

都市圏の鉄道に対する停車時分分析システム - 列車運行予測への反映 -

牧野 真悟* (千葉工業大学), 富井 規雄 (千葉工業大学)

Dwell Time Analysis for Urban Railways - Implementation of Train Traffic Simulator -
Shingo Makino* (Chiba Institute of Technology), Norio Tomii (Chiba Institute of Technology)

Abstract

We are seeking for a possibility to estimate delays of trains for a given timetable, especially delays caused by increase of dwell times from past train traffic record data. As the first step, we have developed an analysis system to investigate correlation between various factors such as dwell times and delay, running times and delay, delay of a train at station and that at the previous station, delay of a train and that of the succeeding train and so on. In this paper, some findings about the analysis until now are presented. Then how the results will be implemented in the train traffic simulator is also introduced.

キーワード: 列車ダイヤ, 頑健性, データマイニング, シミュレーション
(timetable, robustness, data mining, simulation)

1. はじめに

最近, 都市圏の鉄道においては, 微小な遅れが他の列車に伝播し, 結果として数多くの列車に遅延が波及することが問題となっている⁽¹⁾⁽²⁾。

一般に, 列車の遅延が発生しても, それがなるべく他の列車に波及しないような列車ダイヤを「頑健な列車ダイヤ」, そのような性質を, (列車ダイヤの)「頑健性」と呼ぶ。

列車ダイヤの頑健性については, 現に施行されている列車ダイヤがどの程度頑健かを評価するための研究として, 列車運行実績データの可視化による手法⁽³⁾が提案されている。

しかし, 鉄道会社においては, 現に施行している列車ダイヤもさることながら, 今後施行する予定である列車ダイヤの頑健性を推定する, つまり, ダイヤ改正を行なう前に頑健性を推定することについて強い関心を持たれている。

そこで, 列車ダイヤの頑健性を推定する各種の方法が提案されている⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。それらにおいては, 遅延の発生とその伝播状況をシミュレーション等によって予測することを基本としている。

シミュレーションによって列車ダイヤの頑健性を推定するにあたっては, 列車の走行時分, 停車時分, 列車間隔を推定することが必要になる。実際に列車が走行した場合, 乗客の乗降, 天候その他の要因によってそれらの値は計画ダイヤ等で定められている値と一致するとは限らず, それが遅延の原因になるからである。既存研究では, 列車の走行時分は, 基準運転時分あるいは計画ダイヤ上での走行時間, 列車間隔は, 設備上の最低時分(追い込み時分)とそれぞれ一致すると仮定してシミュレーションが行なわれていた。また, 停車時分については, 旅客流動をシミュレ

ーションすることによってその時の乗降人数を推定し, それによって乗降に必要な時間を推定するという手法が用いられていた。

しかし, それらの前提が現実に適用可能であるかどうかの検証はなされていない。そこで, 本研究では, 現実の列車運行を記録したデータ(列車運行実績データ)を使用して, 列車の駅間の走行時分, 停車時分, 列車間隔の実態を分析する。さらに, 列車運行実績データをもとに, 天候, 駅, 時間帯, 列車, 運転方向, 曜日, 季節等をはじめとするその時の「状況」から, これらを推定する方法についての検討を行なう⁽⁷⁾。

列車運行実績データをもとにして, その時の「状況」に応じた走行時分, 停車時分, 列車間隔を推定する方式が確立できれば, 列車運行シミュレーションの途上において列車のその時の状況における停車時分や走行時分を推定し, それを用いて列車運行のシミュレーションを行なうことが可能になると考えられる。事実, van der Meerらは, 軌道回路の落下こう上データをもとに, 列車の遅延と停車時分・駅間走行時分の間に関連があることを実証し, それをもとに駅間走行時分や停車時分を推定する方法を提唱している⁽⁸⁾。

しかし, 都市圏の稠密に列車が走行する線区においては, 乗客の動きが停車時分等に与える影響を考慮する必要があり, 「状況」としては, 前述のようなさまざまな要因を検討する必要があると考えられる。

本稿では, 列車運行実績データから停車時分, 駅間走行時分, 列車間隔の実態とその時の状況との関連を分析するシステムの概要とその分析結果の一例ならびに列車運行シミュレータへの適用方針を報告する。

2. 停車時分・駅間走行時分・運転間隔分析システム

停車時分・駅間走行時分・運転間隔分析システムは、列車運行実績データから、列車の停車時分、走行時分、運転間隔に影響を与えている要因を明らかにすることを目的としている。

入力としては、ある程度の期間にわたる列車運行実績データを用いる。ここで、列車運行実績データとは、その線区の運行管理システムから取得されるデータで、それぞれの列車のそれぞれの駅での実着時刻と実績発時刻等を含んでいるデータである。また、あわせて、気象による影響を検討するために、(財)気象業務支援センター⁽⁹⁾から提供されている気象観測データを用いる。

本システムに対して、対象線区、曜日、駅名、列車種別、運転方向、期間、降水量、気温等相関の程度を明らかにしたい要因をグラフィカルに指定することにより、その結果を散布図、頻度グラフ等として得ることができる。

主な相関関係として、

- 着遅延と発遅延の相関関係
- 列車間隔と停車時分の相関関係
- 列車間隔と各列車の相関関係
- 列車間隔と遅延の相関関係
- 列車同士の遅延の相関関係
- 列車同士の停車時分の相関関係

を調べる機能を実装している。

3. 停車時分・駅間走行時分分析システムによる分析例

〈3・1〉 現実の路線に対する適用 本節では、本システムを現実の路線に対して適用した結果の一部を示す。対象としたのは、列車が稠密に運転されている首都圏の鉄道路線で、期間は約5ヶ月のうちの平日を対象とした。

〈3・2〉 分析例1：発遅延と次の駅の着遅延 図1は、ある1本の列車に対して、ある駅での発遅延とその次の駅での着遅延との関係を散布図で示したものである。この図から、この列車のこの駅間に対しては、

- 駅間の走行時分は、遅延にかかわらずほぼ一定である。
- 駅間の走行時分は、計画ダイヤでの走行時分とほぼ同じである(回復運転はほぼ行なわれない)。

ことがわかる。同様の現象は、他の多くの列車、駅間において観察された。

図2は、別の列車に対して、ある駅での発遅延とその次の駅での着遅延との関係を散布図で示したものである。この図から、この列車の駅間に対しては、

- 駅間の走行時分は、遅延にかかわらずほぼ一定である。
- 駅間の走行時分は、計画ダイヤでの走行時分よりもわずかに小さい(回復運転が行なわれ、回復の時分は遅延の大きさに関わらずほぼ同じである)。

ことがわかる。

一方、駅・列車によっては、図1ほど強い相関が現れない結果も得られた。そのほとんどは、図3に示すように、着遅延の方が発遅延より大きくなっている、すなわち、駅間走行時分が計画ダイヤ上の時分よりも大きくなっている

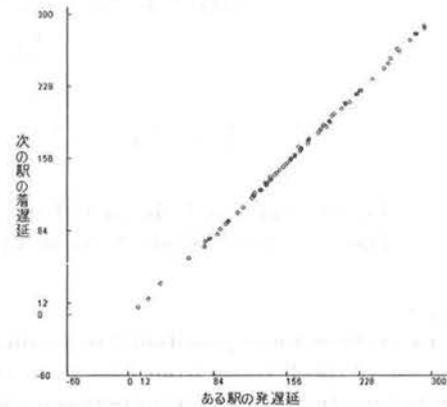


図1 次の駅での着遅延との関係-1

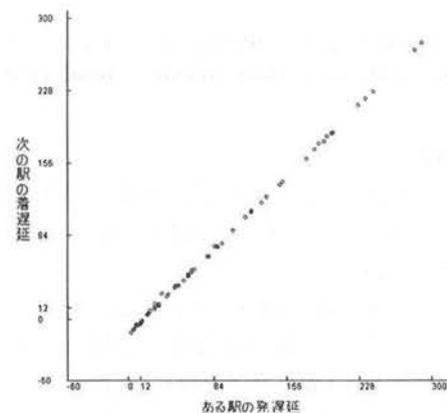


図2 次の駅での着遅延との関係-2

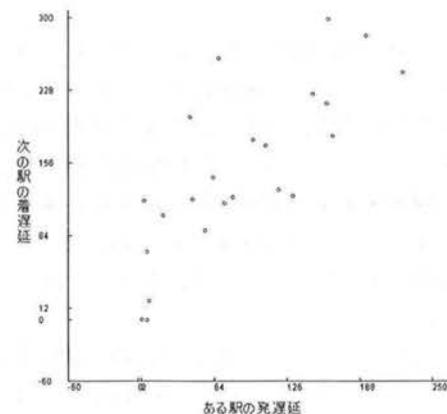


図3 次の駅での着遅延との関係-3

ケースであった。日ごとの実績ダイヤを仔細に調べた結果、これらの現象は、前方の駅の番線が先行列車によって占有されている場合や交差支障が発生した場合の機外停止の発生に起因して発生していることを確認した。

〈3・3〉 分析例2：列車間隔と発遅延 図4は、ある列車の着遅延と、その列車の着時刻と直前の列車の発時刻との差(列車間隔)の関係を示したものである。水平方向の線が最小運転時隔(保安システムによって定められる列車と

列車に確保すべき最低の時分：いわゆる追い込み時分) である。最小運転時隔の値は、列車の進入速度等によって変化する。一般に列車の進入速度が低くなれば、運転時隔の値は小さくなることが知られている。しかし、この図から、現実の状況においては、運転時隔の値は追い込み時分として定められている値を下回ることはほぼないことが見て取れる。

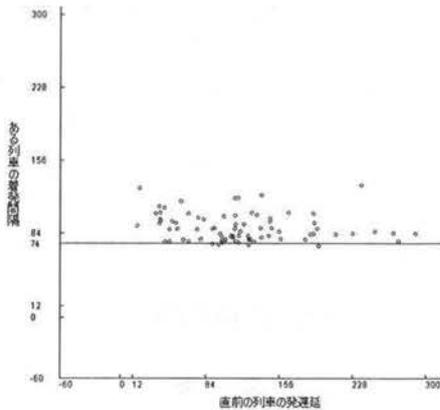


図4 列車間隔と発遅延との関係-1

〈3・4〉分析例3：停車時分と列車間隔 ある1本の列車に対して、ある駅での停車時分と直前の列車との列車間隔との関係を図5と図6に示す。一般に、列車の間隔が大きくなると、その列車を待つ旅客の数が増大し、停車時分が増大すると言われている。しかし、この現象が観察されるかどうかは、列車ダイヤで設定されている停車時分、時間帯、運転方向、駅などの状況に依存する。実際、図5では、着発間隔と停車時分の増大に相関は見られないが、これはこの列車と駅は、乗降人数が多い区間を過ぎた駅であるためであると考えられる。また、一部、停車時分が大幅に増大している日があるが、これらは、直後の列車が遅延しているために列車の間隔調整が行なわれた日であったことが判明している。

一方、図6は、ラッシュ時の列車で乗降人数の多い乗換駅に対する結果である。列車の間隔が増加すると停車時分が増大する傾向が見られる他、停車時分に大きなばらつきがある。これは、前述の現象が発生していることに加え、利用者に起因する他の問題(駆け込み乗車、ドア挟みなど)による停車時分の増大が発生しているものと推定される。このことは、単純に乗降人数を推定した結果から乗降時間を推定するという手法では正確性に限界があることを示唆している。

〈3・5〉雨量と着発間隔 図7と図8は、それぞれある駅に対して、その駅のすべての列車のそのときの雨量(mm)と着発間隔との相関を見たものである。一般に、雨天時、特に雨の降り始めには、ブレーキ扱いが慎重になるために到着が遅れる傾向にあると言われている。図7は地上にある

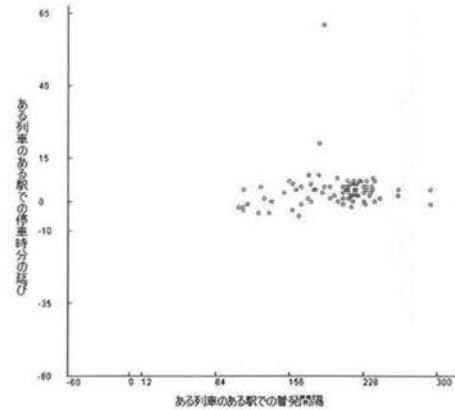


図5 停車時分と列車間隔との関係-1

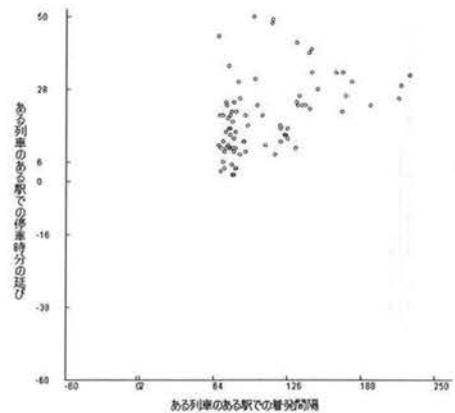


図6 停車時分と列車間隔との関係-2

駅、図8は地下にある駅である。この2つの図からは、明らかに傾向に差があることが見て取れる。しかし、同じ駅において、晴天時(降水量0mm)と運転時との傾向の差は明らかではない。これは、降水時のデータ数が少ないことに加えて、y軸として前の列車との着発間隔をとったことも一因であると考えられる。すなわち、例えば、先行列車に比べて自列車が遅延していた場合、着発間隔は必然的に大きくなり、これは降水量とは無関係に発生することも多いためである。

〈3・6〉現時点までのまとめ 現時点までの分析によって、次が明らかになった。

- 走行時分については、ほぼすべて計画ダイヤと一致する場合、ほぼすべて一定時分の回復運転を行なっている場合があり、駅によってこのいずれかであることが判明した。
- 走行時分については、機外停止の影響によって増大する駅が存在することが判明した。
- 列車間隔については、設備上定められている時分(追い込み時分)を下回ることはほとんどないことが判明した。
- 停車時分については、駅、時間帯によって差異が大きいこと、特に混雑している駅・時間帯においては、単

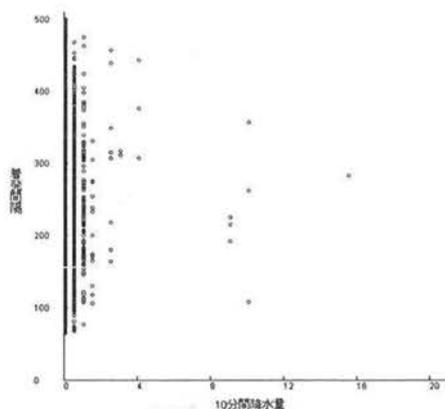


図 7 雨量と着発間隔との関係-1

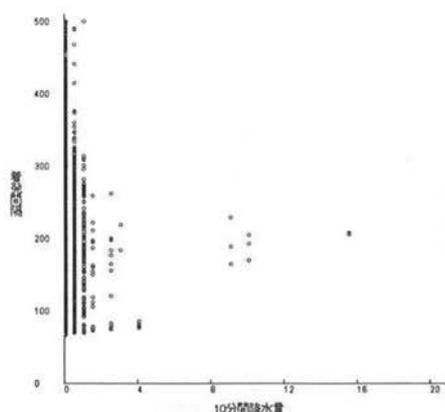


図 8 雨量と着発間隔との関係-2

に列車間隔の増大による遅延だけでなく、その他の要因による停車時分の増大が発生していることが明らかになった。

- 停車時分については、後続の列車が遅延している場合、列車の間隔調整が行なわれるために停車時分が長くなるケースがあることが判明した。
- 降雨の影響については、その程度を明らかにすることはできなかった。

4. 今後の進め方 - 列車運行の予測

筆者らは、PERT(Program Evaluation and Review Technique) をもとにした列車運行シミュレータ⁽¹⁰⁾を用いて列車運行を予測することを考えている。現時点までに列車運行実績データの分析から判明したことを反映して、次のようにして列車運行を予測する所存である。

- 走行時分については、計画ダイヤ上の時分を用いることを基本とするが、列車運行実績データから回復運転を行っていると判断される箇所についてはそれを反映した時分を用いる。機外停止については、列車運行シミュレータが機外停止発生時に駅間の走行時分を相応に増大させる機能を有しているため、その機能で対応する。
- 列車の間隔については、設備上の最小時分(追い込み

時分)を用いる。

- 停車時分については、計画ダイヤ上の時分に対して、列車運行実績データをもとに、駅、時間帯、運転方向等の要因を考えあわせて、確率的に決定する。ただし、これについては、さらなる検討が必要である。
- 列車の間隔調整による停車時分の増大については、列車運行シミュレータがその機能を有しているため、それに対応する。

5. おわりに

列車運行実績データから、その時の状況に応じた列車の走行時分、停車時分、列車間隔を推定することを目的として、さまざまな要因と走行時分、停車時分、列車間隔との関係を分析するツールを作成し、その分析結果とそれに基づく列車運行シミュレータの作成の考え方について述べた。

引き続き、列車運行実績データの分析を進めるとともに、列車運行シミュレータへの具体的反映方法について検討を続けていく所存である。

なお、本研究は、科研費 21510156 の助成を受けている。

文 献

- (1) 牛田貢平：「列車運行実績データの可視化手法によるダイヤ検討への応用」, 運転協会誌, Vol. 52, No. 8, 2010.
- (2) 電気学会編：「列車ダイヤ回復の技術」, オーム社, 2010.
- (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, 2009.
- (4) 武内陽子, 富井規雄：「鉄道の計画ダイヤの頑健性評価」, J-Rail 2003, 第 10 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, 2003 年 12 月.
- (5) 上松苑, 岩倉成志：「エージェントモデルによる都市鉄道の乗降時分の推定」, J-Rail 2008, 第 15 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, 2008 年 12 月.
- (6) 中村恭平, 富井規雄：「エージェントモデルに基づく詳細な列車運行および旅客行動を再現するシミュレータの開発」, 電気学会全国大会, 2010 年 3 月.
- (7) 牧野真悟, 富井規雄：「都市圏の鉄道に対する停車時分分析システム」, 電気学会 交通・電気鉄道研究会, TER-10-043, 2010 年 8 月.
- (8) Dirk J. van der Meer, Rob M. P. Goverde, Ingo A. Hansen: Prediction of Train Running Times and Conflicts using Track Occupation Data, 12th WCTR-World Congress of Transportation Research, Lisbon, Portugal, July 2010.
- (9) (財) 気象業務支援センター <http://www.jmbc.or.jp/>
- (10) 安部恵介, 荒屋真二：「最長経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, 1986.