

ゲーム的状況下における交通手段選択に関する実験と分析*

Experiment and analysis of travel mode choices in game situation *

原祐輔**・高見淳史***・原田昇****・大森宣暁*****

By Yusuke HARA**・Kiyoshi TAKAMI***・Noboru HARATA****・Nobuaki OHMORI*****

1. はじめに

公共交通が衰退していると言われ続けて久しい。自家用車の普及を遠因として公共交通利用は減少し、公共交通の収益は悪化する。その結果として、サービスレベル(以下LOS)が低下し、さらなる公共交通利用の減少を引き起こすという負のスパイラルは多くの地域で見られる現象である。

このような中で、2006年に金沢市が導入したバストリガー方式¹⁾は公共交通事業者と利用者双方の利害を調整した興味深い事例である。バストリガー方式とは値下げ等のLOSの向上を行う代わりに事前に設定した採算ラインを満たさなければ元に戻すことを条件とした契約を事業者と地域住民等の間で締結する制度である。この制度により、金沢大学と旭町を結ぶ1区間200円の路線を100円で運行し、2006年度・2007年度は2005年度の2.2~2.7倍の利用者数を獲得している^[1]。

		バス事業者	
		高LOS	低LOS
利用者集団	バスを利用	(2, 2)	(0.5, 1.5)
	別の交通手段	(1.5, 0.5)	(1, 1)

図-1 公共交通のゲーム的状況

ここで、松島²⁾によれば、バスのLOSと利用者数の間にはポジティブフィードバックのメカニズムが機能しており、バスの運行費用が十分小さいときには複数の均衡が生じることが知られている。このことを図-1のような簡単なゲームで考えてみる。純粋戦略のみを考慮すると、2つのナッシュ均衡が存在し、(2, 2)の方が双方にとって望ましく、パレート効率的な均衡である。しかし、現実の交通市場における均衡の多くは(1, 1)であり、どちらの主体もそれぞれの戦略を変更する誘引が存在しない。

*キーワード: 交通手段選択, SPデータ, ゲーム理論

**学生員, 東京大学大学院工学系研究科

(東京都文京区本郷7-3-1, TEL03-5841-6234,

E-Mail:hara@ut.t.u-tokyo.ac.jp)

***正員, 博士(工学), 東京大学大学院工学系研究科

****正員, 工博, 東京大学大学院工学系研究科

*****正員, 博士(工学), 東京大学大学院工学系研究科

バストリガー方式は採算ラインの維持を条件に事業者が高LOSを提示させ、利用者集団には契約を破棄しないようバス利用を促進させるという点で双方の利害を調整している。この点は事業者が単純にLOSを向上させることとは異なる効果があると考えられる。

以上の点を踏まえ、本研究ではバストリガー方式をモデルとした交通手段選択ゲームをWebベースSP調査で実施し、バストリガーの効果を検討した手段選択モデルを構築する。また、モデルの分析からバストリガーが必要・供給双方の意思決定に与える影響を考察する。この試みにより、供給側だけではなく、双方に望ましいLOSの決定が実現可能になると期待される。

2. 交通手段選択ゲーム実験の概要

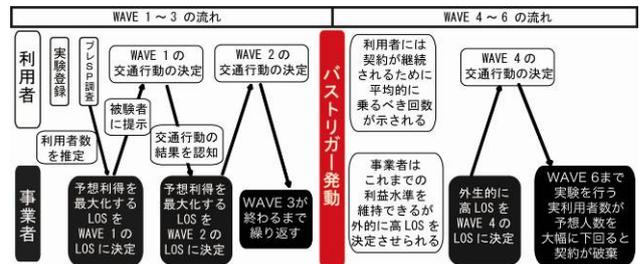


図-2 交通手段選択ゲーム実験のフロー図

本研究で用いたデータは2008年1月に20名の東京大学学生にWeb上で実施した7日間の交通手段選択ゲーム実験のデータである。この実験では利用者と事業者という2つの主体を考え、利用者の行動は各被験者が決定し、事業者の行動は後述の利潤最大化行動のルールの下に決定する。実験では仮想的な通学先への交通手段として、路線バス、自転車、レンタサイクル(以下RC)、徒歩の4種類を考え、所要時間や運賃、頻度といったLOSと降水確率を提示し、各被験者は交通手段を選択する。

図-2に実験の流れを示す。まず、被験者にSP調査を行い、そのデータをMultinomial Logit(MNL)モデルで次項の表-1のようにパラメータ推定を行い、一定のルールの下でWAVE 1のLOSを決定する。利用者は提示された交通手段の中からWAVE 1の月曜から金曜までの5日分の通学手段をそれぞれ選択する。その結果を得た事業者は予測を修正してWAVE 2のLOSを提示し、利用者はその下で交通手段を選択することをWAVE 3まで繰り返す。

事業者の利潤最大化行動のルールは以下のように仮定する。表-1のように推定された結果から導かれる選択確率を式(1)に代入して、利潤が最大化できると予想されるLOSを事業者は決定する。

$$\pi = p \times pop \times Pr - TC \quad (1)$$

$$TC = C \times freq \quad (2)$$

ここで π は事業者の1ヶ月の利潤、 p はバスの運賃、 pop はその路線を利用する1ヶ月のポテンシャル人口(外生的に117,000人と与える)、 Pr はバスの選択確率、 C はバス1本を1ヶ月走らせる費用(外生的に1,170,000円と与える)、 $freq$ はバスのピーク時1時間あたりの本数、 TC は各LOSにおけるこの路線の総費用である。

表-1 事前SP時点のモデル推定結果

説明変数	推定値	t 値
バス選択肢固有定数	-2.974	-3.677
自転車選択肢固有定数	-2.319	-4.238
徒歩選択肢固有定数	-4.060	-3.020
共通パラメータ		
log 時間	-0.768	-0.864
費用	-0.018	-3.319
バス専用パラメータ		
log 頻度	0.950	2.782
降水確率	0.048	4.382
サンプル数	100	
L(0)	-145.561	
L(β)	-103.541	
尤度比	0.289	
自由度調整済み尤度比	0.241	

表-1より、事業者は各LOSにおける利潤を予測し、WAVE 1のLOSを決定する。ただし、本研究では pop と C を外生的に与えており、これらの値によって π を最大化するLOSが変化することを防ぐため、 π/TC に標準化し、この値を最大化するLOSを事業者は選択することとする。また、図-3は事前SP時における π/TC の一例である。このルールにより、実験のWAVE 1のバスのLOSは運賃100円、頻度1本から開始する。

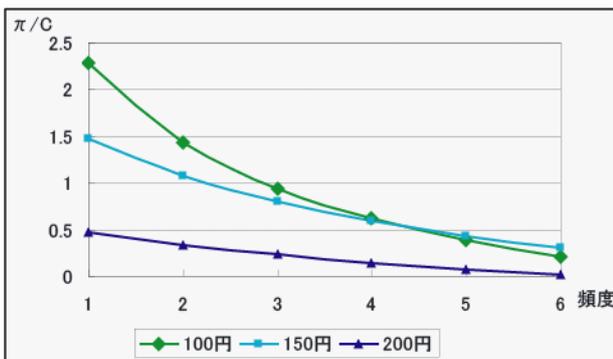


図-3 π/TC とLOSの関係

ここで、実験の設定としてWAVE 4にバストリガー方式を導入する。バストリガー方式によって外的に決定する高LOSの水準として、利用者目標値を設定することで100円・頻度1本時と同水準の利益を実現できるLOSのうち、最も高いLOSである100円・頻度6本を設定した。このときの利用者目標値は、利用者の8割が利用することで達成される値であり、各被験者においては1期の5日間のうち平均4日以上以上のバス利用で達成されるものである。また、バストリガー導入された後のWAVE 5, 6においては、被験者に前期の利用者数が示され、利用目標値と比べてどの程度多かったのか、バストリガー方式を継続するか否かが示された。

3. ゲーム実験の結果

本章ではゲーム実験の結果を示す。WAVE 1~3におけるLOSは π/TC を最大化するというルールの下で、每期100円1本が事業者から被験者に提示された。また、バストリガー導入後のWAVE 4以降はバス利用が80以上であることがバストリガー継続の条件である。

まず、表-2に被験者行動の集計結果を示し、図-4には実験結果における交通分担率を示している。WAVE 4は80に1回分足りなかったが誤差の範囲と捉え、実験では継続した。WAVE 5ではその反動かバス利用が微増し、一方でWAVE 6ではバス利用が減少していることが結果に表れている。

表-2 被験者行動の集計結果

wave	1 期	2 期	3 期	4 期	5 期	6 期
バス運賃	100 円					
バス頻度	1 本	1 本	1 本	6 本	6 本	6 本
バス	36	31	40	79	84	74
自転車	12	9	8	4	2	4
RC	36	44	37	8	8	12
徒歩	16	16	15	9	6	10
合計	100	100	100	100	100	100

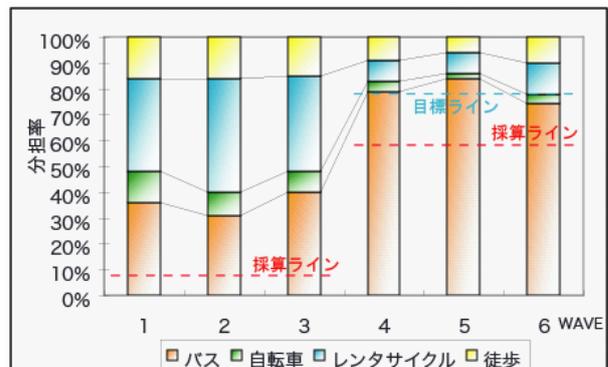


図-4 ゲーム実験における交通分担率

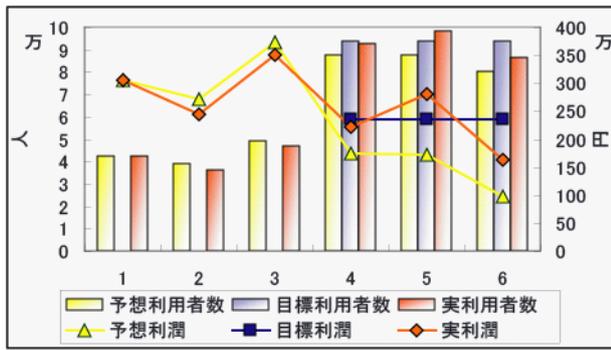


図-5 利用者数と事業者利潤の推移 (1)

この実験過程において事業者側から見た利用者数や利潤の推移を図-5に示す。この図からは、WAVE 1~3までのLOS(運賃100円・頻度1本)がバストリガー導入により運賃100円・頻度6本へとLOSが大幅に向上したことにより、利用者数が2倍以上となっていることがわかる。また、トリガー導入前では事前SPによる予想利用者数、予想利潤ともに実数値と大きな誤差は生じていないが、トリガー導入後は予想利用者数・利潤よりも実際の値が上方に偏っており、目標値に引き寄せられているようにシフトしていることが確認できる。また、WAVE 4,5においては目標利用者・利潤をほぼ達成しており、事業者の採算を保証しているが、WAVE 6のみ利用者数が目標値の92.5%と目標を大きく下回っている。

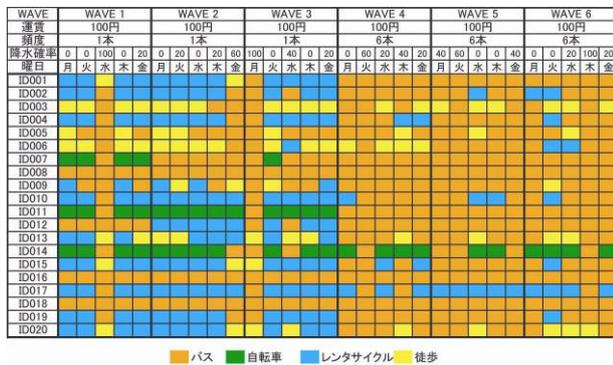


図-6 被験者ごとの交通手段選択の結果

図-6は被験者ごとの交通手段選択の結果を示している。ここからはまずトリガー導入によって、多くの被験者が大きくバス選択に移行したことだけでなく、これまで全くバスを利用しなかった層さえ、移行していることが確認できる。次に、WAVE1~3までの結果からは仮想的な実験という各被験者にとって同一条件下においても個人ごとに主要な交通手段の選好が異なり、その選好には慣性があることがわかる。また、高い降水確率に反応して普段の交通手段とは異なり、バスや徒歩を利用する被験者が存在することが示された。

この結果からは、バストリガーが導入されたWAVE 4を境にバス利用が大幅に増加していることが示されている。

しかし、これらの結果だけではバス利用の増加がLOSの向上のみに由来する可能性があり、バストリガー方式に固有の効果が存在することを示すものではない。そこで、次章ではバストリガー方式の効果を特定化する。

4. バストリガーを考慮したモデル推定

実験結果から得られたデータを用いて、再度MNLモデルでパラメータ推定を行う。このモデルでは、表-1のモデルの説明変数に加えて、バスの説明変数としてバストリガーを導入しているWAVE 4~6のデータにバストリガーのダミー変数、WAVE 5,6のデータに目標値と前期結果の差の値を組み込んだ。後者は具体的にはWAVE 5には79と80の差の-1を、WAVE 6には84と80の差の4である。また、徒歩の説明変数にバスと同様、降水確率を組み込んだ。その推定結果を示したのが下記の表-3である。

表-3 バストリガーを考慮したモデル推定結果

説明変数	推定値	t 値
バス選択肢固有定数	-2.509	-5.107
自転車選択肢固有定数	-2.257	-6.147
徒歩選択肢固有定数	-2.755	-3.129
共通パラメータ		
log 時間	-1.200	-3.708
費用	-0.013	-3.073
バス専用パラメータ		
頻度	0.260	3.981
バスにおける降水確率	0.041	8.502
バストリガーダミー	0.788	2.128
目標値と前期結果の差	-0.053	-0.791
徒歩専用パラメータ		
徒歩における降水確率	0.025	4.550
サンプル数		700
L(0)	-970.406	
L(β)	-641.834	
尤度比	0.339	
自由度調整済み尤度比	0.328	

推定結果からは、各パラメータの推定値の符号が現実的であることや実験結果の考察を説明するものとなっていることがわかる。バストリガーのダミー変数も有意となっており、所要時間や費用、頻度といったバスのLOSだけでは説明できない影響を被験者の選好に影響を与えているといえる。この推定値と費用の推定値の比を単純にとると、バストリガーは運賃を約60円引き下げると同等の効果があるといえ、バストリガーがバス利用を促進していることがわかる。

一方で、目標値と前期の集計結果の差という説明変数の推定値については、t値は有意ではないもののその符号からは前期の結果が目標値に届かない場合、今期のバス利用を増加させ、前期の結果が目標値を十分に超えている場合、バス利用を減少させる行動の存在を示唆しているといえる。WAVE 5,6のデータは全体のデータの一部であり、しかもt値も有意ではないため、この結果から考察することは言い過ぎであることを理解している。しかし、あえて言えば、バストリガーは目標値の設定により、バス事業者のLOSを向上させることで、利用者の効用を高めるものの、利用者全体で達成すべき目標値という制約条件に関しては不効用を発生させていると考えられる。そのため、目標値に達していない場合はLOSの向上に繋がるバストリガーの継続を重要視し、目標値を十分超えている場合は、各々の選好の異質性を重視して手段選択を行うという意識構造が存在する可能性がある。このような意識構造の存在を説明・確認するような新たな実験・分析を今後行うことが必要である。

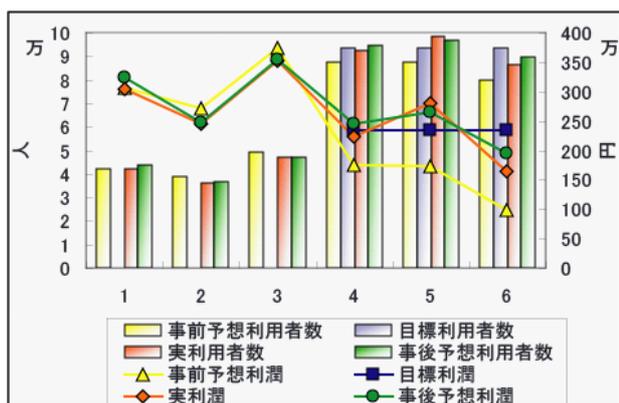


図-7 利用者数と事業者利潤の推移 (2)

また、この実験後のモデルを用いて、利用者数や事業者利潤を予測した値を前掲の図-5に加えたものが図-7である。この図から、バストリガー以前は事前予測・事後予測ともに大きな値がないが、バストリガー以降はバストリガーの影響を反映し、事業者利潤の予測が大きく上方に移行していることがわかる。これらの予測からバストリガーがない場合、低LOSによって十分黒字化している事業者にとっては、LOSを向上させて収支を悪化させるインセンティブは働かない。しかし、バストリガーの存在によって、利潤がある程度保証され、高LOSへと向上させる可能性が考えられる。

このように、バストリガーは利用者の意識構造のみならず、事業者のLOS選択の意識構造にも影響を与える可能性が存在することが今回の実験結果とその分析から示唆される。

5. まとめと今後の課題

本研究では、バストリガー方式に焦点を当て、交通手段選択ゲームを実施することで、バストリガー方式の特徴や有効性について検討した。利用者行動のモデル化に関しては、バストリガーが通常のバスのLOSでは説明できない正の影響を被験者に与えていることが明らかとなった。しかし、目標値という制約はその達成の程度により、正・負双方の影響を与えている可能性が示唆された。

一方、事業者行動を考慮すると、LOSを向上させるインセンティブは働かない事業者の戦略を変化させるのにバストリガーが効果的であることが示された。

今後の課題として、バストリガーが利用者全体に求める目標値が利用者の意識構造にどのような影響を与えているのか、利用者が現在の効用と将来のバスのLOSの維持による中長期的効用とを天秤にかけながら、意思決定を行っているのか、などを明らかとするような実験枠組みと分析手法を考案し、利用者・事業者双方の利害を調整するバストリガーの影響の更なる検討をすすめたい。

注

- [1] バストリガー方式に関して、高山純一 金沢大学教授にヒアリングさせていただいた際に、この路線のバストリガー方式の成功には100円バスというLOSの向上のみならず、金沢大学による学生への駐車場管理が大きな要因であることを伺った。本研究では、上記ケースのような利用者側への規制に関しては考慮していない。

謝辞：お忙しい時間を割いて、快くヒアリングに応じていただいた高山純一教授には記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 金沢市によるバストリガー方式のWeb site
<http://www4.city.kanazawa.ishikawa.jp/11031/taisaku/trigger/100en.jsp>
- 2) 松島格也：戦略的相補性と交通市場，土木計画学研究・講演集，No. 28，CD-ROM，2003.
- 3) 北村隆一・森川高行編著：交通行動の分析とモデリング，技報堂出版，2002.
- 4) 鈴木聡・毛利雄一・中野敦・原田昇：パネルデータに基づく交通手段選択行動の分析，土木計画学研究・講演集，No. 13，pp. 537-542，1990.
- 5) 杉恵頼寧・藤原章正・小笹俊成：選好意識パネルデータを用いた交通機関選択モデルの予測精度，土木学会論文集，No. 576/IV-37，pp. 11-22，1997.