは利用者が感じるメリットが大きく, 利得を得られるのだと考えられる. 図 4 に事業者の利得を示す. これについて見ると, 導入実証での運賃である 600 円時は補助が無くても利得を得られるという結果になっており, 導入実証での補助率である 2/3 から引き下げることも可能であるといえる. 図 5 に示した行政の利得を見ると, 導入実証での補助率 2/3 では運賃を 620 円以上にする必要があり, 導入実証の条件では行政が利得を得られないことがわかる. しかし, 620 円でもタクシーの運賃以下であり, タクシー以下の運賃設定と行政が利得を得ることは両立可能であるといえる. また, 補助率を下げることで運賃も下げることが可能であり, より良い条件を設定できると考えられる. 最後に図 6 に示す全体の利得について見

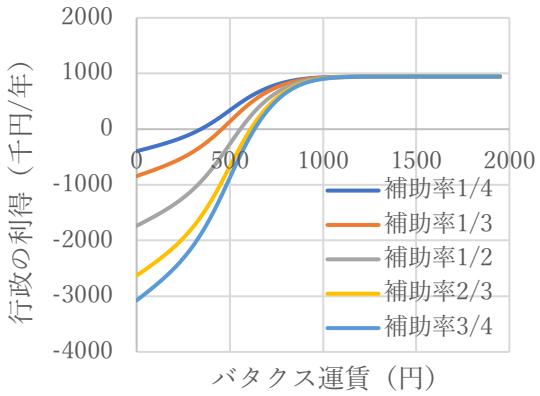


図 5　年間当たりの行政の利得

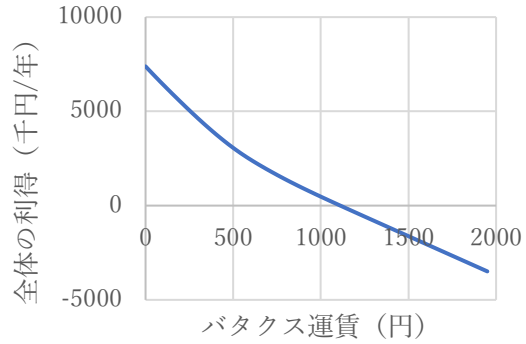


図 6　年間当たりの全体の利得

ると，運賃は安いほど利得は高くなることがわかる．このことから利用者，事業者，行政の 3 者が利得を得られる条件の中で，最も運賃が安くなる条件に設定することで全体の利得も高くなる．

これらのことから，本研究の仮定において最も良いと考えられる条件は補助率 1/4，バタクス運賃 350 円といえる．これは 3 者が共にメリットを得るという目標は達成可能であることを示している．

5.　まとめ

本研究では高松市で行われた導入実証のアンケート結果に基づき交通手段選択モデルを構築し，それを用い，バタクスの料金を変化させた場合の公共交通需要を推計した．その結果，利用者，事業者，行政の 3 者が利得を得られる条件が存在し，またそれらの合計を現状よりも改善可能であることを明らかとした．

ただし，本研究ではバスとバタクスが併用されている状況を想定しているが本来はバタクスのみの運行を目指しているため，バタクスのみの運行での 3 者の利得についても，今後は分析が必要である．また，乗車距離や相乗りの有無による運賃や補助額の変動も考慮しておらず，タクシーとバタクスが競合しないという仮定でモデルを作成しているため，よりバタクスの実際の運行状況を反映した分析を行う必要がある．さらに，本研究ではバタクスはタクシーの需要が減っている時間帯に運行しているものとしているが，期待収入は時間帯によって大きく変わるため，バタクスのみで運行する場合時間帯によるタクシーの需要についても考慮し，適切なバタクスの運行時間の設定も必要である．これらについては今後の課題とする．

謝辞：本研究は科研費（23K04077）の成果の一部である．研究費の支援に対し記して謝意を表する．

参考文献

1) 天野圭子，中山徹：コミュニティバス運行取組状況に関する研究-全国自治体の実施状況把握と分析-，日本建築学会技術報告集，Vol.12，No.23，pp. 415-420，2006.
2) 秋山孝正，奥嶋政嗣，井ノ口弘昭：持続可能性を考慮した地方都市の公共交通計画に関する実証的研究，交通学研究，Vol.55，pp. 223-232，2012.
3) 塚田悟之，高田邦道，小早川悟：公共交通不便地域におけるタクシー交通の活用方策，都市計画論文集，Vol.43.3，pp. 823-828，2008.
4) 鈴木雄，日野智，前田悠抄：タクシー運賃の割引率が高齢者の外出行動へ与える影響に関する研究，都市計画論文集，Vol.52，No.3，pp. 795-801，2017.
5) 高松市役所：バタクス運行エリア https://www.city.takamatsu.kagawa.jp/kurashi/shinotorikumi/machidukuri/sogotoshikoutu/kyouka_suisin/kousei_vatacs.html

?

A STUDY ON THE FEASIBILITY OF SHARED RIDE TRANSPORTATION USING TAXI VEHICLES IN THE SUBURBS OF LOCAL CITIES

Ryota ISHIKAWA, Masanobu KII and Tetsuya TAMAKI

The purpose of this study is to evaluate the feasibility of replacing bus routes with shared-ride cab services in the suburbs of a local city by estimating the gains for the three parties: users, operators, and the

government. Since these indices vary depending on travel time and fares, this study developed a selection model and estimated demand and the gains of the three parties under various conditions.

The results showed that the three parties can gain by setting appropriate fares and subsidy rates, while disadvantages may arise depending on the conditions.