

# 繰り返しゲームを用いた金沢バストリガー 契約の解釈とトリガー契約成立条件

梶原 康至<sup>1</sup>・溝上 章志<sup>2</sup>・藤見 俊夫<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 ナビタイム・ジャパン (〒107-0062 東京都港区南青山3-8-38南青山東急ビル)

E-mail: yasunori-kajiwara@navitime.co.jp

<sup>2</sup>正会員 熊本大学教授 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

E-mail: smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 熊本大学准教授 大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

E-mail: fujimi@kumamoto-u.ac.jp

バス事業者と利用者が新たなサービス改善の取組による採算ラインを予め設定し、それを下回った場合には事業者はその取組を止めるという契約に基づき、バス料金の値下げや路線新設などを行うバストリガー制が注目されている。本研究では、金沢大学と北陸鉄道とで結ばれたバストリガー契約を、両者がこの契約に協力するか協力を放棄するかという長期間のゲームと捉え、1) 無限繰り返しゲームを用いて、金沢バストリガー契約に対する両者の時間経過に伴う意思決定過程の解釈を行うこと、2) バストリガー制度を長期に渡って継続させていくための適切な運賃水準と目標収支の設定を行い、バストリガー制の導入可能性を検討することを目的とする。

**Key Words:** bus-trigger system, infinitely repeated game, contract condition

## 1. はじめに

乗合バスは地域の日常生活を支える公共輸送サービスの役割を担ってきた。都市部では、自動車の代替手段として、交通混雑の解消などに貢献しているだけでなく、これからの日本が直面する更なる人口減少・少子高齢化社会による高齢者などの交通弱者に対する移動手段としてもその役割は極めて重要である。地方部では地域住民のモビリティを保証する唯一の公共交通機関でもある。また、自動車依存によるリスクの増大、地球温暖化におけるCO2排出量の削減目標、交通渋滞の解消、土地利用と交通の連携といったさまざまな社会問題の観点においても主となる存在である。しかし、乗用車の利便性の向上・普及や少子高齢化にみられる人口構造の変化や地域住民の生活パターンの多様化などにより、全国の都市でバス利用需要の減少傾向にあり、バス事業の経営悪化が深刻化している。

熊本都市圏においても、自動車利用者数の増加の反面、

路線バスの利用者数は、この20年間で半減し、ここ10年間でも3割近く減少している。そのなかで、前述のとおり公共交通機関の果たす重要性から、熊本市としてもバス事業者に対する運行補助等の施策を実施してきた。しかし、その運行補助も年々増加し、市交通局においては、バス事業への一般会計からの繰出金が毎年10億円を超える状況になっている。このような状況をふまえて、熊本市は、将来にわたって利便性の高いバスサービスを提供するため、「熊本市地域公共交通連携計画」を策定し、バス路線網再編や利用促進策を実施しているところである。

このような厳しい経営状況の中、官と事業者が協力をしてMM等のさまざまな利用促進を行ってきたが、バス利用者の減少に歯止めがかからないのが現状である。この結果、利用者の減少がバスの減便等の利便性低下を招き、これにより更なる利用者の減少を誘発するという悪循環が形成されており、この関係は、交通事業者に新たな利便性向上策の展開を躊躇させている。この流れを断

ち切り、交通事業者が積極的な利用促進策を展開できる状況をつくっていくことが重要である。そこで現在、利用者側の協力を促すために、利用者の理解を高めかつ具体的な協力への責任を持ってもらうことに焦点を当てた政策としてバストリガー制度が注目されている。

本研究では、金沢大学と北陸鉄道とで結ばれたバストリガー契約を、両者がこの契約に協力するか協力を放棄するかという長期間のゲームと捉え、1) 無限繰り返しゲームを用いて、金沢バストリガー契約に対する両者の時間経過に伴う意思決定過程を解釈すること、2) バストリガー制度を長期に渡って継続させていくための適切な運賃水準と目標収支の設定を行い、バストリガー制の導入可能性を検討することを目的とする。

## 2. バストリガー制度

バストリガー方式とは、市などの行政の仲介のもと、バス事業者と利用者が合意（バストリガー協定の締結）の上でバス運賃や路線の新設・延長、運行ダイヤの増便などを決定するもので、新規取組路線に関する採算ライン（利用者数による指標設定を想定）を設定し、それを下回った場合は取組を止めることができるという方式である。この方式は、交通事業者にとっては、事業展開の実効性を高めるとともに、期待した効果が得られなかった場合の責任を利用者と分け合うことによるリスクの軽減がメリットとなり、一方、利用者にとっては、積極的かつ継続的にバスを利用するという一定の責任を担う代わりに利便性の向上が実現されるという、努力・責任・リスクを担いつつ双方に利点がある win-win の関係により成立している。この取り組みは利用者に対して、公共交通利用のインセンティブを賦与することにもなり、利便性向上とそれによる利用者の増加が、さらなる利便性向上を生む好循環の創出につながるものと期待している。また、「トリガー」とは、「引き金・誘因」のことで、動きになぞらえ目標が達成できなければ元に戻すということを本来の由来とする造語であるが、公共交通活性化の「引き金」となって欲しいという思いも込められている。

具体的な事例として、金沢大学と交通事業者（北陸鉄道）が、金沢市の仲介のもとに協定を締結した「金沢大学地区金沢バストリガー協定」について紹介する。この取組の背景に、平成14年から香林坊～武蔵ヶ辻間の運賃の100円化（従前200円）により乗客数が大幅に増加したことと、アンケート調査結果により、旭町周辺～角間キャンパス間の100円運行により多くのバス利用転換が予測されていたことがあげられる。

平成17年10月に、本市から北陸鉄道に対して、大学



図-1 金沢バストリガー路線

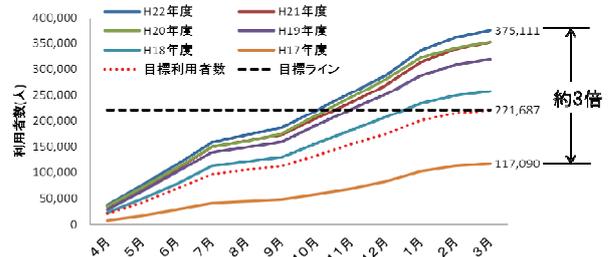


図-2 金沢バストリガーの月別利用者数実績

生等の利用増加につながる料金低減策を検討することなど、公共交通の利便性向上に向けた取組について要請を行うとともに、金沢大学に対して、前述のバストリガー方式による取組を提案した。金沢市にキャンパスがある金沢大学は、市中心部から離れた山奥にあるために、自動車による通学をする学生が増加していた。そのため、学生が絡んだ交通事故の発生や限られた敷地内での駐車場の確保が困難になるなどの問題が発生し、大学側としても解決策を模索していた。また学生の利便性向上にもつながるメリットもあった。

当初、市中心部から大学まではバス路線が敷かれていたが、最終便が早い、休日の便数が少ないなどの理由から、利用者数は少なかった。そこで、平成18年度、金沢大とバスを運行していた北陸鉄道との間で契約を締結し、バストリガー制度を導入することとなった。その契約内容は、「旭町（金沢市中心部）～金沢大学キャンパス間で乗車し、かつ降車する場合は現行のバス運賃を100円とするが、基準年度（平成17年度）に対象路線から得られた収入を実施年度に対象路線から得られた収入が超えなければ、以前の運賃に戻すことを条件とする」というものだ。上記の対象路線については図-1に示す。この契約により、図-2に示すように、バス事業者である北陸鉄道は対象路線の便数を増加するなどサービスの向上に努め、利用者である大学側も利用頻度を増やすような呼び

かけを行うなど、契約維持のために両者が努力している点が特徴である。また契約を維持することが両者にとってプラスであることも重要である。

金沢大学と北陸鉄道間で交わされた金沢市のバストリガー制度では、制度継続の目標ラインをトリガー制導入前の基準年度(平成17年度)の運賃収入を上回るために必要な利用者数としている。平成18年度から平成21年度の利用者数はこの目標ラインを越え、それぞれ2.21, 2.73, 3.01, 3.01倍となっており、順調なように見える。しかし、北陸鉄道はこの契約の破棄を希望していた。その理由は、平成17年度の運賃収入から算定される目標ラインは上回っているものの、例えば車内混雑緩和のための増便やバスの新車購入など、この利用者数へ適切なサービス提供するための費用が大幅に増加するために、この総費用が総収入を上回り、収支が赤字になったためとされている。

このような経緯から、バストリガー制度を導入する際は、目標ラインの指標を事前の運賃収入ではなく、収支にすることが肝要である。また、バストリガー制度は、1年ごとに、利用者側が目標利用者数を達成するか否かで、バス会社側が次年度の契約を維持するか破棄するかを決定する長期的な制度であることから、導入可能性を検討する場合は静的でなく、動的な分析・シミュレーションを行うことが必要である。

### 3. 金沢バストリガーの利用実績を用いた分析

#### (1) プレイヤーの設定と契約の設定

収入による契約を結んだ金沢バストリガーでは、利用者の増加に伴って必要となる増便などによって増加する費用をあらかじめ考慮していなかったために、バス会社側の収支(収入-収支)が悪化する結果となった。このよ

うな状況を無限繰り返しゲームで説明できるかを検証する。

金沢バストリガーのゲームで対戦するプレイヤーは2人であり、バス会社である北陸鉄道をプレイヤー1、金沢大学をバス利用者の学生集合としてプレイヤー2として対戦を行う。ゲーム理論では、両プレイヤーは独立な意思決定主体であるとともに自身の戦略を完全にコントロールできなければいけない。従って、バス利用者が学生や教員である以上大学は戦略をコントロールできないように思える。しかし本研究では、協議会のような大学内での組織を仮定することで、あたかも1人のプレイヤーのようにふるまっていると考え、この組織によって、学生または教員のバス利用者数をコントロールできるものとしている。また、プレイヤー1はバストリガー制度の対象区間の運賃を160円から一律100円に引き下げのに対して、プレイヤー2は、1ヶ月でバストリガー導入前のプレイヤー1の収支(収入)を上回るだけの目標利用者数18,474人(バストリガー制度導入前は9,757人)以上を提供するという契約を結ぶとする。プレイヤー1は運賃を100円とすれば協調(C)、160円とすれば裏切(D)とする。一方、プレイヤー2は設定された目標利用者数を提供できれば協調(C)、提供できなければ裏切(D)とする。なお、運賃160円は、対象区間の最小料金から最大料金まで10円ずつ運賃を増加させて平均をとったものである。また、バストリガー制度導入前の利用者数は、H17~H22年の北陸鉄道の利用実績から1ヶ月あたりの利用者数に換算したものである。表-1にプレイヤーと契約内容を示す。

#### (2) 同時ゲームの利得表

従って各プレイヤーの利得を計算して作成された同時ゲームにおける表-2の利得行列は、表-1に示した金沢バストリガー契約のバス料金と利用実績から算出された1

表-1 プレイヤーと契約内容

プレイヤー1 バス会社(北陸鉄道)		プレイヤー2 大学(金沢大学)	
強調(C)	裏切り(D)	強調(C)	裏切り(D)
運賃100円	運賃160円 <sup>*1</sup>	バス利用者18,474人/月	バス利用者9,758人/月 <sup>*2</sup>

注) <sup>\*1</sup>: 運賃160円はバストリガー対象地域の運賃の平均値

<sup>\*2</sup>: バス利用者9,758人/月は平成17~22年度の対象路線の利用実績の平均値

表-2 利得表

北陸鉄道 \ 金沢大学	強調(C) バス利用者数18,474人	裏切り(D) バス利用者数9,757人/月
強調(C) 運賃100円	(+29, +111-φ)	(-59, 59)
裏切り(D) 運賃160円	(+139, 0-φ)	(0, 0)

注) ( , )内は、左が北陸鉄道、右が金沢大学の利得で有り、単位は万円/月

表-3 ゲームの戦略

戦略名	内容
all-C	常に強調する
all-D	常に裏切る
Trigger	最初は協調するが、相手が一度でも裏切れば以降は裏切り
TFT	最初は協調し、以降は相手の前回の手を出す

月当たりのものである。大学側の利用者数は、バストリガー導入前後の利用実績の1月当たりの平均利用者数としている。また、バストリガー導入前の状態での両プレイヤーの利得(利益)を共に0に基準化し、他の場合の利得を算出した。

ここで、 $\phi$  は大学側の広報費や利用者がバスへ転換するのにかかる負荷を費用に換算したものである。つまり、大学は大学関係者がある種の協議会を作り、あたかも一人のように振る舞うプレイヤーと見なし、大学が目標利用者数を獲得するためには費用 $\phi$ がかかると見なしている。この同時ゲームの場合、バス会社は支配戦略を持ち、その支配戦略は裏切(D)である。一方、大学にとっては、 $\phi=0$  のときに協調(C)が弱支配戦略となる。 $\phi \geq 52$  のときは、大学に支配戦略、弱支配戦略は存在しない。この場合、バス会社の支配戦略が裏切(D)であることから、大学は対抗措置として裏切(D)を選択する。 $\phi > 52$  のときは、大学は支配戦略を持ち、それは裏切(D)である。従って、 $\phi > 0$  のとき、このゲームの均衡は両者裏切(D)となり、囚人のジレンマ状態にある。

### (3) 無限繰り返しゲームへの展開

1章でも述べたように、バストリガー制度は長期的な政策であるため動的な分析を行うのが望ましい。そこで、プレイヤー同士が長期間対戦を繰り返す無限繰り返しゲームを行う。無限繰り返しゲームは、各プレイヤーが相手と自分の行動を最終回から先読みできないほどの長期間の繰り返しを数学的に表現したゲームであり、利得表を用いて対戦を繰り返していき、割引率を考慮した期待利得で有効な戦略を決定するゲームである。

本研究では、金沢バストリガーの状況を再現するために、毎回ゲームにおいて決定する必要があるバスの利用者数を変動させる。毎回のゲームでのバス利用者数を変化させることで毎回のゲームにおける両プレイヤーの利得を変化させる。これにより、無限繰り返しゲームの結果が変化する構造とした。

#### a) 戦略の種類

今回のゲームで採用する戦略の種類を表-3に示す。TFT (TIT-FOR-TAT) 戦略とはしっぺ返し戦略とも呼ばれており、初回の協調以降は相手の前回の行動を行う。以上の4つの戦略で無限繰り返しゲームを行う。また、

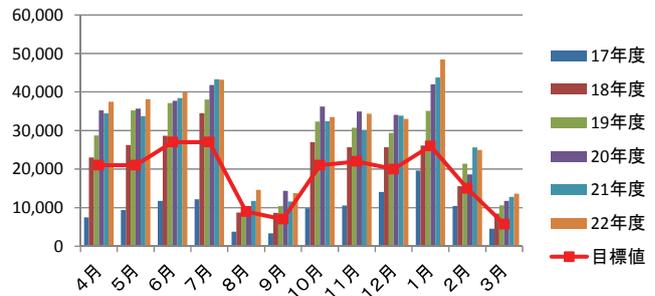


図-3 バストリガー導入前、後の月別利用実績

今回は各戦略同士の対戦を100回(100ヶ月)分行う。

無限繰り返しゲームにおいては、通常、初回の利得表を表-2のように固定し、割引率等によって繰り返しの度に利得の現在価値が低下していく場合に、割引率の大きさによっては社会的ジレンマの状況から脱却できることが知られている。ここでは、利用者の変動により、利得の大きさが繰り返しの度が変わっていくゲームとなる。また、バストリガー制度という本論文の鍵語とゲーム論の述語である Trigger 戦略は、語義的には重なる部分はあるものの、バストリガー制度の「トリガー」とは「引き金・誘因」のことで、動きになぞらえ目標が達成できなければ元に戻すということを表す造語であり、ゲーム理論上の Trigger とは別の概念であることを断っておく。

#### b) 需要関数の決定と使用データ

表-2を用いて100回の対戦を行う際には各月のバス利用者数を決定する必要がある。同時ゲームの場合は、バストリガー導入前の利用者数には、H17年の年間利用者数の実績値を月当たりに換算した値を、導入後の利用者数には目標利用者数を月当たりに換算した値を用いる。しかし、長期間を考えた場合、毎月バス利用者数は当然変動する。また、大学がある期間と休業の期間では利用者数は大きく変わってくる。

そこで、バストリガー制度に協調する場合の利用者数は金沢バストリガー導入後の月別利用実績の平均と分散を持つ正規分布に、バストリガー制度に協調しない場合の利用者数はバストリガー導入前の利用実績の平均と分散を持つ正規分布に従うと仮定した。また、大学がある月と大学が休業の月では利用者数が大きく異なることから、両者の期間を区別して利用者数の分布を決定した。使用するデータは、金沢バストリガー導入前と後のH17年からH22年の利用実績を用いる。

図-3はバストリガー制度導入前、後の年度の月別利用実績である。これを用いて大学がある期間を各年度の4月～7月、10月～12月、大学が休業の期間を各年度の8月、9月、3月と分類する。また、17年度以前の利用実績は取得できなかったため、バストリガー導入前の利用実績はH17年度だけのデータを用いる。大学がある期間と休業の期間でのバストリガー導入前、後の利用者数分

表-4 利用者分布

	大学がある期間	大学が休業の期間
導入前	N(1.172, 0.350)	N(0.388, 0.061)
導入後	N(3.301, 0.694)	N(1.145, 0.206)

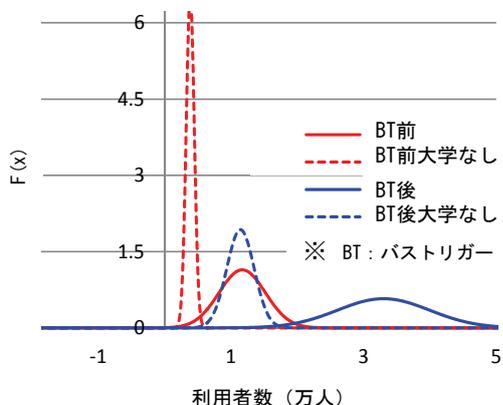


図-4 バストリガー導入前、後の利用者数の分布

布を図-4に、これらの分布の平均と分散を表-4に示す。各月の利用者数はこの分布に従う乱数で決定される。その際、0以下の乱数が発生した場合は0とした。

#### c) 費用関数の決定

収入ではなく収支を参照指標とするために、バス会社（北陸鉄道）側の費用関数が必要となる。ここでは、費用関数を以下のように定義した。

$$C=cLd \quad (1)$$

ここで、 $C$ は支出（円/月）、 $c$ はバス1台1km当たりの費用（299円/台・km）、 $L$ は区間距離（3.6km）、 $d$ は運行本数である。また、運行本数は以式で表される。

$$d=ImtD/15 \quad (2)$$

$D$ は利用者数（人）であり、利用者数が15人を超過するごとにバス1台が追加されるものとする。

#### d) 収支を参照指標としたゲームの実行フロー

図-5に収支を参照指標としたゲームの実行フローを示す。以下で簡単に説明する。

Step-1:100回分のバストリガー導入前、後の利用者数を図-4より決定する。

Step-2:決定した利用者数からバス会社の収入を計算する。

Step-3:利用者数によって決定される運行本数からバス会社の支出を算出する。

Step-4:収支（収入-支出）を算出する。

Step-5:算出された収支がバストリガー導入前の収支を上回っていれば大学側の結果は協調、下回っていれば結果は裏切とする。バス会社側はこの結果のみを判断基準とし、取っている戦略に従って次のゲームでの行

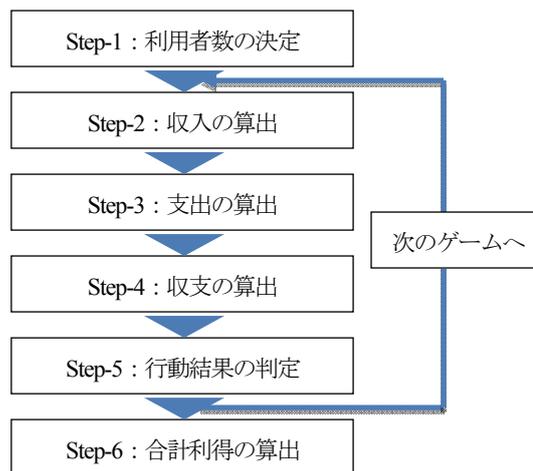


図-5 ゲームの実行フロー

動を決定する。また、バス会社の行動の変更によって、大学も以降戦略に従って行動を変更する。

Step-6:Step-2～Step-4を100回繰り返し、合計利得（期待利得）を計算する。一方、収入を参照指標としたゲームは、Step-1, Step-2, Step-5, Step-6の順に行う。

#### 4. ゲームの結果と均衡解の比較

本研究では、H17～H22年の金沢バストリガー導入期間の月別利用実績を用いてゲームを行った。このゲームの結果から、両プレイヤーの本来取るべき戦略を判断する。また、今回のゲームの利得は需要関数に依存する。つまり、需要関数が月別利用実績の平均、分散に従う乱数で決定するので、金沢バストリガーが導入された期間の利用者数であると言える。従って、トリガー導入期間で両プレイヤーが取った戦略をこのゲームでもとった場合、ゲームの結果は金沢バストリガーの実際の状況と同じ状況を再現することになると考えてよい。

以下にゲームの結果を示す。先述の同時ゲームにおいて $\varphi=0$ の場合、 $\varphi \geq 52$ の場合と $\varphi > 52$ の場合で、支配戦略と均衡が変化するので、それぞれの場合で結果が変わると考えられる。本研究では割引係数 $r$ を0.04として、 $\varphi=0$ 、 $\varphi=10$ 、 $\varphi=100$ について大学がある期間と大学が休業の期間の場合についてゲームを実行した。大学が休業の期間のゲームは、大学が休業の期間のみで100回のゲームを行っている。 $\varphi$ はバスに転換するときの負荷であるので、 $\varphi=0$ では負荷が全くない場合、 $\varphi=10$ では1人当たり10円の負荷、 $\varphi=100$ では1人当たり100円の負荷がかかることを意味する。

以下にゲームの結果を示す。表-5と表-6において、各戦略の組に対して、各セルの左にバス会社（北陸鉄道）、右に大学（金沢大学）の期待利得を示している。単位は

表-5 収入を参照指標としたゲーム結果 ( $\varphi=0$ )

金沢大学 北陸鉄道	all-C	all-D	Trigger	TFT
all-C	3670, 5057	-1785, 1785	3670, 5057	3670, 5057
all-D	8727, 0	0, 0	412, 0	412, 0
Trigger	4846, 3881	-88, 88	2995, 3881	2995, 3881
TFT	3835, 4892	-101, 101	2616, 4261	3707, 4815

表-6 収支を参照指標としたゲーム結果 ( $\varphi=0$ )

金沢大学 北陸鉄道	all-C	all-D	Trigger	TFT
all-C	-245, 5057	-1785, 1775	-245, 5057	-245, 5057
all-D	4813, 0	0, 0	227, 0	227, 0
Trigger	4359, 453	-88, 78	211, 453	211, 453
TFT	2962, 1851	-88, 78	-343, 1008	873, 1133

表-7 収入を参照指標としたゲーム結果 ( $\varphi=10$ )

金沢大学 北陸鉄道	all-C	all-D	Trigger	TFT
all-C	3671, 4803	-1785, 1785	3670, 4803	3670, 4803
all-D	8727, -255	0, 0	412, -10	412, -10
Trigger	4846, 3626	-88, 88	2995, 3685	2995, 3686
TFT	3835, 4637	-101, 101	2616, 4064	3707, 4568

表-8 収支を参照指標としたゲーム結果 ( $\varphi=10$ )

金沢大学 北陸鉄道	all-C	all-D	Trigger	TFT
all-C	-245, 4803	-1785, 1775	-245, 4803	-245, 4803
all-D	4813, -255	0, 0	227, -10	227, -10
Trigger	4359, 199	-88, 78	211, 425	211, 425
TFT	2962, 1596	-88, 78	-343, 979	873, 1029

表-9 収入を参照指標としたゲーム結果 ( $\varphi=100$ )

金沢大学 北陸鉄道	all-C	all-D	Trigger	TFT
all-C	3670, 2509	-1785, 1785	3670, 2509	3670, 2509
all-D	8727, -2549	0, 0	412, -100	412, -100
Trigger	4846, 1333	-88, 88	2995, 1915	2995, 1915
TFT	3835, 2344	-101, 101	2616, 2294	3707, 2342

表-10 収支を参照指標としたゲーム結果 ( $\varphi=100$ )

金沢大学 北陸鉄道	all-C	all-D	Trigger	TFT
all-C	-245, 2509	-1785, 1775	-245, 2509	-245, 2509
all-D	4813, -2549	0, 0	227, -100	227, -100
Trigger	4359, -2549	-88, 78	211, 165	211, 165
TFT	2962, -698	-88, 78	-343, 719	873, 89

何円/月である。以下では、大学が休業の期間は省略し、大学がある期間に対する収入と収支を参照指標としたゲームの結果だけを示す。

### (1) $\varphi=0$ のとき

収入を参照指標としたゲーム結果では、バス会社は支配戦略を持たない。一方、大学は、支配戦略を持ち、その戦略は all-C 戦略である。大学が all-C 戦略を選んだ場合、バス会社の利得が最も大きくなる戦略は all-D 戦略であることから、両プレイヤーの戦略(バス会社の戦略、大学の戦略)は (all-D, all-C) でナッシュ均衡となる(表-5 参照)。金沢バストリガーでは、トリガー制度が導入されていた期間、バス会社の戦略は Trigger 戦略、大学の戦略は all-C 戦略であった。つまり、(Trigger, all-C) であり、利得は (4846, 3881) であった。参照指標が収入であれば、この状態でも互いにバストリガー導入前よりも大きい期待利得を得ることができていた。

一方、収支を参照指標としたゲームでは、バス会社は支配戦略を持ち、その戦略は all-D 戦略である。これに対して大学は、all-C 戦略が弱支配戦略であり、all-C 戦略が有効な戦略であるという結果となった。従って、両プレイヤーの戦略は (all-D, all-C) でナッシュ均衡となる(表-6 参照)。

金沢バストリガーが導入された当初の両プレイヤーの契約上の戦略は、収入を参照指標とした (Trigger, all-C) である。この場合、大学が目標利用者数を達成できな

ければ、バス会社は即座にトリガーを引き、相手に制裁を加えることで自分の利得の減少を最小限に抑える。その結果、期待利得は (4539, 453) となる。しかし、実際には、バス会社側は収支を参照指標としたゲームをしようとしていたにもかかわらず、収入を参照指標とした契約を結んでしまったために、収支がバストリガー導入前より悪化してもトリガーを引くことができない。その結果、両プレイヤーの戦略は (Trigger, all-C) ではなく、(all-C, all-C)、利得 (-245, 5057) の状態に陥っていたと言える。そのために、バス会社の収支が悪化し、契約破棄を希望した金沢バストリガーの状況と同じ状況となる。このゲーム結果から、金沢バストリガーでは収入ではなく収支を参照指標とした契約が肝要であった。

### (2) $\varphi=10$ のとき

表-7 に示すように、収入を参照指標とした場合は、では大学がバストリガーに協調するために  $\varphi=10$  の負荷がかかるため、all-D 戦略以外の戦略を取ると利得が減少する。その結果、all-C 戦略は弱支配戦略ではなくなり、大学は支配戦略、弱支配戦略を持たなくなる。同様に、バス会社も支配戦略、弱支配戦略を持たなくなるため、均衡は存在しない。収支を参照指標とした場合でも、表-8 に示すように、両プレイヤーに支配戦略、弱支配戦略はなく、均衡は存在しない。

両プレイヤー共、トリガー制度が導入された当初の戦略を取る場合は、 $\varphi=0$  のときと同じく、戦略は (Trigger,

all-C) であるが、バス会社は収支が悪化しているにもかかわらず協調し続ける表-8の (all-C, all-C) となる。

### (3) $\varphi=100$ のとき

$\varphi=100$  のときでは、バストリガーに協調するのにかかる負荷が  $\varphi=100$  と大きいので、大学が協調したとき自身の利得が大きく減少する。しかし、負荷の小さい  $\varphi=10$  のときと同じくいずれの参照指標をとったとしても均衡は存在しない (表-9, 表-10 参照)。

両プレイヤー共、トリガー制度が導入された当初の戦略を取る場合は、他のケースと同じく、表-10 の (all-C, all-C) となる。収支を参照指標とした契約を行った場合、バス会社が Trigger 戦略を取るとき、大学は all-C 戦略を取らないため、バストリガーの長期間の成立は難しい。

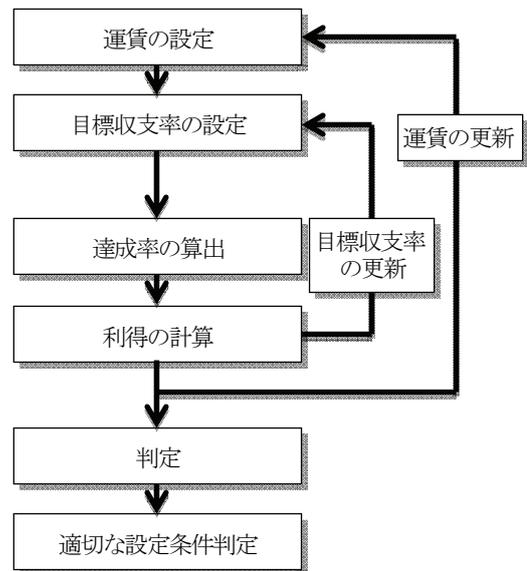


図-6 適切な運賃と目標収支率の探索フロー

## 5.バストリガー制の導入可能性に関する検討

### (1) 適切な目標収支率とバス料金の評価方法

バストリガー制度を長期に渡って継続させていくために、無限繰り返しゲームを内包し、収支を参照指標とした場合の最適な運賃と目標収支の探索を行う。運賃の変化に伴う利用者数の変化を考慮するために、金沢バストリガー導入前、後の運賃と利用実績から得られる料金弾力性値を用いた線形需要関数を仮定した。

金沢バストリガーの利用実績より、バストリガー制度導入前、後の運賃と利用者数が既知であるため、これらの値を用いてまで計算した。

運賃が 80 円~150 円の間で 10 円ずつ変化するときの探索方法を図-6 に示す。以下に手順を説明する。

Step-1: 運賃を設定する (初期値は 80 円)。

Step-2: 目標収支率を設定する (初期値は 100%)。例えば、目標収支率 80% なら、バストリガー制度導入前の収支  $\times 80/100$  が目標収支率となり、ゲーム結果から計算された収支がこの値を上回っていれば協調、下回れば裏切となる。

Step-3: 達成率を計算する。達成率は 1 回のゲームで両プレイヤーが協調を行えば 1 とし、100 回のゲームでの合計をパーセンテージで示したものである。

Step-4: 利得を計算する。100 回のゲームの合計利得 (期待利得) を計算し、記録する。

Step-5: 目標収支率 100%~10% まで変動させて Step-2~Step-4 を繰り返し計算する。

Step-6: 運賃を 80 円から 150 円まで変動させて Step-1~Step-5 を繰り返し計算する。

Step-7: 変動させる目標収支率と運賃の組み合わせの中で、達成率 100% かつ両プレイヤーの利得が正となる組み

合わせを抽出する。

長期に渡ってバストリガー制度が継続していくためには、バス会社側は Trigger 戦略を取りつつも、利用者側が毎月目標利用者数を達成していくことでトリガーが引かれることなく、互いが協調している状態が望ましい。また、金沢バストリガーのように、制度自体は継続していても、どちらか一方のプレイヤーの利得が負となれば win-win の関係とはならず、契約の破棄を希望するような結果となってしまいうため、両プレイヤーが互いに利益を上げるような条件設定が必要である。

ここでは、バストリガー制度が成立するための条件として、収支を考慮したゲームを行った上で両プレイヤーの期待利得が正となり、かつ 100 回のゲームすべてで両プレイヤーが協調となった目標収支率とバス料金の組み合わせをその条件とする。また、大学側の負荷  $\varphi$  についても、 $\varphi=0, 10, 100$  の場合で分けて結果を示す。なお、シミュレーション時のバス料金は、バストリガー導入前のバス料金を上回らないという条件で変化させていることから、大学は料金の低下というインセンティブが働くと言える。また、バス会社に関しては、収支の不足分は行政の補助金で賄うような場合を想定しており、バス会社側が損をすることはないように条件を設定している。

### (2) 結果と考察

大学がある期間の  $\varphi$  が 0, 10, 100 の 3 ケースについて、シミュレーション結果を示す。表-11 は、目標収支率と運賃の組み合わせに対する達成度、および期待利得の算出結果である。運賃が 100 円, 110 円, 120 円の場合、目標収支率 40% 以下であれば、100 回のうちすべての対戦で両プレイヤーが協調を行う結果となった。運賃を 90 円, 80 円と下げていくと、プレイヤーが 100 回とも協調

表-11 目標収支率と運賃の全組み合わせによる達成度のシミュレーション結果

目標収支率 (%)		運賃 (円)		80	90	100	110	120	130	140	150
		北陸鉄道	金沢大学								
10	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94
	20	95	100	100	100	100	100	100	100	98	92
	30	62	100	100	100	100	100	100	100	94	90
	40	10	94	100	100	100	100	97	92	92	89
	50	0	84	95	99	97	94	90	90	86	86
	60	0	65	90	93	93	90	89	89	81	81
	70	0	35	81	90	90	89	84	84	75	75
	80	0	13	66	82	87	84	77	77	71	71
	90	0	3	49	72	77	77	72	72	66	66
	100	0	0	30	62	71	71	66	66	60	60
利得 (万円/月)	$\varphi=0$	北陸鉄道	-3378	-1721	-245	1046	2125	2899	3175	3053	
		金沢大学	8191	6534	5057	3762	2648	1715	962	391	
	$\varphi=10$	北陸鉄道	-3378	-1721	-245	1046	2125	2899	3175	3053	
		金沢大学	7936	6279	4803	3507	2393	1460	707	136	
	$\varphi=100$	北陸鉄道	-3378	-1721	-245	1046	2125	2899	3175	3053	
		金沢大学	5642	3985	2509	1214	99	-834	-1586	-2158	

表-12 適切な条件となり得る目標収支率と運賃の組み合わせ, および利得

運賃 (円)	収支率 (%)	$\varphi=0$			$\varphi=10$			$\varphi=100$		
		北陸鉄道	金沢大学	合計	北陸鉄道	金沢大学	合計	北陸鉄道	金沢大学	合計
110	40	1046	3762	4809	1046	3507	4554	1046	1214	2260
	30	1046	3762	4809	1046	3507	4554	1046	1214	2260
	20	1046	3762	4809	1046	3507	4554	1046	1214	2260
	10	1046	3762	4809	1046	3507	4554	1046	1214	2260
120	40	2125	2648	4773	2125	2393	4518	2125	99	2225
	30	2125	2648	4773	2125	2393	4518	2125	99	2225
	20	2125	2648	4773	2125	2393	4518	2125	99	2225
	10	2125	2648	4773	2125	2393	4518	2125	99	2225
130	30	2899	1715	4613	2899	1460	4359			
	20	2899	1715	4613	2899	1460	4359			
	10	2899	1715	4613	2899	1460	4359			
140	10	3175	962	4137	3175	707	3883			

注) 利得の単位は万円/月

する目標収支率は低下していく。これは、運賃が下がれば利用者は増加するが、その利用者増に対応するために必要な支出が収入を上回ってしまうために、バス会社の利得が小さくなり、バストリガー導入前の収支を上回ることができなかつたためである。逆に、運賃が130円以上になると、運賃を上げると目標収支の達成が厳しくなるという同様の結果となる。今回のシミュレーションでは、運賃の変動に伴い利用者数が変化する構造としている。もし、100回のゲームのうちのある1回のゲームで小さな乱数が発生して需要が小さくなる場合、利用者が減少することになる。その結果、利用者数は少なくなり、収入も非常に小さくなる。そのため、ゲームでの収支がバストリガー制度導入前の収支よりも下回る場合が生じる。そのため、運賃が120円以上になると、達成度が下がっていき、150円では目標収支率10%でも達成できないという結果になったと考えられる。達成度が100%となる目標収支率と運賃の組み合わせを表-11の空色部の

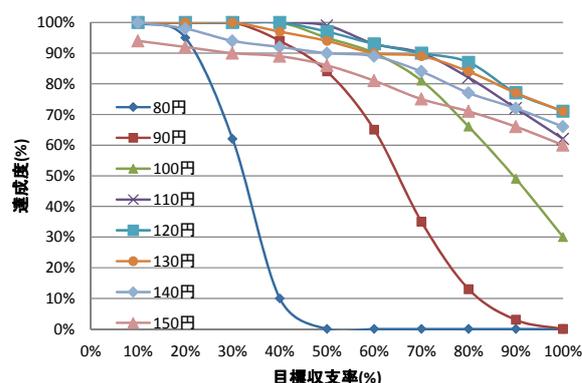


図-7 目標収支率と運賃の各組み合わせによる達成度

領域で、図-7にはその組み合わせの軌跡を示す。

次に、 $\varphi$ の変化に対する両プレイヤーの期待利得について述べる。表-11の利得は、達成度が100%に到達した時点で得る利得を示している。達成度が100%に到達してい

ない場合は、目標収支率10%での利得としている。 $\varphi=0$ のとき、運賃80円以下の場合バス会社側の利得が負となり、100円以上で、両プレイヤーの利得が正となった。これは、運賃を上げることで1人当たりの収入が上がる代わりに利用者が減った分の支出も減るのでトータルでは利益となることを示している。 $\varphi=10$ のときも、利得の値は異なるが、傾向としては $\varphi=0$ のときとまったく同じ結果となった。 $\varphi=100$ のときも、運賃が上がるにつれバス会社側の利得は大きくなるが、大学側に大きな負荷がかかるため、運賃が130円以上では大学側の利得は負となった。表5.2の黄色部の領域に両プレイヤーの利得が正となる運賃と $\varphi$ の組み合わせを示す。

表-11の結果より、 $\varphi=0, 10, 100$ のケースごとに達成度が100%であり、かつ両プレイヤーの利得が正となる目標収支率と運賃の組み合わせを表-12に示す。 $\varphi=0, 10$ のときは、適切な条件となり得る組み合わせは12通りあり、運賃110円~140円、目標収支率40%~10%の間での組み合わせとなった。 $\varphi=100$ のときは、大学側の負荷が大きい分、運賃が上がりすぎると大学の利得が負になってしまうので、運賃が120円以下でないと適切な組み合わせにはならないという結果となった。

これらの適切な条件の中で、最も推奨される目標収支率と運賃の組み合わせは表-12の黄色部である。なぜなら、この組み合わせはバス会社と大学の利得の合計、つまり社会的利得が最も大きくなる運賃と、その運賃の中で最も高い目標収支率の組み合わせとなっているからである。従って、推奨される運賃と目標収支率の組み合わせ $\varphi$ の大きさに関係なく、(110円, 40%)の組み合わせである。

## 6. おわりに

以下に、本研究で得られた主な成果を記す。

- 1) バストリガー制度を、バス会社と大学が契約に協調するか協調しないかの長期間に渡るゲームであると仮定し、金沢バストリガーの利用実績を用いて無限繰り返しゲームを行うことで、金沢バストリガーをゲーム理論的に再現することができた。
- 2) 金沢バストリガーの実際の状況を再現するための無限繰り返しゲームを行うに当たって、毎月変化するバス利用者を再現するために、毎月の利用者数は、バストリガー制度が導入された期間の毎月の利用実績の平均と分散を持つ正規分布に従って乱数で決定されるとし、これを需要関数とした。
- 3) 収入を参照指標としたゲームと収支を参照指標としたゲームを別々に行い比較することで、金沢バストリガーの実際の状況を再現するとともに、参照指標の違いで

両プレイヤーの利得がどう変化するかを示した。

4) 金沢バストリガーにおいて、収支を参照指標としたバストリガー制度が導入された場合、バストリガーが長期に渡って継続し、かつ両プレイヤーに利益が生じるような運賃と目標収支率の組み合わせをシミュレーションによって導くことで、適切な契約条件を明らかにすることができた。

5) 本研究では、各回のゲームで決定される需要については、金沢バストリガーの利用実績の利用者数の平均と分散を持つ正規分布に従うと仮定しており、乱数によって需要を決定し、その需要をもとに収入・支出・収支の計算を決定した。このような需要の推定方法は実際の状況と一致しているとは言えない。従って需要はもちろん各種条件を変更した場合の分析を行い、バストリガーの導入可能性を検証していくことが今後必要となる。

6) 今後の課題として、本研究では需要関数を毎月の利用実績の平均と分散を持つ正規分布に従う乱数で決定したが、今後はみんながバスに乗るなら自分も載ろうといったバンドワゴン効果などの社会的相互作用を考慮し、協調するかしないかが、集団の行動に影響されるような需要関数を推定する必要がある。

熊本市内の公共交通不便地域をサービスする熊本ゆうゆうバスは、初年度の目標収支率30%以上を達成すれば次年度も運行が継続される。しかし、それ以下であれば、沿線の市民協議会に対して、収支率に応じて廃止時期をあらかじめ決めた運行契約となっている。このサービスはあらかじめ設定した収入を下回らない利用者数を達成することを運行継続の条件とした金沢バストリガーに類似した契約内容となっている。したがって、本研究で検討した方法を提供することによって、合理的な契約内容が設定できると考えられる。

## 参考文献

- 1) 梅原嘉介, 小川啓治: 進化ゲーム理論と遺伝的アルゴリズム, 工学社, 2007
- 2) 中井検裕, 縄田和満, 松原望: 統計学入門 東京大学出版, 1991
- 3) エリック・ラスムセン, 細江守紀, 村田省三, 有定愛展, 佐藤茂春: ゲームと情報の掲載分析[基礎編], 九州大学出版会, 2010
- 4) 金沢バストリガーに関する報告書, 金沢市, 2010
- 5) 山本慎之介: 持続可能な地域交通に向けたバストリガー方式の有用性に関する研究, 土木学会中部支部研究発表会講演概要, 2010
- 6) Brock W, Durlauf S: Discrete Choice with Social Interactions, Review of Economic Studies, 68, 235-260. 2001

- 7) 喜多秀行, 山本圭志, 福山敬: ゲーム的状況下におけるプレイヤーの利得推定モデル, 土木学会論文集, No737/IV-60, pp147-157, 2003
- 8) 渡辺隆裕: ゲーム理論, ナツメ社, 2004 (2013. \*\*. \*\*受付)
- 9) 溝上章志, 梶原康至, 圓山琢也: バストリガー制導入のための需要予測モデルと契約成立条件, 土木学会論文集 D3, Vol.68, No.5, pp.589-597, 2012.

## INTERPRETATION AND ESTABLISHED CONDITIONS OF BUS TRIGGER CONTRACT USING REPEATED GAME THEOREY

Yasunori KAJIWARA, Shoshi MIZOKAMI and Toshio FUJIMI

Recently, the public transport in some cities in Japan has been deteriorated. In order to improve the situation, bus-trigger system has been attracting attention. In the bus trigger system, a contract is supplied to bus operators to force them to improve the service level through setting a final goal. If the goal is not achieved in a year, the service level will be back to the original. And the contract will be abolished. We need a dynamic analysis because Bus-trigger system is a long-term policy. Then, we assume that the bus company and the university play the game. And we dynamically analyzed using infinitely repeated game. In this study, we analyzed the case of Kanazawa using infinitely repeated game in order to reproduce the actual situation. Afterward, we proposed optimal conditions of contract which includes some combination of rates and target balance for keeping bus-trigger system over the long term.