

バストリガー制度を維持するための 契約のあり方に関するシミュレーション分析

溝上 章志¹・藤見 俊夫²・梶原 康至³

¹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

²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

³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

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に準じたシミュレーション技法を用いて、金沢バストリガー契約に対する両者の最適な戦略と実際の戦略との関係について考察を行うこと、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、維持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交通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となる。一方、地方部では地域住民のモビリティを保障する唯一の公共交通機関でもある。また、自動車依存による各種リスクの増大や地球温暖化に対する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からも重要なモビリティである。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は減少傾向にあり、それに起因したバス事業経営の悪化は深刻化しているのが現状である。

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としての重要性から、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すると同時に、熊本市交通局のバス事業への一般会計からの繰出金は毎年10億円に達する状況になっている¹⁾。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と同時に事業者の経営改善も視野に入れて、「熊本市地域公共交通総合連携計画²⁾」を策定し、公共交通基本条例の策定、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モビリティ・マネジメント等による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。その結果、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環境を作っていくことが重要である。それと同時に、利用者もバス輸送サービスの実態に対する理解を高め、事業者に具体的に協力、つまり事業者とリスクを共有することによって積極的にバスを利用するなどのインセンティブが働くような仕組みを作り上げていくことが肝要である。

このような仕組みを実現する政策として、近年、バストリガー制度が注目されている。熊本市においても、都心にある交通センターから市内にある熊本学園大学、熊本大学、熊本県立大学といった大規模大学を対象としたトリガー方式によるバス路線の導入が計画されている。そのために、通勤・通学や都心への日常目的交通に関する実態・意識調査が実施され、料金や頻度などのサービス水準と適切な契約方式などが検討されているところである。

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^{3) 4)}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に準じたシミュレーション分析モデルを提案し、それを用いて金沢バストリガー契約に対する両者の戦略と結果についての考察を行うこと、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。

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）の上で運賃や路線の新設・延長、運行ダイヤの増便などの利用促進策を決定する際に、あらかじめ設定した利用促進策採算ライン（利用者数による指標設定を想定）を下回った場合はその促進策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、事業展開の実効性が高まるとともに、期待した効果が得られなかった場合の責任とリスクを利用者と分け合うことができる。一方、利用者にとっては、積極的にバスを利用するという一定の責任を負う代わりに利便性の向上が継続される。このように、バストリガー方式は、両者が努力・責任・リスクを担いつつ双方にメリットが生じるという 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されている。ここで、「トリガー」とは、「引き金・誘因」のことであり、その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ようである。

具体的な事例として、金沢大学と交通事業者、ここでは北陸鉄道が、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。この取組の背景には、平成 14 年から香林坊～武蔵ヶ辻



図-1 金沢バストリガー路線⁵⁾

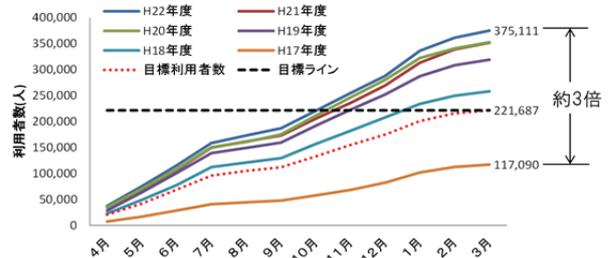


図-2 金沢バストリガーの累積利用者数実績⁵⁾

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、金沢市は、大学生等の利用増加につながる料金低減策など、公共交通の利便性向上に向けた取組の検討を北陸鉄道に要請すると同時に、金沢大学に対しては前述のバストリガー方式による取組を提案した。金沢大学では、キャンパスが、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の数が増加していた。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、学生の通学の利便性向上にもつながるというメリットもあった。

当初より、市中心部から大学までバス路線はあったが、最終便が早い、休日の便数が少ない、旭町～金沢大学間が 170 円または 200 円と料金が高いなどの理由から、利用者数は少なかった。そこで、平成 18 年度、金沢大学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

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)	
協調(C)	裏切り(D)	協調(C)	裏切り(D)
運賃 100 円	運賃 160 円 ^{*1}	バス利用者 18,474 人/月	バス利用者 9,757 人/月 ^{*2}

注) ^{*1}: 運賃 160 円はバストリガー対象地域の運賃の平均値

^{*2}: バス利用者 9,757 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	協調(C) バス利用者数 18,474 + ε ^{*2} 人/月	裏切り(D) バス利用者数 9,757 + ε 人/月
協調(C) 運賃 100 円	(+29, +111-φ) ^{*1}	(-59, 59)
裏切り(D) 運賃 160 円	(+139, 0-φ)	(0, 0)

注) ^{*1}: (,) 内は, 左が北陸鉄道, 右が金沢大学の利得であり, 単位は万円/月

^{*2}: + ε はバス利用者数の確率項

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」というものである。上記の対象路線については図-1 に示す。

この契約では, 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構成員に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バストリガー制度では, 制度継続の目標ラインを制度導入前の基準年度(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。図-2 に示すように, 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, バストリガー制度導入の効果が発揮され, 順調なように見える。しかし, 北陸鉄道は, 現状の契約内容から新金沢バストリガー契約(バストリガー定期券の導入)といった新たな契約内容への変更を希望していた。その理由は, 平成 17 年度の運賃収入から算定される利用者数の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⁶⁾。

このような経緯から, 1) 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⁷⁾である。また, 2) 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・継続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, 動的な分析を行う必要がある。以下には, これらの 2 つの課題に対応

した分析方法の提案を行う。

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に準じたシミュレーション分析法により説明できるかを検証する。

金沢バストリガーのゲームで行動するプレイヤーは 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など, 複数である大学は, 戦略をコントロールできないように思える。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, 利用者は複数であるため, 他の利用者がバスに転換したために道路交通混雑が緩和し, 自分自身は空いた道路で自動車やバイクを利用して利益を得るといった社会的ジレンマが実際には発生する可能性もあるが, ここではそのような状況は無視する。

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

表-3 ゲームの戦略

戦略名	内容
all-C	常に協調する
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と同じ手を出す

人（バストリガー制導入前は 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、バストリガー対象区間の運賃の平均値である。また、バストリガー制度導入前の利用者数は、平成 17~平成 22 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

収入と費用の差として算出される大学とバス会社の利得行列 (表-2) 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できる 1 ヶ月当たりの値に基づいている。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 ヶ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、その他の場合の利得を算出した。したがって、以後のシミュレーション分析によって算出される両者の利得はバストリガー導入からの差分である。

ここで、 ϕ 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費用 ϕ がかかると思わしている。この ϕ の値は大学の目標利用者数に依存した関数になると考えられるが、ここでは固定とし、以下に示すように、その値によって各プレイヤーの支配戦略や均衡が異なるような典型的な値を設定して、それぞれの場合の均衡解の考察を行っている。

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。 $\phi < 52$ 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、 $\phi > 52$ 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なる^{9),10)}。

(3) 無限繰り返しゲームに準じたシミュレーション

前述したように、バストリガー制度は長期的な継続政策であるため、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に準じたシミュレーション分析を行う。通常の無限繰り返しゲーム^{11), 12)} 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。これに対して、本研究では、大学が講義期間か休業期間かによっては勿論、月ごとにもバス利用者数は変動することから、予め決定しておく必要があるバス利用者数を実績の分布に従って確率的に変動させる。これにより毎回のゲームにおける両プレイヤーの利得が変化することによって繰り返しごとのゲームの結果も変化することになる。したがって、本ゲームは従来一般的な繰り返しゲームとは異なり、確率的に変動するバス利用者数という新たな環境変数を考慮した無限繰り返しゲームに準じたシミュレーション分析を行っていることになる。

a) 戦略の種類

今回のシミュレーション分析で採用する戦略の種類を表-3 に示す。TFT (TIT-FOR-TAT) 戦略¹²⁾ 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と同じ行動を行う。以上の 4 つの戦略で無限繰り返しシミュレーションを行う。なお、繰返戦略には、表-3 に示す戦略以外にも多くの戦略が提案されているが、ここでは 4 つの代表的な戦略に限定した。また、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こととなる。ここで、バストリガー制度という本論文の鍵語とゲーム論の術語である Trigger 戦略は、語義的には重なる部分はあるものの、両者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、平成 17 年の年間利用者数の実績値を月当たり換算した値を、導入後の利用者数には目標利用者数を月当たり換算した値を用いる。しかし、長期間を考えた場合、毎月のバス利用者数は当

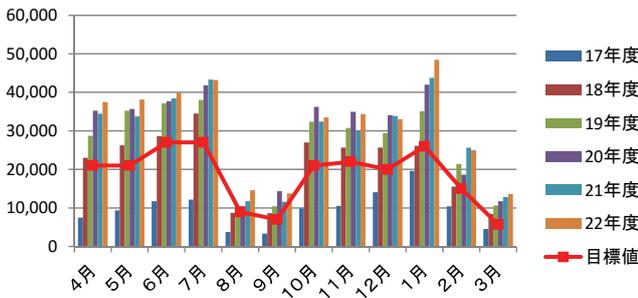


図-3 バストリガー導入前、後の月別利用実績

表-4 利用者分布

	講義期間	休業期間
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)

然変動する。また、講義期間と休業期間と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トリガー制度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制度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、講義期間の月と休業期間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平成17年から平成22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。これより、講義期間を各年度の4月～7月、10月～12月、休業期間を各年度の8月、9月、3月と分類した。また、平成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平成17年度だけのデータを用いる。講義期間と休業期間でのバストリガー導入前、後の利用者数分布を図-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、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。

$$C=cLd \tag{1}$$

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/片道)、 d は運行便数である。 c の値299円/台・kmについては、北陸鉄道からは提供されなかったため、熊本県内にある同規模の民営バス事業者である産交バスの決算報告から

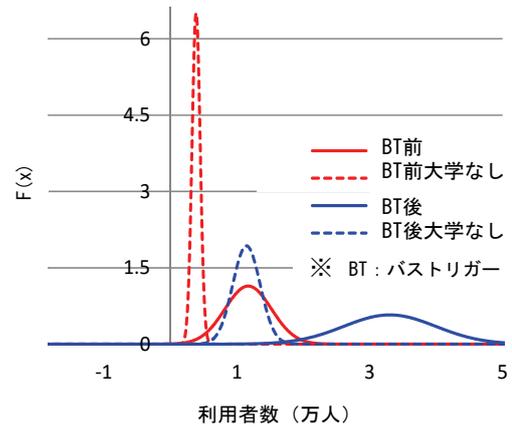


図-4 バストリガー導入前、後の利用者数の分布

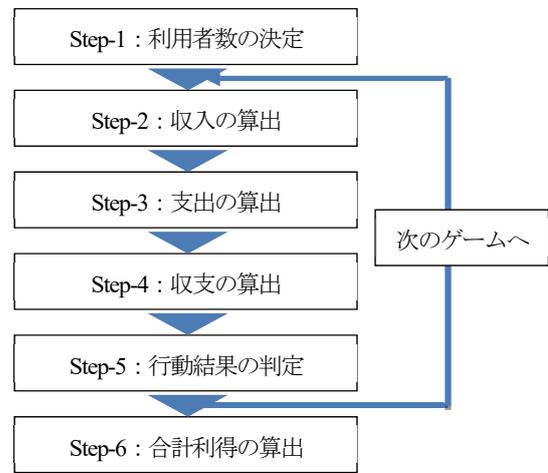


図-5 ゲームの実行フロー

推計した値を用いている。また、運行便数は式で表されるとした。

$$d = \text{Int}(D/15)+1 \tag{2}$$

ここで、 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シミュレーションの実行フローを示す。以下でそのステップを簡単に説明する。
 Step-1:バストリガー導入前、後の利用者数を図-4を用いた乱数より決定する。
 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便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

表-5 収入を参照指標としたシミュレーション結果

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シミュレーション結果

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

取っている戦略に従って以降の行動を変更する。
Step-6: Step-1~Step-5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. 金沢バストリガー契約の最適戦略と実際

ここでは、平成17年度~平成22年度の金沢バストリガー導入期間の月別利用実績を用いて、繰り返しゲームに準じたシミュレーションを行い、その結果より両プレイヤーが採っていたと思われる戦略について考察する。なお、ゲームの利得は金沢バストリガーが導入された期間の月別利用実績の確率分布に従う乱数で決定される。従って、両プレイヤーが取ったと考えられる戦略に基づくシミュレーション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。なお、繰返戦略には、表-3に示す戦略以外にも多くの戦略が提案されているが、ここでは代表的なこれら4つの戦略に限定した。

先述の同時ゲームにおいて、バスに転換するときの負荷(円単位)である ϕ の大きさによって均衡解は変化したため、繰り返しゲームに準じたシミュレーションの結果も変わると考えられる。しかし、ここでは $\phi=0$ 、つまり負荷が全くない場合について、講義期間と休業期間の場合の計6ケースについてシミュレーションを実行した。休業期間のシミュレーションは休業期間のみで100回行っている。また、割引係数 r を0.04としている。

表-5, 表-6に講義期間に対する収入と収支を参照指標としたシミュレーションの結果を示す。これらは、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。単位は円/月である。

表-5に示すように、参照指標を収入とした場合は、(all-D, all-C), (all-D, all-D), (all-C, Trigger)がナッシュ均衡解となる。all-CとTrigger, TFTの戦略は互いに協調を続ける結果をもたらす可能性があるが、これらのナッシュ均衡解の中でall-Cもバス会社の均衡戦略の一つになっていたために、バス会社はトリガー契約を継続したと考えられる。また、これらのいずれの戦略をとったとし

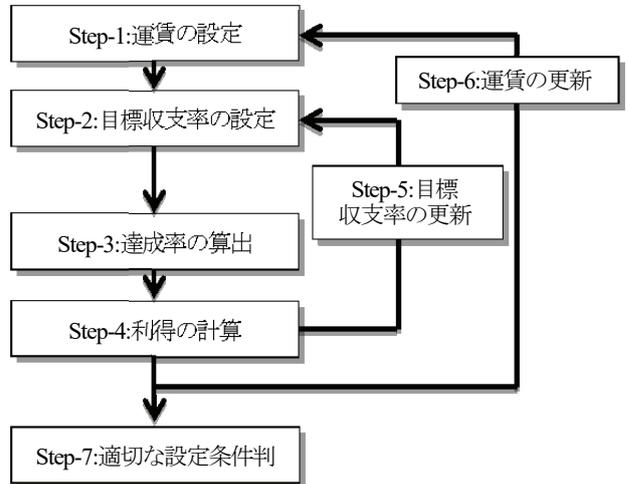


図-6 適切な運賃と目標収支率の探索フロー

ても、期待利得は両者とも負値とはならない。

これに対して、参照指標を収支とした場合は、表-6に示すように、(all-D, all-C), (all-D, all-D), (all-D, Trigger)がナッシュ均衡解となり、いずれの場合も協調をもたらすall-CとTrigger, TFTといった戦略はバス会社の均衡戦略にはならず、ナッシュ均衡解でのバス会社の最適戦略は全てall-Dであった。しかし、実際にはバス会社はall-Cでトリガー契約を継続したために、参照指標を収入とした場合の期待利得はすべて正值になるものの、収支とした場合はすべて(-245, 5057)となり、バス会社だけは期待利得が常に負値に陥ることになった。そのために、トリガー契約の破棄を希望するに至ったと考えられる。

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、前述した無限繰り返しゲームに準じたシミュレーション分析を内包し、収支を参照指標とした場合の最適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、金沢バストリガー制度導入前、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。

表-7 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	
10	100	100	100	100	100	100	100	100	94	
	95	100	100	100	100	100	100	98	92	
	90	100	100	100	100	100	100	94	90	
	85	94	100	100	100	100	97	92	89	
	80	0	84	95	99	97	94	90	86	
	75	0	65	90	93	93	90	89	81	
	70	0	35	81	90	90	89	84	75	
	65	0	13	66	82	87	84	77	71	
	60	0	3	49	72	77	77	72	66	
	55	0	0	30	62	71	71	66	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

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運賃が80円～150円の間で10円ずつ変化するときの利用者数を算出した。適切な目標収支率とバス料金の探索方法を図-6に示し、以下にその手順を説明する。

- 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、目標収支率が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、シミュレーション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回の実行で両プレイヤーが協調を行えば1とし、100回の実行での達成の関数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、利用者側は毎月の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

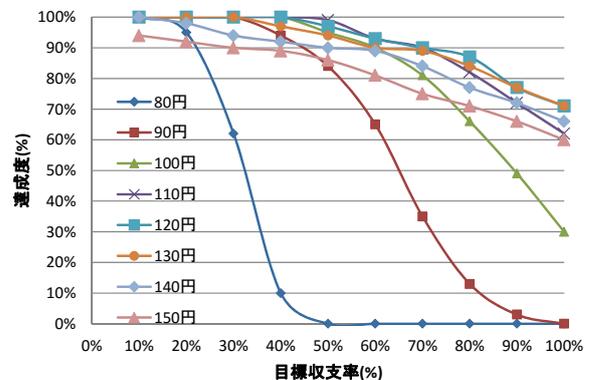


図-7 目標収支率と運賃の各組み合わせによる達成度

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、収支を考慮したシミュレーション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回のシミュレーション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 φ 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、大学は料金の低下による利用者増加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

講義がある期間の φ が 0, 10, 100 の3ケースについてのシミュレーション結果を示す。表-7は、目標収支率

表-8 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 (%)	$\phi=0$			$\phi=10$			$\phi=100$		
		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

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回の実行のうちのある1回の実行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-7の空色部の領域で、図-7にはその組み合わせの軌跡を示す。

次に、 ϕ 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-7の利得は達成度が100%に到達した時点での利得を示している。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。 $\phi=0$ のとき、運賃80円以下の場合にはバス会社側の利得が負となり、110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収支では正の利得となることを示している。 $\phi=10$ のときも、利得の値は異なるが、傾向としては $\phi=0$ のときとまったく同じ結果となっ

た。 $\phi=100$ のときも、運賃が上がるにつれてバス会社側の利得は大きくなるが、大学側に大きな負担がかかるため、運賃が130円以上では大学側の利得は負となった。表-7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 ϕ の組み合わせを示す。

表-7の結果より、 $\phi=0, 10, 100$ 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。 $\phi=0, 10$ 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。 $\phi=100$ のときは、大学側の負担が大きいため、運賃が上がりすぎると大学の利得は負になってしまう。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-8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は ϕ の大きさに関係なく、(110円, 40%)である。ただし、以上の分析結果において、補助金分はユーザーが税金支払いを通じて負担していると考えられる必要がある。その場合、100回すべてで協調する解が必ずしも社会的最適になる保証はないことに注意が必要である。

6. おわりに

以下に、本研究で得られた主な成果と課題、および今後の研究の展開方向を記す。

1) 金沢バストリガー制度を、バス会社と大学がトリガー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

あると仮定した無限繰り返しゲームに準じたシミュレーション分析手法を開発した。

- 2) 上記手法を用いて金沢バストリガー制度に関する実績データを用いたシミュレーションを行った。その結果、実際には両者は当初の最適解とは異なる戦略 (all-C, all-C) でトリガー契約を継続したために、バス会社は損益が負の状態に陥ってしまったために、トリガー契約の破棄を希望することになったと考えられる。
- 3) バストリガー契約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など、適切な契約締結・維持の条件を明らかにした。
- 4) 今回はバス事業者から運営単価や車両投入の基準に関する情報が提供されなかったために、事業規模が類似した別のバス事業者の値を用いた。これらの値が異なれば、バストリガー制度導入に対する適切な運賃と収支率の組み合わせが異なってくるが、モデルの枠組みやシミュレーションの方法は変わらず、同様の分析が可能である。
- 5) 本研究では、金沢バストリガーの利用実績の確率分布形から得られる需要を、収入、支出、収支の算出を行った。今後は他者がバスを利用するなら自分も利用しよ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¹³⁾を推定するなど、需要関数の工夫が必要である。
- 6) 大学を単一的意思決定主体とすることは問題を単純化しすぎている可能性がある。契約を継続させたい大学運営側と、学生および教職員といったバス利用者側の二つの主体によるインセンティブ設計問題を導入することも今後の課題である。
- 7) 熊本市内の公共交通不便地域をサービスするコミュニティバスである「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が、それ以下であれば、収支率に応じて廃止時期を沿線の市民協議会との間であらかじめ決めた運行契約となっている。このサービスは事前に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、このようなバスサービスに対しても本研究で検討した知見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、本分析方法の適用範囲は広い。

参考文献

- 1) 熊本市公共交通協議会平成24年度第1回バス路線網再編部会会議資料, 熊本市, 2012.
http://www.city.kumamoto.jp/common/UploadFileDsp.aspx?c_id=5&id=2432&sub_id=1&flid=13969
- 2) 平成21年第4回熊本市におけるバス交通のあり方検討協議会資料1, 熊本市, 2009.
http://www.city.kumamoto.jp/common/UploadFileDsp.aspx?c_id=5&id=1110&sub_id=1&flid=3905~同=3910 まで
- 3) バストリガーに関する報告書, 金沢市, 2010.
- 4) 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集, 2010.
- 5) 金沢市ホームページ: 平成22年度利用実績等の公表
<http://www4.city.kanazawa.lg.jp/data/open/cnt/3/8582/1/sai-shuuzisseki.pdf>
- 6) 山本慎之介, 高山純, 中山晶一郎: 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—金沢バストリガー方式を事例として—, 土木計画学研究・講演集, Vol.43, paperNo.127, 2011.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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: ゲームと情報の経済分析[基礎編], 九州大学出版会, 2010.
- 10) 渡辺隆裕: ゲーム理論, ナツメ社, 2004.
- 11) ロバート・アクセルロッド著, 松田裕之訳: つきあいの方法—バクテリアから国際関係まで—, ミネルヴァ書房, 1998.
- 12) 喜多秀行, 谷本圭志, 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, No.737/IV-60, pp.147-157, 2003.
- 13) Brock, W. and Durlauf, S. : Discrete choice with social interactions, *Review of Economic Studies*, Vol.68, pp.235-260, 2001.

(2014. 12. 24 受付)

SIMULATION ANALYSIS ON CONTRACTS FOR MAINTAINING BUS TRIGGER SYSTEM

Shoshi MIZOKAMI, Toshio FUJIMI and Yasunori KAJIWARA

Bus trigger system seems to be one of effective measures to activate the local public transport systems. According to a trigger contract concluded between Kanazawa University and Hokuriku Rail Road Co., Ltd, Kanazawa bus trigger service has been offered and become successful. It is possible to regard this contract as a long-range game whether the both players decide to continue or cancel. The aim of this research is to examine the differences between their optimal and actual strategies for the Kanazawa bus trigger contract using a kind of simulation technique in accordance with the repeated game process, and to propose the appropriate fare level and target balance between income and expenditure in order to maintain the bus trigger system.