

# LRTの輸送力変化が需要予測に 与える影響に関する研究

大久保 光造<sup>1</sup>・森本 章倫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 早稲田大学大学院 創造理工学研究科建設工学専攻 (〒169-0072 東京都新宿区大久保3-4-1)

E-mail: kozo-o.0407@akane.waseda.jp

<sup>2</sup>正会員 早稲田大学 理工学術院 教授 (〒169-0072 東京都新宿区大久保3-4-1)

E-mail: akinori@waseda.jp

現在、LRTは郊外鉄道への乗入れや、バリアフリーデザイン、優れた速達性、他の交通機関と連動性を持たせる等の様々な機能を有し、注目を浴びている。LRTは中量輸送機関としては一定規模を持つ一方で、我が国におけるLRTの1時間当たり輸送力は3,000人から20,000人と大きな幅となっている。運行頻度や車両形態によってLRTの輸送力には大きな幅があり、設定した輸送力自体が需要予測に影響を与える可能性も考えられる。しかしながら、LRTの輸送力の算出方法は未だに不明瞭であり、どの程度需要予測に影響を与えるかがわかっていない。そこで、本研究ではまずLRTの運行状況、性能、速度等の様々な要因とともに変化する輸送力の算出方法を示す。分析の結果、輸送力の変化が、LRTの需要予測に一定の影響を与えることを定量的に明らかにした。

**Key Words :** LRT, Transportation capacity, For steps method

## 1. はじめに

### (1) 背景・目的

現在、日本の多くの都市では過度に自動車に依存し、交通渋滞や環境の悪化だけでなく多くの都市問題が生じている。特に地方都市では市街地のスプロール化が進み、都市機能が広域に分散するとともに中心市街地の衰退を引き起こしている。このような問題に対して欧米の先進諸都市では、都市部での車の利用を抑制し、新たな都市内交通手段としてLRT (Light Rail Transit) の導入が進んでいる。宇都宮<sup>1)</sup>によると1978年以降の新設LRT数は現在まで増加し、2008年末時点では111都市に達している。世界各地でLRTが注目を浴び続けているのは、地下鉄よりも低コストで、工期が短くて済み、路線バスのように一般車の影響等に伴うサービス水準の低下がない等の理由が挙げられる。しかし一方で、地方都市の低密な市街地により、LRTの新規導入に際して十分な採算性が確保できない等の経済的問題も指摘されている。そのため、地域住民との合意形成が取れず、日本国内でLRT導入が実現したのは富山市のみとなっている。

このような状況から、国土交通省は2005年度から「まちづくりと一体となったLRT導入計画ガイドランス」を策定し<sup>2)</sup>、LRT導入を地方公共団体に促している。この中

で、円滑な実現を図るための工夫として、透明性の高い需要予測と、官民連携を見据えた経営採算見込みの検討を挙げている。また導入検討時に、需要予測に見合った輸送力の確保の視点で、LRTかBRTかといった論争も各地でみられる。しかし、運行頻度や車両形態によってLRTの輸送力には大きな幅があり、設定した輸送力自体が需要予測に影響を与える可能性も考えられる。

よって本研究では、LRTの運行状況、性能、速度と様々な要因とともに変化する輸送力の算出方法を示す。さらに、それらの輸送力の変化がLRTの需要予測にどのような影響を与えるかを把握する事を目的とする。

### (2) 既存研究の整理と本研究の位置付け

我が国でも海外事例の紹介とともに、LRTの導入可能性を探る研究が多くなされている。その中でも導入時に大きな課題となる採算性については、いくつかの研究実績がある。野村ら<sup>3)</sup>は、LRTの沿線人口に着目し採算性を検討し、最低で約20人/haの利用密度があれば導入可能としている。同様に横山ら<sup>4)</sup>は、常磐新線をケーススタディとし、LRTを端末交通機関とした場合、導入のためには成熟した段階において導入することで採算性が取れることを示した。松橋ら<sup>5)</sup>は、駅勢力圏人口が高密度であれば運行採算性が確保できることを明らかにし

た。そして遠藤ら<sup>9)</sup>は、沿線人口密度とピーク時表定速度の変化という視点から採算性を検討し、DID人口密度が70ha以上の都市にて表定速度を24km/hまで上げることが可能となり、事業の赤字幅が大幅に減少することを示している。これらの一連の研究は、沿線人口がLRTの採算性に影響を与えることを示している。

また、LRTの需要予測についても様々な視点から研究が行われている。例えば、中井ら<sup>7)</sup>は需要予測において、比較的データ入手が容易な土地利用、人口指標に着目し、簡易的に需要予測出来るモデルの構築を行い、青柳ら<sup>8)</sup>はSP調査をもとに非集計分析を行い、構築した交通手段選択モデルを用いて需要予測を行っている。また、円山ら<sup>9)</sup>は人口減少と少子高齢化が公共交通機関に与える影響を検討し、コーホート法を用いた人口予測を行い、交通需要予測を行っている。これらの研究では、交通量データの少ないLRTに対して、様々な視点から需要予測を行う手法が提案されてきた。

一方で、LRTの基礎的能力や輸送能力に関する研究はあまり見られない。そこで、他の公共交通機関に目を向けてみると、矢部<sup>10)</sup>はBRTの計測手法に関する論点、及び評価の考え方を整理した上で、パフォーマンス指標の計測・評価の方法論について明らかにし、中村<sup>11)</sup>は、幹線バス輸送の可能性と限界を議論する基礎的な土台の整理を行った。

このように、LRTの採算性や、様々な視点からの需要推計の方法は検討されてきた。しかしながら、BRTや鉄道のような他の公共交通機関ではなされている、車両・システムそのものの基礎的能力や輸送力に関するLRTの研究はまだ数少ない。需要予測を行うに当たって、LRTそのものの輸送力は重要なファクターになっている。そのため、LRTの輸送力算出に与える各種要因を体系的に整理した上で、輸送力の変化がLRT利用者の需要推計に与える影響を明らかにする。

### (3) 研究手順

本研究ではLRTの輸送力に与える影響を選出し、それぞれの要因がLRTの需要数推計にどの程度の影響を与えるかの感度分析を行った。

研究の手順は、まずLRTの輸送力に与える影響を分析する。そして、輸送力の変化がどのように影響を与えるのかを四段階推定法の枠組みで検討し、予測モデルを構築する。最後にケーススタディとして宇都宮市のLRT導入計画に上記のモデルを当てはめ、輸送力の分析、LRT利用者需要推計の変化の考察を行う。

## 2. LRTの輸送力に影響を与える要因

### (1) 日本のLRTの輸送力

LRTの1時間当たり輸送力に関して記載してある文献を調べると、調査書や研究によって1時間当たりの輸送力は3,000人から20,000人まで大きな幅があることがわかる(図-1参照)。

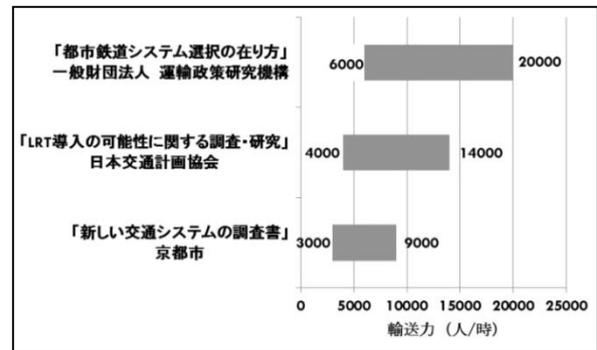


図-1 研究・調査書による輸送力 (人/時) <sup>12), 13), 14)</sup>

### (2) 日本と海外での各制限の比較

我が国では、LRTは道路上に線路を敷設するため、法的には軌道として扱われる。道路上を走行する事が想定されている軌道は、目視による運転が認められる等、より簡易なシステムが認められる反面、軌道法により最高速度(40km/h)や車体長(30m)が厳しく制限されている。世界中でLRTが導入がされている都市と比較してみても、最高速度がヨーロッパでは80km/h(地区によっては90km/h)、中国では70km/hであり、編成長制限もヨーロッパでは70m、中国には制限がない等と、日本の制限は他国と比較して厳しい基準となっている。

### (3) 輸送力に及ぼす要因

LRTの輸送力に影響を与えるのは乗車定員などのLRT車両の性能から運行間隔といった運行状況、あるいはスムーズな乗降が影響を与える表定速度などが挙げられる。参考として、BRTの輸送力の算定の際に検討される要因<sup>10)15)</sup>から、LRTに適用可能なものを抜き出したものが図-2である。

図-2を見ると輸送力の増加と直接的に比例関係にある要因と、間接的な関係にある要因があることがわかる。例えば、直接影響を与えると考えられるのは、乗車定員と運行間隔である。乗車定員が10%増加した場合と、運行間隔10%短縮した場合それぞれ輸送力が10%増加することが考えられる。

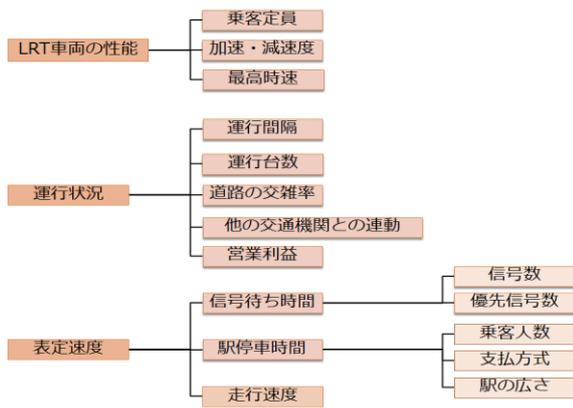


図-2 LRTの輸送力算出に影響を与える要因

**(4) 表定速度の算定**

表定速度も輸送力変化に間接的に関わってくると考えられる。具体的には表定速度が速くなることで、輸送頻度を増加させることができ、一日単位での輸送力が増加する。表定速度の算定方法を以下に示す。

$$s = \frac{L}{T} \dots (1)$$

$$T = t_v + t_s + t_r \dots (2)$$

- s: 表定速度(km/h)
- L: 営業キロ(km)
- T: 総所要時間(s)
- t<sub>v</sub>: 走行時間(s)
- t<sub>s</sub>: 駅停車時間(s)
- t<sub>r</sub>: 赤信号停車時間(s)

(i) 走行時間の算出

走行時間の算出では、最高時速（日本国内では軌道法により 40km/h）までの到達の時間と最高速度から停車までの時間と、最高速度での走行時間を足し合わせた。

$$t_v = \frac{v}{a} + \frac{v}{d} + \frac{3600l - \left(\frac{0.5v^2}{a}\right) - \left(\frac{1-0.5v^2}{d}\right)}{v} \dots (3)$$

- v: 時速(km/s)
- a: 加速度((km/h)/s)
- d: 減速度((km/h)/s)
- l: 駅間距離(km)

(ii) 駅停車時間の算出

乗降客 1 人当たりが乗降に要する時間は、宇都宮ら<sup>16)</sup>の研究より 3 秒と設定した。また、車両のドア数を増やすことで、乗り降りの時間を短縮することができる。

$$t_s = \frac{3n}{d_n} \dots (4)$$

- n: 乗降者数(人)
- d<sub>n</sub>: ドア数

(iii) 赤信号時間の算出

赤信号停車時間の算出では赤信号停車時間と赤信号による減速時間を足し合わせた。赤信号による減速時間は、停車するために減速しながら走る時間と、停車後に再度最高時速に戻るまでの時間を足し合わせたものを算出し

た。日本の路面電車が赤信号で停車する確率は、宇都宮ら<sup>16)</sup>の研究から 0.267 と設定した。また、日本の路面電車（岡山、熊本、長崎、高知、広島）の 20 区間で計測された赤信号 1 回あたりの停車時間の平均を算出した数値を使用した。

$$t_r = 0.267(35.49n_r + t_{los}) \dots (5)$$

- n<sub>r</sub>: 赤信号数
- t<sub>los</sub>: 赤信号による減速時間(s)

**(5) 表定速度が輸送力に与える影響**

次に、表定速度が輸送力に影響を与える式を示す。表定速度の変化は主に 1 日の運行本数に影響を与える。表定速度が上昇すれば同一車両での 1 日の運行本数を増加させることが出来、運行頻度の向上につながる。

$$C_m = m \times i \times p \dots (6)$$

$$i = \frac{2S}{L} \dots (7)$$

ただし、 $m \leq \frac{1}{r}$

- C<sub>m</sub>: m 車両の輸送力(人/h)
- i: 運行頻度(本/h)
- p: 乗客定員数(人)
- r: 運行間隔(h)

この式から、表定速度が 10% 上昇すると輸送力は 10% 上昇することがわかる。しかし、運行間隔に対して十分な車両台数がある場合は、表定速度による輸送量の変化は少ない。

**3. 宇都宮市の LRT でのケーススタディ**

**(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 導入が計画されており、宇都宮市の東西を結ぶ基幹交通機関として 2019 年度開業に向けて検討が続いている。2014 年時点で、総延長約 15.3km、電停数 24 であり、B&R や P&R といったトランジットセンターが駅前や大型商業施設付近に 8 つ配置することも計画されている。導入ルートは図-4 のようになっている。なお、全国有数の自動車依存型社会である宇都宮市では、LRT 導入による中心市街地の活性化、交通事故削減、交通渋滞解消などへの期待は大きいと言える。

**(2) 需要推計にあたって諸条件**

今回 LRT 利用者の推計には四段階推定法を採用し、OD データ作成には第 2 回宇都宮都市圏パーソントリップ調査(1992)を用いた。ケーススタディでは輸送力の変化による需要推計の変化を見るため、LRT の全目的交通量を推計する。また、平成 14 年度宇都宮都市圏 PT 報告書<sup>18)</sup>から発生・集中交通モデル、重力モデルのパラメ

ータを使用する。その際、電停から半径 500m 以内を基本利用都市圏と設定し、その基本利用都市圏内の人口指標と土地利用面積を用いて推計を行う。さらに、宇都宮市で平成 12 年に行われた交通意識調査（サンプル数：2138）から作成した非集計モデルを用いて、機関別交通分担交通量を予測する。なお、需要予測を行った際の LRT の基本条件を表-1 に示す。

また、加速度、減速度、最高速度、信号数、駅間距離を表 1 のように設定し、表定速度の感度分析を行った。最高速度に関しては軌道法により、40km/h と定められているが、専用軌道部分は ATS や鉄道振動に従った運行にて最高速度 60km/h の運行が可能となる。そのため増減率 50% (60km/h) までの分析を行っている。



図-4 宇都宮市における LRT 導入ルート<sup>17)</sup>

表-1 宇都宮市での LRT 導入予定の基本情報

営業キロ(km)	15.2
電停数	24
最高速度(km/h)	40
加速度(km/h/s)	3
減速度(km/h/s)	3
表定速度(km/h)	20
合計信号数	31
ドア数	2
ピーク時運行本数(編成時)	15
オフピーク時運行本数(編成時)	10
一駅の平均乗降数(人/時)	387

(平成 14 年度参照)

**(3) 宇都宮市における LRT 利用者の需要推計**

各電停毎の LRT 利用者を全目的（通勤・通学・私事・業務・帰宅）の発生・集中交通量別にまとめたものが図-5 である。宇都宮市が試算した 2020 年の LRT 利用者予測の結果<sup>18)</sup>は 21,200 trip 数/日であり、本研究で算出された利用者数は 18,254 trip 数/日と若干少ない値となった。これは本研究で行った需要推計では、P&R や、

B&R, C&R, また鉄道からの乗換数を算出せず、LRT 利用者は徒歩圏内（500m）と限定したためである。また、宇都宮市と本研究での人口推計方法、機関交通分担モデルが多少異なる事も一因である。



図-5 LRT 全目的発生集中 Trip (数/日)

**(4) 表定速度の感度分析**

次に表定速度の感度分析を行う。3章で述べた式(1)~(6)を用いて、表-1の導入予定の基本情報を増減した際の表定速度の変化をグラフに示す。(図-6)

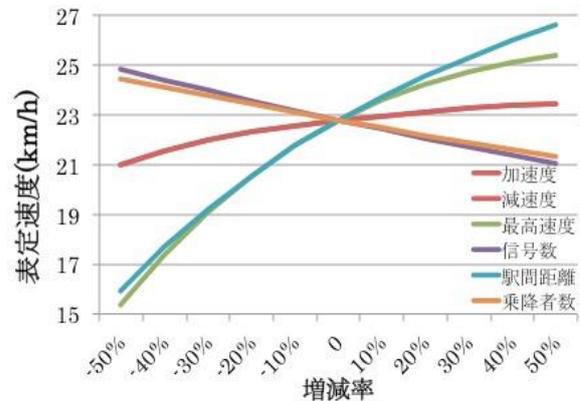


図-6 各要因が増減した時の表定速度の変化

図-6から乗降客数、信号数が増加すると表定速度は減少し、加速度、減速度、時速、駅間距離が増加すると、表定速度は増加することがわかる。広島電鉄の高性能車両 5100 形グリーンムーバーマックスと同等の性能の車両（加速度 3.5km/h/s, 減速度 4.8km/h/s）を導入したとすると、表定速度は 5% 程上昇する。さらに、傾きが一番大きい駅間距離を見ると、40% の増加では 3km/h 増加するが、20% の減少で 3km/h 減少する。一方、傾きが 2 番目に高い最高速度の変化をみると、軌道法による 40km/h 制限が緩和されれば、表定速度を上げることが出来る事がわかる。また、ドア数を変化させた時の評定速度の変化を表-2 に示した。

表-2 乗降扉の変化による表定速度の変化

ドア数	表定速度(km/h)
1	20.0
2	22.8
3	23.9

表-2 からドア数の変化により表定速度が大きく変化することがわかる。ドア数が1つの時と比べて2つで約14%、3つで約19%の増加が見られる。そのためICカード等の積極的な導入により、全てのドアにて乗降が可能になると表定速度が大きく上昇する。

#### 4. 需要予測の変化

##### (1) 表定速度の変化による需要予測の変化

表定速度を変化させて再度需要推計を行った結果を、図-7と表-3に示す。

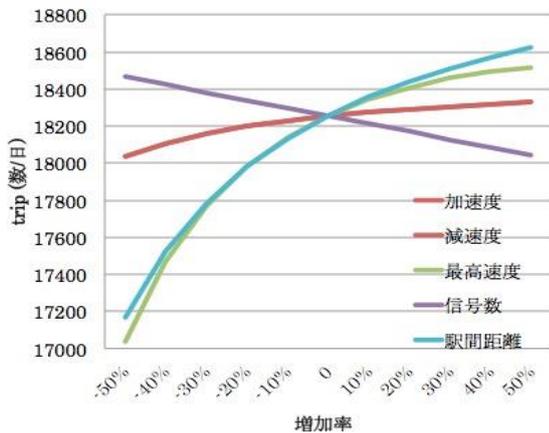


図-7 表定速度の変化に伴う需要予測結果の変化

図-7から、信号数が増加すると trip 数/日は減少し、加速度、減速度、時速、駅間距離が増加すると、trip 数/日は増加することがわかる。一番傾きが大きい駅間距離では、50%の増加で約400trip 数/日の増加が見込まれる。また、車両が5100形グリーンムーバーマックスと同等の性能を有すると、約200trip 数の増加が見込むことができる。一方で、ドア数の変化では、1ドアから2ドアになった際に約250trip 数/日の変化が見られ、乗降時間が需要予測に影響を与えていることがわかる(表-3参照)。

表-3 乗降扉の変化による表定速度の変化

ドア数	Trip(数/日)
1	17905
2	18257
3	18374

以上の結果を、横軸に表定速度(km/h)、縦軸に trip(数/日)をとりまとめた結果を図-8に示す。

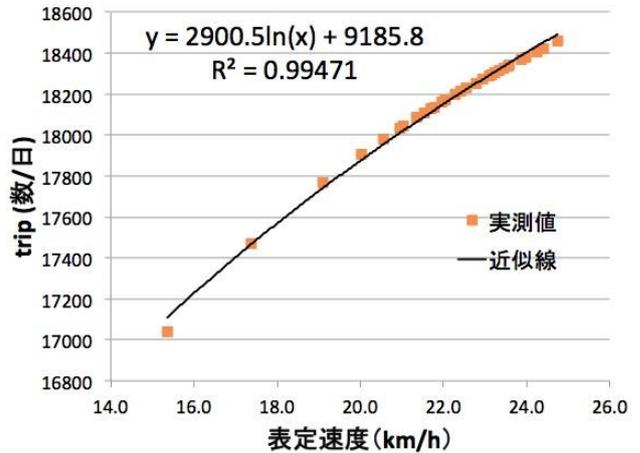


図-8 表定速度の変化に伴う需要予測結果の変化

これを見ると、LRT利用者数 (trip 数/日) と表定速度には比例関係が見られる。今後、LRTの車両性能の向上とともに、適切な走行環境を確保することで、LRT利用者数の増加が見込める。

##### (2) 各国の規制制度に合わせた需要予測結果

各国でLRTの制限速度は異なってくる。今回、宇都宮市のLRT利用者推計において、制限速度が通常区間で50km/h、高架区間で70km/hと設定した。これらと、軌道法における制限速度40km/hを比較したものをまとめたのが表4となる。結果からも分かるように、制限速度が上昇することで需要数は多少の増加をみられるが、その上昇幅はだんだん小さくなっていく。終点駅までの総所要時間では4分程度の短縮がみられるが、同様に上昇幅は小さくなる。ケーススタディとして扱った宇都宮市のLRTの平均駅間距離が約630mと短いため、影響が小さくなっていったと考えられる。

表-4 各国のLRTにおける各制限の比較

最高速度 (km/h)	需要予測結果 (trip 数/日)	総所要時間 (min)
40	18,254	40.04
80	18,538	35.59
通常区間: 50 高架区間: 70	18,517	35.92

## 5. おわりに

本研究では、LRT の輸送力算出方法を示すと共に、それらを組み込んだ LRT 利用者の需要推計を行った。

運行本数や乗客定員が輸送力に直接影響を与えるが、加減速や、最高速度、信号数等も間接的に輸送力に影響を与えることを示し、さらに表定速度の変化にて需要予測が変わることを定量的に示した。これにより、LRT の性能、走行環境を向上させることで、一定程度の需要量の伸びが期待でき、終点駅までの総所要時間のある程度短縮することを示した。

今後の課題としては、最新の PT 調査データの活用や LRT の需要予測の精度向上が挙げられる。特に LRT の端末交通については、変動要素も多いため多様な検討である。また当然であるが LRT 利用者の変動幅は、地域特性に起因する初期条件によって異なる。複数の地域によるシミュレーションが必要である。また、終点駅までの総所要時間の短縮により、どの程度 LRT の交通選択率が変わるかも検討する必要がある。

### 参考文献

- 1) 宇都宮浄人：「海外の LRT の現状とわが国の課題」 IATSS Review Vol.34, No.2
- 2) 国土交通省都市・地域整備局 都市計画課都市交通調査室：「まちづくりと一体となった LRT 導入計画ガイダンス」平成 17 年 10 月
- 3) 野村和宏・森本章倫・古池弘隆：「運行採算性からみた LRT 沿線人口の上限・加減」交通工学研究発表会論文報告集 25, 149-152, 2005-10
- 4) 横山俊介, 林良嗣, 加藤博和：「日本の都市を例とした TOD 導入効果の定量評価に関する基礎的研究」土木学会第 55 回年次学術講演会 IV-324 2000
- 5) 松橋貞雄・市場一好：「幹線鉄道駅の軌道系端末交通手段導入の可能性（ケーススタディ）」土木計画学研究・講演集, No.19(2), pp697-700, 1966
- 6) 遠藤玲・竹田敏昭・古賀一人：「人口密度と表定速度が LRT の事業性に与える影響に関する研究」
- 7) 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」第 27 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.185-188 2007
- 8) 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 2003
- 9) 円山琢也, 室町泰徳, 原田昇, 大田勝敏：「少子高齢化人口減少社会が都市内公共交通機関に与える定量的影響評価」第 36 回日本都市計画学会学術研究論文集, pp541-546, 2001
- 10) 矢部努：「バス輸送システム評価のためのパフォーマンス指標の体系化と計測方法に関する研究」日交研シリーズ A-407 平成 17 年度 若手研究 2006 年 7 月
- 11) 中村文彦：「幹線バスの輸送能力に関する一考察」土木計画学研究・講演集 No.17 1995 年 1 月
- 12) 京都市：「新しい交通システムの調査書」
- 13) 一般財団法人 運輸政策研究機構：「都市鉄道のシステム選択の在り方」
- 14) 日本交通計画協会：「LRT 導入の可能性に関する調査・研究」
- 15) TRANSPORTATION RESEARCH BOARD National Research Council: "Highway Capacity Manual" 2000
- 16) 藤井憲男, 曾田英夫, 宇都宮浄人, 白井誠一, 山田明徳, 小山徹：「路面電車の停車時間の実態調査 一都市交通システムの利便性向上のために一」 1pp.39-46, 2000, 埼玉大学地域共同研究センター
- 17) 宇都宮市 HP <http://www.city.utsunomiya.tochigi.jp/kotsu/shinkotsu/026687.html>
- 18) 栃木県・宇都宮市：「平成 14 年度新交通システム導入基本計画策定調査 システム編 報告書 ～本年度調査編～」平成 15 年
- 19) 栃木県・宇都宮市：「新交通システム導入基本計画策定調査(解析編)資料集」平成 15 年 3 月

(2015 7. 31 受付)

## Study on the Effect of Changing LRT's Transportation Capacity on Demand Forecasting

Kozo OKUBO, Akinori MORIMOTO

LRT has various functions, such as a linking to suburban railways, park and ride, universal design, high punctuality and has been increasing all over the world. LRT has a certain capacity as a medium-capacity transportation system. However, the capacity of LRT has a wide range that is from 3,000 to 20,000 people for a day in Japan. This is because it is changed by number of trams, length of a tram and service. Therefore it is considered that effects of changing capacity on LRT's demand forecasting. LTR's transportation capacity and calculation method is still unclear. The calculation of transportation capacity is one of the most important factors for demand forecasting. So this paper focuses on the factors affecting LRT's transportation capacity, then tries to clarify their effect on LRT's demand forecasting. As a result, this research shows that how the transportation capacity affects demand forecasting.