

# 35. 運行サービスレベルによる需要変動を考慮した中心市街地循環バスの社会的便益評価

The Social Welfare Evaluation of Circular Route Bus System with the Elasticity of Demand

柳沢吉保\*・高山純一\*\*

Yoshiyasu Yanagisawa and Jun-ichi Takayama

In this paper, analytic models are developed for optimizing circular route bus services with elasticity in their demand characteristics. The demand function include the wait time (running interval time), service time, travel time, access time and fare. The optimization objective is maximum social welfare.

The social welfare consists of the consumer surplus and the total profit. The application of this model is confirmed by using the actual road network in Nagano city. The model is used to perform simulation experiments, and to analyze the characteristics of the optimal running interval time and fare.

**Keywords :** Circular Route Bus System, Consumer Surplus, Total Profit, Maximum Social Welfare  
循環バスシステム、消費者余剰、総利益、社会的便益最大化

## 1. はじめに

市内循環バスは多くの都市で導入されているが、市街地のモビリティを確保し、渋滞緩和などの交通問題の解消に結びつけるためには、他の移動手段から循環バスへの転換をさらに促進する必要がある。しかしながら運行間隔の短縮、運行時間帯の延長、運賃、ルートの設定などに対する改善要望<sup>1)</sup>も多く、循環バス需要を増やすためには、改善要望に応じた運行サービスレベルを適切に設定し、循環バスのモビリティを向上させる必要がある。

一般には、運行間隔や運行時間帯の延長などのサービスレベルを向上させることで、利用者側の便益は増大し、循環バス需要は増加する。一方、運行管理者側はバス需要が増加することで収入は増えるが、バスの増便などサービスを向上させるために必要な運行コストも増加する。サービスレベルを適切に決定するにあたっては、提供されるサービスに応じて変動する需要を明確にした上で、利用者の便益と運行管理者の利益のバランスを考慮する必要がある。しかしながら従来は、循環バスの利用意向に関するアンケート調査結果に基づき、提供すべきサービスレベルを定性的に分析している研究が主で、利用者と運行管理者の両面を理論的に考慮した、最適な運行計画を提案している研究は少ない。

循環バスに関する既往研究として、高山ら<sup>2)</sup>は、長野市中心市街地で導入されている循環バスを対象にアンケート調査を実施し、運行条件の改善に対する利用意識を調査し、循環バス選択行動のモデル化を行っている。磯部<sup>3)</sup>は、日進市で導入されている公共施設巡回バスの利用者を対象にアンケートを実施し、便数、ルート、時間帯などの運行サー

スに対する評価を行っている。岸、高野<sup>4)</sup>らは、札幌市別当町で導入されている循環バスについて、住民の運賃に対する支払い意識評価を行っている。日野、東野<sup>5)</sup>らは、堺市小型巡回バス導入実験において、巡回バス利用者の利用理由と、改善要望などを聞いている。しかし循環バスの最適運行計画を検討する研究はあまり見られない。

一方、理論的アプローチによって循環バスの運行計画を論じた研究として、柳沢・高山<sup>6)</sup>は利用者コストと運行コストのトレードオフを考慮した最適な運行間隔、運行ゾーンなどの設定方法を示している。そこでは、循環バス需要は明示的に扱っているが、現況値の固定需要であり、サービスレベルに応じた需要変動までは扱っていない。また、運行計画の指標である利用者コストと運行コストはいずれも損失コストであり、循環バスを導入することにより得られる利益は考慮されていない。

本研究では、運行間隔や運行時間帯の延長などのサービスレベルに応じた循環バス需要変動を明らかにするための需要関数を定式化する。社会厚生指標として、需要関数を導入した利用者の便益（消費者余剰）と運行利益に基づく社会的便益を構築・提案する。そして、社会的便益を最大にする運行サービスの一般特性を明らかにするとともに、循環バスのシステムコストに基づいた運行サービス特性との比較分析を行い、それぞれの適用限界も明らかにする。

## 2. 循環バスシステムと中心市街地の移動要因

循環バス最適運行計画のための需要関数や社会的便益を構築するにあたり、長野市中心市街地環状線内（運行

\*正会員 長野工業高等専門学校環境都市工学科 (Nagano National College of Technology)

\*\*正会員 金沢大学工学部土木建設工学科 (Kanazawa University)

エリアとよぶ)を走行する循環バスを対象に、運行コストや利用者の移動を構成する要因を示す。運行エリアは、長野駅から善光寺をつなぐ中央通りによって2つのゾーンに分割されている。循環バスの運行条件とネットワーク条件を表1に示す。循環バスを運行するにあたり、運行管理者が支払う運行コスト<sup>9)</sup>は、運行台数 $w_B$ と1台あたりの周回数 $m_R$ と周回時間 $T_R$ で構成される。運行台数は、運行間隔 $h$ と周回時間により $w_B=T_R/h$ となる。運行時間帯内に循環バス1台当たりが運行エリアを周回する回数は、運行時間帯幅 $T_L$ を用いて、 $m_R=T_L/T_R$ となる。よって、運行コスト $C_0$ は、単位時間あたりの運行コストを $c_T$ とすると、次式で表される。

$$C_0 = c_T \cdot w_B \cdot m_R \cdot T_R \quad (2.1)$$

表1 循環バス運行条件とネットワーク条件\*

ネットワーク条件	運行条件
運行エリア面積 A:1.25 km <sup>2</sup>	時間帯 T:1 (9:00 ~ 17:40)
運行距離 L:7.5 km	時間帯幅 T <sub>L</sub> : 8 時間
停留所数 n <sub>s</sub> :28	走行速度 V:平均 12 km/時
停留所間隔 l <sub>s</sub> :平均 0.27 km	周回時間 T <sub>R</sub> :0.78 時間
ゾーン数 n <sub>z</sub> :2	運行間隔 h:(1/3) 時間
バス変換係数 $\Delta_b, \Delta_z$ :0.25	運行台数 n <sub>B</sub> :3 台
循環バス需要 x :77.9 人/時間	運行管理費用 c <sub>T</sub> : 約 0.35 万円/(時間・台)
平均移動時間 T <sub>m</sub> :約 0.183 時間	
徒歩速度 v <sub>a</sub> :平均 3.6 km/時	

\*平成12年度実績

一方、循環バス利用者行動のモデル化<sup>9)</sup>にあたっては、郊外から運行エリア沿線までの手段別行動は別途扱うものとし、設ける仮定<sup>9)</sup>は、(i)循環バス路線沿線と中心市街地内に点在する目的地間の循環バスによる移動コストに限定したモデル化を行う、(ii)循環バス需要は、路線沿線と中心市街地内の目的地で一樣に発生する、である。以上の仮定により移動要因を考える。郊外から発生したトリップは、循環バス沿線に一樣に到着する。到着地点から最寄りの停留所までの平均アクセス距離は $l_s/4$ であり、徒歩速度を $v_a$ とすると、停留所までの平均アクセス時間は $l_s/(4v_a)$ である。循環バスは、限られた市街地内を複数台で巡回し、待ち時間も比較的短いため、循環バスを利用する機会は、運行間隔に大きく依存すると考える。停留所に到着するトリップは、循環バス路線沿線上で時刻経過に対して一樣に発生すると仮定し運行間隔を $h$ とすると、停留所での平均待ち時間は $h/2$ となる。循環バス利用者は目的地最寄りの停留所までバスで移動する(平均移動時間 $T_m$ は表1に示すとおり、0.183時間である)。最寄りの停留所から目的地までは、ゾーン中心方向と循環バス路線と平行な道路を使って目的地まで徒歩で移動することになる。目的地までのゾーン中心方向のイグレス距離をゾーン辺の長さ(ゾーン形状を正方形と仮定すると $(A/n_z)^{0.5}$ )に基づいて換算する係数を $\Delta_1$ とお

く。また、循環バス路線と平行な道路を用いたイグレス距離を停留所間距離に基づいて換算する係数を $\Delta_2$ とおき、ゾーン内に循環バス利用者が必要としている目的地が一樣に分布していると目的地までの所要時間は $\{ \Delta_1 \cdot (A/n_z)^{0.5} + \Delta_2 \cdot l_s \} / v_a$ で表される。

### 3. 循環バス導入による社会的便益

#### (1) 循環バス需要関数

前章で示したように、運行間隔、ルート設定に関わるゾーン数、停留所での待ち時間 $q_w$ 、アクセス・イグレス時間 $q_a$ 、平均移動時間 $q_m$ などの利用者コストと、運賃 $f$ の増減によって循環バスの需要は変動すると考えられる。さらに始発延長時間 $q_s$ 、終発延長時間 $q_e$ によっても新たに別の目的を持った需要が生じる可能性がある。需要関数は、以上の説明変数によって線形関数で表されると仮定<sup>9)</sup>し、(3.1)式に示す。

$$x = X [k - e_a q_a - e_w q_w - e_m q_m - e_s q_s - e_e q_e - e_f] \quad (3.1)$$

ここで $x$ は単位時間当たりの循環バス需要、 $X$ は単位時間当たりの循環バス潜在需要であり、 $e_a, e_w, e_m, e_s, e_e, e_c$ は各変数にかかる需要弾性係数であるサービスパラメータ、 $k$ は定数項である。 $q_a, q_w, q_m, q_s, q_e$ は以下の通りである。

$$q_a = \frac{l_s}{4v_a} + \frac{\Delta_1 \cdot (A/n_z)^{0.5} + \Delta_2 \cdot l_s}{v_a}, \quad q_w = \frac{h}{2}, \quad q_m = T_m$$

ここで、 $q_s = t_s^0 - t_s$ または $T_s$ 、 $q_e = t_e - t_e^0$ または $T_e$ 、 $t_s^0, t_e^0$ はそれぞれ現始発・終発時刻、 $t_s, t_e$ はそれぞれ始発の繰り上げ・終発の延長時刻、 $T_s, T_e$ はそれぞれ始発繰り上げ・終発の延長時間を表す。今回設定した需要関数の始発・終発の時間延長に関する係数は、時間延長による循環バス需要が大きくなり、単位時間当たりの需要も大きくなれば、式(3.1)の設定とは異なり、係数の符号は正となる。一方、時間延長による需要が小さくなり、単位時間当たりの需要も小さいと、係数の符号は負となる。

#### (2) 循環バス運行利益

総収入 $R$ は運賃 $f$ に、(3.1)式の需要 $x$ と運行時間帯長 $T_L$ を乗じることで得られる。利益 $P$ は総収入 $R$ から運行管理コスト $C_0$ を引いた値として表される。したがって利益 $P$ は、(3.2)式で表すことができる。

$$P = R - C_0 = \int_{T_L}^* X [k - e_a q_a - e_w (h/2) - e_m q_m - e_s T_s - e_e T_e - e_f] - c_T (T_L^* / h) T_R \quad (3.2)$$

ここで、 $T_L^* = T_L + (T_s + T_e)$ である。

#### (3) 循環バスの消費者余剰と社会的便益

(i) 消費者余剰：消費者が環状線内の移動に循環バスを利用せずにますますより、循環バスを利用することによって自己の環状線内移動の利便性を高めるために支払うことを辞さない運賃に対し、実際に支払う運賃を越える超過額が消費者余剰と考えられる。

需要関数は(3.1)式で表されるので、運賃  $f$  と需要  $x$  の関係を表す需要関数は次式で表される。

$$f = [k - e_a q_a - e_w(h/2) - e_m q_m - e_s T_s - e_e T_e - x] / e_c \quad (3.3)$$

以上の式より需要と運賃の関係を図1に示す。

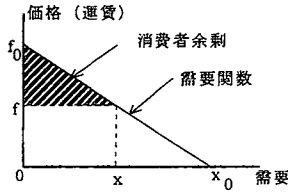


図1 循環バス需要関数と消費者余剰の概念図

循環バス需要がある任意の  $x$  のとき、消費者余剰は図1の斜線部となる。したがって消費者余剰は、底辺  $x$ 、高さ  $(f_0 - f)$  となる斜線部の三角形の面積にもとづいて求めればよい。総消費者余剰は、式(3.4)式で表される。

$$G = T_L \cdot x \cdot (f_0 - f) / 2 \\ = T_L \cdot x [k - e_a q_a - e_w(h/2) - e_m q_m - e_s T_s - e_e T_e - e_c f] / 2 e_c \quad (3.4)$$

(ii) 社会的便益(狭義に社会的純便益)：循環バス運行管理者と利用者の両面から社会的便益を検討する。運行管理者の便益は、総収入から運行管理費を引いた利益  $P$  となる。利用者の便益は前項で検討した消費者余剰  $G$  で表すことができる。したがって、循環バス運行による社会的便益  $Y$  は利益  $P$  と消費者余剰  $G$  の和で表される。ここでは、循環バス導入後に、別の手段から転換してくる循環バス利用行動に基づいた循環バス需要関数を用いている。したがって、おもに循環バス導入後の転換需要を対象とした社会的便益を評価するものである。

$$Y = G + P \\ = T_L \cdot x [k - e_a q_a - e_w(h/2) - e_m q_m - e_s T_s - e_e T_e - e_c f] / 2 e_c \\ + f T_L \cdot x [k - e_a q_a - e_w(h/2) - e_m q_m - e_s T_s - e_e T_e - e_c f] \\ - c_T (T_L / h) T_R \quad (3.5)$$

#### 4. 社会的便益による循環バスの最適運行解の特性

ここでは、循環バス運行サービスの改善に伴う社会的便益の増加と、社会的便益を最大にする最適なサービス解の存在可能性の検討を行う。平成12年度に行った循環バス利用に関するアンケート調査では、おもに運行間隔、始発の繰り上げ・終発時間延長、運賃の改善案に対する循環バス利用意識を調査している。そこで、社会的便益を構成する純利益と消費者余剰に含まれる循環バス需要関数について、(4.1)式に示すようにアクセス・イグレス時間と、平均移動時間を定数項に含める形で再定式化する。

$$x = X [k' - e_w(h/2) - e_s T_s - e_e T_e - e_c f] \quad (4.1)$$

ここで、 $k' = k - e_a q_a - e_m q_m$  である。したがって、循環バス運行サービス変数は、運行間隔、始発繰り上げ・終発時間延長、運賃とする。なお、実際の運行計画案では、

バス台数は整数で扱うことになるが、本研究では、提供する運行サービスと社会的便益との関係、さらに最適運行サービス解の一般的特性を、運行制約にとらわれずに理論的に検討することに主眼があるため、今回は運行台数に整数制約を設けない。

#### (1) 運行間隔と社会的便益特性

ここでは(3.5)式で表される社会的便益について、運行間隔のみをサービス変数とした場合の概型を示す。したがって、始発・終発時間、運賃などの運行サービスレベルは現行の運行条件を与えた。サービス変数パラメータは、後述する平成12年度に行ったアンケート結果に基づき推定した値を用いた。関数の概型を図2に示す。

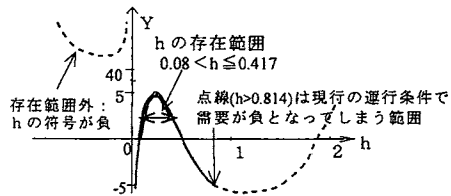


図2 運行間隔による社会的便益関数

現行の運行条件における運行間隔の存在範囲は、需要関数による循環バス需要がゼロ以上となることを考慮すると、以下の条件を満たす。

$$x = X [k' - e_w(h/2) - e_s T_s - e_e T_e - e_c f] \geq 0 \quad (4.2)$$

運行間隔を未知数とし、現行の運行条件と、アンケート調査に基づくサービス変数パラメータ値を(4.2)式に代入すると、循環バス需要による運行間隔の存在範囲は、 $0 < h \leq 0.814$  となった。ただし、運行間隔が5分未満の設定では、投入できる運行台数に限度があるため、運行コストの観点から非現実的と考えられる。また、現行の20分に対し、25分以上では運行間隔が長く、利用者の便益が小さくなり、社会的便益も小さくなると考えられる。したがって、実質的な存在範囲は、両者を満たす(4.3)式で与える。

$$0.08 \leq h \leq 0.417 \quad (4.3)$$

図2より、社会的便益関数の極大値が、運行間隔の存在範囲内における社会的便益関数の最大値になることが分かる。最適条件は、(3.5)式について  $\partial Y / \partial h = 0$  を求めることで、次式のように得られる。

$$-(e_w X / 2 e_c) [k' - e_w(h/2) - e_s T_s - e_e T_e] + c_T (T_R / h^2) = 0 \quad (4.4)$$

式(4.4)の最適条件から、運行間隔  $h$  の厳密最適解を得ることは困難である。そこで、後述するケーススタディでは、数値計算法により近似解  $h^*$  を求める。

#### (2) 始発・終発時刻の設定と社会的便益特性

図3に現行の始発時刻に対する繰り上げ時間  $T_s$  を変数とした社会的便益関数の概型を示す。運行間隔、運賃などの運行サービスは与件とし、現行の運行条件を与えた。

始発時刻の繰り上げ時間  $T_s$  と、終発時刻の延長時間  $T_e$  の存在範囲は、循環バス需要の条件式(4.2)に基づき、 $T_s \geq -2.748$ (時間)、 $T_e \geq -3.812$ (時間)となる。一方、アンケートで設定した始発の繰り上げ時間は、午前9時を基準に午前7時まで30分間隔で与え、終発の時間延長は、17時30分を基準に21時まで1時間間隔で与えた。そこで  $T_s$  と  $T_e$  の存在範囲は、(4.5)式で与える。

$$0 \leq T_s \leq 2(\text{時間}), \quad 0 \leq T_e \leq 3.5(\text{時間}) \quad (4.5)$$

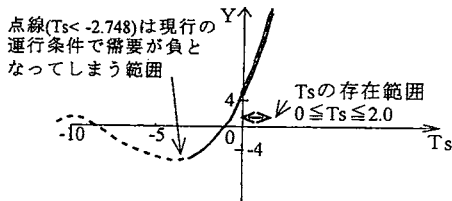


図3 始発繰り上げ時間の設定による社会的便益関数

以上の存在範囲より、社会的便益を最大化する始発の繰り上げと終発の延長時間の設定は、現在の運行時間帯を延長する場合は議論する。図3を見ると社会的便益関数は、始発の繰り上げ時間  $T_s$  がゼロ以上であれば単調増加し、極大値は存在しないことが分かる。したがって、始発の繰り上げ時間を大きくするほど、社会的便益も大きくなることが分かる。存在範囲の上限値で社会的便益が最大になるので、ここではとくに始発の繰り上げ時間の最適条件は求めない。終発時刻の延長時間をサービス変数とした社会的便益関数も、ほぼ同様な形となるため、上記と同じ考察が行える。

### (3) 運賃の設定と社会的便益特性

図4に運賃を変数とした、社会的便益関数の概型を示す。ここでは、運行間隔、始発・終発時間などの運行サービスは与件とし、現行の運行条件を与えた。

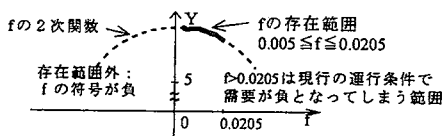


図4 運賃による社会的便益関数

循環バス需要の条件式(4.2)に基づく運賃の存在範囲は、 $0 \leq f \leq 0.0205$ (万円)となる。一方、アンケートで設定した運賃は、50円から250円で与えた。両者を満たす運賃  $f$  の存在範囲は、(4.6)式で与えられる。

$$0.005 \leq f \leq 0.0205(\text{万円}) \quad (4.6)$$

図4を見ると、運賃が50円以上であれば、社会的便益は単調減少していることが分かる。したがって、運賃を下げるほど社会的便益は大きくなる。しかも存在範囲内では極大値が存在しないことから、存在範囲の下限値で社会的便益が最大になることが分かる。

## 5. システムコストを用いた最適運行計画への適用性

### (1) 需要変動を考慮したシステムコスト

循環バスの最適運行計画のための指標として、社会的便益最大化のほかに、運行管理コストと利用者コストからなるシステムコストの最小化を行うことも提案されている。循環バス需要  $x$  が固定された場合のシステムコストは(5.1)式で表される<sup>9)</sup>。

$$C = C_o + C_u + c_T(T_L/h)T_R + \{c_a(l_s/4v_a) + c_w(h/2) + c_m T_m + c_a \Delta_0(A/n_s)^{0.5}/v_a\} T_L * x \quad (5.1)$$

需要が固定されている場合のサービス変数の最適解特性は既に明らかにされている<sup>9)</sup>。システムコストの循環バス需要  $x$  に変動型の需要関数(4.1)式を導入することで、需要変動型のシステムコストは(5.2)式で表される。

$$C = c_T(T_L/h)T_R + \{c_a(l_s/4v_a) + c_w(h/2) + c_m T_m + c_a \Delta_0(A/n_s)^{0.5}/v_a\} T_L * x [k - e_w(h/2) - e_s T_s - e_e T_e - e_f] \quad (5.2)$$

### (2) 最適運行計画への適用限界

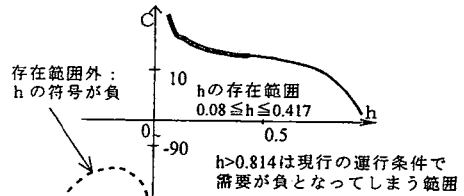


図5 システムコストの解の存在可能性

図5に運行間隔を変数とした、(5.2)式で表されるシステムコストの概型を示す。始発・終発時刻、運賃などの運行サービスは、現行の運行条件を与えた。運行間隔の存在範囲は(4.3)式で示したとおりである。図5よりシステムコストは、運行間隔  $h$  がゼロよりも大きければ、単調減少していることが分かる。したがって運行間隔の存在範囲内では、運行間隔を大きくするほど、システムコストは小さくなり、極大値は存在しないことが分かる。したがって、運行間隔の上限値でシステムコストが最小になる。以上よりシステムコストは、運行間隔などのサービス変数が変化しても、循環バス需要がほとんど変化しない利用固定層のサービス提供に有効である。

## 6. 長野市中心市街地を対象としたケーススタディ

### (1) 循環バス需要関数の同定

循環バス需要関数の同定を行うため、長野都市圏PT調査による交通実態と、平成12年度に行った循環バス利用意識調査データ(SP調査)を用い、(4.1)式で示した循環バス需要関数を構成する潜在需要  $X$  と、運行間隔、始発繰り上げ・終発時刻延長、運賃などの運行サービス変数にかかるサービス変数パラメータを求める。

利用意識調査では、中心市街地内のトリップに対し、循環バスの具体的な運行改善案をいくつか提示し、それ

それぞれの改善案に対する循環バス利用の有無を回答してもらった。ここで採用する改善案は、運行間隔は5分から5分間隔で25分まで与えた。始発時刻は9:00から30分間隔で7:00まで、終発時刻は17:30から1時間間隔で21:00まで、運賃は50円から50円ずつ250円まで与えた。いずれのサービス変数も5段階で設定した。

まず、循環バス潜在需要は、循環バスの利用可能な長野市中心市街地内とその周辺に流入するトリップ数をPT調査データを用いて調べた。その際、SP調査で設定した始発繰り上げ・終発時刻延長の改善案に対応させ、流入時間帯は7:00～21:00とした。さらに、運行条件が改善された場合の循環バスへの転換率を考慮した結果、なんらかの運行改善により循環バスへ転換する潜在需要Xは、1時間当たり1825.0トリップとなった。

つぎにサービス改善案*i*に対する循環バス需要*x(i)*は、循環バス利用固定層と考えられる現行での循環バス利用者数も考慮し、SP調査で推定した改善案*i*での循環バス転換率を用いて算出した。式(4.1)で与えられる需要関数の潜在需要Xを左辺に移項することで、循環バス利用率*p(i)=x(i)/X*は次式で表される。

$$p(i) = [k - e_w \{h(i)/2\} - e_s T_s(i) - e_e T_e(i) - e_f f(i)] \quad (6.1)$$

上式に重回帰分析を適用し、定数項*k*、サービスパラメータ*e<sub>w</sub>, e<sub>s</sub>, e<sub>e</sub>, e<sub>f</sub>*を求める。得られた結果を表2に示す。

本分析では重相関係数は0.564で、高い結果は得られなかったが、いずれのサービスパラメータの符号も妥当である。したがって運賃は安く、運行間隔を短くするほど、また運行時間帯を延長するほど需要は増加することが分かる。また*t*値からも、採用したサービス変数は、循環バス需要の予測に有効であることが分かる。

表2 需要関数のパラメータ

説明変数	パラメータ値 (t値)
始発時間延長 <i>e<sub>s</sub></i>	-0.018009 (-1.827646)
終発時間延長 <i>e<sub>e</sub></i>	-0.012984 (-2.305983)
運行間隔 <i>e<sub>w</sub></i>	0.20602 (1.42261)
運賃 <i>e<sub>f</sub></i>	4.69567 (1.94548)
定数項 <i>k</i>	0.130778 (2.79825)
重相関係数	0.564075

潜在需要X: 1825.0トリップ/h, サンプル数: 143

(2) 運行間隔の最適解と社会的便益

数値計算法により最適運行間隔を求め、最適運行間隔時と現行の運行条件での社会的便益を比較分析する。最適運行間隔を求めるにあたり、運賃と始発・終発時刻など、運行間隔以外は与件とし、現行の運行条件を用いた。長野市で導入されている循環バスは、中心市街地の移動の利便性を高めることを目的としており、社会資本の導入として位置づけられている。したがって、利益は追求しないため、運行によって生じる損失分には補助金

が充てられることから、ここでは運行利益には条件を設けない。第4章で述べたとおり、始発・終発時刻と運賃は、運行条件範囲内で極大値が存在しないので、ここでは運行間隔に絞った分析を行う。結果を表3と4に示す。

表3 最適運行時の社会的便益とシステムコスト

最適運行間隔: 15.3分		総需要量: 840トリップ
消費者余剰(万円/日)	運行利益(万円/日)	社会的便益(万円/日)
5.143	-0.152	4.991
利用者コスト(万円/日)	運行コスト(万円/日)	システムコスト(万円/日)
5.130	8.550	13.680

表4 現行\*の社会的便益とシステムコスト

現行運行間隔: 20分		総需要量: 723トリップ
消費者余剰(万円/日)	運行利益(万円/日)	社会的便益(万円/日)
3.808	0.674	4.483
利用者コスト(万円/日)	運行コスト(万円/日)	システムコスト(万円/日)
6.190	6.552	12.742

\*平成12年度の運行条件、*cw*:0.0631, *ca*:0.05593, *cm*:-0.03890<sup>9)</sup>

社会的便益を最大にする最適運行間隔は、現行よりも約5分短い15.3分となった。運行間隔が短くなり、利用者の待ち時間が短くなったことで、総需要も約120トリップ増えている。利用者の便益である消費者余剰は約1.3万円増加し、社会的便益も約0.5万円増加している。ただし運行間隔を短くしたことで運行台数を増やす必要から運行コストがかさみ、社会的便益を構成する運行利益は減少してしまっていることがわかる。

一方システムコストは、最適運行間隔時には、待ち時間が短くなることから利用者の損失コストは約1万円減少している。しかしバスを増便することから、運行コストは約2万円と大幅に増加している。その結果システムコストは現行よりも約0.9万円増加してしまっている。

7. 運行時間帯と運賃が社会的便益に与える感度分析

(1) 運行時間帯が運行間隔と社会的便益に与える影響

アンケートでは、始発・終発時刻の改善に関する要望が多かった。始発・終発時刻がどのように設定されると社会的便益を高めるのかを明らかにするための感度分析を行う。表5にケースを示す。表6に各ケースの社会的便益による最適運行間隔を、図6に社会的便益を示す。

表5 ケースの設定

ケース	内容
1	現行の運行時間帯での最適運行間隔
2	<i>t<sub>s</sub></i> を現行のまま、 <i>t<sub>e</sub></i> を1時間延長した最適解
3	<i>t<sub>s</sub></i> を1時間繰り上げ、 <i>t<sub>e</sub></i> を現行のままの最適解
4	<i>t<sub>s</sub></i> を繰り上げ、 <i>t<sub>e</sub></i> を1時間延長した最適解

*t<sub>s</sub>*: 始発時刻, *t<sub>e</sub>*: 終発時刻

図6の結果より、運行時間帯を延長するほど、社会的便益が増加することが分かる。平成12年に実施したア

アンケート結果では、現行よりも始業時刻は7時まで、終業時刻は21時まで延長すると、循環バス需要は増加する結果となった。このことから7時から21時の間で、運行時間帯を延長すると、循環バス需要が増加し、運行利益も増加する。利益が増加することにより、循環バスを増便することができる。このことより、運行間隔を短くし、利用者の待ち時間も短くできるので、消費者余剰も増加する。表6からも運行時間帯が延長されるほど運行間隔は短く設定できることが分かる。ただしケース2と3を比較すると、終業時刻の延長よりも、始業時刻の繰り上げの方が、単位時間あたりの需要増加量が大きく、始発時刻を繰り上げるほうが、より循環バスを増便できるため、社会的便益も大きくなる。

表6 各ケースの最適運行間隔(分)

ケース	1	2	3	4
社会的便益最大化	15.3	14.4	14.0	13.3

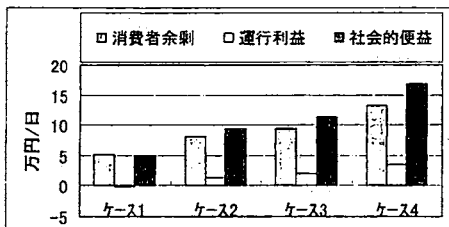


図6 各ケースの社会的便益

(2) 運賃が最適運行間隔と社会的便益に与える影響

表7に運賃の設定を示す。図7に各ケースの社会的便益を示す。

表7 ケースの設定

ケース	内容
0	現運行条件下での最適運行間隔
1	運賃を0円とした場合の最適運行間隔
2	運賃を50円とした場合の最適運行間隔
3	運賃を150円とした場合の最適運行間隔

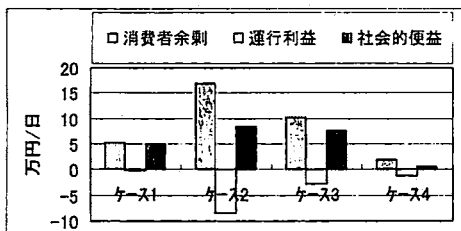


図7 各ケースの社会的便益

ここでは、いずれのケースも最適運行間隔が15.3分となった。これは運行間隔を短くすることによって、社会的便益の中で、循環バス利用者が得る利益(コスト)の大きさと、運行管理者が増便しなければならない損失コストの大きさが等しく、打ち消しあっている。したがって最適運行間隔は、運賃の大きさとは独立に、その他

の運行サービスによって生じる需要量に基づいて決定されていることが分かる。第5章で述べたとおり、社会的便益は、運賃がゼロのとき最大になっている。ただし収入はゼロになるため、運行による損失(利益が負)は最も大きくなる。

## 8. おわりに

循環バス運行サービスレベルによる需要変動を考慮した社会的便益指標を用いた最適運行サービスの決定方法を提案した。長野市中心市街地循環バスの利用実態ならびに利用意向データに基づき、運行間隔、始発・終業時刻の設定、運賃などの最適運行サービス特性を明らかにした。最適運行特性分析より(1)運行サービスレベルを決定するに当たっては、サービス変数の存在範囲と、サービス変数による社会的便益の極大値との関係を検討する必要がある。(2)長野の例では、通勤時間帯まで、運行時間帯を延長するほど、また運賃は安くするほど、社会的便益は増大することが分かった。(3)システムコストは、利用固定層へのサービス提供を考える場合に有効な指標である。長野への適用例より(4)社会的便益最大化において、運行利益が減少するにもかかわらず、最適な運行間隔は現行よりも5分短くなったことより、運行間隔の短縮が利用者の便益を大きく向上させることが分かった。ただし、増便による損失に充てられる補助金に制約がある場合には、損失の上限制約を運行利益の項に導入する必要がある。感度分析より(5)始発の繰り上げと、終業の延長で、それぞれ単位時間あたりの需要量と、社会的便益の増加量が異なる。運行時間帯を決めるときには、これらのことを考慮する必要がある。(6)運賃は最適運行間隔の決定に影響しないことが分かった。

おもな課題は(1)需要関数は線形式を仮定したが、さらに予測能力の高い関数形を構築する。(2)他手段からの乗り換え行動、路線バスとの競合、運行ルートの設定などを取り入れ、本モデルを拡張したい。(3)ルート設定に循環バス停留所間ODを考慮したい。

### <参考文献>

- 1) 高山純一、中野泰啓、柳沢吉保、加藤隆章：長野市中心市街地の利用手段の実態と運行改善による循環バスの利用可能性、第21回交通工学研究発表会論文報告集、pp.61-64,2001.10
- 2) 磯部友彦：コミュニティバス事業に対する利用者評価—日進市の公共施設巡回バスを事例に—、第35回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.523-528,2000.11
- 3) 岸邦宏、高野伸栄、佐藤馨一：地方都市における循環バスの利用特性と運賃評価に関する研究、第35回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.529-534,2000.11
- 4) 日野泰雄、東田隆明ほか：小型巡回バス導入実験による社会的効果と課題に関する研究、第20回交通工学研究発表会論文報告集、pp.125-128,2000.10
- 5) 柳沢吉保、高山純一：運行管理コストと利用者コストのトレードオフを考慮した循環バスシステムの最適化、第36回日本都市計画学会学術研究論文集、pp.595-600,2001.11
- 6) S K Chang: Multiple Period Optimization of Bus Transit Systems, Transp. Res.-B, Vol.25B, No.6, pp.453-478, 1991