

# 首都圏主要路線網における災害時鉄道復旧過程の人災回避

## Optimization of Railway Restoration Process to Avoid Human Disaster

樋野 葉子

千葉大学大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻

指導教員：荒井 幸代

### SYNOPSIS

This work is focused on overflowed passengers in the station and its vicinities which is caused by the confusion of railway network in the disaster. When the Great East Japan Earthquake occur, the train service in Tokyo metropolitan area became full suspension. In this situation, some train line partially resumed and passengers rushed into the resumed station and passenger overflowed in the station. Finally, it become impossible to ensure passengers' safety and the resumed train line forced to suspend again. This situation shows the restarting timetable contributes to the congestion getting worse and the importance of the restarting timetable in the restoration process in the disaster.

We formulate restarting timetable scheduling problem as Combinatorial Optimization Problem and obtained the schedule with a Genetic Algorithm. So we optimized the starting timetable which minimize the overflowed passengers. And from the obtained restarting timetable, we describe our observations toward the dispatching plan.

## 1 はじめに

2011年の東日本大震災では首都圏の主要路線の運休により、駅や駅周辺は帰路を断たれた鉄道利用客で溢れる、いわゆる帰宅困難者問題が表面化した。災害によって、利用客が帰宅経路を絶たれ、滞留することは回避することができない。一方、この状況において、一部区間で運転を再開したために、利用客が殺到し、利用客の安全を確保することができずに、再度運転を見合わせる事態が生じている [1]。このことは、復旧直後の運転再開の失敗が混雑を深刻化させた、いわば人災といえる。したがって、災害時の運転整理において、運転再開計画を考慮することによって回避できる可能性があることを示している。

運転整理に関する研究は二つに大別できる。一つは、駆け込み乗車による乗降時間の延長など、日常で起こる小規模なダイヤ乱れを対象としたもの、災害時の大規模なダイヤ乱れを対象としたものがある。前者では、電車の遅延を最小化する研究、遅延による利用客の不満を最小化する運転整理案作成 [2] に関する研究がある。これに対して、後者では、利用客の不満を最小化することよりも、利用客の安全を確保することが最重要課題となる。後者に関する既存研究 [3][4] では、復旧後の運転再開直後の電車の停車駅を変更することによって、運転再開直後の特定の電車への過度な混雑を回避する運転整理案を作成する方法が提案されている。しかし、通常停車する駅を通過をしなければならないため、情報提供の高度化が必要になるうえに、運転中止時間が長くなった場合に生じる待ち客による駅の容量オーバーを考慮しておらず、あくまで駅の容量より少ない運転整理問題を対象としている。そこで、本研究では、復旧後の運転再開時において、利用客が駅の容量を越えて滞留することを抑制し、運転再開による二次被害を防ぐことを目指す。

具体的には、復旧直後の運転再開計画決定問題を組合せ最適化問題として定式化し、遺伝的アルゴリズムを用いて、駅の容量オーバーを最小化する運転再開計画を求める。著者らは運転再開計画の変更によって、災害時の復旧直後における駅の容量オーバーをどこまで緩和できるのかを定量的に評価すること目標とする。

また、近年の鉄道事業者における運転整理は、ベテランの

指令員が作成した運転整理パターン [5][6] に基づく方法であり、すべての状況に対応しているわけではない。団塊世代の引退によるベテランの指令員数の減少が問題視されており、運転整理パターンを自動作成するシステムが求められる。そこで、本研究では、得られた運転再開計画から、パターンを導くため、運転整理に向けた考察までをおこなう。

## 2 鉄道ネットワークモデル

### 2.1 対象ネットワーク

本論文において対象とする鉄道ネットワークを図 1 に示す。各ノードとリンクは駅と路線を表し、駅の集合を  $S = \{s_i \mid 1 \leq i \leq 4\}$  ( $i \in \mathbb{Z}$ )、各駅の最大収容人数の集合を  $C = \{c_i \mid 1 \leq i \leq 4\}$  ( $i \in \mathbb{Z}$ ) と表す。駅  $s_i$ —駅  $s_{i'}$  間を区間  $[s_i, s_{i'}]$  と表記し、区間  $[s_i, s_{i'}]$  のリンクコスト  $e_{ii'}$  は通常運転時において、この区間を通過するために要する時間を示す。ここで、すべてのリンクコストを  $e_{ii'} = 2$  [min] とする。

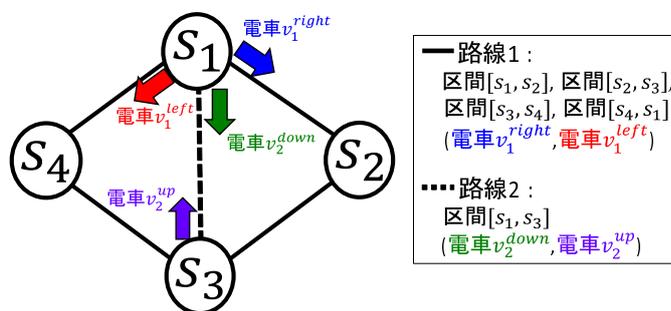


図 1 鉄道ネットワーク

### 2.2 電車モデル

路線は図 1 に示す、2 種類で、集合  $\mathcal{J} = \{j \mid 1 \leq j \leq 2\}$  と表し、路線 1 は区間  $[s_1, s_2]$ , 区間  $[s_2, s_3]$ , 区間  $[s_3, s_4]$ , 区間  $[s_4, s_1]$  を、路線 2 は区間  $[s_1, s_3]$  を通る電車が走る。

各路線  $j$  に対し走行する電車の集合を  $\mathcal{V}=\{v_j^d \mid 1 \leq j \leq 2, d = \{right, left, up, down\}\} (j \in \mathbb{Z})$  と表し、電車  $v_i^{right}$  は右回り ( $s_1 \rightarrow s_2 \rightarrow s_3 \rightarrow s_4 \rightarrow s_1$ )、電車  $v_1^{left}$  は左回り ( $s_1 \rightarrow s_4 \rightarrow s_3 \rightarrow s_2 \rightarrow s_1$ )、電車  $v_2^{down}$  は下り ( $s_1 \rightarrow s_3$ )、電車  $v_2^{up}$  は上り ( $s_3 \rightarrow s_1$ ) を走る。電車  $v_j$  は各路線上で始発駅より走る。

### 2.3 利用客モデル

利用客の集合は  $\mathcal{P}=\{p_k \mid 1 \leq k \leq n\} (k \in \mathbb{Z})$  とし、利用客の出発駅 (Origin)(以下  $O$ ) と目標駅 (Destination)(以下  $D$ ) はすべての駅  $s_i (i \in \mathcal{S})$  よりそれぞれ決定する。首都圏ではオフィス街や住宅街が存在し、通勤 (帰宅) 時には利用客の  $OD$  に偏りがあり、駅内滞留者数にも影響するため、利用客の  $OD$  の組合せを考慮する。

## 3 対象問題：駅の容量オーバー問題

### 3.1 予備実験：災害時の運転再開による人災

予備実験により、災害時の全線運休後の運転再開を再現し、結果より、災害時の運転再開により発生する人災について説明する。運転再開計画作成に必要なパラメータを以下に示す。

- $dep_j^{d,l}$  : 路線  $j$  を走る電車  $v_j^d$  の復旧後  $l$  本目の電車の出発時刻
- $res_j$  : 路線  $j$  の復旧時刻
- $gap_j^d$  : 電車  $v_j^d$  の先行列車との最低出発間隔 [min]
- $dwel_j^d$  : 電車  $v_j^d$  の駅での停車時間 [min]

予備実験では、すべての電車が復旧後、順次運転を再開した状況を再現する。そのため、式 (1) に示す通り、復旧後 1 本目を走るすべての電車  $v_j^{d,1}$  の出発時刻  $dep_j^{d,1}$  を復旧時刻  $res_j$  とし、2 本目以降の電車  $v_j^{d,l} (l \geq 2)$  の出発時刻は前の電車  $v_j^{d,l-1}$  の出発時刻  $dep_j^{d,l-1}$  に最低出発間隔  $gap_j^d$  [min] を加えた時刻とする。

$$dep_j^{d,l} = \begin{cases} \text{if } (l = 1) & res_j \\ \text{if } (l \geq 2) & dep_j^{d,l-1} + gap_j^d \end{cases} \quad (1)$$

ここでは、復旧時刻  $res_j = 100$ ,  $gap_j^d = 10$  [min],  $dwel_j^d = 3$  [min] とし、区間通過時間  $e_{ii'}$  [min] を用いて、運転再開計画を作成する。

利用客の設定として、文献 [?] を参考にし、東京メトロ渋谷駅における時刻別滞留者数の推移から近似式を立て、それに基づいて平常時の通勤ラッシュを想定した利用客が全駅に流入し、最短経路上を移動するとする。また、 $OD$  は、出発駅を駅  $\{s_1, s_2, s_3, s_4\}$ 、目標駅を駅  $\{s_1, s_2, s_3, s_4\}$  よりランダムに選択する。

上記の設定を用いて、全路線網が 100 分間運休し、全路線の復旧と同時に、全ての電車が順次運転を再開した場合を再現し、利用客が出発駅から目標駅まで移動するシミュレーション実験をおこなう。

### 3.2 結果：駅の容量オーバー問題

図 2 にシミュレーション結果より得られた各駅の駅内滞留者数  $n_i$  [人] の推移を示す。x 軸が時刻を示し、y 軸が駅内滞留者数  $n_i$  を示す。黒点線は各駅の容量  $c_i$  を指す。結果より、すべての駅において、駅の容量  $c_i$  を超えている箇所がみられる。結果にあらわれた、急激な駅の容量オーバーが現実には発生すると、利用客の安全を確保することができず、再度運休を起こす可能性があり、混雑の悪

化を招くため、避けるべき状況である。これより、本論文では、災害時の運転再開において、混雑悪化の原因となる「駅の容量オーバー」を人災と定義し、対象問題とする。

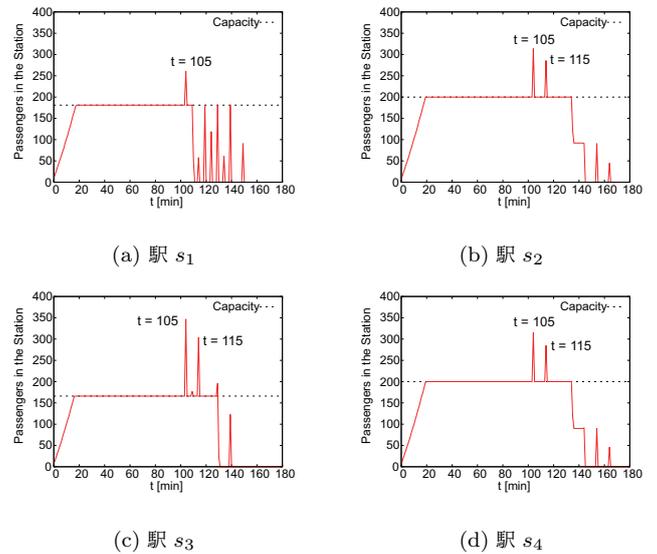


図 2 <予備実験> 復旧後順次運転再開：駅内滞留者数の推移

### 3.3 駅の容量オーバーが発生する運転再開計画の解析

図 3 に予備実験で採用した運転再開計画を示す。横軸が経過時刻  $t$  [min] を示し、縦軸が各駅  $s_i$  を指す。電車  $v_1^{right}$  と電車  $v_1^{left}$  は環状線となっているため、駅  $s_1$  は上下に 2 つ記載があるが、同じ駅を指す。色分けされている線が時刻  $t$  における電車  $v_j^d$  の到着、駅での滞在、出発、走行を示す。

図 2 より、大幅な駅の容量オーバーが発生する時刻  $t = 105$ ,  $t = 115$  を図 3 に合わせてみると、すべての容量オーバーが電車の到着時に発生している。本研究では、駅内滞留者数  $n_i = c_i$  となっており、これ以上利用客が駅に入ることができない時、入場規制がおこなわれることを想定し、出発駅として駅  $s_i$  に入りたい利用客はの外で待つ駅外滞留者となると定義してある。そのため、実際に運転再開による駅の容量オーバーを招く原因のひとつは、電車の到着がもたらす乗降客である。ゆえに、電車の到着時刻や、複数電車の同時到着といった要素に対し、運転再開計画を最適化することで、駅の容量オーバーの最小化をはかる必要がある。

## 4 運転再開計画最適化

### 4.1 遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm)(以下 GA)

GA とは、進化型計算の中心的手法の一つであり、生物が環境に適応して進化していく過程を工学的に模倣した学習的アルゴリズムである。自然解における生物の進化過程では、ある世代を形成している個体の集合の中で環境に適応した個体が高い確率で生き残り、次の世代に子を残す。このメカニズムをモデル化し、環境に対して最もよく適応した個体、つまり、目的関数に対して最適値を与えるような解を求めることが GA の概念である。組合せ最適化問題の解法として用いられる。

### 4.2 運転再開計画最適化問題への定式化

運転再開計画決定問題を組合せ最適化問題として定式化し、GA を用いて解く。GA における定式化について述べる。

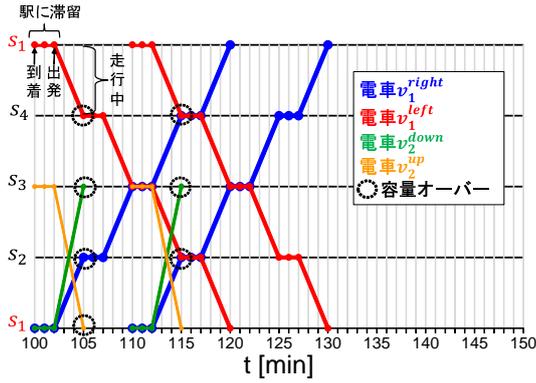


図3 復旧後順次運転再開：運転再開計画

### ■染色体表現

予備実験では、電車  $v_j^{d,1}$  の出発時刻  $dep_j^{d,1}$  は復旧時刻  $res_j$  としていたのに対し、本実験では、復旧時刻  $res_j$  以降、運転再開をおこなう最適な出発時刻を求めるため、 $res_j \neq dep_j^{d,1}$  とし、求める変数を、運転再開時刻  $res_j$  または、前を走る電車の出発時刻  $dep_j^{d,l-1}$  から、出発時刻  $dep_j^{d,l}$  までの時間  $x_j^{d,l}$  [分] とする。実際に出発時刻  $dep_j^{d,l}$  は変数  $x_j^{d,l}$  を用いて、式 (2) の通り求める。

$$dep_j^{d,l} = \begin{cases} \text{if } (l = 1) & res_j + x_j^{d,l} \\ \text{if } (l \geq 2) & dep_j^{d,l-1} + x_j^{d,l} \end{cases} \quad (2)$$

復旧直後 2 本目までの電車  $v_j^d$  の出発時刻を最適化し、駅の容量オーバーをはかるため、出発時刻を求めるために必要な変数  $x_j^{d,l}$  ( $1 \leq l \leq 2$ ) を求める。これは、3.1 節の復旧後順次運転再開をおこなった際の駅内滞留者数の推移 (図 2) と運転再開計画 (図 3) から、大幅な駅の容量オーバーがすべての電車  $v_j^d$  の 2 本目が終点に到着するまでの時刻において発生していたためである。

図 4 に具体的な染色体を示す。変数の値域はそれぞれ  $10 \leq x_j^{d,l} \leq 30$  とする。最小値である 10 は最低出発間隔  $gap$  を用いており、最大値 30 は、対象としているネットワークにおいて、電車  $v_j^d$  が始発駅から終駅に到着するまでに 20 [分] かかるため、とりうる最小値と最大値の幅を 20 [分] とした。運転再開後 3 本目以降のすべての経路を走る電車は順次運行をおこなうとし、出発時刻  $dep_j^{d,l}$  ( $l \geq 3$ ) は、予備実験で用いた式 (1) に従い決定する。

$x_1^{right,1}$	$x_1^{right,2}$	$x_1^{left,1}$	$x_1^{left,2}$	$x_2^{down,1}$	$x_2^{down,2}$	$x_2^{up,1}$	$x_2^{up,2}$
-----------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	--------------	--------------

図4 染色体

### 4.3 評価関数

3.2 節で述べた通り、本論文で着目しているのは運転再開による駅の容量オーバー最小化である。評価関数 (I) を式 (3)、評価関数 (II) を式 (4) とする。

$$\min. f(x) = \sum_{i=1}^4 \sum_{t=0}^T (n_i(t) - c_i) \quad (3)$$

(ただし、 $n_i(t) - c_i > 0$ )

$$\min. f(x) = \left( \sum_{i=1}^4 \sum_{t=0}^T w_i(t) \right) / m \quad (4)$$

$T$  : すべての利用客が移動終了した時刻 [分]  
 $m$  : 全利用客数 [人]

評価関数 (I) (式 (3)) では、運転再開による駅の容量オーバーを最小化する。具体的には、時刻  $t = 0$  より時刻  $t = T$  まで、駅内滞留者数  $n_i(t)$  が駅の容量  $c_i$  を超えた場合、オーバーした人数 ( $n_i - c_i$ ) の合計である。

対する評価関数 (II) (式 (4)) では、駅  $s_i$  がすでに容量オーバー ( $n_i = c_i$ ) となっており、駅に入りきれずに駅外滞留を強いられた駅外滞留者数  $w_i$  より、一人当たりの平均駅外滞留時間を最小化する。これより、運転再開によって再開路線に利用客が殺到し、駅外で滞留する利用客を最小化するための運転再開計画が得られる。

### 4.4 アルゴリズム

はじめに、各個体のもつ染色体の遺伝子  $x_j^{d,l}$  をそれぞれランダムに決定し、初期運転再開計画を作成する。この初期運転再開計画を所与とし、適応度を出すため、3.1 節の予備実験同様、各個体のもつ運転再開計画に対して利用客の移動シミュレーションをおこなう。

次に、シミュレーション結果より、各時刻  $t$  における駅内滞留者数  $n_i(t)$ 、駅外滞留者数  $w_i(t)$  を推定し、評価関数 (I)、(II) より適応度を算出する。得られた適応度をもって、選択・交叉・突然変異の操作をおこなう。

具体的には、選択操作は、エリート保存戦略とトーナメント戦略を用いる。エリート保存戦略では、全個体群の中から適応度が最大となるものを 2 個体保存する。トーナメント戦略ではトーナメントサイズは 2 とし、適応度の高い個体を保存する処理を全個体群からエリートを引いた個体数回繰り返す。交叉操作では、交叉率 0.95 とし一様交叉をおこなう。また、突然変異操作では突然変異率を 0.1 とし、エリートを除いた個体群に対し、個体の各遺伝子が、0.1 の確率で突然変異をおこなう。

以上の操作をあらかじめ決められた世代数だけ繰り返す。最後に、得られた個体群のうち、最も適応度の高い個体の染色体を用いて運転再開計画を決定する。

## 5 計算機実験：駅の容量オーバー最小化

本章では、遺伝的アルゴリズムにより、運転再開計画最適化をおこなった場合の駅の容量オーバーに対する効果を示す。

### 5.1 実験設定

3.1 節に示した予備実験同様、災害発生後、すべての路線  $j$  が走行可能となった復旧時刻を  $res_j = 100$  [min] とし、すべての電車  $v_j^d$  の利用客の乗降を含めた各駅での停車時間を  $dwell_j^d = 3$  [min]、前の電車と後続の電車の最低出発間隔を  $gap_j^d = 10$  [min] とする。利用客についての設定も、予備実験と同様とする。遺伝的アルゴリズムの設定として用いるパラメータは、個体数 3000 個体、終了条件となる世代数は 100 世代とする。

これらの設定をもとに、図 4 し示す染色体の遺伝子  $x_j^{d,l}$  の組

み合わせを最適化することで、運転再開計画を最適化する。

## 5.2 実験結果

### ■評価関数 (I) : 運転再開による駅の容量オーバーを最小化

表 1 に順次運転再開した場合と提案手法により最適化した場合の適応度 [分] の結果を示す。結果より、提案手法では全利用客の容量オーバーとなった合計時間が復旧後順次運転再開した場合に比べて、約 68.7% 削減することができ、提案手法の効果がみられた。

図 5 には得られた運転再開計画を用いた場合の各駅の駅内滞留者数  $n_i$  [人] の推移を示す。x 軸が時刻  $t$  [分]、y 軸が駅内滞留者数  $n_i$  [人] を示す。駅内滞留者数  $n_i$  の推移からも、すべての駅において、順次運転再開した場合と比較して滞留者数の推移を大幅に低減できた。

表 1 評価関数 (I) : 適応度 (駅の容量オーバー時間 [分])

順次運転再開	843
提案手法	264(-68.7%)

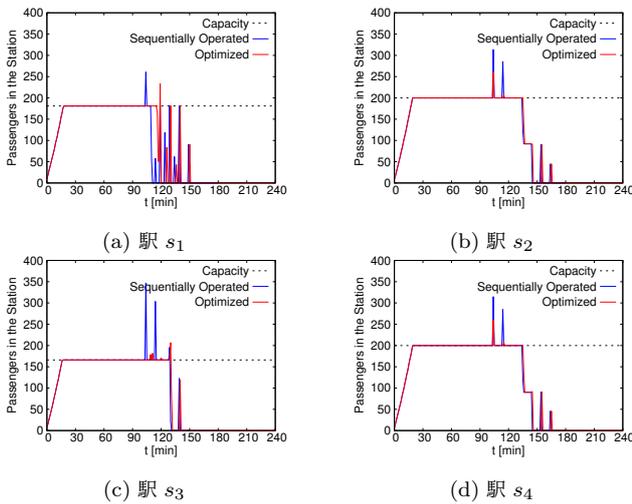


図 5 評価関数 (I) : 駅内滞留者数の推移

### ■評価関数 (II) : 平均駅外滞留時間 [分/人] を最小化

表 2 に評価関数 (II) を用いて、一人当たりの平均駅外滞留時間を最小化した場合、得られた最適な運転再開計画の適応度 [分/人] と、順次運転再開した場合の比較結果を示す。結果は、平均駅外滞留時間は運転再開計画を最適化した場合と復旧後順次運転再開した場合で、ほとんど変わらず、約 0.75% だけ削減した。表 3 に得られた各電車  $v_j^{d,l}$  の出発時刻を示すが、順次運転再開した場合には各電車の出発時刻  $dep_j^{d,l}$  が  $(dep_1^{right,1}, dep_1^{right,2}, dep_1^{left,1}, dep_1^{left,2}, dep_2^{down,1}, dep_2^{down,2}, dep_2^{up,1}, dep_2^{up,2}) = (100, 110, 100, 110, 100, 110, 100, 110)$  となるため、大筋同じ結果であった。

ゆえに、運転再開した路線に殺到したものの、駅に入ることができない利用客 (駅外滞留者数) を最小化するためには、どの路線からでも、早急に電車を運転再開させ、利用客を捌けることが求められることが分かった。

表 2 評価関数 (I) : 適応度 (平均駅外滞留時間 [分/人])

順次運転再開	55.63
提案手法	55.21 (-0.75%)

表 3 評価関数 (II) : 各電車  $v_j^{d,l}$  の出発時刻

	電車 $v_1^{right}$	電車 $v_1^{left}$
(1 台目, 2 台目)	(100, 110)	(100, 110)
	電車 $v_2^{down}$	電車 $v_2^{up}$
	(100, 110)	(100, 112)

## 6 運転整理に向けた考察

5 節の評価関数 (II) を用いた場合、運転整理において、復旧した路線から順次運転再開することが求められることが分かった。対する、評価関数 (I) のときに運転再開計画に求められる運転整理パターンをみつけるため、利用客の流入率を変え、5 節と同様に追加実験をおこない、得られた運転再開計画から運転整理に向けた考察をおこなう。

### 6.1 追加実験設定

実験設定は 5.1 節と同様とする。ただし、今回は、流入する利用客の大小にだけ焦点を当てるため、本実験では駅  $s_i$  の容量  $c_i$  はすべて同じとする。

駅  $s_i$  における利用客の流入率を  $f_i (1 \leq i \leq 4)$  とする。各駅  $s_i$  の流入率  $f_i$  の大小の組み合わせを変化させ、5 節同様、運転再開計画の最適化をおこなう。

### 6.2 運転整理パターンの考察

すべての組み合わせを実験した結果から、運転再開計画に共通したパターンがみられたケースを紹介する。

#### ■ $f_1$ (始発駅かつ流入車両が 3 種) が最大の場合

$f_1$  が最大となる組合せをもつすべての実験結果より得られた運行計画に共通してみられた特徴は、路線 2 において、駅  $s_1 \rightarrow s_3$  を走る電車  $v_2^{down}$  から先に必ず運転を再開させる点である。 $f_1$  が最大となる場合、各駅への流入は図 6(a) となる。これより分かる通り、駅  $s_1$  への流入が多くなるが、駅  $s_3$  への流入は少ない。電車  $v_1^{right}$ 、電車  $v_1^{left}$  はそれぞれ流入の少ない駅  $s_2, s_4$  へ向かうが、どちらも  $s_1$  へ流入する。そこで、駅  $s_1$  への流入もせず、駅  $s_1$  の利用客を外に捌けることができる電車  $v_2^{down}$  を先に出発させることで、容量オーバーを抑制していると考えられる。

#### ■ $f_3$ (途中駅かつ流入車両が 3 種) が最大の場合

$f_3$  が最大となる場合、各駅への流入は図 6(b) となる。駅  $s_1$  と駅  $s_3$  はどちらも、流入路線が 3 本あるという点で共通しているが、駅  $s_1$  が流出入する全 4 車両中 3 車両において始発駅となることに対し、駅  $s_3$  では 1 車両だけ始発駅となり、他ではすべて途中駅となる。つまり、電車の復旧直後に利用客が流入してくる前に駅  $s_3$  から利用客を流出させることができるのは、駅  $s_3 \rightarrow s_1$  を走る電車  $v_2^{up}$  だけとなる。そこで、駅の容量オーバーを最小化するためには、路線 2 において、電車  $v_2^{down}$  が駅  $s_3$  へ到着するよりも先に必ず電車  $v_2^{up}$  を駅  $s_3$  から出発させるといったパターンがみられた。

## 7 首都圏主要鉄道網に向けた応用

本章では、首都圏主要鉄道網における鉄道復旧過程の人災回避に向けて、渋谷駅を対象とした実験について述べる。

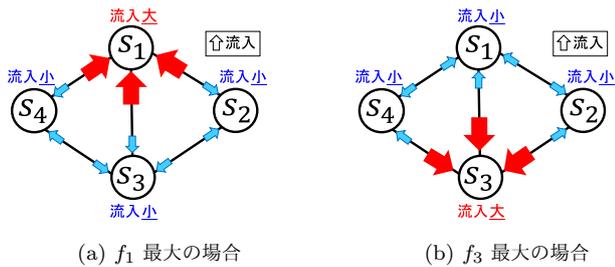


図6 各駅の利用客の流入 概念図

渋谷駅における対象路線は、JR 山手線 (内回り), JR 山手線 (外回り), JR 埼京線 (池袋・大宮方面), JR 埼京線 (大崎方面), JR 湘南新宿ライン (大船方面), JR 湘南新宿ライン (大宮方面), 東急東横線 (横浜方面), 東急東横線 (渋谷方面), 東急田園都市線 (中央林間方面), 東急田園都市線 (渋谷方面), 東京メトロ銀座線 (浅草方面), 東京メトロ銀座線 (渋谷方面), 東京メトロ副都心線 (和光市方面), 東京メトロ副都心線 (渋谷方面), 東京メトロ半蔵門線 (押上方面), 東京メトロ半蔵門線 (渋谷方面), 京王井之頭線 (吉祥寺方面), 京王井之頭線 (渋谷方面) の 18 路線である。これらの全路線を対象とし、渋谷駅の滞留者数の推移を観察するとともに、渋谷駅において、復旧過程における駅の容量オーバーを最小化する最適な運転再開を求める。渋谷駅の各路線の流入, 流出については文献 [7] を参考に算出する。

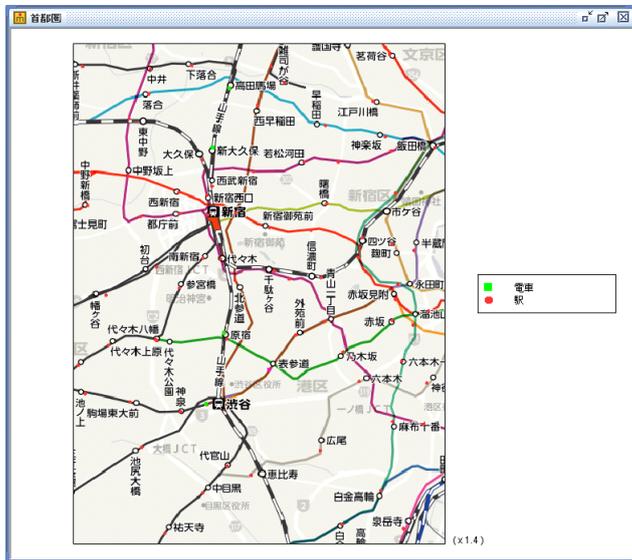


図7 出力画面

## 8 結論と今後の課題

本論文では、災害時の鉄道復旧過程における運転再開による人災に着目した。ここで、人災とは、災害時に主要路線が運休し、利用客が駅に滞留しているなか、運転再開をおこなうことにより、乗降客がさらに駅へ殺到し、駅の容量オーバーが発生してしまうことである。駅が容量オーバーとな

ると、利用客の安全確保が難しくなり、復旧路線も再度運休を強いられ、混雑悪化を招く。

そこで、筆者らは復旧直後の運転再開計画を最適化し、駅の容量オーバーを最小化した。具体的には、電車の運転再開計画を決定する問題を、復旧直後の各電車の出発時刻を最適化する組合せ最適化問題として、遺伝的アルゴリズムを用いて解いた。実験結果より、復旧後順次運転を再開した場合と比較して、運転再開計画を最適化することによって、駅の容量オーバーを大幅に削減することができた。

また、運転整理パターンをみつけるため、得られた運転再開計画の特徴を考察をおこなった。しかし、現在は運転再開計画からパターンを考察したに過ぎず、有効性の評価にはいたっていない。今後の課題として、運転整理パターンの有効性を評価するため、首都圏主要路線網を対象としたシミュレーションを作成し、運休後の状況を再現し、得られたパターンを用いて運転整理の効果を検証する必要がある。

## 参考文献

- [1] 大規模地震発生時における首都圏鉄道の運転再開のあり方に関する協議会：“大規模地震発生時における首都圏鉄道の運転再開のあり方に関する協議会報告書”，国土交通省 (2011.3)
- [2] Keisuke Sato, Kei Tamura, Norio Tomii : A MIP-based timetable rescheduling formulation and algorithm minimizing further inconvenience to passengers, Elsevier, Journal of Rail Transport Planning & Management, pp.38-53, (2013)
- [3] 楊中平, 古関隆章, 曾根悟, “選択停車を利用した運転再開直後の運転整理案の自動生成”, IEE Japan, Vol.122-D, No.2 (2002)
- [4] 楊中平, 古関隆章, 曾根悟, “鉄道ネットワークにおける長時間不通解消直後の列車運行法”, 日本機械学会第7回鉄道技術連合シンポジウム, No.00-50, pp.375-378 (2000)
- [5] 中村達也, 平井力, 熊澤一将, 石原裕介 “臨時折返しを含む整理パターンを活用した運転整理案作成手法”, 鉄道総合研究所報告 (2011.12)
- [6] 平井力：“列車ダイヤ乱れ時の再スケジュールリングアルゴリズム”, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学 53, pp.446-452 (2008)
- [7] 主要駅流入・流出状況: JR 東日本企画メディアデータ路線プロフィール (2013) ([http://www.jeki.co.jp/transit/mediaguide/pdf/jmg15\\_MD\\_P26.pdf](http://www.jeki.co.jp/transit/mediaguide/pdf/jmg15_MD_P26.pdf)) (2016.2.18 アクセス)