

エージェントモデルによる都市鉄道の列車速度推定に関する研究*

Estimating Speed of Urban Railway using Agent Model*

上松苑**・宮崎信介***・岩倉成志****

By Shigeru UEMATSU**・Shinsuke MIYAZAKI***・Seiji IWAKURA****

1. はじめに

東京圏の都市鉄道のピーク需要の対策として、鉄道事業者は運行本数を増加してきたが、線路内で列車が飽和状態になり、速度の低下をまねいている。図-1は小田急小田原線の急行列車の新百合丘駅-新宿駅間の所要時間と、表定速度を表している。新百合ヶ丘駅発の時刻が8時前後の列車において、表定速度の大幅な低下が見られる。東京圏の多くの都市鉄道は、激しい車内混雑下で、列車速度の低下と列車遅延が発生しており、大変厳しいサービス水準となっている。

この問題は輸送力不足のみならず、特定時間帯の超過需要によって引き起こされている。需要側からの対策として、フレックスタイム制度の推進や時間帯別料金制度の導入によるピーク需要分散策がある。岩倉ら¹⁾はこれらの分析のため図-2に示す時刻別需要予測モデルを構築システムの開発を行っている。しかし、ここで提案されたBPR関数型の列車速度モデルは緩急行の混在による影響を表現しきれていない他、駅停車時分の影響要因である乗降人員以外での遅延調整は考慮されていない。列車速度は乗降人員、混雑率、前後の列車関係の影響を受け変動する。本研究では、これらを充足し需要の変化に対応するため、マルチエージェントシステムを用いた列車速度推定シミュレーションモデルの構築を目指す。

2. 既存研究

國松ら²⁾は列車ダイヤの評価に用いるために、マイクロシミュレーションである列車運行・旅客行動シミュレーションシステムを開発している。利用者1人1人が乗

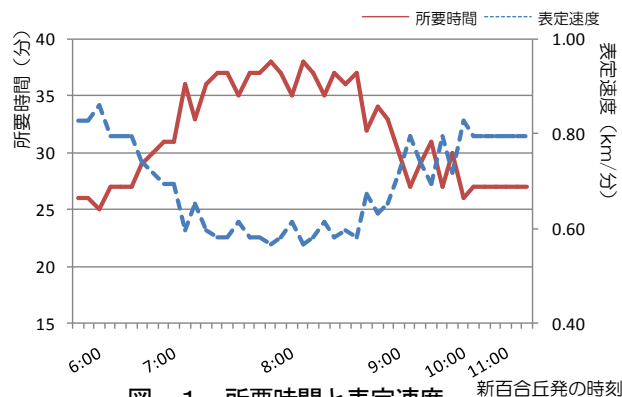


図-1 所要時間と表定速度 新百合丘発の時刻

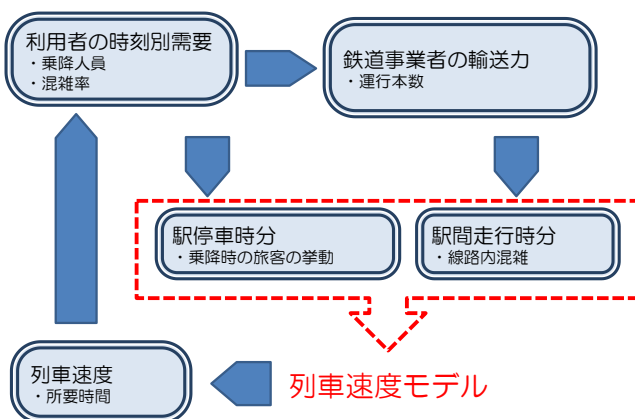


図-2 システムの関係図

継経路を探索し、利用列車と乗車位置(号車、扉)推定する。次に、推定された利用者数をもとに各列車の乗降人員と、列車の混雑推定を行う。乗降人員から駅での乗降時分を算出し、列車遅延を含む運行時刻推定を行う。これらの推定を並行して行い、列車運行と利用者行動との相互作用を考慮したシミュレーションとなっている。課題として、シミュレーション結果の検証と運転整理案の評価への適応の2つ挙げている。

鳥海ら³⁾は各駅における各列車の発着をノードで表し、駅間の列車の運行を電車リンク、同一駅を待ちリンクとして電車ネットワークを作成し、遅延を解析する遅延計算モデルの構築をしている。各駅の各電車に対して、乗降人員をもとに遅延時間を算出し、時刻方向に遅延時間分だけ発着ノードをずらすことで表現している。先行列車との間隔が120秒未満の場合、後続列車の出発時刻を遅らせ、運転間隔120秒としている。この実際の都市鉄

キーワード: 鉄道計画, 出発時刻選択, ターミナル計画

** 学生員, 芝浦工業大学大学院工学研究科

(〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5 研究棟9階)

TEL 03-5859-8354)

***正会員, 工修, 荒川区役所

****正会員, 工博, 芝浦工業大学

(〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5 研究棟9階)

TEL 03-5859-8354)

道でネットワークを構築した結果、算出された遅延時間は著者の経験における遅延時間と近い値であり、モデルの妥当性を示している。しかし、駅停車時間が乗降人員のみが変数とされ、ピーク時には混雑の要素が考慮されていない課題がある。

岩倉ら¹⁾ や田口ら⁴⁾ は、列車速度の検討に自動車交通の需要予測に用いられるBPR関数をベースとするリンクコスト関数を用いている。岩倉ら¹⁾ は推定結果と各調査路線の実測値と比較を行い、重相関係数によってモデルの精度を見ると、急行の駅間走行時間に関しては0.9以上で高い精度となるが、緩行では十分な精度ではない。また、駅停車時間に関してはかなり低い結果となっている。課題として、緩行と急行の相互の影響、駅停車時間での列車の遅延調整、混雑率の影響が考慮されていない点が精度の低下の原因として挙げられている。

3. 本研究で構築目指す列車速度推定システム

(1) 駅間所要時間の構成要因

発駅から着地までの所要時間は、各駅間所要時間の合計となる。図-3で駅間所要時間の構成する時間を示す。駅間所要時間は駅を発車から次駅到着までの駅間走行時間と、列車が駅に停車している駅停車時間の和で決定する。ここで、駅停車時間は乗降時間、調整時間、確認時間から構成する。乗降時間は旅客が降車に要する降車時間と、乗車に要する乗車時間の合計時間である。調整時間は旅客の乗降行動の終了時から、扉が閉まるまでの時間であり、出発時刻や各駅で設定されている標準停車時間まで調整するために時間である。乗降時間に大幅に時間が掛っている場合や、遅延時に後続の列車が接近している場合は、調整時間が減少する。確認時間は扉が閉まってから動き出すまでの時間である。安全に列車を発車できるかを、乗務員や駅員が安全の確認するための時間である。ピーク時の高い混雑状態では、一部の扉で駅員が乗客を押し込むなどの対応のため大幅に増加する傾向にある。

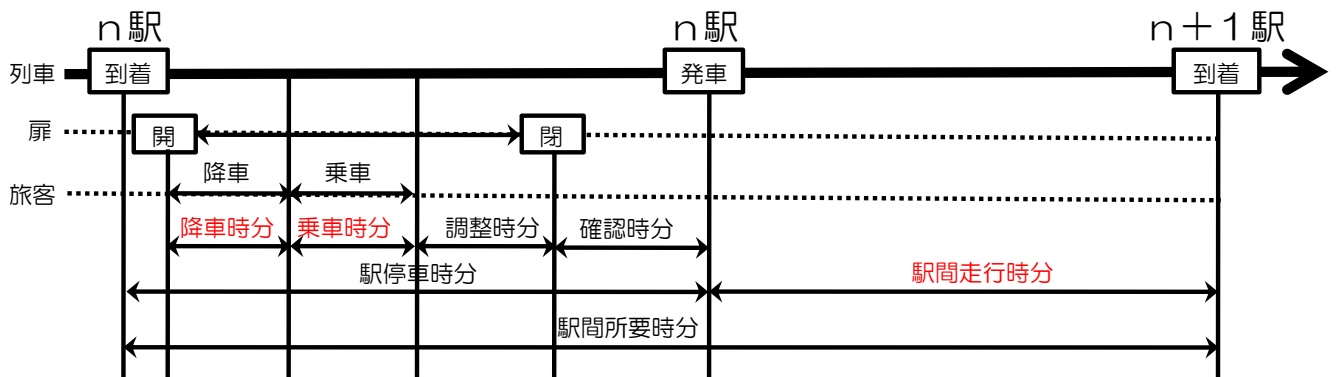


図-3 駅間所要時間のメカニズム

(2) システムの概要

列車速度推定モデルは、駅間走行時間推定モデルと乗降時間推定モデルを統合して構築する。駅間走行時間は運行本数増加による線路内混雑や、緩行と急行が混在する路線の列車種別による影響など、列車間の相互作用を考慮したモデルである。乗降時間推定モデルは駅での乗車旅客、降車旅客の人数や挙動や混雑率、旅客の挙動を考慮したモデルである。調整時間・確認時間の推定モデルは現在構築していないが、両モデルから影響を受け変動するため、2つのモデルを統合して推定できるように考えている。駅間走行時間推定モデルと、乗降時間推定モデルは、列車と列車、旅客と旅客など相互に影響し合って決定される。そのため、マルチエージェント・シミュレータを用いて推定モデルを構築する。

4. 駅間所要時間推定システムの構築状況

(1) 駅間走行時間推定シミュレーション

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。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。使用データは、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。

a) エージェントルールの設定

実際の列車運行に使用されるデータを基に、各エージェントの行動をルール化した。例として、列車エージェントの行動ルールを示す(図-4)。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。

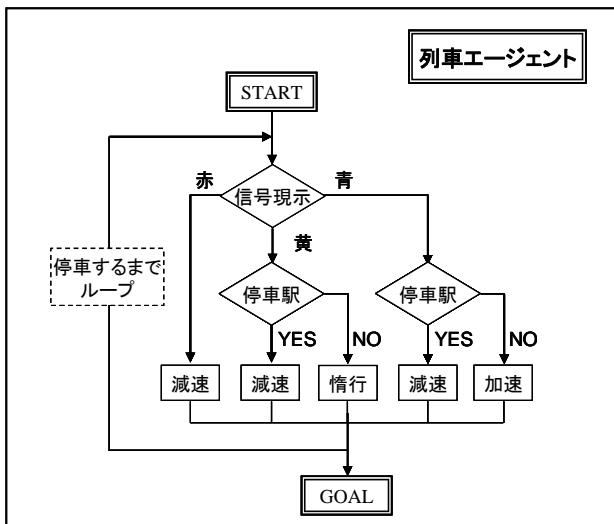


図-4 列車のアルゴリズム

b) シミュレーションの再現性

新百合ヶ丘～新宿間における各列車のシミュレーション画像を図-5に再現，結果を図-6に示す。横軸に新百合ヶ丘～新宿間の所要時分の実測値，縦軸にシミュレーションによる所要時分の推計値となるようプロットしたものである。どの列車も残差±5分以内に収まっており，また，残差平均が118秒，相関係数が0.998と良好な結果が得られた。但し，ここで使用する実測値とは，調査により取得した発着時刻データであり，ほぼダイヤ通りの運行であったことを確認している。

図-6は，ピーク時間帯である8時台に，所要時分の推計値が実測値を上回る列車が多く見受けられたのに対し，ラッシュが終わる9時台になると，所要時分の推計値が実測値よりも過小となる列車が多く見受けられる。また，表-1は時間帯別に相関係数及び残差平均を求めたものであり，ここからも9時台の列車に残差が大きいのことが確認される。オフピーク時の駅停車時分の推計値が過小となり，その積み重ねが大きな残差の原因になっていると考えられる。列車種別ごとに分類すると，各駅停車などの緩行列車で，推計値が実測値を上回る列車が大半であるのに対して，急行などの優等列車は，実測値を下回る列車が多くなる結果となった。

表-2は，列車種別ごとに相関係数及び残差平均を求めたものであり，快速急行の残差平均が大きいことが分かる。また，同じ列車種別内でも，比較的短い所要時分で走行する列車は，推計値が実測値よりも短くなるのに対し，所要時分の実測値が長くなる列車ほど，推計値も長くなる傾向にあることが分かる。考えられる理由として，所要時分が短い列車（＝オフピーク時）と所要時分が長い列車（＝ピーク時）の間に，同じ列車種別内でも時間帯別に傾向が分かっているものと考えられる。

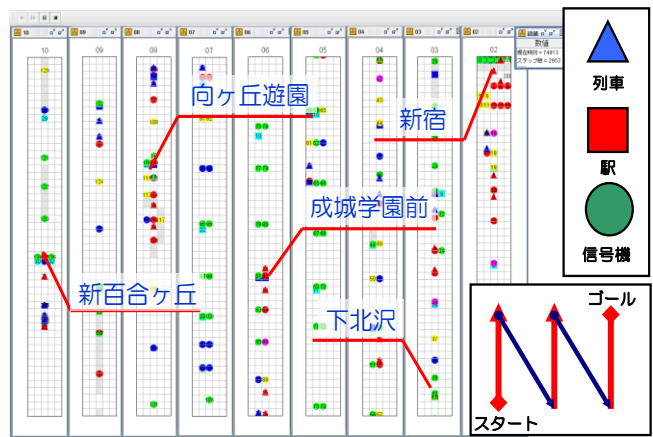


図-5 駅間走行時分推定モデル

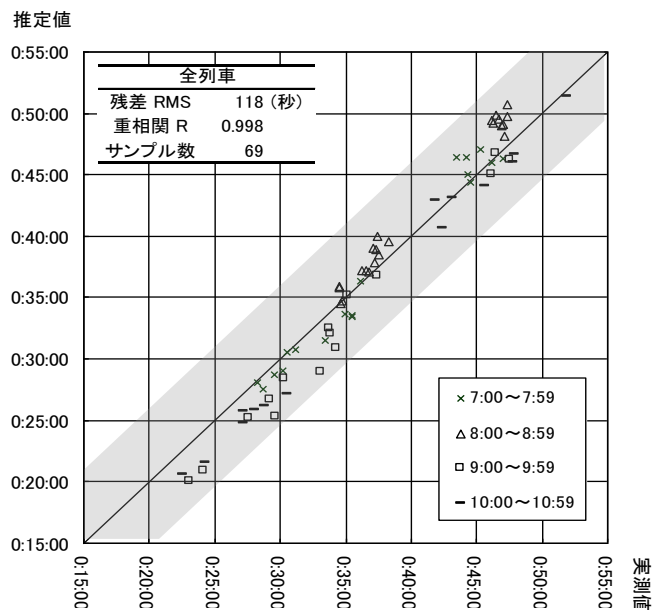


図-6 新百合ヶ丘～新宿間の所要時分（時間帯別）

表-1 精度再現（時間帯別）

	7:00～7:59	8:00～8:59	9:00～9:59	10:00～10:59
残差 RMS	83	118	149	118 (秒)
重相関 R	0.999	0.999	0.999	0.999
サンプル数	18	22	15	14

表-2 精度再現（列車種別）

	各駅停車	区間準急	準急	急行	快速急行
残差 RMS	118	111	73	111	192 (秒)
重相関 R	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
サンプル数	24	2	6	32	4

(2) 駅乗降時分推定モデル

列車到着時の駅ホームと車内との旅客の挙動を1扉に着目してシミュレーションを構築した。旅客を直径0.4mの円で表現し，最高歩行速度を1m/sとする。データとして，実地調査で得た乗降時分・乗降人員データを用いる。混雑率は30分ピッチの断面輸送量，輸送力を平成17年度大都市交通センサスから得た。

a) エージェントのルール

降車旅客，乗車旅客，車内旅客，その他の構造物（扉，座席など）をエージェントとした。図-7は，旅

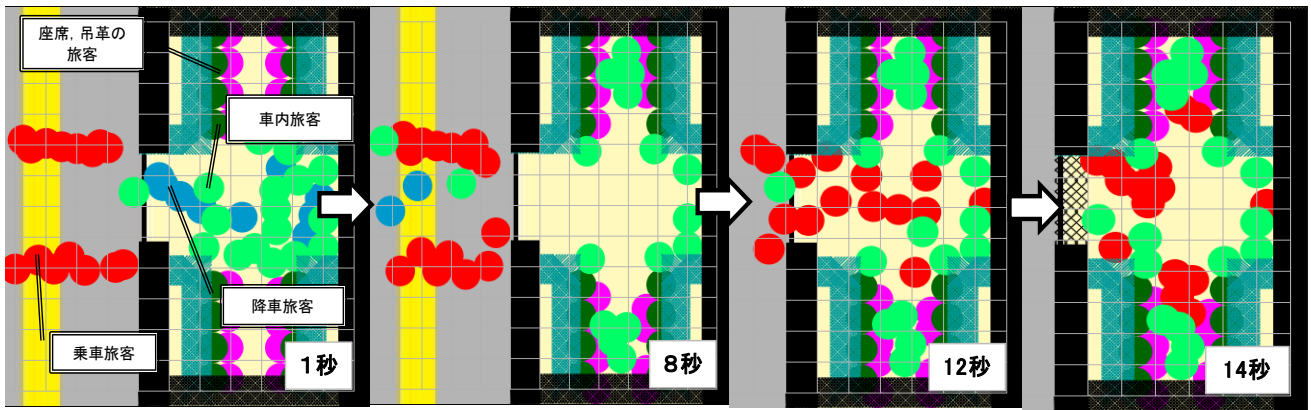


図-8 乗降時分推定シミュレータ図

客エージェントのアルゴリズムである。旅客エージェントは前方のエージェントの位置より、自分の進行方向を決定する。方向の決定後、進行方向の1セル先のエージェント数が0の時のみ加速し進行する。

b) 実行画面

図-8はシミュレーションの実行画面である。降車旅客の降車開始から乗車旅客の乗車完了までを左から時系列で順に1秒後、12秒後、14秒後を示した実行画面である。初期設定として、乗車15人、降車10人、混雑率150%で設定している。

c) シミュレーションの再現性

駅乗降時分を乗車人員、降車人員、混雑率をモデルに設定し、推定した結果と実測値の比較が表-3である。実測値は、駅ホームで最も乗降に時間がかかる階段付近の扉において、実際に調査で得たデータを使用する。推定値は、10回シミュレーションした平均値、標準偏差を示している。混雑率が高い場合は、実測値よりも過大推定となり、混雑率が低い場合は、過小推定となっている。

5. おわりに

東京圏の都市鉄道を対象として、現在構築を進めている列車速度推定のシミュレーションモデルを報告した。今後、駅間走行時分モデルと乗降時分モデルを1つのシミュレーションモデルに統合させる。それによって、調整時分、確認時分も同時に推定できるシステムとなる。課題として、乗降時分推定モデルの再現性が十分でないため、精度の向上を図る必要がある。駆け込み乗車や、発車ベル後の無理矢理乗車する旅客が、駅停車時分に大きく影響を与えることが調査で見られたため、さらに旅客の挙動のモデルで表現することが重要となる。また、現在は外生的に与えている最も乗降者数の多い扉の特定と、その乗降者数についても内生化する必要がある。

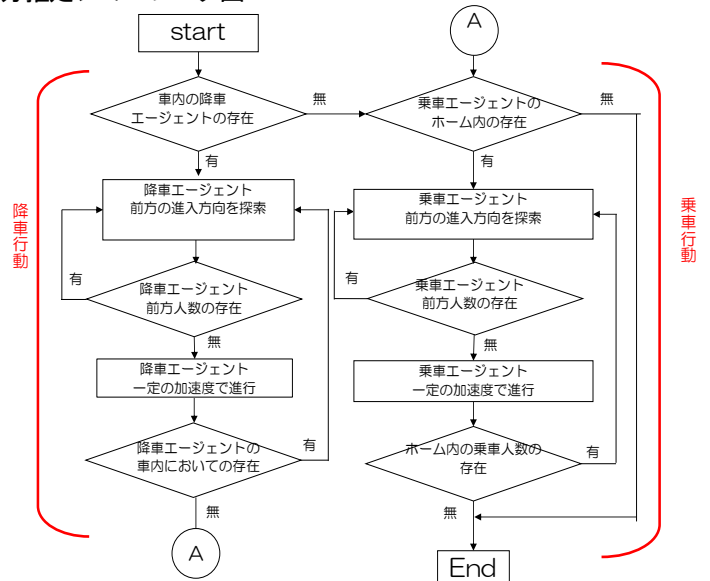


図-7 乗降時分のアルゴリズム

表-3 乗降時分の再現性

	都心駅(ピーク)	都心駅(ピーク)	都心駅(オフピーク)	郊外駅(ピーク)
実測値(秒)	25.6	32.1	14.9	10.6
推定値(秒)				
平均	27.3	33.2	10.4	8.9
標準偏差	3.85	6.45	1.39	1.07
乗車人員(人)	11	10	4	3
降車人員(人)	11	12	13	9
混雑率(%)	230	250	110	130

参考文献

- 1)岩倉成志, 原田知加子: 都市鉄道のピーク需要分散策を念頭におい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)國松武俊, 平井力, 富井規雄: 列車運行・旅客行動シミュレーションシステムの開発, 鉄道総研報告 第21巻 第4号, 2007.
- 3)鳥海重喜, 中村幸史, 田口東: 通勤電車の遅延計算モデル, 社団法人日本オペレーションズ・リサーチ学会 Vol.50, No.6 p. 409-416, 2005
- 4) 田口東, 鹿島茂, 鳥海重喜, 齊藤正俊: 首都圏の実時間鉄道利用者流動推計システムの構築, 運輸政策研究, Vol. 8 No. 028 2005