

LRT に接続する端末バスの遅れ時間の変化が LRT 利用者数に与える影響に関する研究

大竹秀樹¹・小金将輝²・長田哲平³・大森宣暁⁴・森本章倫⁵

¹正会員 宇都宮市役所 都市整備部都市計画課 (〒320-8540 栃木県宇都宮市旭1-1-5)
E-mail:u1201@city.utsunomiya.tochigi.jp

²学生会員 宇都宮大学大学院 工学研究科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)
E-mail:mt146416@cc.utsunomiya-u.ac.jp

³正会員 宇都宮大学大学院助教 工学研究科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)
E-mail:osada-teppe@cc.utsunomiya-u.ac.jp

⁴正会員 宇都宮大学大学院教授 工学研究科 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)
E-mail:nobuaki@cc.utsunomiya-u.ac.jp

⁵正会員 早稲田大学理工学術院教授 社会環境工学科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)
E-mail:akinori@waseda.jp

現在、栃木県宇都宮市は、2019年度中の運行開始を目指しLRT (Light Rail Transit) 導入計画を進めている。これに先立ち、既往研究としてLRT利用者数の推計が行われて来た。

しかし、これらの推計では、徒歩利用圏 (LRT電停から500m圏) のみを対象に行われ、端末バスからの乗継によるLRT利用を考慮していない。今後の公共交通網の再編を想定すると、LRTに接続する端末バス、LRTと競合する路線バス、双方の所要時間の不確実性を考慮し利用者推計をすることが必要である。

そこで本研究では、従来の推計方法に加え、乗継と遅れ時間の変化を考慮することで、より実態に則したLRT利用者数の推計を行うことを目的とする。分析結果として、端末バスからLRTへの乗継利用を考慮した利用者の算出をすると同時に、バスの遅れ時間の変化に伴うLRT利用者数の変化を示した。(340/350)

Key Words : Light Rail Transit, BUS, Public transport, Delay time

1. はじめに

(1) 研究の背景・目的

近年、多くの地方都市は、モータリゼーションの進展に伴い、市街地の拡散や中心市街地の衰退などの自動車依存型社会における様々な都市問題を抱えている。また、公共交通の利便性やサービス水準が低下しており、今後の更なる高齢化に伴う移動制約者のモビリティの確保の面で不安が残る。

このような都市問題に対して、欧米を中心に LRT (Light Rail Transit) の導入が進んでいる。わが国においても LRT 導入の機運が高まっており、数多くの都市において導入計画が持ち上がっている。その中で、20 年来議論がなされている栃木県宇都宮市では、LRT 導入に向けて本格的に動いており、自動車依存からの脱却を図るための公共交通ネットワークの実現を目指している。このように公共交通をシステムとして整備する必要性は年々増しており、単なる輸送手段にとどまらず都市構造を支える存在として注目されている。

一方で、地方都市における公共交通の中心であるバスについては、年を追うごとに利用者数やサービス水準の低下が進んでおり、特に三大都市圏以外の地方部での落ち込みが著しくなっている。地方部で

は、昭和 60 年に 34 億人であったバスの輸送人員は、平成 20 年には 17 億人と半数にまで落ち込んでいる。この様にバスの利用が低下している要因の 1 つとして、所要時間の不確実性が挙げられる。バスのように出発時刻や到着時刻が不正確な交通機関を利用する場合には、予め遅れ時間を考慮して利用する便を選択する必要がある。場合によっては利用者が自宅からの出発時刻を早める必要がある。これは、目的地までの移動に要する所要時間を増加させている一因であり、公共交通の利便性を低下させる 1 つの例である。通勤や通学目的の公共交通の利用者にとって、交通機関を選択する上で所要時間は重要な要素である。このことから、バスのように定時性の確保が難しい交通機関においては、理想的な運行状態を想定するのではなく、不確実な運行状態を考慮しておく必要がある。

以上より、本研究では、不確実なバスの運行状態を考慮し、定時性が担保された運行状態である LRT への乗継による LRT の利用者数の推計を行うことを目的とする。

特に、本研究は、乗継の対象とする公共交通として、LRT の電停に接続する端末バスを対象とする。

(2) 既存研究と本研究の位置づけ

宇都宮市の LRT 導入計画とその利用者数推計に関する研究として、青柳ら¹⁾は、SP 調査を基に非集計分析を行い、目的別の交通手段選択モデルを構築することで、LRT の持つ定時性が交通手段選択に及ぼす影響が大きいことを明らかにした。また、中井ら²⁾は、LRT 電停から半径 500m を LRT 利用者の基本利用圏域（徒歩における LRT 利用者の圏域）とし、LRT 沿線の住宅・商業床面積等の土地利用特性や人口指標を用いた基本利用圏域内における LRT 需要予測のための簡易モデルの構築を行っている。また、LRT 導入に伴う効果に関する研究として、鈴木³⁾は、富山ライトレールを対象に LRT 導入による土地利用の変化を時系列に分析し、LRT 導入が都市の集約化にどの程度寄与するか検証した。その結果、電停及び鉄道駅周辺の人口は相対的に増加しており、地価の下落にも歯止めがかかっていることを明らかにした。

公共交通の乗継に関する研究として、柴田ら⁴⁾は、複数の都市間幹線交通機関を組み合わせる利用する混合経路の存在に着目し、旅客需要に与える影響等を適切に考慮した経路選択モデルを開発している。路線バスの不確実性の評価としては、佐野ら⁵⁾は、バス利用者に対するアンケート調査から待ち時間推定モデルを構築し、定時性向上による事業便益の評価を行っている。

これまでの LRT 導入における LRT の利用者数の推計では、基本利用圏域のみを対象に行われており、他の交通機関からの乗継利用は考慮されていなかった。また、乗継に関する研究ではバスなどが定刻通り発着する理想的な運行状態を想定しており、所要時間の増加などの遅れ時間の不確実性は考慮されてこなかった。

以上のことから、本研究では、これまで基本利用圏域を対象として行われていた LRT の利用者数の推計に加えて、LRT の電停に接続するバス（端末バス）からの乗継による LRT 利用者数の推計を行う。LRT 利用者数の推計においては交通機関選択の際に、バスの遅れ時間を変化させて LRT 利用者数の感度分析を実施している。これらの遅れ時間を考慮することで、より現実に近い LRT 利用者数の推計を試みている点を本研究の新規性とする。

2. 研究対象と分析に用いたデータ

(1) 宇都宮市の LRT 導入計画の概要

宇都宮市では、全線新設の LRT 導入ルートが計画されている。従来計画による LRT 導入ルートは、JR 宇都宮駅から西側に約 3km、東側に約 12km の総延長約 15km であり、電停数は 25 ヶ所である。そのうち P&R や C&R などの他の交通機関との接続機能を持つトランジットセンターは 8 ヶ所である。

宇都宮市の新たな東西の基幹公共交通軸として位置づけられ、渋滞の解消や他の公共交通との円滑な

連携が期待されている。

なお、平成 25 年 3 月に、JR 宇都宮駅東側の 12 km のルートが優先整備区間とすることが発表された。

(2) 分析の対象とする端末バス路線

本研究では、優先整備区間である JR 宇都宮駅東側の約 12km の LRT 路線を対象とする。LRT が導入された場合に、LRT 利用者は、電停までの端末交通手段として、徒歩、自転車、端末バス、自動車を利用して LRT へ乗継する方法が考えられる。

この中から、本研究では、徒歩による LRT の利用、LRT に接続する端末バスからの乗継による LRT の利用を想定し、LRT の利用者数の推計を行う。

なお、端末バスでは、JR 宇都宮駅東側において、宇都宮市が定めた B&R 施設計画に基づく乗継電停や将来の公共交通網をもとに、想定した 5 つの路線を対象とする。（図-1）

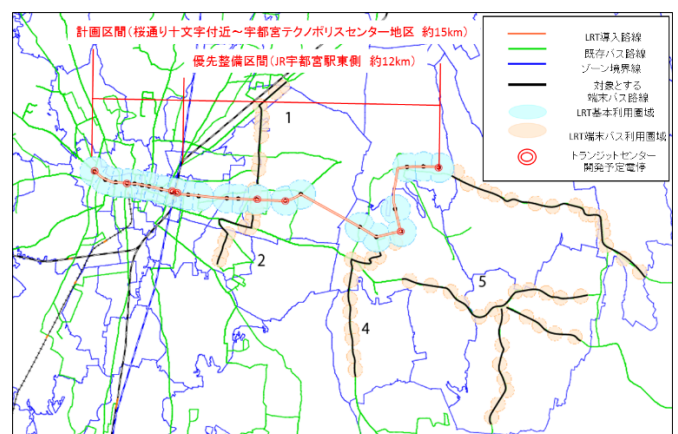


図-1 LRT 導入ルートと分析する端末バス路線

(3) LRT 利用者数の推計に用いるデータ

本研究では、LRT 利用者数の推計において、宇都宮都市圏パーソントリップ調査（平成 4 年実施）及び、宇都宮交通機関利用意識調査（平成 13 年実施）によって得られた各種関数のパラメータを用いる。

また、推計した LRT 利用者数の妥当性の確認にあたっては、平成 15 年に宇都宮市が作成した新交通システム導入基本計画策定調査の報告書⁶⁾に記載されている需要予測の結果を参照する。

(4) バスの遅れ時間の実態調査

本研究では、現状におけるバスの運行状況を把握するために、バスの遅れ時間の実態調査を行った。

調査は、公共交通としてバスが主な交通機関であり、将来、LRT 路線と並行し競合する国道 123 号線のバス路線を対象とした。（表-1）

調査方法は、バス路線上の 4 か所のバス停において、ピーク時（7:00~9:30）、オフピーク時（11:30~14:00）のバスの出発時刻を上下方向別に記録し、各バス停の時刻表と比べて早発・遅発の状況を調査した。

なお、ここでバスの遅れ時間とは、式（3.1）に示すように実際にバス停に到着した時刻と運行ダイヤの時刻との差分である。

$$(\text{遅れ時間}) = (\text{到着時刻}) - (\text{到着予定時刻}) \quad \dots (3.1)$$

表-1 バス運行の実態調査の概要

調査バス停	宿郷中, 宇大前, 工学部前, 鍔山河原
調査日時	2014年8月26日(月)
ピーク時設定	ピーク時: 7:00~9:30 オフピーク時: 11:30~14:00
回収データ数	遅れ時間: 316個(ピーク時: 169個 オフピーク時: 147個) 待ち時間: 162人分

3. LRT の利用者数の推計

(1) 発生・集中交通量の算定方法

本研究では、発生・集中量を算定するにあたり圏域を設定している。圏域は、基本利用圏域と端末バス利用圏域とする。基本利用圏域を LRT 電停から半径 500m 以内とし、端末バス利用圏域を端末バスのバス停から半径 250m 以内とする。この 2 つの圏域について、1995 年～2010 年（5 年ごと）の国勢調査における居住人口や各種就業・従業人口を用いて、2020 年を目標年次として推計している。

(2) 交通機関別の分担交通量の算定方法

交通機関別の分担交通量の算出にあたっては、宇都宮都市圏パーソントリップ調査から得られた集計ロジットモデル、及び交通機関利用意識調査による非集計モデルから得られたパラメータを用いた集計ロジットモデルを用いて 2 段階で行う。

第 1 段階として、集計ロジットモデルを用いて、その他の交通機関と自動車・公共交通に分ける。集計ロジットモデル(4.1)では、各交通機関の効用(4.2)を算出し、各交通機関の分担率を算定する。なお、本研究では、その他の交通機関と自動車・公共交通の 2 つに大別する場合、二項選択ロジットモデル(4.3)を用いている。

第 2 段階として、交通機関利用意識調査の非集計モデルから得られたパラメータを用いた集計ロジットモデルによって、自動車・公共交通を LRT・自動車・バスの 3 つに分ける。モデルに用いるパラメータは表-3 に示すように LRT・自動車・バスの交通手段それぞれについてアクセス時間や乗車時間、運賃等が設定されており、これらを用いて各交通機関の分担率を算出する。

これらの 2 段階を経て算出した交通機関別の分担率を全手段の OD 交通量に乗じて LRT の交通量を求めている。この LRT の交通量が、LRT の利用者数である。なお、第二段階目の集計ロジットモデルでは、端末バスからの乗継を考慮できるように新交通端末合成変数（各アクセス交通やイグレス交通にバスを用いた場合の効用を合成したもの）を採用している。

(3) 集計ロジットモデルへの遅れ時間の反映

第 2 段階目の集計ロジットモデルでは、自動車と路線バスの効用を示す説明変数の 1 つに「遅れ時間」がある。

遅れ時間は、表-3 に示すように、T 値が他の説明変数と比べて最も高いことから、LRT と競合する自動車・バスの効用には「遅れ時間」の影響が強いことが分かる。また、その係数がマイナスであることから、遅れ時間が増加することにより自動車・バスの効用は減少する。

$$P_m = \frac{\exp(V_m)}{\sum_{m=1}^M \exp(V_m)}, (m = 1, \dots, M) \quad \dots (4.1)$$

$$V_m = \sum_k a_k X_{km} \quad \dots (4.2)$$

$$P_m = \frac{1}{1 + \exp(V_m)} \quad \dots (4.3)$$

P_m : 交通機関 m の分担率
 m : 交通機関 ($m = 1, \dots, M$) V_m : 交通機関 m の効用
 a_k : パラメータ X_{km} : 交通機関 m の説明要因 (時間・運賃等)

表-2 非集計モデルから得られたパラメータ値 (一部抜粋)

目的	代表交通手段	定数項 (a0)	新交通端末合成変数 (a1)	アクセス時間+待ち時間 (a2)	待ち時間 (a3)	乗車時間 (a4)	遅れ時間 (a5)	新交通乗換回数 (a6)	費用 (a7)
通勤	新交通		0.2717 (2.9100)		-0.0450 (-2.26)	-0.0129 (-2.76)		-0.1041 (-1.50)	-0.0108 (-8.25)
	自動車	0.1751 (1.25)				-0.0129 (-2.76)	-0.0400 (-9.04)		-0.0108 (-8.25)
	バス	-1.0065 (-7.20)		-0.0450 (-2.26)		-0.0129 (-2.76)	-0.0400 (-9.04)		-0.0108 (-8.25)

※ () は T 値

出典：新交通システム導入基本計画策定調査⁶⁾

(4) LRT 利用者数の算出結果

図-2 は基本利用圏域において、通勤・通学・私事・帰宅・業務からなる全目的の LRT 電停間の発生・集中交通量である。

2020 年を目標年次とし、基本利用圏域内の LRT 利用者数を求めると 4,524 人であり、「今泉町」、「東宿郷」、「ベルモール前」周辺での利用者が多くなっている。また、端末バスからの乗継による LRT 利用の全目的からなる LRT 電停間の発生・集中交通量を図-3 に示す。端末バスとの乗継場所であるトランジットセンターは、「ベルモール前」、「清原管理センター前」、「テクノポリス東」の 3 箇所へ設定している。この 3 つのトランジットセンターでは、「ベルモール前」での利用者が最も多い。端末バスからの乗継利用による LRT 利用者は 1,450 人であり、徒歩利用と合わせて 5,974 人の LRT 利用者が見込まれる。(図-4)

なお、図-2、図-3、図-4 での利用者数の算定では、バスの遅れ時間を一律に平均 2.3 分として算出をしている。これは新交通システム導入基本計画策定調査⁶⁾で用いている遅れ時間の平均値である。

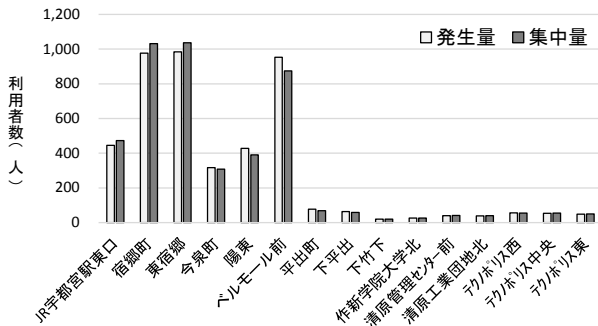


図-2 徒歩による LRT 利用者数

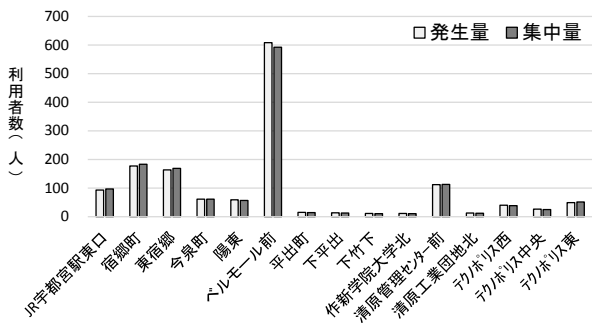


図-3 端末バス利用による LRT 利用者数

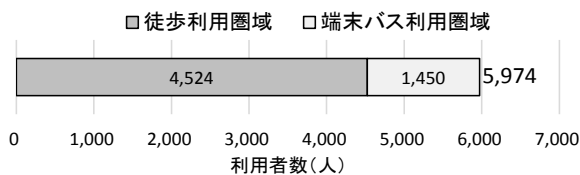


図-4 徒歩と端末バス利用による LRT 利用者数

(5) 遅れ時間の変化に伴う LRT 利用者数の変化

本研究では、競合する路線バスの遅れ時間を対象とし、実際の実態調査から得た遅れ時間を反映させるとともに、その値を変化させることで、LRT 利用者の変動を比較していく。競合する路線バスの遅れ時間及び、端末バスの遅れ時間を 0 分から 10 分の間で 2 分間ごとに变化させ、競合するバス路線のバスのみの遅れ時間を変化させた場合、端末バスのみの遅れ時間を変化させた場合の 2 つのシナリオで LRT 利用者数の感度分析を行った。

この結果、競合する路線バスの遅れ時間が増加するほど、LRT の利用者数が増加する。それに対し、端末バスの遅れ時間が減少するほど、LRT の利用者数が増加するという結果を得た。(図-5)

これは、競合する路線バスの遅れ時間が増加することで、定時性が担保された LRT を利用しようとする人が増加することを意味している。また、端末バスは、LRT 電停までのアクセスに利用されることから、遅れ時間が減少することで、LRT の利用しようとする人が増加することを意味している。

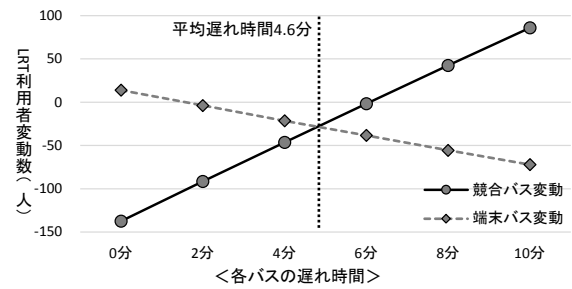


図-5 遅れ時間変化に伴う LRT 利用者の変動

4. 得られた知見と今後の課題

本研究では、徒歩による LRT 利用と端末バスから乗継による LRT 利用者数の推計を行った。その結果、徒歩と端末バスを利用した LRT 利用者は、延べ 5,974 人と推計できた。これは、新交通システム導入基本計画策定調査⁶⁾における徒歩による利用者数 (5,400 人) とほぼ同程度であることからおおむね妥当だと考える。

また、LRT と競合する路線バス及び LRT に接続する端末バスの遅れ時間を変化させた、LRT 利用者数の感度分析では、バスの遅れ時間が LRT 利用者数に影響を与えることを定量的に示した。特に、端末バスの遅れ時間が生じた場合には、LRT 利用者数の低下を招く可能性があることも示唆できた。

今後の課題として、より多くの人に LRT を利用してもらうためには、他の交通機関との連携を強化することが重要である。今回対象とした端末バスからの乗継利用による利用圏域に加えて、JR 宇都宮駅西側の区間、宇都宮市と隣接する真岡市、LRT 延伸案が検討されている芳賀町・高根沢町の芳賀・高根沢工業団地など計画路線を広げる際にも乗継利用を考え他の交通機関との連携を重視する必要がある。また、利用者数の推計においては、本推計で対象とした徒歩利用と端末バスからの乗継利用に加え、自転車による C&R、自動車による P&R や K&R などを見込んで LRT 利用者の推計を行うことで、より現実的な利用者数を推計できると考えられる。加えて、今回用いたデータが平成 4 年宇都宮都市圏パーソントリップ調査及び、平成 13 年宇都宮交通機関利用意識調査であるため、より正確な利用者数推計にはデータ更新が不可欠である。

なお、本論文は主著者が宇都宮大学大学院在学中の平成 26 年度時点での状況を基に、大学が独自に調査研究を行ったものであり、宇都宮市の公的な政策検討と連動していない。LRT 整備路線はその後、再検討されて芳賀町へ約 3km 延伸され、平成 27 年 7 月時点で全体計画区間は約 18km となっている。LRT 利用者数による需要推定についても、平成 26 年度に実施された県央広域都市圏生活行動実態調査に基づく新たな推計値が公表されている。

【参考文献】

- 1) 青柳篤史, 古池弘隆, 森本章倫:「SP 調査を用いた LRT の需要予測に関する研究」 第 30 回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, CD-ROM, 2003
- 2) 中井秀信, 森本章倫, 清水靖史:「LRT 沿線エリアの土地利用特性からみた交通需要予測に関する研究」, 交通工学研究発表会論文報告集 Vol.27, 2007
- 3) 鈴木一将:「LRT 導入による沿線の土地利用変化に関する研究」 宇都宮大学大学院工学研究科博士課程前期学位論文
- 4) 柴田宗典, 奥田大樹, 鈴木崇正:「交通機関の乗継を考慮した幹線鉄道の需要予測モデル」 鉄道総研報告書, RTRI REPORT Vol.28, No.4, Apr.2014
- 5) 佐野可寸志, 須賀由美子, 松本昌二:「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」, 交通工学研究会論文報告集 Vol.25, 2005
- 6) 栃木県宇都宮市: 新交通システム導入基本計画策定調査, 2003