

過疎地域における公共交通サービスの維持方策に関する研究*

Maintaining Public Transportation Services in Sparsely Populated Areas*

福山 敬**・小林潔司***・喜多秀行****

By Kei FUKUYAMA**, Kiyoshi KOBAYASHI*** and Hideyuki KITA****

1. はじめに

過疎地域では多くの場合交通需要が極めて小さく、公共交通サービスを維持していくことは容易ではない。しかし、公共交通サービスは過疎地域においてすべての住民の移動可能性を保証するという意味で極めて重要な役割を担っており、可能な限りその存続が望まれている。特に交通弱者と呼ばれる私的交通手段を持ち得ない人々にとって、公共交通サービスは唯一彼らの移動可能性を保証する手段となっている。いかなる個人にとっても移動の自由が保証されるべきであるとするれば、公共交通サービスを利用可能な形で維持していくことが必要であろう。

多くの過疎地域では路線バス事業という形態で公共交通サービスが提供されている。しかし、過疎地域において単独で採算がとれるバス路線は極めて少なく、公的資金による外部補助やバス事業者における内部補助を通じて不採算路線を維持している例が少なくない。しかし、この種の使途が限定された特定補助金は多くの非効率性を発生させている場合が多く、内部補助も効率性や負担の公平性という点で多くの問題を抱えている。さらに、路線バスサービスが必ずしも利用者のニーズをもっとも反映した公共交通サービスの提供形態であるわけでもない。運行回数の少ない路線バスよりも代替的な方法により公共交通サービスを提供する方が地域住民の厚生水準を向上させる可能性がある。過疎地域における公共交通サービスは、利用者や地域の特殊性を踏まえ

てきめ細かな対応が必要である。

本研究では、過疎地域における公共交通サービスの提供手段として、「路線バス」、「タクシー」を考える。さらに、交通サービス確保のための交通管理者による地域交通政策としてコミュニティの内部補助(税負担)、外部補助の形態として「事業者(企業)補助」、「利用者補助」をとりあげる。これらの手段と補助形態を組み合わせたような公共交通サービスの供給方法を提案し、様々な組み合わせケースによる特性を明らかにする。これにより、地域の実情に見合った公共交通サービスの供給方法を選択するための方法論を提案することを最終目的とする。

2. 公共交通サービス市場のモデル化

(1) 交通行動の定式化

地域における交通主体をその属性や交通手段の利用可能性により J 個のカテゴリーに分類する。3種類の交通手段 i ($i = 1, 2, 3$) として、自家用車 ($i = 1$)、バス ($i = 2$) 及びタクシー ($i = 3$) を考える。さらに、交通主体がトリップをとりやめるという選択肢 $i = 0$ を考える。すべての家計にとってタクシーは常に利用可能であると仮定する。しかし、交通主体にとって常に3つの交通手段が利用可能なわけではない。そこで、グループ j ($j = 1, \dots, J$) の代表的個人にとって利用可能な交通手段の集合を Ω^j ($j = 1, \dots, J$) で表現する。グループ j ($j = 1, \dots, J$) に属する代表的個人の交通手段の選択行動を定式化しよう。ここで、交通手段 i の利用料金を p_i 、グループ j の個人属性や当該個人にとっての交通手段 i に特有な属性をベクトル x_i^j で表わす。ここで、交通手段 i を利用することによって生じる効用をランダム効用として規定する。グループ j の代表的個人の当該期間内のトリップ数を n^j とすると、彼らがある一定期間内に交

*キーワード：地区交通計画，公共交通計画，交通計画評価

**正員，Ph.D.，鳥取大学工学部社会開発システム工学科
(鳥取市湖山町南4丁目-101, TEL 0857-31-5311,
FAX 0857-31-0882)

***正員，工博，京都大学大学院工学研究科土木工学専攻
(京都市左京区吉田本町, TEL/FAX 075-753-5071)

****正員，工博，鳥取大学工学部社会開発システム工学科
(鳥取市湖山町南4丁目-101, TEL 0857-31-5309,
FAX 0857-31-0882)

通手段選択を繰り返して得られる効用水準は以下の
ように定式化できる。

$$U(Y^j, \tau, \sum_{t=1}^{n^j} \max_{i_t \in \Omega^j} (u(p_i, \mathbf{x}_i^j : s_i^j) + \varepsilon_{i_t}^j)) \\ = \alpha^j \{ Y^j - \tau \} + \sum_{t=1}^{n^j} \max_{i_t \in \Omega^j} \{ \alpha^j (-p_i + s_i^j) \\ + v(\mathbf{x}_i^j) + \varepsilon_{i_t}^j \} \quad (1)$$

ここでは、準線形型効用関数を仮定しており、 Y^j : full income、 τ : 一括税 (lump-sum tax)、 s_i^j : グループ j への利用者補助金、 $\varepsilon_{i_t}^j$: t 回目のトリップのときの確率効用項、 i_t : t 回目のトリップで選ぶ交通手段、 Ω^j : グループ j の交通手段選択肢集合、 $v(\mathbf{x}_i^j)$: グループ j に特有な選択肢 i の属性による確定効用項、 α^j ($\alpha^j \geq 0$): グループ j の個人の所得の限界効用を表すパラメータである。いま、 ε_{i_t} が時間的に独立かつモード 0、分散 $\frac{\pi^2}{6\lambda^2}$ の互いに独立かつ同一のガンベル分布に従うと仮定すると、交通手段選択肢集合 Ω^j に直面するグループ j の代表的個人の交通手段 $i \in \Omega^j$ の選択確率 $q_i^j(\mathbf{p}; \Omega^j, \mathbf{s}^j)$ はロジットモデルとして次式で与えられる。

$$q_i^j(\mathbf{p}; \Omega^j, \mathbf{s}^j) = \frac{\exp(\lambda(\alpha^j(s_i^j - p_i) + v(\mathbf{x}_i^j)))}{\sum_{k \in \Omega^j} \exp(\lambda(\alpha^j(s_k^j - p_k) + v(\mathbf{x}_k^j)))} \quad (2)$$

ここで、 $\mathbf{p} = (p_0, \dots, (p_3 - c_3))$ は各交通サービスの料金ベクトル、 $\mathbf{s}^j = (s_2^j, s_3^j)$ は利用者補助金ベクトルである。いま、単位期間中におけるグループ j の代表的個人のトリップ発生回数を n^j とすれば、グループ j の交通手段 i に対する需要関数 $d_i^j(\mathbf{p}; \mathbf{s}^j)$ は次式で与えられる。

$$d_i^j(\mathbf{p}; \mathbf{s}^j) = n^j q_i^j(\mathbf{p}, \Omega^j; \mathbf{s}^j) \quad (i \in \Omega^j) \quad (3)$$

この時、グループ j の代表的個人が所与の負担金、補助金 (τ, \mathbf{s}) の下で獲得する消費者余剰 CS^j は次式で与えられる。

$$CS^j = \sum_{i \in \Omega^j} \int_{p_i}^{\infty} d_i^j(\mathbf{p}; \mathbf{s}^j) dp_i - \tau \\ = -\frac{n^j}{\lambda \alpha^j} \sum_{i \in \Omega^j} \ln \frac{\sum_{k \in \Omega^j / \{i\}} \exp(\lambda(\alpha^j(s_k^j - p_k) + v(\mathbf{x}_k^j)))}{\sum_{k \in \Omega^j} \exp(\lambda(\alpha^j(s_k^j - p_k) + v(\mathbf{x}_k^j)))} \\ - \tau \\ = -\frac{n^j}{\lambda \alpha^j} \sum_{i \in \Omega^j} \ln(1 - q_i^j(\mathbf{p}, \Omega^j; \mathbf{s}^j)) - \tau \quad (4)$$

ここに、 $\Omega^j / \{i\}$ は選択肢集合 Ω^j の中から選択肢 i を除いた選択肢集合である。以下、表記の簡便化のため $d_i^j = d_i^j(\mathbf{p}; \mathbf{s}^j)$ 、 $q_i^j = q_i^j(\mathbf{p}, \Omega^j; \mathbf{s}^j)$ と表す。

(2) 企業行動の定式化

ある特定地域 (たとえば、ある谷筋) におけるバス路線の維持問題を考える。当該地域で経営を行っているバス企業は 1 社のみであり、何らかの形で外部補助がない限りバス路線の経営は赤字であると考ええる。バスの運行形態は地元との協議等を通じて必要最低限度に確定していると考ええる。バス企業内での他の路線との内部補助は考えない。交通管理者による利用者補助金・企業補助金制度が適用された場合のバス企業の利潤 $\pi_2(\mathbf{p}; \xi_2, \mathbf{s})$ を次式で定義する。

$$\pi_2(\mathbf{p}; \xi_2, \mathbf{s}) = p_2 \sum_j N^j d_2^j - FC_2 + \xi_2 \quad (5)$$

ここで、 $\mathbf{s} = (s^1, \dots, s^J)$ であり、 N^j はグループ j の人数、 FC_2 は固定費用、 ξ_2 は企業への補助金である。バスの運行本数は固定されているため、バスサービス運行による限界費用はゼロである。赤字路線に対しては、当該路線の利潤がゼロとなるよう補助金が与えられると考える。

$$\pi_2(\mathbf{p}; \xi_2, \mathbf{s}) = 0 \quad (6)$$

バス企業の運行本数と利潤が規制されている場合、企業が制御可能な変数は存在しない。補助金、利用者補助金が確定すればバス料金は一意的に求まる。バス企業の経営効率という視点に立てば、利潤規制方式の補助金は必ずしも最善な方策ではない。経営効率の改善をめざすためには、例えば補助金入札等の種々の誘因規制に関する検討も必要であろう。しかしながら、この種の誘因規制に関する議論は本稿の域を越えており、ここでは将来の検討課題としておくこととする。

一方、当該地域にタクシーサービスを提供する企業の (利用者補助、外部補助の下での) 利潤を次式で定義する。

$$\pi_3(\mathbf{p}; \xi_3, \mathbf{s}) = (p_3 - c_3) \sum_j N^j d_3^j - FC_3 + \xi_3 = 0 \quad (7)$$

タクシー企業が外部補助を受けている場合、利潤規制されていると考えるのが妥当であろう。

$$\pi_3(\mathbf{p}; \xi_3, \mathbf{s}) = 0 \quad (8)$$

したがって、交通事業者 i の生産者余剰 PS_i は次のように表され、上記のように企業補助を受けている場合、その値はゼロとなることになる。

$$PS_i = (p_i - c_i) \sum_j N^j d_i^j(\mathbf{p}; \mathbf{s}^j) - FC_i + \xi_i = 0 \quad (9)$$

ただし $c_2 = 0$ である。

(3) 交通管理者の行動

本研究では、利用者補助、企業補助という2種類の補助金制度の用いてバス及びタクシー企業という公共交通サービスを維持する場合を基本モデルと考える。これらの補助金の原資をコミュニティ内部における受益者負担(税)とコミュニティ外部から給付される外部補助金に求めよう。外部補助金を η により表す。この時、次の財政上のバランス式が成立する。

$$\tau \sum_{j=1}^J N^j + \eta = \sum_{i=2}^3 \sum_{j=1}^J N^j n^j q_i^j s_i^j + \sum_{i=2}^3 \xi_i \quad (10)$$

さらに、消費者余剰と生産者余剰の総和により社会的総余剰を定義しよう。グループ J' 、サービス I' 、政策 $\{\tau, s, \eta\}$ の下での社会的総余剰 $SS(I', J', \tau, s, \eta)$ は次式で定義される。

$$\begin{aligned} SS(I', J', \tau, s, \eta) &= \sum_{j \in J'} N^j CS^j + \sum_{i \in I'} PS_i - \eta \\ &= - \sum_{j \in J'} \left\{ \frac{N^j n^j}{\lambda \alpha^j} \sum_i \ln(1 - q_i^j(p, \Omega^j : s^j)) \right. \\ &\quad \left. - N^j \tau \right\} - \eta \end{aligned} \quad (11)$$

すなわち、社会的総余剰は公共交通サービスに伴う純便益から個人の税負担を差し引いた残りの額の社会的総和として定義できる。いま、公共交通サービスの維持による社会的純便益が社会的負担より大きければ社会的総余剰は正となる。

3. 公的公共交通サービスの維持方策のモデル化

(1) 基本モデル

交通管理者は所与の外部補助金 η の下で式(11)で与えられる社会的総余剰を最大にするように税、補助金額を決定すると考える。言い換えれば、交通管理者の解くべき問題は、補助金下の企業に対するゼロ利潤制約及び財政バランス制約の下で $SS(I, J, \tau, s, \eta)$ を最大化することである。いま、バス企業($i=2$)及びタクシー企業($i=3$)とも当該地域に対するサービスに関して赤字経営となっており、交通管理者による企業補助を受けているという場合を基本ケースと考える。グループ J に属する個人のサービス i に対する利用者補助金 s_i^j の下での実効サービス価格を $r_i^j (= p_i - s_i^j)$ で表す。ここで各交通サービスの公定価格 p_i は交通管理者による補助金が存在しない場合の利潤とならないための最低の価格付けと考えれば、これは次式を満たす価格 \bar{p}_i

($i=1, 2, 3$)で与えられることになる。

$$\begin{aligned} \bar{p}_i \sum_{j=1}^J N^j d_i^j(\bar{p} : S^j = \mathbf{o}) - FC_i &= 0 \\ &\text{(for } i=2, 3) \end{aligned} \quad (12)$$

このとき交通管理者の解くべき社会的総余剰最大化問題は以下で与えられる。

$$\begin{aligned} SS_1^* &= \text{Max}_{r_2, r_3, \xi_2, \xi_3, \tau} SS(I, J, \tau, r_i, \eta) \quad (13) \\ \text{subject to} \\ \tau \sum_{j=1}^J N^j + \eta &= \sum_{i=2}^3 \sum_{j=1}^J N^j n^j q_i^j (\bar{p}_i - r_i^j) + \sum_{i=2}^3 \xi_i \\ p_i \sum_{j=1}^J N^j d_i^j(p : s^j) - FC_i + \xi_i &= 0 \\ &\text{(for } i=2, 3) \end{aligned}$$

ここで $r_i = (r_i^1, \dots, r_i^J)$ である。この社会的厚生最大化問題をラグランジュ未定乗数法を使って解くと1階条件として以下が成り立つ。

$$\begin{aligned} \frac{\partial SS(I, J, \tau, r_i, \eta)}{\partial r_i^j} - \lambda_0 N^j n^j \left(\sum_{k=2}^3 \frac{\partial q_k^j}{\partial r_i^j} - q_i^j \right) \\ + \sum_{k=2}^3 \lambda_k (\bar{p}_k - c_k) N^j n^j \frac{\partial q_k^j}{\partial r_i^j} &= 0 \\ (i=2, 3; j=1 \dots J) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\lambda_0 - \lambda_i = 0 \quad (i=2, 3) \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^J N^j (1 - \lambda_0) = 0 \quad (16)$$

ここで λ_0, λ_i はそれぞれ財政バランス制約及びサービス i の利潤最大化あるいはゼロ収支制約に対するラグランジュ乗数である。

(2) 利用者補助がないケース

利用者補助がなく、一括税及び地域外部からの補助金をソースとした企業補助金のみにより公共交通サービスの維持を考えているケースを想定しよう。このとき、交通管理者は企業補助金、税金のほかに各サービスの提供価格を決定することができる。この場合、社会的厚生最大化問題は次のように表される。

$$\begin{aligned} SS_2^* &= \text{Max}_{p_2, p_3, \xi_2, \xi_3, \tau} SS(I, J, \tau, S = \mathbf{o}, \eta) \\ \text{subject to} \quad (17) \\ \tau \sum_{j=1}^J N^j + \eta &= \sum_{i=2}^3 \xi_i \\ (p_i - c_i) \sum_{j=1}^J N^j d_i^j(p : \mathbf{o}) - FC_i + \xi_i &= 0 \\ &\text{(for } i=2, 3) \end{aligned}$$

1階の最適化条件は以下のように表される。

$$\frac{\partial SS(I, J, \tau, s = \mathbf{o}, \eta)}{\partial p_i} - \lambda_0 \sum_{k=2}^3 \sum_{l=1}^J N^l n^l \frac{\partial q_k^l}{\partial p_i}$$

$$+ \sum_{k=2}^3 \lambda_k p_k \sum_{l=1}^J N^l n^l \frac{\partial q_k^l}{\partial p_i} + \lambda_i \sum_{l=1}^J N^l n^l q_i^l \quad (i=2,3) \quad (18)$$

$$\lambda_0 - \lambda_i = 0 \quad (i=2,3) \quad (19)$$

$$\sum_{j=1}^J N^j (1 - \lambda_0) = 0 \quad (20)$$

(3) バスサービスを維持しないケース

一方、もし当該過疎地域が赤字バス路線を存続しない場合、地域公共交通における問題は以下のように税金と地域の唯一の公共交通サービスであるタクシーサービスへの企業及び利用者補助金を政策変数とする問題となる。またこのときタクシー企業は利潤制約を受けると考える。

$$SS_3^* = \text{Max}_{r_3, \xi_3, \tau} SS(\{1, 3\}, J, \tau, s, \eta) \quad (21)$$

subject to

$$\tau \sum_{j=1}^J N^j + \eta = \sum_{j=1}^J N^j n^j q_3^j (\bar{p}_3 - r_3^j) + \xi_3$$

$$(p_3 - c_3) \sum_{j=1}^J N^j d_3^j(p : s^j) - FC_3 + \xi_3 = 0$$

このとき最適化の1階条件は以下で与えられる。

$$\frac{\partial SS(\{1, 3\}, J, \tau, s, \eta)}{\partial r_3^j} - \lambda_0 N^j n^j \left(\frac{\partial q_3^j}{\partial r_3^j} - q_3^j \right) + \lambda_3 \bar{p} N^j n^j \frac{\partial q_3^j}{\partial r_3^j} = 0 \quad (j=1 \dots J) \quad (22)$$

$$\lambda_0 - \lambda_3 = 0 \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^J N^j (1 - \lambda_0) = 0 \quad (24)$$

(4) バス及びタクシー企業が合併であるケース

常に赤字経営となっているような赤字バス路線をもつ過疎地域は、またタクシーサービスもそのバス企業によって提供されている場合が多い。このような交通サービス提供構造の下での社会的総余剰最大化問題は以下のようになる。

$$SS_4^* = \text{Max}_{r_2, r_3, \xi, \tau} SS(I, J, \tau, s, \eta) \quad (25)$$

subject to

$$\tau \sum_{j=1}^J N^j + \eta = \sum_{i=2}^3 \sum_{j=1}^J N^j n^j q_i^j (\bar{p}_i - r_i^j) + \xi$$

$$\sum_{i=2}^3 \left\{ (p_i - c_i) \sum_j N^j d_i^j(p : s^j) - FC_i \right\} + \xi = 0$$

このとき1階最適化条件として以下が成り立つ。

$$\frac{\partial SS(I, J, \tau, s, \eta)}{\partial r_i^j} - \lambda_0 N^j n^j \left(\sum_{k=2}^3 \frac{\partial q_k^j}{\partial r_i^j} - q_i^j \right)$$

$$+ \mu \sum_{k=2}^3 \bar{p}_k N^j n^j \frac{\partial q_k^j}{\partial r_i^j} = 0 \quad (i=2,3; j=1 \dots J) \quad (26)$$

$$\lambda_0 - \mu = 0 \quad (i=2,3) \quad (27)$$

$$\sum_{j=1}^J N^j (1 - \lambda_0) = 0 \quad (28)$$

ただし μ は合併企業のゼロ収支制約に対するラグランジュ乗数である。

最適条件式の組(14)(15)(16)と(26)(27)(28)を見比べればわかるように、この問題の解は基本モデルのそれと完全に一致する。つまり、複数の公共交通サービスはそのすべてが利潤規制を受けているのであれば合併企業であれ個別企業であれ地域の厚生に変化をもたらさないといえる。

以上、各種の通政策に対応するケースを社会的厚生最大化原理に基づいて定式化した。当該過疎地域における最適な公共交通政策 k^* は、以下のように求まることになる。

$$k^* = \arg \{ \text{Max}_k SS_k^* \} \quad (29)$$

地域の最適公共交通政策 k^* は住民人口(N_j)、潜在的トリップ数(n_j)、交通需要の所得弾力性、自家用車保有率等、地域特性により決定されることになるが、紙面の都合上、最適政策と地域特性に関する分析及び考察結果の詳細は発表時に譲ることとする。

4. おわりに

本研究では過疎地域において重要な公共交通サービスである路線バスサービスの維持問題を取り上げ、自家用車、タクシーサービスという代替サービスを考慮した企業補助、利用者補助、利潤制約、一括税、地域外補助金からなる地域公共交通政策の有効性を分析するための枠組みを提案した。

今後、ミニバス等に代表される代替バスサービスへの切替を考慮することも有効であろうと考える。

謝辞 本研究の遂行にあたって、鳥取大学工学部社会開発システム工学科多々納裕一助教授には大変有益なコメントを頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小林潔司, 喜多秀行, 多々納裕一, 相乗り・送迎交通のためのランダムマッチングモデルに関する研究, 土木学会論文集, No. 536/IV-31, pp. 49-58, 1996.