

エージェントモデルによる東京圏都市鉄道の遅延連鎖シミュレーションの構築*

A Multi-agent Simulation Model for Estimating Knock-on Delay of Tokyo Metropolitan Railway*

上松苑**・岩倉成志***

By Shigeru UEMATSU**・Seiji IWAKURA***

1. はじめに

東京圏の都市鉄道は、通勤・通学需要の集中のためピーク時混雑が劣悪となっている。各鉄道事業者は輸送力増強のため、列車の高密度な列車運行を実施している。しかし、線路内で列車が渋滞を起し、慢性的な遅延や表定速度の低下が起きている。そのため、利用者にとっては、遅延のため時刻表通りに列車が運行されず列車の速度低下のため長時間の混雑を余儀なくされ、心身への負担が高い。さらに、相互直通運転により利便性が高まる一方で、一部の路線で発生した遅延が、他路線まで影響し、広範囲に波及する問題も深刻化している。現在、混雑緩和に関する様々な対策や研究が行われてきたが、過密運行の副作用である遅延の発生・波及に着目し、その明確なメカニズムが確立しているものは少ない。

本研究では、東京圏におけるピーク時の都市鉄道を対象とし、遅延の発生・波及のメカニズムを分析できるシミュレーションシステムを構築する。特に、旅客行動や駅構造などマイクロな原因からの影響を定量的に分析可能な、現実には起きている現象を忠実に再現するため、エージェントモデルによってシステムの構築を目指す。

2. 遅延の原因分析

本研究では遅延の分析にあたり、列車が駅に到着し次駅に到着するまでの駅間の所要時間を、図-1のように分割し定義する。乗降時分とは、駅で旅客が乗り降りしている時間である。調整時分とは駅で旅客の乗降が終了し、扉が閉まるまでの時間とする。確認時分とは、扉を車掌が閉め始めてから、列車が動き始める時間で、扉の物の挟まりによる再開閉や駅員の確認作業の時間とする。

駅間走行時分とは、列車が発車してから次駅に到着する時間と定義する。

表-2に遅延の主な要因とつながる状況を挙げ、その現象がどの時間区分の遅延を引き起こす可能性となるか整理した図である。主な原因と需要の集中が複合して起こる現象が多く、旅客行動が多量の遅延要因に関連していることがわかる。乗降時分は駅での最大乗降人員扉の乗降人員の増減により変化する。また、乗降人員の移動速度の低下が、更なる乗降時分の増加を招く。図-2は乗車人員が扉を通過する時間、乗車人員が車内に入り始める瞬間から車内に完全に入り終えた時間の計測結果である。通過人数の増加につれて一人当たり扉通過時間が増加する。すなわち、車内の旅客が多くなり、乗車密度が高くなるにつれて、乗車速度の低下を招き乗降時分の増加につながる。遅延の発生や波及には、ダイヤ作成時に想定した以上の乗降時分の増加が起因するため、旅客の行動水準まで反映させた分析が必要となる。

3. システムのフローチャート

(1) システム全体のフローチャート

図-3に遅延の発生・波及分析システムのシステムフローチャートを示す。本システムを中心とする「1列車に与えるアルゴリズム」の部分は、複数のエージェント同士の個々のルールとの相互作用で構築する。そして、1列車のアルゴリズムを同一のアルゴリズムを全列車へ与え、全体の路線を表現する。列車を始発駅到着時間に発生させ、駅での停車時間を計算する「乗降時分推定」と列車が走行している時間を計算する「駅間走行時分推定」のアルゴリズムを相互に実行させて繰り返し計算を行う。

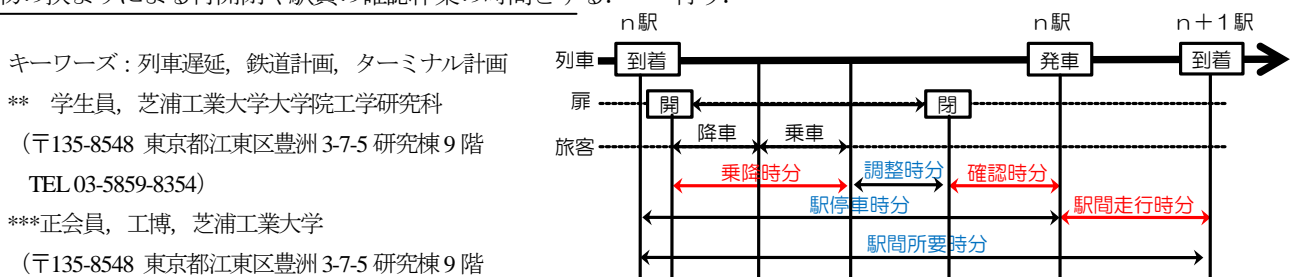


図-1 時間の定義

キーワード：列車遅延，鉄道計画，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)

表-1 遅延の原因

遅延の主な原因	遅延につながる状況	影響する時間区分		
		乗降時分	確認時分	走行時分
需要量	1-1 乗降人員増加による乗降時分の増加	○		△
	1-2 車内混雑による車内での降車速度の低下	○		△
	1-3 車内混雑による乗車速度の低下	○		△
	1-4 車内混雑による無理な乗車の発生	○		△
	1-5 車内混雑による扉にカバン、衣服の挟まった時の扉の再開閉		○	△
	1-6 車内混雑による駅員の確認作業・押し込みの増加		○	△
列車運行本数	2-1 線路内での渋滞による速度低下			○
	2-2 加減速の制約があり、後続列車への運行の影響が大きい			○
	2-3 回復運転のための余裕時間の少なさ			○
駅施設	3-1 降車駅の階段位置の影響を受ける乗車駅での乗車位置での、旅客の局所集中	○		△
	3-2 ホーム内の乗降人員の交錯による移動のしにくさ	○		△
	3-3 ホーム幅、階段幅（エスカレータ、エレベータを含む）の処理能力不足から起こる滞留による移動速度の低下	○		△
	3-4 滞留が列車付近まで達するとき、発車安全性確保のため停車時間の延長		○	△
	3-5 安全確認の方法、安全の確認の取りやすさ		○	△
	3-6 路線全体のホーム容量不足			
相互直通運転	4-1 直通先からの遅延の波及			
	4-2 行き先による旅客の偏りが列車による混雑の偏り	○		△
線路・運行システム	5-1 追い越し施設の不足による非効率な運転			○
	5-2 軌道回路長が長いことによる列車間隔の増加			○
	5-3 異なる車両性能の速度の違い			○
	5-4 ATC・ATSの制御方式			○
車両	6-1 扉幅の広さによる乗降人員の通過量	○		△
	6-2 車両の定員	○		△
	6-3 4ドア、6ドアのドア数による1扉あたりの乗降人員の変動	○		△
	6-4 専用車両の有無や位置による旅客の偏り	○		△
その他	7-1 車内旅客が降車旅客のため、一度ホームに避ける行動の有無	○		△
	7-2 駆け込み乗車の有無		○	△
	7-3 車内扉付近に奥に詰めない人の行動	○		△
	7-4 列車種別による旅客の偏り	○		△
	7-5 駅員の人数・配置		○	△
	7-6 旅客のトラブル（急病人、喧嘩、痴漢）の対応			
	7-7 車両故障、戸袋への荷物の挟まり			

○…直接的な影響 △…間接的な影響

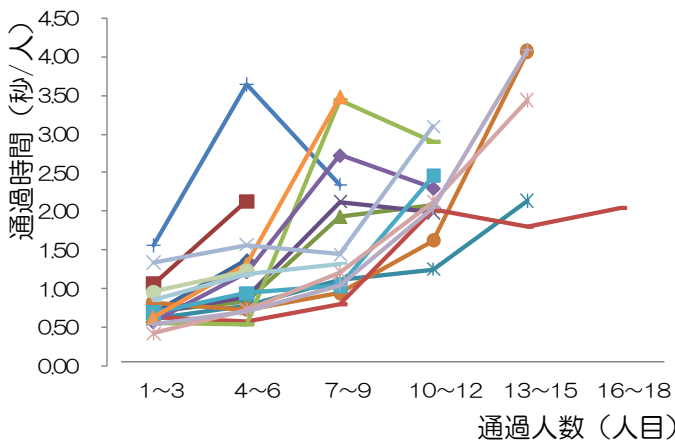


図-2 乗車人員の扉通過時間

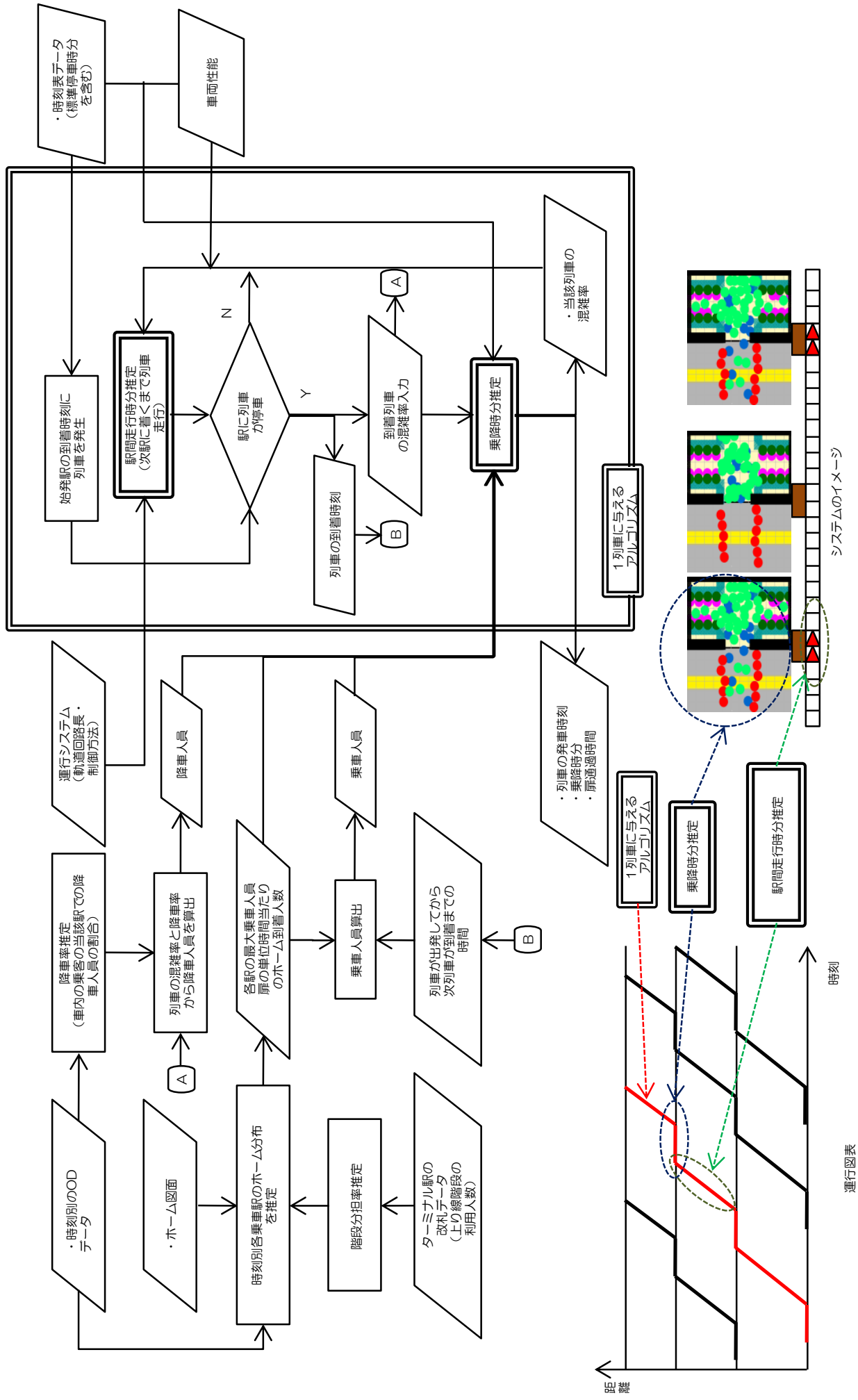
以下に「乗降時分推定」と「駅間走行時分推定」の推計アルゴリズムについて説明する。

(2) 乗降時分推定のアルゴリズム

乗降時分推定サブシステムは各列車の乗降時分、発車時刻、および乗車人数、車内混雑率を出力する。

a) 入力データ

「乗降時分推定」の入力データは、最大乗車人員扉の乗車人員と降車人員、運行間隔と時刻別の乗車人数の変動が影響する単位時間当たりのホーム到着人数、到着列車の混雑率、時刻表データ、車両性能の車両の図面である。



図一3 システムのフローチャート

なお、最大乗車人員扉の時刻別の単位時間当たりのホーム到着人数は、階段位置などの駅構造を考慮したホーム乗車人員分布の推定結果を用いる。この乗車駅のホーム分布は、時刻別のODデータを用いて、降車駅の階段の直近の扉を中心として分布させ、各駅の分布の合計とする。駅には複数の階段が存在するため、旅客が利用する階段の分担率を用いて推定する。階段分担率は階段につながる改札データと階段の旅客通過量を調査し、旅客が利用している割合を算出する。降車人員は到着した列車の混雑率と降車率で算出する。降車率は当該駅で降車する旅客と列車に乗り続ける乗客の割合で、時刻別のODデータで算出する。

b) アルゴリズム

「乗降時分推定」のアルゴリズムを図-4に示す。図-3の「システムのイメージ」ある各駅の最大乗車人員扉を表現した空間を作る。入力された乗降人員と混雑率より、降車旅客エージェントと、混雑率・降車人員より算出した通過旅客エージェントを車内に発生させ、乗車旅客エージェントをホームに発生させる。また、時間経過とホーム旅客到着人数から一定間隔で乗車旅客エージェントが発生する。その後、車内旅客エージェントと降車旅客エージェントは図-5に示す旅客行動アルゴリズムに従って行動する。車内での降車旅客エージェントの存在がなくなり次第、乗車旅客エージェントが同じく図-5に示す旅客行動アルゴリズムに従って乗車する。乗車旅客エージェントのホームでの存在が無くなり次第、発車時刻・乗降時分・扉通過時間を出力し、乗降時分推定処理の終了となる。

旅客行動アルゴリズムを図-5に示す。「旅客行動」は、旅客エージェントの種類と位置から目的方向を向き、前方90°のエージェント数を探索し、方向・速度決定し進行するアルゴリズムとなっている。また、すべての方向に他のエージェントが存在する場合は、エージェントが最も少ない方向を向いて待機する。降車旅客エージェントであれば、ホームで他のエージェントを避けながら降車する様子が表現できる。

すべての列車が駅に停車する毎にこの処理を行うため、全列車全駅における出力データが得られる。発車時刻・乗降時分データを整理することによって、遅延の波及を表現することができる。扉通過時間の結果から、需要量増加による乗降速度の低下が起こす遅延や、遅延による需要量増加による旅客行動など分析できる。

(3) 駅間走行時間推定アルゴリズム

a) 入力データ

「駅間走行時分推定」の入力データは、列車の最高速度や加減速度などの列車性能と軌道回路長などの信号システム情報である。

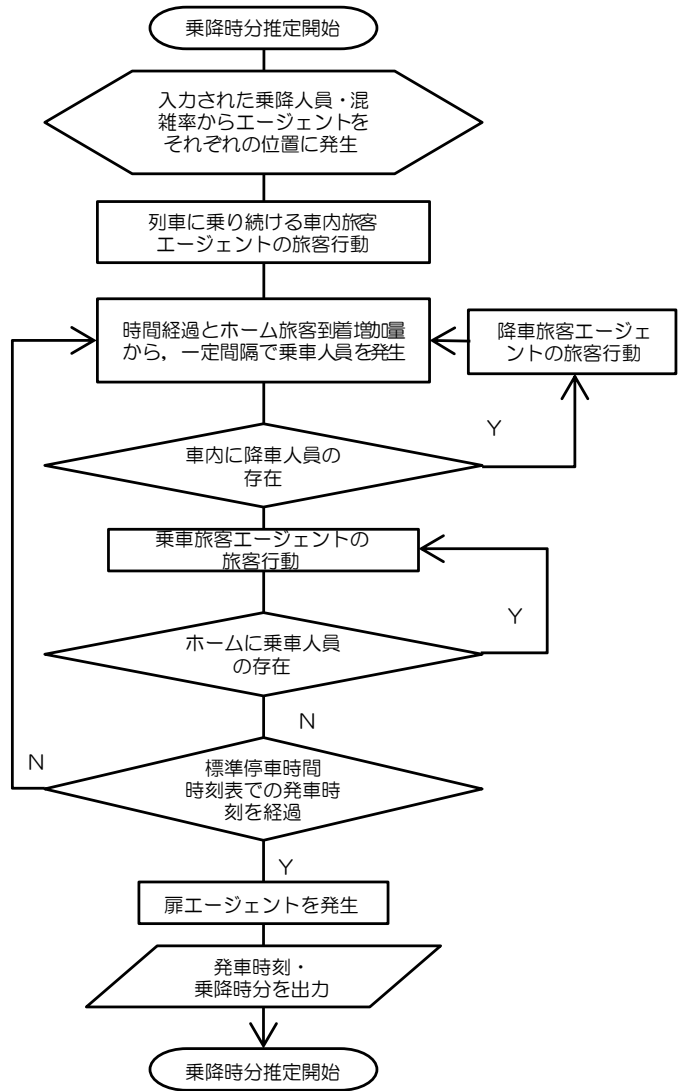


図-4 乗降時分推定アルゴリズム

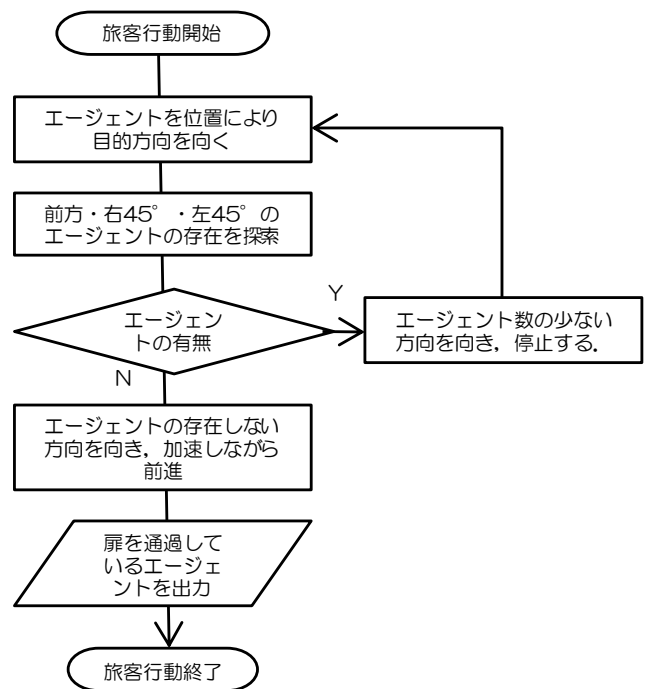


図-5 旅客行動定アルゴリズム

b) アルゴリズム

「駅間走行時分推定」のアルゴリズムを図-6に示す。列車は列車が走行している軌道回路から「制限速度決定」で表示された情報を得る。列車は前方に先行列車と停車駅が存在がなく、駅停車に減速が必要な場合のみ、停止線で停車できるように減速する。それ以外の場合、軌道回路の「制限速度決定」から得た制限速度情報に従い加減速度を決定し、駅に停車するまで進行する。

「制限速度決定」のアルゴリズムを図-7に示す。制限速度決定は列車が軌道回路に入ったとき、その列車と先行列車の存在する軌道回路を取得し、制限速度を決定する。

4. おわりに

本研究のシミュレーションシステムは、未完成ながら、各アルゴリズムとプログラム自体は概ね完成しており、これまでサブシステムのいくつかは発表してきた^{1) 2)}。講演時には、東急田園都市線を対象としてサブシステムを統合した全体のシステムを提示したいと考えている。

参考文献

- 1) 宮崎 藤代 岩倉：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—, J-RAIL2007 第 14 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp365 - 368, 2007. 12
- 2) 上松 岩倉：エージェントモデルによる都市鉄道の乗降時分の推定, J-RAIL2008 第 15 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp 359-360, 2008. 12

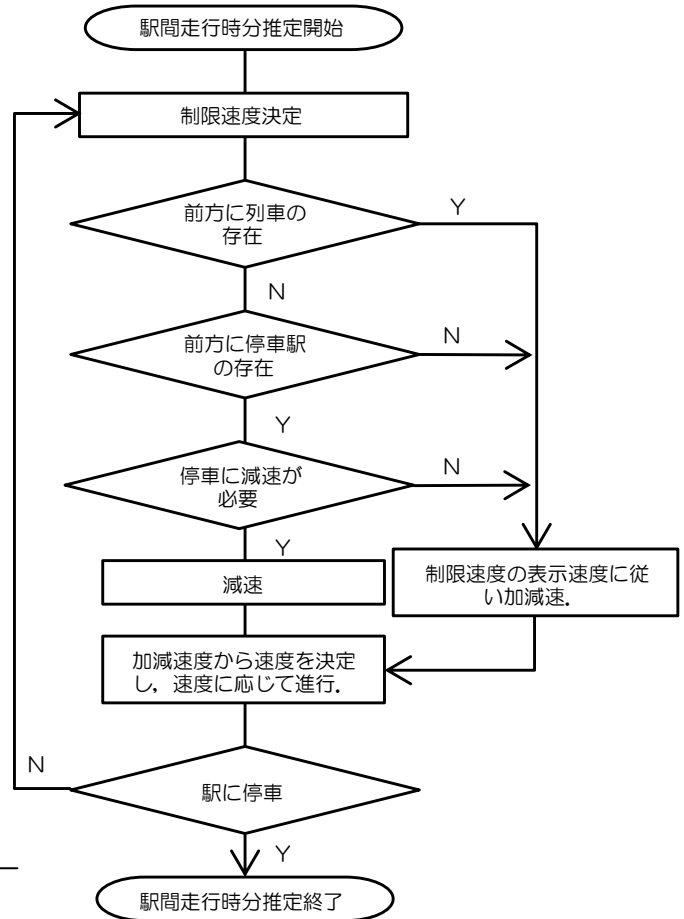


図-6 駅間走行時分推定アルゴリズム

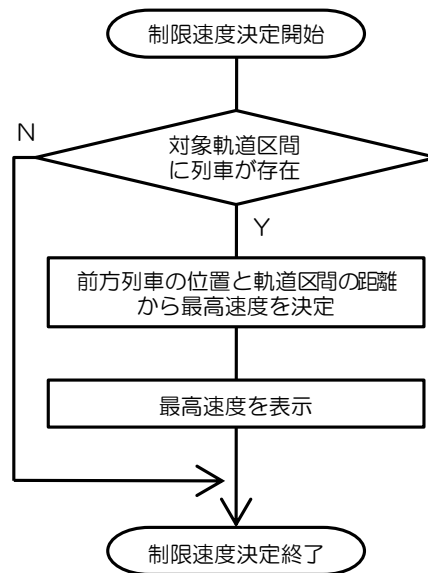


図-7 制限速度決定アルゴリズム