

7. ライトレールの導入実現に向けて

－複合交通流シミュレータによる導入効果の評価－

交通システム研究領域 ※工藤 希 佐藤 安弘 水間 毅
名誉研究員 松本 陽

1. はじめに

現在、都市における自動車交通は飽和状態にあり、渋滞、騒音、二酸化炭素排出等の問題をかかえている。これらを解決するためには、公共交通にモーダルシフトすることが必要とされている。そこで、交通研では、自家用乗用車から公共交通へのモーダルシフトを推進するとして、18年度までNEDO事業で「LRV（次世代路面電車）導入による運輸部門の総合的省エネルギー対策技術の研究開発」というプロジェクトを行ってきた。

本報告では、上記プロジェクトのうち交通研で開発した公共交通と自動車を地図上で同時に走行させるシミュレータを用いて、京都市にLRVを導入した場合の効果について計算した結果や福井市などへの導入検討計画について報告する。

2. 研究の背景

2. 1. モーダルシフトの効果

京都議定書における第一約束期間は来年度から始まり、日本は基準年（CO₂等は1990年）に比べて6%削減しなければならないことになっている。しかし、2005年度の集計に因れば基準年比で7.8%の増加となっている^[1]。中でも、運輸部門においては18.1%の増加であり、主な要因は自家用自動車からの排出量（基準年比48%増）であることは明らかである。従って、直接的には自家用自動車の燃費を改善してCO₂排出量を削減することが望ましいが、自動車から公共交通へのモーダルシフトを実現することも、CO₂の削減につながると言える。

2. 2. ライトレールとは

モーダルシフトを推進するためには、便利な公共交通が必要である。中でも注目を集めているシステムと

して、ライトレールシステム(Light Rail Transit : LRT)があり、そこで使用される車両を次世代路面電車(Light Rail Vehicle : LRV)と称している。これは、併用軌道を用いた都市交通システムを軸とした街作りを指し、ヨーロッパを中心に導入が進んでいるが、国内においては、2006年に開業した富山ライトレールが唯一のLRTとも言える例である。



図1 富山ライトレール

3. 複合交通流シミュレータ

3. 1. 複合交通流シミュレータの概要

交通研で開発した複合交通シミュレータの機能を表1に示す。地図上を自動車、バス、鉄道車両、LRV等が設定した路線、時刻表、目的地、交通信号、他車両等に応じて走行するもので、走行と同時に消費エネルギー、CO₂排出量等が計算可能である。本シミュレ

表1 シミュレータ概要

	機能	設定するパラメータ
交通	LRT	路線、車両パラメータ、時刻表、駅
	バス	路線、車両パラメータ、時刻表、バス停
	自動車	車両パラメータ、移動OD
道路	交差点をノードとするネットワークを構成	車線数、走行方向
信号	信号に従った自動車交通の再現	サイクル長、オフセット、青矢現示 LRV優先信号

ータを用いることにより、LRT を導入した場合の路線選定、交通施策に対する評価が定量的に可能となっている。

3. 2. 道路ネットワーク

本シミュレータは、地図データとして、画像データ、国土地理院の 50m メッシュ情報 (勾配情報)、道路ネットワークデータ、住宅地図を重ねて認識している。道路ネットワークデータでは、道路の車線数、幅員、一方通行などの道路情報を持ち (図 2)、これらのデータを元に、住宅地図をベースとした画面上に、車線数を考慮したネットワークが構成される (図 3)。

項目	値
ノード1ID	12545
ノード2ID	12543
リンク長(m)	81
規制速度	40km/h
車線数	2車線
道路幅員	5.5m~13m
自動車通行不可	FALSE
使用禁止	FALSE
一方通行	FALSE
高速道路	FALSE
有料道路	FALSE
道路幅員 3m 未...	FALSE

図 2 道路ネットワークデータ



図 3 住宅地図表示

3. 3. 信号

道路ネットワークと関連して、ネットワーク上に信号を設定する。信号は、各現示時間、信号サイクル、オフセット、優先信号の有無、グループ信号の有無を設定することができ、実際の信号現示を模擬可能であると共に、任意に現示タイミングを変更可能である。

3. 4. LRV の走行

LRV は、車両重量、加減速度、引っ張り力等の車両性能を定義する。従って、LRV が在来の路面電車かによる走行の違いも考慮できる。次に道路ネットワーク上に路線、電停を設定すると、交通信号に従い、車両重量、性能に従いながら、走行することができる。

このとき、予め設定した電停での乗降人数に応じた停車時間及び、乗車人数を車両重量に加味した走行、エネルギー計算を行う。

3. 5. バスの走行

公共交通機関として、バスの模擬も行う。基本システムは LRV の走行と同様とし、路線、停留所、車両性能等を定義して、道路を走行する。バスの特徴として、一般自動車と共に道路を走行するので、停留所で停車、乗客の乗降を行いつつ、後に述べる自動車の走行モデルを用いた走行を行う。

3. 6. 自動車の走行

公共交通と同様に、自動車にも性能を定義する。本シミュレータでは簡単のため、小型車(自家用乗用車を想定)、大型車(トラックを想定)の 2 種類の車両を定義した。車両は各々、定義された性能に従い加減速を行うが、設定したダイヤで走行させる LRV と異なり、多数の車両を同時に走行させる必要があるため、以下の走行モデルを用いた。

3. 6. 1. 走行モデル

自動車が走行する場合、自車が走行している道路属性、信号の他に、前方を走行している車両に衝突しない走行が必要である。そこで、図 4 で示すような条件で、車両毎に加減速の定義を行った。

今、車両が $T=0$ の場所にあり、前方に車両が走行している場合、自車、前方車共に現在の速度のまま走行したら 5 秒後に相対距離がどのように変化するかを計算する。5 秒後に前方車両に追いつかないと判断した場合、式(1)を適用し、道路属性の最大速度近辺まで加速する。逆に、5 秒後に前方車両を追い抜いてしまうと判断した場合は、式(2)を適用し、前方車両に衝突しない速度を保つ^[2]。

$$V_t = V_{t-t_s} + \alpha_{\max} \times t_s / 1000 \quad (2)$$

V_t :時刻 t の速度 (m/s)、 t_s :サンプリング時間 (ms)、 V_{t-t_s} :
秒前の速度 (m/s)、 α_{\max} :最大加速度 (m/s²)

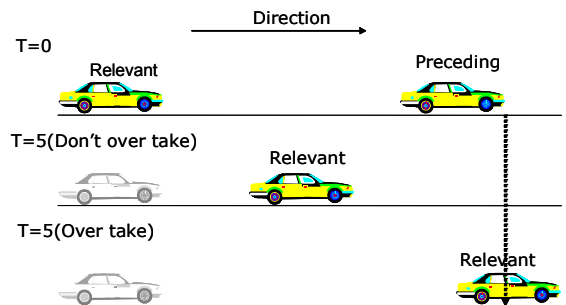


図 4 加速条件

$$\alpha = \lambda \frac{V_{i+1}^m(t)}{\{X_i(t-\tau) - X_{i+1}(t-\tau)\}^l} (V_i(t-\tau) - V_{i+1}(t-\tau)) \quad (3)$$

α :加減速度(m/s²)、 i :1 台前方の車両、 $i+1$:自車、 t :現在時刻(s)、 V :速度(m/s)、 X :位置(m)、 λ :定数、 l, m :速度-密度曲線の特徴を表す係数、 τ :タイムステップ(s)

また、前方でバスが停留所に停車して人の乗降を行っている場合、同一路線の後続の自動車は停止するが、他の車線の自動車は影響を受けずに走行する。さらに、後続車両が、衝突の危険がないと判断した場合は、他の車線に変更して走行も可能なモデルとなっている。

4. 京都市における導入効果

4. 1. 導入地域

本シミュレータを用いて、既存道路空間に LRT を導入した場合どういふ結果が得られるかケーススタディとして京都市内を選定し、シミュレーションを行った。図 5 にシミュレーション領域を示す。南は京都駅、西は嵐山までをシミュレーション範囲とし、LRT 路線を 4 路線導入する場合を検討した。

4. 2. シミュレーション条件

バス、鉄道は主要路線の路線、時刻表を所有し、それらに従い対象エリアで発生、走行、消滅とする。ただし、人の乗降により遅れを生じる場合は、時刻表ではなく環境や性能に応じて走行させることとした。設定路線を表 2 に示す。路線の選定には京都市の路線案³⁾、LRV 車両は広島電鉄グリーンムーバーを参考とした。

バスは京都市交通局の 9 系統(9, 10, 11, 12, 17, 28, 101, 102, 203)の路線と時刻表を設定した⁴⁾。

4. 3. シミュレーション結果

シミュレーション実行画面例を図 6 に示す。LRV と自動車(図中白い立体)が同時に走行しているのが見て取れる。

年間を表 3 のような時間帯に分け、シミュレーションを行った。計算結果のうち、もっとも道路交通が混雑するピーク期、ピーク時間の 2 時間あたりの CO₂ 排出量、エネルギー消費量を図 7 に、これらの結果を集計した結果を表 4 に示す。これらより、本試算で用いた 4 路線を導入し、それまで自動車で移動していた人が LRV に振り分けられたことで、自動車の総台数が減少した結果、自動車の総走行距離(1 台毎の走行距離を年間分積算したもの)が約 9700 万 km/年から

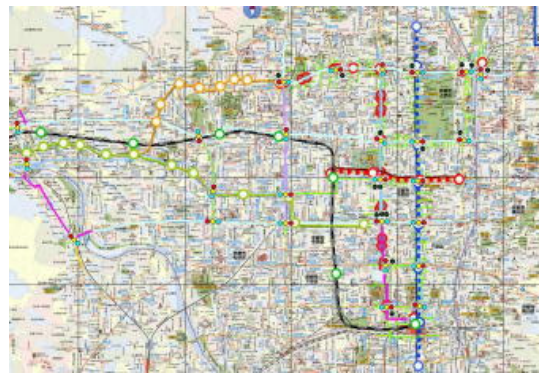


図 5 シミュレーション領域

表 2 設定路線

路線名	始発駅・終着駅	乗り入れ路線	片道本数/h(ピーク時・通常時・閑散時)
今出川線	出町柳ー北野白梅町	叡山線 北野線	3/3/3
堀川線	出町柳ー京都駅、北野白梅町ー京都駅	叡山線 北野線	3/3/3 5/5/4
河原町線	京都駅ー京都市役所前	なし	7/6/5
四条線	祇園ー四条大宮	京福電鉄	8/7/6



図 6 シミュレーション実行画面例

表 3 一年の定義

一日の定義		
時間	時間	時間
ピーク	7h~9h 台、17h~19h 台	6h
オフピーク	10h~16h 台	7h
閑散	5~6h 台、20~23h 台	6h
合計		19h
年間の定義		
期間	日数	
平常期	242	
ピーク期(4, 5, 10, 11月)	122	
合計		364

約 5800 万 km/年となった。そのため、年間約 2 万トンの CO₂ を削減できるという計算結果が得られた。

また、図 8 は観光地への移動時間（パーソントリップ時間）の変化である。LRV 導入前に、自動車で移動した時間(最大値)に比べ LRV で移動すると、旅行時間が 3 割～5 割短縮しているのが見て取れる。これは、導入前に渋滞により自動車は平均速度が 8km/h 程度になっているのに比べ、LRV は駅停車を踏まえても平均速度が 15km/h 程度確保できるため、観光客の多い嵐山に関しては、LRV 導入により 1 時間程度の時間短縮が算出された。

5. 他地域の導入検討計画

富山の富山ライトレールは、日本最初の LRT として注目を集めた。老朽化していた富山港線を利用し、少ない投資で LRV 化を成功させた点が評価され、旧来の路面電車が残る都市においても、LRT 化したいという機運が高まっている。しかし、現実には、投資をするだけの効果が得られるか確証がなく、計画だけで実現への進展がない場合が多い。これは、LRT 導入の効果やデメリットが定量的に示されていないためと思われる。しかし、本シミュレータを活用して、LRT 導入によるメリットだけでなく、渋滞の拡大等のデメリットも評価して、より、精度の高い評価をすることにより、LRT 導入計画の進展に寄与できる。現在は、福井市の都市計画に関して、LRT 化の効果についてシミュレーションを検討している段階である。

6. まとめと今後の課題

以上より、複合交通流シミュレータを用い、モーダルシフト推進策として京都市をケーススタディとし、LRT を軸とした都市内交通を提案し、その効果について計算した結果を示した。また、本手法の他都市への適用の可能性を示した。今後は、本シミュレータの深化を図るとともに、多くの都市での LRT 導入の効果を定量的に示すことで、LRT が有効となる都市の要件を明らかにしていきたい。また、そのような都市での LRT の実現を目指し、モーダルシフトの促進による地球温暖化防止に寄与していきたい。

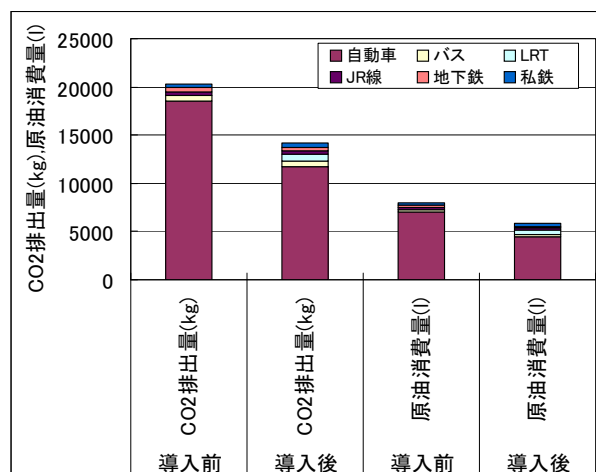


図 7 CO₂排出量、エネルギー消費量（ピーク期、ピーク時間 2 時間あたり）

表 4 LRT 導入効果

	導入前	導入後	導入後
CO ₂ 排出量	約 5.4 万トン/年	約 3.4 万トン/年	約 2 万トン削減
エネルギー消費量	28,000kWh/年	17,840/年	10,250kWh 削減
移動時間(嵐山→京都駅間)	6600 秒 (1.8 時間)	2528 秒 (40 分)	約 4000 秒短縮

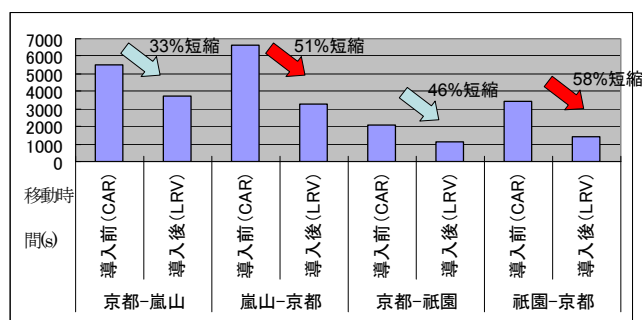


図 8 旅行時間のチャンピオンデータ比較

参考文献

- [1] 日本国温室効果ガスインベントリ報告書(NIR) 2007 年 5 月版, 温室効果ガスインベントリオフィス, 2007
- [2] 交通工学, 飯田恭敬編著佐佐木綱監修, 国民科学社, 1992
- [3] 京都市, 新しい公共交通システム調査報告書, <http://www.city.kyoto.jp/tokei/trafficpolicy/lrt/index.html>
- [4] 京都市交通局 <http://www.city.kyoto.jp/kotsu/>