

1704 走行条件を考慮した列車運行シミュレータの開発

○武内 陽子 (鉄道総研)

坂口 隆 (鉄道総研)

正 [電] 熊澤 一将 (鉄道総研)

A train operation simulation system under actual running conditions

Yoko TAKEUCHI, Railway Technical Research Institute

Takashi SAKAGUCHI, Railway Technical Research Institute

Kazumasa KUMAZAWA, Railway Technical Research Institute

The aim of this research is to develop a simulation system that can estimate train operations more accurately. For this purpose, the simulation system needs to be equipped with three functions: (1) increase of dwell time caused by passengers' congestion, (2) calculation of running time under actual running conditions including signal changes, (3) simulation of various driving ways. We explain the overview of the developed simulation system and introduce the results of case studies.

キーワード: シミュレーション, 列車運行, 列車ダイヤ, 運転曲線

Keywords: simulation system, train operations, train scheduling, train performance curve

1. はじめに

より便利でより魅力的な鉄道を構築するためには旅客ニーズに対応することが必要不可欠である。近年、携帯電話やスマートフォンの普及により列車運行計画に関する情報が簡単に入手できるようになり、より高い定時性、より正確な旅客案内に対するニーズはますます高まってくると考えられる。

そこで、本研究の目的は、より正確で精緻な列車運行予測が可能なシミュレータを開発することである。正確な予測ができれば、旅客への運行情報案内の提供や遅延伝播の影響の分析等の様々な用途に利用可能となる。

精緻な列車運行予測のためには、列車遅延と旅客行動との両方を模擬する必要があることは明らかであるが、鉄道事業者が遅延削減のために実施している事例[1][2]等を考慮し、具体的に必要となる機能を Table 1 の 3 点とした。Table 1①については、國松らが開発した列車運行・旅客行動シミュレータ[3]があり、混雑による遅れの増加や遅延を反映した旅客行動の推定が可能である。②については、[4][5]等のシミュレータがあり、これらにおいては、小さな単位時間毎に運動方程式を逐次解きながら列車の位置と速度を計算している。しかしながら、③に取り組んでいる研究は実施されておらず、また、[4][5]のような運動方程式を逐次解く方法を用いて③を実施することは難しいと考えられる。

従って、本研究では、開発済みの[3]を元にして②③を満たすシミュレータを構築することを目指す。本報告では、②の概要およびケーススタディの結果について述べる。なお、②の詳細については[6]に記した。

以下、2 節では精緻な列車運行・旅客行動シミュレータ、3 節ではケーススタディの結果の紹介、4 節では今後の課題について述べる。

Table 1 必要となる機能

	機能	既存研究
①	旅客集中による駅停車時分の増加を再現する機能	[3]にて実装済
②	先行列車の位置による信号現示を考慮し駅間走行を運転曲線レベルで計算する機能	[4][5]等にて実装済
③	様々な運転方法での駅間走行を計算する機能	既存研究なし

2. 精緻な列車運行・旅客行動シミュレータ

2.1 シミュレータの構成

本開発においては、[3]の列車運行・旅客行動シミュレータ作成時のノウハウを活用した。また、停車時分の推定、駅間走行時分の推定、乗客行動の推定それぞれが独立するような構成とし、各推定プログラム個別に機能拡張や機能追加を実施することで効率的な開発を行うことが可能な構成とした。精緻な列車運行・旅客行動シミュレータ全体の構成を Fig. 1 に示す。このうち、本研究で開発するのは、Table 1②③を満たすような運転曲線レベルで様々な運転方法を模擬するような駅間走行時分計算機能となる。

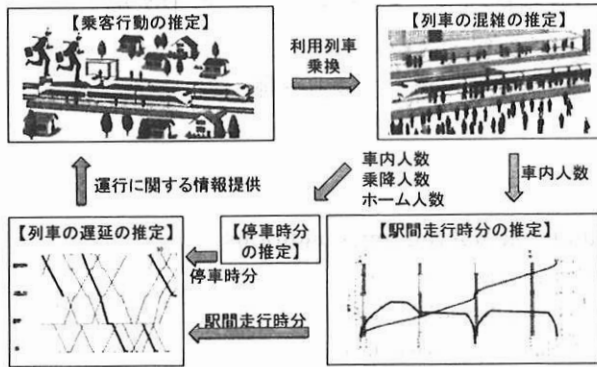


Fig.1 精緻な列車運行・旅客行動シミュレータの全体像

2.2 駅間走行時分推定方法の概要

Table 1②の運転曲線レベルでの駅間走行時分計算手法を構築するにあたり効率的な開発を実施するため、山下が開発した運転曲線作成システム Speedy[7]のロジックを利用して信号条件の変化に対応して動的に運転曲線を修正する手法を採用した。Speedy は、基準運転時分と呼ばれる各停車場間を走行するために最低限必要とされる時間を計算するためのシステムである。駅間の距離だけではなく勾配、カーブ、車両の性能等の条件を考慮して計算され、与えられた静的な信号現示に従ってその駅間を最速運転した場合の運転曲線を計算し、その結果を各路線で決まっている列車ダイヤ作成の最小単位（5秒、10秒、15秒等）にまとめた結果を出力する。実際の運行においては、信号現示は先行列車の位置によって決定されるため、信号現示の時間的な遷移を計算するプログラムを実装し、その結果を信号現示による速度制限へと変換すれば、Speedy のノウハウを利用して運転曲線を計算することが可能となる。結果のイメージをFig.2に示す。詳細は[6]を参照されたい。

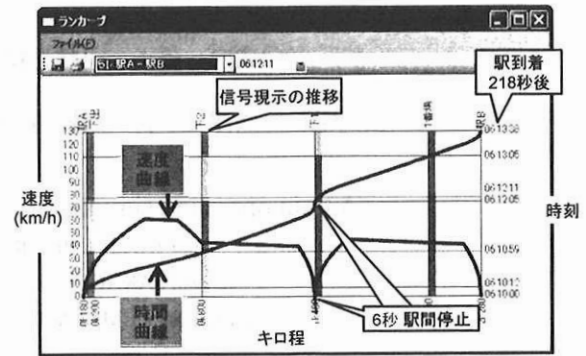


Fig. 2 駅間走行時分計算結果の例

3. ケーススタディ

開発したシミュレータを用いて、簡易な線区における列車運行予測を計算し、駅間走行時分を精緻に計算する効果を考察することを通してシミュレータの有効性を確認する。

3.1 線区と列車ダイヤ

線区と列車ダイヤはFig. 3, Fig. 4の通りである。駅が3つの簡易な線区であり、駅Bには渡り線が設置されており、曲線やこう配がある。列車1は列車2へ、列車3は列車4へと駅Bの渡り線を通して折り返し、列車5は駅Aから駅Cまで下り本線を走行する。車両形式は列車毎に全て異なるとする。Table 2は最も遅い車両形式での各駅間の最速運転時分と列車ダイヤ上の駅間走行時分である。列車ダイヤの最小単位は5秒とする。

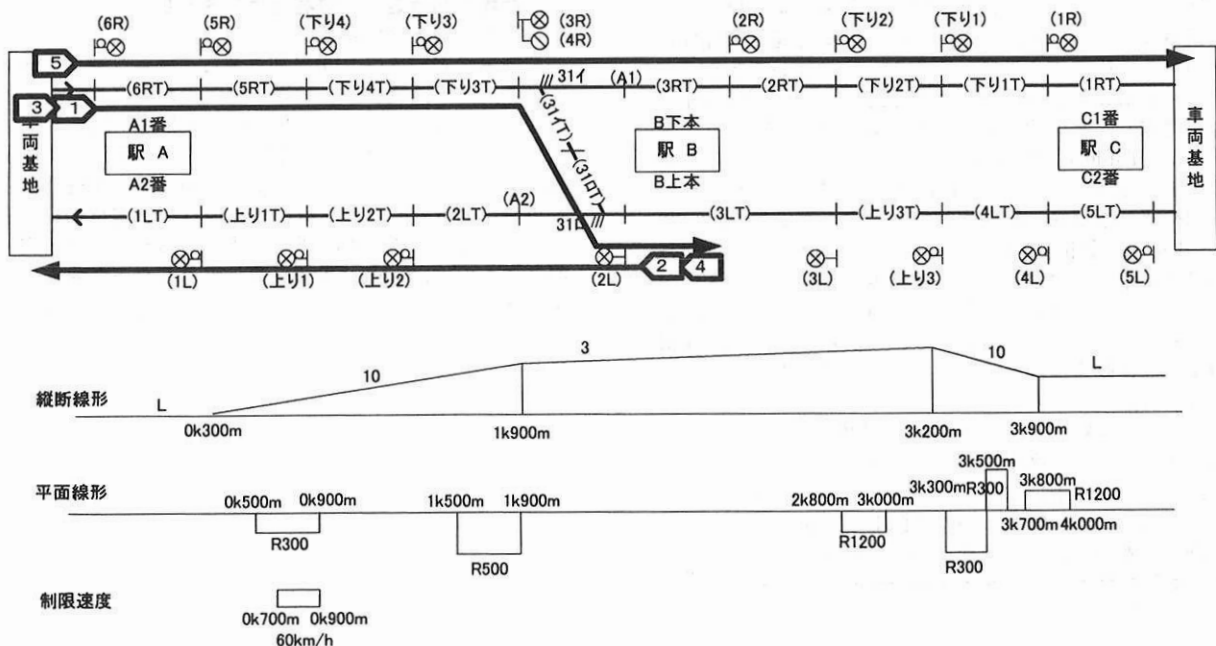


Fig. 3 配線、縦断線形、平面線形、制限速度

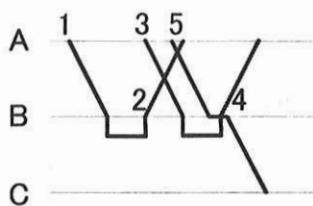


Fig. 4 列車ダイヤ

Table 2 最も遅い車両形式における
各駅間の最速運転時分と列車ダイヤ上の走行時分

駅間	最速運転時分	列車ダイヤ上の走行時分
駅 A～駅 B 下本	147 秒	150 秒
駅 A～駅 B 上本	156 秒	160 秒
駅 B～駅 C	134 秒	135 秒
駅 B～駅 A	146 秒	150 秒

3.2 遅延発生時の列車運行予測精度の比較

遅延発生時に列車間隔が詰まってだんご運転状態になり駅間での減速や機外停止が発生する可能性がある場合には、運行管理者が後続列車の出発を駅で抑止する手配を実施することがある。これは、先行列車の影響を受けない列車間隔を保ちながら運転することが遅延増加を防ぐ有効な方法であることがわかっているからである。イメージを Fig. 5 に示す。

このような事例を実際に模擬して、抑止の効果を検証するため、[3]でのシミュレータと開発したシミュレータにおいて遅延を発生させ、後続列車を所定で出発させた場合と抑止した場合との結果を比較した。

具体的には、列車 2 の駅 B 出発が 150 秒遅延した場合を設定した。Fig. 6 のように、列車 2 が駅 B 上本ホームを占有しているために列車 3 は渡り線に入れずに遅延し、列車 3 の遅延が大きくなれば、更に列車 5 へも遅延が伝播する。この場合の実績ダイヤは Fig. 7 の通りとなり、列車 3 と列車 5 は駅 A～駅 B でだんご運転状態となる。

この遅延時において、列車 5 の駅 A の出発が所定の場合、および、30 秒抑止した場合の運行結果を比較した。駅間走行時分および到着時刻の比較を Table 3 示す。[3]のシミュレータでは列車 5 を抑止した効果を計算することはできなかったが、開発したシミュレータでは、抑止した場合の駅間走行時分が 51 秒早くなり、駅 B への到着時刻も 21 秒早かった。開発したシミュレータでの列車 5 の駅 A～B での運転曲線を Fig. 8、Fig. 9 に示す。所定出発の場合には駅間で信号現示による速度制限を受けて減速した走行となっているのに対して (Fig. 8)、抑止した場合には先行列車の信号現示の影響を受けずに走行できていることがわかる (Fig. 9)。

このように、開発した精緻なシミュレータを用いることにより、遅延が発生した場合の実際の運行管理で実施する抑止手配での遅延回復効果を再現することができ、適切な列車抑止方法への検討等に利用することも可能となると考えている。

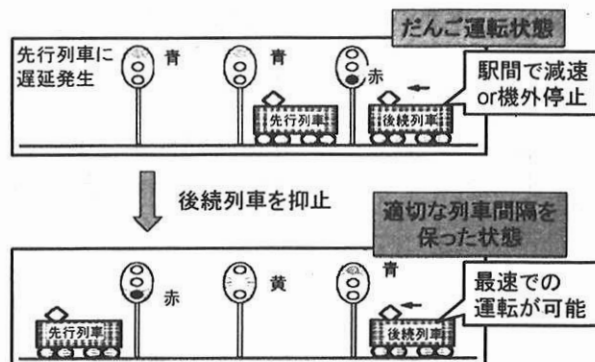


Fig. 5 だんご運転状態における後続列車抑止の例

【列車 2 の遅延が列車 3 に伝播】



【列車 3 の遅延が列車 5 に伝播】

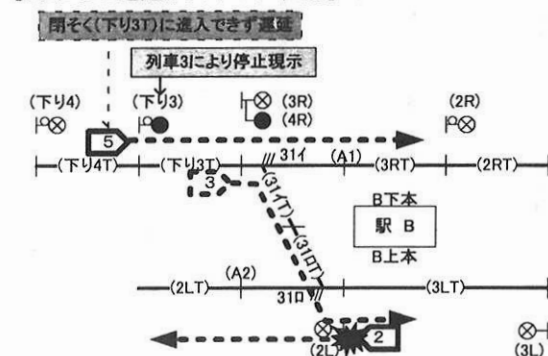


Fig. 6 列車 2 の遅延が列車 3 と列車 5 へ伝播する様子

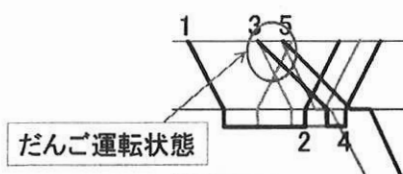


Fig. 7 だんご運転状態の実績ダイヤ

Table 3 列車5の駅A-Bの駅間走行時分の比較

		駅A 出発時刻	駅B 到着時刻	駅間 走行時分
所定 出発	本開発	6:10:00	6:13:18	198 秒
	[3]		6:13:40	220 秒
30 秒 抑止	本開発	6:10:30	6:12:57	147 秒
	[3]		6:14:10	220 秒

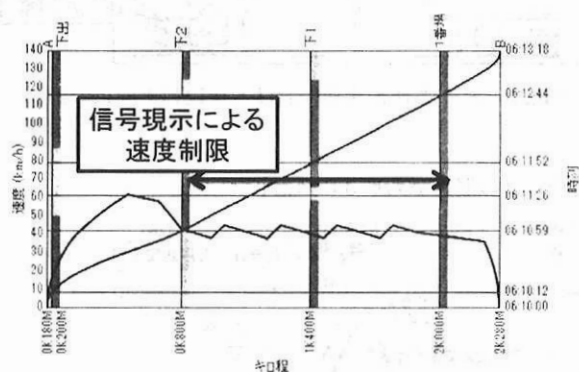


Fig. 8 所定出発の場合の列車5の駅A-Bの運転曲線

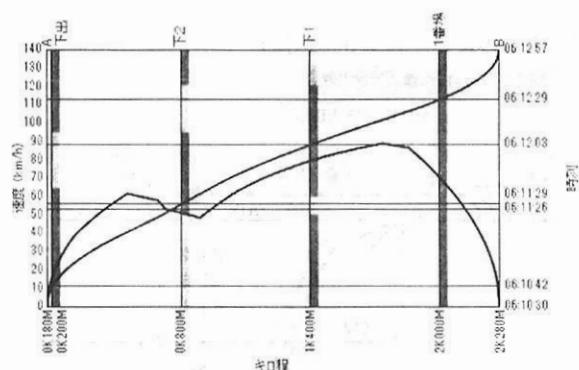


Fig. 9 30秒抑止の場合の列車5の駅A-Bの運転曲線

4. 今後の進め方

Table 1③の様々な運転方法の模擬については、運転士へのヒアリングを実施した結果をモデル化し、プログラム実装している途中である。

また、開発したシミュレータの活用事例として、シミュレータで計算可能な様々なデータを用いた列車運行に対する多面的評価を実施する枠組みを構築する。具体的には、遅延だけでなく、旅客からの視点や、消費エネルギーについても評価可能と考えている。

今後は、実際に近い線区データを用いたケーススタディを実施していく。

なお、本研究は、国土交通省からの技術開発費補助金を受けて実施している。

参考文献

- 1) 富井：鉄道ダイヤのつくりかた，オーム社，2012
- 2) 仮屋崎：都市鉄道の列車遅延の拡大メカニズムに関する研究，第98回運輸政策コロキウム，2010
- 3) 國松，平井，富井：マイクロシミュレーションを用いた利用者の視点による列車ダイヤ評価手法，電気学会論文誌130巻4号，2010
- 4) 仮屋崎，日々野，森地：高頻度運行に伴う都市鉄道の遅延解消に向けた一考察，J-Rail2010
- 5) 中村，富井：マルチエージェントモデルに基づく詳細な列車運行および旅客行動を再現するシミュレータの開発，電気学会全国大会，2010
- 6) 武内，坂口，熊澤：運転曲線レベルでの駅間走行計算が可能な列車運行シミュレータの開発，第49回鉄道サイバネ・シンポジウム，2012
- 7) 山下：特集 鉄道総研 運転曲線図と運転曲線作成システム「SPEEDY」，運転協会誌48巻3号，2006