

中心市街地活性化のための路線網を考慮した循環バス最適運行計画*

Optimization of Circular Route Bus System Considering Transportation Network in a Central Area

柳沢吉保**、高山純一***、平本光鋭****、小林謙之*****

By Yoshiyasu YANAGISAWA**, Jun-ichi TAKAYAMA***, Koei HIRAMOTO**** and Noriyuki KOBAYASHI*****

1. はじめに

中心市街地の活性化には「来街しやすい」「回遊しやすい」「滞在時間」が重要な要素とされている。中心市街地循環バスは、「回遊性の向上」の観点で、重要な役割を果たすと考えられ、運行ルートを中心に運行条件を検討する必要がある。

従来から、利用者と運行コストのトレードオフ^{1),2)}を考慮した循環バスの運行方法を検討した研究や、採算性を検討した研究、循環バスに対する満足度を検討した研究がある。では、理論的なアプローチによって最適な運行計画の検討を行っているが、運行条件は主に運行間隔や停留所間隔、運賃などであり、ルート決定について検討されていない。中心市街地活性化の観点から、中心市街地内でのトリップ数を増加させることを目的とし、循環バスのルートを含めた運行条件を検討する必要がある。

本研究では、中心市街地内のモビリティを向上させるための、運行ルートや運行間隔、運行時間帯などの運行条件を検討する。そこで、(1)長野市中心市街地循環バスの利用実態調査結果を用いて循環バスの利用理由から利用要因を抽出し、中心市街地でのトリップ数を増加させている要因の検討を行う。(2)循環バス・コミュニティバスの運行改善要望と市街地内の訪問先に関するSP調査を行い、循環バス利用による市街地内のトリップ数を増加させるための運行条件を運行ルートの観点から検討する。(3)バス需要を増加させ中心市街地の活性化に貢献できるための運行ルートと、運行間隔、停留所間隔、運賃などの運行条件を評価するためのシステムの構築を行う。

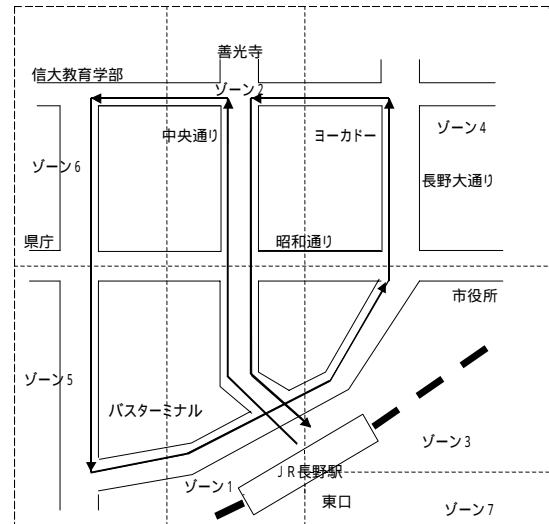


図1 循環バス運行ルート

2. アンケート実施概要

平成14年7月および8月に、循環バス利用実態に関しては、中心市街地までの移動手段、循環バスの利用理由と、中心市街地への来街数増加の有無などを中心に聞いている。また、運行条件の改善による循環バス利用意識と市街地内訪問先に関するSP調査も行っている。アンケートの配布状況を表1に示す。

表1(a) 循環バス利用実態アンケート配布状況

アンケート実施日時	場所	配布枚数	回収結果	回収率
平日 7/23, 24, 8/1	各停留所	420	55	13.1%
休日 8/4	各停留所	80	8	10.0%
全体		500	63	12.6%

表1(b) 循環バス利用による市街地内訪問先 SP調査

配布日時	配布場所	配布枚数	回収結果	回収率
7/23, 24, 8/1	市街地内	1500	420	28%
2003.1.26, 29	市街地内	800	180	22.5%
全体		2300	600	26.1%

3. 循環バス利用したトリップ特性と中心市街地活性化 (1) 循環バス利用による訪問先

循環バス利用実態調査データを用い、循環バスを用いた中心市街地内にある訪問先までのトリップ特性を明らかにする。

*キーワード：循環バス、中心市街地活性化、最適運行計画

** 正会員 博(工学) 長野工業高等専門学校環境都市工学科
〒381-8550 長野市徳間716(Tel:026-295-7104, Fax:026-295-4950)

*** 正会員 工博 金沢大学工学部土木建設工学科
〒920-8667 金沢市小立野2-40-20(Tel:076-234-4613)

**** 非会員 JR 東日本長野支社
〒380-0927 長野市栗田源田窪992-6

***** 非会員 日本道路公団

〒100-8979 千代田区霞が関3-3-2

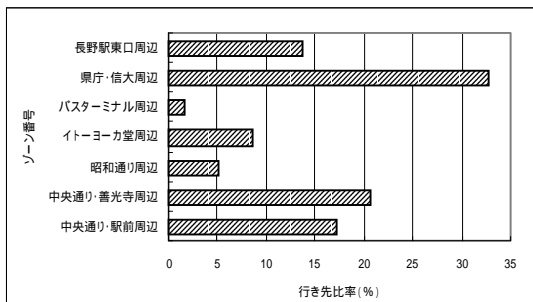


図2 行き先比率

図2より、来街したトリップは、循環バスに乗り換えて、中心市街地を形成する中央通り、とくに移動距離が比較的長い昭和通りから善光寺までの区間を行き先とする場合が多い。中央通りは商店が集中していることから私事目的のトリップが多いと考えられる。ついで、県庁・合同庁舎・信州大学などが立地する業務区域を行き先とする場合が多く、業務にも循環バスが利用されていることが分かる。

(2) 循環バス利用理由

循環バスの利用実態調査では、循環バスの利用理由と、循環バスを利用するようになって中心市街地への来街数増加の有無を聞いている。

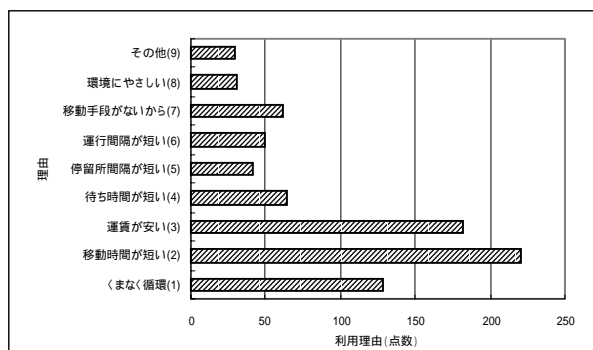


図3 利用理由

利用理由の内容は図3に示すとおりで、「やや重要」から「最も重要」までの5段階で回答してもらうように設定した。回答された理由に対し、「やや重要」には1点を与え、重要度が増すほど高い点数を与え、「最も重要」には5点を与えて、各利用理由の総点数を集計した。結果を図3に示す。「移動時間が短い」が最も得点が高く、移動時間損失を小さくすることを望んでいて、循環バスの導入が中心市街地のモビリティ向上に貢献していることが分かる。また、「市街地内をくまなく循環」の点数も高いことから、市街地内の回遊性の向上を望んでいることも伺える。「運賃」に対する評価も高く、100円という運賃設定も循環バスの利用のしやすさに結びついてい

ることが分かる。

(3) 循環バス利用要因と中心市街地活性化との関係

個人ごとに、各利用理由を得点化したデータを用いて、主成分分析により利用要因の抽出を行った。その結果、循環バス利用要因として『市街地を細かく循環するかどうか』『運賃が安いかどうか』『循環バス運行に関する総合指標』『停留所での待ち時間が短いかどうか』『循環バスが頻繁に運行されているかどうか』、5つの成分で表すことができた。

「循環バスが導入されて、中心市街地へ出かける機会が増えたか」の間には、37%の回答者が増えたと答えている。そこで、説明変数は先の結果より、個人ごとに各主成分得点をあてはめ、目的変数は「循環バスの導入により中心市街地へ訪れる機会」が増えた場合は正、変わらない場合は負とし、判定基準がゼロとなるように設定し、判別分析を行った。表2より、『中心市街地を細かく循環する』要因の係数が比較的大きく、またt値も最も大きな結果となった。このことから、さまざまな循環バス利用理由のうち、市街地内を細かく循環することが、中心市街地内へのアクセス性を高める結果となり、各施設へ訪れる機会に影響を与え、中心市街地の活性化に結びつくものと考えられる。

表2 循環バス利用要因と来訪要因との関係

要因	係数	t 値
細かく循環	0.159	3.725
運賃が安い	0.062	1.386
総合指標	0.072	1.350
待ち時間が短い	-0.052	-0.892
運行間隔が短い	-0.126	-2.024
重相関係数	0.528	

4. 循環バス運行ルートへの選好性特性

運行改善要望調査では、「どのような運行条件ならば循環バス利用が増え、新たな訪問先が生じるか」聞いている。ここではとくにルートの選好性について分析する。設定したルートは逆ルート、現行ルート、乗り換えずに連続して細かく循環するルート、東口までの拡大ルートで、集計結果を図5に示す。

現行ルートに対する逆ルートは、長野駅から県庁・合同庁舎・信州大学などが集中する勤務先へのアクセスが容易である。したがって通勤目的に有効なルートであると考えられる。逆ルートに対する要望が多いため、導入の検討が必要なルートである。

現行ルートは、最も集客力の大きい長野駅周辺か

ら中央通り沿いを通っている。したがって、現行ルートに対する要望も多い。とくに現行ルートでは、運行間隔の短縮と、運行時間帯の延長がなされれば、循環バス需要の増加が見込まれる。中央通りと環状線で循環バス利用者数に大きな差がある場合、中央通りと、環状線でルートを分けることも考えられる。

市街地内を細かく循環するルートは、他のルート案と比較して、それほど要望は多くない。このルートは、現行ルートと比較して、昭和通りを含んでいるが、昭和通りへの訪問に対する需要は多くない。また、市街地内の主要幹線道路をくまなく巡回するほど細かなルートは望んでいないことが分かる。

長野駅東口までのルート拡大に対する需要も多い。現行ルートではカバーできない拠点を含むことと、東口と長野大通り沿いを結ぶルートとして、循環バスを利用したトリップ数の増加が見込まれる。

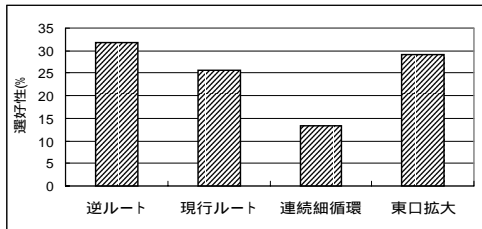


図5 交通規制と運行ルート

5. 中心市街地活性化のための路線を考慮した循環バス運行計画の展開

(1) 路線の設定を考慮した利用者便益

a) 路線網構成によるバス利用潜在需要

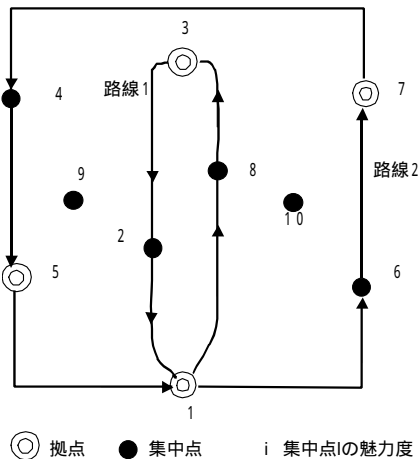


図6 路線網概略図(この例では2つの路線が設定)

上図のようにバス路線は、ある大きさの魅力を持った場所に存在する停留所*i*を通過する。魅力度には、集客力あるいは商品販売額、床面積などの社会経済指標を用いることが考えられる。このような路線を持つバス需要を次のような確率で表現する。

$$P(i,l,r,B) = P(i|l,r,B) \cdot P(l|r,B) \cdot P(r|B) \cdot P(B) \quad (1)$$

ここで、 $P(B)$ は市街地内の移動にバスを利用する確率、 $P(r|B)$ はバス利用者のうち、路線*r*を選択する確率、 $P(l|r,B)$ は路線*r*のうちバス移動拠点*l*を選択する確率、 $P(i|l,r,B)$ は拠点*l*からある魅力度を持った場所の停留所*i*を選択する確率を表す。これらの同時確率はNLモデルで表現する。以下、各段階での効用関数形を示す。

1) $P(i|l,r,B)$ は、拠点*l*から魅力ある場所(停留所)*i*にどれだけアクセスしやすいかを示す効用関数を用いる。

$$V(i|l,r,B) = 1 + \frac{1}{R_{li}} \quad (2)$$

ここで、 R_{li} は、拠点*l*からバスの進行方向にある停留所*i*までのバス路線に沿った最短距離で、以下、 α_1 は効用パラメータである。

2) $P(l|r,B)$ は、路線*r*を選択したとして、ある魅力を持った場所*i*へ行くのに、どの拠点から移動しやすいかを示す効用関数を用いる。拠点*l*の持つ総合的なアクセスのしやすさである式(2)の合成変数を効用関数として用いる。以下、 α_2 はスケールパラメータである。

$$V(l|r,B) = (1/\alpha_2) \ln \exp \alpha_1 V(i|l,r,B) \quad (3)$$

3) $P(r|B)$ は、バスを選択したとして、どの経路が最も目的を達成しやすいかを示す効用関数を用いる。式(4)で、路線*r*にどれだけ魅力ある場所が多数存在するか(第2項目)、魅力ある場所にどれだけアクセスしやすいか(第3項目で式(3)の合成変数)、路線*r*を選択したことで、他の路線に存在する魅力ある場所へのアクセスしやすさの損失(第4項目)で構成する。

$$V(r|B) = \alpha_3 + \alpha_3 \left(\frac{\sum_j V(j|r,B)}{\sum_i V(i|r,B)} \right) + (1/\alpha_2) \ln \exp \alpha_2 V(l|r,B) - \alpha_3 \left(\frac{\sum_k V(k|r,B)}{\sum_l V(l|r,B)} \right) \quad (4)$$

α_3 は路線*r*に属する場所*j*'の魅力度、 α_1 は対象としている路線網に含まれる場所*i*'の魅力度、 α_2 は今対象としている路線*r*から乗り換えなければアクセスできない他の路線に属する場所(停留所)*k*の魅力度、 R_{lk} は対象としている路線*r*に属する拠点*l*から、本路線から乗り換えなければアクセスできない他の路線に属する場所*k*までの路線に沿った最短距離を表す。

4) $P(B)$ は、今設定しているバス路線網にどれだけ魅力があるかの指標で、市街地内の魅力をもったすべての場所のうち、本路線網でどれだけ魅力度を網羅しているかを示す効用関数を用いる。

$$V(B) = \alpha_4 + \alpha_4 \left(\frac{\sum_i V(i|B)}{\sum_l V(l|B)} \right) + (1/\alpha_3) \ln \exp \alpha_3 V(r|B) \quad (5)$$

ここで、 r は対象としている路線網で網羅している魅力度、 i は市街地全体の魅力度をあらわす。ただし、この段階では、バス以外の手段による効用を便宜的に、 V_0 の固定値で与える。したがって、バス選択確率は、以下ようになる。

$$P(B) = \frac{\exp V(B)}{\exp V(B) + \exp V_0} \quad (6)$$

以上 1) から 4) より、対象とする市街地に来訪する全トリップ数 $T_{L,r}$ が与えられると、式(1)を用いて路線 r のバス利用潜在需要 r が得られる。

b) 運行条件の設定によるバス利用損失コスト²⁾

バス利用損失コストは、停留所での待ち時間 q_w 、バス路線沿線に存在する利用者の停留所までのアクセス時間 q_a 、停留所から目的地までのイグレス時間 q_e 、運賃 f であり、バス利用率関数はこれらを用いて以下のように表す。以下、 r は路線を示す。

$$r = k - e_a q_{a,r} - e_w q_{w,r} - e_e q_{e,r} - e_c f \quad (7)$$

各損失コストは、運行間隔 h_r 、停留所間隔 $l_{s,r}$ を用いて、以下のように表す。

$$q_{a,r} = \frac{a l_{s,r}}{v_a} \quad q_{w,r} = \frac{h_r}{2} \quad q_{e,r} = \frac{v + H l_{s,r}}{v_a}$$

ここで、 v_a は徒歩速度、 a は沿線方向のバス需要分布係数、 H はバス沿線方向目的地分布係数、 v は中心方向目的地分布係数を表す。

c) バス需要関数

単位時間当たりのバス需要 r は、バス路線 r の利用潜在需要 r に、運行条件によるバス利用率 r を乗ずることで得られる。

$$r = r \cdot r \quad (8)$$

d) 利用者便益²⁾

利用者便益は、「バスを利用することによって市街地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超える超過額」として、消費者余剰を用いる。したがって、

$$G = f T_{L,r} r - r^2 / 2e_c \quad (9)$$

(2) バス運行利益²⁾

運行利益 P は、総収入 R と運行コスト C_o ¹⁾ で表される。総収入は、バス需要 r と運行時間帯長 $T_{L,r}$ に運賃 f を乗じることで得られる。運行利益は総収入から運行コストを引いた値として表される。

$$\begin{aligned} P &= R - C_o \\ &= \frac{(R_r - C_{o,r})}{r} \\ &= \left\{ f T_{L,r} r - c_T \frac{T_{L,r}}{h_r} \left(\frac{1}{V} + \frac{1}{l_{s,r}} \right) \right\} L_r \end{aligned}$$

(10)

ここで、 c_T : 運行費用、 L_r : 路線 r の運行距離、 V : バス運行速度、 $l_{s,r}$: 停留所停車時間

(3) 社会的便益と最適運行計画

社会的便益 Y について、例えばバスの投入台数を増やすと運行間隔は短くなり、利用者便益は増加するが、バス運行利益は減少する可能性があるなど、両者にはトレードオフ関係がある。そこで社会的便益は利用者便益とバス運行利益の和で表す。

$$Y = G + P \quad (11)$$

循環(コミュニティ)バスの最適運行計画は、社会的便益を最大にするような、各路線の最適な運行間隔、停留所間隔、運賃を決めることを考える。バス利用潜在需要は路線網パターンごとに異なる可能性があるため、これらを設定可能な路線網パターンごとに検討し、最適な路線網と運行条件を求める。

6. おわりに

本研究で得られた主な知見は以下の通りである。

- (1) 循環バス利用者は、公共輸送機関によって市街地周辺まで来訪し、循環バスに乗り換えて、商店が集中している中央通りを目的先とする場合が多い。
- (2) 利用理由は『市街地を細かく循環する』『運賃が安い』『循環バスの総合指標』『停留所での待ち時間が短い』『循環バスが頻繁に運行されている』の5つの成分が抽出された。
- (3) 循環バス運行により、中心市街地の活性化に結びつけるには、『中心市街地を細かく循環する』ようにサービスを提供する必要がある。
- (4) トランジットモール導入後の循環バス運行について「運行間隔」「運行時間延長」「逆ルート」「ルートの拡大」に対する運行改善要望が多かった。

以上の知見に基づき、路線設定を考慮したバス運行計画の展開を行った。今後の課題は、運行時間帯を延長することで、新規需要が生じるので、このメカニズムを今後、本モデルに組み込む。また、循環バスを利用した回遊行動もモデル化する。

< 参考文献 >

- 1) 柳沢吉保, 高山純一: 運行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. 平成13年度都市計画論文集 No36(2001.11)595-600
- 2) 柳沢吉保, 高山純一: 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. 平成14年度都市計画論文集 No37(2002.11)205-210