

## 旅客利便性・経営上の観点による運行計画の評価手法

信号・情報技術研究部 運転システム研究室  
副主任研究員 武内 陽子

### 1 はじめに

近年の運行計画に対するニーズは定時性だけでなく、低コスト、省エネ等多様化しており、これらに応えるためには、旅客利便性・経営上の観点に加えて、社会に対する影響も考慮して運行計画を評価する必要がある。そこで、都市圏の高密度な列車運行において日常的に発生する小規模な遅延を再現可能な列車運行・旅客行動シミュレータを開発し、その計算結果を用いて、旅客利便性・経営上の観点による運行計画の評価手法を構築し、更に、社会に対する影響も評価可能とした。本発表では、運行計画の評価に関する背景、シミュレータの開発、運行計画の評価手法について述べ、ケーススタディ事例を紹介する。

### 2 運行計画の評価に関する背景

鉄道事業者の経営上の立場から考えれば、運賃収入に見合ったコストでの運行計画を作成することが望ましいが、旅客の立場から考えれば、高頻度で定時性が高く便利な列車運行が提供されることが望ましい。しかし、都市圏の朝ラッシュ時のような高頻度な列車運行時は、ある列車への旅客集中による停車時間増加から発生する遅延をきっかけとして、遅延が拡大していく現象が起こりやすい状況となっている。なぜならば、ある列車が遅延することによって先行列車との列車間隔が広がるため、遅延列車はますます混雑して遅延が増加し(増延現象)、結果として後続列車へも遅延が伝播しやすい状況となるからである。すなわち、高頻度な運行計画と定時性の高い運行計画とを両立させるためには、旅客行動等を十分に考慮した運行計画が望まれる。一方で、コストや利便性だけでなく、省エネルギーへの関心も高まってきている。このような背景により、運行計画を旅客利便性、列車遅延、エネルギー消費等の様々な観点から評価し、現在あるいは将来の運行計画に対する総合的な判断が鉄道事業者に求められている。なお、列車の運休や順序変更等の運転整理手配を伴うような規模の列車遅延は、運行計画そのものが変更されるため、ここでは対象外とする。

### 3 列車運行・旅客行動シミュレータの開発

列車運行・旅客行動シミュレータとは、自動改札機等で取得される旅客ODデータを利用し、ダイヤ実施時の列車運行・旅客行動を推定するために開発したシミュレータである。都市圏の高密度な線区においては、

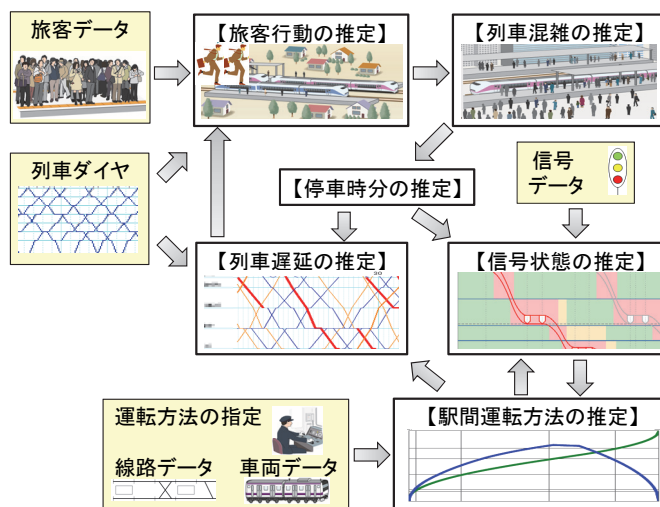


図 1 列車運行・旅客行動シミュレータの全体構成

信号状態，駅間運転方法，旅客行動が列車運行と密接に関係している。これらの相互関係を考慮した列車運行推定を可能とするため，図 1 のようなシミュレータを構成した。表 1 に同シミュレータによる推定機能を示す。各機能の詳細については，文献 9) を参照されたい。

シミュレータの有効性を確認するため，モデル線区のデータを作成した。駅数 20，線路長約 22km，総列車本数 1,072 本，最も列車本数の多い 7 時台の列車本数 16~19 本，1 日の総旅客数約 193,000 人である。計算時間は，Core i3-2100 CPU @ 3.10GHz，実装メモリ 2GB の PC を使用した場合で 17 分 30 秒であった。この条件におけるシミュレーション結果の表示画面例を図 2 に示す。列車ダイヤ図のほかには，列車内の各車両の乗車人数と混雑度，各駅での乗車待ち人数，各駅間の運転方法，配線図の上での列車位置と信号状態等の表示が可能である。

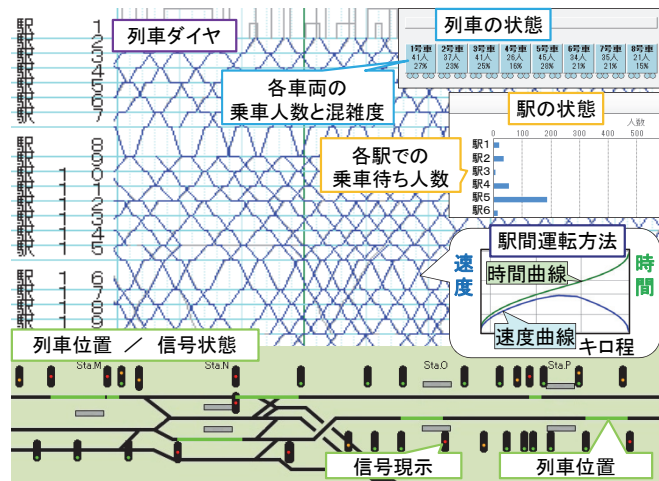


図 2 モデル線区のシミュレーション結果の表示画面例

表 1 列車運行・旅客行動シミュレータの推定機能

推定機能	詳細
① 旅客行動	旅客 1 人 1 人の利用列車等を推定して履歴を出力 旅客によって異なる列車選択行動を表現可能
② 列車運行	旅客集中による列車出発遅延，増延現象，後続列車への遅延伝播を再現
③ 駅間走行時間	信号状態と運転方法を模擬した駅間走行計算 最速運転方法，計画ダイヤ時刻に合わせた運転方法の模擬
④ 消費電力量	列車毎の力行時の瞬時消費電力を計算 全列車分を時刻毎に合計して総消費電力量を計算

#### 4 旅客利便性・経営上の観点による運行計画の評価手法

2 章で記した通り，列車運行に対するニーズは様々である。そのため，まず，様々なニーズを，「旅客利便性」と「経営上」の観点による評価内容，および，評価指標として整理した。このうち，(5)消費エネルギー，(6)瞬間最大電力については，社会に対する影響を表す指標でもある。次に，各指標の値を算出するために必要なデータとの対応付けを行った。これらの結果を表 2 に示す。また，異なる観点からの要望は必ずしも同時には成り立たないトレードオフの関係にあるものも多いことから，評価結果をレー

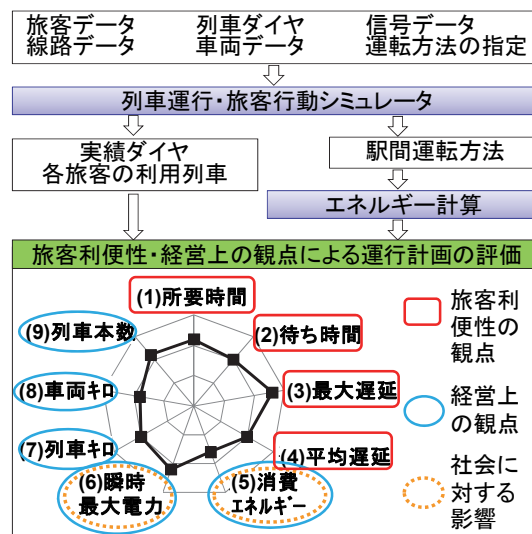


図 3 運行計画評価の実施手順

ダーチャートで表示して比較することとした。表 2 に記載した必要なデータは、3 章の列車運行・旅客行動シミュレータから取得可能である。運行計画評価の実施手順は図 3 の通りである。

表 2 旅客利便性・経営上の観点による運行計画の評価（評価内容，評価指標，必要なデータ）  
※下線部(5)(6)は社会に対する影響を表す指標でもある

観点	評価内容	評価指標	必要なデータ
旅客利便性の観点	利便性	(1)所要時間 (2)待ち時間	各旅客の利用列車
	遅延	(3)最大遅延 (4)平均遅延	実績ダイヤ
経営上の観点	エネルギー	<u>(5)消費エネルギー</u> <u>(6)瞬時最大電力</u>	駅間運転方法
	運用コスト	(7)列車キロ	列車ダイヤ
		(8)車両キロ (9)列車本数	

## 5 ケーススタディ

図 2 のモデル線区を対象に，図 4(a)に示す昼時間帯約 1 時間分の下り列車の列車ダイヤを基にして，何らかの事情で列車運行に対する節電目標値が課せられた際に，消費電力量を現状より削減させるための 2 つの節電ダイヤ案を作成して，運行計画評価を実施し，それらの結果を比較した。

列車運行全体としての消費電力量を削減する主な方法としては，列車本数を間引く，編成両数を減らす，駅間走行時間を長くして節電運転をする等がある。しかし，電力量を削減し，節電目標値を達成しながらも，旅客の利便性低減は極力避けたいと考えられる。ここでは，節電ダイヤ案として，列車本数の多い駅 8 ～ 駅 14 での列車本数を間引いて駅間走行時間を調整し，なるべく等間隔になるように調整したダイヤ案①，および，列車本数は変えずに駅間走行時間に余裕を付加したダイヤ案②を作成した。作成した節電ダイヤ案①②を図 4(b)(c)にそれぞれ示す。

基となるダイヤ，および，作成したダイヤ案①②について，図 3 の手順に従った評価を実施した。基となる列車ダイヤでの評価値を 1 とした場合のダイヤ案の評価値の割合を図 5，表 3 に示す。図 5，表 3 では，値が小さいほど良いことを示している。

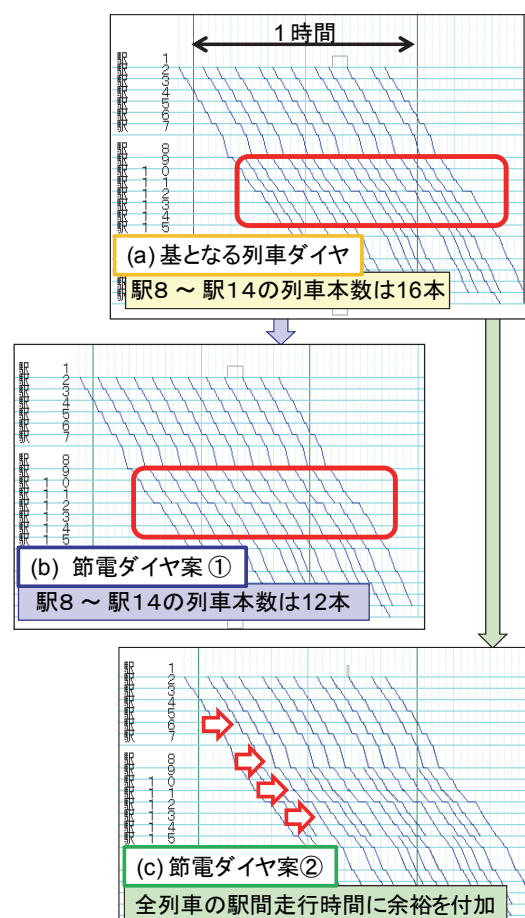


図 4 基となる列車ダイヤと節電ダイヤ案

以下、節電ダイヤ案①と節電ダイヤ案②との比較を行なう。まず、節電目標値（表 3 の評価指標(5)）を考慮すると、節電目標が 9%以下ならばダイヤ案①もダイヤ案②も適用可能であるが、9%を超える節電目標が課された場合にはダイヤ案②を適用する必要があると考えられる。次に、仮に節電目標値が 9%以下であり、ダイヤ案①、②共に適用可能である場合について、

更に考察する。経営上の観点の一部である列車キロ（表 3 の評価指標(7)）、車両キロ（表 3 の評価指標(8)）、列車本数（表 3 の評価指標(9)）は、ダイヤ案①の方が優れている。一方で、旅客利便性の観点では、所要時間（表 3 の評価指標(1)）はダイヤ案①の方が、待ち時間（表 3 の評価指標(2)）はダイヤ案②の方が優れており、複数の評価指標がトレードオフの関係となっている。従って、旅客利便性の観点のうちの所要時間を重視するならダイヤ案①を選択する、社会に対する影響を表す消費エネルギーを重視するならダイヤ案②を選択する、といった判断が可能である。

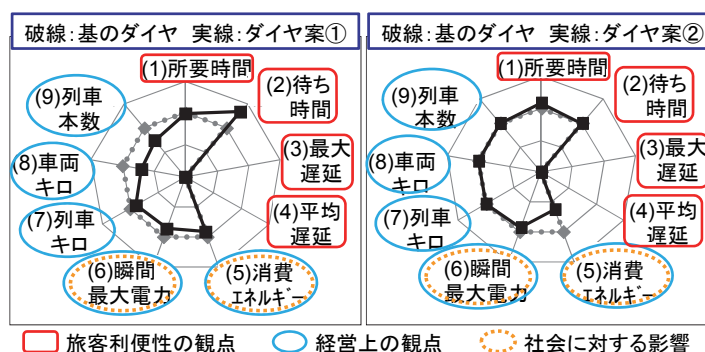


図 5 評価結果の比較  
(基となるダイヤの評価値に対するダイヤ案の評価値を  
グラフ化、値が小さく中心に近いほどよい)

表 3 評価結果の比較（基となるダイヤと評価値が異なるもののみ記載）

	(1) 所要 時間	(2) 待ち 時間	(5) 消費 エネルギー	(6) 瞬時最 大電力	(7) 列車 キロ	(8) 車両 キロ	(9) 列車 本数
基となるダイヤ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
節電ダイヤ案①	0.99	1.33	0.91	0.87	0.89	0.70	0.75
節電ダイヤ案②	1.09	1.00	0.62	0.92	1.00	1.00	1.00

(1)所要時間：駅 1～駅 20 までの所要時間，(2)待ち時間：駅 1 1 における平均待ち時間  
(5)消費エネルギー：力行電力量の総和，(6)瞬時最大電力：1 秒単位での電力量の最大値  
(7)列車キロ：列車単位での総走行キロ数，(8)車両キロ：車両単位での総走行キロ数  
(9)列車本数：駅 8～駅 14 での列車本数

## 6 まとめ

運行計画に対する様々なニーズを、旅客利便性・経営上に観点で整理し、開発した列車運行・旅客行動シミュレータを用いた運行計画の評価手法を構築した。本成果により、運行計画を様々な観点で評価し、節電目標値のような達成すべき基準を満たしているかどうかだけでなく、各指標のバランスを考慮しながら、総合的な判断を支援することが可能となった。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) 武内陽子，坂口隆，熊澤一将，國松武俊，佐藤圭介：「運転曲線レベルで再現可能な列車運行シミュレーション」，鉄道総研報告 Vol.28, No.4, pp.41-46(2014)