

マルチエージェントシミュレーションを用いた列車速度の推定手法

H02075 宮崎信介
指導教員 岩倉成志

1. はじめに

東京圏から都心へ向かう都市鉄道は、朝ラッシュ時の劣悪な混雑に加えて、遅延する列車が多数存在している。国土交通省は、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、全ての区間のそれぞれの混雑率を150%（但し、東京圏は当面180%以内）とすることをめざす」としている。鉄道事業者は、混雑率180%を目標として、運行本数の増加や列車の長編成化により混雑の緩和を図ってきたが、同時にダイヤが飽和状態となり、速度低下や遅延の要因となっている。

解決策として、新線建設や複々線化が挙げられるが、用地取得やコスト面、沿線住民の少子高齢化による鉄道事業者の投資意欲の減退など、ハード面の整備には限界がある。

今までの列車速度の推定手法として、リンクコスト関数を用いた研究が行われているが、積み残された課題も多い。本研究ではリンクコスト関数の研究に加えて、シミュレーションタイプの列車速度推定モデルを構築して、実際の列車の挙動に近い状況を作り出す。そこから見えてくる遅延発生メカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. 使用データ

実際の運行をシミュレーションするためには、現実に近い列車運行環境を再現するためのデータが必要となる。列車の運行に関係すると考えられる条件を抽出して、小田急電鉄株式会社が所有する「運行実績データ、運転曲線、信号設備位置図、信号現示系統図、列車運行図表、列車性能表」のデータを得た。また、各駅の乗降者数データは、平成12年大都市交通センサスを利用する。

3. リンクコスト関数による分析

従来研究が行われているリンクコスト関数を構築し、その問題点の把握を行う。列車の運行は走行と停車の繰り返しとなるので、駅間所要時間は駅間走行時間と駅停車時間に分けて考えられる。駅間走行時間はBPR

関数によって分析し、駅停車時間は多項式によって、それぞれ分析を行う。

1) 駅間走行時間の分析

リンクコスト関数によって駅間毎の走行時間分析を行う。駅間走行時間を t_l 、駅間最短走行時間を t_{l0} 、当該列車15分前後の運行本数を X 、線路容量(7.5本/15分)を C とする。 α, β はパラメータである。分析対象は、小田急小田原線新百合ヶ丘～新宿(急行上り方面)とする。

分析によって得たパラメータ(表-1)から、駅間走行時間の推定値を算出して、実測値と推定値の比較を行った。到着駅が他路線への乗換駅や緩急乗換駅になっている走行区間では、実測値と推定値に大きな誤差が出る結果となった。

2) 駅停車時間の分析

多項式によって駅停車時間の分析を行う。駅停車時間を t_s 、1ドアあたりの乗降者数を x 、車内人数を y とする。 γ, η, ω はパラメータである。分析対象は、小田急小田原線新百合ヶ丘～代々木上原(急行上り方面)の急行停車駅とする。

算出したパラメータ(表-2)から、駅間走行時間と同様に駅停車時間の実測値と推定値の比較を行った結果、高い再現性を示した。

3) 駅間所要時間の比較

駅間走行時間と駅停車時間の合計を、実測値と推定値で比較(図-1)を行った。走行区間によって、実測値と推定値に大きな誤差が出る結果となった。

< 駅間走行時間モデル > < 駅停車時間モデル >

$$t_l = t_{l0} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{X}{C} \right)^\beta \right\} \quad t_s = \gamma x^2 + \eta x + \omega$$

表-1. パラメータ推定結果

		重相関	観測数
0.589	2.000	0.625	204

表-2. パラメータ推定結果

			重相関	観測数
-0.039	2.367	0.001	0.920	204

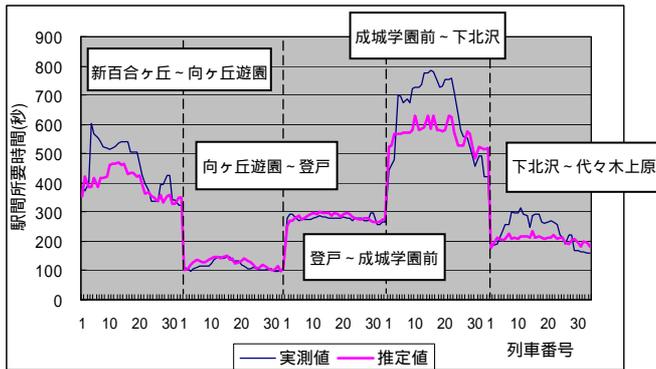


図-1.リンクコスト関数による実測値と推定値の比較

4) リンクコスト関数の問題

急行列車と緩行列車が複雑に運行される路線を対象とする場合、列車種別毎にモデル化するため、先行列車が列車種別の異なる後続列車に与える影響を考慮しにくい問題がある。

4. シミュレーターの構築

鉄道運行の様に、先行列車の遅延による後続列車への遅延の伝播などの、複数の列車が影響を及ぼし合う状況のシミュレーションを行うには、膨大な計算が必要となる。そこで、複数の列車の影響を考慮する事に優れ、列車の挙動を視覚で確認することが可能な、マルチエージェントシミュレーターを用いて列車運行を再現する。列車の駅間走行時間を決める要因は、列車性能、線路設備、保安設備、運転規則、運行ダイヤである。列車や信号設備や駅をエージェントと見立て、エージェントに動作ルールを与えて、線路という空間上でシミュレーションを行う。分析対象は、リンクコスト関数で分析した際に、実測値と推定値の誤差が大きく、線路条件から最も列車本数が密集する区間でもある小田急小田原線下北沢～梅ヶ丘(上り方面)の9列車(8:30～9:00)とする。

1) ルール設定

列車ルールに、列車性能を踏まえた運転士の列車操作、列車種別停車駅、信号機の表示色による速度制限を与える。信号機ルールに、表示色による速度制限指示を与える。駅ルールに、停車時間モデルから求めた推定駅停車時間を与える。スケールは、50mを1マスとし、1秒を1ステップとする。

2) プログラム作成

構造計画研究所のマルチエージェントシミュレーターを使ってプログラムを作成し、上記のルールを各エージェントに与える。

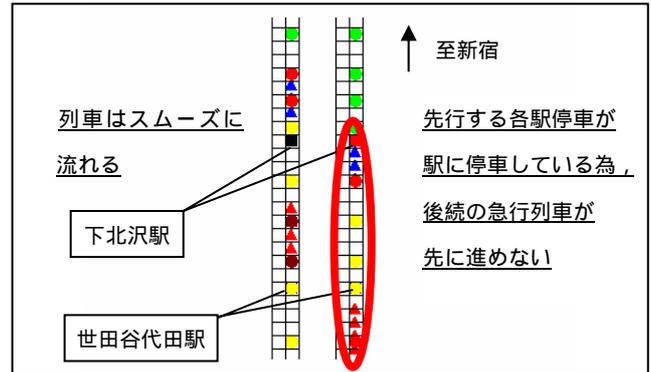


図-2.シミュレーション画面

表-3.シミュレーション結果

下北沢駅	推定到着時刻	ダイヤ到着時刻	結果
各駅停車1	8:38:09	8:38:15	0:00:06 早着
急行1	8:39:24	8:40:20	0:00:56 早着
準急1	8:41:52	8:42:40	0:00:48 早着
各駅停車2	8:45:19	8:45:00	0:00:19 遅延
急行2	8:46:33	8:47:00	0:00:27 早着
準急2	8:49:00	8:49:00	0:00:00 定時
各駅停車3	8:52:22	8:51:30	0:00:52 遅延
急行3	8:53:38	8:53:45	0:00:07 早着
急行4	8:56:10	8:56:00	0:00:10 遅延

3) シミュレーション結果

今回のシミュレーションによって、下北沢駅付近における列車速度の低下や、先行列車が後続列車に与える影響を確認することが出来た。また、今回構築したシミュレーションモデルでは、ランカーブ走行時間よりも短い走行時間で駅間を通過する各駅停車が多数発生する結果となった(表-3)。

5. まとめ

リンクコスト関数による駅間走行時間の推定には大きな誤差が出る一方で、駅停車時間の推定には有意な結果を出すことが出来た。また、シミュレーションモデル結果から、先行列車が後続列車に与える影響を確認する事はできた。しかし、駅間走行時間が実測値と推定値とで大きく異なる結果となった。実際のダイヤには、余裕を持たせた走行時間の設定がされているのに対して、シミュレーターの列車エージェントは、常に最高速度で次駅を目指すルールが設定されている事や、勾配による速度抵抗を取り入れてない事から、到着時刻が早まってしまったと思われる。今後は、分析対象区間と分析対象列車を拡大して、分析を進めていきたい。

謝辞：本研究の分析の際、小田急電鉄株式会社にはデータの提供など、多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を記します。