

熊本都市圏におけるバス路線網再編とインセンティブ報酬モデルの制度設計*

Bus Network Reorganization and Mechanism Design for Incentive Subsidy Scheme in Kumamoto Urban Area *

溝上章志**・藤見俊夫***・平野俊彦****

By Shoshi MIZOKAMI**・Toshio FUJIMI***・Toshihiko HIRANO****

1. はじめに

近年モータリゼーションの進展に伴う自家用自動車の普及、少子化の進行による人口の減少等により乗合バスの利用者数は全国的に減少傾向にある。このためバス事業は現在、大変厳しい経営状況にあり、一部の路線では行政からの補助金によって路線が維持されている。熊本市内での路線バスへの補助制度は昭和 59 年から開始されており、補助対象系統を一般系統にまで拡大した平成 16 年度から補助金額が急増し、平成 19 年度時点の交付額は約 2 億円となっている（図-1 参照）。現在の熊本市の補助金交付方法は赤字路線の赤字額を全額補填する形をとっているが、この方法ではバス事業者が赤字を減らそうというインセンティブが働きにくい。行政は、バス事業者に赤字を削減させる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おり、このインセンティブをうまく与えることで企業努力を促せ、補助金額を削減できるという社会的に望ましい状況を作り出せると考えられる。

本研究では、インセンティブ報酬を取り入れた補助金交付方法の数学的モデルを構築し、これを熊本都市圏の再編バス路線網（図-2 参照）に適用する。すでに費用便益分析の結果から再編後では 10.65 億円の赤字になると予測されている。ここでは全 117 路線のうち、赤字になると予測された 86 路線に適用してインセンティブ報酬の効果を測ることを目的とする。

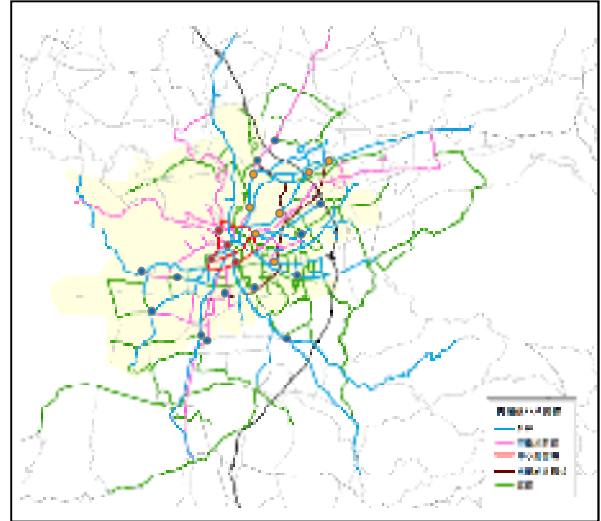


図-2 バス路線網再編案

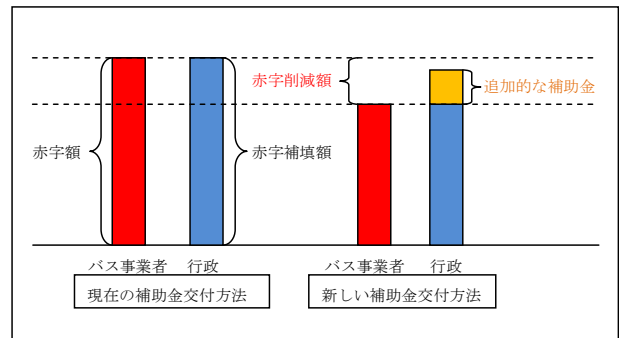


図-3 補助金交付方法概念図

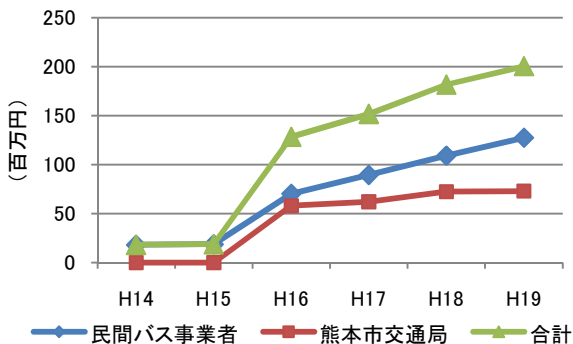


図-1 熊本市からの運行費補助金の推移

2. インセンティブ報酬モデル

現在のバス事業者への補助金の交付方法は国・県・市町村でバス運行の赤字分をバス路線毎に補填する欠損補助の形を取っている。しかし、この方法だと、どんなに赤字額が膨らんでもすべて行政が補填してくれることになり、バス事業者には補助対象路線の赤字額を減らそうとするインセンティブが働かないと考えられる。行政としてはバス事業者に赤字を削減させる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る。ここでは、バス事業者に赤字削減努力をさせるインセンティブを働かせて効率的なバス運行を促し、最適な補助金額を決定するバス路線契約モデルを提案する。このモデルでは、バ

*キーワード：インセンティブ、バス補助金、実証分析
**正員，工博，熊本大学（熊本県熊本市黒髪2-39-1，TEL:096-342-3541，E-mail: smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp）
***正員，博(農)，熊本大学大学院自然科学研究科
****学生員，熊本大学大学院自然科学研究科

ス事業者の赤字補填に加えて、バス事業者が赤字削減努力をすれば、それに対して追加的な補助金を報奨金として与える方法を考えている (図-3 参照)。

(1) 設定条件

1) 当該バス路線の赤字額 C

バス事業者は、赤字削減努力をするという条件の下、ある赤字バス路線を運行するとする。 β を赤字削減努力なしで運行したときの赤字額、 d を赤字削減額として実際の赤字額 C を下式で表す。実際の赤字額 C は行政からの赤字補填額でもある。

$$C = \beta - d$$

2) 当該バス路線運行によるバス事業者の超過利潤 U

バス事業者が赤字を削減すればするほどバス路線運行による赤字額は減るが、赤字削減にかかる費用も発生する。その費用を $\psi(d)$ とする。また、行政は実際の赤字額である C は全額補填するが、それと同時に図-3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 を与える。この追加の報奨金 t 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 は報奨金と赤字削減費用の差で表される。

$$U = t - \psi(d)$$

このとき、バス事業者の個人合理性条件、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とする。

$$U = t - \psi(d) \geq 0$$

3) 住民の純便益 UB

当該バス路線運行による住民の純便益 UB は、そのバス路線の運行による利用者便益 S から行政が支払う報奨金 t と赤字補填額 C を引いたもので表されるが、この行政の費用となる t と C に行政介入による不効率係数 λ を与える。この λ は民間なら 1 円で済むところを行政が介入することで $(1 + \lambda)$ 円かかる非効用を住民に与えることを表している。これを式で表すと下記ようになる。

$$UB = S - (1 + \lambda)(t + C) = S - (1 + \lambda)(t + \beta - d)$$

4) 当該バス路線運行による社会厚生 SB

バス運行による社会厚生 SB は、前述した 2)バス事業者の超過利潤 U と 3)住民の純便益 UB を足し合わせたもので表される。

$$SB = UB + U = S - (1 + \lambda)(t + \beta - d) + t - \psi(d) \\ = S - (1 + \lambda)[\beta - d + \psi(d)] - \lambda U$$

社会厚生は、バス運行に付随する利用者便益 S からバス運行に必要なトータルコスト $C + \psi(d)$ と行政介入による不効率係数をかけた会社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。

(2) 完全情報下での社会厚生最大化

完全情報下、つまり行政とバス事業者の間に情報の非対称性がない場合では、行政はバス事業者の β を知っていて、かつ d も観測できる。このとき、行政が先手のシユタッケルベルグゲームと仮定できることから、行政は下記の問題を解くことによって社会厚生最大となるバス事業者の最適な赤字削減額 d^* とバス事業者の超過利潤 U^* を決定することができる。

$$\max_{\{U, d\}} \{S - (1 + \lambda)[\beta - d + \psi(d)] - \lambda U\}$$

$$s.t. U \geq 0$$

この最適化問題の d に関する 1 階の最適性の条件より、

$$\psi'(d) = 1$$

が得られ、これを満たす赤字削減額を

$$d = d^*$$

とする。また、社会厚生関数は U に関して減少関数なので、下記が成立する。

$$U = 0$$

これをバス事業者の効用の式に代入すると、最適性の条件を満たす報奨金額

$$t = \psi(d^*)$$

を得る。

この解を実現するためには、行政はバス事業者に固定価格契約(fixed-price contract)を提示すればよい。固定価格契約とは、契約時に報奨金額を確定する契約である。この契約ではバス事業者がリスクを負うことになるが、逆にバス事業者が実際の赤字額を低く抑えられると自らの利益を増加させることができる。

以下に行政が提示すべき固定価格契約を示す。

$$t(C) = a - (C - C^*)$$

ここで $a \equiv \psi(d^*)$ 、 $C^* \equiv \beta - d^*$ である。

このとき、バス事業者は自身の超過利潤を最大化させる問題を解く。すると、この解は社会厚生最大化問題の解と一致することがわかる。この証明は省略する。

(3) 不完全情報下での社会厚生最大化

前節では、行政はバス会社が持っている情報をすべて知っているという完全情報の仮定の下でのインセンティブ報酬モデルを考えたが、本来、行政とバス事業者の間には情報の非対称性が存在する。本節では、行政はバス事業者の当該バス路線の赤字削減努力をしない場合の赤字額 β は $[\underline{\beta}, \bar{\beta}]$ の間に存在するとしかわからない場合のモデルを考える。このような場合、バス事業者は行政に虚偽の報告をする可能性が出てくる。不完全情報下ではバス事業者に正しい報告をさせる誘因両立性条件を考える必要がある。

バス事業者が報告する β を $\hat{\beta}$ とし、このときの t と C を $\{t(\hat{\beta}), C(\hat{\beta})\}_{\hat{\beta} \in [\underline{\beta}, \bar{\beta}]}$ と表す。このとき、バス事業者が本当の赤字額が β であるにもかかわらず、 $\hat{\beta}$ と偽ることで得られるバス事業者の効用を $\varphi(\beta, \hat{\beta})$ とすると、これは下

記のように表すことができる。

$$\varphi(\beta, \hat{\beta}) = t(\hat{\beta}) - \psi(e(\hat{\beta})) = t(\hat{\beta}) - \psi(\beta - c(\hat{\beta}))$$

このとき、正しい報告をした時の方が高い効用が得られるための誘因両立性条件(IC1)は

$$\dot{c}(\beta) \geq 0$$

である。また、正しい報告をする($\hat{\beta} = \beta$)ときにバス事業者の効用 $\varphi(\beta, \hat{\beta})$ が最大になるならバス事業者は正しい報告をする。このときは1階の最適性の条件より、

$$\varphi_2(\beta, \beta) = 0 \Leftrightarrow \dot{t}(\beta) = -\psi'(\beta - c(\beta))\dot{c}(\beta)$$

である。 $U(\beta) \equiv \varphi(\beta, \beta)$ と置くと、誘因両立条件(IC2)は下記のように表すことができる。

$$\dot{U}(\beta) = -\psi'(\beta - c(\beta))$$

このとき、行政は上記の誘因両立性条件(IC)と個人合理性条件(IR)の下で下記の社会厚生を最大にする $U(\cdot)$ と $d(\cdot)$ を決定する。

$$\begin{aligned} \max_{\{U(\cdot), d(\cdot)\}} \int_{\underline{\beta}}^{\bar{\beta}} [S - (1 + \lambda)[\beta - d(\beta) + \psi(d(\beta))] \\ - \lambda U(\beta)] dF(\beta) \\ \text{s.t. } \dot{U}(\beta) = -\psi'(d(\beta)) \text{ (IC2), } \quad d(\beta) \leq 1 \text{ (IC1),} \\ U(\beta) \geq 0 \text{ (IR) for all } \beta \end{aligned}$$

ここで $F(\beta)$ は当該バス路線の元々の赤字額に関する行政の主観確率分布関数を表す。

最適制御理論を用いてこの最大化問題を解くと、解は次式で表される。証明は省略する。

$$\psi'(d(\beta)) = 1 - \frac{\lambda}{1 + \lambda} \frac{F(\beta)}{f(\beta)} \psi''(d(\beta))$$

上式を満足する最適な赤字削減額を $d^*(\beta)$ とすると、最適な追加補助額は次式で表される。

$$t^*(\beta) = \psi(d^*(\beta)) + U^*(\beta)$$

$$U^*(\beta) = \int_{\underline{\beta}}^{\beta} \psi'(d^*(\hat{\beta})) d\hat{\beta}$$

この最適解を実現するためにバス事業者に提示する契約は下記のようになる。

$$t(\hat{\beta}, c) = t^*(\hat{\beta}) - \psi'(d^*(\hat{\beta})) (c - c^*(\hat{\beta}))$$

このとき、バス事業者は完全情報下と同様に下記の最大化問題を解くことで、自身の利潤を最大にするように赤字削減額 d^* を決定する。

$$\max_{\{\beta, d\}} \{t^*(\hat{\beta}) - \psi'(d^*(\hat{\beta})) (\beta - d - \beta + d^*(\hat{\beta})) - \psi(d)\}$$

この問題の解は完全情報のときと同様に、上記の社会厚生最大化問題の解と一致する。証明は省略する。

つまり、完全情報下でも不完全情報下でも行政は最適な報奨金額をバス事業者に交付することで社会厚生を最大化できるということがわかる。

3. インセンティブ補助スキームの適用分析

補助金額を決定する実証分析を行うに当たり、前章で示したモデルを適用するために必要なデータを集める必要がある。必要なデータは赤字削減努力なしで運行した時の赤字額 β と赤字削減のためにバス事業者にかかる費用(赤字削減コスト) $\psi(d)$ 、行政介入による不効率 λ である。このうち β については再編バス路線網の費用便益分析から直接得られる。費用便益分析については他の文献に譲る。 $\psi(d)$ はバス事業者へのアンケートから関数を推定する。 λ は観測が不可能であるため今回は5.0%に固定する。

(1) 赤字削減コスト関数の推定

赤字削減コスト関数の推定には環境分野でよく用いられる仮想評価法(CVM)を用いる。環境分野ではアンケートの提示額と受諾確率との関係を示す受諾率曲線を導出し、支払意志額を推定するが、今回の場合は赤字削減額 d と赤字削減にかかる費用 $\psi(d)$ との関係を示す関数を推定するために用いる。質問方式は二段階二肢選択 CVMで、「X 円だけ報奨金をもらえたら提示された額の赤字削減をする努力をするか」という質問に対して、Yes/Noの二肢で答えてもらい、これを2回繰り返して受諾金額の幅を求める。そして、この幅が平均値関数に入る同時確率を最大にするパラメータを最尤推定法によって推定することで平均値関数の関数形を特定する。CVM 対象路線は各社の赤字路線のうち10路線を抽出した。

その平均値関数は下記で表わされると仮定する。

$$\mu = E[T(d, z)] = d_{max} \cdot \left(\frac{d}{d_{max}}\right)^{1+|a|z}$$

なぜなら $E[T(0)] = 0$ であり、かつ d に対して逓増関数と考えられるからである。ここで a は未知パラメータであり、 d_{max} は最大削減額(=赤字総額 β)、 z は路線長である。受諾金額の幅が平均値関数に入る確率は、 $T(d, z)$ が $N(\mu, \sigma^2) = N(\bar{t}(d, z), (b\mu)^2)$ に従うと仮定する。 b もまた未知パラメータである。

今回は1社から調査の回答を得た。このデータからパラメータを推定した結果を表-1に示す。各パラメータの符号条件は論理的であり、かつ t 値は高く統計的に有意なモデルが推定されている。これにより求めた報奨金額 $t(d, z)$ の関数を赤字削減コスト関数 $\psi(d, z)$ とし、再編後の各赤字路線の赤字削減額と赤字削減にかかる費用との関係を示す関数として適用する。

(2) 完全情報下での補助スキーム

完全情報下での最適な赤字削減額 d^* は、インセンティブ報酬モデルより $\psi'(d) = 1$ から求まる解となる。そのときの最適な追加補助額は $t = \psi(d^*)$ であり、完全情報の場合では、最適な赤字削減額が決まればインセンティブ報

酬を取り入れた際の補助金額を求めることができる。各路線に交付する補助額の合計は、赤字削減努力なしのときの赤字額 β から赤字削減額 d^* を引いた実際の赤字額を補填するための補助金に追加の補助金である $\psi(d^*)$ を足し合わせたものである。現行の補助金交付方法の場合の補助金額と比較した結果を表-2に示す。現行の補助金交付制度では、赤字額をそのまま補填することになっている。完全情報下での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がわかる。

(3) 不完全情報下での補助スキーム

不完全情報下では、行政は元々の赤字額 β について $[\underline{\beta}, \bar{\beta}]$ の間に存在することしかわからない。このため、 $[\underline{\beta}, \bar{\beta}]$ の間の各 β に対して、インセンティブ報酬モデルから導かれた下記の式を常に満たす $d^*(\beta)$ の関数形を特定する必要がある。

$$\psi'(d(\beta)) = 1 - \frac{\lambda}{1 + \lambda} \frac{F(\beta)}{f(\beta)} \psi''(d(\beta))$$

赤字削減コスト関数 $\psi(d)$ は前章より関数形が特定できているので、これを上式に代入すると、 d と β の関係を示す式が得られる。この式をニュートン・ラプソン法で解き、得られた d と β の値から曲線回帰を行うことで、 $d^*(\beta)$ の関数形を決定する。

不完全情報下の最適な報奨金額はインセンティブ報酬モデルより、下式で決定される。

$$t^*(\beta) = \psi(d^*(\beta)) + U^*(\beta)$$

$$U^*(\beta) = \int_{\underline{\beta}}^{\bar{\beta}} \psi'(d^*(\beta)) d\beta$$

この式に上記で得られた $d^*(\beta)$ を代入することで $[\underline{\beta}, \bar{\beta}]$ の間の各 β に対応する報奨金額が決まる。こうして得られた各 β での報奨金額の期待値を各路線の報奨金額とする。

上記の定式化を見てもわかるように、不完全情報下でのインセンティブ補助スキームでは、新たに行政の β に関する主観確率分布関数、行政が想定する β の幅 $[\underline{\beta}, \bar{\beta}]$ 、行政介入による不効率 λ を設定する必要がある。ここでは、 β に関する主観確率の分布関数に一樣分布と正規分布を仮定した。 β の

表-1 関数モデル推定結果

| 説明変数 | パラメータ | t値 |
|---------|--------|------|
| a(路線特性) | 0.0104 | 4.86 |
| b(標準偏差) | 0.3042 | 9.63 |
| サンプル数 | 50 | |
| 対数尤度 | -60.12 | |

幅 $[\underline{\beta}, \bar{\beta}]$ は各路線の赤字額 β から上下に同じ割合ずつ離れたところを $\underline{\beta}$ と $\bar{\beta}$ とし、これを β の幅とした。割合は片側3.0%を仮定し、両側で6.0%の幅となっている。また、 β の幅が小さいときには完全情報のときと同じ解が得られることを確認するために、両側で0.1%の幅でも分析を行う。行政介入による不効率 λ は前述したように5.0%で分析を行う。

計算の結果を表-2に示す。不完全情報下の値はすべて期待値をとったものである。どちらの分布でも β の幅が大きくなると赤字削減額 d^* は小さくなり、それに伴い赤字削減コスト $\psi(d^*)$ も小さくなるが、バス事業者が得られる超過利潤 U^* は大きくなる。 β の幅が大きくなると赤字削減コストの減少率よりも超過利潤の増加率の方が大きくなるため、これらの合計である補助金額は大きくなり、実補助金額も大きくなっている。一樣分布と正規分布を比較してもあまり違いは見られないが、 β の幅が大きくなると正規分布のときの補助額のほうが小さくなるという結果は得られている。このことから、不確実性が大きいと補助額が大きくなるということがわかる。

4. おわりに

本研究では、バス補助金に対するインセンティブ報酬を取り入れた補助金交付方法の定式化を行い、熊本市圏の再編案にこのモデルの適用を試みた。この結果、補助金交付方法にインセンティブ報酬を取り入れることによって、バス事業者に赤字削減努力を促し、補助金を最大で1億円程度削減できることがわかった。しかし、不完全情報下では不確実性の大きさによってはより多くの補助金を支払わなければならないこともあるため、実際に採用するかどうかは慎重に見極めなければならない。

参考文献

- 1) Jean-Jacques Laffont, Jean Tirole: A Theory of Incentives in Procurement and Regulation, The MIT Press, pp.53-124, 1993.
- 2) 栗山浩一：公共事業と環境の価値—CVM ガイドブック—, 築地書館, pp.18-26,88,89, 1997.

表-2 補助制度、情報量の違いによる補助金額の比較(単位: 億円)

| 補助制度 | 現行 | インセンティブ補助スキーム | | | | |
|---------------------|-------|---------------|--------|-------|-------|-------|
| | | 完全情報下 | 不完全情報下 | | | |
| 分布F | — | — | 一樣分布 | 正規分布 | | |
| β の幅 | — | — | 0.1% | 6.0% | 0.1% | 6.0% |
| λ | — | — | 5.0% | | | |
| 赤字額合計 β | 29.09 | | | | | |
| 赤字削減額 d^* | — | 11.40 | 11.40 | 11.36 | 11.37 | 11.33 |
| 実赤字額C | 29.09 | 17.69 | 17.69 | 17.73 | 17.72 | 17.76 |
| 赤字削減コスト $\psi(d^*)$ | — | 10.02 | 10.02 | 9.98 | 9.99 | 9.95 |
| 利潤 U^* | — | 0.00 | 0.01 | 0.87 | 0.01 | 0.87 |
| 報奨金額t | — | 10.02 | 10.03 | 10.85 | 10.01 | 10.82 |
| 合計補助額 $A=(C+t)$ | 29.09 | 27.71 | 27.72 | 28.58 | 27.72 | 28.58 |
| 黒字額合計B | 18.44 | | | | | |
| 実補助金額 $A-B$ | 10.65 | 9.27 | 9.28 | 10.14 | 9.28 | 10.14 |