無限繰り返しゲームを用いたバストリガー契約の成立条件の解釈

○ 熊本大学　学生員　梶原康至
熊本大学　正会員　溝上章志

１．はじめに

近年，バス利用者の減少と事業の経営悪化が深刻化している中，利用者側の協力を促すために，バス会社と利用者が協力してバス路線を維持していくバストリガー制度が注目されている．

H18～H22 年度に渡って金沢大学と北陸鉄道間でバストリガー制度が導入された．このときの契約では，制度継続の目標ラインをトリガー制導入前の基準年度（H17 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た．導入後の利用者数はこの目標ラインを越えたが，事業者の北陸鉄道は途中からこの契約の破棄を希望していたようである．車内混雑緩和のための増便やバスの新車購入など，増加した利用者数へ適切なサービス提供するために必要な追加費用が増加したために，総費用が総収入を上回り，収支が赤字になっていることを理由に挙げている．

以上のことからも，制度維持の参照指標は収入ではなく，収支とした契約を結ぶことが肝要である．さらに，バストリガー制度は，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は次年度の契約を維持するか破棄するかを決定するといった長期的な戦略を必要とする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はなく動的な分析を行うことが必要である．本研究では金沢大学と北陸鉄道間で結ばれたバストリガー制度を，金沢大学と北陸鉄道がこの制度に協力するか協力を放棄するかの長期間のゲームと捉え，無限繰り返しゲームフレームを用いてバストリガー制度の導入可能性を検証する．

２．無限繰り返しゲーム

私たちの住んでいる社会では，さまざまな人々が日々協調と対立（裏切り）を繰り返しながら生活が行われている．例えば，1 つの商品の規格決定を行う市場競争は，誰かが勝てば，誰かが負け，国と国をめぐる交渉は，お互いに協調すれば利益が上がり，お互いが相手を裏切るとともに損をする．このように，個人に 2 つの選択肢（協力/非協力）が与えられた時，個人にとっては自己の利益最大化という観点から非協力行動をとった方が望ましいが，相手も非協力行動をとると 2 人が協力行動をとった場合よりも望ましくない結果が生じることもある．このような状態を「囚人のジレンマ」と呼ぶ．

ここでは，バストリガー制度の契約を結ぶバス会社（北陸鉄道）とバス利用者（金沢大学）をプレイヤーとし，バス会社側はバストリガー区間の運賃を 160 円から 100 円とする代わりに，大学側はバストリガー導入前の収入を下回らないような利用者数を提供するという契約の下，協調する(C)か，裏切る(D)かの同時ゲームの利得表(**表-1** 参照)を作成した，このときの利得は，金沢バストリガーの月別利用実績を用いており，一月単位での利得とした．

単位（万円）　**表-1　同時ゲームの利得表**

北陸鉄道＼金沢大学	18,474人（協調C）	9,757人（裏切りD）
100円（協調C）	(+29,+111-φ)	(-59,+59)
160円（裏切りD）	(+139,0-φ)	(0,0)

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．この同時ゲームの場合，バス会社の支配戦略は裏切りである．一方，大学にとっては φ=0 の時は協調が支配戦略となるが，φ＞0 の場合は相手の支配戦略が裏切りであることから，対抗措置として裏切りを選択し，囚人のジレンマに陥る．

先述のように，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い，対戦結果によって金沢バストリガーの状況を説明できるかを試みる．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．

３．対戦方法

1) 対戦プレイヤーと戦略

バス会社をプレイヤー1，大学をプレイヤー2 とする．また，各プレイヤーの取り得る戦略は以下の 4 戦略とした．

表-2　戦略の種類

戦略名	内容
allC	常に協調する戦略
allD	常に裏切りを行う戦略
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を行う戦略
TFT	最初は協調し，以降は相手の前回の手を出す

2)　需要関数の決定

表-1 を用いて 100 回（100 ヶ月）のゲームを行う．まず，各月の利用者数を決定するが，各月の利用者数は同一ではなく，ばらつきがある．また，バストリガーに協調するか協調しないかでも変化する．そこで，バストリガー制度に協調する場合の利用者数を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って決定されると仮定した．また，大学の講義がある月と大学が休みの時期では利用者数が大きく異なることから，両者の時期を区別して利用者数の分布を決定した．

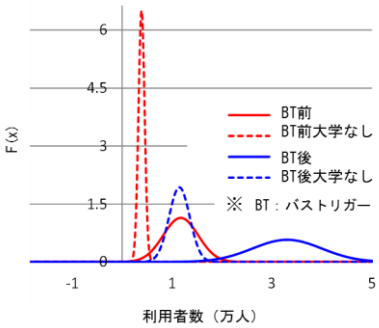

図-1　BT 導入前後の利用者数の分布

それぞれの時期のバストリガー導入前，後の各月の利用者数の分布を**図-1** に示す．各月の利用者数はこれらの分布に従う乱数で決定される．　0 以下の乱数が発生した場合は 0 とした．

3) 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は，バス会社側の費用関数が必要である．ここでは，費用関数は支出(円/月)＝費用(円/バス 1 台・1km)×区間距離(km)×運行本数(台)とした．運行本数は，利用者が 10 人増加するごとに 1 台追加するものとした．

表-2.3　ゲームのパターン

契約内容	大学がある時期	大学がない時期
BT前の収入を下回らないような目標利用者数を達成する	ゲーム①	ゲーム③
BT前の収支を下回らないような目標利用者を達成する	ゲーム②	ゲーム④

4) ゲームの実行フロー

表-3 に示す 4 つのパターンのゲームを行い，それぞれを比較する．ゲームの実行フローを以下に示す．

①100 回分のバストリガー前後の利用者数を**図-1** により決定する．

②決定した利用者数から収入を計算する．

③利用者数によって決定される運行本数から支出を計算する．

④収支(収入-支出)を算出する．

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結果は協調，下回っていれば結果は裏切りとする．バス会社側はこの結果のみを判断基準とし，次回のゲームで戦略を変更していく．

⑥②～④を 100 回行い，合計利得を計算する．

一方，収入を参照指標としたゲームは，①②⑤⑥の順に行う．

4．対戦結果

紙面の都合，上本稿では結果は割愛し，発表時に示す．

5．バストリガー導入可能性の評価

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．その方法を**図-2** に示す．料金の変化により利用者数は変化するので，金沢バストリガーの利用実績から，100 円時の利用者数と 160 円時の利用者数をもとに 10 円変化するごとの利用者の変化数を計算し，料金の変動で利用者が変化する構造とした．

シミュレーション結果は発表時に示す．

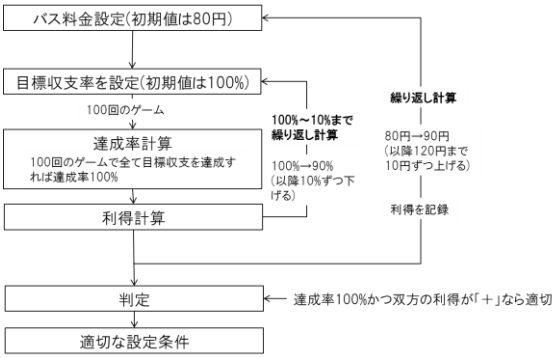

図-2　最適な料金と目標収支率の探索フロー

6．おわりに

本研究により，バストリガー制度を無限繰り返しゲームとしてとらえることで，金沢バストリガーの状態をゲーム理論的に再現することができた．また，最適な運賃と目標収支率の探索を行うことで，バストリガー制度が長期間，継続維持されるための条件を探すことができた．