

# 都市鉄道の線路内混雑に着目した列車速度の推定

## - エージェントモデルによるアプローチ -

宮崎 信介\* (荒川区役所)

藤代 隆正 (九州旅客鉄道)

岩倉 成志 (芝浦工業大学)

### A methodology for estimating speed of urban railway using multi agent simulation

Shinsuke Miyazaki\*, (the Arakawa ward office)

Takamasa Fujishiro, (Kyushu Railway Company)

Seiji Iwakura, (Shibaura Institute of Technology)

The commuting congestion of the peak time zone in Tokyo area, it is the severe situation. A conventional methodology estimating speed of urban railway using link cost function has a problem that left it behind because of interplay between plural trains. In this study, the method is constructed for estimating speed of urban railway using multi agent simulation.

キーワード：都市鉄道，列車速度，マルチエージェントシミュレーション，

**Keywords** : urban railway, speed of railway, multi agent simulation,

#### 1. はじめに

東京圏におけるピーク時間帯の通勤混雑は、極めて厳しい状況にある。運輸政策審議会は、都市鉄道の整備水準として「三大都市圏の鉄道においては、すべての区間の混雑率を150%（但し、東京圏は当面180%以内）とすることを目指す」としている。鉄道事業者は、混雑率180%を目標として、運行本数の増発や列車の長編成化により対応してきたが、ダイヤが飽和状態となり、列車速度の低下や慢性的な遅延が発生する状態に陥っている。

今までの列車速度の推定手法として、岩倉・原田<sup>1)</sup>、田口ら<sup>2)</sup>により、リンクコスト関数を用いた研究が行われている。しかし、複雑な列車種別が設定されている路線においては、先行列車が種別の異なる後続列車に与える影響などを考慮した推定は難しく、積み残した課題も多い。

本研究では「線路内の混雑」に着目し、シミュレーションを用いた列車速度の推定方法の構築を目的とする。そこで、列車種別の異なる列車間の相互作用によって動的に変化する複雑な現象を再現する必要があることから、本研究では、マルチエージェントシミュレーションシステムを用いることとした。

#### 2. 分析対象と使用データ

分析対象は、東京圏の通勤路線としての性質を持った小田急小田原線の新百合ヶ丘～新宿間とする。時間帯は、4時

49分に経堂を出発する始発列車から10時56分に新宿に到着する列車までの間とする。現在、和泉多摩川～梅ヶ丘間で複々線化が進められたが、時刻表上でも新百合ヶ丘～新宿間の急行列車の所要時間はオフピーク時で25分であるのに対し、ピーク時で36分と列車速度に差が見られる。シミュレーションの構築にあたり、小田急電鉄株式会社の協力を得て、運転曲線等の実際の列車運行に使用されるデータを利用する。また、駅停車時分データは、2006年11月に当研究室が調査し取得している。各駅の乗降者数データは、平成17年大都市交通センサスによる上下方向別15分ピッチのデータを利用する。

#### 3. シミュレーションの構成

シミュレーションの構成として、新百合ヶ丘～新宿間の上り線をシミュレーション空間と定義し、その区間に存在する列車・駅・信号機をエージェントと見なす。

##### (1) シミュレーション空間の設定

縮尺は1/50に設定し、線路という空間上に列車・信号機・駅といったエージェントを配置した。各エージェントは、与えられたルールに従いステップ毎に自身の行動を決定する。また、1ステップ=1秒と設定した。

##### (2) エージェントルールの設定

上記のデータを基に、各エージェントの行動をルール化した。

a) 列車エージェント

列車エージェントの行動ルールを示す(図1)．実際に運転士が取る運転行動パターンをアルゴリズム化した．まず，前方に位置する信号機の現示色を確認し，列車の加減速を決定する．更に，前方に停車駅を確認した場合には，停止目標に合わせて減速する．この処理を繰り返すことで，列車の挙動が再現される．また，全列車の挙動を同時に再現することで，列車が相互に与える影響をリアルタイムに考慮したシミュレーションが可能となる．

b) 駅エージェント

駅エージェントの行動ルールを示す(図2)．まず，最も近い距離にある接近列車を確認し，列車が停車・通過するかを判断する．駅に停車すると判断した場合，決められた駅停車時分を経過するまで，列車を駅に停車させる．駅停車時分の設定には，駅停車時分モデルによる推定を行った上で適用した．但し，ダイヤ出発時刻まで停車し続ける時間調整機能は持たせていない．また，通過待ち等を行う駅では，「後続列車が追い抜くまで駅で停車する」といったローカルルールを追加している．

c) 信号機エージェント

信号機エージェントの行動ルールを示す(図3)．まず，信号機を通過した最寄りの列車位置を取得する．その列車位置に応じて信号機の現示色を決定し，後続の列車に対して掲示する．この処理を繰り返すことにより，信号機を通して列車が相互に与える影響の考慮が可能となる．

4. 駅停車時分の分析

列車の運行には，通常，基本駅停車時分が使用されている．基本駅停車時分とは，鉄道会社がダイヤ作成をする際に参照される数値であり，概ね 30～40 秒程度である．この数値を目安に各列車は出発の判断を行うが，混雑時には乗降客の流動に時間を要して，基本駅停車時分を超えてしまう列車が多数存在している．そこで，乗降人員及び混雑率によって変動する駅停車時分モデルを検討する．

(1) 駅停車時分モデル

大戸<sup>3)</sup>による駅停車時分モデル(式1)を用いて，駅停車時分の分析を行う．駅停車時分の定義として，列車のドアが開いてから閉じるまでの時間とした．駅停車時分を  $t_s$ ，1 ドアあたりの乗降者数を  $\gamma$ ，混雑率を  $x$  とする  $\gamma, \eta, \omega$  はパラメータである．分析対象は，7時00分～10時30分に小田急小田原線下北沢駅及び代々木上原駅に停車する156列車とする．

(2) 分析結果

算出したパラメータから，駅停車時分の実測値と推定値の比較を行った結果，乗降人員の影響による駅停車時分の変化を再現することが出来た(表1)．例として，代々木上原駅及び下北沢駅における駅停車時分の実測値と推定値の比較した結果を図4，図5に示す．使用した大都市交通センサデータから，時間帯の乗降人員の変動による駅停車時分の増減は再現できた．しかし，乗降人員と混雑率に依

存した駅停車時分の説明をしている為，乗降人数，混雑率ともに少ないオフピーク時には，推定値が極端に小さくなるという課題を残した．なお，今回のシミュレーションにおいては，推定値が基本駅停車時分を下回った場合，推定駅停車時分に基本駅停車時分を適用している．

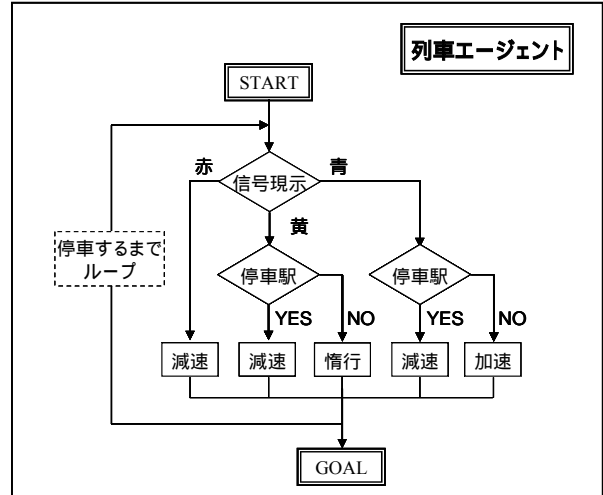


図1. 運転アルゴリズム

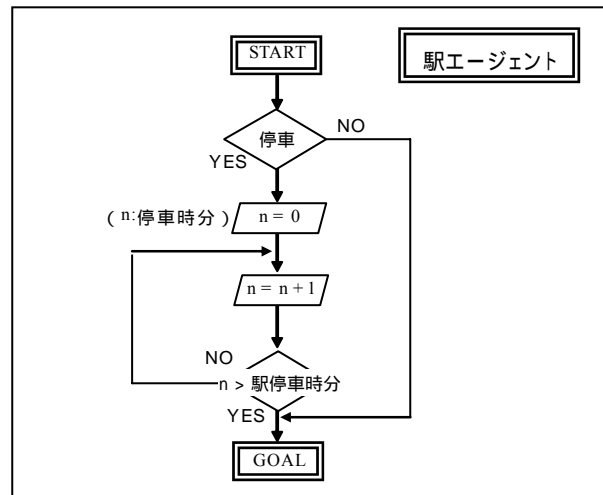


図2. 駅アルゴリズム

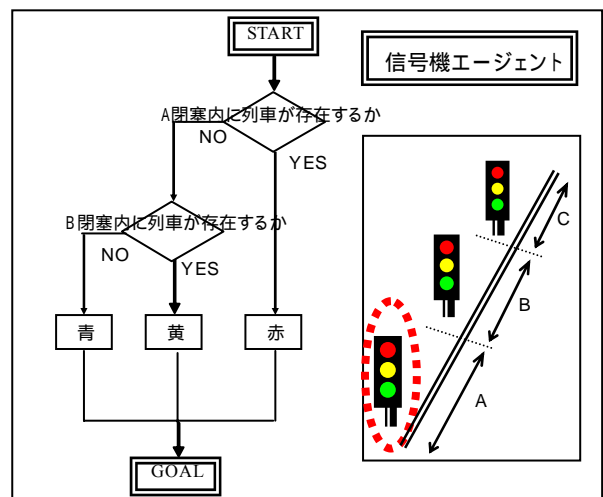


図3. 信号機アルゴリズム

表1. 推定結果

パラメータ	t値
$\gamma$	-0.039 -6.570
$\eta$	1.8923 7.047
$\omega$	12.436 5.956
重相関係数	0.932
サンプル数	156

$$t_s = \gamma x^2 + \eta x + \omega y \quad (1)$$

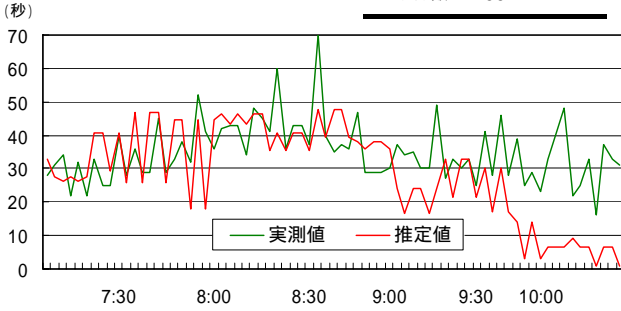


図4. 駅停車時分の比較(代々木上原)

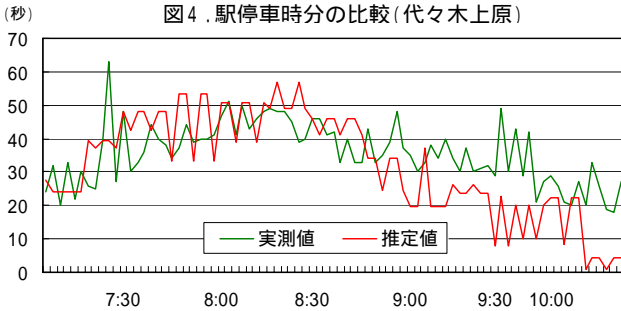


図5. 駅停車時分の比較(下北沢)

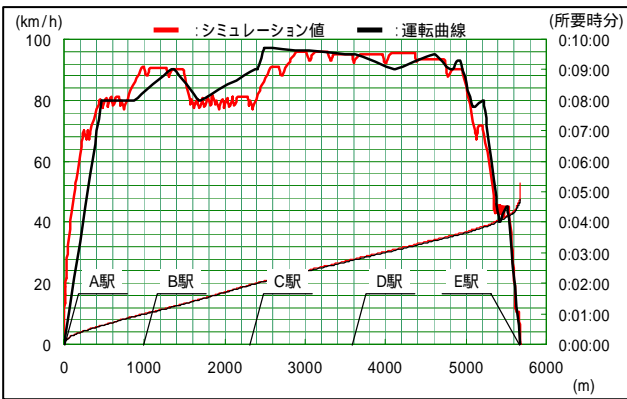


図6. 速度変化(急行)

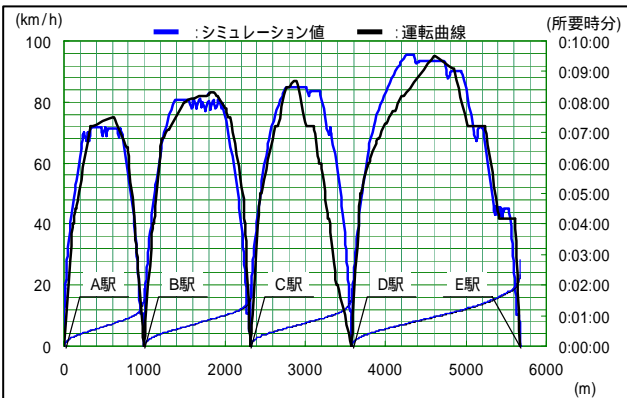


図7. 速度変化(各駅停車)

### 5. シミュレーション結果

シミュレーションより出力されるデータを分析し、シミュレーションの再現性を考察する。

#### (1) シミュレーションの再現性

図6, 図7に、シミュレーションより出力された急行と各駅停車の速度変化と時間経過を示す。横軸に距離, 縦軸に速度と所要時分をとり, 列車速度の変化と時間の経過をグラフ化したもので, 一般的に運転曲線(前方の列車の影響を受けない自由走行状態で, 車両性能や線路条件から算出される理論上の速度変化グラフ)と呼ばれる。シミュレーションで得た数値と小田急電鉄が作成している運転曲線を比較した結果, 極めて近似的な結果が得られ, シミュレーションの再現性を確認できた。

#### (2) 駅間所要時分にに関する考察

時間帯別の駅間所要時分のダイヤとシミュレーション結果の比較を表2に示す。駅間所要時分とは, 駅間走行時分と駅停車時分を合計した数値である。ここでは, 成城学園前~下北沢間を走行する急行列車の駅間所要時分を時間帯別に4列車ずつ取り上げる。ダイヤ駅間所要時分と推定駅間所要時分, いずれの平均値も, 早朝からピーク時までほぼ増加する傾向にある。これは, 列車本数の増加に伴い線路内が混雑し, 列車速度の低下が発生して駅間走行時分が増加している事を再現している。また, 乗降人員の増加に伴う駅停車時分の変動も影響している。

表2. 駅間所要時分

成城学園前~下北沢間の結果(急行)			
時間帯	駅間所要時分		差分
	ダイヤ	推定値	
6時台	A	0:06:00	(+) 0:00:29
	B	0:06:00	(+) 0:00:29
	C	0:06:00	(+) 0:00:29
	D	0:06:00	(+) 0:00:29
平均値	0:06:00	0:06:29	
7時台	E	0:07:00	(+) 0:00:07
	F	0:08:00	(+) 0:00:22
	G	0:07:00	(-) 0:00:16
	H	0:07:00	(-) 0:00:23
平均値	0:07:15	0:07:12	
8時台	I	0:09:00	(+) 0:00:47
	J	0:08:00	(+) 0:01:37
	K	0:09:00	(+) 0:01:19
	L	0:09:00	(+) 0:00:55
平均値	0:08:45	0:09:55	
9時台	M	0:08:00	(+) 0:00:24
	N	0:09:00	(-) 0:00:05
	O	0:09:00	(-) 0:01:10
	P	0:07:00	(-) 0:00:31
平均値	0:08:15	0:07:54	
10時台	M	0:06:00	(+) 0:00:30
	N	0:08:00	(-) 0:00:10
	O	0:08:00	(-) 0:00:05
	P	0:08:00	(-) 0:00:10
平均値	0:07:30	0:07:31	

### (3) 線路内混雑に関する考察

新百合ヶ丘～新宿間における各列車のシミュレーション結果を、図8、図9に示す。但し、途中駅での列車は、到着時刻に関わらず駅停車時分モデルによって算出された推定駅停車時分だけ停車する為、時間調整することなく出発する。また、列車には駅に到着する順序を守るようにルールを与えている。つまり、列車は前後に走行する列車にのみ影響され列車自身の速度を決定している。

#### a) 時間帯別に見る傾向

図8は、新百合ヶ丘～新宿間におけるダイヤ上の所要時分と、シミュレーションによる推定所要時分を新宿駅に到着した時間帯別にプロットしたグラフである。傾向として、オフピーク時間帯は、列車がスムーズに運行されることを前提としてダイヤを組んでいる為、推定値との間に大きな差は生じなかった。一方で、ピーク時間帯には、ダイヤに対して早着する列車が多数存在している。

#### b) 列車種別ごとに見る傾向

図9は、新百合ヶ丘～新宿間におけるダイヤ上の所要時分と、シミュレーションによる推定所要時分を列車種別毎にプロットして比較したグラフである。全体的に高い再現性を示すことができたが、急行をはじめとする優等種別の列車で、推定所要時分が短くなる傾向が見られた。

### (4) 今後の課題

本来、遅れが発生すると考えられるピーク時間帯や優等列車で、このような結果になったと考えられる理由として、第四章で述べたように、駅停車時分の推定が十分でなかったこと、運行に支障をきたさないように、ピーク時間帯のダイヤに予め余裕を持たせていたことが挙げられる。今後は、余裕時分設定の反映と駅停車時分モデルの改良により、シミュレーションの精度向上を図る。

## 6. 結論

本研究では、シミュレーションモデルを用いることにより、列車間の相互作用を考慮した列車速度の推定が可能であることを示した。駅間走行時分、駅停車時分、各々の推定においては良好な結果を得られたが、同時に推定した場合に課題を残した。駅停車時分モデルの再検討や、「ドアが開いてから閉じるまで」から「ドアが開いてから列車が発するまで」に変更するなど、駅停車時分の定義を見直す必要が考えられる。また、複数駅において駅停車時分データを取得するなどして、データの充実を図り、シミュレーションのさらなる信頼性向上を目指す。

謝辞：小田急電鉄株式会社にはデータの提供など多大なご協力をいただいた。また、大都市交通センサデータの加工は、(株)ライテックの土居厚司氏にご協力いただいた。ここに感謝の意を記します。

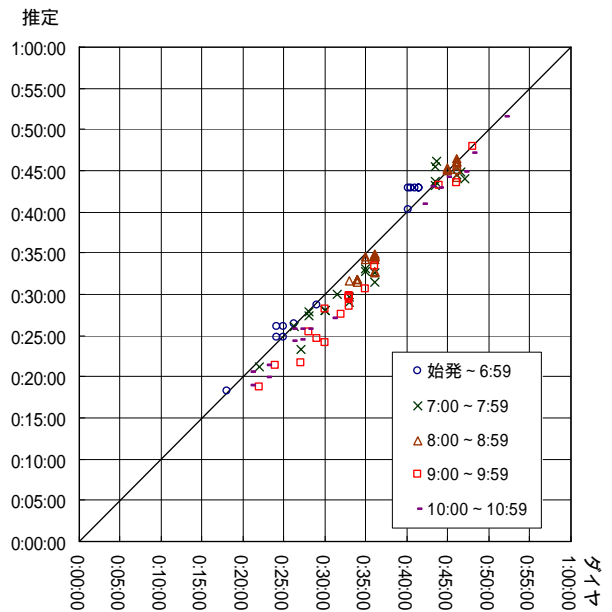


図8. 新百合ヶ丘～新宿の所要時分(時間帯別)

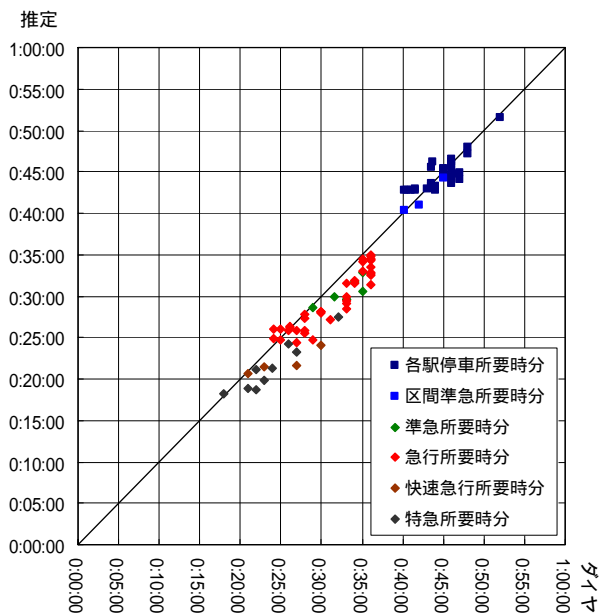


図9. 新百合ヶ丘～新宿の所要時分(列車種別)

## 文 献

- 1) 岩倉・原田ほか：「都市鉄道のピーク需要分散策を念頭にみた時刻別需要予測モデルの研究」, 運輸政策研究 Vol.8 No.3 2005 Autumn, page004-015, 2005.
- 2) 田口ほか：「首都圏の実時間鉄道利用者流動性推計システムの構築」, 運輸政策研究 Vol.8 No.1 2005 Spring, page031-035, 2005.
- 3) 大戸ほか：「鉄道駅における旅客流動に関する研究 その8 乗降速度に関する実験」, 日本建築学会学術講演梗概集, page845-846, 2006.
- 4) 國村ほか：「列車運行・旅客行動シミュレータの構築」, 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 Vol.13th, page347-350, 2006.