

修士論文

列車運行乱れ時の因果律を考慮した
乗客流推定に基づく
運転整理システムにおける
整理案の効率的評価・適用法

Efficient Algorithms for Evaluating and Implementing
Rescheduling Plans for Train Rescheduling System
using Simulations of Passenger Flow
Considering the Causality During Disordered Operation

平成 20 年 2 月 4 日提出

指導教員 古関 隆章 准教授

東京大学大学院 工学系研究科 電気工学専攻

学籍番号 66447

原 和弘

HARA Kazuhiro

内容梗概

鉄道において列車の運行が乱れた際には、適切にダイヤを変更してその波及を防ぐ運転整理作業が行われる。現状ではダイヤ変更のためのアルゴリズムや評価の系統的方法論が確立されておらず、指令員の定性的判断と経験に頼る部分が大きく、運転整理業務を支援するシステムが必要とされている。先行研究より、乗客の視点に立ったダイヤの定量的な評価とダイヤ変更を行うアルゴリズムを組み合わせることで運転整理案を提示するシステムの開発を行っている。

本研究では、乗客の視点に立ったダイヤ評価を適切に行うために、従来の計画ダイヤを対象とした乗客流推定法に新たな条件や処理過程を導入し、列車運行乱れ時における乗客の行動変化を反映したモデルを提案した。また、細かな列車スケジュール修正においては複数回の探索をせずに評価・適用を行う方法を提案した。さらに、対象路線を運行形態が複雑な複々線区間に拡張した。これらにより、複々線区間においても実用的な時間内に適切な評価を基にした整理案作成が可能となった。

Abstract

When train operation is disrupted, rescheduling is often needed to prevent further traffic congestion. Train dispatchers presently accomplish the main tasks involved in train rescheduling. Dispatchers must use their experiences and intuition because there is no established algorithm for creating and evaluating a train schedule. As a result, dispatchers have requested a scheduling support system. The author's group proposed a method to rate train operation plans quantitatively from passengers' point of view. Furthermore, the authors developed a system that supports the rescheduling task by generating and evaluating a new train schedule.

In this research, the author proposes a causality-based passenger flow estimation method that reflects the altered behavior of passengers during disrupted train operation. The author also proposes a method of making a rescheduling plan without multiple searches for minor changes of schedule. This method uses straightforward analytical optimizing approaches for evaluating and implementing a plan efficiently. In addition, the author extends the target model line to quadruple track, where rescheduling is substantially more complicated.

目次

第1章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	2
1.3 本論文の構成	3
第2章 運転整理支援システムの構成	4
2.1 運転整理支援システムの概要	4
2.2 運転整理手法の適用	5
2.3 列車運行シミュレーション	8
2.4 乗客行動シミュレーション	10
2.5 乗客の視点に立ったダイヤの評価	12
第3章 実用的な運転整理支援システムとするために考慮すべき事項	15
3.1 従来の運転整理支援システムにおける問題点	15
3.2 対象とする路線とその特徴	18
第4章 列車運行乱れ時における乗客流推定法	20
4.1 列車運行乱れ時の因果律を考慮した乗客流推定法	20
4.2 乗客の集中による積み残しの考慮	31
第5章 乗客流推定の結果を利用した整理案の効率的評価・適用法	38
5.1 臨時停車実施駅の効率的探索法	38
5.2 時隔調整実施駅・実施秒数の効率的探索法	42
第6章 複々線区間を対象とした運転整理	48
6.1 複々線を積極活用する運転整理	48
6.2 複々線区間における乗客流推定	52
第7章 結論	55
7.1 まとめ	55
7.2 今後の課題	55
謝辞	57
参考文献	59
発表文献	60
付録	61

Table of Contents

Chapter 1	Introduction	1
1.1	Background of Research	1
1.2	Purpose	2
1.3	Thesis Composition	3
Chapter 2	Composition of Train Rescheduling System	4
2.1	Outline of Train Rescheduling System	4
2.2	Application of Train Rescheduling Methods	5
2.3	Simulation of Train Operation	8
2.4	Simulation of Passenger Flow	10
2.5	Evaluation of Train Operation from Passengers' Point of View	12
Chapter 3	Problems Facing System Practicality	15
3.1	Problems Concerning the Conventional Train Rescheduling System	15
3.2	Features of Model Line	18
Chapter 4	Passenger Flow Estimation during Disordered Operation	20
4.1	Causality-based Passenger Flow Estimation during Disordered Operation	20
4.2	Left-off Passengers Caused by Congestion	31
Chapter 5	Efficient Algorithms for Evaluating and Applying Rescheduling Methods using the Passenger Flow Estimation	38
5.1	Efficient Method for Searching for an Extra Stop Station	38
5.2	Efficient Searching Method for Determining the Amount of Interval Adjustment	42
Chapter 6	Train Rescheduling on Quadruple Track Section	48
6.1	Train Rescheduling by Taking Advantage of the Flexibility of Quadruple Track	48
6.2	Passenger Flow Estimation for Quadruple Track Section	52
Chapter 7	Conclusion	55
7.1	Summary	55
7.2	Future Work	55
	Acknowledgement	57
	References	59
	List of Publication	60
	Appendix	61

第 1 章

序論

1.1 研究の背景

鉄道は、輸送能力やエネルギー消費などの点において他の交通機関と比べ優れた特性を持ち、多くの乗客を運ぶ重要な役割を果たしている。その反面、鉄道には列車の運転に対し多くの制約条件が存在する。

鉄道車両は一次元的な鉄軌道上しか走行できず、自動車のように前を走行している車を自由に追い越すなどの柔軟な運転はできない。ブレーキ距離も自動車と比べ著しく長いいため、列車同士の間隔を充分にとる必要がある。また、自家用車のように好きな場所へいつでも直接行くことができるという自由度もない。

このような多くの制約の下で高速、高密度の輸送サービスを提供するために、列車はあらかじめ綿密に計画されたダイヤに従って運行される。日本の鉄道においてはダイヤは通常 15 秒単位、線区によっては 10 秒や 5 秒単位で作成され、これを正確に守り列車を運行することで良質なサービスを実現している。

しかし、非常に綿密に計画されたものであるだけに、人身事故や信号故障、車両故障が発生するとダイヤ通りに運行することは非常に困難になる。運行障害が発生した路線に遅れが生じるのみならず、接続・乗り入れ関係にある周囲の路線へも影響が広がっていくこととなる。そこで、列車運行に乱れが生じた際、ダイヤの混乱を迅速に収束させるため、あらかじめ定められた列車の順序関係や行き先などを変更し、乗客への影響を最小限に抑える作業が必要となる。この作業のことを運転整理^[1]と呼ぶ。運転整理を行うには各列車の位置、乗客の流動などの情報を正確に把握し、列車運行に関する様々な制約条件を考慮しながら素早く適切な案を作成しなければならない。また、障害の復旧予定時刻や天候など完璧に予測することが不可能に近い事象も扱う必要がある。さらに、運転整理案作成に当たってはダイヤの変更だけでなく、それに対する車両や乗務員の割当計画変更案もあわせて作成する必要がある。そのため、駅員や運転士のみならず、車両や乗務員を管理する部署との間で多くの情報のやりとりが必要である。

現在、運転整理業務は指令員と呼ばれる専門家によって行われている。運転整理業務の一部に計算機システムが導入されているが、ダイヤのどの部分をどのように変更するかといった案の作成は人間が受け持っている。しかし、現状ではダイヤ変更のためのアルゴリズムや評価の系統的方法論が確立しておらず、指令員の定性的判断と経験に頼る部分が多い。特に、大都市近郊の線区では運転整理の対象となる列車は数百本以上になることも珍しくなく、これら列車相互の関係と列車運行に関する制約を考慮しつつ、各列車の運転時刻や番線等を決定して行かなければならないという複雑で大規模な組合せ最適化問題となり運転整理業務の困難度は増す。運転整理は鉄道に関する業務の中でも極めて難しいものであり、計算機による支援が求められている^[2]。

1.2 研究の目的

古関研究室では運転整理業務を行う指令員の負担を軽減するため、ダイヤの定量的な評価法^[3]と運転整理案の自動生成アルゴリズムを確立し、計算機により運転整理案を指令員に提示する運転整理計算機支援システムの作成が行われてきた^{[4][5]}。これらの研究では、ダイヤの定量的評価法として全乗客の被る損失を計上した乗客の損失と呼ばれる評価量を導入し、乗客の視点に立った運転整理案作成を目指している。また、列車の着発時刻と乗客の損失を算出するために必要な列車運行シミュレーションと乗客行動シミュレーションにグラフ理論を適用することで高速な演算を実現した。

しかしこれまでの研究では、計画ダイヤ時を対象に作成された乗客流推定を列車運転乱れ時にもそのまま適用していた。そのため、乗客があらかじめ障害が発生することを知っていたかのような行動をとってしまい、正しい評価値が算出ができないという問題点があった。また、障害発生時には混雑により列車に乗り切れず積み残しが発生する事態があるが、これも考慮されていなかった。立木、大山の研究^{[6][7]}でこれらの問題を解決する考え方の一部が示されたが、乗客の配分方法やダイヤの周期性の考慮について不十分な点があった。そこで、本研究では従来の計画ダイヤを対象とした乗客流推定に新たな条件や処理過程を導入し、列車運転乱れ時における因果律を考慮したものとするための方法を提案し、モデル路線を用いその効果を検証する。

また、従来のシステムでは、ダイヤ変更を行うごとに列車の運行や乗客の行動について再計算し、評価値を算出して比較することを行っていた。そのため、扱う路線範囲や時間帯が大きくなると処理時間の負担が大きくなるという問題点があった。そこで、本研究では細かな列車スケジュール変更に関する評価・最適化については試行ごとに再計算を行わない効率のよいアルゴリズムを提案し、現実的な時間内に運転整理案を作成できるようにする。

さらに、これまでの研究では実際に用いられている運転整理手法の一部しか実装されていない。また、対象路線を複々線区間としたときには、山口の研究^[8]で乗客流推定の結果を基に接続の設定・解除を行うことで乗客の損失を改善する方法の提案・実装が行われたが、他の整理手法については検討されておらず、乱れの規模が拡大すると満足な整理案を作成できなかった。複々線区間では列車の運転本数が複線区間よりも多く、運行形態も複雑となっており、人手で運転整理案を作成する労力も大きなものとなっている。従って、計算機によって整理案の作成を支援することができればその効果はより大きなものになると考えられる。本研究では複々線の特徴を積極的に活用する運転整理手法を実装し、本システムで複々線区間が扱えるように拡張する。また、複々線区間において乗客流を推定する上で考慮すべき点を挙げる。

以上、3項目を改善することで、より実用的な運転整理計算機支援システムとすることを目的とする。

1.3 本論文の構成

本論文は7章構成であり、以下に第2章以降の構成について述べる。

まず、第2章では先行研究より作成している運転整理計算機支援システムの構成について述べる。第3章では、これまでの運転整理計算機支援システムの問題点を明らかにし、本研究で扱う項目について述べる。また、ケーススタディを行うために用いるモデル路線とその特徴について述べる。第4章では列車運行が乱れた際の因果律を考慮した乗客流推定法と、乗客の増加による積み残しを考慮する方法の提案と効果の検証を行う。第5章では乗客流推定の結果を利用することで、運転整理案を効率的に評価・適用するための方法について論じる。第6章では、複々線区間の自由度を積極的に活用した運転整理、また複々線区間で考慮すべき点について述べる。最後に第7章で本研究のまとめを行い、今後の課題についても述べる。

第2章

運転整理支援システムの構成

本章では、本研究で作成している運転整理支援システムの構成を述べる。まず、運転整理支援システム全体の概要を説明し、さらに核となる運転整理案の作成と評価を行う部分について述べる。

2.1 運転整理支援システムの概要

図 2.1 に本研究で作成している運転整理支援システムの構成を示す。本システムはダイヤを適宜変更して新しいダイヤを生成する運転整理案作成機能と、ダイヤの定量的な評価を行う運転整理案評価機能の2つの大きな部分からなる。

運転整理処理の開始時にはシステムに付録 A に示す路線やダイヤに関する情報と列車の遅延情報が入力される。システムははじめに入力された情報をもとに運転整理をなにも行わないときの評価値を算出する。次に整理案作成部分で運転整理手法が適用され、ダイヤの一部に変更が加えられる。そのダイヤに列車運行シミュレーションを行うことで各駅の着発時刻を決定する。更に、生成されたダイヤに乗客行動シミュレーションを行い、それを基にした乗客の視点に立った定量的な評価値が算出される。続いて、変更前のダイヤと変更後のダイヤの評価値を比較し整理案作成機能によって行われた変更が有効であったかどうか判断される。有効でないと判断された場合は変更が取り消され、変更前のダイヤ

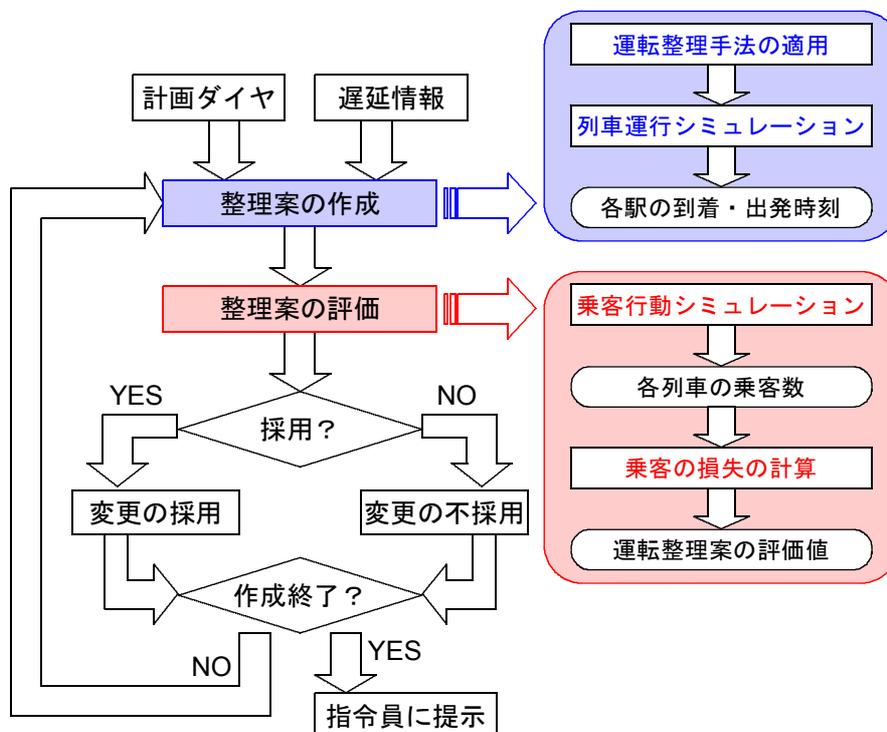


図 2.1 運転整理支援システムの構成

ヤに戻る。この一連の作成、評価、有効性の判断の処理は山登り法や焼きなまし法などの最適化手法のループを形成している。これらの処理を繰り返し行い、複数のダイヤ変更を組み合わせることで最適化された運転整理案を指令員に提示する。

以下、運転整理案作成機能を構成する運転整理手法の適用部分と列車運行シミュレーションについて、また整理案評価機能を構成する乗客行動シミュレーションと乗客の視点に立ったダイヤ評価について詳述する。

2.2 運転整理手法の適用

各種運転整理手法を適用し、適切にダイヤに変更を加えることによって乱れの波及を防ぐ。この段階では列車の順序関係や使用する線路・番線の変更、決定を行うのみであり、各駅、各列車の着発時刻は決定していない。

以下、現場で用いられる主な運転整理手法について述べる。これらは本システムに実装済みであり、これらの手法を状況に応じ適切に適用することで評価値の良いダイヤとする作業を行う。

(1) 抑止

運行障害が発生した際にまず最初に行われる作業が抑止である。障害発生箇所周囲の列車を駅などで停止させ、他の列車の侵入させないようにして併発事故を防ぐ。図 2.2 に抑止を行う前後のダイヤを示す。

抑止には乗客の不満を少なくする効果もある。抑止を行わずにそのまま走行させ駅間に列車を詰めて停車させた場合、乗客は長時間車内に閉じこめられ、また降車して他の交通機関を選択することもできないため大きな不満要因となる。特に、立席客が多くトイレも設置されていない通勤列車では不満が大きい。この点からも障害発生後早急に行うべき手法である。

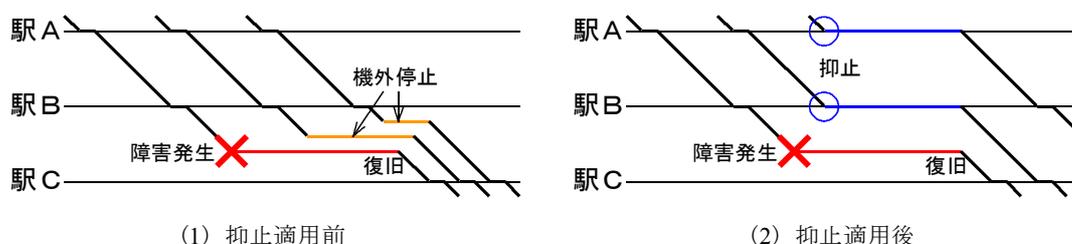


図 2.2 抑止

(2) 時隔調整

都市部などで列車が数分間隔で運転されている路線では、乗客は時刻表で前もって乗る列車を調べることをせず、駅について最初に到着した列車に乗ることが多い。このような状況下では、各列車に乗車する人数は前列車との間隔で決まる。ある列車に遅延が生じ列車の運転間隔が大きく開いてしまうと、後続列車が到着するまでの間に駅で列車を待つ乗客が増加する。そのため、乗降に多くの時間を要し列車の遅延を更に増大させる要因となる。

このような状況を防ぐため、遅延している前の列車を意図的に遅らせて列車の等間隔性を保ち、乗客を分散させることで全体のダイヤの早期回復を図る手法を時隔調整と呼ぶ。

図 2.3 に時隔調整を行う前後のダイヤを示す。

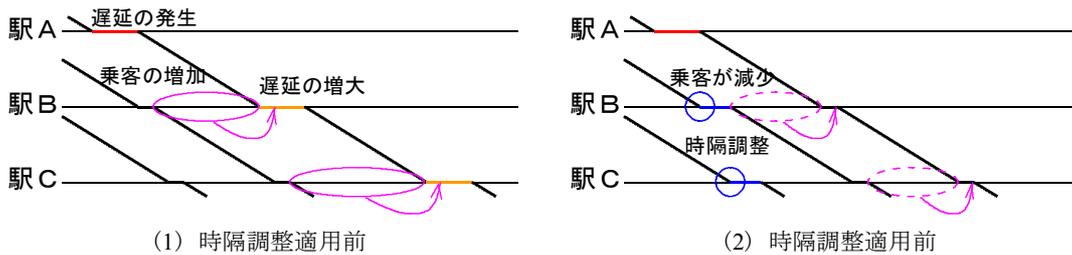


図 2.3 時隔調整

(3) 待避変更

後続の列車が先行する列車を追い越すとき、先行する列車は駅で待機し追い越される。ここで、後続列車が遅れた場合について考える。その様子を図 2.4 に示す。

(1) に示す計画ダイヤでは駅 A で普通列車が急行列車を待避することになっている。(2) に示す急行列車が遅れて到着した場合には、普通列車は長時間停車することになり急行列車の遅れが波及してしまう。普通列車への影響を抑えるために待避駅を駅 C に変更したものが(3)である。

この場合、駅 C にも待避を行うための設備が必要であり、各駅の配線も考慮する必要がある。もともと待避関係がなかった列車間に新たに待避を設定することや、逆に待避を解消することも待避変更の一種といえる。

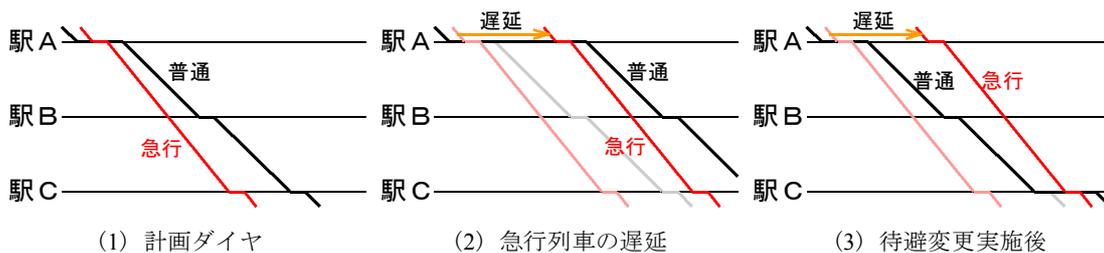


図 2.4 待避変更

(4) 着発線変更

駅で列車が使用する着発線を変更する運転整理手法を着発線変更と呼ぶ。図 2.5 にその様子を示す。前述の待避変更を行う際には着発線変更を伴うことが多くある。また、複々線区間の場合、異なる線路を走行し同じ番線を使用する列車に及ぼす影響を抑えるために着発線変更が行われることがある。着発線変更を行う際には、ホームで並んで待つ乗客のために早期に案内することが必要である。

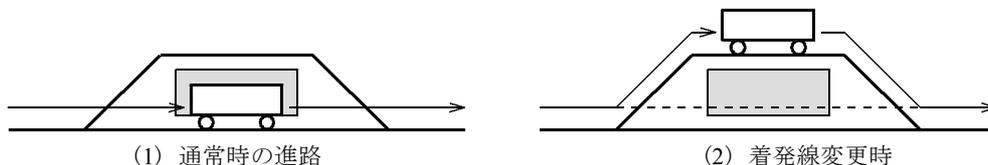


図 2.5 着発線変更

(5) 運転線路変更

複々線や単線並列の区間では、駅間で走行可能な線路が複数存在している。列車が走行する線路はあらかじめダイヤで決められているが、障害発生により本来走行する線路が不通になってしまった場合や、運行の乱れによって多数の列車が特定の線路に集中してしま

った場合には駅間で走行する線路を変更することがある。これを運転線路変更と呼び、図 2.6 にその様子を示す。

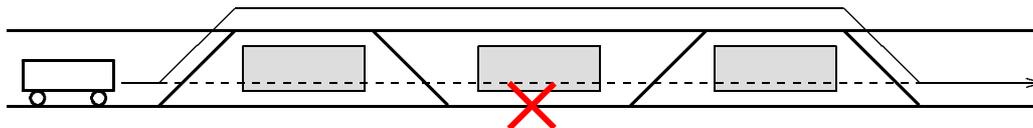


図 2.6 運転線路変更

(6) 番線使用順序変更

各駅で列車が番線を使用する順序はあらかじめダイヤによって綿密に計画されている。しかし、列車に遅延が生じた場合にその順序のまま運行すると後続列車へ大きな影響を与えることがある。そこで、番線の使用順序を変更することで遅延の波及を抑えるために行われるのが番線使用順序変更である。先に述べた待避変更や運転線路変更でも番線使用順序変更が行われることになる。

また、複々線区間では異なる線路を走行する列車が同じ番線を使用することがある。一方の線路の遅延を他方の線路へ及ぼさないために異なる線路を使用する列車間の順序を変更する場合がある。図 2.7 に示す例では普通列車と急行列車は別の線路を走行しているが、駅 B では同一の番線を使用する。急行列車が遅延した場合、普通列車が急行列車の出発を待つこととなり普通列車にも遅れが生じてしまうが、番線使用順序変更を行うことでその影響を抑えることが可能となる。

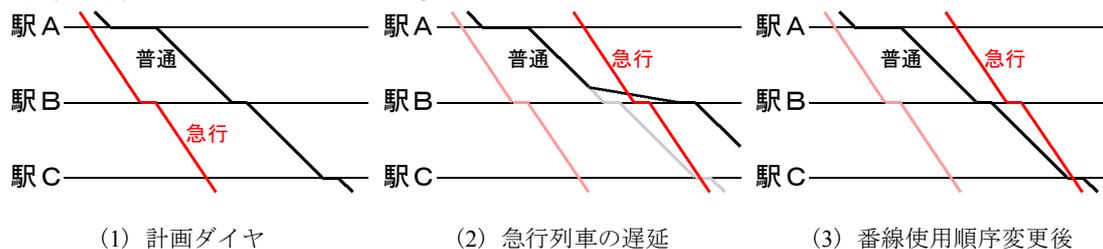


図 2.7 着発線変更

(7) 運休・打ち切り

列車を運休したり、途中駅で運転を打ち切る運転整理手法である。これらは混乱しているダイヤの早期回復を図る上で非常に有効な手段である。しかし、輸送力を減らすことになり、運転間隔が開いたり混雑を招くなど乗客に迷惑をかけてしまう。そのため、朝夕のラッシュ時間帯に使用されることはあまりなく、日中の多少列車を運休・打ち切りしても十分な輸送力を確保できる時間帯に乱れは発生した際に、トラッシュまでに正常ダイヤに戻す目的で使用されることが多い。

打ち切り列車の折り返し部分も併せて運転を取りやめ、区間運休と引き替えに正常化を図る手法を「山切り」と呼び、打ち切り列車と同時間帯の逆方向の列車を区間運休する手法を「たすき切り」と呼ぶ。

(8) 特発

運転再開直後など輸送力が不足し乗客をさばくことができない場合に、臨時列車を設定し輸送力の増強を図る手法が特発である。車両の手配とともに乗務員の確保も必要である。

(9) 臨時停車

障害発生や各種運転整理手法適用による変更の結果として、急行列車などの優等列車は

やってくるが、普通列車の間隔が大きく開いてしまうといった状況が起こりうる。優等列車通過駅では長時間停車する列車が到着しないため、その駅に向かう乗客やその駅から乗車する乗客に大きな時間損失を与えることになる。そのため、本来優等列車が通過する駅に臨時に列車を停車させることで乗客の救済を図る手法のことを臨時停車という。

(10) 列車種別変更

列車の種別を変更する運転整理手法である。急行列車を緩行列車にする「格下げ」と緩行列車を急行列車にする「格上げ」が考えられるが、現在は乗客への案内が困難という理由から格上げは行われていない。格下げは運転再開直後の誤乗車トラブルを防ぐためや、各駅の乗車機会を確保する目的で実施される機会がある。

2.3 列車運行シミュレーション

列車の運行には多くの制約条件が存在している。全ての制約条件を満たした上で各列車が一番早く運転した場合の各駅での着発時刻を求めるために、列車運行を図 2.8 で示すようなグラフ構造で表現する。列車の到着・出発をノードで表し、各ノード間には走行・停車を表すリンクの他に、下記制約条件を表現するリンクが張られる。

(1) 計画ダイヤ

各駅における列車の到着・出発・通過の時刻はあらかじめ計画ダイヤによって定められている。一般的に障害が発生すると列車の運行は計画ダイヤよりも遅れることになるが、状況によっては早く運行できる場合がある。しかし、列車の運転時刻は鉄道の運行に関わる様々な作業の基盤であり、より早い運転が可能であっても計画ダイヤは守らなくてはならない。特に、計画ダイヤよりも早く出発するとその列車に乗る予定であった乗客が乗り遅れてしまうなどの問題が発生し、乗客に迷惑をかけることとなる。

計画ダイヤよりも早く運転しないという制約は、基準となる時刻を表すノードから各列車の到着・出発ノードへ有向リンクを張ることで表現される。このとき、リンクの重みは計画ダイヤにおける出発・到着時刻と基準となる時刻の差である。

(2) 基準運転時分

基準運転時分とは車両形式や両数、その駅の停車・通過や使用する着発線ごとに、その駅間を走行するために必要な最小時分を示したものである。これはそれ以上速く駅間を走行できないという制約になる。

基準運転時分の制約は、各列車のある駅における出発ノードから次の駅における到着ノードに有向リンクを張ることで表される。リンクの重みには、基準運転時分の値を設定する。

(3) 最小停車時分

最小停車時分は駅での乗降に最低限必要な時間を示したものである。この制約は各列車のある駅における到着ノードからその駅の出発ノードへ張られる有向リンクによって表現される。このリンクの重みが最小停車時分の値である。また、列車が駅を通過する場合には重み 0 のリンクが張られる。

(4) 列車順序

列車が駅間を走行する順序はダイヤによって定められており、この順序関係を制約とし

て表現する。ある列車の到着・出発ノードから次の列車の到着・出発ノードへ有効リンクが張られ、重みはその線路へ駅から出発する列車間、またはその線路から駅に到着する列車間で必要な最低限の時間である。

(5) 閉塞

通常、鉄道には閉塞と呼ばれるシステムが導入されている。これは、線路を一定の閉塞区間に分割し、1つの閉塞区間には同時に2本以上の列車を進入させないことで衝突事故を防止するものである。

列車運行シミュレーションでは駅間線路を同時に走行できる列車の本数を制限することで閉塞システムを近似的に表現している。駅間のある線路に同時に走行可能な列車数が最大 n 本であるときは、到着ノードから n 本後の列車の出発ノードへ有向リンクが張られる。

(6) 時隔制約

列車はポイントによりいくつかの進路を取り得るが、それぞれの進路、または進路間には先行列車が進入したあと、一定の時間が経たないと次の列車は進入できないという制約が存在する。これを時隔制約という。その間隔はポイントの切り替えに要する時間や、列車の加減速に要する時間、安全上の観点から続行して走行できる時間などから決まり、リンクの重みもその時間となる。列車順序の制約も続行間隔を示している点から時隔制約の一種と考えることができる。

列車が一番早く運転した場合の着発時刻は、基準時刻を表すノードから各ノードまでの最長経路を PERT (Program Evaluation and Review Technique) というグラフ理論の最長経路探索で使われる手法を用いて探索することにより、その経路長として得ることができる^[9]。図 2.8 に示す例では、駅 B における急行 1 の出発時刻が 0:05:30、普通 2 の到着時刻が 0:06:10 とダイヤで規定されているが、時隔制約により急行 2 の出発から普通 2 の到着まで 60 秒必要である。全ての制約を守らないと列車は運行できないため、普通 2 の到着時刻は 0:06:30 となる。

ダイヤが変更されると制約条件も様々に変化するので、変更内容を反映するようにグラフのノードやリンクの作成、削除、変更が行われる。本システムによって作成される列車運行グラフの例を図 2.9 に示す。

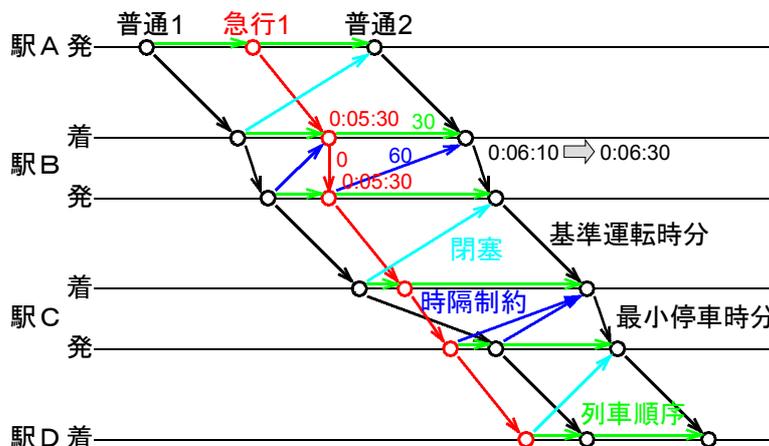


図 2.8 列車運行のグラフ表現

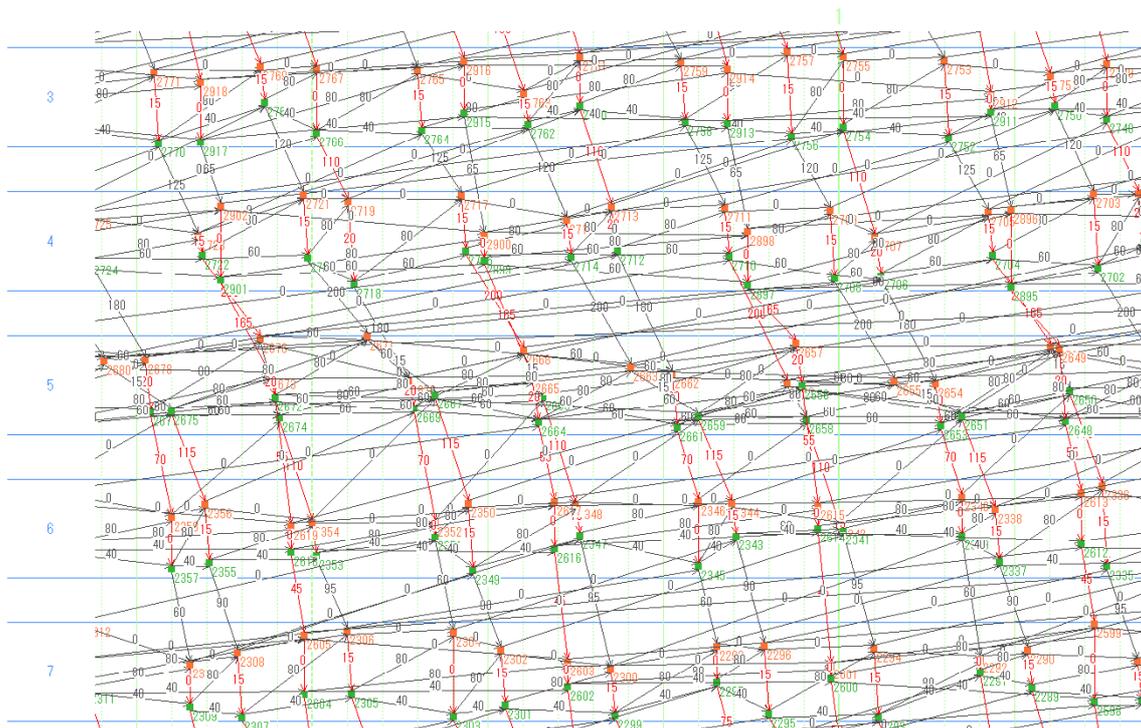


図 2.9 列車運行グラフの例

2.4 乗客行動シミュレーション

本システムでは、各乗客は所要時間による損失および乗換による損失の和を最小にし、また乗換における待ち時間を最小にする経路を選択するものと仮定する。現実の乗客がこのように行動するためには、列車の運転時刻や接続などその路線に関するあらゆる情報を把握していなければならない。特に列車運行が乱れた状況ではこのようなことは不可能に近いが、移動体通信技術を用いた旅客案内システムの開発が進められており^{[10][11]}、近い将来には乗客は必要な情報を得ることが可能になると考えられる。

また本システムでは、以下の2つの乗客行動モデルを仮定している。

モデル 1：同一の出発駅から同一の目的駅へ移動する乗客は、出発駅に均等な間隔で出現する。出発駅で列車を待つ時間も所要時間に含まれる。

モデル 2：同一の出発駅から同一の目的駅へ移動する乗客は、目的駅へ着くべき時刻が均等な間隔で指定される。目的駅で列車を降りる時刻から指定された時刻までの時間も所要時間に含まれる。

モデル 1 は都市近郊鉄道の乗客のうち大半を占めていると考えられる、時刻表を見ずに出発駅にやってくる乗客を表している。モデル 2 は長距離鉄道の乗客や運行頻度の少ない路線でよく見られる、あらかじめ時刻表で乗車する列車を決めてから列車の時刻に合わせて出発駅にやってくる乗客を表現している。

本研究で対象とする路線は都市近郊区間であり、また列車運行乱れ時には乗客は目的駅に早く到着することを優先すると考えられるため、以下ではモデル 1 の乗客行動仮定を中心に扱う。

乗客行動モデルに基づき各乗客の乗車する路線・列車を決定するためには、各乗客に対

して所要時間と乗換の損失が最小となる経路を求める必要がある。本システムでは図 2.10 に示すようなグラフ構造を利用しこれを求める。

ここで用いるグラフは乗客の移動可能な経路を示す。各列車の各停車駅ごとに到着と出発を表すノードが作成される。出発ノードからは、その列車の次の停車駅における到着ノードへ乗車リンクが張られる。これはその列車に乗車し、駅間を移動する乗客流を示す。また、到着ノードからはその駅の出発ノードへ停車リンクが張られる。これは、乗車を継続するために停車中の列車内にいる乗客流を示す。さらに、その駅において乗換可能な列車の到着ノード・出発ノード間には乗換を表すリンクも生成される。乗車リンク・停車リンクには重みとしてその所要時間が、乗換リンクには重みとして乗換所要時間、乗換待ち時間に乗換による負担を時間換算した値を加えたものが割り当てられる。本システムで作成される乗客行動グラフの例を図 2.11 に示す。

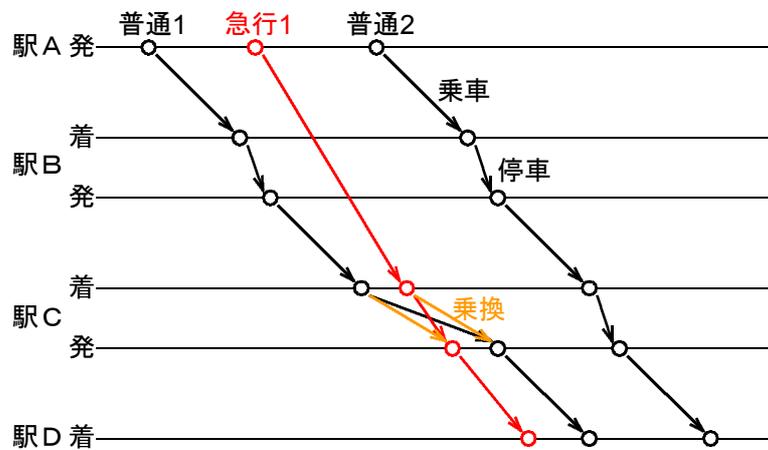


図 2.10 乗客行動のグラフ表現

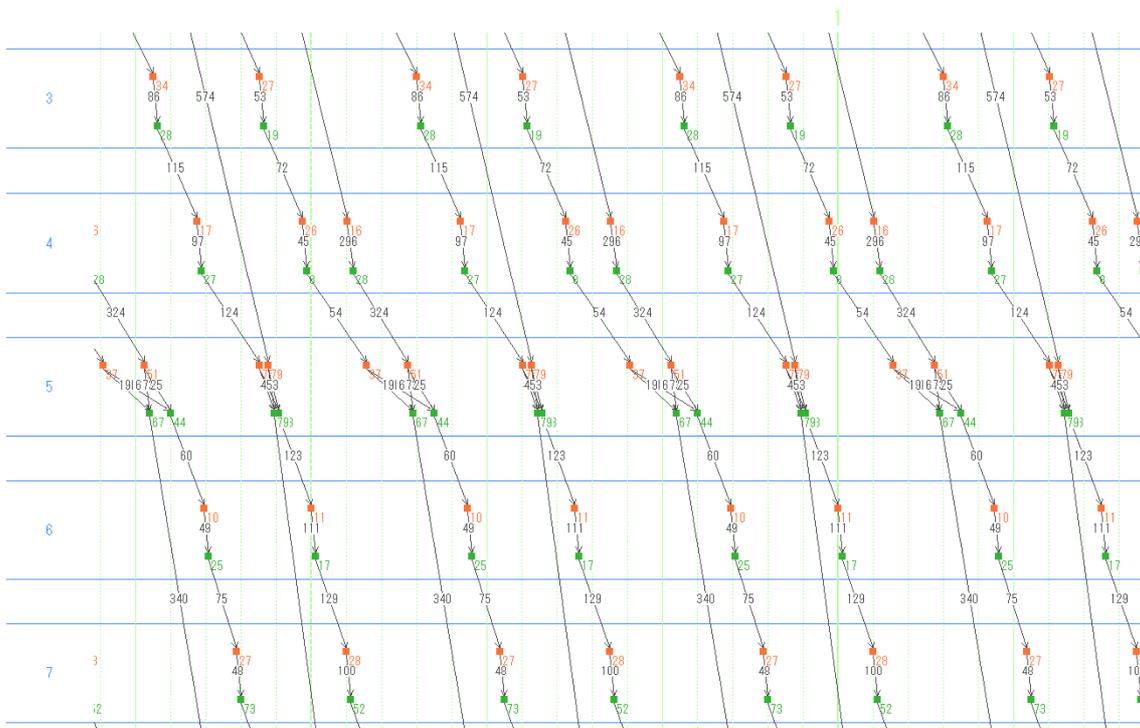


図 2.11 乗客行動グラフの例

グラフ表現により、上記のモデル1の乗客は経路上のリンクの重みの合計を最小にする経路をとることとなり、これは最短経路問題に帰着される。最短経路探索にはダイクストラ法を用いる。ダイクストラ法によって求められる経路は、ある出発ノードから見る限りは必ず最短経路であるが、他の出発ノードからの経路と比較した場合に有効な経路でない場合がある。そのため、出発駅を先に出る経路よりも後に出る経路の目的駅到着時刻が早い場合、また先発経路と後発経路の目的駅到着時刻が同じ場合で先発経路の乗換損失が後発経路の乗換損失よりも大きい場合には、先発経路を削除するという処理を行う。このようにして作成された経路に、OD データを基に乗客を割り付けることで各列車の乗客数を推定する。

2.5 乗客の視点に立ったダイヤの評価

従来運転整理案の評価には、全列車の遅延の総和が小さいほど良い整理案であるという方法がよく用いられてきた。この方法はとても簡便であり、計画ダイヤと運転整理後のダイヤにおける各列車の運転時刻が分かると迅速に計算することができる。しかし、このような評価指標を用いる場合、遅延した列車の運転を全て休止してしまえば遅延はなくなり良い整理案と評価されるが、実際には乗客がホームにあふれてしまいこのような整理案が良くないことは明白である。

この他にも運休列車本数や遅延収束に要する時間が評価指標として用いられてきたが、いずれも列車の動きのみに注目しているために、実際には良い整理案とは言い難いものを良いと評価してしまうことがある。

そこで本研究では乗客の動きに着目し、乗客の立場から整理案の評価を行う。個々の乗客が受ける損失の総和を評価値として、その値が小さいほど良い整理案とするものである。ここでは、乗客の受ける損失として、

1. 所要時間
2. 乗換
3. 列車の混雑

の3項目を考える。これら3つの評価量は互いに次元が異なる量なので、乗換と列車の混雑による損失については時間換算して取り扱う。列車が正常に運行されている場合でも所要時間や乗換、列車の混雑が存在しているため評価値は0とならない。

以下、各損失について詳述する。

(1) 所要時間

出発駅から目的駅までの所要時間は、乗客が最も重要視する項目であると考えられる。ここでは、全ての乗客について出発駅に到着してから目的駅に到着するまでの所要時間を求め、その総和を全体の所要時間損失とする。これは式(2.1)のように表現される。

$$L_1 = \sum_{i=1}^N t_i \quad (2.1)$$

N : 乗客の総数(人)

t_i : 乗客 i が出発駅に到着してから目的駅へ到着するまでの所要時間(秒)

(2) 乗換

乗換は、実際に要する時間以上に乗客に不満を与える要素となる。そのため、乗換に要する時間に加えその負担も評価に含める。しかし、乗換といっても同じホームの反対側の列車に乗り換える場合と、跨線橋や地下道を通って乗り換える場合ではその負担は大きく異なる。そこで、乗換 1 回の負担の時間換算値を各駅で乗換元・乗換先ホームごとに入力データとして与え、それぞれの乗換の負担に応じた値を損失とする。これは式(2.2)のように表現される。

$$L_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{M_i} r_{ij} \quad (2.2)$$

N : 乗客の総数(人)

M_i : 乗客 i の乗換回数(回)

r_{ij} : 乗客 i の j 回目の乗換の時間換算値(秒)

(3) 列車の混雑

列車の混雑は乗客のストレスや疲労の原因となるため、これを損失として評価する。混雑による不満は空いているときは少なく、乗客が多くなるにつれて加速度的に大きくなるという非線形性がある。そこで混雑による損失は、表 2.1、図 2.12 に示す混雑時に 1 分につき何分余計に長く感じるかという人間の感覚を表した係数^[12]を用いることで時間換算し、その混雑を経験した人数と時間を掛け求める。これは式(2.3)のように表すことができる。

$$L_3 = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{s=1}^{S_i} f_c \left(\frac{q_{is}}{c_{is}} \right) q_{is} t_{is} \quad (2.3)$$

n : 駅の総数

S_i : 駅 i に到着する列車本数(本)

f_c : 混雑に対する人間の感覚係数(表 2.1、図 2.12)

c_{is} : 駅 i に s 番目に到着する列車の定員(人)

q_{is} : 駅 i に s 番目に到着する列車のその駅までの乗客数(人)

t_{is} : 駅 i に s 番目に到着する列車のその駅までの所要時間(秒)

上記 3 種類の損失を合計した式(2.4)に示す L (人・秒)をダイヤの評価値として使用する。

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad (2.4)$$

表 2.1 混雑に対する人間の感覚を表す係数

混雑度 R (%)	f_c (係数)
0~100	0.00027 R
100~150	0.000828 R -0.00558
150~200	0.00179 R -0.2
200~250	0.0069 R -1.22

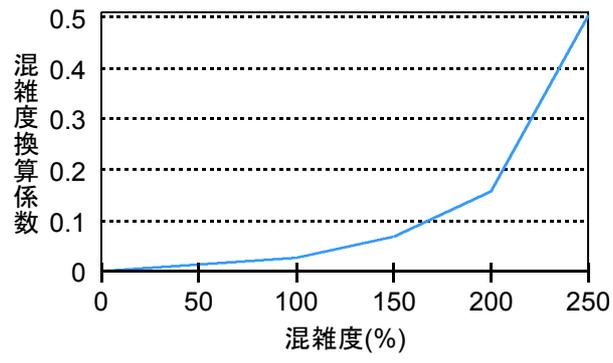


図 2.12 混雑に対する人間の非線形な不快感を表す係数

第3章

実用的な運転整理支援システムと するために考慮すべき事項

本章では、先行研究より作成している運転整理計算機支援システムに存在していた問題点について述べる。また、以降の章で行うケーススタディに用いるモデル路線とその特徴について紹介する。

3.1 従来の運転整理支援システムにおける問題点

ここでは、従来の運転整理システムに存在していた、実用的なシステムとするために障害となる問題点を3つ取り上げ、その詳細を述べる。

(1) 列車運行乱れ時における乗客流推定

先行研究では障害発生による列車運転乱れ時においても、通常時と同じの乗客行動推定法を使用していた。これにより、乗客が障害発生時刻前から障害発生によるダイヤ変更を予見していたかのような行動をとってしまう場合がある。以下にその問題点について例を挙げ述べる。

図3.1に示す計画ダイヤでは、駅Cで普通列車は急行列車に追い抜かれる。乗客は所要時間と乗換による損失が最小となる経路を選択するという仮定より、駅Aから駅Eに向かう乗客は、普通列車発車時刻前である時刻 $0 \sim p$ に駅Aに到着していた場合でも後に出発する急行列車を選択する。

図3.2は時刻 t で急行列車に障害が発生し遅延が生じたために、普通列車が駅Cで急行列車の待避を行わないようにダイヤを変更したものである。乗客が障害発生を知ることができるのは当然障害発生時刻以降であるため、時刻 p の段階で駅Aにいる乗客は、本来ならば駅Eに先に到着する急行列車を選択することが正しい。

しかし、従来手法では計画ダイヤから障害発生による変更後のダイヤを1つのダイヤとして扱い乗客行動グラフを作成していた。そのため、乗客は時刻 0 の時点で時刻 t での障害発生とその後のダイヤ変更を知っていることとなり、駅Aから駅Eに向かう乗客は図3.3に示すよう普通列車を選択してしまう。

実際にはこのようなことは起こりえず、乗客は障害が発生するまでは計画ダイヤ通りに列車が運行されると仮定して行動を決定し、障害が発生しその情報を得た段階で改めてどのように行動すればよいか再決定するものと考えられる。このように不適切な経路推定を行っていたために、障害発生時におけるダイヤの正しい評価ができないという問題点が存在していた。そこで4章において、従来の計画ダイヤを対象とした乗客流推定に新たな条件や処理過程を導入し、列車運転が乱れた際の乗客行動変化を反映したものとするための方法を提案し、モデル路線を用いその効果検証を行う。

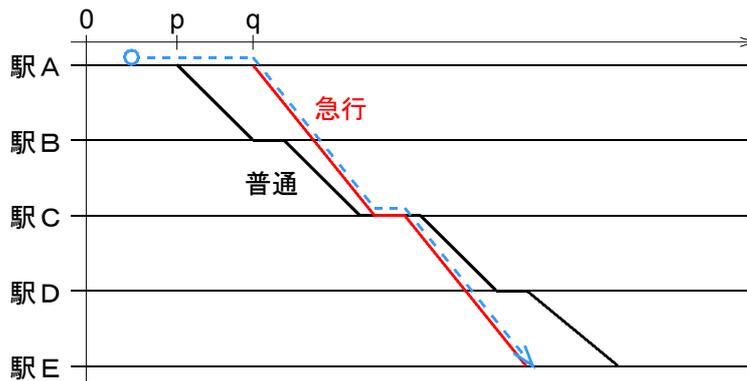


図 3.1 計画ダイヤ時における乗客行動推定

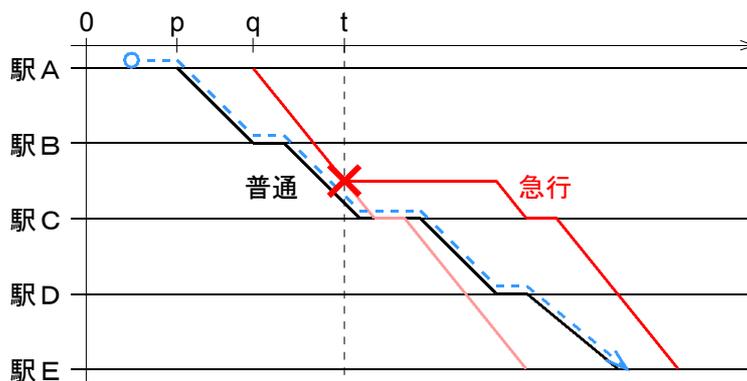


図 3.2 障害発生時における適切な乗客行動推定

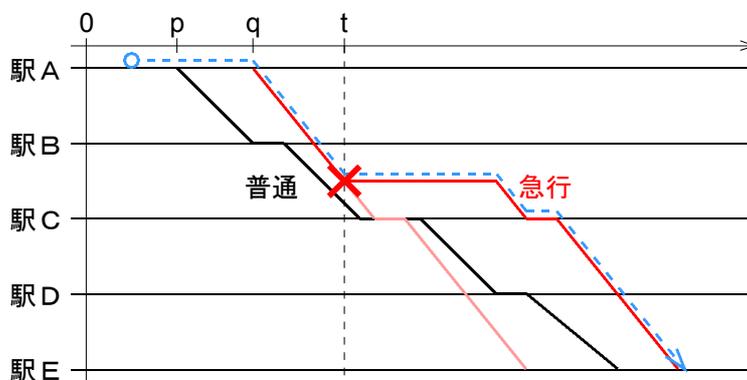


図 3.3 障害発生時における不適切な乗客行動推定

また、障害発生時やそれに伴う運転整理時においては、通常通りの運転本数が確保できず列車間隔も開くことがある。ホームには列車を待つ乗客が増え、到着する列車も混雑しているため、目的とする列車に乗車できず積み残される場合がある。通勤列車においては、一般には定員の 2.5 ～ 3 倍である混雑率 250%～ 300%が限界の乗車人員であると考えられる。

先行研究では、混雑度は生成されたダイヤの評価指標として導入されており、表 2.1、図 2.12 で示したとおり、混雑度の時間への換算係数は混雑度が大きくなるにつれて急激に大きくなるよう設定されている。これにより、積み残しが発生するような混雑度では混雑によるペナルティが非常に大きくなるため、著しく混雑した列車が存在する整理案は評価の結果排除される傾向にある。しかし、積み残しという現象そのものは考慮されてい

いため、障害発生後の運転整理前のダイヤや、最終的な整理案に非常に多くの乗客が1本の列車に集中するというものが採用された場合には、人数の制限なく乗車できることになるため現実とは乖離した乗客流動推定結果となる。障害発生時には乗客集中による積み残しが多々発生するため、障害発生時における乗客流推定としてはこれを考慮したものであることが望ましい。

積み残しを取り扱うためには、どのような乗客が積み残されるのか、また積み残された乗客はその後どのように行動するかをモデル化する必要がある。詳細なモデル化とケーススタディを4章で行う。

(2) 運転整理案作成に要する時間

従来の研究では運転整理手法適用によってダイヤが変更される度に列車の運行や乗客の行動について再計算し、評価値を算出して比較することをしていた。そのため扱う路線範囲や時間帯が大きくなると、処理時間も大きく増加するという問題点があった。先行研究^[13]では時隔調整において各箇所での最適実施秒数を求める方法として、人間が考えるのと同様に影響の大きなところから順に次元探索を行う方法を提案した。次元探索には効率の良い探索方法として知られる黄金分割比を利用した方法^[14]を採用した。この提案手法により、全探索を行った場合と比べ計算時間を大幅に短縮できた上に、それと同等の改善を得ることができた。提案手法による効果を図3.4、図3.5に示す。

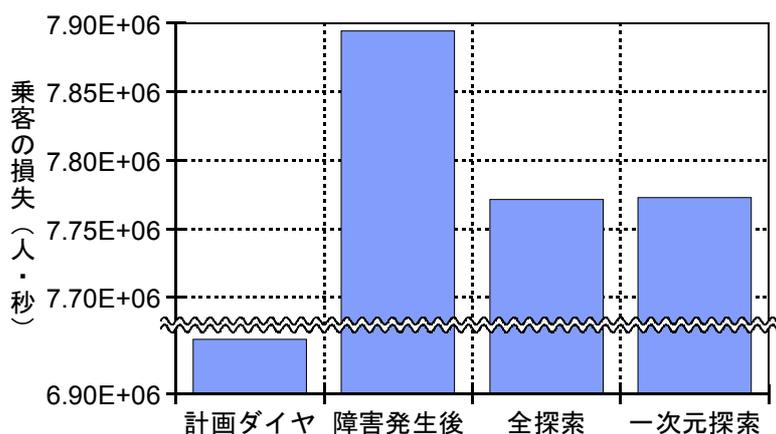


図 3.4 各ダイヤにおける乗客の損失

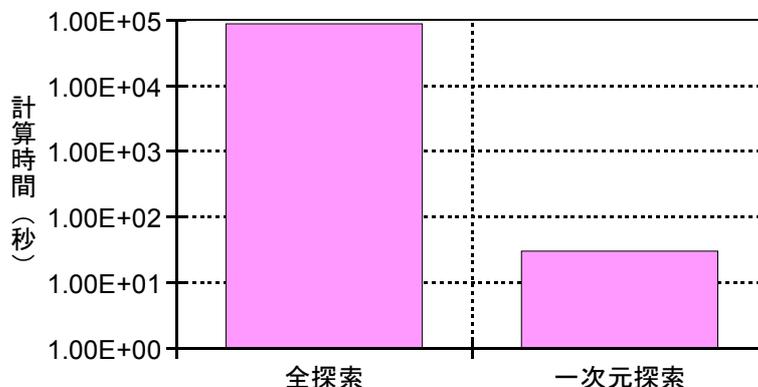


図 3.5 時隔調整実施時間の探索に要する時間

列車ダイヤを変更しなくても乗客数や列車間隔などから解析的に最適な時隔調整実施秒数を求めることが可能なケースもあり、これによりさらなる計算時間の短縮が期待できる。5章においてその方法について述べる。併せて、臨時停車駅実施駅の効率的な探索方法についても提案・検証する。

(3) 複々線区間を対象とした運転整理

先行研究では複々線区間を中心に検討が行われてきた。対象区間を複々線区間とした場合には、乗客流推定の結果を利用し接続の設定・解除を行う方法の提案・実装が行われたが他の整理手法については検討がされておらず、乱れの規模が拡大すると十分な整理案を作成することができなかった。複々線区間では対象とすべき列車本数が複々線区間よりも多く、運行形態も複雑であるため運転整理案作成の負担が大きい。そのため、運転整理計算機支援システムの効果はより大きなものになると期待される。

ここで、複々線の特徴について述べる。図 3.6 に示すのが複々線のうち、方向別複々線と呼ばれる線路配置である。ここでは、普通列車など主に下位の種別の列車が走行する線路を緩行線、特急列車など主に上位の種別の列車が走行する線路を急行線と呼ぶことにする。この方向別複々線区間では同方向の2つの線路が並べて敷かれており

- ①同一ホームで異種別列車の乗換ができる
 - ②急行線・緩行線間に設置された渡り線を活用することで様々な整理手法を適用できる
- といった利点がある。

6章では複々線区間の自由度を積極的に活用する整理手法を適用することで、より乗客の損失が小さい整理案が作成可能であることをモデル路線を用いて示す。また、複々線区間を対象に乗客流推定を行う上で考慮すべき点について言及する。

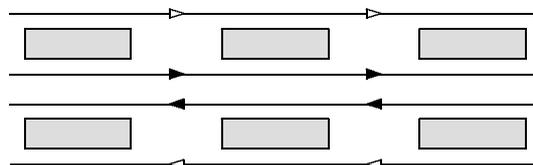


図 3.6 方向別複々線の線路形態

3.2 対象とする路線とその特徴

前節で取り上げた項目の検証のために、4章以降で行うケーススタディで用いるモデル路線の停車パターンを図 3.7、計画ダイヤを図 3.8 に示す。このモデル路線は乗客数や列車本数が多く、また主要駅では急行線の列車と緩行線の列車が同一ホームを使用するなどネットワークが複雑であり、特に計算機による支援が重要であると考えられている区間である。

この路線やダイヤの特徴は以下の通りである。

- ①全区間が複々線である。
- ②駅 5、信号所 10、駅 14 に渡り線が設置されており、急行線・緩行線間の走行線路変更が可能となっている。
- ③ 15 分サイクルに特急列車 1 本、快速列車 1 本、普通列車 2 本が走行する。特急は急行線を、快速と普通は緩行線を使用する。

- ④ 駅 5、駅 12 で異なる線路を走行する特急列車と普通列車が、同じホームにはほぼ同時に到着・出発するため容易に乗換可能である。
- ⑤ 駅 5、駅 18 で快速列車が普通列車を追い抜く。

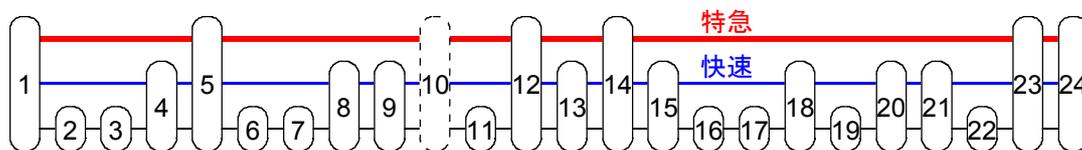


図 3.7 モデル路線の停車パターン

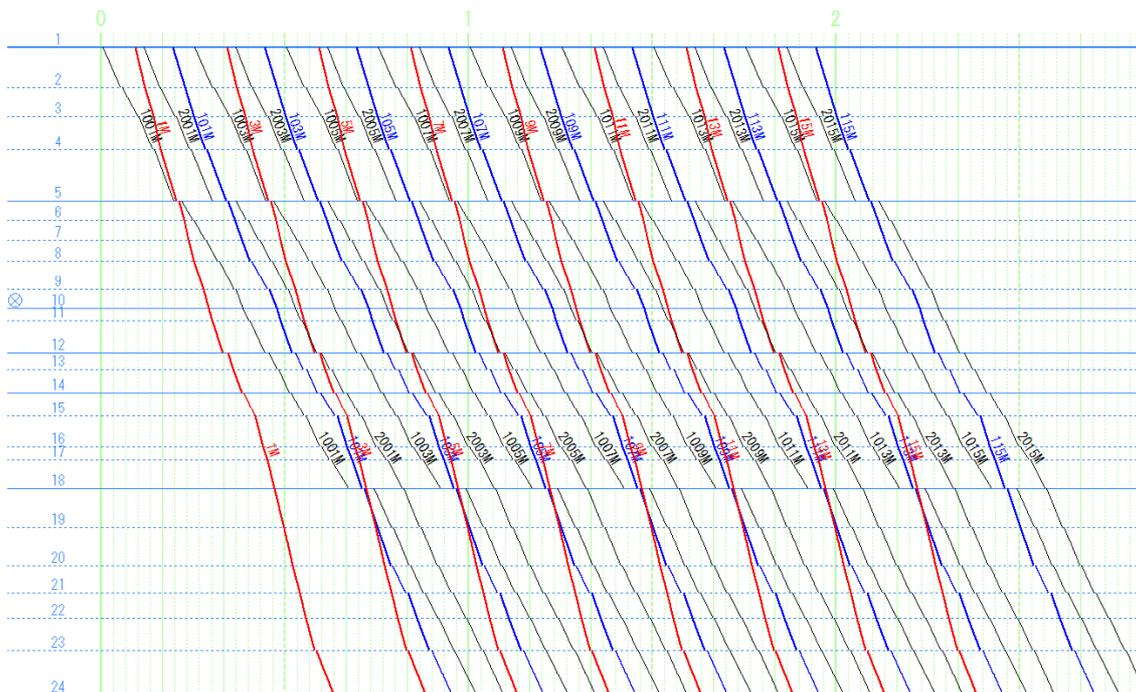


図 3.8 モデル路線の計画ダイヤ

第4章

列車運行乱れ時における乗客流推定法

本章では、列車運行乱れ時における乗客の行動変化を表現するために、因果律を考慮した乗客流推定法と乗客集中により発生する積み残しを考慮する方法について詳述する。また、これらの効果をケーススタディを用いて検証する。

4.1 列車運行乱れ時の因果律を考慮した乗客流推定法

3章でも述べたが、先行研究では乗客が障害発生時刻前から障害発生によるダイヤ変更を予見していたかのような行動をとってしまう場合があり、これによって正しい評価が出来ないという問題点があった。

ここでは、従来の計画ダイヤを対象とした乗客流推定に新たな条件や処理過程を導入することで列車運転の乗客行動を適切に推定する方法の提案・検証を行う。

4.1.1 運転整理案作成・情報伝達に要する時間

従来の研究では障害発生による列車運転乱れ時においても、通常時と同じ乗客行動推定法を用いていた。これはシミュレーション開始時点である時刻0の段階で t_0 から t_6 に発生する出来事をすべて知っていることを意味する。これによって障害発生によって到着が遅くなる列車をあらかじめ避けるといった行動をとるケースがあり、正しい乗客推定ができなため正しい評価値も算出できなかった。

そこで本研究では、現実に近いモデルとするため、乗客は障害が発生するまでは計画ダイヤ通りに列車が運行されるものと仮定して行動を決定し、障害が発生しその情報を得た段階で改めてどのように行動すればよいか再決定するものとする。図4.1に挙げるように、運転整理時には様々な業務が時間差をおいて行われるが、本研究では障害発生後の業務は全て t_0 に実施されると仮定する。すなわち、障害が発生すると、それと同時に復旧時刻が正確に判明し、それらの情報が指令室に伝えられ運転整理案が作成され、ダイヤ変更に関する情報が直ちに全乗客に伝えられることを意味している。この仮定の下で列車運行乱れ時の因果律を考慮した乗客流推定法について以下で述べる。

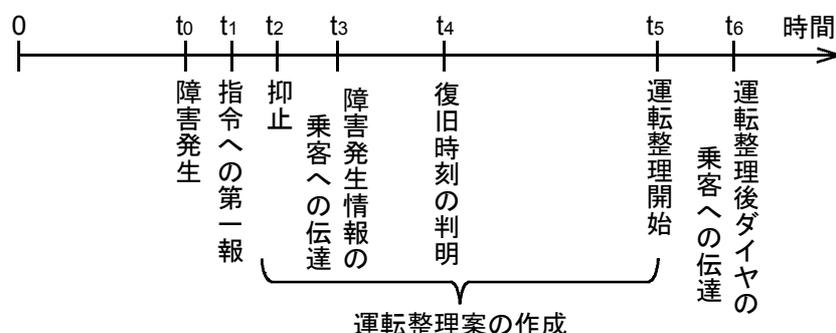


図 4.1 運転整理時における業務の実施時刻

4.1.2 列車運行乱れ時の因果律を考慮した乗客流推定のモデル化

乗客流の推定はグラフ構造を用いて実現されているため、これを拡張し列車運行乱れ時に対応したものとする。具体的には、計画ダイヤ時と障害発生後ダイヤにおける乗客行動グラフを組み合わせることでこれを実現する。図 4.2 に示す計画ダイヤの路線において、図 4.3 に示すように急行列車に障害が発生したために、駅 C での待避を解除したケースを例とする。

まず、図 4.4 に示す計画ダイヤにおける乗客行動グラフにおいて障害発生時刻に移動中である乗客の経路とその人数を求める。

次に、図 4.5 に示す障害発生・運転整理適用後ダイヤにおいて障害発生時刻に移動中ではない乗客の経路とその人数を求める。このプログラムではダイヤの周期性を利用しているため、シミュレーション範囲末端において前後周期との乗換関係や先着順序を考慮に入れる必要がある。そのため、障害発生時刻前の乗客行動推定に関しても障害発生後ダイヤを用いて行っている。障害発生時刻に移動中でない乗客は、行動途中でダイヤ変更やその情報が伝わることはないために事故予見をする問題には関係しない。

ここで、図 4.4 で求めた障害発生時刻に移動中の乗客については、障害発生時刻に走行中の車内にいる場合には最初の停車駅まで、駅に停車中の車内や乗換で駅にいる乗客は障害発生時刻まで新たな経路探索の余地がない。つまり、図 4.6 で黄色で示す末端着ノードまでは計画ダイヤにおける乗客数・経路と同じものとなり、そこから乗客は再経路探索を行う。末端着ノードにおける、計画ダイヤ時の乗客行動グラフで求めた各出発駅－目的駅ごとの人数を障害発生後の乗客行動グラフにコピーし、それぞれについてその後の経路作成を行う。障害発生時刻に乗客がいた場所によってその後の経路作成方法が異なり、詳しい方法は次項で述べる。障害発生時刻後の経路を作成したものが図 4.7 である。

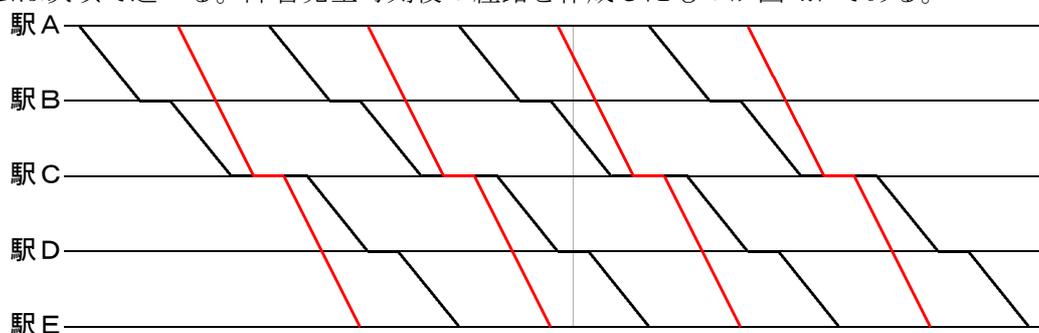


図 4.2 計画ダイヤ

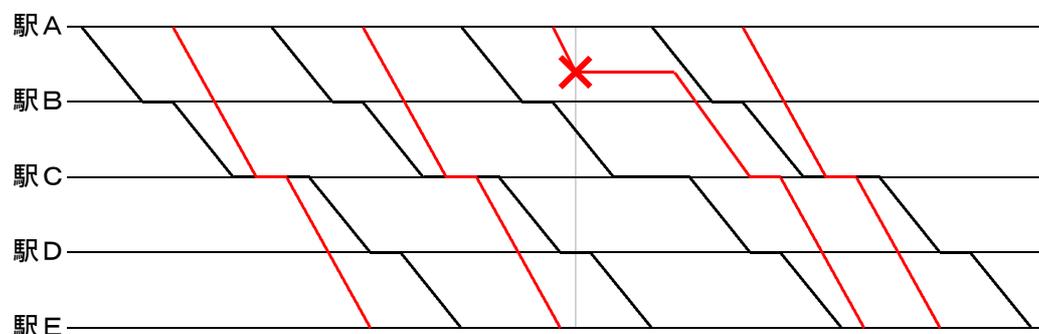


図 4.3 障害発生後ダイヤ

以上より求めた障害発生時刻に移動中の乗客と移動中でない乗客を合算したものが図4.8であり、ここから乗客の所要時間・乗換・混雑度を求める。この方法によって正しい評価値を算出することが可能となる。

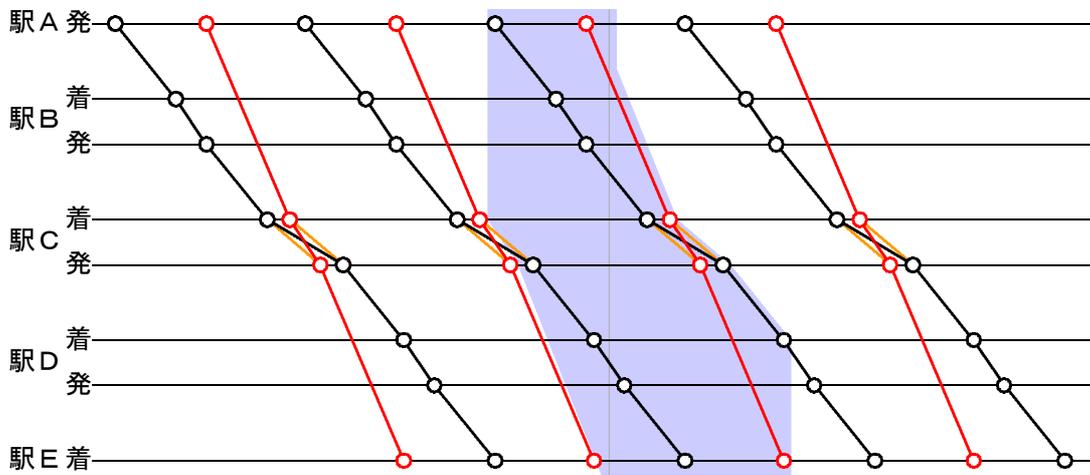


図 4.4 障害発生時刻に移動中の乗客

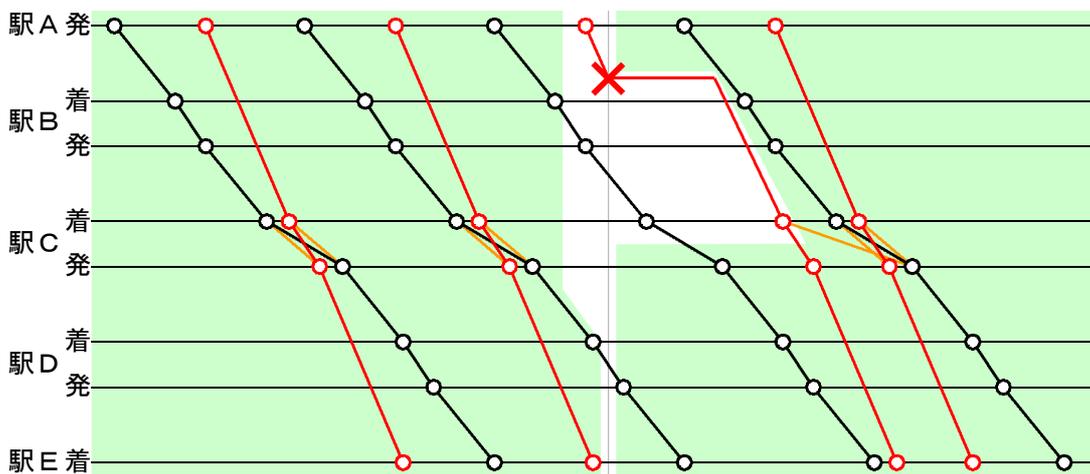


図 4.5 障害発生時刻に移動中でない乗客

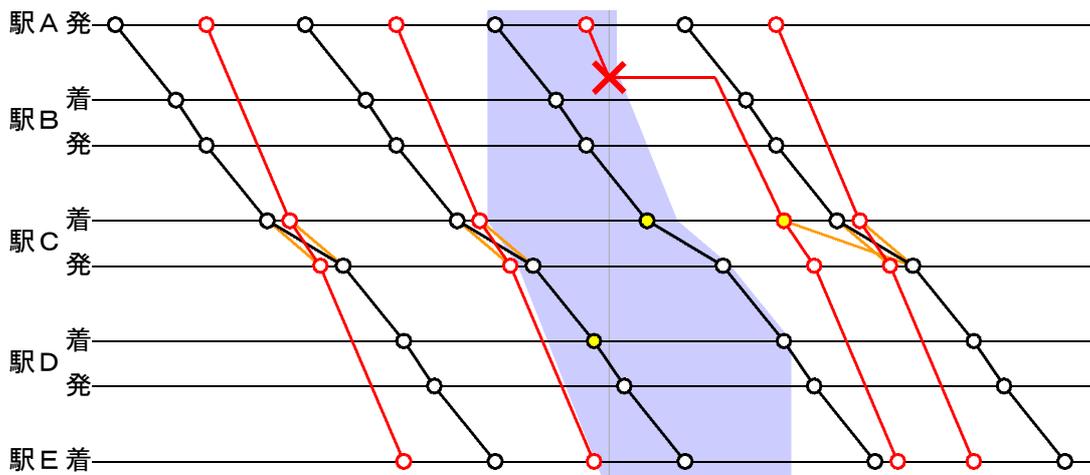


図 4.6 障害発生後の乗客行動グラフに乗客数・経路をコピー

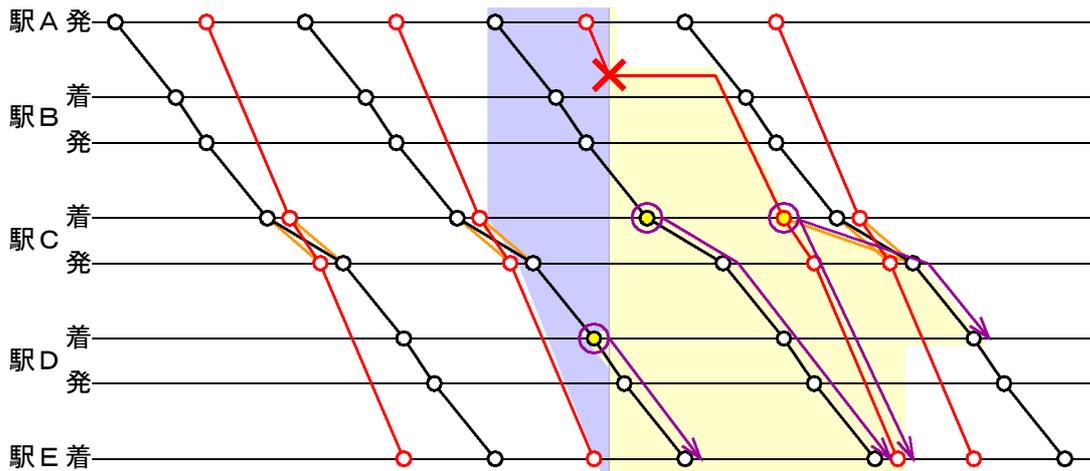


図 4.7 障害発生後ダイヤにおいて再経路選択

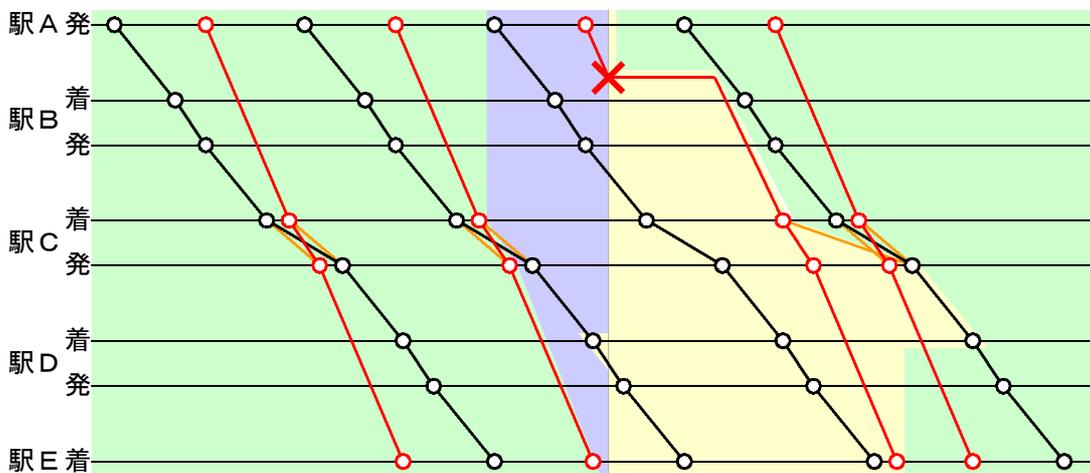


図 4.8 乗客数の合算

4.1.3 障害発生時刻に移動中の乗客の再経路探索法

立木・大山の研究^{[6][7]}でも列車運行乱れ時における乗客流推定法について検討がなされていたが、それらでは障害発生後に乗客を全員一旦駅に降ろしたように扱い再経路探索を行っていた。これは、通常の経路作成と同様に発ノードからの最短経路探索を行うことをしていたが、これでは不適切な経路を推定する場合がある。

これを解決するためには前項で述べたとおり、障害発生時刻に移動中の乗客の再経路作成方法は、障害発生時刻に乗客がいた場所によって場合分けする必要がある。ここでは、ケースごとに再経路作成方法について説明する。

(1) 障害発生時刻に走行中の車内にいた乗客

図 4.9 に対象とする路線と乗客の経路を示す。駅 A より手前の駅から急行列車に乗車中で駅 D に向かう乗客は、途中駅で普通列車に乗り換えを行う。駅 B での乗換負担よりも駅 C での乗換負担のほうが小さいため、乗客は駅 C で乗り換える経路を選択する。

ここで障害が発生し、経路の再探索が行われる場合について考えてみる。黄色で示す末端着ノードから障害発生後ダイヤ下での経路を作成することになるが、従来提案されていた方法では図 4.10 に示すように通常の経路作成と同様に発ノードからの最短経路探索を

行っていた。末端着ノード時刻以降の発ノードからその後の最短経路を導出し、末端着ノードと再探索により求められた発ノードを繋ぐことで全体の経路としていた。今回対象とする範囲ではダイヤが変更されていないため、本来ならば図 4.9 と同じ経路となるはずだが、この方法では再探索の起点となる駅、今回の例では駅 B における乗車・乗換が考慮できていない。駅 B の発ノードから最短経路探索を行った場合、駅 D へ行くためには普通列車に乗車することが損失最小の経路であるが、障害発生前の経路と繋ぐ段階で駅 B での乗換負担が加算される。このことによって経路全体としては損失の大きな経路をとることになり、乗客行動の仮定に矛盾する経路を推定していた。

そこで、本研究では再経路探索時には着ノードからの最短経路探索を行うことで再探索の起点となる駅での乗車・乗換を考慮するようにした。図 4.11 に示すように末端着ノードからその後の最短経路を探索することで駅 B、駅 C での乗換負担を比較することが可能となり乗客行動仮定に則った経路を作成できる。

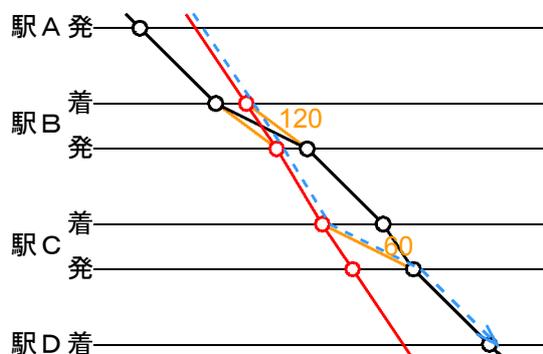


図 4.9 通常時の乗客経路

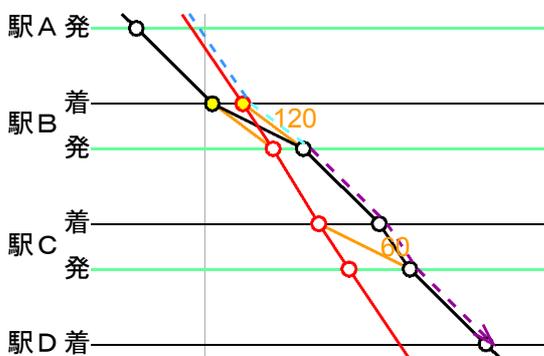


図 4.10 発ノードからの再経路探索

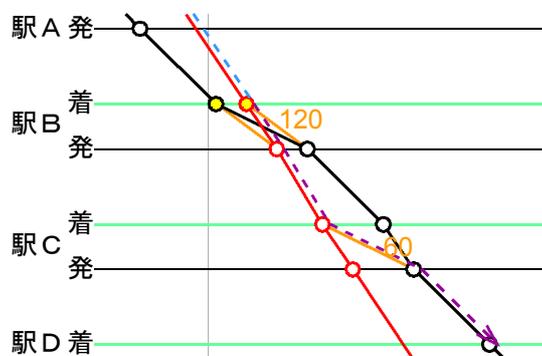


図 4.11 着ノードからの再経路探索

(2) 障害発生時刻に駅で停車中の車内にいた乗客

図 4.12 に対象とする路線と乗客の経路を示す。駅 A より手前の駅から普通列車 b に乗車中で駅 D に向かう乗客は、駅 C で乗り換えるのが損失最小の経路である。

ここで、普通列車 a に障害が発生し駅 C で急行列車に追い抜かれることになったダイヤを図 4.13 に示す。このとき、対象とする乗客は障害発生時刻には駅 B で普通列車 b の車内にいるため、通常時と同じ経路をとるのが正しい。

先に述べたように、図 4.14 のように発ノードからの再経路探索を行うと駅 B での乗換を考慮できないために全体として損失が大きな経路を選択してしまう。また、末端着ノードからの再経路探索を単純に適用すると、図 4.15 に示すような問題点が発生する。障害

発生時刻に駅で停車中の車内にいる場合では、末端着ノードは障害発生時刻前になるため、その時点から再経路探索を行うとやはり因果律に反し障害発生前にその後の情報に基づく行動をとってしまう場合がある。今回の例では、障害発生前である列車 b の駅 B 到着時点で、普通列車 a に遅延が生じ結果的に図 4.13 にあるように駅 C で急行列車と接続をとるようになることを知っていることを意味し、このため駅 B で急行列車に乗り換え、普通列車 a で駅 D に到着するという障害発生によるダイヤ変更を予見した本来ありえない行動をとることになる。

これらの問題を回避し適切な経路を得るため、本研究では図 4.16 に示すように末端着ノードからの最短経路探索を行い、その駅の発ノードは障害発生時刻以降のものを通るという条件を付けた。これにより、再探索起点駅での損失が考慮でき、障害発生前にその後の情報に基づく行動をする問題を回避できる。アルゴリズムとしては、末端着ノードから障害発生時刻前発ノードへの損失を大きく設定することで実現している。

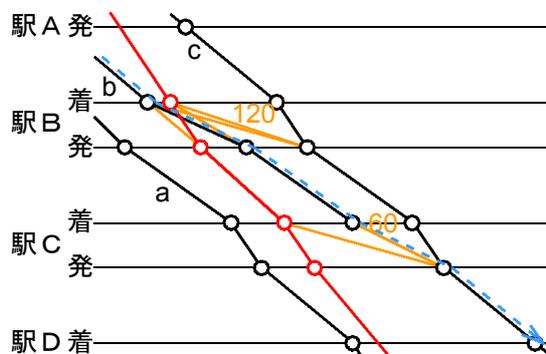


図 4.12 通常時の乗客経路

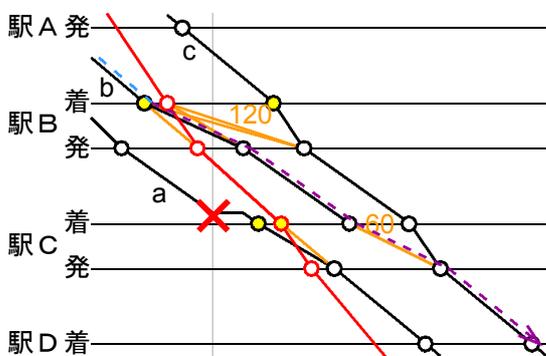


図 4.13 障害発生後の正しい乗客経路

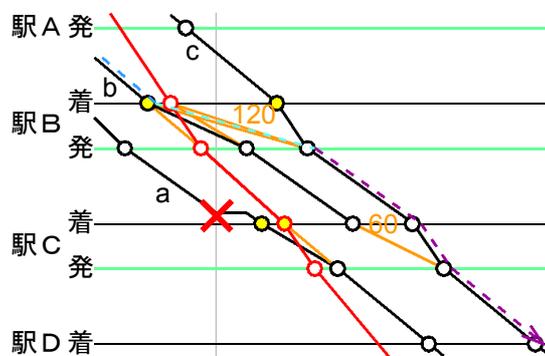


図 4.14 発ノードから再経路探索

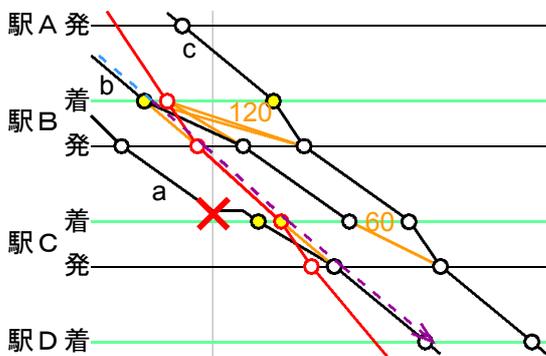


図 4.15 着ノードから再経路探索

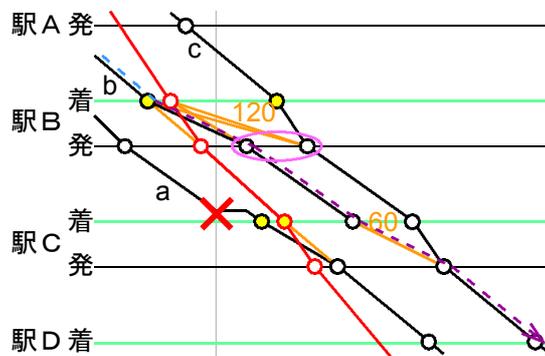


図 4.16 障害発生時刻後の発ノードを通る経路

(3) 障害発生時刻に乗換のためにホーム上にいた乗客

この場合も再探索起点駅での損失を計上するために着ノードからの探索を行う必要がある。また、末端着ノードは障害発生時刻前であるため、駅で停車中の車内にいる場合と同様に末端着ノードからの最短経路探索を行い、その駅の発ノードは障害発生時刻以降のものを通るという方法で再経路探索が実現される。

(4) 出発駅で列車を待っていた乗客

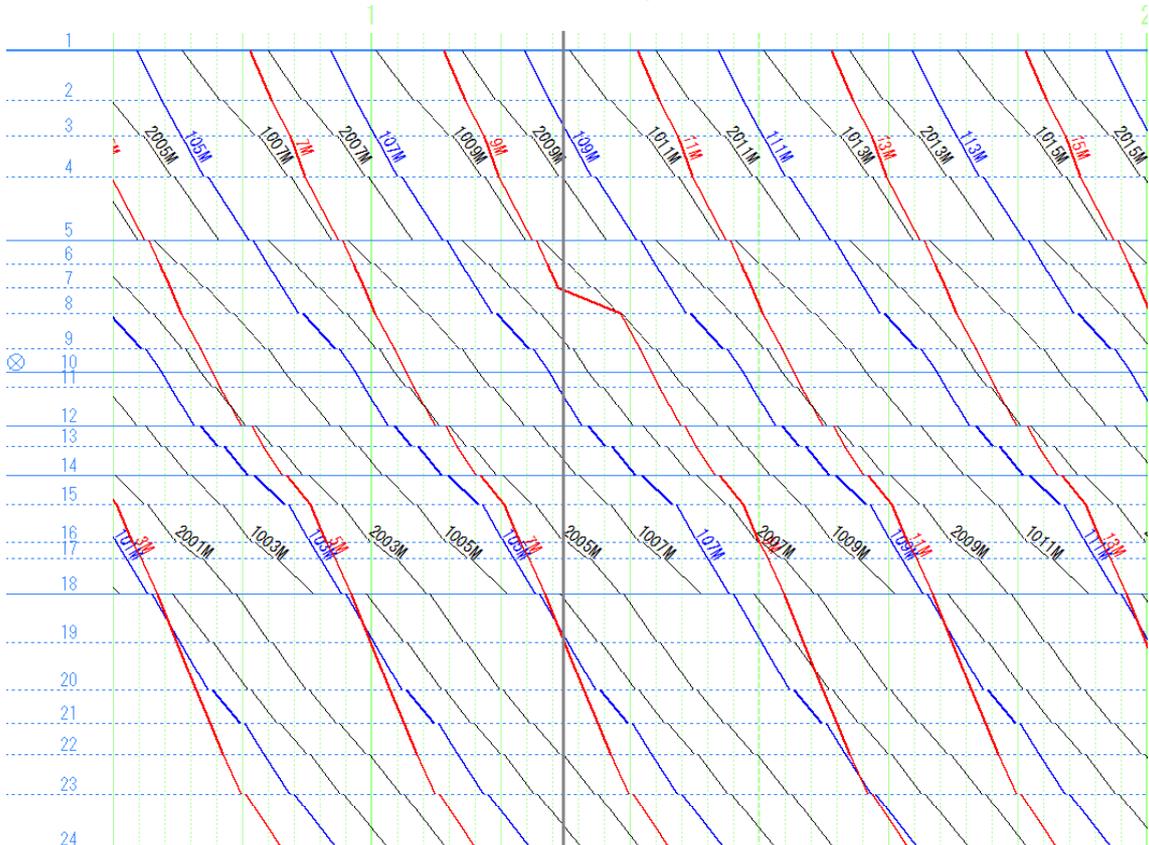
これらの乗客は障害発生時刻前に行動していないため、障害発生前後の経路を繋ぐ必要がない。通常時と同様に発ノードからの経路探索を行うことで、障害発生後の情報を基にした経路が作成される。

4.1.4 モデル路線を用いた提案手法の検証

以上で述べた列車運行乱れ時の因果律を考慮した乗客流推定法を実装し、正しく推定できていることを3章で示したモデル路線を用い検証する。

(1) 障害発生時における乗客数の推定

駅7～駅8を走行中の特急列車9Mに240秒の遅れが生じた場合のダイヤを示したものが図4.17である。この遅延によって本来ならば駅12で行われる特急列車9Mと普通列車2007Mの接続が解除される。このとき、計画ダイヤ時と、障害発生後のダイヤについて従来の障害発生を予見してしまう乗客流推定法、本研究で提案する障害発生を発生時刻以降に知り、改めて経路選択する推定法で求めた普通列車2007M、特急列車9M、普通列車1009Mの乗客数を図4.18、図4.19、図4.20に示す。



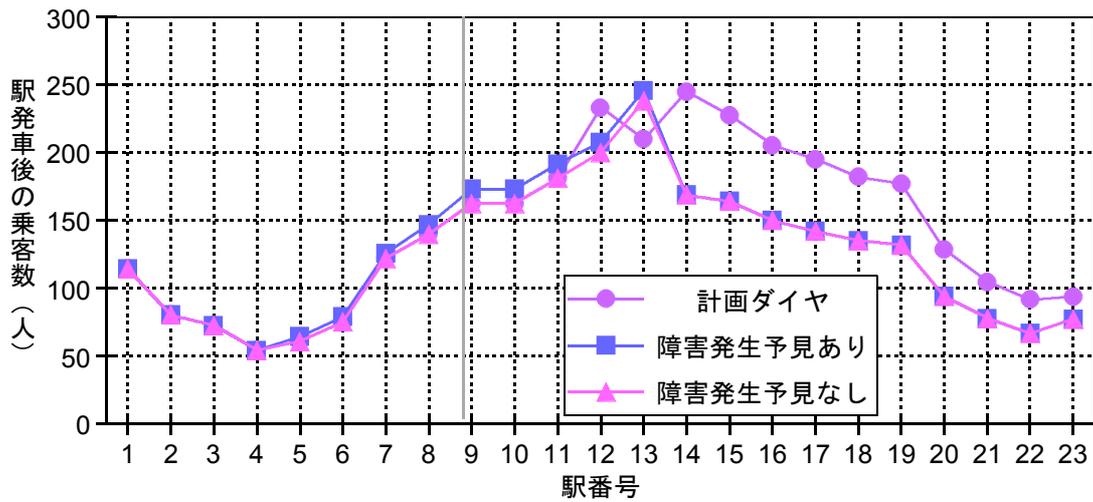


図 4.18 普通列車 2007M の乗客数

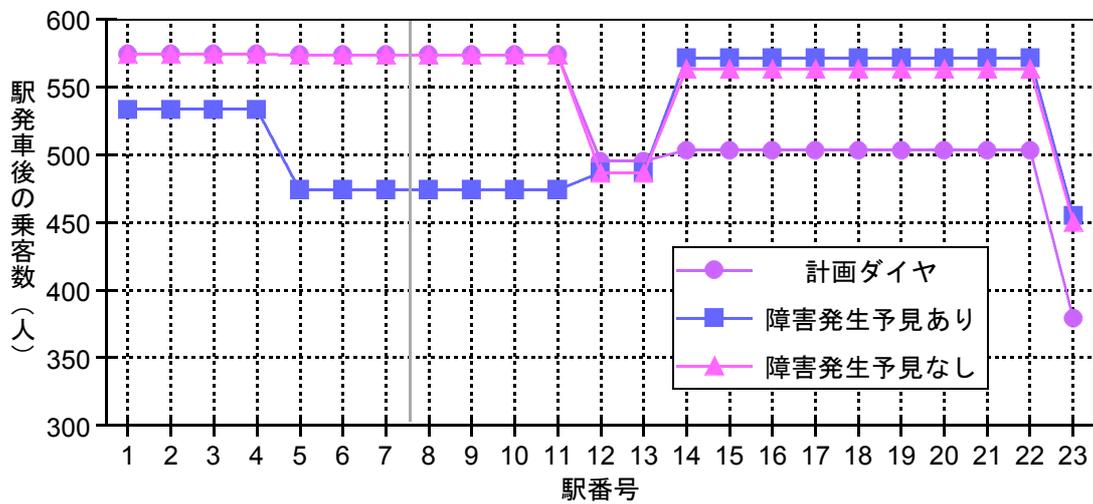


図 4.19 特急列車 9M の乗客数

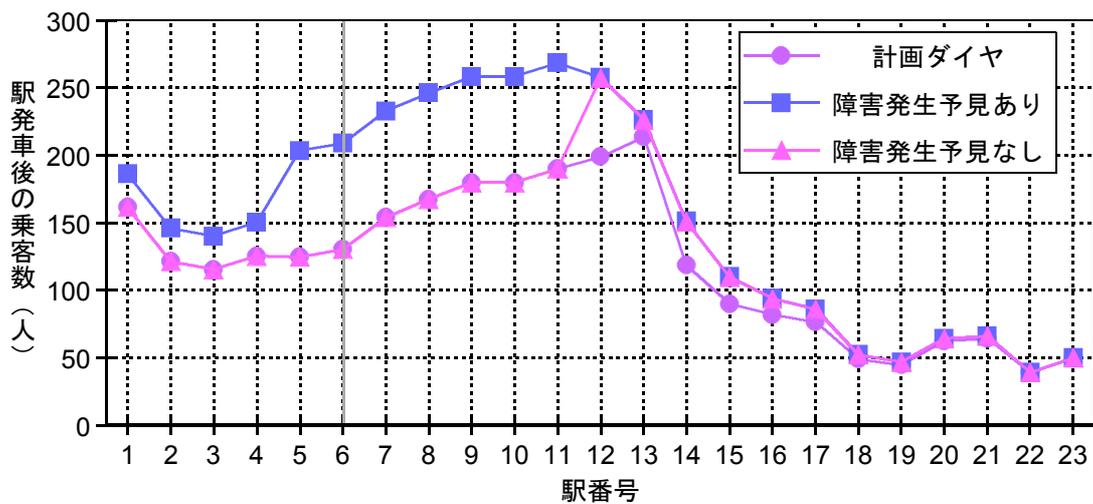


図 4.20 普通列車 1009M の乗客数

図 4.18 から図 4.20 において灰色の線で示した地点で障害発生とその後のダイヤ変更情報を知らされることになるため、その地点までは計画ダイヤ時と同じ乗客数になるべきであるが、従来の推定法ではそれと異なった結果となる。

図 4.18 に示す普通列車 2007M では、障害発生を予見してしまう従来の推定法を用いると駅 5 から乗客数が増加している。これは、計画ダイヤではその後の特急列車 9M が駅 12 に先着するために 9M を使用することになるが、計画ダイヤから障害発生による変更後のダイヤを 1 つのダイヤとして扱くと、この後 9M に遅延が生じることをあらかじめ知っていることとなり、先に駅 12 に到着する 2007M を選択してしまうためである。

また、特急列車 9M を使用し、駅 1 から駅 5 の各駅から駅 12 以降の特急列車通過駅へ向かう乗客は、計画ダイヤでは駅 12 で接続する普通列車 2007M に乗り換える。しかし、従来の推定法では障害発生時刻前から駅 12 での接続が行われないことを把握している状態で推定していた。つまり、駅 1 または駅 5 を発車する段階で、駅 12 まで 9M を使用しても目的駅に到着するのは 1009M になることを知っていることとなる。無駄な乗換を避けるために 9M に乗車することをやめ、駅 1 または駅 5 の段階で 1009M を選択していることが図 4.19、図 4.20 より分かる。

本研究で述べた推定方法では、障害発生時刻までは計画ダイヤと同じ行動をとり、情報が伝わった段階で再度行動選択を行う。障害発生後最初の停車駅である駅 12 までは 9M を使用し、そこで後続の 1009M に乗り換えていることが図 4.19、図 4.20 より読み取れる。

以上より、従来の推定法ではあらかじめ障害発生を予見するといった明らかに現実に即していなかった乗客流推定法を、合理的に説明ができるものへと変更することができた。ダイヤの評価指標は乗客流推定で求めた乗客数を基に算出しており、従来の推定法では正しい値が算出できていなかった。計画ダイヤと、障害発生後のダイヤの評価値について従来手法と提案手法で求めたものを図 4.21 に示す。提案手法で求めた乗客の損失のほうが、従来の方法で求めたものより大きな値となる。これは、従来の推定法ではあらかじめ障害が発生し、ダイヤが変更されることをふまえた上で経路選択が行えることになるため、より損失が小さい経路を選んでいるからである。しかし、これは因果律に反する不適切な行動選択に起因する過小な損失評価によるものである。提案手法のほうが障害発生後ダイヤにおける乗客の損失を正しく評価している。

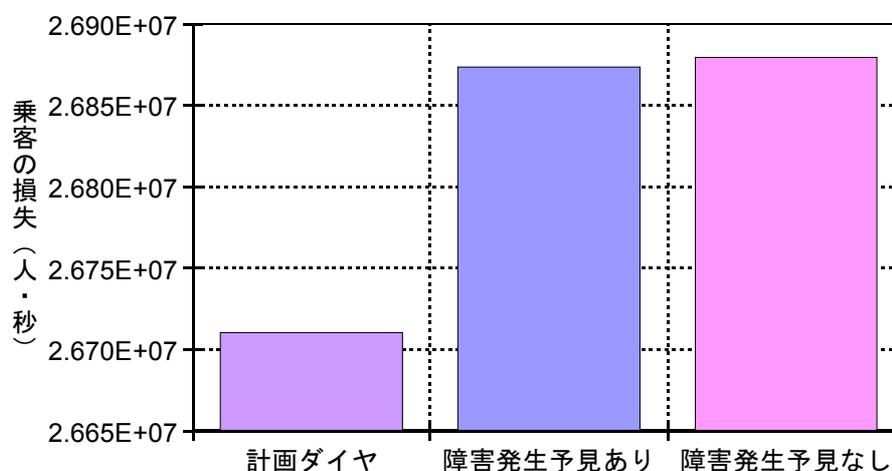


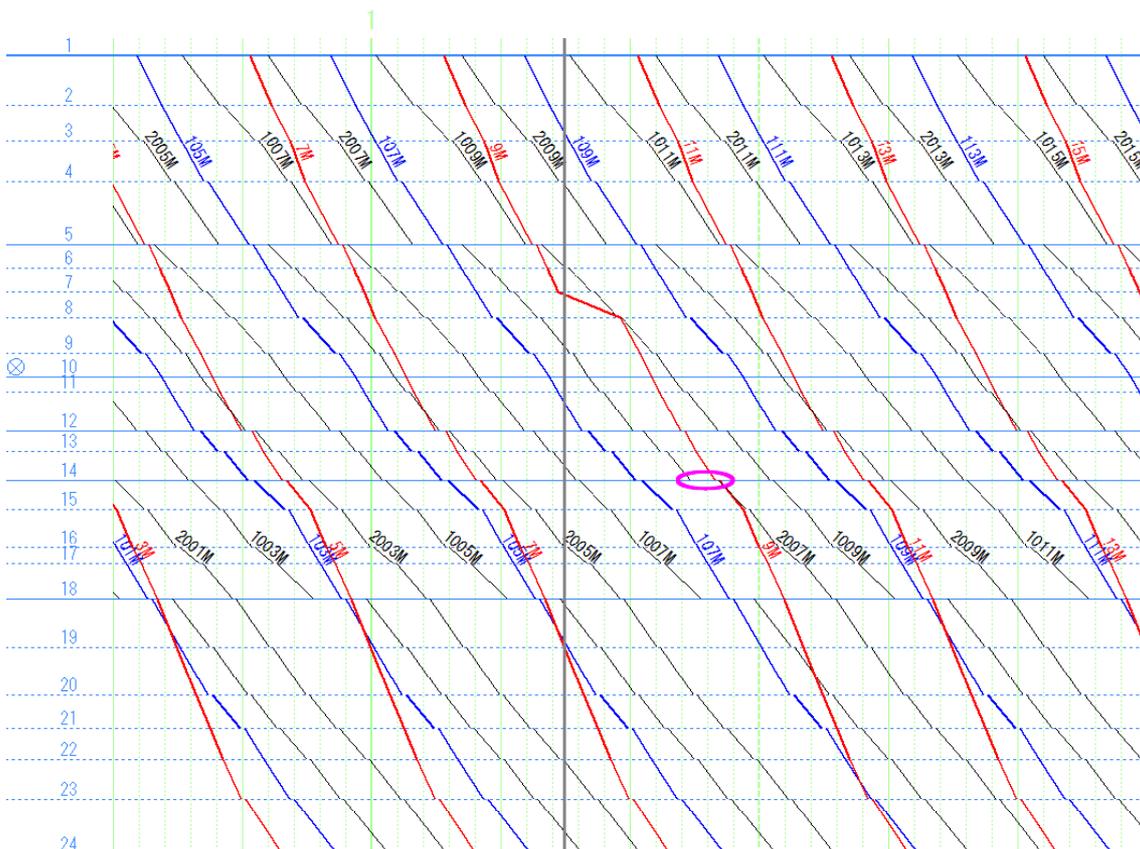
図 4.21 各ダイヤの評価値

(2) 列車遅延秒数による接続判断

図 4.17 に示した例のように、特急列車 9M に遅延が生じたために普通列車 2007M の接続がとれなくなった際に、駅 14 で 2007M に接続待ちをさせることによって乗客の損失改善を図ったものが図 4.22 である。このときの各列車の乗客数について、接続をとる前と接続を取った後のものを従来の推定法と、本研究で提案する方法で求めたものを図 4.23、図 4.24、図 4.25 に示す。なお、接続を本来設定されていた駅 12 ではなく駅 14 に変更しているのは、この方がより大きな改善が得られるためである。

従来の推定法を用いると、接続をとる前のダイヤでは先に述べたとおり駅 1 から駅 5 の各駅から駅 12 以降の特急列車通過駅に向かう乗客は 1009M を選択する。しかし、駅 14 で接続がとられると、駅 13 へ向かう乗客以外は 9M を利用し駅 14 において 2007M に乗り換えるのが損失最小の経路となる。このことを障害発生前から踏まえて行動するために 1009M から 9M へ乗客が移っていることが図 4.24、図 4.25 より分かる。

つまり、従来の推定法では接続をはじめとする運転整理手法を適用すると、それを知るはずのない障害発生時刻前・運転整理手法適用時刻前の乗客行動までも変化してしまうことによって、その運転整理手法による効果を正しく評価することができていなかった。本研究で提案する推定法では、運転整理手法の適用前後で障害発生時刻前・運転整理手法適用時刻前の乗客数は変化しないため、適用した手法の効果を正しく評価することができる。それぞれの乗客流推定法で求めた、接続を図る前後におけるダイヤの評価値を図 4.26 に示す。



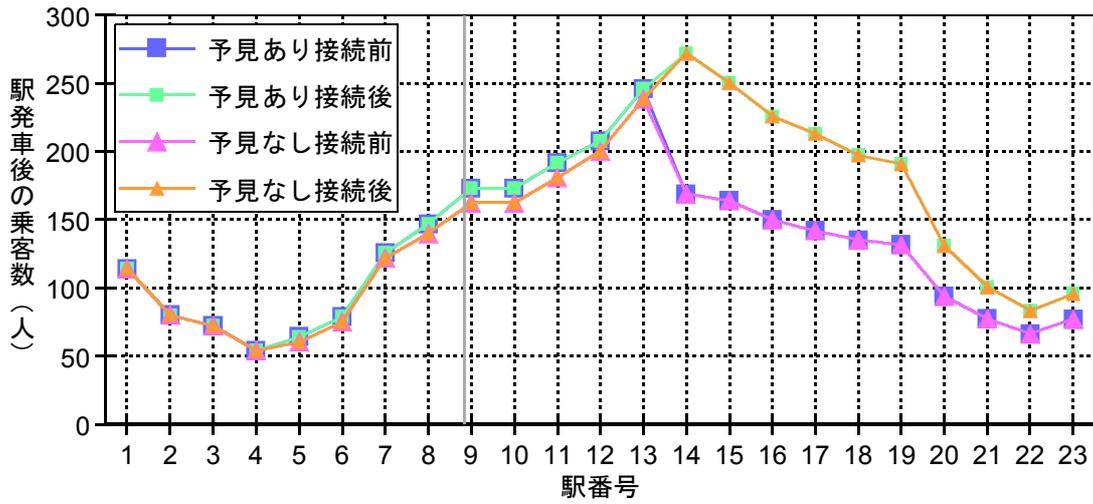


図 4.23 普通列車 2007M の乗客数

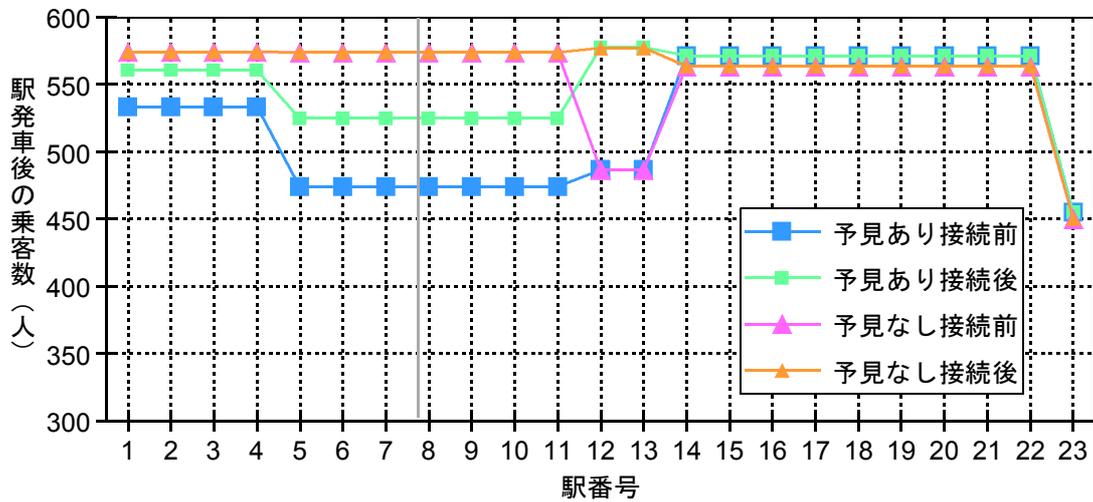


図 4.24 特急列車 9M の乗客数

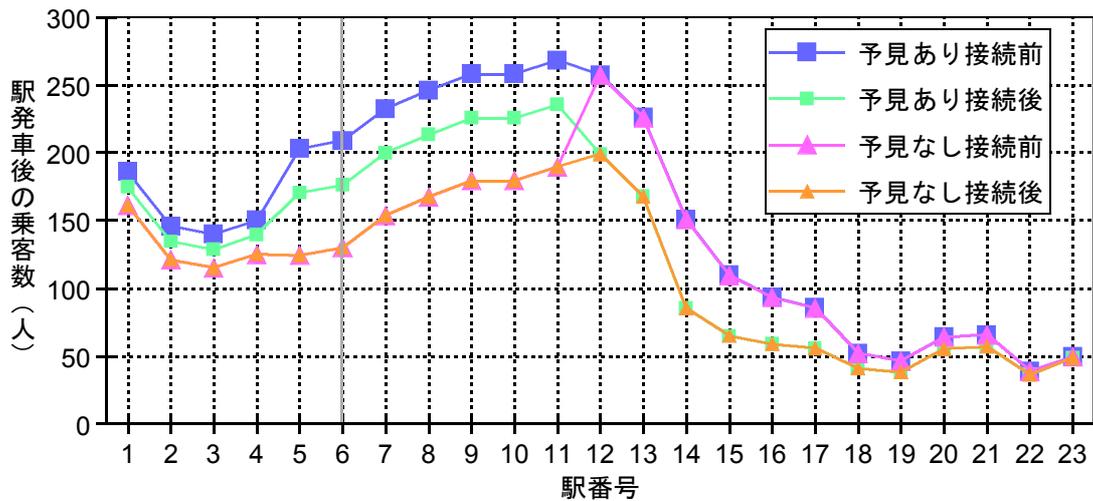


図 4.25 普通列車 1009M の乗客数

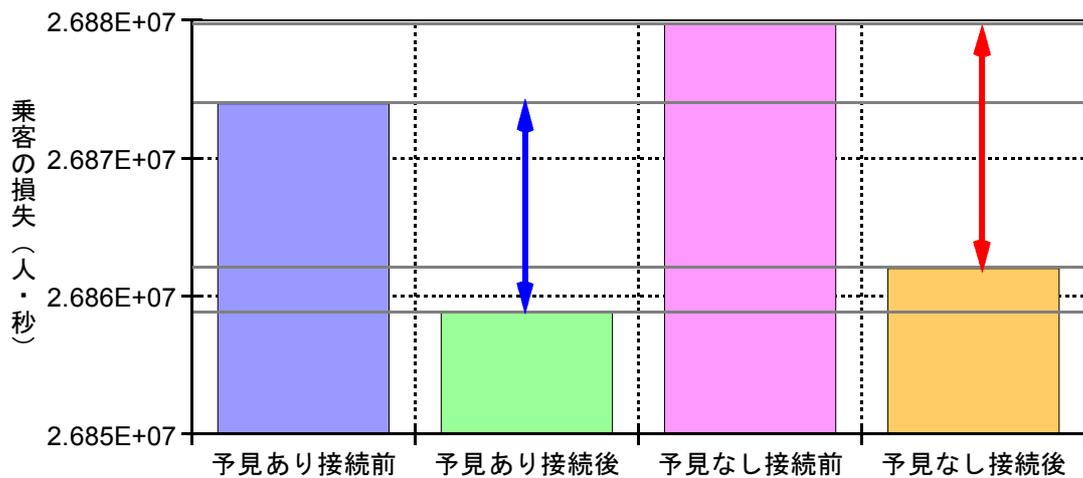


図 4.26 各ダイヤの評価値

本研究で提案する因果律を考慮した推定法と比べ、従来の障害発生を予見してしまう推定法では接続による効果を小さく評価していたことが図 4.26 より分かる。これは、接続前のダイヤにおいて乗客が遅延による影響を避ける行動をとっているために、接続前のダイヤにおける損失が不適切に小さく評価されていることに起因する。この傾向は、路線や障害発生状況を変更したケーススタディにおいても見られるものである。

従来の推定法では駅 7～駅 8 で特急列車 9M に発生する遅延が 290 秒までのとき、本研究で提案する推定法では 300 秒までのときに、駅 14 で普通列車 2007M を待たせ接続を取る方が良いという判断の差が生じる。このように列車運行乱れ時の因果律を考慮した乗客流推定法を用いることで、初めて整理手法の採否判断を適切に行うことが可能となる。

4.2 乗客の集中による積み残しの考慮

従来の乗客流推定では、障害発生時に乗客の集中によって発生する積み残し現象のモデル化ができていなかった。このことによって人数の制限なく乗車できてしまい、現実と乖離した推定結果となる。

本節では乗客が駅で列車を待つ状態や積み残された乗客のその後の行動をモデル化することにより、列車定員を考慮に入れた乗客流推定法とする。

4.2.1 乗客行動のモデル化と積み残し処理方法

乗客は駅のホームで並び目的とする列車を待つ。列車が到着すると、この駅が目的駅である乗客や乗換を行う乗客が列車から降りる。その後、その列車を待っていた乗客が限界となる定員まで乗り込む。ここでは、どの乗客が乗車でき、どの乗客が積み残されるかについて簡便にモデル化するために、乗客は各々ドアの前で分散して待っているのではなく、目的とする列車ごとに一列に並んでいるものと仮定する。また、乗客はその列車が到着するまで混雑に関する情報を与えられていないものとし、あらかじめ乗車不可能であることを知っているために、その列車が到着する前に別の列車を選択することはないものとする。

乗客は OD ごとに一様に出発駅に現れ、駅に現れた時刻が早いものから順に限界人員まで目的の列車に乗車できる。図 4.27 はある列車を待つ人数を示したものである。(1)～(3)

はその列車に乗車可能な人数を示しており、それを越えた分に関しては積み残される。

ある列車を待つ乗客が出現するのはそれぞれの OD に対して直前の有効列車が発車してからであり、時刻によってある列車を待つ人数の発生割合が異なる。どの OD が何人積み残されるのかを求めるために、積み残し発生列車の発車時刻から時間を逆にたどり出現する乗客数を計算し、積み残しが始まる領域、時刻を求める。図 4.27 に示す(2)のように、乗換によって一斉に列に加わった乗客によって積み残しが発生するケースでは、それらの OD ごとに比例配分で乗車の可否を決定する。

積み残しが生じる時刻以降に駅に現れた乗客は、当初目的としていた列車に積み残された後、その列車の発車時刻直後に改めて経路選択を行う。

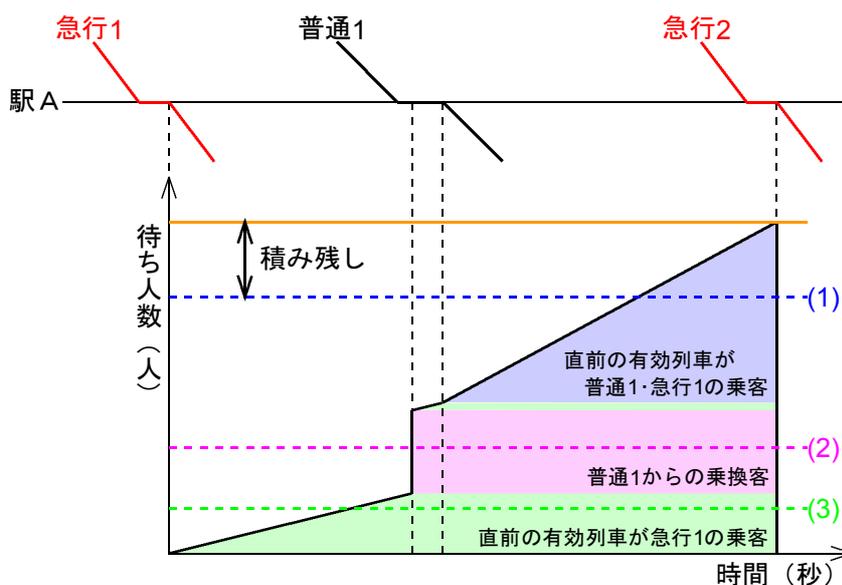


図 4.27 急行 2 を待つ乗客数

4.2.2 モデル路線を用いた提案手法の検証

以上で述べた乗客の集中による積み残しの発生を反映した乗客流推定法を実装し、その効果をモデル路線を用い検証する。

前章での例と同様に、駅 7～駅 8 を走行中の特急列車 9M に 240 秒の遅れが生じた場合を例とする。このとき、駅 14 で普通列車 2007M に接続待ちをさせたダイヤを図 4.28 に示す。なお、ここでは駅 14 から駅 15～駅 22 の各駅へ向かう OD を本来の値の 5 倍、駅 1 から駅 15～駅 22 の各駅へ向かう OD を 0.5 倍に設定している。

駅 14 において普通列車 2007M を待つ乗客が集まる様子を、計算結果から模式的に示したものが図 4.29 である。ある列車を待つ乗客は直前の有効列車が発車した直後からその列に加わることになるため、今回の例では駅 14 から乗車する乗客のうち、駅 16、駅 17 に向かう乗客は普通列車 1007M、駅 15 と駅 18～駅 22 の各駅に向かう乗客は快速列車 107M、駅 23、駅 24 に向かう乗客は 9M の発車直後から 2007M への乗車を待つ列に並びはじめことになる。また、9M から 2007M に乗り換える乗客は、9M が駅 14 に到着した後、乗換に要する時間を経た上で 2007M への乗車を待つ列に並ぶ。

普通列車 2007M の定員を変化させることで駅 14 発車の時点で 2007M に積み残しを発

生させる。その際に、積み残される乗客やその後の行動変化について以下に述べる。

(1) 限界定員を 480 人としたとき

駅 14 で 2007M を待つ乗客のうち、8.302 人が積み残されることになる。乗車できない乗客が発生するのは 2007M の発車時刻から 12.18 秒前と求まる。この時間帯に駅に現れているのは駅 14 から駅 15 以降の各駅に向かう乗客であり、それらの乗客は 2007M の発車後後続の列車を選択する。積み残し処理前後における乗客行動グラフを図 4.30、図 4.31 に示す。ここで、図 4.30 でピンクで示されているリンクは定員を超えている部分である。図 4.31 に示すように、積み残し処理後では駅 14 を発車する時点での 2007M の乗車人数が 480 人に制限され、積み残された乗客はそれぞれ表 4.1 に示す後続の列車を選択する。

(2) 限界定員を 430 人としたとき

駅 14 で 2007M を待つ乗客のうち、58.302 人が積み残されることになる。乗車できない乗客が発生するのは 9M からの乗換乗客が列に加わる段階であり、乗り換える乗客 68.68 人のうち 25.10 人が積み残される。乗換を行う各 OD ごと 35.8%の乗客が積み残される。また、駅 23、駅 24 に向かう乗客もこの時点では列に並び始めていないため全員積み残される。このときの乗客行動グラフを図 4.32 に示す。

(3) 限界定員を 380 人としたとき

駅 14 で 2007M を待つ乗客のうち、108.302 人が積み残されることになる。乗車できない乗客が発生する時刻は 2007M の発車時刻から 59.77 秒前であり、9M から乗り換える乗客と駅 14 から駅 23、駅 24 に向かう乗客は全員積み残される。このときの乗客行動グラフを図 4.33 に示す。

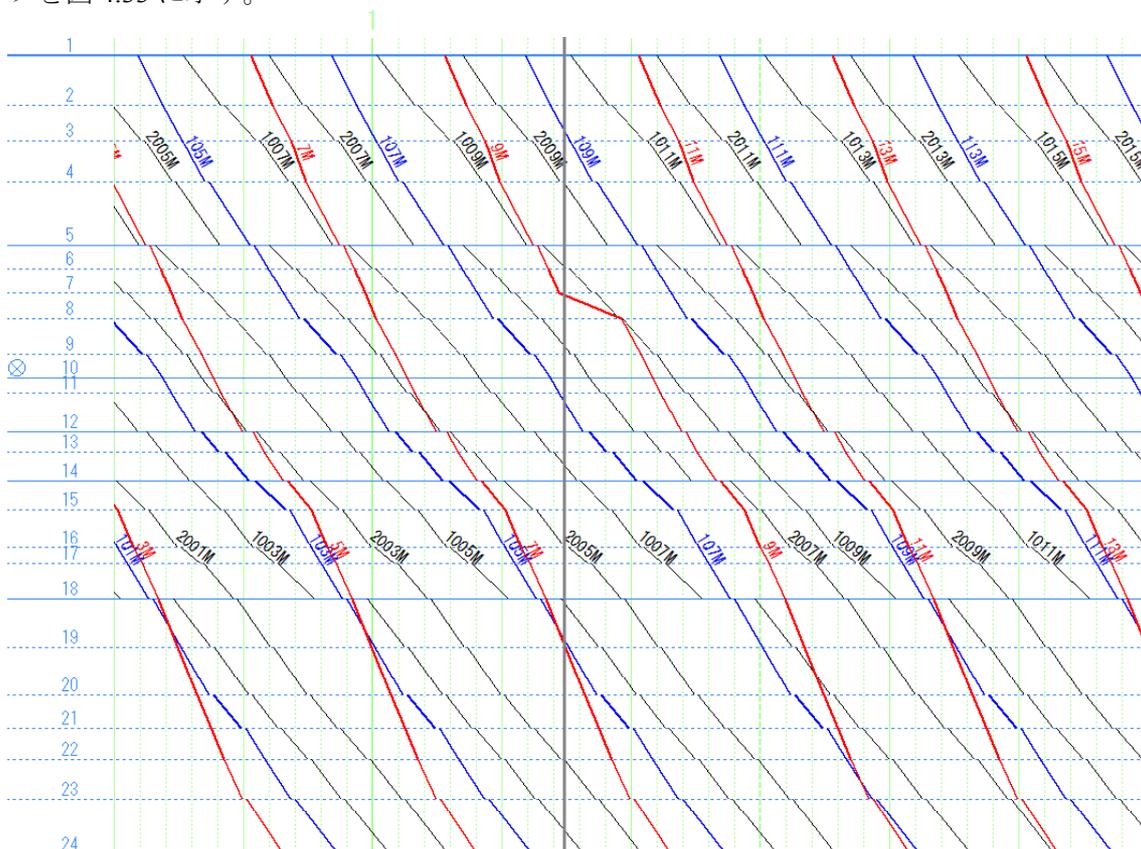


図 4.28 障害発生後・接続設定後のダイヤ

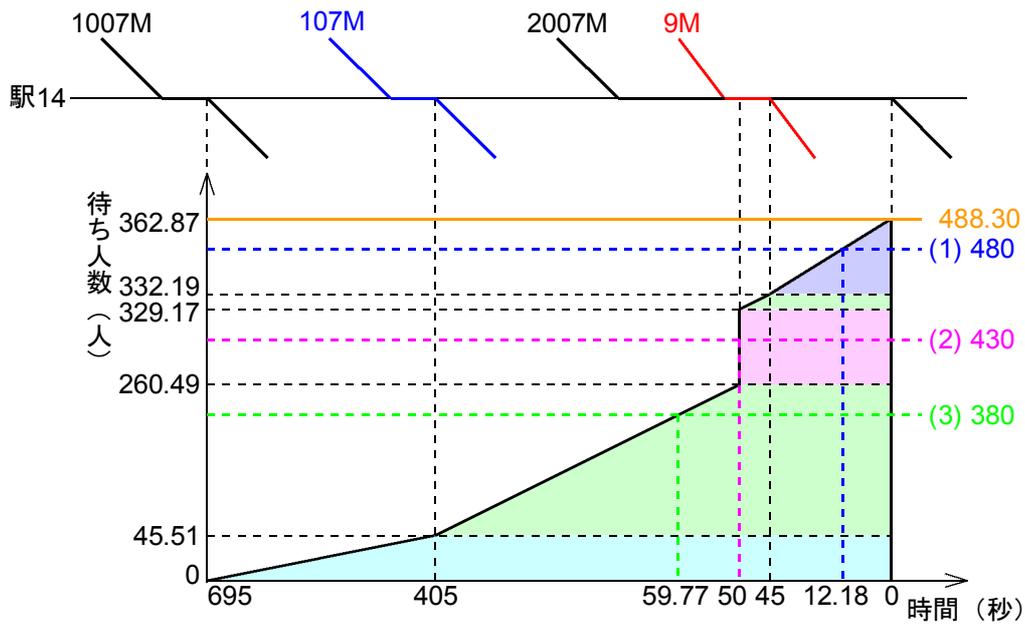


図 4.29 2007M を待つ乗客数

表 4.1 積み残される乗客と再選択列車

発 駅	着 駅	再選択 列車	積み残される乗客数			5	15	1009M	0.000	0.137	0.383	
			(1)	(2)	(3)							
1	15	1009M	0.000	1.907	5.323	12	16	1009M	0.000	0.103	0.288	
	16	1009M	0.000	1.358	3.792		17	1009M	0.000	0.034	0.096	
	17	1009M	0.000	0.340	0.948		18	1009M	0.000	0.137	0.383	
	18	1009M	0.000	0.992	2.771		19	1009M	0.000	0.103	0.288	
	19	1009M	0.000	0.183	0.510		20	109M	0.000	0.446	1.246	
	20	109M	0.000	1.698	4.740		21	109M	0.000	0.137	0.383	
	21	109M	0.000	1.175	3.281		14	15	1009M	0.000	3.007	8.396
	22	1009M	0.000	0.235	0.656			16	1009M	0.000	1.940	5.417
2	15	1009M	0.000	0.052	0.144	17		1009M	0.000	1.086	3.033	
	19	1009M	0.000	0.052	0.144	18		1009M	0.000	1.377	3.846	
	21	109M	0.000	0.052	0.144	19	1009M	0.000	0.698	1.950		
	22	1009M	0.000	0.052	0.144	20	109M	0.000	3.376	9.425		
	3	15	1009M	0.000	0.106	0.297	21	109M	0.000	1.668	4.658	
17		1009M	0.000	0.053	0.149	22	1009M	0.000	1.106	3.088		
20		109M	0.000	0.053	0.149	14	15	1009M	1.387	5.694	6.808	
22		1009M	0.000	0.053	0.149		16	1009M	1.505	6.181	7.389	
4	15	1009M	0.000	0.345	0.963		17	1009M	0.406	1.667	1.992	
	16	1009M	0.000	0.115	0.321		18	1009M	0.524	2.153	2.574	
	17	1009M	0.000	0.077	0.214		19	1009M	0.169	0.694	0.830	
	18	1009M	0.000	0.038	0.107		20	109M	2.267	9.306	11.125	
	20	109M	0.000	0.038	0.107		21	109M	0.609	2.500	2.989	
	21	109M	0.000	0.153	0.428		22	1009M	0.507	2.083	2.491	
	22	1009M	0.000	0.115	0.321	23	11M	0.355	1.313	1.313		
						24	11M	0.572	2.113	2.113		

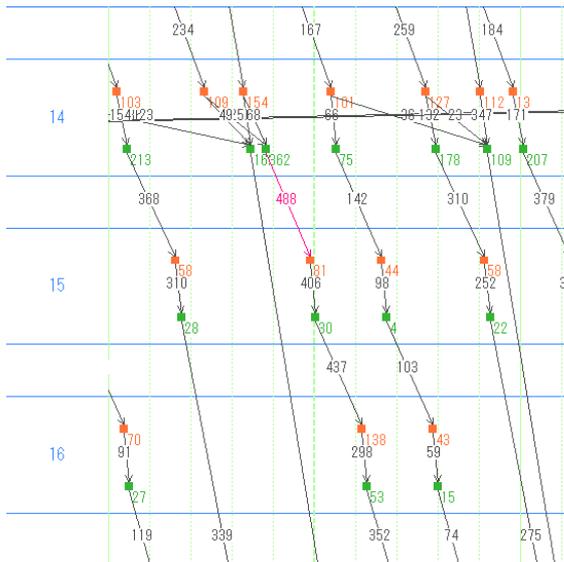


図 4.30 積み残し処理前の乗客行動グラフ

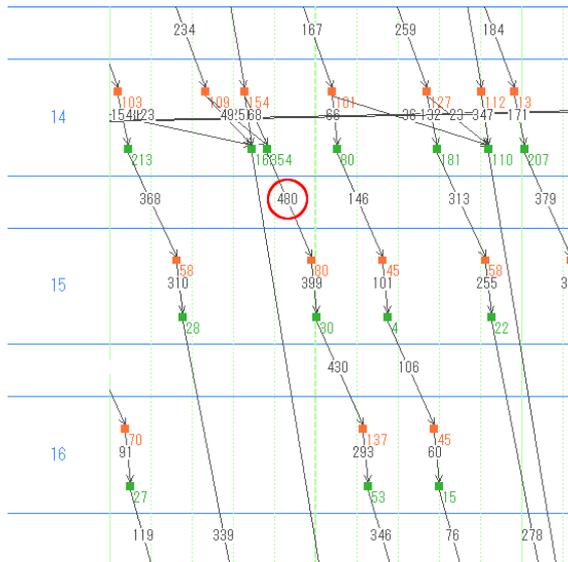


図 4.31 2007M の定員 480 人のとき

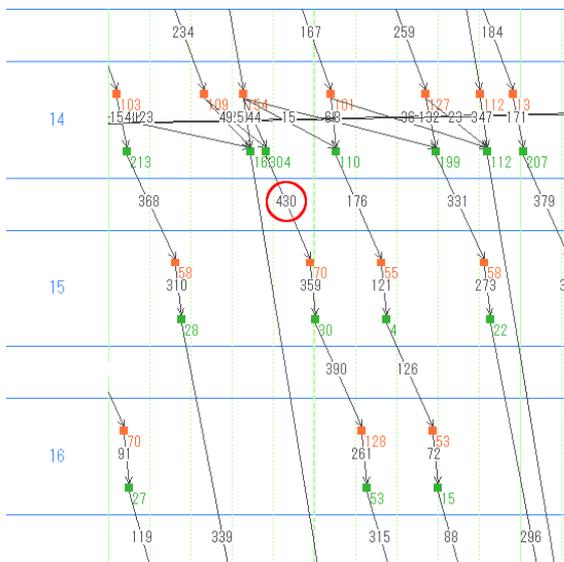


図 4.32 2007M の定員 430 人のとき

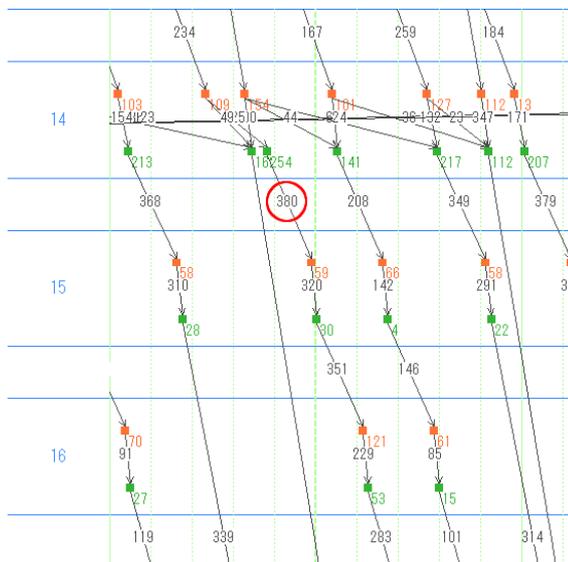


図 4.33 2007M の定員 380 人のとき

2007M の定員が 430 人のケースについて、計画ダイヤと、障害発生後・接続設定後について積み残し処理をしなかった場合と積み残し処理をした場合の各ダイヤの評価値を算出し比較したものが図 4.34 である。

積み残し処理を行うことにより乗客の損失のうち、所要時間に関する部分が増加している。これは目的とする列車に乗車できなかったために後続の列車を選択することとなり、待ち時間、移動時間が増加するためである。混雑による負担に関しては、積み残しが発生するほど激しい混雑している範囲では、図 2.12 に示す混雑に対する人間の感覚を表す係数の傾きが大きくなっているために非常に大きな負担となる。積み残し処理を行うことでこの激しい混雑を経験する乗客数が減少することにより、全体として混雑による損失は減少する結果となっている。

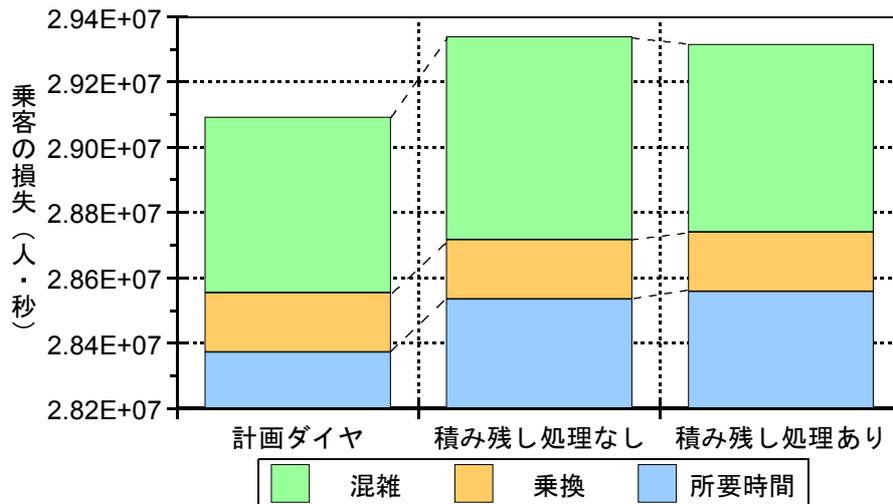


図 4.34 積み残し処理の有無による評価値の変化

4.2.3 複数回の積み残しが発生する場合のモデル化

ここまではある 1 列車のある駅で積み残しが発生した場合を対象としていた。現実には複数箇所で積み残しが発生する場合がある。

時間的、位置的に独立した箇所で複数個の積み残しが発生した場合については、その発生時間が早いほうから順に、1 ヶ所の場合と同様にそれぞれ処理することで対処可能である。

ある列車の積み残し処理をし、積み残された乗客の経路再選択を行った結果、再選択した列車を待つ乗客数が増加した結果、その列車に積み残しが発生してしまう場合や、再選択した列車を待つ乗客が既に定員より多く、さらに後続の列車を選択を選択する必要がある場合など、複数の積み残しが依存関係を持っている場合には先に述べたモデル化方法では現実を適切に反映できないケースがある。

図 4.35 は、駅 A で急行 1 を待つ乗客が多く存在し積み残しが発生した場合を示している。このとき、駅 A から駅 C に向かう乗客は次の有効列車である急行 2 を待つことになるが、この急行 2 もほぼ限界定員で駅 A に到着すると急行 1 に積み残された乗客の一部しか急行 2 に乗車できず、更に後続の列車を待つことになる。

現在の乗客行動のモデルでは乗客は所要時間と乗換による損失を最小とする経路をとるとしており、積み残された場合の再経路探索においても、その時点から所要時間と乗換による損失が最小となるような経路を選択するものとしている。このため、駅 A から駅 C に向かう乗客は混雑している急行列車を待ち続けることになってしまうのである。

現実にはこのような状況が起こった場合には、混んでいる急行列車に乗車することをあきらめ、普通列車を選択する乗客も現れるはずである。このような積み残し発生時における乗客行動を表すためには、最も損失が少ない経路だけでなく、2 番目、3 番目によい経路を保持し、最も良い経路に積み残された場合には次点の経路を選択するといった方法を採用することが考えられる。こうすることで、混雑した優等列車を待ち続けるといった不自然な行動を排除できる。

もしくは、経路探索の段階で混雑度を考慮したものにし、著しく混雑する列車を選択す

る乗客を制限することで、積み残しが発生する状況をはじめから回避する方法をとることが必要と考えられる。しかし、混雑に関する情報は乗客流推定の結果として得られるものであり、単純に計算することができない。そのため、交通計画の分野でよく用いられる均衡配分法や分割配分法^[15]を利用するといった工夫が必要とされる。

しかし、これらの単純な適用は乗客が事前に混雑状況を完全に予想しているという仮定と同義になり、因果律を再び犯すという問題にあたってしまう。混雑に伴う乗客行動変化、混雑回避行動の影響評価は情報を知る時点の仮定、判断の仮定などに強く依存し何が正しいかを厳密に論ずることができない複雑な問題であり、本論文では具体的研究の範囲外とした。

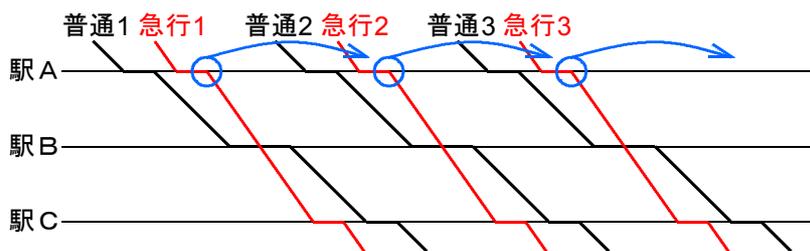


図 4.35 複数回の積み残しが発生する例

第5章

乗客流推定の結果を利用した 整理案の効率的評価・適用法

本章では、細かな列車スケジュール変更に関する評価・最適化を行う際に、試行ごとに再計算を行わない効率のよいアルゴリズムを提案する。臨時停車と時隔調整を取り上げ、その方法について述べる。

5.1 臨時停車実施駅の効率的探索法

障害発生や各種運転整理手法適用による変更の結果として、ある駅に停車する列車が長時間やって来ない状況が発生しうる。このとき、臨時停車を実施することで乗客の救済が図られる。

どの駅にどの列車を臨時停車させることが最も全体の損失を小さくすることになるかを探索する方法としては、各臨時停車候補駅それぞれに停車させた場合につき、評価値を求め比較することが考えられる。しかし、この方法では列車運行シミュレーション、乗客行動シミュレーションを多数回行う必要があり、計算時間の負担が大きくなるという問題点が存在する。

そこで、本節では乗客行動シミュレーションによって推定された乗客の人数や列車の間隔を利用し、臨時停車を行った場合の乗客の損失変化を計算する解析式を導くことで評価を効率化する方法を提案する。

5.1.1 臨時停車実施駅の乗客流推定の結果を利用した探索法

乗客流推定の結果を利用した臨時停車駅の決定法について以下に述べる。臨時停車実施により影響を受ける乗客を示したものが図 5.1 である。

(1) 優等列車に乗車しており臨時停車実施駅を通過していた乗客

臨時停車が実施されることによって加減速や停車に要する時間 t_{1k} (秒) 所要時間は増加する。目的駅 k に向かう該当の乗客数を P_k (人) とすれば、乗客の損失は以下に示すとおり変更される。

$$T_1 = P_k t_{1k} \quad (5.1)$$

(2) 手前の優等列車停車駅で乗り換えるなどし、後続列車で目的駅に到着していた乗客

当初乗車していた列車よりも t_{2j} (秒) 早く目的駅に到着可能となり、また手前の駅での乗換負担 r_{aj} (秒) がなくなる。よって、駅 j から乗車する該当の乗客数を Q_j (人) とすれば乗客の損失は、以下の式で示すとおり変化する。

$$T_2 = Q_j (t_{2j} + r_{aj}) \quad (5.2)$$

前章で述べた列車運行乱れ時の因果律を考慮するため、障害発生時刻前に後続列車に乗り換え、目的駅に到着していた乗客についてはここではカウントしない。

(3) 臨時停車実施駅からの乗客

臨時停車によって、当初の計画よりも早い列車に乗車可能となる。目的駅 k への乗客が毎秒 p_{lk} (人) 発生するとき、乗車駅 I における前有効列車との間隔 t_{3k} (秒)、目的駅 k での到着時間差 t_{4k} (秒)、乗換損失の差分 $r_{\beta k}$ (秒) を用いて、以下の式で示すとおり変更される。

$$T_3 = p_{lk} t_{3k} (t_{4k} + r_{\beta k}) \quad (5.3)$$

以上合計して、駅 I に優等列車を臨時停車させたことによる乗客の損失変化(人・秒)は式(5.4)によって得られる。

$$\begin{aligned} \Delta T &= \sum_{k=I+1}^N T_1 + \sum_{j=1}^{I-1} T_2 + \sum_{k=I+1}^N T_3 \\ &= \sum_{k=I+1}^N P_k t_{1k} + \sum_{j=1}^{I-1} Q_j (t_{2j} + r_{\alpha j}) + \sum_{k=I+1}^N p_{lk} t_{3k} (t_{4k} + r_{\beta k}) \end{aligned} \quad (5.4)$$

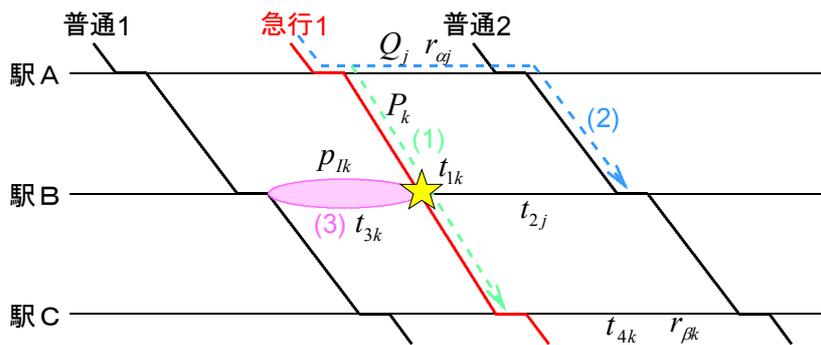


図 5.1 臨時停車実施により影響を受ける乗客

5.1.2 モデル路線を用いた提案手法の検証

駅 6 ~ 駅 7 を走行中の普通列車 2007M に 600 秒の遅れが発生したケースを示したものが図 5.2 である。このとき、障害発生駅以降では特急列車 9M の通過後長時間列車が到着していない。そのため、先に挙げた項目のうち(2)で述べた後続の停車する列車を待つことで発生する損失が大きく存在していると考えられる。9M の各通過駅について臨時停車した場合の損失の増減を上記手法で計算し、乗客の損失が最も減少する駅に停車すればよい。

なお、対象としているモデル路線では駅 16 以降の特急列車通過駅では急行線にホームが存在していないため臨時停車候補駅の対象から除外する。また、快速列車はラッシュ時間帯などには急行線を走行するため、快速列車停車駅では比較的容易に急行線のホームを使用できるようになっているが、普段普通列車しか停車しない駅では急行線ホームに転落防止のためのゲートが設置されており、即座には使用することが難しい。ここで対象としているのは、障害発生直後に走行する列車であるので、臨時停車候補駅は駅 8 ~ 駅 15 の快速列車停車駅とする。

駅 8 ～ 駅 15 の快速停車駅に特急列車 9M を臨時停車させた場合の損失の変化分を求めたものを図 5.3 に示す。駅 8、駅 9、駅 13 に 9M を臨時停車させた場合には乗客の損失が減少するが、駅 15 に停車させた場合には悪化することが分かる。この中でも駅 8 に停車させることが最も乗客の損失を改善させることが分かる。駅 8 に 9M を臨時停車させたダイヤを図 5.4 に示す。

臨時停車の候補駅とした 4 駅に 9M を臨時停車させ、そのとき乗客の損失を列車運行シミュレーション、乗客行動シミュレーションを行い乗客の損失の変化分を求めたものをあわせて図 5.3 に示している。今回提案する手法では所要時間、乗換による損失のみを計算しており、列車の混雑による損失は考慮していない。また、前後の列車との間隔や余裕時分、各種制約条件による影響のため、各駅における到着・出発時刻を列車運行シミュレーションを行わないで正確に求めることは難しい。そのため、提案手法で求めた値と列車運行シミュレーションを行い求められた評価値では数千人・秒の差が生じている。しかし、各駅間での大小関係は適切に推定できているので、どの駅に臨時停車をするべきかを求めるための指標としては有用であると考えられる。

各駅に臨時停車させたときの評価値を算出し比較していた方法では、候補駅の数だけ計算時間負担の大きい列車運行シミュレーション、乗客行動シミュレーションを行い、そのなかで損失が最小となる駅を選択していた。提案する手法では臨時停車駅を決定した後、1 回だけ列車運行・乗客行動シミュレーションを行えばよく、計算時間の短縮が図られる。今回の例では計算時間を 1/5 とすることができ、運転整理案作成全体の高速化に寄与できる。候補駅数が多いケースほど、その効果は大きなものとなる。

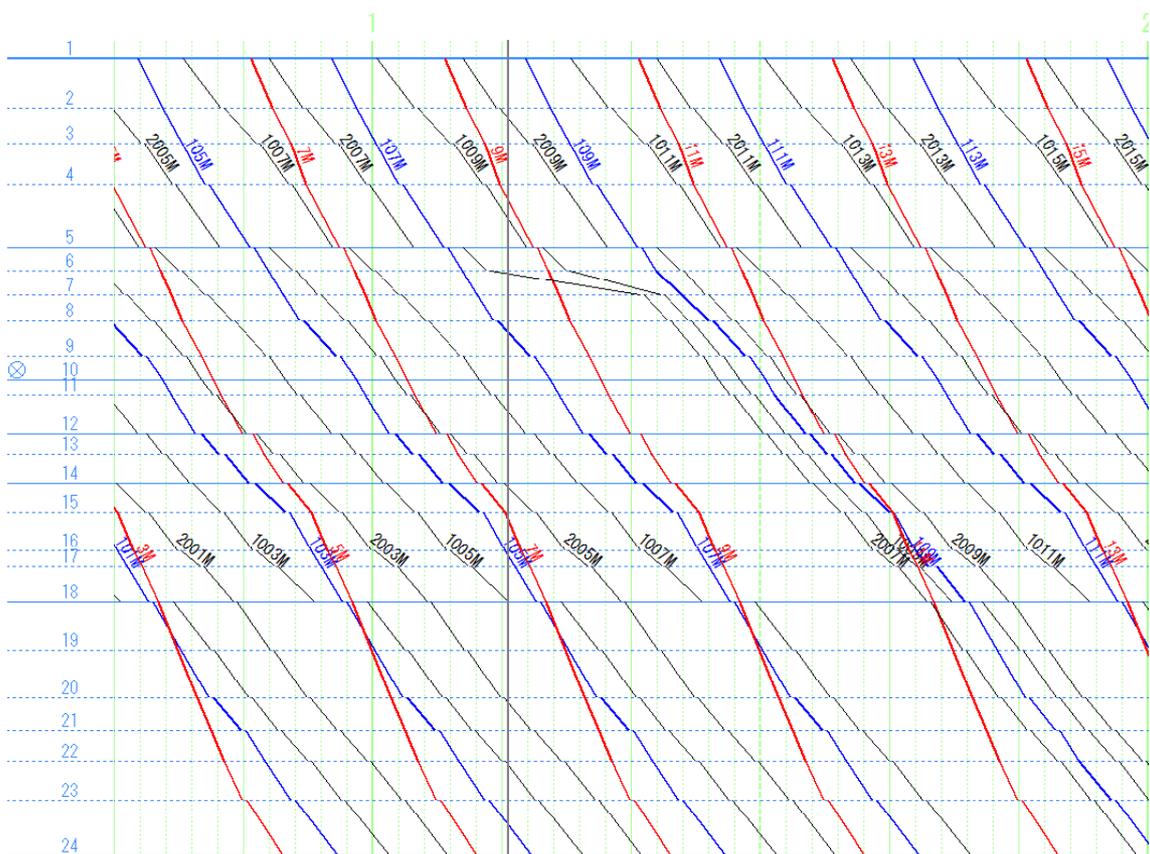


図 5.2 障害発生後のダイヤ

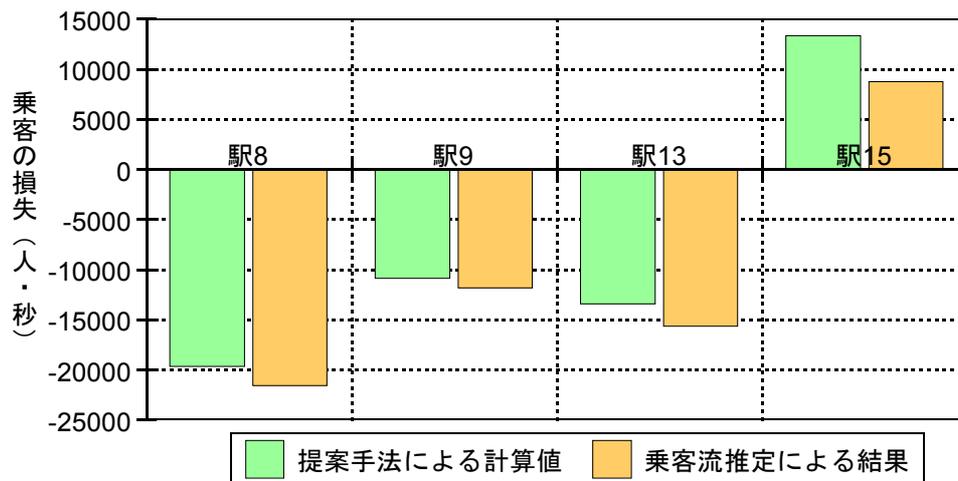


図 5.3 臨時停車実施による乗客の損失変化

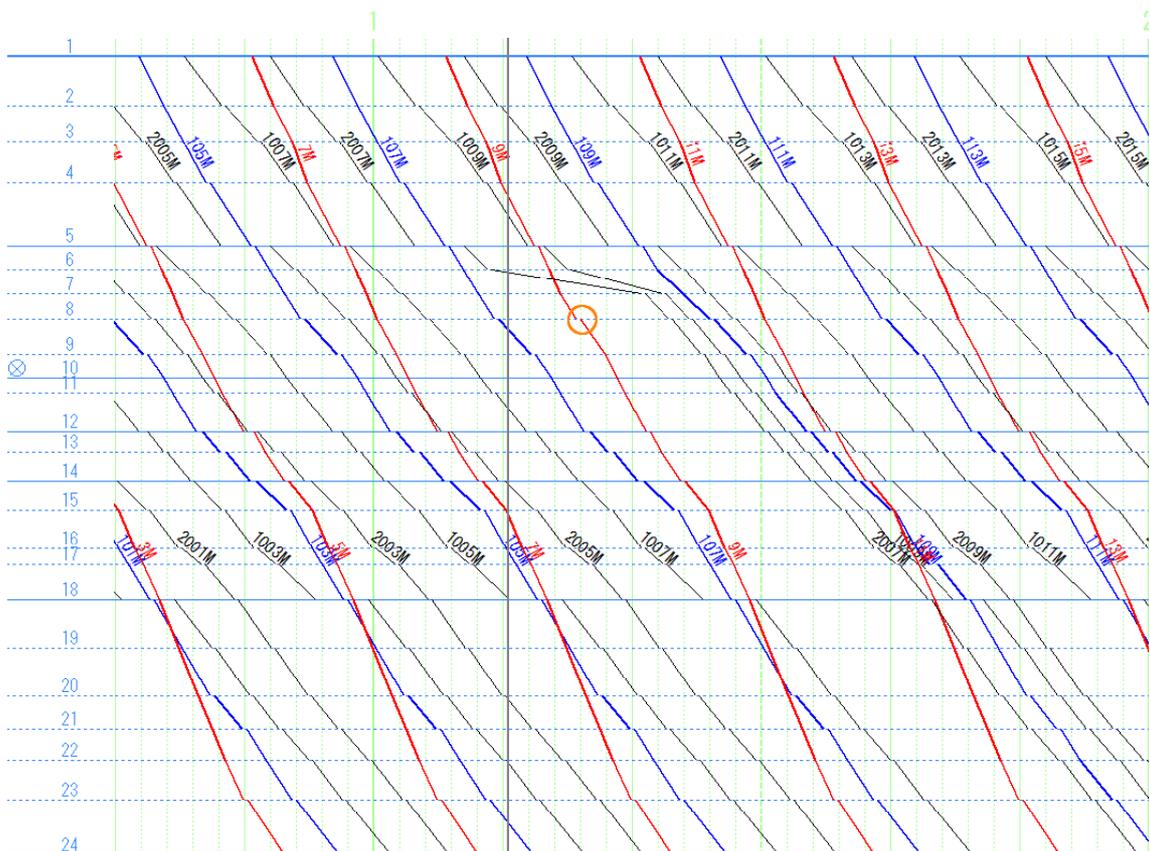


図 5.4 駅 8 に臨時停車を行ったときのダイヤ

5.1.3 提案手法の使用可能範囲

ここでは運転整理時の臨時停車実施駅決定のために提案手法を利用したが、この手法は計画ダイヤ作成時にも活用することができる。例えば、優等列車に新型車両が導入されるなどして走行時間が短縮され停車駅を1つ増やす余裕ができたとき、新たな停車駅をどこにするかを決定する際に本手法を利用し、乗客の損失が最も改善する駅に停車させることでより乗客の損失が少ない計画ダイヤとすることが可能となる。また、今回のケーススタ

ディでは急行線にホームがない駅や、普通列車しか停車しない駅では臨時停車実施が難しいことから比較の対象に入れなかった。しかし、事前にいくつかの事故条件を設定したケーススタディから、これらの駅に停車することが最もよいという結果が得られた場合、急行線にホームを設置したり、素早くホームを使用可能にするといった対策を講じることで、よりよい運転整理案を作成するために行う効果的な施設改良の指針を与えることも可能である。

本研究で使用する乗客の視点に立った評価指標は、列車運行シミュレーション、乗客行動シミュレーションを行った上で計算される。つまり、評価値はダイヤ全体を見た上で導出される。ここで提案した臨時停車実施駅の探索方法では、局所的に損失の変化分を計算している。今回対象とするモデル路線では片方向しか扱っていないが、実際には列車は上下両方向に走行しており、列車の運用も考慮する必要がある。末端駅での折り返し時間が短い場合、臨時停車を実施することによって到着時間が遅れたために、反対方向の列車の出発も遅れ、反対方向の列車運行に乱れを生じさせてしまう事態が考えられる。対象としている区間のみを見た場合では臨時停車を実施することで評価値が改善される場合でも、上下両方向まで見た場合には評価値を悪化させてしまうといったこのようなケースを本提案手法では判断することができない。

提案手法で得られる臨時停車候補駅は評価値を改善できる可能性が高い駅というように捉え、最終的な評価には乗客流推定を基にした用いた従来の方法を使用することが、提案手法を効果的に使用する方法であると考えられる。

5.2 時隔調整実施駅・実施秒数の効率的探索法

ある列車に遅延が発生すると駅で列車を待つ乗客が増え、混雑により乗降時間が増加しさらに遅れが増大する事態が発生する。このような事態を防ぐために遅延している列車を意図的に遅らせ列車の等間隔性を保ち、乗客を分散させることでダイヤの早期回復を図るために時隔調整が実施される。

時隔調整をどの駅で何秒間行うべきかを決定するために、対象となる箇所全てで実施秒数を変更して行くと最適な値の組合せは求められるが、計算時間が膨大となり実用的でない。先行研究^[13]においては図 5.5 に示す(1)～(6)の順というように、人間が考える際と同様に影響の大きなところから順に探索を行う方法を提案した。そしてこの方法が3章で述べたように計算時間、ダイヤの改善の面で実用的であることを示した。

しかし、一次元探索の過程で複数回の列車運行シミュレーション、乗客行動シミュレー

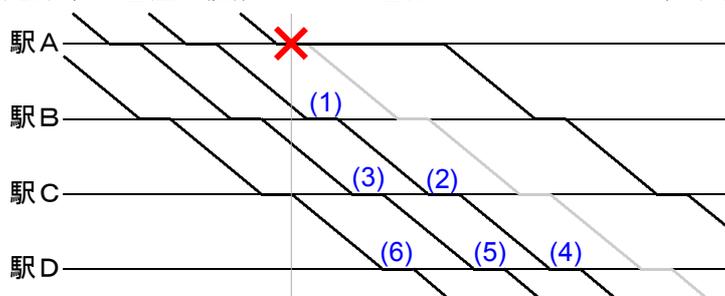


図 5.5 時隔調整実施箇所と適用順序

ションが必要となる。前節で述べた臨時停車の例のように、列車ダイヤを変更しながら探索しなくても乗客数や列車間隔などから解析的に最適実施秒数を求められるケースもあり、これにより計算時間の更なる短縮を図る。

5.2.1 時隔調整実施駅・実施秒数の乗客流推定の結果を利用した探索法

乗客行動シミュレーションによって得られた乗客数や列車間隔を用いた、時隔調整実施秒数の決定法を以下に述べる。時隔調整によって影響を受ける乗客を表したものが図 5.8 である。

(1) 時隔調整実施列車に乗りし、実施駅 I を通過する乗客

駅 I で時隔調整を x (秒) 行ったとき、時隔調整実施列車に乗りし実施駅を通過する乗客の所要時間は増大する。目的駅 k に向かう乗客数を P_k (人)、駅 I から駅 k で設定されている余裕時分を τ_{Ik} (秒) とすると、乗客の損失は式(5.5)で示すとおり変化する。

$$T_1 = P_k(x - \tau_{Ik}) \quad (5.5)$$

(2) 時隔調整実施駅とそれ以降の駅から時隔調整実施列車に乗り換える乗客

時隔調整が行われることによって、これらの乗客の目的駅到着時刻が遅くなる。駅 j で乗り換え、目的駅 k に向かう乗客数を Q_{jk} (人) とすれば、乗客の損失は以下のように変化する。

$$T_2 = Q_{jk}(x - \tau_{Ik}) \quad (5.6)$$

(3) 時隔調整実施駅とそれ以降の駅から、さらに以遠の駅へ向かう乗客

2 章で述べたとおり、本研究では乗客は出発駅に均等な間隔で出現するというモデルを採用している。出発駅 j から目的駅 k へ向かう OD を p_{jk} (人/秒) とすれば、時隔調整前の乗客の待ち時間合計は図 5.6 より、式(5.7)、式(5.8)で表され、時隔調整後の乗客の待ち時間合計は図 5.7 より、式(5.9)、式(5.10)で表される。そのため、時隔調整を実施することによって変化する乗客の損失は式(5.11)と表される。

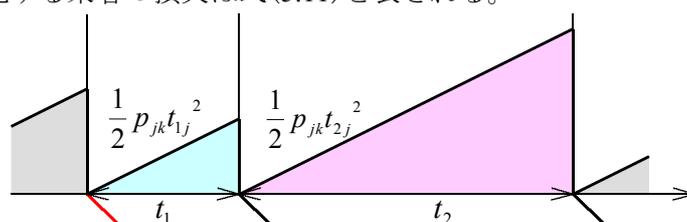


図 5.6 時隔調整実施前の乗客の待ち時間

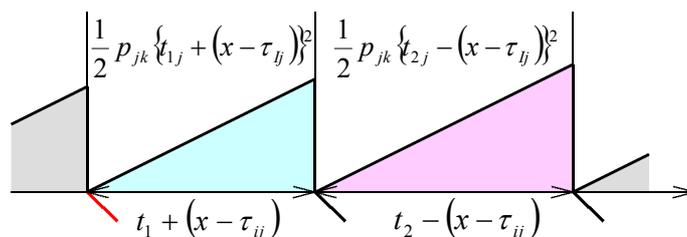


図 5.7 時隔調整実施後の乗客の待ち時間

$$T_{31} = \frac{1}{2} p_{jk} t_{1j}^2 \quad (5.7)$$

$$T_{32} = \frac{1}{2} p_{jk} t_{2j}^2 \quad (5.8)$$

$$T_{33} = \frac{1}{2} p_{jk} \{t_{1j} + (x - \tau_{lj})\}^2 \quad (5.9)$$

$$T_{34} = \frac{1}{2} p_{jk} \{t_{2j} - (x - \tau_{lj})\}^2 \quad (5.10)$$

$$\begin{aligned} T_3 &= (T_{33} + T_{34}) - (T_{31} + T_{32}) \\ &= p_{jk} \{ (x - \tau_{lj})^2 - (t_{2j} - t_{1j})(x - \tau_{lj}) \} \end{aligned} \quad (5.11)$$

(4) 時隔調整によって乗車列車が変更になった乗客

時隔調整の実施によってその列車の出発時刻が遅くなったために、本来ならば後続の列車に乗る予定だったが時隔調整を実施した列車に乗車可能になる乗客も存在する。駅 I から駅 j の余裕時分を τ_{lj} (秒)、出発駅 j から目的駅 k での時隔調整実施列車での所要時間を t_{ajk} (秒)、当初予定していた後続列車での所要時間を $t_{\beta k}$ (秒) とすれば、その所要時間差分乗客の損失が変化する。

$$T_4 = p_{jk} (x - \tau_{lj}) \{ (t_{ajk} - \tau_{jk}) - t_{\beta k} \} \quad (5.12)$$

以上、時隔調整を実施することによって発生する乗客の損失変化分を各駅間で合計すると式(5.13)となる。

$$\begin{aligned} \Delta T &= \sum_{k=I+1}^N T_1 + \sum_{j=I}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N T_2 + \sum_{j=I}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N T_3 + \sum_{j=I}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N T_4 \\ &= \sum_{j=I}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N p_{jk} x^2 + \left[\sum_{j=I}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N \{ p_{jk} (t_{1j} - t_{2j} + t_{ajk} - t_{\beta k} - 2\tau_{lj} - \tau_{jk}) + Q_{jk} \} + \sum_{k=I+1}^N P_k \right] x \\ &\quad + \sum_{j=I}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N \{ p_{jk} \tau_{lj} (-t_{ajk} + t_{\beta k} + \tau_{jk} + \tau_{lj} - t_{1j} + t_{2j}) - Q_{jk} \tau_{lk} \} - \sum_{k=I+1}^N P_k \tau_{lk} \end{aligned} \quad (5.13)$$

これは x の 2 次式であるので、乗客の損失を最小とするためには極小値を求めればよく、式(5.14)より求められる秒数時隔調整を行うのがよい。

$$x = \frac{- \left[\sum_{j=I}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N \{ p_{jk} (t_{1j} - t_{2j} + t_{ajk} - t_{\beta k} - 2\tau_{lj} - \tau_{jk}) + Q_{jk} \} + \sum_{k=I+1}^N P_k \right]}{2 \sum_{j=I}^{N-1} \sum_{k=j+1}^N p_{jk}} \quad (5.14)$$

導出された x が負の値となった場合には、ダイヤで決められている時間よりも早く出発させれば乗客の損失が減少することを意味している。停車時間に余裕があり計画ダイヤよりも早く出発させることが物理的に可能な場合でも、その列車に乗る予定であった乗客が乗り遅れてしまうなどの問題があり、現実には実行が難しい。ここでは、求められた値が正の場合のみ、その秒数時隔調整を行うとする。

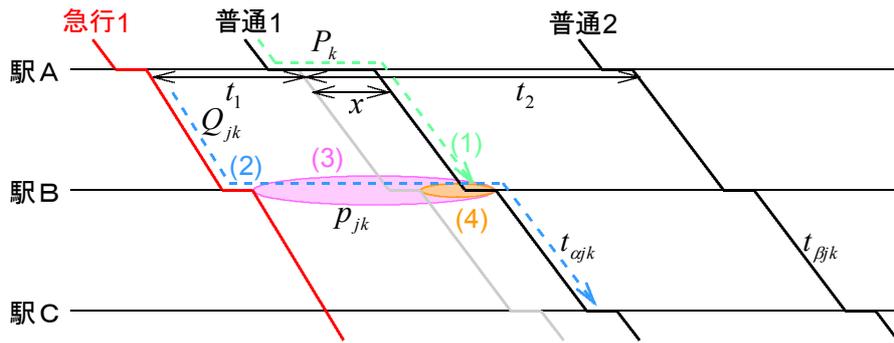


図 5.8 時隔調整実施により影響を受ける乗客

5.2.2 モデル路線を用いた提案手法の検証

駅 7～駅 8 を走行中の普通列車 1009M に 300 秒の遅れが生じたケースを示したものが図 5.10 である。このとき、障害発生列車 1009M とその前の列車の間隔が大きく空いており、その前を走行する普通列車 2007M に駅 12 で時隔調整を実施したダイヤを図 5.11 に示す。

このとき、本提案手法では 2007M に駅 12 において 140 秒出発を遅らせることがよいという計算結果が得られる。これは、従来使用していた次元探索を用いた計算結果と同等のものであり、提案手法で適切な時隔調整実施秒数が求められる。このときの乗客の損失の変化を図 5.9 に示す。時隔調整の大きな目的である乗客の分散によって混雑の緩和が図られているとともに、乗客の所要時間が短縮されていることが分かる。これは、先に挙げた項目のうち(3)で述べた乗客の出発駅での待ち時間が短縮された事による効果が大きいと考えられる。

従来の次元探索を用いた方法では、ある 1 箇所での時隔調整実施時間を決定するために探索する時間範囲にも依存するが、列車運行シミュレーション、乗客行動シミュレーションを 10 回ほど必要としていた。提案手法では、最後に 1 回だけ列車運行・乗客行動シミュレーションを行えばよく、計算時間を短縮することが可能となる。対象箇所が増加するほどこの効果は大きくなる。

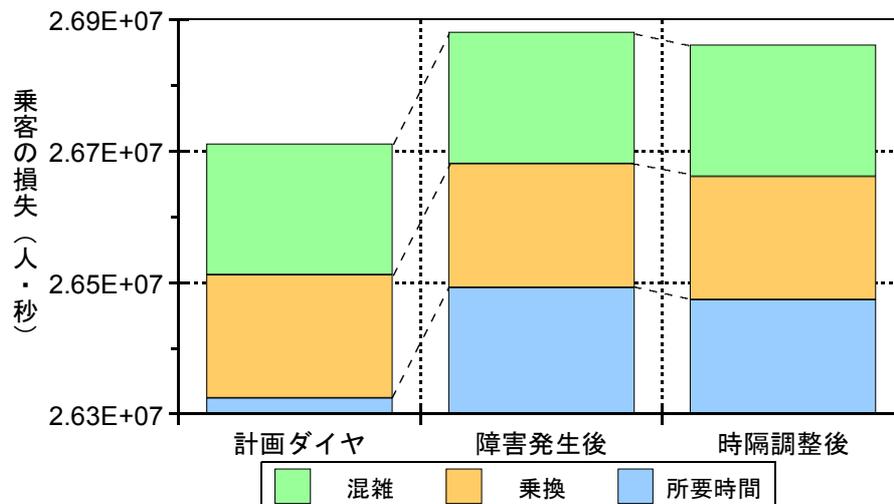


図 5.9 時隔調整実施による評価値の変化

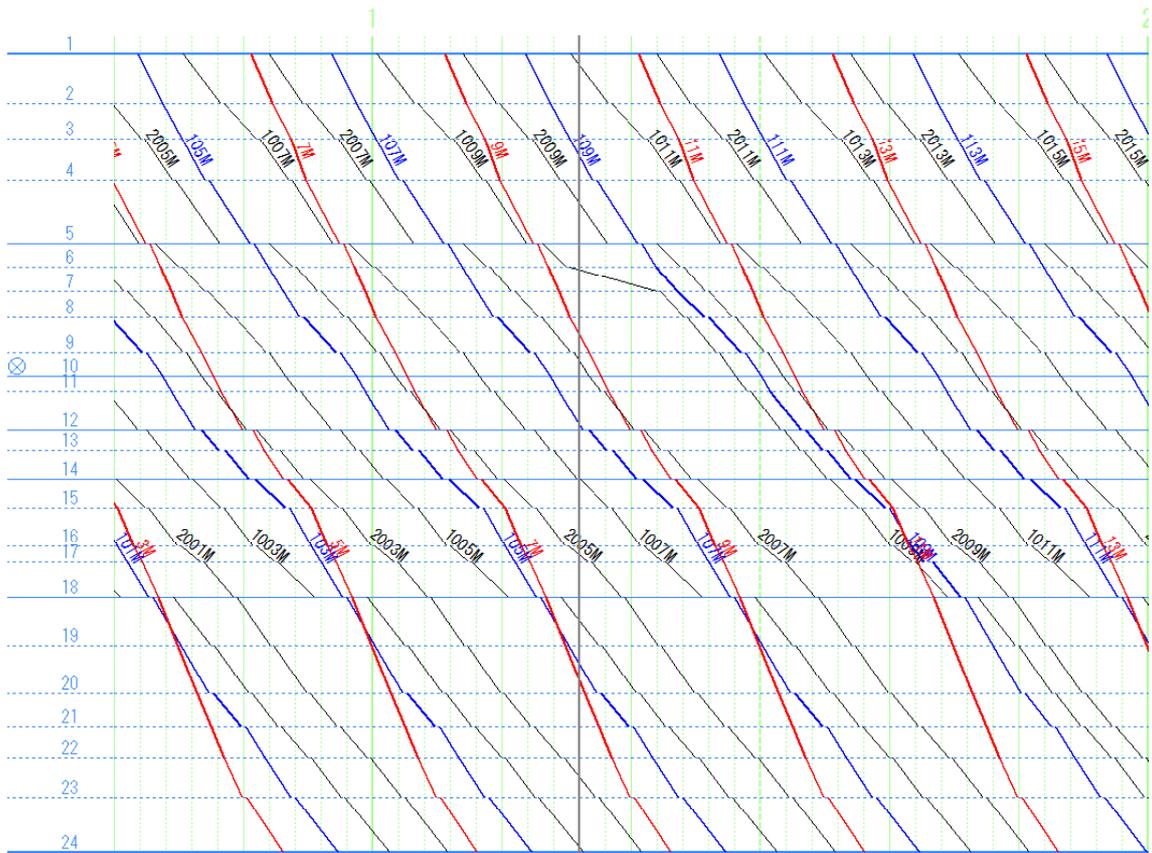


図 5.10 障害発生後のダイヤ

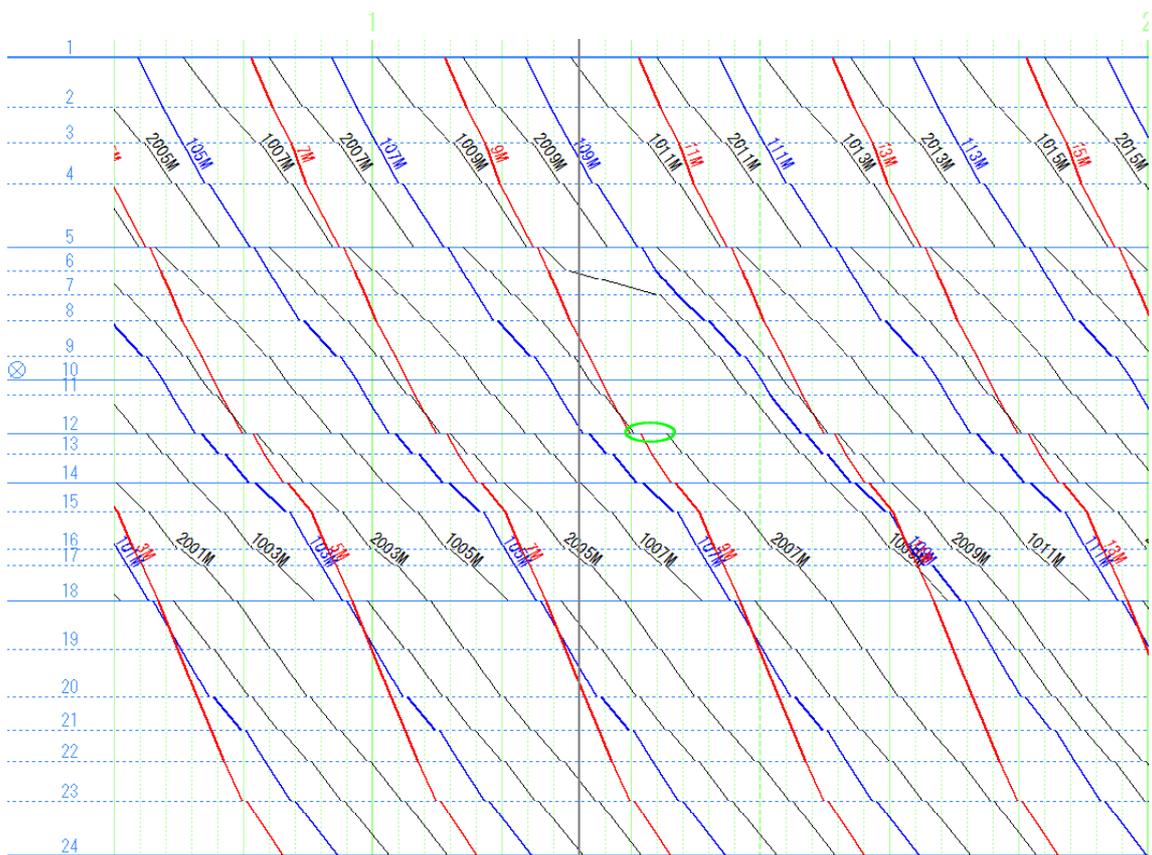


図 5.11 時隔調整実施後のダイヤ

5.2.3 提案手法の使用可能範囲

前節の臨時停車のところでも述べたが、ここで提案した時隔調整実施時間の決定法は局所的に乗客の損失の変化分を計算している。そのため、時隔調整を行う列車と待避関係にある列車への遅れの波及や、末端駅での折り返しによる逆方向の列車への影響を考慮することができない。また、ここで対象としている複々線区間の場合では、時隔調整を行うことにより列車の到着時間が変更されると、もう一つの同方向の線路を走行する列車との先着関係が変化するケースが発生する。このときには乗客の経路が大きく変更される。提案手法では有効列車は変更されないものとして乗客の損失変化を計算しているため、このような場合に対応することができない。すなわち今回示した例のように、順序関係が変化しない範囲でのみ使用可能である。

ただし、全列車が各駅に停車し追い抜き関係がない、地下鉄でよく見られるような運行形態の路線については提案手法で対応することが可能であり、そのような区間は一般的に少なくないので提案手法は適用範囲に上記の限定があっても時隔調整の効率的検討に有用である。

5.2.4 時隔調整による効果の適切な評価

時隔調整実施の大きな理由として、乗降客の増加による停車時間増大を防止することを挙げた。しかし、本研究で使用している乗客流推定法では乗降客数に関わらず、停車時間はダイヤで決められた値もしくは最小停車時分として定められた値としている。時隔調整を行うと、障害発生列車など前の列車との間隔が大きく空いていた列車に生じ乗客が滞積していたために生じた遅延が解消されることになるが、現段階ではこの遅延発生が表現できていないために、時隔調整による効果は過小評価されている可能性が高い。乗客流推定を乗客の集中による停車時間増加を考慮したものとするすることで、時隔調整による効果を適切に評価できるようになるものと考えられる。また、本提案手法もこれに対応したものとする必要がある。

第6章

複々線区間を対象とした運転整理

本章では複々線を対象区間とした場合に、その自由度を積極的に活用する整理手法を適用することで、より乗客損失が小さい運転整理案が作成可能であることを示す。また、複々線区間を対象に乗客流推定を行う際に考慮が必要な点について述べる。

6.1 複々線を積極活用する運転整理

複々線区間では、同方向の線路が2本あるため、そのうちの1本が不通になったとしても残りの1本を使用して運行の継続を図ることができるなど、単線・複線区間と比べ運転整理時における対処法が多く存在する。本研究で対象としている方向別複々線区間では、同方向の2つの線路が並べて敷かれており、渡り線を活用することで走行する線路を容易に変更でき、様々な整理手法を適用することができる。

本節では複々線の自由度を最も活用した整理手法といえる運転線路変更を取り上げ、その効果を示す。

6.1.1 運転線路変更の効果と考慮すべき事項

運転線路変更は、障害発生により本来走行するはずであった線路が不通になってしまった場合や、列車運行の乱れによって多数の列車が特定の線路に集中した場合に実施される。運行が滞っている区間を別の線路を使用することで早く走行でき、乗客の所要時間短縮が図られる。また、乱れの早期回復も期待できる。

運転線路変更を行う際には停車駅におけるホームの有無や有効長を考慮する必要がある。複々線区間においては、優等列車通過駅では緩行線にしかホームがない場合も多くある。普通列車を急行線に運転線路変更する場合には、このような停車できない駅を臨時通過扱いにするといった措置も必要である。

また、運転線路変更を行うには渡り線が必要である。渡り線が設置されている駅は限定されているため、運転線路変更が実施できる駅間も特定のものとなる。運転線路変更を実施する際には、なるべくもともとその線路を走行している列車に影響を及ぼさない範囲にとどめることが全体の損失を小さく抑える上で重要である。渡り線が設置されている駅においても、運転線路変更が実施できる番線は限定される。図 6.1 に示す例のように、本来使用する番線では運転線路変更が不可能な場合には、その駅で着発線変更を併せて実施する必要がある。その駅で待避が行われている場合など影響する列車がある場合には、その列車にも併せて着発線変更を行う必要がある。

運転線路変更が実施されると走行する線路が変更されるとともに使用する番線も変更されるため、実際に運転線路変更を行う際には早期に案内を行い、列車を待ち並ぶ乗客に配慮することが重要となる。

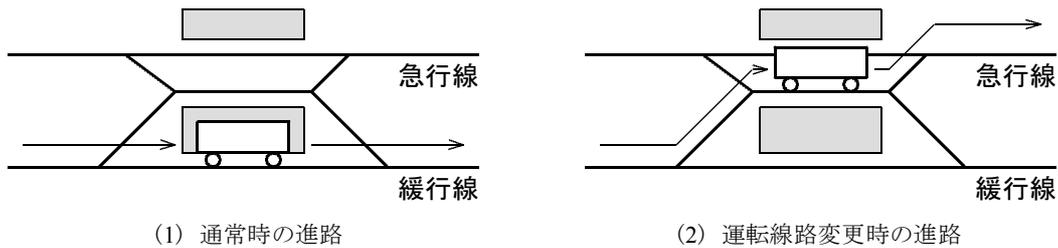


図 6.1 運転線路変更に伴う着発線の変更

6.1.2 列車運行グラフにおける運転線路変更の表現

列車運行の様子は2章で述べたようにグラフ構造を用いて表現されているが、運転整理手法を適用するとダイヤが変更され、それに合わせグラフ構造の変更も必要である。

時隔調整や抑止などは停車時間が増加することになるため、これは停車ノードの重みを変更することで表現される。待避変更では駅間を走行する列車の順序が変更されるため、それぞれの到着・出発順序リンクの向きを逆にし、それに付随する時隔制約リンク、閉塞リンクを変更することで表現される。

運転線路変更では実施区間で列車が他方の線路に移ることになるため、時隔制約、列車順序、閉塞の各制約リンクの起点と終点を大きく変更する必要がある。また、使用する着発線や進路が変更になるため、それに関する情報を変更する必要がある。これらの情報は各ノードに含まれているため、リンクのみでなくノードの内容も変更する必要がある。図 6.2 に普通列車 2 を駅 A～駅 C において急行線に線路変更した場合の列車運行グラフの例を示す。駅 A と駅 C の配線は図 6.1 に示したものとしている。なお、普通列車 2 に関する制約リンクのみを示してある。

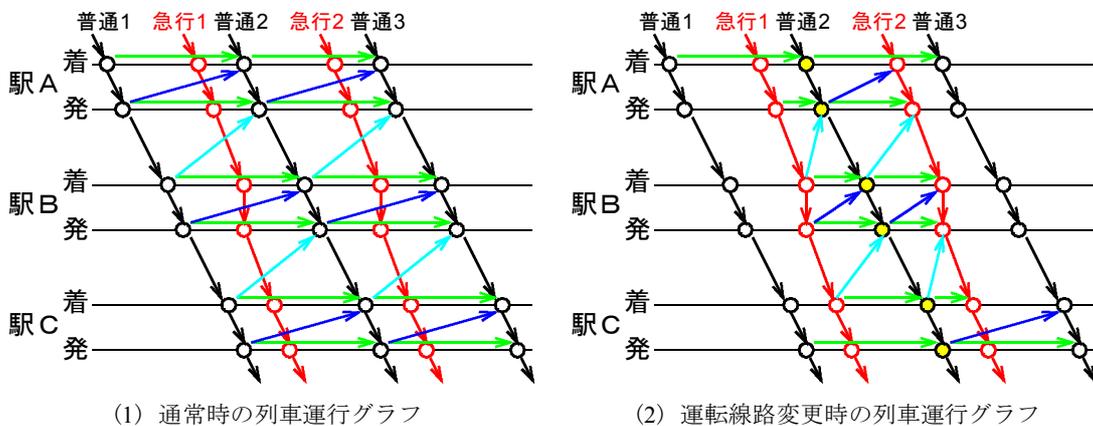


図 6.2 運転線路変更に伴う列車運行グラフの変更

6.1.3 モデル路線を用いた運転線路変更の効果の検証

駅 6～駅 7 を走行中の普通列車 1009M に 720 秒の遅れが生じたケースを示したものが図 6.3 である。このとき、運転線路変更を用いず時隔調整、抑止のみを適用した運転整理案を図 6.4、快速列車 109M を駅 5～信号所 10 で急行線に運転線路変更し、さらに時隔調整、抑止を適用した運転整理案を図 6.5 に示す。なお、運転線路変更を行うにあたり、駅 5 において普通列車 2009M の着発線変更をしている。

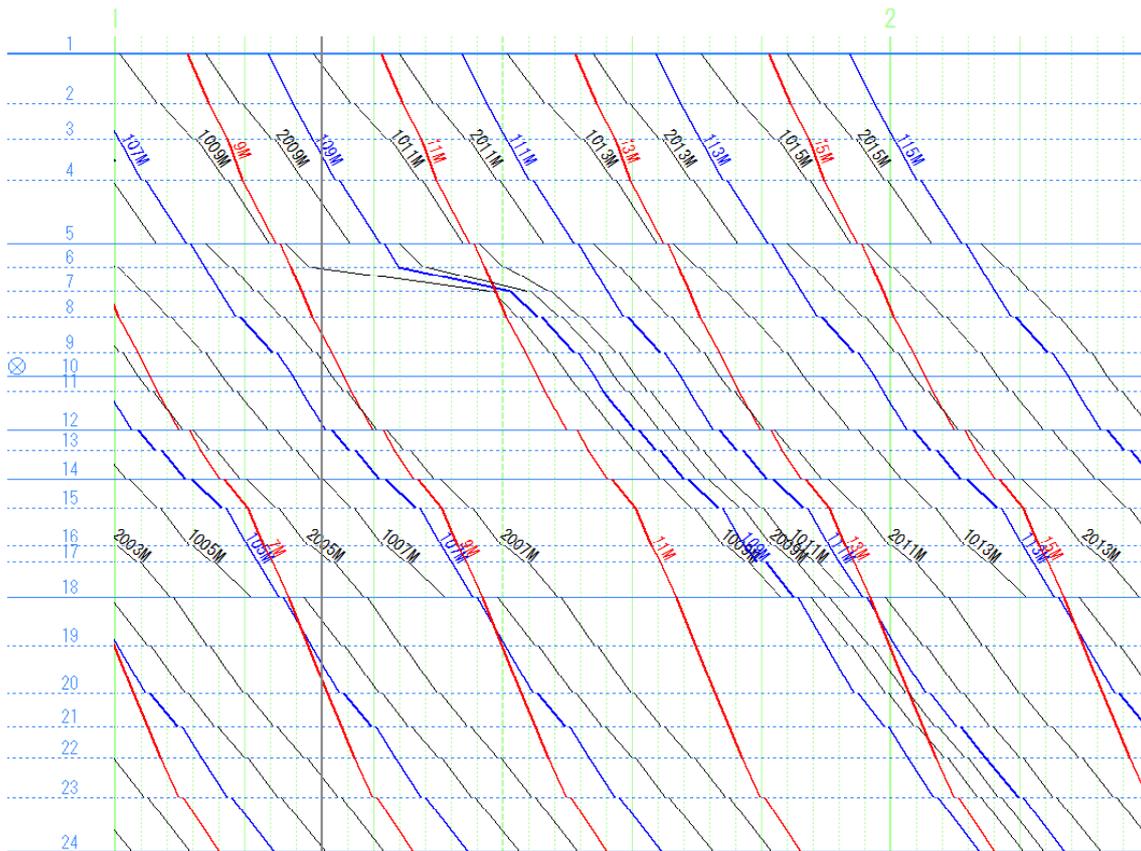


図 6.3 障害発生後のダイヤ

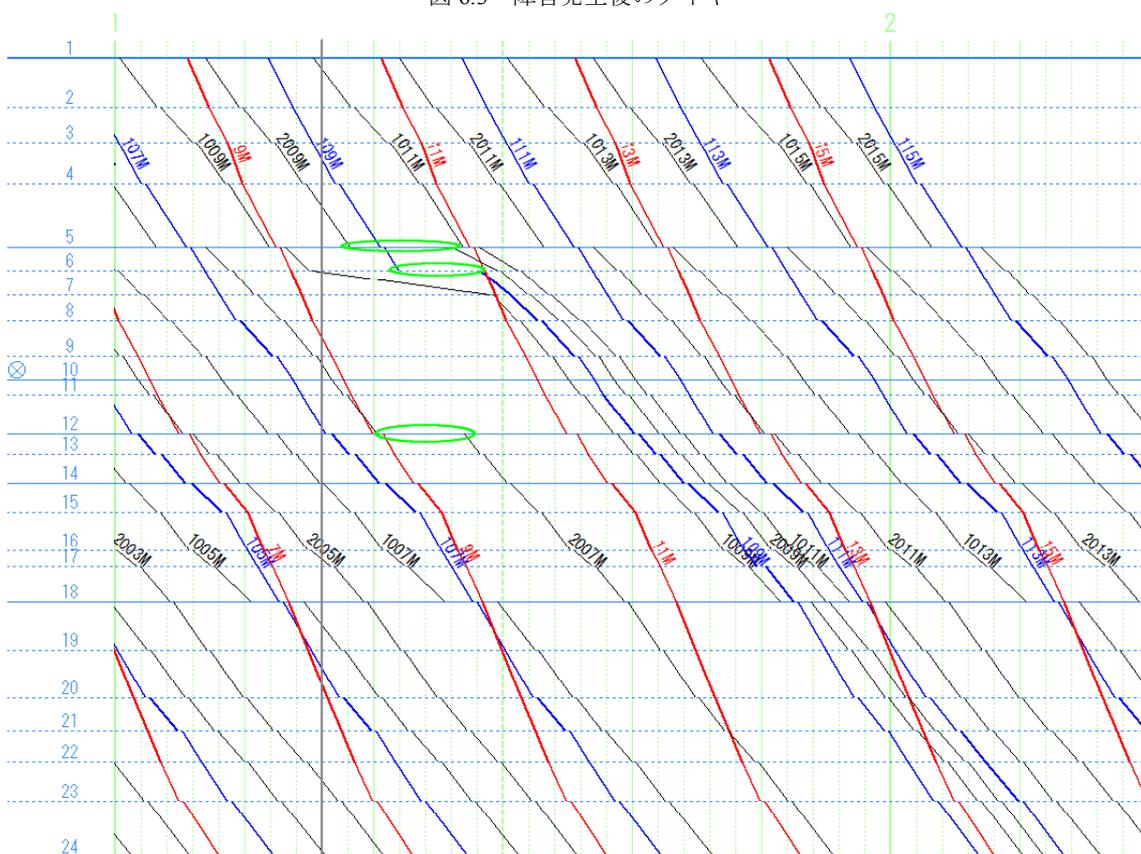


図 6.4 時隔調整、抑止を適用した運転整理ダイヤ

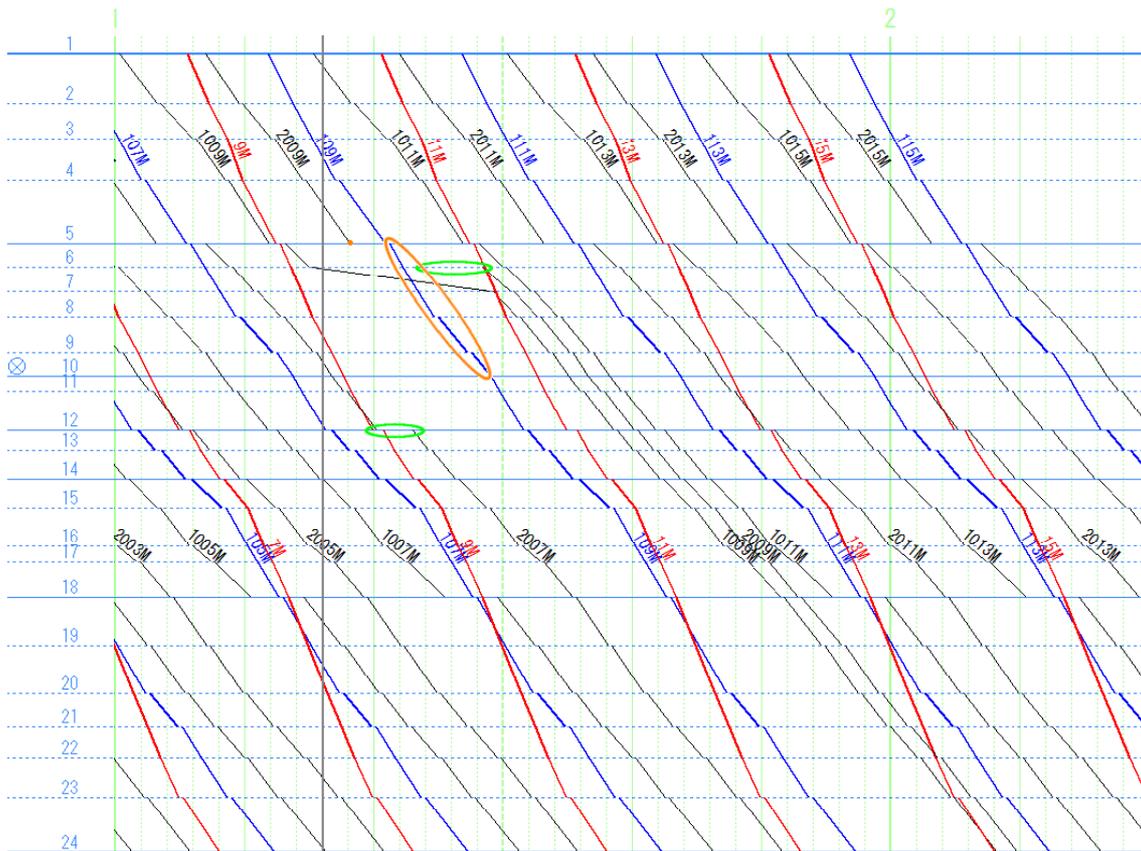


図 6.5 運転線路変更、時隔調整、抑止を適用した運転整理ダイヤ

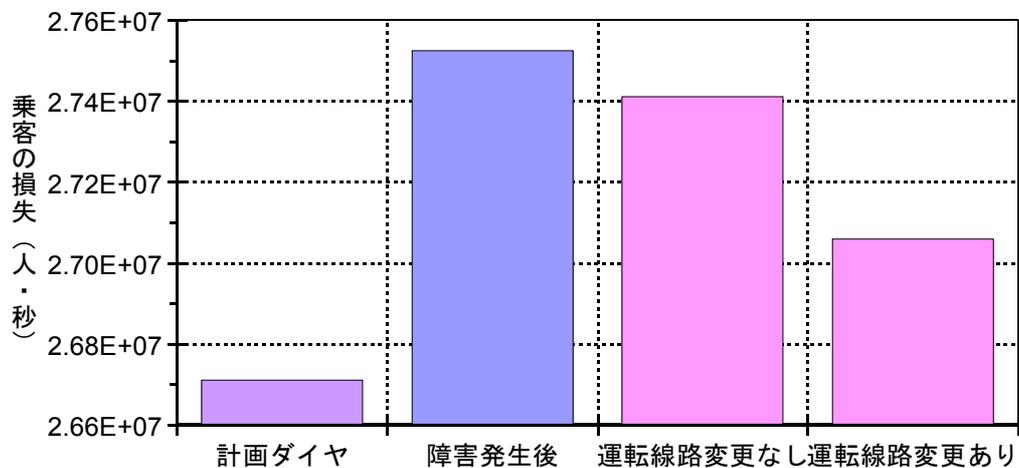


図 6.6 整理手法適用による評価値の変化

各ダイヤにおける乗客の損失を示したものが図 6.6 である。障害が発生し運行が不能になっている区間において、109M を運転線路変更することによって 109M の所要時間増加を抑えることが可能となり、図 6.3 に示す運転線路変更を行わない整理案よりも、図 6.4 に示す運転線路変更を行った整理案のほうがより乗客の損失が改善されている。複々線の自由度を積極的に活用し、輸送の継続を図ることによって乗客の損失が少ない整理案を作成できる。

6.2 複々線区間における乗客流推定

複々線区間において乗客流推定を行う際にも、基本的には単線、複線区間と同様に行うことができる。単線や複線区間では列車順序は各駅での番線使用順序や待避関係に従い固定されることになるが、複々線区間では同方向の線路が2本あり、別々の線路を走行する列車間には制約条件によって順序関係が規定されない場合がある。このとき、僅かな遅延の発生によって列車順序が変更になることがあり、そのまま乗客流推定を行うと現実的でない結果となる場合がある。複々線区間において乗客流推定法を行う上で考慮すべき点について以下で述べる。

6.2.1 複々線区間を対象に乗客流推定を行う上で考慮すべき点

(1) 到着時間の僅かな差による乗客の移動

本研究で使用している乗客行動モデルでは、乗客は所要時間と乗換による損失が最小となる経路を選択するものと仮定している。そのため、僅かでも損失が少ない経路があった場合には該当する乗客は全てその経路をとることになる。

複々線区間では急行線、緩行線を走行する列車がほぼ同時に出発、到着するケースが多くある。図 6.7 は急行線を走行する急行列車と緩行線を走行する普通列車が駅 B ～駅 C においてほぼ併走して走行する例を示している。(1)に示す通常時のダイヤでは、普通列車が駅 C に先に到着するため、駅 B から駅 C に向かう乗客は普通列車を使用することになる。(2)に示すように普通列車に遅れが生じた際には急行列車が駅 C に先に到着することになるため、駅 B から駅 C に向かう乗客は全員急行列車を選択することとなる。

実際にこのようなケースとなった場合には、数秒の到着時間差で乗客の行動が大きく変わるとは考えられず、乗客は両方の列車にある割合で分散して乗車するはずである。

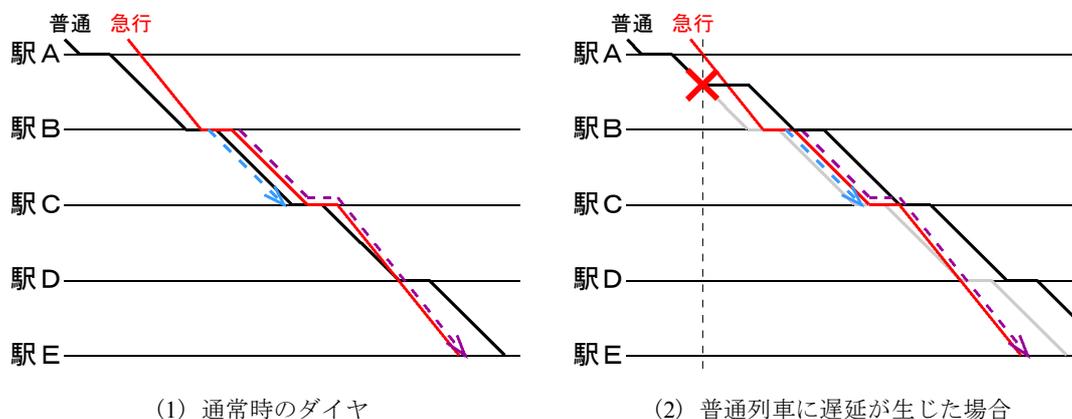


図 6.7 到着時間の僅かな差による乗客の移動

(2) 列車を待つ乗客の並び順

4章で述べた積み残しの処理を行う際には、どの乗客がどの時刻から列に並び始めるかを決定することが重要である。図 6.7 では駅 B から駅 C に向かう乗客の選択する列車が普通列車から急行列車に変更になる例を示したが、このとき、駅 B から駅 E に向かう乗客は当初から急行列車を待っている。つまり急行列車を待つ乗客の列は図 6.8 に示すように、はじめは駅 E へ向かう乗客のみが並んでおり、障害が発生し急行列車が駅 C に先着することが判明した時点で駅 C に向かう乗客が普通列車を待つ列車から移動する。しか

し、現在使用してる乗客流推定法では、乗客は出発駅において最初に乗車する列車が使用するホームに現れるように扱われており、出発駅におけるホームの移動は考慮されていない。つまり、駅 C に向かう乗客ははじめから急行列車を待つ列に並んでいたように算出される。このことによって、どの経路の乗客が何人積み残されるかについて適切に選択できない。これは乗換でホームにいる場合ときに経路が変わった場合にも発生する。

この問題は複線区間でも有効列車が変わる場合に発生するが、発着順序の変更が容易に発生する複々線区間では特に考慮すべき事項である。

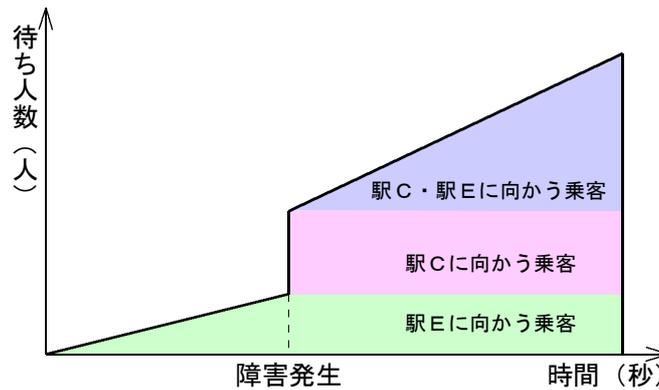


図 6.8 駅 B において急行列車を待つ乗客数

(3) 乗降客数増加に伴う停車時間増加

5 章で述べた乗降客の増加に伴う停車時間の増加処理では、列車運行シミュレーションで確定したダイヤに列車運行シミュレーションを行い乗客を流した結果、通常の停車時間では乗降が完了しない箇所があれば、その停車時間を延ばすことを行う。そのダイヤに改めて列車運行シミュレーション、乗客行動シミュレーションを実施し、列車のダイヤ決定と乗降客数の推定を行うことになり、列車運行と乗客行動が相互に依存し変更が加えられる。この処理過程において、複々線区間では特別な配慮が必要な場合がある。図 6.9 にその例を示す。

図 6.9(1)には通常時のダイヤを示す。駅 A から駅 B へ向かうには普通列車が先着するため乗客は普通列車を選択する。このとき、普通列車の乗降客数が通常の停車時間では乗降可能な人数よりも多かった場合、(2)に示すように停車時間を延ばす必要がある。その結果(3)に示すように急行列車が先着する。このため、(4)に示すとおり駅 A から駅 B へは急行列車が先着することとなり、乗客は急行列車を選択する。乗客が普通列車から急行列車に移動したことに伴い、普通列車の乗降客数は減少し急行列車の乗降客数が増加する。従って、(5)に示すように普通列車の停車時間は通常通りで良くなり、急行列車は停車時間を増加させることが必要となる。この結果(6)に示すように再び急行列車が先着するようになる。

同様のことが(7)(8)(9)と繰り返され、(9)からは(4)に示す事態が引き起こされる。そのため、この場合に単純に乗降客数増加に伴う停車時間増加処理を適用すると無限ループに陥ってしまう。

実際の路線でこのような状況が起こった場合には、先に述べた到着時間差が僅かな場合の例のように、乗客はある割合で分散して普通列車、急行列車に乗車するはずである。

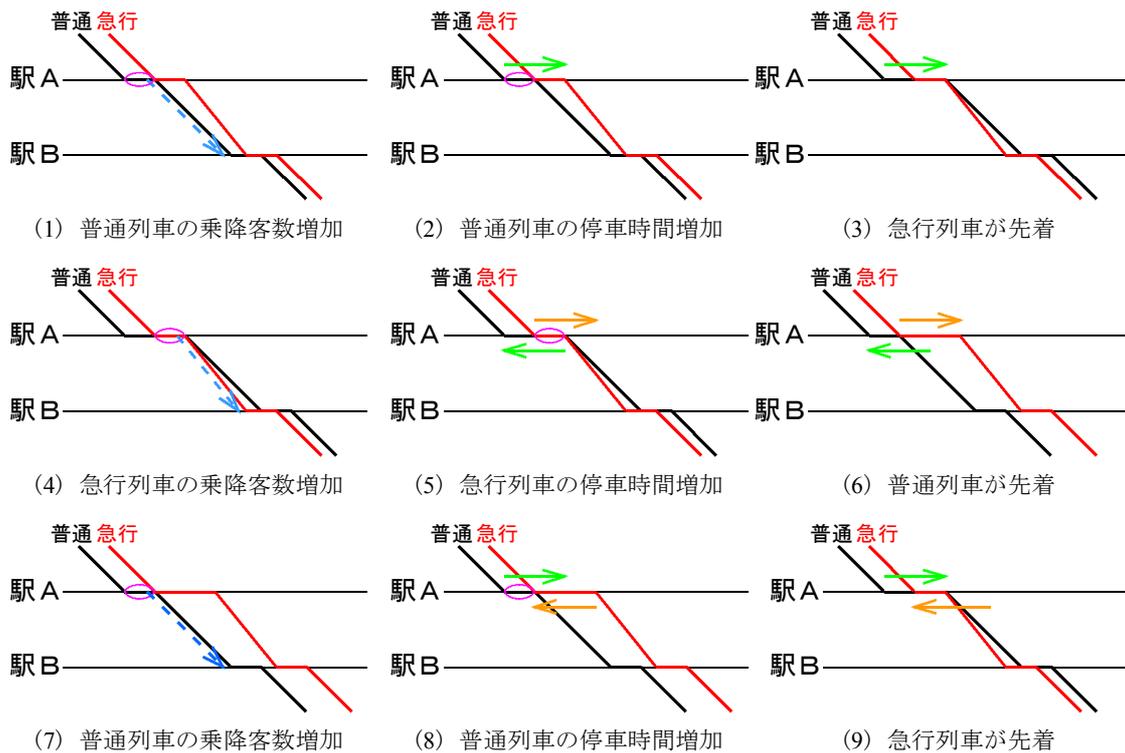


図 6.9 乗降客数の増加に伴う停車時間増加

6.2.2 複々線区間を対象とした乗客流推定の改善

到着時間の僅かな差によって生じる乗客の移動、および乗降客数増加に伴う停車時間増加処理の際に発生する問題点が発生する理由は、所要時間と乗換による損失が最小の経路を一意に選択していることに起因する。これらを解決するためには、4 章でも述べたが 2 番目、3 番目に評価値がよい経路を保持し、最も良いものと差が小さい場合にはその経路にも一定割合で流す方法や、均衡配分法や分割配分法を用い混雑度も加味した経路選択とすることが有効であると考えられる。

積み残しの処理に関しては、最終的に使用したホームのみでなくその途中段階で経由したホームの移動情報も評価に組み込み、その移動に伴う損失と乗客の並ぶ順序を正確に反映させることが重要である。

第7章

結論

7.1 まとめ

本論文では、指令員が行う運転整理業務を支援するシステムとそれに乗客流推定に基づく評価を導入する基本的考え方を示した。この運転整理支援システムを実用的なものとするために、3つの項目に対し新たな条件や処理過程の導入を行った。

(1) 障害発生時における因果律を考慮した乗客流推定方法

障害発生時刻に移動中か否かを判別し、障害発生時刻に移動中の乗客についてはそのときにいた場所によって再経路探索方法を区別する方法によって正しく乗客の値が推定できることをモデル路線を用い示した。また、乗客の集中によって発生する積み残しについてもその基本的考え方を示した。これらによって障害発生時のダイヤ評価が適切に行うことが可能となった。

(2) 下位アルゴリズムの繰り返し計算の回避による計算時間短縮

評価計算の効率化のため、最終的評価のために乗客流推定に重要な位置づけを与えながらも、細かな列車スケジュール修正においては複数回の探索を行わずに乗客数や列車間隔から求める方法を提案し、その有効性を検証した。提案手法によって計算時間が大幅に短縮されたため、この利点を活用し上位のアルゴリズムで各種運転整理手法の組み合わせを幅広く考慮する余地が生まれ、局所的な最適解に捕らわれることを避けつつ、よい整理案を作成することが可能となる。

(3) 複々線への対象路線の拡張

列車の運転本数が多く運行形態も複雑な複々線区間では、運転整理支援システムが特に必要とされている。複々線の特徴を積極的に活用する整理手法を実装し、その効果の検証を行った。

本論文の成果により、対象路線が複雑な複々線区間であっても実用的な時間内に適切な評価を基にした整理案が作成可能となった。

7.2 今後の課題

ここまでに述べた事項も含め、今後取り組むべき課題を以下に挙げる。

(1) 運転整理案作成・情報伝達に要する時間の考慮

列車運行乱れ時の乗客流推定法として本論文で提案したモデルでは、障害が発生すると同時に復旧時刻が正確に判明し、瞬時に運転整理案作成、乗客への情報伝達が行なわれると仮定した。この方法により、あらかじめ事故が発生することを予見していたかのような行動は回避できたが現実性にはなお疑問点が残る。実際には情報判明や各種業務は時間差をおいて行われるため、分割を一度行う本論文で提案した方法を拡張し、複数回分割することで状況が段階的に変化していく様子を反映できるものとする必要がある^[16]。また、乗

客が想定しているダイヤと実際の運行ダイヤに乖離があった場合における乗客行動推定方法の確立も併せて必要である。但し、あまり詳細に推定したことにより計算時間負担が大きくなるとは迅速な評価ができなくなるため、両者を考慮した上で適切な簡略化の程度を判断しモデルを作成することが重要である。

(2) 乗客行動モデルの変更

現在用いている乗客流推定では所要時間と乗換による損失が最小となる経路を選択している。これによって4章、6章でも述べたように不適當な結果が得られる場合がある。これを改善するためには、2番目、3番目に評価値がよい経路を保持したり、混雑度も加味した推定方法にするなど乗客行動モデルの変更が必要になる。

(3) ユーザインタフェースの改良

本研究で作成した運転整理支援システムは、指令員の業務を補助することを最終的な目標としている。本研究では、乗客行動グラフにおいて限界定員を超え積み残しが発生する箇所は色を変えて表示するよう改良を行ったが、その他にも画面上でダイヤをクリックするとその列車の情報を表示できるようにするなど使用者にとってわかりやすく使いやすいシステムにすることも重要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々から多大なるご支援、ご協力をいただきました。ここに深く感謝の意を表したいと思います。

指導教員の古関隆章准教授には学部4年生からの3年間、研究の進め方や論文の添削などで数多くのご指導をいただきました。また、学会発表や海外からのお客様と接する機会を数多く設けていただき、非常に貴重な経験をさせていただきました。

工学院大学の曾根悟教授、高木亮准教授、水野健司様、小箆亮太郎様、神山純一郎様、上智大学の宮武昌史准教授、井上成暁様、千葉工業大学の富井規雄教授には運転整理共同研究会の場で大変お世話になりました。また高木准教授、宮武准教授、工学院大学、上智大学の学生の皆様とは運転整理学生WGや勉強合宿においても活発な議論を行い、研究を進める上で非常に有意義なものとすることができました。共同研究会では鉄道事業者や鉄道総合技術研究所の専門家の方々から列車の運行や運転整理に関する様々な資料や先行研究に関する紹介、現場からの貴重なご助言などをいただくとともに、現場を見学する機会を設けていただくなど多大なるご支援をいただきました。

運転整理の研究の先輩である大山大介さんには、研究に対することだけでなく就職活動等についてもいろいろ相談させていただきお世話になりました。また、山口史宏さんは学部時代に運転整理の研究をしていらっしゃる、大学院では異なる分野の研究をしているにもかかわらず、プログラムやデータに関することで多くの助言をいただきました。本当に感謝しております。運転整理グループの後輩である熊澤一将君には、私の力不足によって大した支援もできない中、会議の取りまとめや研究に対するアドバイスなど助けられる場面が多くありました。彼の手によってよい運転整理支援システムが作成されることを期待しています。

野崎雄一郎さんには研究室の計算機環境整備の面で大変お世話になりました。また学会論文投稿の際などにもアドバイスをいただきました。福正博之さんには研究室引越の場面でリーダーシップをとってもらいました。現在ドイツに留学中ですが、充実した日々を過ごし日本に戻ってくることを祈っています。

同期の鈴木武海君、中田貴之君とは研究の苦労を共有するとともに、研究室での雑談など楽しい研究室生活を送ることができました。鈴木君には大学入学時から現在まで研究室以外の場所においても非常にお世話になりました。中田君は自分が提案した研究ということもあり、苦労している場面も見られましたが、頑張っている姿は大きな励みとなりました。

小幡寛君には研究室の懇親会のセッティングで尽力してもらいました。野田昂志君、道念大樹君とは、中田君、熊沢君も含め野球の話で盛り上がりました。槻木澤佑君には来年度以降の古関研究室を牽引する立場として今以上に頑張ってもらいたいと思います。

留学生のSurosoさん、Cheung Cheuk Kei Brian君、Genevieve Mary Pattersonさんには論文投稿、発表の際に私の拙い英語を修正していただき大変お世話になりました。また、母国のことについてもいろいろと紹介してもらいました。

技術職員の高田康宏さんには研究室内をすっきりと片付けていただくなど、研究環境整備の点でご尽力いただきました。また、楽しく会話できたことも非常によい思い出となっています。秘書の南佳子さんには出張の際の事務手続き等でお世話になっただけでなく、楽しい会話で研究室の雰囲気をも明るく盛り上げていただきました。

最後に、大学生活を精神面、経済面において支えてくれた家族に感謝の意を表し、謝辞といたします。

平成20年2月4日

原 和弘

参考文献

- [1] (財)鉄道総合技術研究所運転システム研究室：「鉄道のスケジューリングアルゴリズム」, NTS, 2005
- [2] 富井規雄, 田代義昭, 田部典之, 平井力, 村木国満：「利用者の不満を最小にする列車運転整理アルゴリズム」, 情報処理学会論文誌：数理モデル化と応用, Vol.46, No.SIG2 (TOM11), pp.26-38, 2005
- [3] 林良太郎, 古関隆章：「都市圏鉄道における運転整理案の評価と効率的手法の提案」, 電気学会全国大会, 4-234, pp.1578-1579, 2001
- [4] Y. Nagasaki, M. Eguchi, T. Koseki: "Automatic Generation and Evaluation of Urban Railway Rescheduling Plan" International Symposium on Speed-up and Service Technology for Railway and Maglev Systems (STECH'03), B-5, pp.301-306, 2003
- [5] 高野求, 立木将人, 大山大介, 山口瑛史, 古関隆章：「乗客流を考慮した都市近郊鉄道運転整理支援システムのための整理案自動生成と評価手法」, 電気学会システム・制御研究会, SC-05-14, pp.39-44, 2005
- [6] 立木将人, 大山大介, 原和弘, 古関隆章, 川田恭志, 高野奏, 曾根悟：「運転整理支援のためのグラフ理論を用いた異常時における乗客流推定」, 電気学会交通・電気鉄道研究会, TER-06-47, pp.41-46, 2006
- [7] 大山大介, 原和弘, 古関隆章：「判断の因果関係を正しく表現する列車運転異常時の乗客流推定法」, 電気学会全国大会, 3-091, pp.137-138, 2007
- [8] 山口瑛史, 原和弘, 古関隆章, 高野求：「運転整理における局所的な接続考慮の手法とその得失に関する定量的考察」, 電気学会交通・電気鉄道研究会, TER-05-67, pp.69-74, 2005
- [9] 安部恵介, 荒屋真二：「最長径路法を用いた列車運行シミュレーション」, 情報処理学会論文誌, Vol.27, No.1, pp.103-111, 1986
- [10] 泉利幸, 野末道子, 土屋隆司：「ダイヤ乱れ時における列車運行予測情報の提供手法」, 鉄道総研報告, Vol.21, No.4, pp.23-28, 2007
- [11] 土屋隆司, 有澤理一郎：「輸送障害時における情報提供高度化へ向けた取り組み」, JREA, Vol.50, No.5, pp.8-10, 2007
- [12] 美谷邦章, 家田仁, 畠中秀人：「乗車位置選択行動モデルを用いた混雑費用の定量的評価法」, 土木計画学研究・論文集, No.5, pp.139-146, 1987
- [13] 原和弘, 大山大介, 古関隆章：「方向別複々線区間における運転整理支援のための乗客流解析に基づく評価値提示システム」, 電気学会システム・制御研究会, SC-06-5, pp.27-32, 2006
- [14] 茨木俊秀, 福島雅夫：「最適化プログラミング」, 岩波書店, 1991
- [15] 森杉寿芳, 宮城俊彦：「都市交通プロジェクトの評価：例題と演習」, コロナ社, 1996
- [16] 熊澤一将, 原和弘, 古関隆章：「運行障害情報の把握・伝達と整理案作成時間を考慮した乗客流推定」, 第14回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2007), S-5-2-4, pp.159-160, 2007

発表文献

- [1]山口瑛史, 原和弘, 古関隆章, 高野求:「運転整理における局所的な接続考慮の手法とその得失に関する定量的考察」, 電気学会交通・電気鉄道研究会, TER-05-67, pp.69-74, Oct. 2005
- [2]原和弘, 大山大介, 古関隆章:「方向別複々線区間における運転整理支援のための乗客流解析に基づく評価値提示システム」, 電気学会システム・制御研究会, SC-06-5, pp.27-32, Mar. 2006
- [3]立木将人, 大山大介, 原和弘, 古関隆章, 川田恭志, 高野奏, 曾根悟:「運転整理支援のためのグラフ理論を用いた異常時における乗客流推定」, 電気学会交通・電気鉄道研究会, TER-06-47, pp.41-46, May 2006
- [4]大山大介, 原和弘, 古関隆章:「判断の因果関係を正しく表現する列車運転異常時の乗客流推定法」, 電気学会全国大会, 3-091, pp.137-138, Mar. 2007
- [5]原和弘, 熊澤一将, 古関隆章:「乗客流解析に基づく運転整理支援システムにおける整理案の効率的評価・最適化法」, 電気学会産業応用部門大会, 3-29, pp.III-211-216, Aug. 2007
- [6]古関隆章, 原和弘, 熊澤一将:「列車運転小乱れ時の旅客流動解析に基づく旅客損失の計算と運転整理案の評価・提示」, スケジューリング・シンポジウム 2007, OS3-4, pp.85-90, Sep. 2007
- [7]原和弘, 熊澤一将, 古関隆章:「運転整理計算機支援のための列車運転乱れ時の因果律を考慮した旅客流動推定法」, スケジューリング・シンポジウム 2007, OS6-1, pp.185-190, Sep. 2007
- [8]K. Hara, K. Kumazawa, T. Koseki: "Efficient Algorithm for Evaluating and Optimizing Train Reschedules by Taking Advantage of Flexibility of Quadruple Track", The Third International Conference on Railway Traction Systems (RTS2007), 5-4, Nov. 2007
- [9]熊澤一将, 原和弘, 古関隆章:「運行障害情報の把握・伝達と整理案作成時間を考慮した乗客流推定」, 第14回鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL2007), S-5-2-4, pp.159-160, Dec. 2007
- [10]原和弘, 熊澤一将, 古関隆章:「運転整理計算機支援のための列車運転乱れ時における乗客流推定法」, 電気学会全国大会, Mar. 2008 (発表予定)

付録 A

入力データ形式

ここでは、本運転整理支援システムに入力するデータ形式について紹介する。

1. 乗換障壁条件 ****_barrier.dat**

乗客行動仮定 ID, 駅 ID, 乗換元ホーム ID, 乗換先ホーム ID, 乗換所要時間, 乗換換算係数

乗客行動仮定 ID : このレコードを適用する乗客行動仮定の ID

駅 ID : この乗換障壁条件レコードが適用される駅の ID

乗換元ホーム ID : 乗換元ホームの ID

乗換先ホーム ID : 乗換先ホームの ID

乗換所要時間 : このケースでの乗換所要時間(秒)

乗換換算係数 : このケースの乗換負担を時間換算した値(秒)

・*でワイルドカード指定可能

2. 閉塞条件 ****_blockage.dat**

閉塞 ID, 閉塞始端駅 ID, 閉塞終端駅 ID, 許容列車本数, 経由駅間線路数, 駅間線路 ID1, ...

閉塞 ID : この閉塞につけられた ID

閉塞始端駅 ID : 閉塞区間の始端駅 停留所フラグの立っている駅を除く

閉塞終端駅 ID : 閉塞区間の終端駅 停留所フラグの立っている駅を除く

許容列車本数 : この区間に許容される列車本数

経由駅間線路数 : 以降で指定する駅間線路の数

駅間線路 ID1 ~ : 始端駅側から順に経由する駅間線路を指定

- ・閉塞始端駅と終端駅間の経由線路をチェックする際に、停留所・閘駅以外が発見されるとエラー
- ・上下共用の線路(単線など)の場合では、始端駅、終端駅を逆にすることで上下別で指定する

3. 車両種類 ****_car.dat**

1 行目 : 編成種類 ID, 速度種別 ID, 速度種別名称, 車両形式名称, MT 比, 速度種別情報 1, 速度種別情報 2, 走行可能信号方式, 走行可能電化方式, 自走可能フラグ, 最小単位フラグ, 連結フラグ, 構成両数

編成種類 ID : この編成の ID

速度種別 ID : この編成が使用する速度種別を指定する ID (stdtime.dat の基準時分 ID)

速度種別名称 : この編成の速度種別の名称

車両形式名称 : この編成の形式名

MT 比 : MT 比情報

速度種別情報 1 : 編成の種類に関する情報

- 0:電車
- 1:気動車
- 2:機関車(単機)
- 3:客車列車
- 4:貨物列車
- 5:混合列車

速度種別情報 2 : 列車の停通に関する情報

- 0:停車本位
- 1:通過本位
- 2:通過本位(特急)

走行可能電化方式：この編成が走行できる電化方式 線路条件データの駅間線路電化方式の和

- 1:非電化
- 2:直流 1500V 電化
- 4:交流 20000V50Hz 電化
- 8:交流 20000V60Hz 電化
- 16:交流 25000V50Hz 電化
- 32:交流 25000V60Hz 電化

走行可能信号方式：この編成が走行できる信号方式 線路条件データの駅間線路信号方式の和

- 1:車内信号閉塞(アナログ ATC-新幹線)
- 2:車内信号閉塞(デジタル ATC-JR 東海新幹線)
- 4:車内信号閉塞(デジタル ATC-JR 東日本新幹線)
- 8:車内信号閉塞(アナログ ATC-在来線)
- 16:車内信号閉塞(デジタル ATC-在来線)
- 32:自動閉塞(ATS-P)
- 64:自動閉塞(ATS-S)
- 128:特殊自動(電子閉塞)
- 256:連査閉塞
- 512:票券閉塞
- 1024:タブレット閉塞
- 2048:スタッフ閉塞
- 4096:無閉塞
- 8192:連動閉塞

自走可能フラグ：この編成が自走可能かどうかに関する情報

- 0:運転不可能
- 1:前進運転可能
- 2:後進運転可能
- 3:前後進運転可能

最小単位フラグ：列車の構成単位

- 0:この列車は最小構成単位からなる
- 1:複数編成の連結

連結フラグ：他の編成との連結に関する情報

- 0:連結不可・貫通不可
- 1:前方連結可能・貫通不可
- 2:後方連結可能・貫通不可
- 3:前後方連結可能・貫通不可
- 4:(連結不可・前方貫通)
- 5:前方連結可能・前方貫通
- 6:(後方連結可能・前方貫通)
- 7:前後方連結可能・前方貫通
- 8:(連結不可・後方貫通)
- 9:(前方連結可能・後方貫通)
- 10:後方連結可能・後方貫通
- 11:前後方連結可能・後方貫通
- 12:(連結不可・前後方貫通)

13:(前方連結可能・前後方貫通)

14:(後方連結可能・前後方貫通)

15:前後方連結可能・前後方貫通

構成両数：この編成を構成する両数(最小単位フラグが1のときは併結編成数)

0:この列車は最小構成単位からなる

1:複数編成の連結

○最小単位フラグが0のとき

2行目以降：車両名称, 着席定員, 総合定員, 限界定員, 全長

車両名称：この車両の名称

着席定員：この車両の着席定員

総合定員：一般的な意味の定員

限界定員：最大乗車時の人数

全長：この車両の全長(m)

○最小単位フラグが1のとき

2行目以降：編成 ID, エンド反転フラグ

編成 ID：この編成につながれている編成の ID

エンド反転フラグ：編成の向き

0:定位

1:反位

4. 接続駅間線路 **_connection.dat

駅 ID, 接続駅間線路 ID, 駅進入時主本線番線 ID, 駅進出時主本線番線 ID, 本線引上線 ID, 本線引上線有効長, 分割・併合フラグ

駅 ID：このレコードが対象とする駅の ID

接続駅間線路 ID：接続している線路の ID

駅進入時主本線番線 ID：この駅間線路から駅に進入するときに主本線となる番線 ID

駅進出時主本線番線 ID：この駅間線路へ駅から進出するときに主本線となる番線 ID

本線引上線 ID：この駅間線路が本線引上線として利用可能な場合 ID を振る

ID は番線 ID・接続駅間線路 ID の間で一意になること

引上線として使用不可能な場合は 0 を記述

有効長：この本線引上線の有効長

分割・併合フラグ：この本線引上線で分割・併合が可能かどうか

0:分割・併合不可

1:分割可能

2:併合可能

3:分割・併合ともに可能

5. 駅間線路 **_conninfo.dat

路線 ID, 起点駅インデックス, 駅間線路 ID, 駅間線路名, 駅間線路方向制限, 駅間線路列車制限, 駅間線路電化方式, 駅間線路信号方式

路線 ID：この線路についての駅間線路を定義

起点駅インデックス：この駅間線路の起点駅側が起点から何番目であるかを指定(起点駅は 0)

駅間線路 ID：駅間線路を全体で一意に識別できる ID

駅間線路名：駅間線路に付ける名前(重複可)

駅間線路方向制限：この駅間線路を走行可能な方向

0:双方向

1:下り専用(この駅から次の駅へ)

2:上り専用(次の駅からこの駅へ)

駅間線路列車制限：この駅間線路を走行可能な列車

0:制限なし

1:貨物専用

2:非営業列車専用

駅間線路電化方式：この駅間線路の電化方式

1:非電化

2:直流 1500V 電化

4:交流 20000V50Hz 電化

8:交流 20000V60Hz 電化

16:交流 25000V50Hz 電化

32:交流 25000V60Hz 電化

走行可能信号方式：この駅間線路における信号方式

1:車内信号閉塞(アナログ ATC-新幹線)

2:車内信号閉塞(デジタル ATC-JR 東海新幹線)

4:車内信号閉塞(デジタル ATC-JR 東日本新幹線)

8:車内信号閉塞(アナログ ATC-在来線)

16:車内信号閉塞(デジタル ATC-在来線)

32:自動閉塞(ATS-P)

64:自動閉塞(ATS-S)

128:特殊自動(電子閉塞)

256:連査閉塞

512:票券閉塞

1024:タブレット閉塞

2048:スタッフ閉塞

4096:無閉塞

8192:連動閉塞

6. ダイヤ記述 **_dia.dat

1 行目：ダイヤ名, ダイヤ改正日, パターン周期

ダイヤ名：ダイヤの名前を指定

ダイヤ改正日：ダイヤ改正日を記述

パターン周期：周期ダイヤの場合周期を秒で指定 0 の場合周期なし

2 行目以降：列車 ID, 所属周期, 使用編成 ID, エンド反転フラグ, 優先度, 種別 ID, 列車名称, 号数, 列車番号

列車 ID：列車を一意に識別できる ID

所属周期：列車の所属する周期(入力時は必ず 0)

使用編成 ID：この列車を運行するために用いる編成種類を指定する ID(car.dat で定義)

エンド反転フラグ：編成充當時の編成の向き

0:定位

1:反位

優先度：この列車の優先度(数字が小さいほど優先度が高い)

種別 ID：この列車の種別を指定する ID

列車名称：この列車の名称

号数：この列車の号数

列車番号：この列車の列車番号

7. 時隔条件 **_interval.dat

駅 ID, 先行事象進路 ID, 先行事象速度種別 ID, 先行事象停通, 続行事象進路 ID, 続行事象速度種別 ID, 続行事象停通, 時隔

駅 ID：以下で時隔データを設定する駅の ID

先行事象進路 ID：先行事象が起きた進路の ID

先行事象速度種別 ID：先行事象列車の速度種別 ID

先行事象停通：先行事象列車の停通

0:停車

1:通過

2:ワイルドカード

続行事象進路 ID：続行事象が起きた進路の ID

続行事象速度種別 ID：続行事象列車の速度種別 ID

続行事象停通：続行事象列車の停通

0:停車

1:通過

2:ワイルドカード

時隔：先行事象と続行事象の間に必要な時間(秒)

- ・時隔以外の値は*をワイルドカードとして利用できる(進路・速度種別は0もワイルドカード)
- ・レコードの上から順番に検索するので、上位にあるレコードが優先される
- ・どれにもヒットしなかった場合は支障なしとして設定する
- ・支障無しを明示するときは時隔欄に*を記述

8. 線路条件 **_line.dat

路線 ID, 路線名

路線 ID：路線を全体で一意に識別できる ID

路線名：路線の名前

9. OD **_od.dat

指定する時間帯ごと：乗客行動仮定, 時間帯

乗客行動仮定：この OD の乗客ががとる乗客行動仮定を指定

1:出発駅に均等な間隔で出現し最短経路を選択(モデル1)

2:目的駅到着時刻が均等に与えられそれに間に合う最短経路を選択(モデル2)

時間帯：以下の OD データが適用される時間帯を指定

以降の行：OD データ

OD データ：指定した時間帯ごとの OD

- ・同一駅乗車の項目を1行に駅 ID が小さい順に記述する
- ・重複する時間帯や指定されていない時間帯がある場合はエラー

10. プラットホーム **_platform.dat

駅 ID, ホーム ID, ホーム名称

駅 ID：このホームが存在する駅の ID

ホーム ID：ホームをその駅構内で一意に識別できる ID(0 以外)

ホーム名称：ホームの名称

1 1. 進路 **_route.dat

駅 ID, 進路 ID, 進路名, 進路設定線路 ID1, 進路設定線路 ID2, 移動方向指定フラグ, 移動時間

駅 ID : この進路データの対象とする駅の ID

進路 ID : この進路に設定された ID

進路名 : この進路に設定された名前

進路設定方向 ID1 : 進出元の番線 ID、駅間線路 ID、本線引上 ID

進路設定方向 ID2 : 進出先の番線 ID、駅間線路 ID、本線引上 ID

移動方向指定フラグ : この進路で移動した際の移動方向を指定

移動時間 : この進路の移動時間(秒) 本線へ出発、本線からの到着の場合は 0

- ・各駅に対してどちらかを定位、その反対を反位として方向を定める
- ・定位方向への移動を 0、反位方向への移動を 1 として移動方向のフラグを記述する
- ・移動方向によって分割・併合が可能か判定される

1 2. 駅条件 **_station.dat

駅 ID, 駅名, 電略, 駅種別フラグ 1, 駅種別フラグ 2

駅 ID : 駅を全体で一意に識別できる ID

駅名 : 駅の名前

電略 : 駅の電略(下 2 文字)

駅種別フラグ 1 : 駅の種類

- 0:一般駅
- 1:信号所
- 2:停留所
- 3:車両基地
- 4:閘駅

駅種別フラグ 2 : ダイヤに記号を表記するためのフラグ

- 1:信号所
- 2:仮停車場
- 4:折り返し式停車場(スイッチバック)
- 8:社員無配置停車場
- 16:社員無配置停車場(業務委託駅)
- 32:旅客列車相互の行き違いができない停車場(回送列車を除く)
- 64:上下本線を区別できない停車場(閉塞区間の昼間の停車場を除く)
- 128:貨物取り扱いをする駅
- 256:運転区(機関区を含む)所在停車場
- 512:運転区(機関区を含む)支区所在停車場

1 3. 基準時分 **_stdtime.dat

基準時分 ID, 始端駅 ID, 始端駅進路 ID, 始端駅停通, 終端駅 ID, 終端駅進路 ID, 終端駅停通, 駅間走行時分

基準時分 ID : 基準時分を分類する ID

始端駅 ID : 始端駅の ID

始端駅進路 ID : 始端駅での進路 ID

始端駅停通 : 始端駅での停通

- 0:停車
- 1:通過

終端駅 ID : 終端駅の ID

終端駅進路 ID：終端駅での進路 ID

終端駅停通：終端駅での停通

0:停車

1:通過

駅間走行時分：走行に要する時間(秒)

- ・ 始端駅 ID、始端駅進路 ID、終端駅 ID、終端駅進路 ID については 0 をワイルドカードとして使用可能
- ・ レコードの上から順番に検索するので、上位にあるレコードが優先される

1 4. 駅順序 **_stinfo.dat

路線 ID, 順序, 駅 ID, 路線起点からの距離, 駅表示フラグ, 線種, R, G, B

路線 ID：順序を定義する路線

順序：起点から終点へ順に大きな番号にする 番号が重複してはいけないが、飛び番があってもよい

駅 ID：駅を全体で一意に識別できる ID

路線起点からの距離：この駅の起点からの距離(起点駅は 0 0.1km 単位)

駅表示フラグ：ダイヤ図上でこの駅を表示する方法を指定

0:非表示

1:通常表示

線種：駅線の種類を指定

0:太い実線

1:実線

2:点線

R：線の色の R 成分を指定する

G：線の色の G 成分を指定する

B：線の色の B 成分を指定する

1 5. 基準停車時分 **_stoptime.dat

基準時分 ID, 対象駅 ID, 番線 ID, 停車時分

基準時分 ID：基準時分を分類する ID

対象駅 ID：このレコードで基準停車時分を定める対象の駅の ID

番線 ID：対象駅の中で対象とする番線の ID

停車時分：定める基準停車時分(秒)

- ・ 対象駅 ID、番線 ID は 0 を記述するとワイルドカード
- ・ レコードの上から順番に検索するので、上位にあるレコードが優先される

1 6. 番線 **_track.dat

駅 ID, 番線 ID, 番線名, 番線種類フラグ, 番線電化方式, 番線有効長, 分割・併合フラグ, ホーム 1ID, ホーム 1 有効長, ホーム 1 位置, ホーム 2ID, ホーム 2 有効長, ホーム 2 位置, 無限大母線処理フラグ

駅 ID：この番線が存在する駅の ID

番線 ID：駅構内の各線路を一意に識別できる ID(接続駅間線路 ID と一致させない)

番線名：番線の名称

番線種類フラグ：この番線の種類を表すフラグ

0:停車線

1:通過線

2:引上線・留置線等

番線電化方式：この番線の電化方式

- 1:非電化
- 2:直流 1500V 電化
- 4:交流 20000V50Hz 電化
- 8:交流 20000V60Hz 電化
- 16:交流 25000V50Hz 電化
- 32:交流 25000V60Hz 電化

番線有効長：この番線の有効長(m) 客扱い可能な長さではない

分割・併合フラグ：この番線で分割・併合作業が行えるかどうか

ホーム 1ID：この番線に面する主たるホームの ID 0 のときは面していない

ホーム 1 有効長：ホーム 1 の客扱い可能な有効長

ホーム 1 位置：番線有効長の始端からホーム 1 の始端が何 m の位置にあるか

ホーム 2ID：この番線に面する従たるホームの ID 0 のときは面していない

ホーム 2 有効長：ホーム 2 の客扱い可能な有効長

ホーム 2 位置：番線有効長の始端からホーム 2 の始端が何 m の位置にあるか

無限大母線処理フラグ：この線路で列車が湧出・消失可能かどうか

0:湧出・消失不可

1:湧出・消失可能

1 7 . 列車運転指定項目 **_train.dat

列車 ID, 所属周期, 順序, 列車運転指定項目種類, ...

列車 ID：指定する列車の ID

所属周期：その列車の所属周期

順序：レコードの順序を定義する数値

運転指定項目種類：その列車の運転指定項目

0:営業列車(非優等列車)

1:回送運転

2:営業運転(有料優等列車)

3:貨物列車

4:試運転・事業用運転

5:入換運転

6:無限大母線消失

7:無限大母線湧出

8:列番変更(前)

9:列番変更(後)

10:車両解放

11:車両充当

12:列車併合(前)

13:列車併合(後)

14:列車分割(前)

15:列車分割(後)

16:強制降車

○運転指定項目種類が 0,1,2,3,4 のとき

運転指定項目種類, 駅 ID, 到着進路 ID, 到着時刻/出発時刻, 停通フラグ, 客扱いフラグ, 使用ホームフラグ, 出発進路 ID

駅 ID：この駅の ID

到着進路 ID：この駅に入線したときの進路 ID(すでに入線している場合は 0)

到着時刻/出発時刻：時刻を指定

停通フラグ：物理的な停通のフラグを指定

0:停車

1:通過

客扱いフラグ：客扱いをするかどうか

0:客扱いなし

1:客扱いあり

使用ホームフラグ：使用するホームを指定

0:開閉なし

1:ホーム 1 側開扉

2:ホーム 2 側開扉

3:両側開扉

出発進路 ID：この駅から出場するときの進路 ID(出場しないときは 0)

○運転指定項目種類が 5 のとき

運転指定項目種類, 駅 ID, 入換進路 ID, 出発時刻/到着時刻

駅 ID：この駅の ID

入換進路 ID：この入換の進路を指定する ID

出発時刻/到着時刻：入換時刻を指定

○運転指定項目種類が 6,7 のとき

運転指定項目種類, 駅 ID, 番線 ID, 消失・湧出時刻

駅 ID：この駅の ID

番線 ID：無限大母線に消失・湧出する番線の ID

消失・湧出時刻：無限大母線に消失・湧出する時刻

○運転指定項目種類が 8,9 のとき

運転指定項目種類, 駅 ID, 番線 ID, 次(前)列車 ID, 次(前)列車所属周期

駅 ID：この駅の ID

番線 ID：列番変更を行う番線の ID

次(前)列車 ID：次(前)列車の ID

次(前)列車所属周期：次(前)列車の所属周期

○運転指定項目種類が 10,11 のとき

運転指定項目種類, 駅 ID, 番線 ID

駅 ID：この駅の ID

番線 ID：車両解放・充当を行う番線の ID

○運転指定項目種類が 12,15 のとき

運転指定項目種類, 駅 ID, 番線 ID, 次(前)列車 ID, 次(前)列車所属周期

駅 ID：この駅の ID

番線 ID：分割・併合を行う番線の ID

次(前)列車 ID：併合された後・分割される前の列車の ID

次(前)列車所属周期：併合された後・分割される前の列車の所属周期

○運転指定項目種類が 13,14 のとき

運転指定項目種類, 駅 ID, 番線 ID, 前(次)列車 1ID, 前(次)列車 1 所属周期, 前(次)列車 2ID, 前(次)列車 2 所属周期

駅 ID：この駅の ID

番線 ID：分割・併合を行う番線の ID

前(次)列車 1ID：併合される前・分割された後の列車 1 の ID

前(次)列車 1 所属周期：併合される前・分割された後の列車 1 の所属周期

前(次)列車 2ID：併合される前・分割された後の列車 2 の ID

前(次)列車 2 所属周期：併合される前・分割された後の列車 2 の所属周期

○運転指定項目種類が 16 のとき

運転指定項目種類

- ・乗客の強制降車を指示する

1 8 . 種別 **_traintype.dat

種別 ID, 種別名称, 線の太さ, 線種, R, G, B

種別 ID：種別を一意に識別する ID

種別名称：種別の名前

線の太さ：ダイヤを表示する際の線の太さ 数が大きいほど太い

線の種類：ダイヤを表示する際の線の種類

0:実線

1:波線

2:点線

3:一点鎖線

R：線の色の R 成分を指定する

G：線の色の G 成分を指定する

B：線の色の B 成分を指定する