

単線区間をもつLRTシステムの検討*

A Study of the LRT System That Contains Some Single-track Sections*

芦川 圭**・北村隆一***

By Kei ASHIKAWA**・Ryuichi KITAMURA***

1. はじめに

LRT (Light Rail Transit) は、従来の路面電車とは異なる新しい交通システムであり、まちづくり・バリアフリーなど、今日のような社会的要請に適合した公共交通機関である。そのため、海外では新設や既存の路面電車のLRT化が進んでいる。しかし、日本国内では、既存の路面電車への新型車両(LRV: Light Rail Vehicle)の投入は見られるものの、2005年4月現在、LRTの営業開始には至っていない。

この原因として、法規制・財政・合意形成といった問題が指摘されている¹⁾が、本研究では道路空間の再配分の問題(幅員の不足)に着目する。幅員が十分に確保できない区間が存在するため、LRTの導入が困難であるという場合に、その解決策として幅員に余裕がない区間を単線にして供用することが可能かどうかを検討する。

本研究では、単線LRTの特徴を整理し、単線区間をもつLRTシステムのスペックを導出することを目的とするシミュレーションモデルを作成し、ケーススタディとして京都市の今出川通りへのLRTの導入について検討する。

2. 単線LRTの特徴

単線LRTには、“路面併用”軌道と“単線”軌道

*キーワード: 公共交通計画, 新交通システム計画, 公共交通運用, ITS

**正員, 工修, 自営業

(京都市左京区松ヶ崎小脇町8-2-502,
ashikawa@mbx.kyoto-inet.or.jp)

***正員, Ph.D, 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

(京都市左京区吉田本町, TEL075-753-5136,
rkitamura@term.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

の2つの要素がある。そこで、まず既存の鉄軌道における(1)路面併用軌道、(2)単線鉄軌道の特徴について整理し、その後、(3)単線LRTシステムについて考える。

(1) 路面併用軌道の特徴

日本国内において、路面電車の敷設・運用は、軌道法及び軌道法に関連する法令・道路構造令・道路交通法などにより、厳しく規制されている。

軌道建設規程をもとに路面電車の必要幅員を考えると、車両幅を2.5mとした場合、複線では約6m、単線では約3mとなる。また、道路構造令では必要幅員は複線の場合6m、単線の場合3mと定められている。道路構造令や交通バリアフリー法では歩道幅を2m以上と規定していることなどから、道路4車線と複線のLRTを敷設する場合、最低でも24mの幅員が必要となる(図2.1)が、道路2車線と単線のLRTの場合は16.5mとなる(図2.2)。

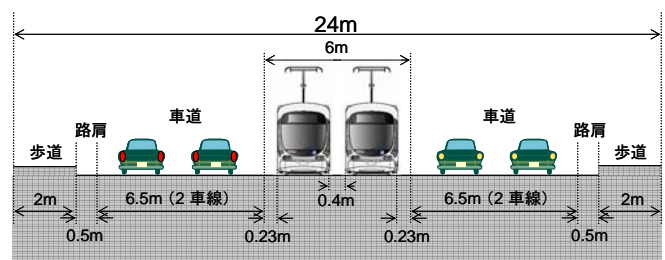


図 2.1 4車線・複線敷設の場合

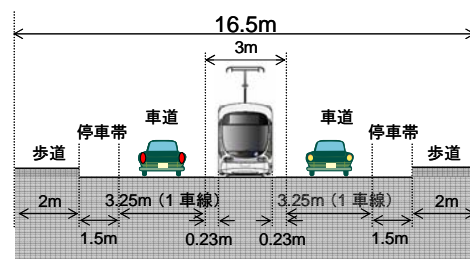


図 2.2 2車線・単線敷設の場合

路面併用軌道の特徴として、軌道敷内に入線する車両、信号による停止、乗降にかかる時間など遅れ

の原因となる事象が多いことがあげられる。軌道敷内に進入する車両による遅れは、交差点内の右折車両の進入だけでも、広島電鉄の事例²⁾では全走行所要時間の5~10%を占めている。信号による停止は、前述の広島電鉄の例では25~35%と多く、スムーズな運行のためには道路交通信号と協調するシステムが不可欠である。また、乗降にかかる時間は、乗降客数に比例するため一定ではない。さらに、軌道運輸規程により運賃罰則は3倍以内と規定されていることから信用乗車方式の導入は困難で、料金の支払いを乗車時か降車時におこなわざるを得ず、支払に要する時間が長くなるうえ、両替やその他のトラブルによる停車時間の増大も多い。

また、軌道運輸規則により編成長は30m以下と規定されているが、この規制がない場合でも、路面電車は自動車と同じ空間上を走行するため、その長さには限界があり、車両の増結による輸送力の増大は図れない。そのため、輸送力を上げるには運行間隔を短くするほかにない。

(2) 単線鉄軌道の特徴

単線鉄軌道においては、1編成のみによる運行でない限り、途中で交換（行き違い）施設を用意し、的確に車両の運行を制御する必要がある、「閉塞」と呼ばれる方式が用いられる。

複線の場合、追突を起こさない範囲であれば運行間隔を詰めて走行することができるが、単線の場合は交換が必要となり、ネットワークの形状、とくに隘路（所要時間が最大となる区間）の所要時間がネットワーク全体のダイヤを支配するという特徴がある。図2.3に示すような単線が2区間連続するネットワークの場合、時刻0に単線区間Ⅰ（所要時間 t_I ）の左側 P_L から車両Aが、単線区間Ⅱ（所要時間 t_{II} ）の右側 P_R から車両Bが同時に進入した場合、交換施設 P_C にはAが時刻 t_{II} に先に到着するがBが到着する時刻 t_I までは区間Ⅰには進入できない。したがって、Bが P_L に到着するのは時刻 $t_I + t_I = 2t_I$ となり、上りと下りを交

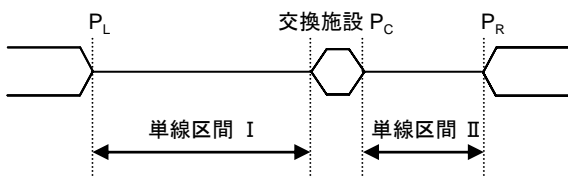


図 2.3 単線が2区間連続する場合の例

互に運行する場合、最小運行間隔は隘路の所要時間の2倍となる。また、待ち時間を減らすためには、各単線区間の所要時間が等しいことが望まれる。単線区間が少ない場合には、単線区間に入るタイミングを調整することにより、最適化を図ることができる。しかし、単線区間の区間長が均一でない場合には、運行計画を立てにくいだけでなく、調整に限度が生じてくる。したがって、単線区間はなるべく等間隔で短い方がよい。また、遅れが発生したときの影響が対向方向にも影響することから、複線区間をできるだけ多くしたほうがよい。

(3) 単線 LRT システム

単線区間をもつ LRT システムは、前述の“路面併用”と“単線”双方の特徴を持ち合わせるため、それらの影響が悪い方に相乗することも考えられる。たとえば、単線区間のとくに隘路で遅れが発生すれば、ネットワーク全体の運行間隔が長くなる。

したがって、単線1閉塞区域の所要時間を短くする方法と遅れをなるべく発生させない方法を考える必要がある。そこで、自動車の軌道敷内への進入規制の強化・非接触式 IC カードによる料金收受などの料金支払い方法の改善による乗降時間の減少・交通信号制御に PTPS（Public Transportation Priority System：公共交通優先システム）の導入といった方法などが考えられる。

また、遅れの影響を最小限にする方法を考える必要がある、回復のための調整点を設けるといった方法が考えられる。しかし、路面公共交通の特性からしてダイヤ通りに運行するという従来の鉄道からの脱却し、車両接近情報の表示による乗客への情報提供などのシステムが必要かもしれない。

しかしながら、単線ではネットワークの形状が最小運行間隔を決めることから、システムごとに最適な運行管理方法があるといえ、単線運行の制御のみならずこれらの方法の運用のためには、ITS 技術を用いた運行管理システムが有効となる。

3. シミュレーションモデルの概要

前述の軌道敷内進入車両の発生や乗降客数の変化は確率事象であることから、シミュレーションによ

る評価が有用であると考えられる。そこで、本研究では単線運行のスペックを導出するために、単線運行を再現できるシミュレーションを構築した。以下に、シミュレーションの概要を示す。

電停・交換施設・信号の位置や単線・複線の種別といったネットワークの形状をリンクとノードで表し、各リンクの制約や乗客の到着、信号の情報などを入力データとする（表 3.1）。

表 3.1 入力データ

ネットワーク	リンク	リンク長	
		単線・複線の種別	
		線形制約：リンク最高速度・加速度・減速度	
	ノード	電停	乗客の平均到着レート[人/min], 乗降時間関数
信号		サイクル長[sec], スプリット(有効青時間)[sec], オフセット[sec]	
交換施設		あり・なし	
車両諸元	最高速度・加速度・減速度・定員・ドア枚数		
乗客	OD レート		
初期値	投入編成数, 初期編成位置・時刻		

LRT の挙動は、編成ごとに走行中モデルと停止中モデルの 2 つのサブモデルで表現する。

走行中モデルは、加速・定速走行・減速の 3 つのサブモデルからなる。車両がノードから発車する場合は加速モデルにより、最高速度で定速走行する場合は定速走行モデルにより、ノードに停車する場合は減速モデルによりリンクの所要時間を算出する。また、走行中に軌道敷内への車両進入などにより運行が阻害される場合の表現として、一定の確率でランダムに定速走行時間に遅れ時間を加える。

停止中モデルは乗降・信号交換の 2 つのサブモデルからなる。LRT がノードに到着した場合、そのノードが電停であれば、乗降モデルにより乗降を取り扱う。乗降モデルは、乗客の到着をポアソン到着とし

乗車人数 N_{on} を求め、乗車時間 T_{on} と各乗客の目的地を作成する乗車モデルと、降車時間 T_{off} を降車人数 N_{off} より算出する降車モデルからなり、乗車時間と降車時間の大きい方を乗降時間 T とし出力する。乗車時間と降車時間は、以下の回帰式で与えた（乗車レート r_{on} 、降車レート r_{off} 、ドア枚数 D_{on} 、 D_{off} 、定数 C_{on} 、 C_{off} ）。

$$T_{on} = C_{on} + r_{on} \times N_{on} / D_{on} \quad (3.1)$$

$$T_{off} = C_{off} + r_{off} \times N_{off} / D_{off} \quad (3.2)$$

$$T = \max(T_{on}, T_{off}) + \varepsilon \quad (3.3)$$

ここで ε は、ランダムに発生する遅れ時間（ $\varepsilon \geq 0$ ）を表す項である。

停止しているノードか電停でない、もしくは乗降が終了している場合は、信号交換モデルによりそのノードが信号であれば信号の灯火を確認する。信号でないか灯火が青であれば、単線の場合は閉塞の確認を行う。複線か閉塞が開いている（先方の閉塞区域に他の車両がない）場合は発車する。また、車両が末端の電停に到着した場合は、降車が終了した後、運転手が運転台を移動するなどの折り返し作業に一定時間を要するものとする。

出力は、ダイヤと片道の所要時間の内訳（走行中の時間、乗降取り扱い中の時間、信号交換待ちの時間）、乗車率、運行間隔である。これらのデータから、表定速度・平均速度・運行間隔・乗車率・輸送力などが求められる。

4. ケーススタディ

3 章で述べたシミュレーションモデルを用いて、京都市の今出川通りの北野白梅町（西大路通り）から銀閣寺道（白川通り）間の約 5.5km に LRT を導入する場合について検討した。

(1) 条件設定

図 4.1 に示すように、幅員の狭い千本今出川から河

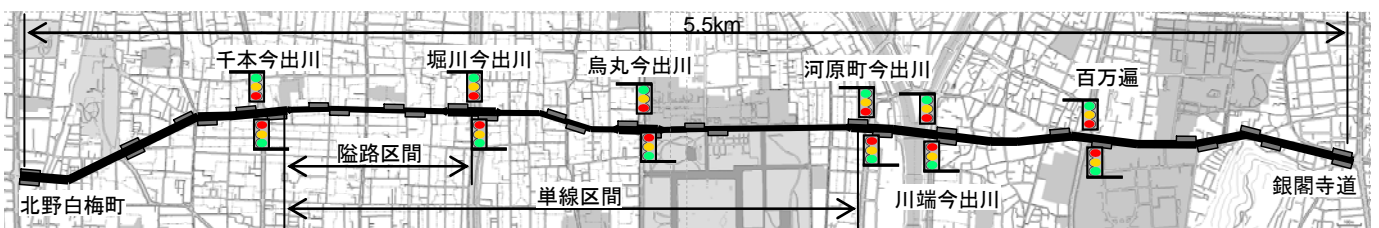


図 4.1 ケーススタディ対象区間・ネットワーク配置図

原町今出川までの 2.5km の区間を単線とし、途中の堀川今出川・烏丸今出川の 2 か所に交換施設を置いた。電停は現在のバス停と同じとし、主要 6 交差点にサイクル 120 秒、青時間 50 秒の信号を設置した。車両諸元は、現存の路面電車の諸元を参照し、最高速度 40km/h、加速度 2.5km/h/s、減速度 4.5km/h/s とした。このネットワークの場合、隘路は千本～堀川間で、この区間の走行時間（電停で停止している時間を除く所要時間）は緊急停止がない場合 112 秒である。したがって閉塞区域に両側から交互に入線する場合の最小の運行間隔は、 $(112 + \text{停車時間}) \times 2 \div 240 \sim 300$ (秒) = 4～5 (分) 程度と考えられる。乗降客数 (OD) は最混雑時間を想定し、その割合は一定とし、市バスのデータ³⁾ を使用した。また、乗車時間・降車時間は、ステップと電停の段差および車内に段差がない完全低床車で非接触式 IC カードによる料金収受をおこなうものとし、1 編成に 2 か所ずつ乗車・降車扉があるとして、他都市のデータ^{4) 5)} のうち料金支払いを伴わない乗車または降車時間を参照し、以下のように設定した。

$$T_{on} = 6.0 + 0.8 \times N_{on} / 2 \quad (4.1)$$

$$T_{off} = 6.0 + 0.8 \times N_{off} / 2 \quad (4.2)$$

また、両端の電停（北野白梅町・銀閣寺道）での折り返し時には、運行間隔が一定になるように先発列車との時間差が一定以上になったら発車することとした。

(2) 結果

所要時間は 8 編成で約 16 分（表定速度 20 km/h）となり、8 編成以上では増大した。これは、ネットワークに余裕がなくなり、待ち時間が増加したためと考えられる。また 10 編成以上では、運行間隔の減少は

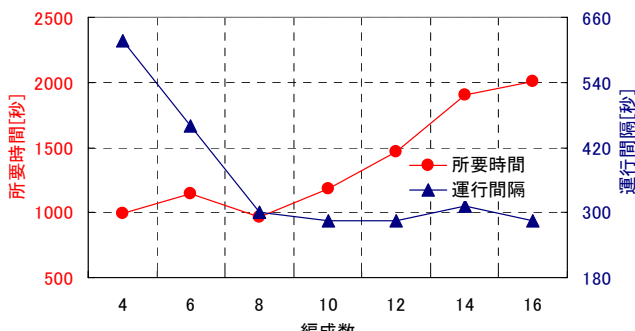


図 4.2 シミュレーション結果

ない。これは、隘路の所要時間の 2 倍（約 3 分）に漸近したためと考えられる。

ネットワークの総延長は約 5.5km であることから、表定速度を 20km/h とした場合、片道の所要時間は 16.5 分であり、折り返しにかかる時間（発車準備）が 4 分とすると、1 編成が 1 周する時間は約 40 分である。最小運行間隔が 4～5 分であることから、最適な編成数は $40(\text{分}) \div 4 \sim 5(\text{分}) = 8 \sim 10$ 編成と考えられ、シミュレーション結果とほぼ一致している。

5. おわりに

本研究により、単線区間をもつ LRT のスペックは、ネットワークの形状に依存し、今出川通りでは 8 編成・5 分間隔・表定速度 20km/h での運行が可能であることがわかった。

しかしながら、単線区間をもつ LRT システムの場合、その単線区間とくに隘路によってネットワーク全体のスペックが決まるため、今出川通りでの実現可能性がそのまますべての地域で当てはまるわけではないことに留意すべきである。

また、今回のケーススタディでは、市バスのデータを用いるなど、LRT の特徴を考慮しておらず、データが十分であるとはいえない。したがって、今後データの精緻化が求められる。

参考文献

- 1) 一例として、吉見宏：日本における LRT 導入への障壁と課題，鉄道ジャーナル，No.397，pp72-75，1999.11
- 2) 中尾正俊：路面電車から LRT 交通システムへ，運輸と経済，Vol.60 No.6，pp40-48，2000.6
- 3) 京都市交通局—平成 10 年度—市バス・地下鉄旅客交通調査の概要 平成 10 年 6 月実施，京都市交通局，1998
- 4) 森津秀夫ほか：LRT 導入に伴う交通計画再検討支援ツールの開発，土木計画学研究・論文集，Vol. 18，No. 4，pp. 763-772，2001.9
- 5) 村上岳司ほか：路面電車の運賃収受車外化による乗降時間短縮効果の試算，土木学会年次学術講演会講演概要集第 4 部，vol. 56，pp.184-185，2001