

# バスサービス水準設定に関する一考察 - 青森県平賀町を対象として - \*

Designing Level of Bus Service - The case of Hiraka town - \*

谷本圭志\*\*・喜多秀行\*\*\*・藤田康宏\*\*\*\*

By Keishi TANIMOTO\*\*・Hideyuki KITA\*\*\*・Yasuhiro FUJITA\*\*\*\*

## 1. はじめに

路線バスは高齢者や学生などにとって必要不可欠な交通サービスであり、その確保は多くの自治体、とりわけ、地方部においては重要な課題となっている。しかし、その一方で、逼迫した財政制約のもとで、多額の補助額を理由に、自治体がサービスの水準の切り下げを容認する事態の発生が危惧される。自治体が地域に保証するサービスの水準は住民のニーズから導かれるものであるとすれば、その水準が補助額で決定されることは健全ではない。自治体が目標とするサービス水準をまず設定し、補助額はその時々々の制約として水準の実現可能性に影響を及ぼすというフレームでサービスを設計する必要がある。

自治体が補助額の大小に基づいてサービスを切り下げることが危惧されるのは、自治体に上記のフレームに相当する発想が欠落しているのではなく、むしろ、それに立脚したサービス水準の設定の考え方が確立されていないことに問題の根源があると考えられる。具体的には、「地域の住民にとって公平で、財政制約下での効率的なサービスをどのように設計するか」という要請に応えるための技術的道具が不備である。そこで本研究では、青森県平賀町で行われたバスサービスの設定<sup>1)</sup>における考え方に着目し、そこでの考え方を一般化して整理し、サービス水準の設定方法に関して検討する。

## 2. サービス水準設定の考え方

地方部の交通手段は自家用車が中心であり、今

\*キーワード: 地区交番画, 路線バス, サービス水準

\*\*正員、博(工)、鳥取大学工学部社会開発システム工学科

\*\*\*正員、工博、鳥取大学工学部社会開発システム工学科

\*\*\*\*学生員、鳥取大学大学院社会開発システム工学専攻

(〒680-8522、鳥取市湖山町南 4-101 TEL:0857-31-5311

FAX:0857-31-0822)

やほとんどの人がその利用に頼った日常生活を送っている。その一方で、自家用車を運転できない高齢者や学生、保有していない主婦などは、自家用車の利用者に比べて社会参加からの阻害が懸念される。よって、路線バスの主たる目的は、「自家用車非利用者層」の社会参加を支援するであり、その人々が潜在的に有している活動ニーズをどれだけ実現するかが果たすべき役割である。自治体の課題はそのニーズの充足を「公平で効率的に」実施するためのサービス水準を設計であり、以下ではそのための手法に焦点を絞って議論する。

### (1) 住民の活動ニーズの充足度評価

路線バスは住民が希望する活動を実現するための手段であることから、サービス水準の設定においては住民の活動ニーズの充足性に着目する必要がある。その際、住民の活動ニーズを設計者が知る必要がある。ここで留意すべきは、バスサービス(特にバスダイヤ)は住民が希望している活動に対して制約として作用することから、顕在化した活動は住民が希望している活動ニーズではないという点であり、「制約がなかった場合に実行していたであろう」という意味での潜在的な活動ニーズを知ることが肝要である。しかし、それを設計者が知ることは必ずしも容易ではなく、当の本人でさえ、「従来の制約にあわせた生活に慣れきっているため、その制約がない場合にどのような生活になるなど想像もできない」ことから直ちにはそれを知り得ないという状況がしばしば生じる。

これに関して、本研究では、自家用車を利用する住民の顕在的な活動が自家用車非利用者層にとっての潜在的なニーズであると考えられる。つまり、自家用車を利用している人にとっての制約は無いに等し

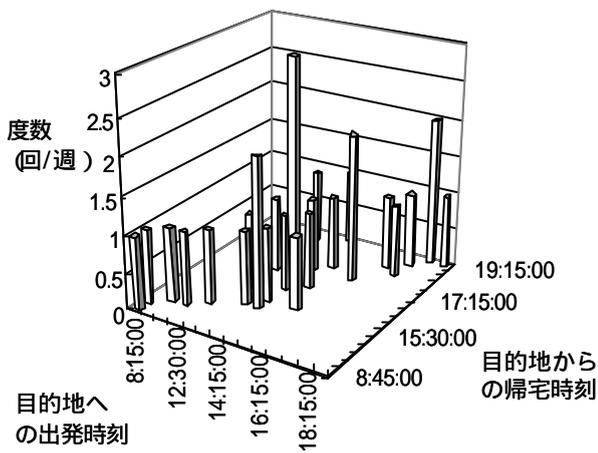


図1 平賀町の自動車利用者の  
出発時刻と帰宅時刻の分布 (回/週)

く、除けない制約があるとすればそれは地理的条件などの交通によって即座には克服できない条件であり、それは少なくとも路線バスサービスにおいて考慮が求められる制約ではない。平賀町において実施した調査結果を用いると、自家用車利用者の出発時刻と帰宅時刻の分布として図1を得る。この図より、概ね午前中、午後、夕方において平賀町の中心地への移動ニーズがあることが分かる。本研究では、住民の活動ニーズを表す代理変数として外出時の出発時刻と帰宅時刻に着目する。

路線バスを利用する場合、住民の出発および帰宅時刻にバスダイヤという制約が付加され、当該のトリップはその制約内で実行されるか、そうでなければとりやめられる。よって、観測されるバスの利用者数は、制約内に残存したトリップのうち当該のバスを利用する住民の和として導くことができると考えられる。トリップを制約内で実行するかとりやめるかは設計者が知りうる確定的な要因(制約上に移動するために必要な時間、つまり、待ち時間などの調整時間)とそうでない確率的な要因に分解できるとすると、多項ロジットモデルを援用することができる。以上より、次式を得る。

$$\varepsilon_{ij} = \sum_{(T_i, T_j)} f(T_i, T_j) \pi(t_i, t_j | T_i, T_j) x - g(t_i, t_j) \quad (1)$$

ここに、 $\pi(t_i, t_j | T_i, T_j)$ は出発、帰宅の希望時刻がそれぞれ  $T_i, T_j$  である個人が出発、帰宅の際にそれぞれ

時刻  $t_i, t_j$  のバスを利用する確率であり、その値は多項ロジットモデルを用いて定式化することができる。 $f(T_i, T_j)$ は当該の個人が希望する出発と帰宅の時刻が  $(T_i, T_j)$  である確率であり、図1に示す自家用車利用者層のその相対度数もしくは図1に基づいて推計された確率分布として導出される。 $x$ は当該の地区における潜在的なバス利用者数である。 $g(t_i, t_j)$ は外出先に時刻  $t_i$ に出発するバスと外出先を時刻  $t_j$ に出発するバスに乗車する利用者数である。なお、この値が観測データである。(1)式の右辺第一項は外出先に時刻  $t_i$ に出発するバスと外出先を時刻  $t_j$ に出発するバスに乗車する利用者数の推定値であり、未知のパラメータを含んでいる。第二項はそれに関する実測のデータであることから、 $\varepsilon_{ij}$ は推定値と実測値の誤差である。よって、誤差の生起確率がある確率分布に従うとすれば、最尤推定法を用いて未知のパラメータを推定することができる。なお、平賀町においては、各停留所の乗降客数のデータしか得られなかったことから、各停留所の乗車客と降車客のデータに用いるよう(1)式を変形して誤差を定義した。

以上により推計された確率 $\pi$ を用いて、調整時間が与えられたときに住民の潜在ニーズがどれだけ充足されるか、すなわち、バスを利用して外出する確率を評価することができる。なお、この方法は顕在需要のデータに基づいて利用者数を予測する伝統的な需要予測とは異なる点を強調しておきたい。

## (2) サービス水準マトリクス

「公平で効率的に」サービス水準を設定することは多くの自治体にとっての共通の課題である。しかし、どのような公平性を自治体として担保するのかがその地域の住民との合意に求められるものである。そこで以下では、平賀町における考え方に基いてサービス水準の具体的な設計について述べる。

バスサービスは自家用車非利用者に対するユニバーサルサービスとした。そこでのユニバーサルサービスの定義はOECDの1991レポートに則り、以下の四つの条件を満たすサービスとした<sup>2)</sup>。

1. どこに住んでも利用可能
2. 誰でも経済的に利用可能

3. 均質サービスを受けられる
4. 公平な料金設定

これらに基づいて、バスサービスの構成要素を以下のように設定した。

1. 全集落を網羅する路線網, 200m 間隔のバス停
2. 低料金 (100 円)
3. 所要時間より小さい待ち時間
4. 均一料金

ただし, 3 については「小さい待ち時間」という「幅」での水準であり, その幅の中のどの値を実現するかについては自明ではない。平賀町の事例においては, 等時間間隔でバスを運行することを想定していたため, 待ち時間は運行間隔と対応する。そこで, 上記のユニバーサルサービスにおいて設定される水準を確保することを前提とした上で, 効率的なバスの運行間隔の設定方法を導出した。なお, バスの運行に要する費用のほとんどはバスの走行に要する燃料費や人件費であることから, その費用の直接的な説明変数である運行間隔の設定においてのみ効率性を考慮することは, バスサービスの確保に関わる効率性を評価していることと概ね等価と見なすことができる。

運行間隔の設定は, イギリスにおける「サービス水準マトリクス」<sup>3)</sup>と同様の形式にて整理することができる。すなわち, サービスを提供する地区の人口規模と路線バスの始点, すなわち, 平賀町の中心から地区までの距離の二次元から成るマトリクスにて運行間隔を整理することができる。なお, 「サービス水準マトリクス」における「サービス水準」の要素は運行間隔のみを指していることに留意を要する。

### (3) サービス水準マトリクスの導出モデル

運行間隔は待ち時間という「コスト」の削減に貢献することから, 平賀町全体 (平賀町の全ての利用者) のコストの削減が最大となるような運行間隔が効率的である。ここに, 平賀町の地区の集合を  $N$  で表し, 任意の地区を  $i(i \in N)$  で表す。地区  $i$  にアクセスするバスの一日の運行本数を  $\alpha_i$  とする。後述する

ように運行頻度は運行間隔と対応する。地区  $i$  の住民のコストを  $z_i$  で表す。このコストは運行本数 (もしくは運行間隔) の関数である。地区  $i$  のバスの利用者数を  $x_i$  で表す。利用者数  $x_i$  は, (1) における評価手法によって推定される値である。すると, 平賀町全体のコストの削減を最大にするとの目的関数は次式のように定式化することができる。

$$\text{Maximize } \sum_{i \in N} \int_{z_i}^{\infty} x_i(s) ds \quad (2)$$

また, バスサービスに確保に必要となる自治体の補助金拠出額がバス事業の赤字に等しいとの条件を次式のように得る。

$$\sum_{i \in N} p_i x_i + S = \sum_{i \in N} C_i(\alpha_i) \quad (3)$$

ここに,  $p_i$  は始点から地区  $i$  までの運賃,  $S$  は補助金,  $C_i(\alpha_i)$  は地区  $i$  にアクセスする路線バスの一当たりの運行本数が  $\alpha_i$  であるときの運行費用である。なお, この式は制約条件ではあるが, 補助額として拠出可能な範囲があるとの制約が付加されるとの意味ではなく, ユニバーサルサービスを効率的な運行間隔で住民に保証することに対して自治体が賄わなくてはならない支出の要件として解釈すべきである。すると, 上記の非線形計画問題に関して, 次式に示すラグランジュ関数を導出することができる。

$$L = \sum_{i \in N} \int_{z_i}^{\infty} x_i(s) ds + \lambda \left( \sum_{i \in N} p_i x_i + S - \sum_{i \in N} C_i(\alpha_i) \right) \quad (4)$$

上式より, 任意の地区  $i$  へのバスの運行本数  $\alpha_i$  は, 次式に示す一階条件として得られる。

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha_i} = -\frac{\partial z_i}{\partial \alpha_i} x_i + \lambda \left( p_i \frac{\partial x_i}{\partial \alpha_i} \frac{\partial x_i}{\partial z_i} - \frac{\partial C_i}{\partial \alpha_i} \right) = 0 \quad (5)$$

上式を用いて運行間隔を導出できるが, 解析的な導出は一般に不可能である。そこで, 以下ではコスト  $z_i$  が変わっても, 利用者数  $x_i$  に大きな変化はない, つまり  $\partial x_i / \partial z_i = 0$  という悲観的な状況に単純化

し、どのような運行間隔を得るのかについて検討する。この状況のもとでは上式より次式を得る。

$$\lambda = -\frac{\frac{\partial z_i}{\partial \alpha_i} x_i}{\frac{\partial C_i}{\partial \alpha_i}} \quad (6)$$

ここで、一日の便数が $\alpha_i$ であり、バスが一日のうち $T$ 時間運行しているとするとバスの運行間隔は $T/\alpha_i$ （時間）である。バスの運行間隔が $T/\alpha_i$ であるとき、住民がバスにアクセスする時刻がバスの運行間隔内において一様に分布しているとすると、住民の平均待ち時間は次式のように得られる。

$$2 \frac{\alpha_i}{T} \int_0^{T/\alpha_i} t dt = \frac{\alpha_i}{T} \left( \frac{T}{\alpha_i} \right)^2 = \frac{T}{\alpha_i} \quad (7)$$

ここに、上式の「2」は往路と復路の二回の待ち時間があることを示している。上式より、平均待ち時間は運行間隔として与えられる。ここで時間価値を $w$ で表すと、次式が成り立つ。

$$\frac{\partial z_i}{\partial \alpha_i} = w \frac{\partial}{\partial \alpha_i} \left( \frac{T}{\alpha_i} \right) = -w \frac{T}{\alpha_i^2} \quad (8)$$

運行費用は距離に比例すると仮定すれば、走行距離当たりの費用を $c$ とし、地区 $i$ までの距離を $l_i$ で表すと次式を得る。

$$\frac{\partial C_i}{\partial \alpha_i} = cl_i \quad (9)$$

すると、次式を得る。

$$\lambda = \frac{\frac{wT}{\alpha_i^2} x_i}{cl_i} \quad (10)$$

よって、次式を得る。

$$\alpha_i^\infty = \sqrt{\frac{wT}{c} \frac{x_i}{l_i}} \quad (11)$$

ここに、利用者数 $x_i$ は各地区の人口 $Q_i$ に比例している場合、次式を得る。

$$\alpha_i \propto \sqrt{\frac{Q_i}{l_i}} \quad (12)$$

つまり、各地区の運行本数は、人口/距離の平方根に比例して設定すると、目的関数は最大となる。よって、各地区への路線バスの運行本数の相対度数はこの「平方根ルール」によって求めることができ、その絶対度数は「所要時間より小さい待ち時間」が各地区において達成できる任意の水準として導出することができる。

#### 4. おわりに

詳細は講演時に譲るが、以上の設定の手順に沿ってバスサービスの水準を設定することができた。

謝辞：本研究は、菊池武弘氏、小枝昭氏（青森県自動車団体連合会）、徳永幸之助教授（東北大学）、宮崎耕輔氏（福山コンサルタント）との討議に基づく成果であり、その一部を筆者らの見解を含めて再整理・再検討したものである。諸氏にはここに付して謝意を表す。なお、成果の全体については参考文献<sup>1)</sup>に詳しい。

#### 【参考文献】

- 1) 社団法人 青森県自動車団体連合会：地方交通計画提言調査，平成16年3月。
- 2) 依田高典：ネットワーク・エコノミクス，日本評論社，2003。
- 3) Lancashire County Council: Local Transport Plan 2001/02 ~ 2005/06