

# 運転整理時における乗車率に応じた旅客行動の変化のモデル化

大橋 和也\* 森 拓哉 古関 隆章 (東京大学)

Modeling the change of passenger flow depending on train congestion in train rescheduling  
Kazuya Ohashi\*, Takuya Mori, Takafumi Koseki, (The University of Tokyo)

The train rescheduling in railway operation is a difficult task, and the rescheduling system is expected to support the staff. Previous work suggested the train rescheduling system focusing on passenger delay, but it has problem that it doesn't consider the train congestion. In this paper, the authors introduce the mathematical model of the change of passenger flow depending on train congestion.

キーワード: 鉄道, スケジューリング, 数理計画, 運転整理, 旅客流動, 乗車率  
(Railway, Scheduling, Mathematical programming, Train rescheduling, Passenger flow, Train congestion)

## 1. はじめに

我が国の鉄道は国内の旅客輸送の 28.2%を占める<sup>(1)</sup>重要な輸送手段であり, 専用軌道を持つため定時運行率が高いという特徴がある。しかし, 輸送障害は平成 24 年度には 5,881 件発生しており<sup>(2)</sup>, 長期的に増加する傾向にある。輸送障害などによって列車ダイヤに乱れが生じた場合にはダイヤに変更を加えて復旧する業務が行われる。これを運転整理と呼ぶ。

平常時の運行管理は自動化が進んでいる一方, 運転整理は自動化が進んでいない。これは, 運転整理は指令員の経験による勘に頼る部分が大きいためである。したがって, 指令員の負担を軽減するために運転整理案を自動で作成するシステムが望まれている。

先行研究<sup>(3)</sup>において, 旅客損失に主眼を置き混合整数計画法によって最適化を行う運転整理支援システムが提案された。これにより, 旅客の旅行時間増大量の観点から最適な運転整理案を自動で作成することができた。しかし, 先行研究では実用化に向けていくつかの課題が残されている。

本研究では, それらの課題のうち, 列車の混雑による旅客の行動の変化について改善を行う。

## 2. 列車の混雑による旅客の行動の変化について

ダイヤ乱れのため列車が通常より混雑している場合, 旅客が予定の列車に乗車することを諦める場合がある。この行動の変化を表現する方法としては次の 2 種類のモデル化が考えられる。

(1) 乗車率の上限を設定する方法 列車の乗車率の上限を設定することで, 直近の列車に乗車しない旅客を再現するモデルである。列車に乗車できなかった旅客は, 自

発の列車に乗車することになる。

(2) 最適化の指標に乗車率の影響を算入する方法 最適化の評価関数に乗車率の影響を算入し, 最適化の結果混雑した列車を回避するように旅客が行動するモデルである。このモデルでは, 乗車率が大きく偏ることがなく, 旅客の観点から乗車率の影響を評価できる利点がある。

本研究では, (1)の乗車率の上限を設定する方法でモデル化を行う。

## 3. 旅客流動のモデル化

先行研究<sup>(3)</sup>の旅客流動モデルでは, 旅客はある一定の時間ごとにまとまって出現するとして以下のように定式化している。

$$\sum_{j \in T} z_{k,j}^{o,d} = 1 \quad (\forall o, d \in S, \forall k \in K, o < d) \quad (1)$$

$$d_j^o \geq kz_{k,j}^{o,d} \quad (\forall o, d \in S, \forall j \in T, \forall k \in K, o < d) \quad (2)$$

$d_j^s$ : 駅  $s$  における列車  $j$  の着時刻

$$z_{k,j}^{o,d} = \begin{cases} 1 & \text{時刻 } k \text{ に現れた乗客が列車 } j \text{ に乗車する} \\ 0 & \text{列車 } j \text{ に乗車しない} \end{cases}$$

$S$ : 駅の集合

$T$ : 列車の集合

$K$ : 旅客が駅に出現する時刻の集合

このモデルでは, 旅客は一定時間ごとに駅に出現し, 同じ発駅・着駅で同一時刻に出現した旅客は同じ列車に乗車することが前提となっている。

本研究では, 各列車の乗車率の上限を表現するために以下の条件を導入する。

$$\sum_{o \leq s} \sum_{d > s} \sum_{k \in K} P_k^{o,d} z_{k,j}^{o,d} \leq P_{max} \quad (\forall s \in S, \forall j \in T) \quad (3)$$

$P_k^{o,d}$ : 時刻  $k$  に駅  $o$  に現れて駅  $d$  へ移動する旅客の人数

数

$P_{max}$  : 各列車に乗車できる旅客数の上限

(3)式の左辺は駅  $s$  と駅  $s+1$  の間で列車  $j$  に乗車している旅客の数である。

#### 4. ケーススタディ

図 1 のような運転整理ダイヤを例に、乗車率の上限の考慮の有無による各列車の乗車率の変化を比較した。列車の定員は 2250 人、乗車率の上限は 250% とし、旅客は 2 分ごとに出現するとした。また、各駅間の移動旅客数は表 1 のようにした。

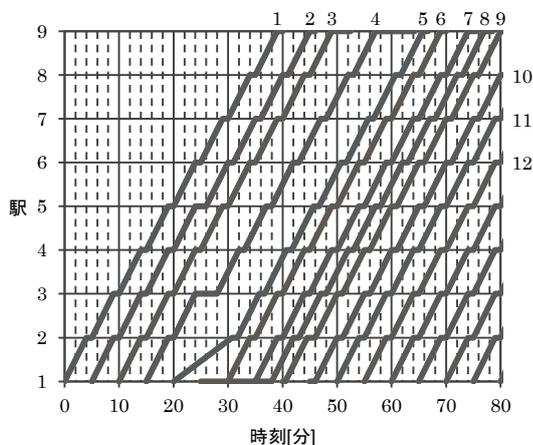
乗車率の上限を考慮しない場合の各列車の乗車率を図 2 に、考慮した場合の乗車率を図 3 に示す。図 2 と図 3 を比較すると、列車 5 の乗車率が 250% 以下に制限されていることが確認できる。また、列車 6 の乗車率が増加しており、列車 5 に乗車できなかった旅客が再現できている。

#### 5. まとめ

ケーススタディの結果から、乗車率の上限を設定した場合、各列車の乗車率が設定した値以下になることが確認できた。しかし、最も混雑する列車では乗車率の最大値が設定値と等しくなることが自然であり、予想に反する結果と

表 1 1 時間当たりの各駅間の移動旅客数[人/時]

	駅 1	駅 2	駅 3	駅 4	駅 5	駅 6	駅 7	駅 8	駅 9
駅 1	0	264	417	390	3150	177	615	138	1290
駅 2	0	0	39	33	783	30	321	30	2163
駅 3	0	0	0	165	1227	108	858	165	8880
駅 4	0	0	0	0	582	66	78	48	5700
駅 5	0	0	0	0	0	612	858	297	8250
駅 6	0	0	0	0	0	0	456	90	5490
駅 7	0	0	0	0	0	0	0	321	5490
駅 8	0	0	0	0	0	0	0	0	7200
駅 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0



図中の数字は列車番号

図 1 運転整理ダイヤ

なった。これは旅客が集団で行動するモデルとなっていることが原因と考えられるため、今後は旅客が集団で行動しないようモデルを改善する必要があると考えている。

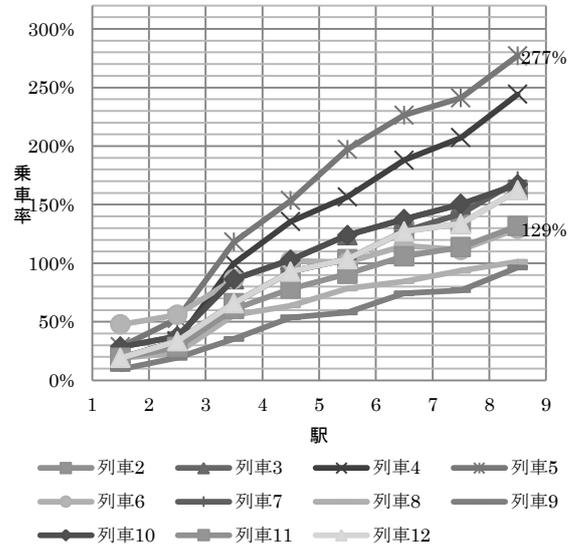


図 2 乗車率の上限を設定しない場合の各列車の乗車率

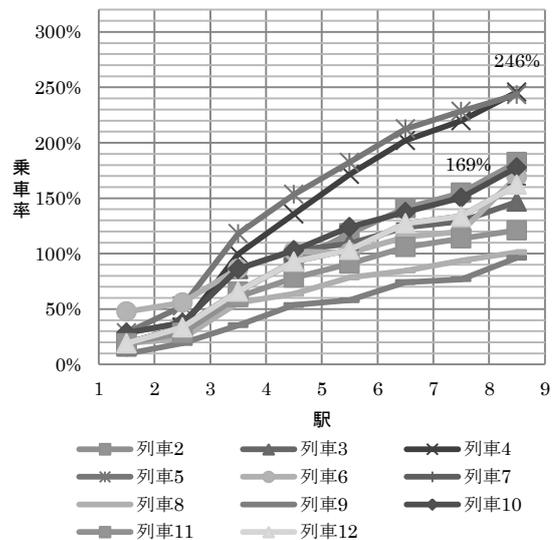


図 3 乗車率の上限を設定した場合の各列車の乗車率

#### 文 献

- (1) 日本民営鉄道協会：パンフレット「環境と鉄道」(2008)
- (2) 国土交通省：「鉄軌道輸送の安全にかかわる情報(平成 24 年度)」(2013)
- (3) 千種 健二・佐藤 圭介・古関 隆章：「混合整数計画法に基づく列車運行乱れ時の旅行時間増大量に主眼を置いた運転整理最適化」, 電気学会産業応用部門論文誌, Vol.132, No.2, pp.170-177 (2012)