

運行実績データに基づく列車の遅延対策

富井 規雄¹

概要：最近，都市圏の鉄道において，ラッシュ時間帯に慢性的に発生する小規模の列車遅延が問題になっている．本稿では，そのような遅延を防止する手立てを見出すための方策として，列車運行実績データの可視化，列車運行実績データからの遅延の原因の検出アルゴリズム等に関する研究開発動向を紹介する．

Reduction of Small Delays of Commuter Trains using Historical Train Traffic Records

Norio TOMII¹

1. はじめに

最近，都市圏，特に首都圏の鉄道において，ラッシュ時に慢性的に発生する小規模の遅延に対する利用者からの苦情が多い．

実は，このような遅延の原因は，ほぼ全て乗客である．具体的には，乗客に起因する何らかの理由による停車時間の増大が遅延を引き起こし，それが後続の列車に影響し，さらに，相互直通運転先の路線に波及する．

乗客に起因する停車時間増大の理由としては，電車の特定の扉への混雑の集中，急病人の救護，駆け込み乗車や扉にカバン等が挟まったなどの状況における再開扉，線路内への立ち入りによる運転の一時的見合わせなどがある．

鉄道会社においては，このような遅延の発生や後続列車への波及を防ぐためにさまざまな対策（いわゆる「遅延対策」）をとっている．具体的には，次が挙げられる[1]．

- ・ ダイヤの調整による停車時間拡大の防止（列車本数・停車駅の調整，列車間隔や停車時間の調整など）
- ・ オペレーションによる停車時間拡大の防止（接続を取らない，駅のホーム監視要員の増強など）
- ・ ホーム上の旅客流動の円滑化（列車停止位置の調整，階段の増設など）
- ・ 乗降の円滑化（電車のドア幅の拡大，電車の車体幅の拡大，いわゆる「歩きスマホ」への呼びかけなど）
- ・ 信号システムの改良による遅延回復特性の改良

有効な対策を実施するためには，どのような対策をどこに実施するかについて，事前に十分な検討が必要である．しかし，現状では，このような検討は，実地に観察した結果（のみ）に基づいて行なわれていることが多い．

一方で，比較的最近になって，列車の運行実績データが取得できるようになってきた．これを活用することによって，遅延の発生箇所の特定，遅延の波及状況の把握，有効

な対策の考案やその効果の推定なども可能になる．

2. 列車運行実績データ

すべての列車について，各駅の到着時刻と発車時刻の実績値を1秒単位で記録したデータである．地上のシステム（運行管理システムなど）に蓄積される．言い換えると，現状では，リアルタイムに取得できるわけではない（ただし，一部の会社では，列車の走行位置の情報をリアルタイムで提供している．例えば，[2]など）．

列車運行実績データは，その路線のすべての列車の日々の着発時刻および遅延の情報を含むデータで，膨大な量となる．そのため，これを遅延対策の検討に役立つ適切な形に可視化することや，遅延対策考案の上で有用な知見を得るためのしかけが望まれる．

3. 列車運行実績データの可視化

遅延対策を検討する上では，遅延の発生状況や波及状況を直感的に把握できるようにすることが有用である．図1は，クロマティックダイヤ図と呼ぶダイヤ図である[3]．通常のダイヤ図（横軸が時間，縦軸が駅．斜めの直線が1本の列車の動きを表す）に，その列車の遅延に応じた色をつけたものである．定時ならば紺色，遅延が大きくなるにつれて，青，水色，緑，黄，橙，赤と変化する．（図1にはないが，遅延時間の延びを表す丸を描くこともできる）．1日もしくは複数日を対象として描画する（複数日の場合，平均値あるいは中央値で色を決定）．

単純なアイディアではあるが，見慣れた形式のダイヤ図に色による情報が加わることによって，状況を直感的に把握することができるようになった．さらに，ある対策の実施前後のクロマティックダイヤ図を比較することによってその対策の効果を検証することにも有用である．

さらに，クロマティックダイヤ図を3次元で描画するこ

¹ 千葉工業大学 情報科学部 情報工学科
Department of Computer Science, Chiba Institute of Technology

とも可能である（図 2. Z 軸は遅延）。2 次元のクロマティックダイヤ図では一定値以上の遅延は全て赤になるが、3 次元では、遅延の状況の変化に関する詳細な情報を一目で把握することができる。

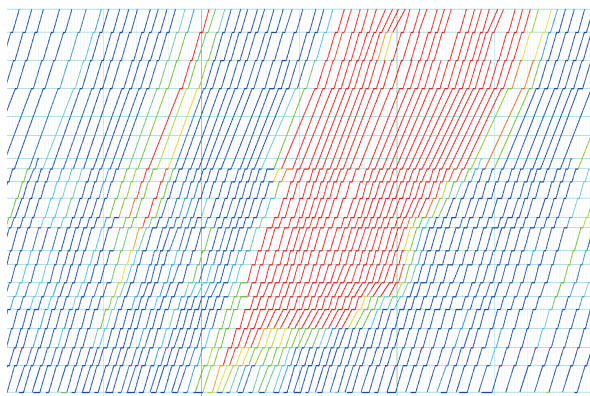


図 1: クロマティックダイヤ図

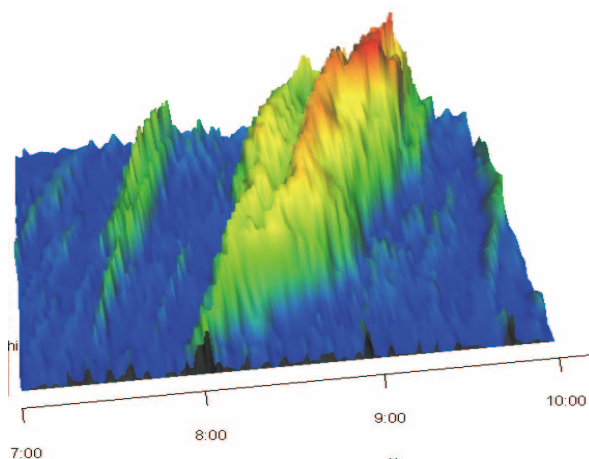


図 2: 3 次元ダイヤ図

4. 列車運行実績データからの知識発見

列車運行実績データの可視化は、あくまでも分析作業の支援を目的としている。これをさらに進めて、遅延対策考案のために有用な知見を自動的に得たいという要望がある。

4.1 遅延伝播経路と遅延発生箇所の推定

列車運行実績データの中で、if(遅延 X1) then (遅延 Y) という規則（相関ルール）が成り立っているのであれば、ある条件のもとで、遅延 X1 は遅延 Y の原因であると言える。さらに、もし、if(遅延 X2) then (遅延 X1) が成り立っているのであれば、遅延 X2 は遅延 X1 の原因であり、このことから、遅延 Y の原因は遅延 X2 であると言える。

この手法を用いることにより、地方幹線鉄道を対象として、慢性的に発生する遅延の原因およびその伝播経路を特定可能であることを確認している[5]。

4.2 運転士の運転方法の適・不適

類似の状況であっても、次駅に到着するまでに遅延を増大させている列車と、そうではない列車が存在する。その違いは、運転士の運転方法にある。列車運行実績データに

は含まれていない、駅間での列車の位置を特定可能なデータ（軌道回路落下・こう上データ）を新たに取得し、遅延を回復している運転とそうでない運転の差異を見出すことを試みた。具体的には、遅延を増大させている運転に対応するデータ（軌道回路落下・こう上データ）群とそうでない運転に対応するデータ群を用意し、決定木を用いて、その差異を生じさせた要因を特定することを試みた[6]。

その結果、遅延を増大させた運転では、駅に進入する際に信号による走行速度の制限を受けて遅延を増大させることを嫌うあまり、信号が変化してより高い速度で進入できるようになることを期待して信号機の手前までわざと低速で走行している（そのために時間的ロスが生じている、さらに、結果として信号が変化せず低速での進入を余儀なくされている場合もある）ことが主要な差異であることを明らかにすることができた。

5. おわりに - 今後の展望

東京圏においては、鉄道の利用者数は、1 日平均で 3,800 万人に達するとも言われている。多数の利用者に安全で快適、かつ利便性と信頼性の高い輸送サービスを提供するためには、今後とも各種のデータの収集とその可視化や分析手法の構築に取り組んでいく必要がある。そのためには、運行実績に加えて、利用者の動きに関するデータの活用方法を検討していくことも有用である。例えば、交通系 IC カードの利用実績データ[7]、経路案内システムの検索履歴データ[8]、携帯電話の位置情報データ[9]などが候補となる。

これらのデータを活用した鉄道のサービスレベル向上に資する研究開発に期待する次第である。

参考文献

- [1] 富井規雄：「遅延の見える化」から見えてきたもの、運輸と経済、2016 年 8 月号。
- [2] JR 東日本アプリ <http://www.jreast-app.jp/>
- [3] 稲川真範，富井規雄，牛田貢平：列車運行実績データの可視化，J-Rail2009，第 16 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，pp. 745-748，2009。
- [4] Komori, M., Tomii, N.: Visualization of train traffic records to realize more robust timetable, ART2016 1st Asian Conference on Railway Infrastructure and Transportation, Jeju, 2016.
- [5] 河野亜美，富井規雄：相関ルールを用いた遅延伝播経路の推定，電気学会全国大会，2017。
- [6] Ochiai, Y., Tomii, N.: Improvement of timetable robustness by analysis of drivers' operation based on data mining technique, RailLille - 7th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis, Lille, France, 2017.
- [7] 角田史記他：交通系 IC カードを利用した鉄道輸送障害時の影響を定量化する方法の研究，情報処理学会論文誌。データベース 6(3)，187-196，2013。
- [8] 富井規雄，太田恒平：鉄道の運行システムにおける情報処理技術の動向：鉄道におけるビッグデータの活用 -列車運行実績データと経路検索データの活用-，情報処理，55(2)，184 - 192，2014。
- [9] 関本義秀：人の流れプロジェクトの歩み，DICOMO2015 シンポジウム，2015。