

地方都市における路線バス運行の定時性評価に関する研究*

A Study on the Benefit Caused by the Improvement of the Punctuality of the Local Bus Service *

佐野 可寸志**・須賀 由美子***・松本 昌二**

By Kazushi SANO**・Yumiko SUGA***・Shoji Matsumoto**

1. はじめに

バス交通は、環境負荷の軽減や交通渋滞の緩和、交通事故の抑制のためにも極めて重要な公共交通機関である。しかし、近年のモータリゼーションの急速な進展により、バスをはじめとする公共交通機関の利用者は年々減少しており、不採算路線は廃止され、公共交通の空白地帯が増加している。そこで、バスのサービスレベルを向上させ、バス交通への利用者を確保し、バス路線を維持することは非常に重要である。

このバスのサービスレベルを決定する要因としては、運行頻度、所要時間、運賃などが挙げられるが、運行時刻の定時性も重要な要素である。定時性の向上によって、バス利用者は待ち時間の減少や待ち時間におけるイライラ感の減少効果があると想定される。一方、バス事業者にとっても、サービスレベルの向上による利用者増加に伴う収益の増加や、折り返し時間減少による運行経費の削減につながることを期待される。

そこで本研究では、新潟県長岡市を対象にバス利用者の行動分析や、バス事業者の費用構造の調査・分析を行い、バス運行の定時性が向上したときの利用者、事業者便益を推計し、定時性向上がバスシステム全体にもたらす効果を定量的に示す。

2. バスの運行実態

(1) 駅ターミナルでのバス到着時刻

JR 長岡駅は1日平均 11,600 人が利用する長岡市内では最も大きなターミナルで、発着する路線バスは合計 33 路線 1,438 便にも上る。今回は、長岡駅大手口側に到着するバスを対象に始発から朝 9 時までの到着時刻の調査を実施した。

*キーワード：公共交通計画、交通計画評価、定時性評価

**正員，工博，長岡技術科学大学工学部環境・建設系
(〒910-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1，
TEL0258-47-9616，FAX 0258-47-9650)

***正員，工修，京王バス東株式会社
(東京都府中市府中町1丁目 9 番地
TEL042-352-3710，FAX042-352-3715)

駅ターミナルに到着するバスの遅れ時間を調査したところ、ダイヤ時刻より2~4分早く到着する割合が多く、全体では平均で2分程度の遅れだった。これは、大幅な遅れを予測し、駅の到着時刻が遅延した時刻表を作成していることから、ダイヤ時刻より早く到着する便もあるということがいえる。時間帯別にみると、始発から7時までの早朝は、ダイヤ時刻より2~4分早く到着する本数の割合が多い。その後、7時台前半(7:00~7:29)、後半(7:30~7:59)、8時台と続くにつれて、遅れ時間が大きくなる傾向にある。また、8時間0分[~]の割合が、当該時間帯の約70%を占め、8時台前半(8:00~8:29)は、ダイヤ時刻より遅れる(遅れ10分[~])の割合は20%に昇る。これは通勤時間による道路混雑の影響と考えられる。

(2) バス停留所でのバス到着時刻

駅ターミナルにおける調査から、遅延の大きい時間帯、路線を特定し、停留所調査を行った。停留所調査では、始発地からの距離が近い停留所では、遅れ時間も分散も小さい。一方、始発地から離れた停留所では遅れ時間も大きく、分散値も大きいことが分かった。

3. 定時性向上による利用者便益の推計

(1) 利用者待ち時間推定モデル

運行定時性が向上することによって、バスの遅延が減少し、結果として停留所での乗客の待ち時間は減少する。実態調査を行った停留所のうちバスの到着時刻のばらつきが大きな5停留所と、利用者乗降人数の多い停留所9箇所の合計14停留所において、バス利用者にアンケート調査を行った。アンケートの記入者の正確な停留所到着時刻を把握するために、利用者が停留所に到着した到着時刻をアンケート調査票に記録し、バス乗車直前に該当する到着時刻の利用者に手渡した。回収は調査員が後日受け取る方法と、停留所に設置したボックスに投函または郵送とした。配布数は264、回収116、回収率は44%であった。このうち、有効な回答のあった71サンプルを用いて重回帰分析を行い、遅れ時間推定モデルを構築した。推定結果を以下に示す。

$$T_p = 307.17 - 127.84 S_1 - 66.30 S_2 + 323.90 S_3 + 110.76 S_4 - 40.52 S_5 + 0.61 S_6 - 0.02 S_7 \quad (t \text{ 値})$$

修正済み重相関係数 = 0.80

- T_{wr} : 利用者の停留所での待ち時間
- S_1 : 自動車保有の有無
- S_2 : 免許保有の有無
- S_3 : 利用目的 [通院]
- S_4 : 乗り換えの有無
- S_5 : 利用頻度
- S_6 : バスの遅れ時間
- S_7 : バスの運行間隔

(2) 定時性向上による利用者便益

構築したモデル式を用いて、バスの遅れを減少させたときの、利用者便益を推計する。なお、利用者の減少した待ち時間は、現在の待ち時間から遅れ時間を減少させたときの待ち時間を差し引いたものとする。これに利用者の時間価値原単位 (32.58円 / 人・分) を乗ずることで、利用者の減少された待ち時間を貨幣タームに変換する。これより、バスの遅れ時間が0分となったときの利用者の待ち時間は平均で75.1秒減少することが分かった。これに、時間価値原単位⁴⁾ (0.54円 / 秒) を乗ずることによって、利用者便益は40.8円 / 人・回となる。この金額が利用者の支払う費用のうちの21.8%を占める。

4. 定時性向上による事業便益の推計

定時性の向上によるバス事業者の便益は、利用者転換による運賃収入の増加と、運行時間の短縮による時間短縮便益である。これらを定量的に推計する。

(1) 利用者増加による事業者便益

定時性が向上した場合のバスへの転換率から、利用者の増加に伴う便益を推計するため、手段選択モデルを構築した。

a) 手段選択モデルの構築

事業者便益は、定時性が向上した場合のバスへの転換率から、利用者の増加に伴う便益を算出する。そのため、PT調査データをもとに、非集計多項ロジットモデル (Multinomial Logit :ML) を用いて、手段選択モデルを構築した。

b) 使用データの概要

本研究では、平成 11 年長岡都市圏パーソントリップ調査 (長岡都市圏都市交通計画調査委員会) のデータを用いた。しかし、長岡都市圏全域のデータを用いるのではなく、バス専用レーン及びバス優先信号があるにもかかわらず、

通勤ラッシュ時に渋滞が発生し、バスの定時性に大きく影響を与えているバスルート351号沿線上 (長生橋西詰) を対象とした。また、通勤目的であるサンプルは 760 サンプルである。そのうち、長岡市内の通勤トリップである 631 サンプルを抽出した。交通手段の選択肢は、バス、マイカー、相乗り、徒歩・自転車、送迎の5種類に分類した。各個人の交通手段の内訳は、バスが 28 人、マイカーが 380 人、相乗りが 16 人、徒歩・自転車が 186 人、送迎が 21 人である。

c) 手段選択モデルの構築

手段選択モデルは、ML モデルを用いて、式 (1) ように表される。また、それぞれの選択肢の効用関数は式 (2) で表され、選択肢特性は、選択肢固有ダミー及びトリップ費用と所要時間とし、社会経済変数として年齢と性別の個人データを変数とした。なお所要時間は、乗車時間と徒歩時間から算出し、バスの交通手段のみ待ち時間を考慮する。各特性の固有・共通変数は、表1に示す。

$$P_{in} = \frac{\exp(V_{in})}{\sum_{j \in J_n} \exp(V_{jn})} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_{in} = \sum_{k=1}^K b_k X_{ink} \dots\dots\dots (2)$$

- P_{in} : 個人 n が選択肢 i を選択する確率
- V_{in} : 個人 n が選択肢 i の選択による効用の確定項
- V_{jn} : 個人 n が選択肢集合 J_n の i 以外の全ての選択 j の選択による効用の確定項
- k : k 番目のパラメータ
- X_{ink} : 個人 n の選択肢 i についての k 番目の説明変数

表1 モデルの説明変数

| | 選択肢特性 | | | | | | 社会経済変数 | | | |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| | 選択肢固有ダミー | | | | 完全共通変数 | | 年齢 | 性別 | 性別 | 性別 |
| | X_{in1} | X_{in2} | X_{in3} | X_{in4} | 費用 | 所要時間 | | | | |
| V_{1n} バス | 1 | 0 | 0 | 0 | X_{in5} | X_{in6} | X_{in7} | X_{in8} | X_{in9} | X_{in10} |
| V_{2n} :マイカー | 0 | 1 | 0 | 0 | X_{2n5} | X_{2n6} | 0 | X_{2n8} | 0 | 0 |
| V_{3n} 相乗り | 0 | 0 | 1 | 0 | X_{3n5} | X_{3n6} | 0 | 0 | X_{3n9} | 0 |
| V_{4n} 徒歩・自転車 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | X_{4n6} | X_{4n7} | 0 | 0 | X_{4n10} |
| V_{5n} 送迎 | 0 | 0 | 0 | 0 | X_{5n5} | X_{5n6} | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Parameter | β_1 | β_2 | β_3 | β_4 | β_5 | β_6 | β_7 | β_8 | β_9 | β_{10} |

d) パラメータの推定結果

各パラメータの推定結果を表2に示す。パラメータの t 値は全て5%有意水準を満たしており、パラメータの安定性が高い。また、トリップ費用、所要時間ともにパラメータの符号はともに負になっており、一般的に交通手段選択時に選択する理由から考えても正しいことが分かる。尤度比も適合度が高く、的中率も92.2%と再現性が高い。

表2 パラメータ推定結果

| Coefficients | Parameter | t ratio |
|-------------------|-----------|---------|
| Cost | -0.024 | -13.16 |
| Travel Time | -0.122 | -7.557 |
| Age-WalkBicycle | -0.332 | -2.579 |
| Sex-WalkBicycle | -1.002 | -2.16 |
| Sex-Carpool | -1.74 | -2.197 |
| Sex-Car | -1.182 | -2.155 |
| Bus-Dummy | 5.172 | 9.442 |
| Car-Dummy | 8.66 | 8.758 |
| Carpool-Dummy | 4.699 | 3.975 |
| WalkBicycle-Dummy | 7.303 | 6.332 |
| $L(\hat{\cdot})$ | -212.663 | |
| $\ln L$ | -212.663 | |
| $\ln L(0)$ | -1001.72 | |
| σ | 0.789 | |
| $-z$ | 0.778 | |
| hit ratio | 0.922 | |

選択肢固有ダミーは、マイカーが最も大きく、自動車交通の強みが再現できている。また、完全共通数変数である費用と旅行時間は、トリップ費用に比べて旅行時間の係数の方が大きいことから、通勤者における旅行時間はトリップ費用よりも手段選択に大きく影響していることがわかる。したがって、交通手段の旅行時間を短縮することによって、その手段の効用が増加することがわかる。

社会経済変数の年齢は、年齢の高い人ほど徒歩・自転車の効用が減少することから、年齢が高くなるほど徒歩・自転車による通勤に疲労や苦痛を感じていることが考えられる。

この結果から、バスの定時性が向上することによって、現在のバス以外の交通手段選択者がバスへ転換し、バス利用者の増加が期待できるといえる。

e) 定時性向上による利用者の増加とその割合

構築したモデルを使って、バスの定時性が向上されたときの、バスへの転換量を求める。バス利用者の待ち時間を0分に設定し、それぞれの選択結果を算出した。その選択結果を、定時性向上前に選択していた手段と定時性向上後に選択する手段とで比較した。これを図1に示す。バスの選択結果を比較すると、定時性向上前のバス通勤者は26

| | | 定時性向上前 | | | | | 定時性向上後 | | | | |
|--------|---|--------|-----|---|-----|---|--------|-----|---|-----|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 定時性向上後 | 1 | 26 | 3 | 0 | 0 | 0 | 26 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 388 | 0 | 0 | 0 | 0 | 388 | 0 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| | | 26 | 391 | 5 | 200 | 9 | 26 | 391 | 5 | 200 | 9 |

図1 定時性向上前後の選択結果

表3 定時性向上による利用者増加の割合

| | バス | マイカー | 相乗り | 徒歩・自転車 | 送迎 |
|----------|-------|-------|------|--------|------|
| 定時性向上前 | 26 | 391 | 5 | 200 | 9 |
| 定時性向上後 | 29 | 387 | 5 | 200 | 9 |
| 利用者増加の割合 | 11.5% | -1.0% | 0.0% | 0.0% | 0.0% |

人であったのに対し、定時性向上後は29人と3人増加した。また、マイカー通勤者の数は、定時性向上前は391人であったのに対し、定時性向上後は388人と3人減少している。これより、マイカー通勤者のうち3人がバスへ転換したことが分かる。この結果から、バスの定時性向上がバス利用者の増加とともに、マイカー利用者の抑制に影響を与えているということがいえる。また、この3人の転換は、定時性向上前のバス利用者の11.5%に相当する。また、バス利用者のうち通勤者の占める割合は、15.7%であることから、転換者の全体に占める割合はおよそ1.8%となる。したがって定時性向上によるバス利用者の増加の割合は1.8%である。

2) 運行時間短縮による運行経費の削減率

これまでと同じ量・質の輸送サービスで、バスの遅れ時間が減少したとき、運行経費が削減される。このときの定時性向上による事業者の運行時間短縮便益を推計する。

a) 運行経費の割合

事業者の運送費は時間によって影響する時間変動費と時間の変動に影響しない固定費から構成され、その割合を「時間比例費65.4%」、「距離比例費11.8%」、「車両費8.4%」、「固定費14.3%」に分類する。(表4)

表4 運行経費の内訳

| | | 運行経費 | 割合 |
|-------|-------|---------|---------|
| 時間変動費 | 時間比例費 | 人件費 | 65.43% |
| | 車両費 | 車両減価償却費 | 8.43% |
| | | 保険料 | |
| | | 車両修繕費 | |
| 時間固定費 | 距離比例費 | 燃料油脂費 | 11.80% |
| | | 事故賠償費 | |
| | | 施設使用料 | |
| | 施設割賦税 | | |
| | 道路使用料 | | |
| 其他経費 | | | |
| 固定費 | 一般管理費 | 14.34% | |
| 営業外費用 | | | |
| 計 | | | 100.00% |

b) 運行時間短縮便益

1日のドライバー(車両)の運行業務より運転時間および

折返し時間を調べた結果、平均運転時間は 31.4 分、平均折返し時間は 15.0 分であった。

定時性の向上によって変動する費用は、時間比例費と車両費のみであるため、距離比例費 (11.8%) と固定費 (14.3%) は一定であり、定時性向上後の運送費は、以下の算定式で算出する。

$$\begin{aligned} & \text{定時性向上後の運送費 (\%)} \\ & = \text{距離比例費 (11.8\%)} + \text{固定費 (14.3\%)} \\ & \quad + \text{時間比例費 (定時性向上後の割合)} \\ & \quad + \text{車両費 (定時性向上後の割合)} \end{aligned}$$

定時性が向上後の総費用は定時性向上前の総費用を 100% としたとき、92.8% となり 7.2% の削減が期待できることが分かった。(表 5)

表 5 定時性向上前後での運行経費の比較

| | 時間比例費 | 距離比例費 | 車両費 | 固定費 | 運行費用 |
|--------------|-------|-------|------|-------|--------|
| 定時性向上前の費用の割合 | 65.4% | 11.8% | 8.4% | 14.3% | 100.0% |
| 削減率 | 9.7% | 0.0% | 9.5% | 0.0% | 7.2% |
| 定時性向上後の費用の割合 | 59.1% | 11.8% | 7.6% | 14.3% | 92.8% |

(3) 定時性向上による事業者便益

a) 利用者増加による事業者便益

(1) より定時性が向上した場合、利用者の増加率は 1.8% であることが分かった。利用者の増加は、運送収入の増加であり、これが事業者便益となる。これを定量的に示すと以下のように算出される。

$$\begin{aligned} & \text{定時性向上による乗客増加がもたらす事業者便益} \\ & = \text{定時性向上によるバス利用者増加の割合 (1.8\%)} \\ & \quad \times \text{運送収入 (1,682,310,000 円)} \\ & = 30,281,580 \text{ 円} \end{aligned}$$

表 6 収入の内訳

| | |
|-------|--------|
| 運送費 | 92.7% |
| 一般管理費 | 7.0% |
| 営業外費用 | 0.3% |
| 合計 | 100.0% |

また、表 6 より収入のうち運送収入の割合は 97.8% にも上る。したがって、運送収入となる乗客の増加は、事業者収入に大きな影響を与える。

b) 運行時間短縮による事業者便益

(1) より定時性向上後の運行費用は 7.2% の削減できることが分かった。したがって定時性向上による運行時間短縮便益は以下のように算出される。

表 4 より、運行経費のうち時間変動費の占める割合は 73.9% であることから、定時性向上によって大幅な運行経費の削減が期待できる。

5. まとめと今後の課題

バスの運行定時性の向上は、停留所での待ち時間を減少させ、利用者には待ち時間短縮の効果があることを定量的に示した。また、バス事業者においては、定時性の向上はサービスレベルの向上につながり利用者の増加が見込めることが分かった。さらに、運行時間の短縮にもつながることから、運行経費の削減も期待できることを定量的に明らかとした。

今後の課題としては、バスの遅れと利用者の到着時刻の関係について調査・分析を進め、より多くのサンプルを確保し、モデルの精度を向上させることが必要である。また、実際に定時性向上のための施策の導入についての具体的な検討と、その費用と効果を評価することが今後の課題となる。

なお、本研究は、「都市部におけるバス交通のあり方に関する研究会」(中村文彦委員長、(財)道路経済研究所)での研究の一部である。

【参考文献】

- 1) 中川大・天野光三・戸田常一: バス交通を主体とした都市公共交通網の利便性評価に関する研究, 日本都市計画学会学術研究論文集, 1990
- 2) 頭河正信・高野伸栄・萩原亨: バス運行データを用いた路線バス運行評価に関する研究, 土木計画学研究・講演集 / No.21(2), 1998
- 3) 佐野可寸志・松本昌二・野沢徹・尾羽根幸: 交通シミュレーションモデルを用いたバス優先施策評価, 土木計画学研究・論文集 No.17, 2000
- 4) 国土交通省道路局: 時間価値原単位および走行費原単位, 平成 15 年