

# 需要変動を内生化した地域公共交通に対する インセンティブ補助の理論とその適用

村野 祐太郎<sup>1</sup>・ZOU Wenqian<sup>2</sup>・溝上 章志<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 八千代エンジニアリング株式会社 道路交通部 (〒161-8575 東京都新宿区西落合2-18-12)  
E-mail: yt-murano@yachiyo-eng.co.jp

<sup>2</sup>熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本県熊本市黒髪2丁目39-1)  
E-mail: 109d9411@st.kumamoto-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 熊本大学大学院自然科学研究科 (〒860-8555 熊本県熊本市黒髪2丁目39-1)  
E-mail: smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp

地方都市では地域公共交通の路線維持が困難になっている。また、運行事業者に対する自治体からの補助額も年々増加しており、自治体財政の点からも大きな問題となっている。

本研究では、これまでの欠損補助制に対して、事業者と自治体との両者に対して費用の削減や需要の獲得の動機を与えるインセンティブ補助制度の地域公共交通への提供可能性について検討する。需要固定型であった既存モデルに対して、ここでは運行頻度を未知変数の一つとし、需要変動を内生化した、より一般的な地域公共交通システムに対するインセンティブ補助モデルを提案する。このモデルを、地域公共交通サービスの維持が喫緊の問題となっている熊本県荒尾市の路線バス網に適用し、決定変数に対する権限の付与の違いによる解の特性や適切な政策を明確にしていくことを目的とする。

**Key Words :** contract theory, incentive, level of service, stackelberg game, social welfare function

## 1. はじめに

乗合バス事業は、地域の日常生活を支える交通サービスである。しかし、近年のモータリゼーションの進展、地方部における人口減少、少子高齢化の影響などにより利用者が減少し、その採算性が急激に悪化している。事業者の採算性悪化に伴い、サービス水準の低下や路線撤退に伴う公共交通機関の空白地帯の拡大などが危惧される。このような状況に対処するため、自治体は、公共交通事業者に対して運行補助金を与え、援助している。しかし、年々増加する運行補助の総額が行政の財政状況を悪化させる一因となっており、自治体の公共交通サービス提供への関与の在り方も問われている。

図-1 に示すように、本研究の対象地域である熊本県荒尾市の路線バスの利用者数も平成 15 年から 21 年の 6 年の間に約 40%減少し、約 34 万人となっている。運行補助額については、平成 16~17 年にかけて実施された荒尾市営バスの九州産交バス(株)への全路線の民間移譲により、一旦は 1 億 5,400 万円から 3,200 万円へ約 80%圧縮されたものの、利用者の減少に歯

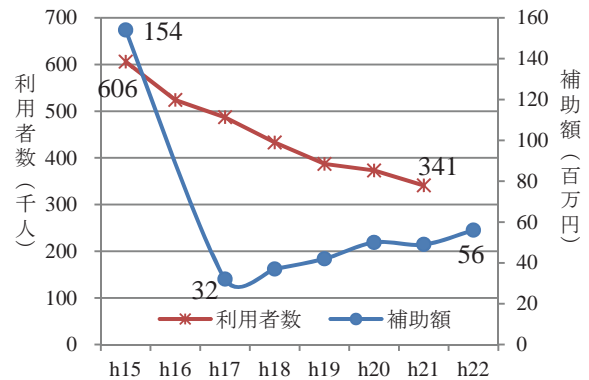


図-1 荒尾市におけるバス利用者数と運行補助額

止めはかからず、平成 20 年秋には路線や運行頻度の見直しを行ったものの、運行補助金は再び増加に転じ、平成 22 年度には 5,600 万円に達した。

地域公共交通への自治体の関与の在り方としては、自治体が主導して、民間の事業者が運行しないエリアにコミュニティバスやデマンド型タクシーなどのサービスを提供する試みがなされているが、既存の路線バスを対象とした路線網再編や補助制度の改変などの取

り組みを行っている事例はほとんどない。

我が国の多くの自治体では、補助金交付の方式として、赤字路線の赤字額を全額補填する欠損補助の形を取っている。この交付方式では、赤字削減の努力を怠っても補助金によって確実に赤字分が補填されることになり、バス事業者には赤字額を減らそうというインセンティブが働きにくい。しかし、自治体はバス事業者に赤字を削減させる何らかのインセンティブを与えて赤字補填額を減らしたいと考えている。このインセンティブをうまく与えることで、事業者の赤字削減や需要獲得の努力を促し、補助金額を削減するという社会的に望ましい状況を作り出すことができる。

このような赤字削減・需要獲得努力のためのインセンティブ補助制度や運行委託契約方式については、情報の経済学や契約理論といった分野で理論研究がかなり進んでいる。しかし、バス輸送サービスなどの現実の問題に適用された例はほとんどない。そのような中で、交通計画分野で適用された先駆的研究が Hensher & Houghton<sup>1)</sup> によってなされている。そこでは実際に導入されている種々の補助や契約制度の理論背景の類型化、社会的余剰を最大化するような運賃と運行頻度、および補助金額を算出する新たなモデル化が試みられている。しかし、このモデルは、自治体と事業者間に存在するであろう情報の非対称性はなく、さらにバス事業者は自治体の政策に従うという構造になっている。

これに対して、バスサービスの運行委託契約方式に関する喜多・谷本らの一連の研究<sup>2),3)</sup>では、気象条件や燃料価格などの運行環境の不確実性に起因してバスの運行費用が変動することを考慮した上で自治体の期待効用を最大化するように、事業者に経営努力戦略を選択させる契約モデルを開発している。しかし、全ての変数の決定権は行政のみにあること、仮想的なバス輸送サービスを設定し、数値計算により赤字補助率の経営努力インセンティブ効果への感度を分析するに留まっているなど、現実の問題への適用については解決すべき幾つかの課題がある。

これに対し、著者ら<sup>4)</sup>は、サービス水準を固定、つまり需要は固定のまま、最適な赤字削減額と報奨金額を決定するインセンティブ報酬モデルを構築し、熊本市のバス路線網再編案を対象に、その適用可能性の検証を行ってきた。しかし、実際にはサービス水準、ここでは運行頻度は社会厚生に影響を与える変数の1つである。本研究では、提供される運行頻度に依存して変動する需要を生内化したインセンティブ補助モデルへ改良を行い、それを荒尾市のバス輸送網に適用することによって、決定変数に対する権限の付与の違いによる解の特性や適切な政策を明らかにしていく。その

ために、まずは 1)需要変動を生内化したインセンティブ報酬モデルを定式化し、2)各変数の決定権利の配分が異なる5つのシナリオにおける一般解を示す。そのうえで 3)このインセンティブ補助モデルを荒尾市の公共交通ネットワークに適用し、各シナリオ毎に社会厚生を最大化するサービス水準と赤字削減額を求める。この結果より、4)各種決定権の配分方法の違いによる解の特性を分析する。最後に、5)今後の公共交通の活性化・再生に資するインセンティブ補助の導入可能性を検討する。

## 2. インセンティブ報酬モデル

### (1) 荒尾市内運行系統における現行の補助金交付体制

路線バスへの補助は、赤字バス事業者の赤字路線系統に運行補助金を交付することで、地域において必要なバスの運行の確保を図り、もって地域住民の福祉の向上に資するために実施されている。運行事業者への補助金の中には車両購入費補助金もあるが、本研究では自治体と運行事業者の運行契約の在り方を主に扱うため、ここでは路線運行費補助金についてのみ、解説する。

荒尾市における具体的な補助内容を表-1に示す。路線運行費補助金には、大きく分けて、国・県による路線維持費国庫補助金・路線維持合理化促進補助金と市による運行費補助金がある。路線維持費国庫補助金の1)~5)は生活交道路線の定義である。また、補助対象系統に対して、県・市は11/20に満たない分のかさ上げ、および平均乗車密度が5人未満の場合は欠損額とその満たない分の差額を負担することとしている。補助対象系統として補助を受けている系統は、全22系統のうち、平成21年度で1系統あり、市からの補助金額は2,633千円となっている。国庫補助では、既に路線維持費国庫補助金としてインセンティブ措置が取られている。この補助制度については後述する。運行費補助金とは荒尾市による通常の欠損補助である。一方、民間移譲に伴う運行費補助金は、平成16、17年に実施した荒尾市営バスの民間移譲時、移譲先の九州産交バス(株)の運行を支援するために、荒尾市が独自に設定した補助制度である。平成20年度は、13路線に10,853千円が支払われている。これは、荒尾市が支払った補助額の約28%を占めている。

### (2) 既存研究におけるインセンティブ報酬モデル

本研究で適用したインセンティブ報酬モデルについての既往研究の成果について整理する。Jean-Jacques

Laffont と Jean Tirole によるインセンティブ契約に関する基本モデル<sup>5)</sup>を行政と運行事業者の間のインセンティブ契約に適用した著者らの既往研究<sup>4)</sup>では、熊本都市圏のバス路線網再編案において再編後も赤字が見込まれる 86 路線に対してインセンティブ報酬モデルを適用したケースと現行の補助制度の下で予測される赤字額を比較している。その結果、完全情報下でインセンティブ制度を導入したときは、バス事業全体にインセンティブ報酬を 10.02 億円交付すると 11.40 億円の赤字削減が見込まれ、現行制度と比べて 1.38 億円だけ補助金を減らすことができることを明らかにしている（図-2 参照）。

### (3) 需要変動下でのインセンティブ報酬モデル

上記のモデルでは、運賃や運行頻度などのサービス水準は行政により決定されており、運行事業者はこれらを変化させないことを前提とした上で、社会厚生を最大化問題として定式化している。しかし、実際にはこれらのサービス水準が変化すればバス需要も変化するため、消費者便益  $S$  や制度適用前のある路線の赤字額  $\beta$ 、運行事業者の赤字削減努力コスト  $\psi(d)$  の値も変化する。したがって、社会的に最適な状態も変化する。そこで、サービス水準を決定変数の 1 つとし、それに伴って変動する需要を内生化した、より一般的なインセンティブ報酬モデルへの改良を試みる。

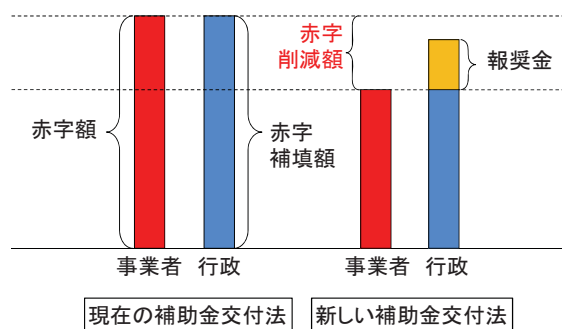


図-2 補助金交付方法

本研究では、市民の公共交通利用意欲にとって重要なサービス指標であり、かつ、平成 23 年 1 月に市民 1,377 人を被験者として実施した「荒尾市における交通実態と意識に関する調査」において、路線バスを利用する際に困っている最大の要因である運行頻度を変数として新たに取り込む。バス路線網と運賃は固定とし、報奨金  $t_h$ 、赤字削減額  $d_h$ 、運行頻度  $f_h$  を変化させることによって、需要変動を内生化したインセンティブ報酬モデルを定式化し、社会的に最適な状態を導くことを目的とする。また、開発したモデルを荒尾市のバス路線網に適用することにより、モデルの有用性の検証も実施する。

以下に、本研究で提案するインセンティブ報酬モデルの設定条件を示す。

#### a) バス路線 $h$ の赤字額 $C_h$

バス事業者は、赤字削減努力をするという条件の下、ある赤字バス路線  $h$  を運行すると、その時の年間の赤字額  $C_h$  は、経常収支からバス会社の努力により削減される額を引いたものとなり、以下のようになる。

$$C_h(d_h, f_h) = P(f_h) - \sum_{i,j} (D_{ij}(f_h) \cdot c_{ij}) - d_h \cdot 365 \cdot 2 \cdot f_h \cdot L_h \quad (1)$$

ここで、 $P(f_h)$  は赤字削減努力なしで運行した時の経常支出額、 $D_{ij}(f_h)$  はバス停ペア  $ij$  間で予測される乗客数、 $c_{ij}$  はバス停ペア  $ij$  間の運賃、 $d_h$  はキロ当たりの経常支出の削減額、 $f_h$  は 1 往復を 1 便とカウントした時の運行頻度、 $L_h$  は路線長である。

#### b) バス路線 $h$ の運行による運行事業者の超過利潤 $U_h$

運行事業者がキロ当たり  $d_h$  の経常支出を削減し、路線  $h$  を頻度  $f_h$  で運行すれば、赤字額は減るものの、赤字削減にかかる費用も発生する。その費用を  $\psi(d_h, f_h)$  とし、 $d_h$  については逓増する増加関数とする。つまり、事業者がキロ当たりの削減額を大きくしようとするほど、そのために必要な努力コスト

表-1 荒尾市における現行の補助金交付体制

補助金名・交付主体	要件・補助額
路線維持費国庫補助金（国・県）	1) 複数市町村にまたがる
	2) 10 キロ以上の系統
	3) 1 日輸送量 15~150 人
	4) 運行回数 3 回以上
	5) 経常収益が経常費用の 11/20 以上又は、市町村補助を加え 11/20 以上
路線維持合理化促進補助金（国・県）	6) 地域キロ当たり経常費用または運行事業者のキロ当たり経常費用を比較し、少ない方の値を用いて得られる欠損額
	3.(3)を参照のこと
運行費補助金（荒尾市固有）	運行事業者のキロ当たり経常費用を用いて得られる欠損額
民間移譲に伴う運行費補助金（荒尾市固有）	1) 平成 16, 17 年に実施された民間移譲時の荒尾市営バスからの引継ぎ路線
	2) 対象系統の実車走行キロに 30 円を乗じた額

も大きくなるとする。一方、行政は実際の赤字額である  $C_h$  を全額補填するが、それと同時に図-2 の右のようにバス事業者の赤字削減努力に応じて追加の補助金（報奨金）  $t_h$  を与える。この追加の報奨金  $t_h$  によってバス事業者の赤字削減インセンティブを引き出す。

バス事業者の超過利潤  $U_h$  は報奨金  $t_h$  と赤字削減費用  $\psi(d_h, f_h)$  の差で表される。

$$U_h = t_h - \psi(d_h, f_h) \quad (2)$$

このとき、バス事業者の個人合理性条件（IR 条件）、つまりバス事業者が契約に参加するための最低限の条件は以下である。

$$U_h = t_h - \psi(d_h, f_h) \geq 0 \quad (3)$$

### c) 住民の純便益 $UB$

当該バス路線  $h$  の運行による住民の純便益  $UB$  は、以下のように、そのバス路線の運行による利用者便益  $S(f_h)$  から行政が支払う報奨金  $t_h$  と赤字補填額  $C_h$  を引いたもので表される。

$$UB = S(f_h) - (1 + \lambda)(C(d_h, f_h) + t_h) \quad (4)$$

ここでは、この行政の費用には行政介入による不効率係数  $\lambda (\geq 0)$  を外生的に与える。

### d) 当該バス路線 $h$ の運行に伴う社会厚生 $SB$

バス運行による社会厚生  $SB$  は、運行事業者の超過利潤  $U_h$  と住民の純便益  $UB$  を足し合わせたもので表される。

$$\begin{aligned} SB &= S(f_h) - (1 + \lambda) \cdot \{C(d_h, f_h) + t_h\} + U_h \\ &= S(f_h) - (1 + \lambda) \cdot \{C(d_h, f_h) + \psi(d_h, f_h)\} - \lambda U_h \end{aligned} \quad (5)$$

社会厚生はバス運行に伴う利用者便益  $S(f_h)$  からバス運行に必要な総費用  $C(d_h, f_h) + \psi(d_h, f_h)$  と行政介入による不効率係数をかけた運行事業者の利益を引いたものとなる。行政はこの社会厚生を最大化しようとする。

## (4) 完全情報下での社会厚生最大化

この問題は、報奨金  $t_h$ 、赤字削減額  $d_h$ 、運行頻度  $f_h$  を変数とし、バス事業者の参入制約条件を持つ利潤最大化問題を下位問題とする社会厚生最大化問題であるため、シュタッケルベルグゲームを仮定して解く。表-2 のように、各変数の決定権を行政とバス事業者間で分配し、Case0~Case4 までの権利配分ケースを設定する。なお、Case1 と Case3 については、 $\psi(d_h, f_h)$  の頻度  $f_h$  に対する傾きにより一般解が区別される。

ここでは、Case4 に対する一般解の誘導例を示し、その他については省略する。Case4 は全変数を行政が決定する場合である。最大化問題は以下のように定式化される。

$$\begin{aligned} \text{Max}_{t_h, d_h, f_h} &: S(f_h) - (1 + \lambda) \cdot \{C(d_h, f_h) + \psi(d_h, f_h)\} - \lambda U_h \\ \text{s.t.} & \quad t_h - \psi(d_h, f_h) \geq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

$U_h$  に関して、社会厚生関数は減少することから、 $t_h^*$  は以下ようになる。

$$t_h^* = \psi(d_h^*, f_h^*) \quad (7)$$

1階の最適性の条件より、次式を満足するように  $d_h^*$  と  $f_h^*$  が決定される。

$$d_h^* = d(f_h) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{dS(f_h)}{df_h} - (1 + \lambda) \\ \cdot \left[ \frac{dC(d(f_h), f_h)}{df_h} + \frac{d\psi(d(f_h), f_h)}{df_h} \right] = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

## (5) 一般解の性質

運行事業者が最適頻度  $f_h^*$  を決定する Case1 と Case3 の解は、事業者の努力コスト関数  $\psi(d_h, f_h)$  の頻度  $f_h$  に対する微係数の符号により区別される。頻度  $f_h$  に関して  $\psi(d_h, f_h)$  が増加関数の場合には、運行事業者

表-2 各種変数決定権の配分と一般解

	Case0		Case1-a $\frac{\partial \psi(d_h, f_h)}{\partial f_h} \leq 0$		Case1-b $\frac{\partial \psi(d_h, f_h)}{\partial f_h} \geq 0$		Case2		Case3-a $\frac{\partial \psi(d_h, f_h)}{\partial f_h} \leq 0$		Case3-b $\frac{\partial \psi(d_h, f_h)}{\partial f_h} \geq 0$		Case4	
	行政	事業者	行政	事業者	行政	事業者	行政	事業者	行政	事業者	行政	事業者	行政	事業者
報奨金 $t_h$	$t_h^*$		$t_h^*=0$		$t_h^*=0$		$t_h^*=0$		$t_h^*$		$t_h^*=0$		$t_h^*$	
削減額 $d_h$	$d_h^*$			$d_h^*=0$		$d_h^*=0$		$d_h^*=0$	$d_h^*$		$d_h^*=0$		$d_h$	
頻度 $f_h$				$f_h^*$		$f_h^*=0$	$f_h^*$			$f_h^*$		$f_h^*=0$	$f_h^*$	

は  $f_h^* = 0$  を選択してバスを運行しなくなるために、報奨金と赤字削減額の解も  $t_h^* = d_h^* = 0$  となる。頻度  $f_h$  に対する減少関数の場合には、最適な運行頻度  $f_h = f_h^*$  が決定される。また、削減額  $d_h^*$  を運行事業者が決定する Case1 と Case2 の場合は、 $f_h^*$  の値に関らず  $d_h^* = 0$  となることから分かる。この時、運行事業者は赤字削減努力を行わないため、 $t_h^* = 0$  となる。以上のことから、一般解の特徴として次のことが分かる。

- 1) 運行事業者が  $f_h^*$  を決定するケースで且つ努力コスト関数  $\psi(d_h, f_h)$  が頻度  $f_h$  に関して増加関数である場合には、 $f_h^* = 0$  となり、バスが運行されなくなる。
- 2) 運行事業者が  $d_h^*$  を決定するケースでは  $d_h^* = 0$  となり、運行事業者は赤字削減努力をしなくなる。その時は  $t_h^* = 0$  となる。

### 3. 実証分析に必要な関数の推定

需要変動を内生化したインセンティブ報酬モデルを適用するためには、モデルを構成する  $P(f_h)$ 、 $D_{ij}(f_h)$ 、 $\psi(d_h, f_h)$  をあらかじめ推定しておく必要がある。ここでは、これらの3つの関数の推定結果を示す。

#### (1) 経常支出額 $P(f_h)$ の推定

赤字削減努力なしで運行した時の経常支出額関数  $P(f_h)$  は荒尾市を走行する 22 系統の実績データを用いて回帰分析により推定した。説明変数の実車走行キロは、運行頻度  $f_h$  により、 $365(\text{日}) \times 2(\text{往復}) \times f_h \times L_h$  で表現する。推定結果を表-3 に示す。定数項の  $t$  値はあまり高くないものの、実車走行距離の  $t$  値は十分に大きく、5%の水準で統計的に有意である。また、パラメータの符号条件も論理的である。相関係数も十分に大きな値を示していることから、以後、本研究では経常支出額関数にこのモデルを用いる。

#### (2) 需要関数 $D_{ij}(f_h)$ の推定

バス停ペア  $ij$  間での乗客数の需要関数  $D_{ij}(f_h)$  は、以下のように定式化する<sup>6), 7)</sup>。

$$D_{ij}(f_h) = D_{ij}^B + \varepsilon \cdot \left( \frac{D_{ij}^B}{g_{ij}^B} \right) \cdot (g_{ij} - g_{ij}^B)$$

$$= D_{i,j}^B + \varepsilon \cdot \left( \frac{D_{ij}^B}{g_{ij}^B} \right) \cdot \left( c_{ij} + \omega \cdot \text{Time}_{ij} + \omega \cdot \frac{60 \cdot 13}{2 \cdot f_h} - g_{ij}^B \right)$$

(10)

このとき、 $D_{ij}^B$  は事前のバス停ペア  $ij$  間で観測された乗客数、 $\varepsilon$  は一般化費用に対する需要の弾力性値、

$g_{ij}$  はバス停ペア  $ij$  間の一般化費用である。ここで、 $D_{ij}^B$  には、荒尾市内を走行する全てのバスを対象に、平成 22 年に荒尾市と共同で実施したバス停間 OD 調査（平日と休日 1 日ずつ実施）の調査結果を用いる。 $\varepsilon$  には、参考文献 6) で示された値を参考に、-1.27 を用いる。一般化費用  $g_{ij}$  は、 $ij$  間の運賃  $c_{ij}$  に乗車時間  $\text{Time}_{ij}$  とバス路線  $h$  の平均待ち時間  $60 \cdot 13 / 2 \cdot f_h$  の和に時間価値  $\omega$  を乗じて表現される。時間価値  $\omega$  は「時間価値原単位および走行経費原単位（平成 20 年価格）の算出方法」より、24.94（円/分）を用い、1 日の運行時間は現行の運行時間である 13 時間とした。

#### (3) 努力コスト関数 $\psi(d_h, f_h)$ の推定

路線  $k$  ごとに、事業者がキロ当たり費用を  $d_h$  だけ削減して頻度  $f_h$  で運行するために必要な努力コスト  $\psi(d_h, f_h)$  を推定したいが、これらの市場データを得ることは極めて難しい。しかし、国による路線維持合理化促進補助金<sup>8)</sup>は、以下の理由より、ある種のインセンティブ措置の結果であることから、この制度の基づいて各所に実際に補助された補助金額データを活用して  $\psi(d_h, f_h)$  の関数形を推定することを試みる。

路線維持合理化促進補助金は、運行事業者が費用削減や増収努力等の一層の合理化を進める必要があることから、一定の経営改善を行った運行事業者に対してインセンティブ措置を講じることにより、更なる経営効率化を図り、もって地域住民の生活交通を効率的に維持することを目的とした制度である。制度の概要図を図-3 に示す。この補助金を受け取るための運行事

表-3 経常支出額関数の推定結果

説明変数	パラメータ	$t$ 値
定数項	$5.58 \times 10^5$	0.95
実車走行距離	191.4	13.6
サンプル数	41	
相関	0.91	

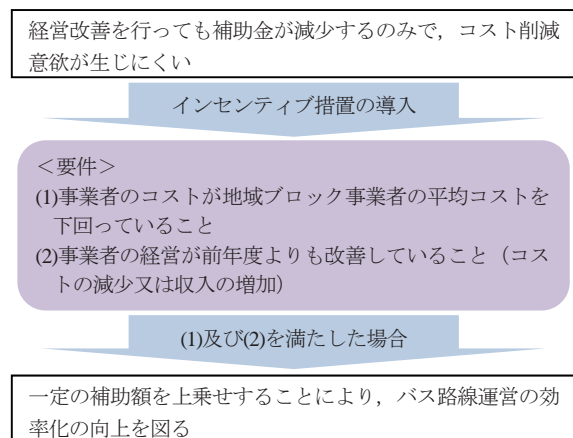


図-3 路線維持合理化促進補助金

業者に求められる条件は、第一に事業者のキロ当たりの経常費用が地域ブロック毎に定められた費用を下回っていること、第二に事業者のキロ当たりの経常費用が前年よりも低くなっていること、または、キロ当たりの補助路線経常収益が前年度よりも高くなっていることのいずれかである。この2つの条件を満たした運行事業者に対して、制度で定められた規則に基づき補助金が支給される。

熊本県内には、路線維持合理化促進補助金を活用している運行事業者が存在しなかったため、九州内でこの補助制度を活用した実績のある3事業者に対してアンケート調査を実施した。調査の項目を表-4に示す。3事業者にはこの補助制度を活用した全ての系統について調査項目の回答を求めた。アンケート項目内の事業者経常費用の対象年と前年度との差額を赤字削減額  $d_h$ 、運行頻度を  $f_h$  とする。また、努力コスト  $\psi(d_h, f_h)$  を直接、質問することは難しい。しかし、最適解が満たすべき式(7)に示す条件  $t_h^* = \psi(d_h^*, f_h^*)$  を用いると、路線維持合理化促進補助金額は努力コスト  $\psi(d_h, f_h)$  に一致する。

得られたアンケート結果を用いて努力コスト関数を推定する。関数形を以下のように仮定した。

$$\psi(d_h, f_h) = \exp(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot gap + \alpha_2 \cdot d_h + \alpha_3 \cdot 365 \cdot 2 \cdot L_h \cdot f_h) \quad (11)$$

ここで、 $gap$  は地域ブロック経常費用と事業者の経常費用の差額であり、ヤードスティックコストと見なすことができる。 $365 \cdot 2 \cdot L_h \cdot f_h$  は年間の実車走行距

離であり、頻度  $f_h$  の関数とする。推定結果を表-5に示す。各変数の  $t$  値は十分に大きな値を示しており、5%の水準で統計的に有意である。また、 $gap$ 、赤字削減額のパラメータの符号は正となり論理的である。実車走行距離のパラメータの符号は正となった。前章では、 $\psi(d_h, f_h)$  の頻度  $f_h$  に関する傾きの符号条件により一般解を区別していたが、符号が正となったため、以後は正の場合の解を用いて分析する。

## 4. 実証分析

### (1) 熊本県荒尾市における地域公共交通の現状

本研究では、提案した需要変動型のインセンティブ報酬モデルを熊本県荒尾市のバス路線網に適用し、その導入効果を分析する。図-4に示すように、荒尾市は熊本県の北端に位置し、東は玉名市、北は福岡県大牟田市に接する県境の都市である。都市計画区域マスタープランによれば、中心拠点はJR荒尾駅付近から大牟田市にかけての既存市街地と大規模商業施設が存在する緑ヶ丘地区周辺とされている。このうち、前者の既存市街地は大牟田市と連続的な市街地を形成しており、同一の経済圏を持つことが大きな特長である。

しかし、近年、この地域の市街地は衰退傾向にあり、2つの市街地に格差が生じつつある。平成22年度国勢調査の結果（平成22年10月1日基準）によれば、荒尾市の人口は55,321人（前回調査より639人減）であり、高齢化率は28.4%（前回調査より1.6%上昇）である。熊本市の高齢化率21%と比較すると、荒尾市は高齢化が進んだ都市であり、高齢者などのモビリティ水準の低い人々に対して公共交通機関が果たすべき役割は大きい。

荒尾市における公共交通機関は鉄道と路線バスである。鉄道は九州旅客鉄道（株）により運行され、荒尾市内には荒尾駅と南荒尾駅が設置されている。隣接する福岡県大牟田市には福岡市天神まで直線で1時間の西日本鉄道（株）の西鉄大牟田駅も存在する。路線バスについては、平成22年10月1日時点において、九州産交バス（株）が24系統、西日本鉄道（株）が2系統を運行している。現在、九州産交バス（株）が運行している荒尾市内系統は、かつては荒尾市営バスにより運行されていた路線である。荒尾市営バスは昭和24年より荒尾市民の生活の足として活用されたものの、昭和35年頃から赤字経営が続いていた。そこで、荒尾市は平成16、17年の2年間をかけて九州産交バスへ全22系統を民間移譲した。荒尾市は、民間への移譲後も移譲路線の存続を図るため、移譲路線については欠損補助に加え、キロ当たり30円を追加的に補

表-4 アンケート項目

路線属性に関する項目	系統名 系統の起点、終点 路線長 運行頻度（平日、休日）
経営状態、補助金に関する項目	経常収入、支出 地域ブロック経常費用（円/km） 対象年と前年の事業者経常費用（円/km） 対象年と前年の補助路線経常収入（円/km） 路線維持費国庫補助金額 路線維持合理化促進補助金額

表-5 努力コスト関数の推定結果

説明変数	パラメータ	t値
定数項	1.08E+01	73.1
経常費用の差額	7.86E-03	12.4
赤字削減額	4.93E-02	6.7
実車走行距離	8.71E-06	15.4
サンプル数	20	
相関	0.97	

助している。しかし、九州産交バス（株）は、移譲完了から3年後の平成20年と平成22年に相次いで路線再編を実施したため、路線バスのサービス水準は近年、変更が相次いでいる。このような状況下においても、荒尾市営バス当時のまま変更がない系統についてはキロ30円の運行支援が継続されており、荒尾市の交通

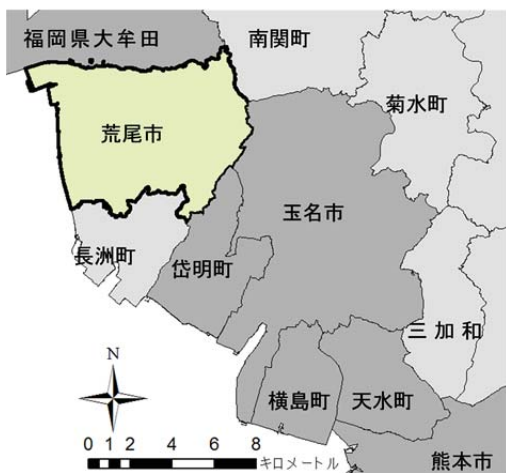


図-4 荒尾市の位置図

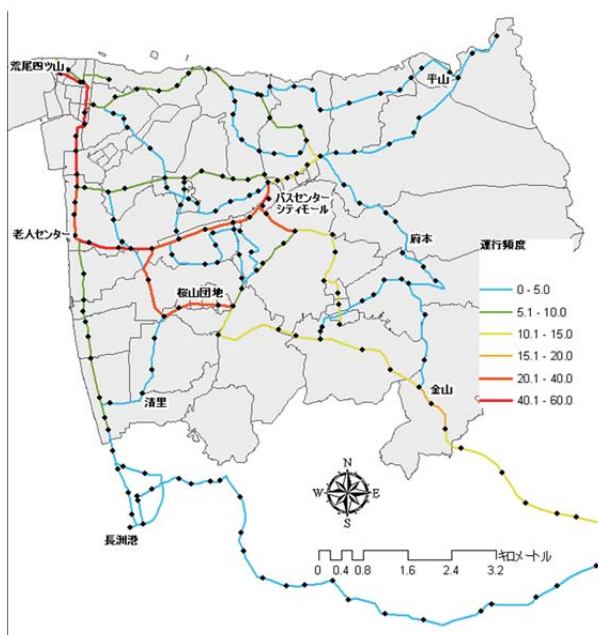


図-5 荒尾市のバス路線図（平日）

政策における1つの問題点ともなっている。

図-5に現在の路線網図を示す。バス系統の構成は、広域系統が4、市内系統が18である。広域系統の発着地はいずれも荒尾四ツ山ー玉名合同庁舎である。市内系統については、発・着地のいずれかが荒尾四ツ山かバスセンターになっており、この2地点を中心に市内系統が整備されている。1往復を1回とした時の平日の運行頻度は75.5回、休日は61回である。また、荒尾市内2つの中心拠点を結ぶ荒尾四ツ山ー老人センター前ーバスセンター区間や、広域系統が通過する荒尾四ツ山ー老人センター前ー桜山ー金山ー玉名市などの区間は、比較的高い運行頻度となっている。それに対して、市内東部の平山、府本、南西部の清里地区などでは運行頻度が少なくなっている。

平成21年に独自に実施した荒尾都市圏ミニPT調査の結果によると、荒尾市における路線バスの分担率はわずか1%であった。また、先にも示したように、路線バスの乗客数は年々減少し、補助金額は年々増加を続けている状況にある。

(2) 適用結果

ここでは、行政介入による不効率係数  $\lambda = 0.05$  としたときの結果を示す。運行頻度を運行事業者が決定する Case1 と Case3 では、運行頻度の最適解は  $f_h^* = 0$  となり、バスが運行されなくなることから、契約の在り方として不適切であると考え、以後の分析対象から除外している。表-6 に本モデルの適用結果概略を示す。なお、表中に示している結果は路線毎の最適解を市全域で集計したものである。また、欠損補助とは赤字額  $C_h$  のことであり、運行事業者が赤字削減努力をしても、なおも生じる赤字額を行政は補填する。総補助額は、欠損補助  $C_h$  と報奨金  $t_h^*$  の和で表される。また、消費者余剰の増加額  $\Delta S(f_h)$ 、およびは、社会厚生の変化  $\Delta SB(f_h, t_h)$  は次式で表現される。

$$\Delta S(f_h) = \frac{1}{2} \cdot \sum_{ij} \{ D_{ij}^B + D_{ij}(f_h) \} \tag{12}$$

$$\cdot \left\{ g_{ij}^B - (c_{ij} + \omega \cdot Time_{ij} + \omega \cdot \frac{60 \cdot 13}{2 \cdot f}) \right\}$$

表-6 報酬モデル適用結果

	運行頻度 (本/日)	乗客数 (千人/年)	削減額 (百万円/年)	欠損補助 (百万円/年)	報奨金 (百万円/年)	総補助額 (百万円/年)	余剰増加分 (百万円/年)	更生変化 (百万円/年)
現状	62.5	382.3	0	72.6	0	72.6	0	0.0
Case0	62.5	382.3	26.2	46.4	13.3	59.7	0	13.5
Case2	233.3	588.2	0	275.3	5.1	280.3	1,082.6	870.2
Case4	247.9	590.9	23.5	205.3	42.9	248.2	1,103.8	925.2

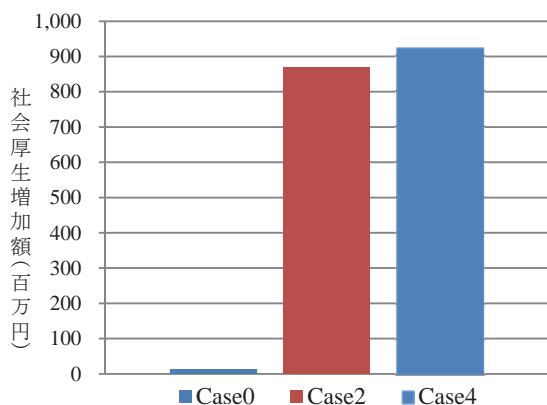


図-6 社会厚生増加額(市全域)

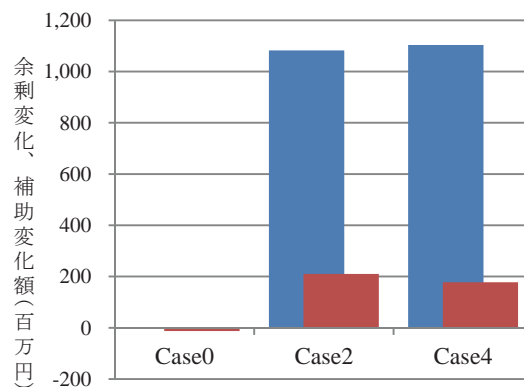


図-7 余剰変化額と補助変化額(市全域)

$$\Delta SB(f_h, t_h) = \Delta S(f_h) - (1 + \lambda) \cdot (C - C_B + t_h) \quad (13)$$

Case0 は運行頻度を変更しないため、運行頻度、乗客数と消費者余剰は現状のままである。事業者の赤字削減努力により、費用は年間 26.2 百万円、削減される。その結果、欠損補助は 46.4 百万円、報奨金は 13.3 百万円となる。これによって、行政の総補助額は 59.7 百万円となり、現状と比較して 12.9 百万円の減少となる。また、社会厚生額は 13.5 百万円の増加となった。

Case2 の場合は、 $d_h^* = 0$  となり、赤字削減努力はなされない。行政が最適運行頻度  $f_h^*$  を決定した結果、路線網全体で 233.3 回/日となった。これは現状の約 3.7 倍である。乗客数も 588.2 千人/年となり、現状の 1.5 倍となる。欠損補助は 275.3 百万円、報奨金は 5.1 百万円となる。その結果、行政の総補助額は 280.3 百万円となり、現状と比較して 207.7 百万円の増加となる。これによって、消費者余剰の増加額は 1,082.6 百万円となり、社会厚生も 870.2 百万円の増となった。

Case4 の場合は、全ての運行頻度  $f_h^*$ 、赤字削減額  $d_h^*$  ともに行政により決定される。最適解  $f_h^*$  の結果、総運行頻度は路線網全体で 247.9 回/日となった。これは現状の約 3.9 倍である。乗客数は 590.9 千人/年となり、現状の 1.5 倍となる。また、運行事業者の赤字削減努力により、年間 23.5 百万円が削減される。これは、運行事業者が赤字削減努力をせずに運行頻度を 189.7 回/日とした場合に予測される赤字額との差額である。その結果、欠損補助は 205.3 百万円、報奨金は 42.9 百万円となり、行政の総補助額は 248.2 百万円となる。これは、現状と比較して 175.6 百万円の増加である。消費者余剰も 1103.8 百万円、社会厚生額も 925.2 百万円の増加となった。

図-6に、行政の目的関数である社会厚生値の現状からの変化金額を各ケース毎に示している。Case0で13.5百万円、Case2で870.2百万円、Case4で925.2百万円

の増加であった。Case2とCase4はCase0と比較してそれぞれ約64倍、68倍にもなった。これは、Case0は運行頻度が現状と変わらないのに対して、Case2とCase4では、最適運行頻度がそれぞれ約4倍近くになっているためである。また、Case4はCase2よりも運行頻度が多いことに加え、赤字削減努力による効率的な運行が図られるため、社会厚生増加金額も大きくなっている。系統別にみても、Case2とCase4の値はCase0よりもかなり大きく、かつCase4はCase2よりも大きい。系統別に見ると、玉3、玉2、助1、桜2などでは69.5百万円以上という大きな社会厚生増加を示している。これらの系統は以下に示す消費者余剰の増加額も大きい。

図-7に各々のケースでの消費者余剰の増加額と補助金の変化額を示す。縦軸の負の方向は消費者余剰又は補助金額が減少したことを示す。Case0では消費者余剰が変化せず、補助金のみが削減され社会厚生が最大化されている。それに対し、Case2とCase4では、それぞれ873百万円、926百万円、消費者余剰の変化金額が補助金の増加金額を大幅に上回っている。これは運行頻度の変動に伴う乗客数の変化と待ち時間の変化によって説明される。つまり、運行頻度を行政が決定できるCase2とCase4では、補助額は増加するものの、運行頻度を増加させることにより消費者余剰を増加させることによって社会厚生が最大化しているためである。

以上より、運行頻度を行政が決定して運行事業者と契約するCase2、Case4では社会厚生が改善され、社会的により望ましい状態になることが明らかになった。Case2とCase4を比較すると、Case4の総補助額がCase2よりも32.1百万円少ないこと、Case4の社会厚生値がCase2よりも大きいことなどの理由から、全変数を行政が決定するCase4が社会的に最良の状態を導く契約方法であることが分かる。しかし、Case4の契約方法では社会厚生は最大化されるものの、総補助額が現状の3.5倍にもなり、自治体財政の観点からは公共交通



サービスを持続できないという課題が残される。

## 5. おわりに

本研究では、需要固定型であった従来のインセンティブ報酬モデルを、運行頻度などのサービス水準の変化に伴う需要の変動を内生化したインセンティブ報酬モデルに改良した。さらに、変数の決定権の配分パターンをどの主体が決定するかによって5ケース、設定し、シュタッケルベルグゲームの考え方に基いた一般解を誘導した。適用分析では、最適解の配分パターン間での違いについて分析し、その特性を明らかにした。以下に本研究で明らかになったことを挙げる。

- 1) 最適なキロ当たり赤字削減額  $d_h^*$  を運行事業者が決定する場合には、 $d_h^* = 0$  となり運行事業者は努力しなくなる。
- 2) 最適な運行頻度  $f_h^*$  を運行事業者が決定する場合には、運行事業者の努力関数  $\psi(d_h, f_h)$  の関数形によって  $f_h^*$  が異なる。 $\psi(d_h, f_h) > 0$  の時は  $f_h^* = 0$  となり、バスが運行されなくなる。一方、 $\psi(d_h, f_h) < 0$  の時は最適な運行頻度でバスが運行される。
- 3) Case2 と Case4 の最適運行頻度  $f_h^*$  を比較すると Case4 で実現される運行頻度の方が大きい。
- 4) Case0 と Case4 で最適な赤字削減額  $d_h^*$  を比較すると Case4 の方が削減額が大きく、また系統間のばらつきも小さい。
- 5) 社会厚生が増加額は Case4, Case2, Case0 の順で大きい。これは、運行頻度を変化させない Case0 では消費者余剰が増加しないこと、Case2 は運行事業者が赤字削減努力を行わないために効率的な運行が図れないことなどの理由による。
- 6) Case2 と Case4 では、最適な運行頻度が大幅に増加するために、現状よりも事業者の赤字額が拡大し、行政の赤字補てん額も増加するという状況で社会厚生が最大化されている。消費者余剰の変化額が補助変化額以上に大きかったためである。

以上のように、提案したインセンティブ報酬モデルを荒尾市の現実のバス路線網に適用し、変数決定権の配分の違いによる最適解の特性について考察し、種々の興味ある発見が得られた。しかし、本モデルを現実の公共交通サービスの再生・活性化に使うためには下記のような課題も残している。

- 1) バス停間での乗客数を予測する需要関数は、一般化費用に対する需要の弾力性値だけを利用したものであるため、沿線人口や競合路線の有無など、沿線環境の条件などを反映する構造になっていない。また、こ

の弾力性を1単位増加させると、行政にとって重要な政策評価指標の1つである総補助額は Case2 で 40.0 百万円、Case4 で 31.1 百万円、社会厚生は Case2 で 290.9 百万円、Case4 で 300.3 百万円も増加するという結果になった。これらの額は決して小さな額ではない。各種決定権の配分と解の特性は把握できたものの、現実的な値が得られているかにはやや疑問が残るところである。これらの原因の多くは需要関数の感度に依存していると思われることから、関数形や弾力性値については改善の必要がある。

- 2) 一方、推定された努力コスト関数の関数特性は  $\partial\psi(d_h, f_h)/\partial f_k \geq 0$  となったため、Case1 と Case3 ではいずれも b のケースとなり、事業者が最適運行頻度  $f_h^*$  を決めることができないケースとなった。市民のモビリティを維持するために設定された路線網を事業者が自らの目的を最大にするサービス水準で運行し、かつ、行政は社会的厚生を最大にするように適切な補助金を与えるというのが最善のメカニズムと想定されるが、そのためには a のケースとなる必要があった。
- 3) 本モデルでは、現状よりも事業者の赤字額が拡大し、行政からの赤字補てん額が増加したとしても、運行頻度を増加させることによって社会的厚生を増加させるような最適解となった。しかし、事業者の事業経営や自治体の財政には一定の限度があり、それらの制約の下でいかに適切なメカニズムを導入しながら地域公共交通の適正な再生・活性化を図るべきかが検討されるべきである。
- 4) 運行頻度の決定権を行政、事業者のいずれが持っているとしても、需要関数や費用関数は同一のものを用いているので、消費者余剰の変化量には差が生じない。しかし、公営事業の民間移譲の最大の理由が費用構造の違いにあるように、決定権限の配分の違いによってこれらの構造も異なると考えるのが妥当である。そうすると、民間企業が運行頻度を決定した方が、行政が決定する場合より行政からの赤字補てん額が減少するという結果が生じると考えられる。

## 参考文献

- 1) Hensher, D. A. and Houghton, E.: Performance-based quality contracts for bus sector: delivering social and commercial value for money, *Transportation Research, Part B*, Vol.38, pp.123-146, 2004.
- 2) 喜多秀行, 松永拓也, 谷本圭志: バスサービスの運行委託契約に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, No.31, ID.274, 2005.
- 3) 喜多秀行, 蘆田哲也, 谷本圭志: リスク負担能力を考慮したバスの運行委託契約に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, No.33, ID.49, 2006.
- 4) 溝上章志, 藤見俊夫, 平野俊彦: 熊本都市圏におけるバス路線網再編計画案へのインセンティブ報酬モ

- デルの適用, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 68, No. 2, pp.105-116, 2012.
- 5) Laffont, J.-J. and Tirole, J.: *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*, The MIT Press, pp.53-124, 1993.
- 6) Hanly, H. and Dargay, J.: Bus Fare Elasticities - A Literature Review, 1999. <http://www2.cege.ucl.ac.uk/cts/tsu/papers/BusElasticities-LiteratureReview.pdf>
- 7) Suwardo, Napiah, M. and Kamaruddin, I.: Ridership Factors Change and Bus Service Demand Sensitivity Assessment of the Fixed-Route Bus Service for Short-term Action Plan, *International Journal of Civil & Environmental Engineering, IJCEE-IJENS*, Vol.10, No.2, 2010.
- 8) 国土交通省自動車交通局: バス運行対策費補助金交付要綱, 国土交通省, 2008.

(2013. 2. 25 受付)

## A STUDY ON INCENTIVE SUBSIDY SCHEME CONSIDERING ELASTIC DEMAND FOR LOCAL PUBLIC TRANSPORTATION

Yutaro MURANO, ZOU Wenqian and Shoshi MIZOKAMI

Recently, the number of passenger of public bus transport in Japan tends to decrease due to the motorization. This condition leads to a severe management situation, including in Arao City. The deficit of bus companies operation in provision of bus services in Arao City has been covered by Arao City Government on the basis of lines subsidy, and the city allocated a number of subsidy of about 53 million yen in 2011. To solve this problem, we pay attention to incentive scheme. This study aims to construct the mathematical model of the incentive subsidy scheme considering elastic demand and this paper includes application to bus network in Arao City to analyze the utility level of incentive subsidy model.