

遅延の流れを見せる・ 遅延の流れを探る



富井 規雄
Norio Tomii

千葉工業大学 情報工学科 教授
[専門分野] 情報工学

鉄道では、あらかじめ時刻表を掲示してその通りに列車を動かすことが期待されています。しかし、特に首都圏の朝ラッシュ時には、小規模とは言え、多くの列車に遅延が発生している場合があります。また、地方幹線鉄道でもさらに定時性を高めることが求められています。しかし、列車ダイヤは複雑で、遅延を減らす対策を考えることは簡単ではありません。ここでは、蓄積した運行実績のデータを活用して、遅延の流れをわかりやすく見せる方法、遅延の流れを探る方法について、これまでの研究成果を解説します。

電車は遅れる

最近、電車の遅延に対する苦情が多いといえます。みんなスマートフォンを見て乗る電車を決めているためでしょうか、「電車が遅れたために予定通りの電車に乗り換えられなかった」という苦情が多いそうです。確かに、とくに首都圏では、ラッシュ時の電車の遅れが目立ちます。路線によっては、「しょっちゅう遅れている」といわざるを得ないこともあります。また、相互直通運転が行なわれているために、遅延が広範囲に伝播することもあります。相互直通運転は、乗

り換えなしに都心まで行けて便利なのですが、遅延の伝播という点からは不利なのです。

もちろん、鉄道会社も決して手をこまねているわけではなく、いろんな対策を取っています。たとえば、駅に多数の要員を配置したり(図1:東京メトロ半蔵門線 永田町駅の光景です)、ダイヤをきめ細かく調整したり、ドアの幅が広い車両を導入したり、電車が止まる位置を少し変えてホームの混雑を防いだり、あるいは、信号設備を改良したりなどです。

どういう対策をとればいいのかを知

るためには、遅延がどのようになっているのか、具体的には、原因は何か、あるいは、どういう時に発生するのか、どのように伝播するのかなどを見つける必要があります。言い換えれば、遅延の流れを知り、遅延の流れをさぐることが必要です。以下では、そのために筆者らが考えたこと、考えていることを紹介します。

遅延の流れを見せる

図2を見てください。これは、ある日の東京メトロを中心とする路線の各駅間の列車の9時過ぎ頃の遅延状況を



図1 半蔵門線 永田町駅のラッシュ時の光景



図2 地図上への遅延状況の表示
出典：地図データ ©2017 Google, ZENRIN

地図の上に表したものです。実際にはアニメーションになっていて、時間の進行に合わせて時々刻々と表示が変わって行きます(遅延が大きくなるにつれて、赤に近い色になります)。これを見ていると、一つの路線の遅延だけでなく、路線をまたがって遅延が伝播していく様子がよく分かります。

次に、図3を見てください。これは、ダイヤ図(横軸が時間、縦軸が駅です。斜めの線をスジと呼び、1本のスジが1本の電車の動きに対応します)の線に遅延に応じて色をつけたものです。これも、遅延が大きいほど赤に近い色になります(クロマティックダイヤ図と名付けました)。

図3(a)(b)は、それぞれ、2012年と2017年の4月から7月の東京メトロ半蔵門線の7時から11時頃の平均遅延を表したクロマティックダイヤ図です。クロマティックダイヤ図は、遅延の発生場所や伝播状況を直感的に把握することに有効ですが、とくに、このように2つのケースを比較して、その違いを知ることに有用です。半蔵門線は、有数の混雑区間である東急・田園都市線と相互直通運転をしているのですが、関係者の継続的な努力により、このように改善されていることがよくわかります。

遅延の流れを探る

さて、遅延の流れを見せるだけでなく、そこから何か有用な情報を探し出せないのでしょうか。具体的には、遅延の原因とか、遅延の伝播ルートなどを見つけることはできないのでしょうか。地方幹線鉄道を対象とした研究例を紹介します。

ここで、地方幹線鉄道というのは、文字通り、地方の幹線のことです。もう少し具体的なイメージをいうと、主要都市を結ぶ比較的長い鉄道路線で、

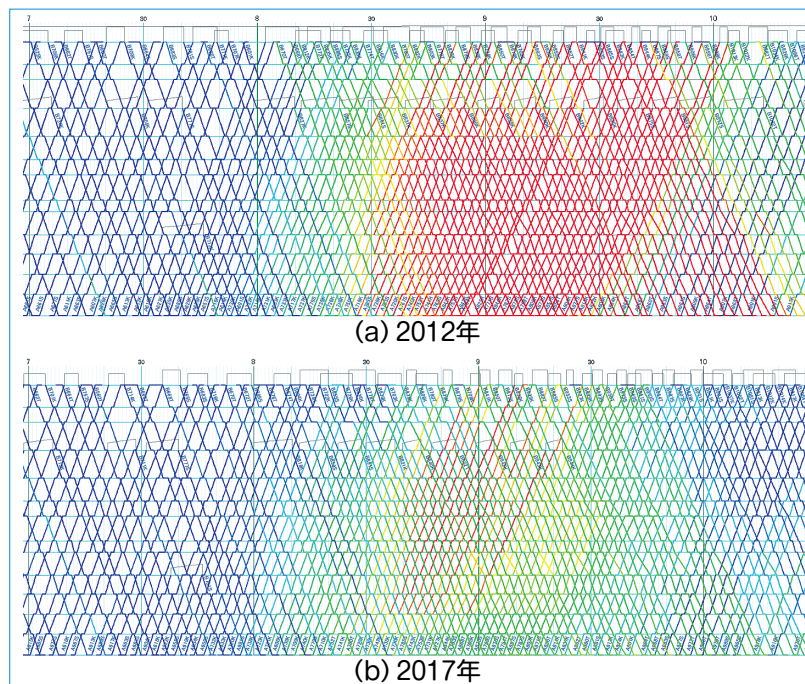


図3 クロマティックダイヤ図

列車本数は大都市圏ほどではなく、線路は一部単線もあり、普通列車のほかには特急列車が1時間に1本くらいの頻度で走っているというものです。特急列車はもちろんですが、他の列車もたい

てい場合、かなり長い距離を走ります。このような路線では、ちょっとした遅延が地理的にも時間的にもかなり広範囲に波及します。それは、単線であるためと長い距離を走る列車のためです。どこかで遅延が発生すると、それが行き違いの列車に伝播して、さらにその遅延がそれらと行き違う他の列車に伝播するからです。よって、遅延の伝播経路は、かなり複雑なものになります。一方で、このような路線においては、両端の駅は大都市であることが多く、そこでは列車が稠密に運転されていたり、あるいは、新幹線との接続があったりで、やはり高い定時性が求められます。

ここで知りたいことは、遅延の原因はどこか、それはどういうルートで伝播するのかです。遅延の伝播ルートを知りたい理由は、それが分かれば、そのルート上を改良することによって遅延の伝播を断ち切ることができるからです。つまり、遅延の原因がわかれば、

それが起こらないようにするのが一番なのですが、何らかの理由でそれができない場合でも、伝播ルート上の列車に対する措置(たとえば、余裕時間を増やすとか、同じ番線を使わないようにダイヤを修正するとか)を取ることによって伝播ルートを断ち切ることができれば、遅延が伝播することを抑えることができるからです。

鉄道会社としては、たまに発生する遅延よりも、頻繁に発生する遅延に興味があります。利用者からの「この電車はしょっちゅう遅れている」という苦情に応えるためです。ですから、過去の長期間の運行実績から、遅延の発生や伝播の「傾向」を見つけることが求められます。

これを人の目で見つけることは大変です。過去の運行実績データを1日1日入念に分析しなければなりません。クロマティックダイヤ図も使えるでしょうが、どの遅延がどう伝播していくかを1日ごとに見ていくには、大変な時間を要します。まして、その結果から「傾向」を知ることは非常に困難でしょう。

この要求に応えるために筆者らが考えたのが、「相関ルール」というデータマイニングでよく用いられる手法を

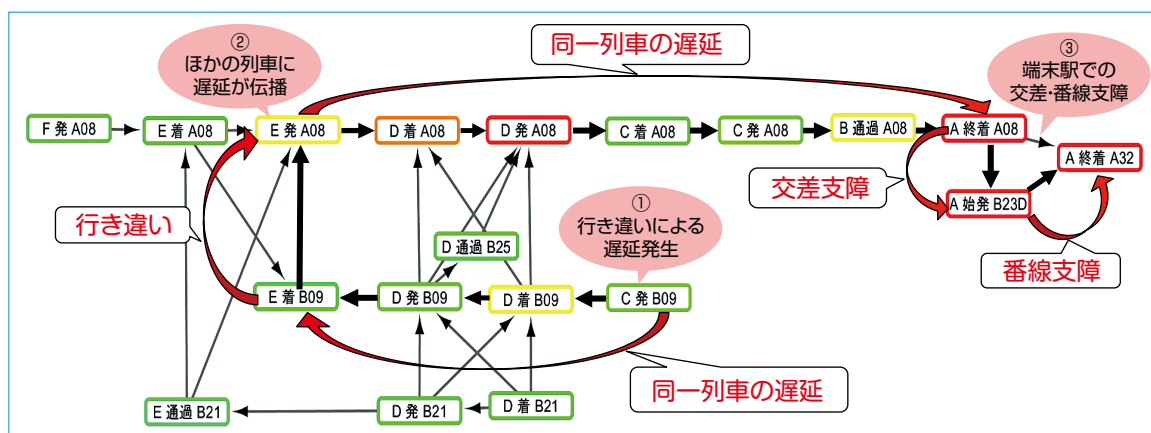


図4 遅延の伝播

応用することです。具体的には、過去の長期間の運行実績データから、

if (X) then (Y)

というルールを見つけるを試みます。ここで、X、Yには、たとえば、「列車Aの駅Bでの遅延」とか、「列車Cの駅Dでの遅延」などが入ります。もし、if(列車Aの駅Bでの遅延)then(列車Cの駅Dでの遅延)というルールが見つかったのであれば、「列車Cの駅Dでの遅延」の原因は、「列車Aの駅Bでの遅延」といいでしょう。

こういうルールを見つけて、それをつなげていけば、遅延の伝播ルートを示すことができます。図4を見てください。これは、ある地方幹線鉄道(単線と複線が混在しています)を対象に、アルゴリズムを適用して、到着がしょっちゅう遅れている特急列車の遅延の原因とその伝播ルートを見つけた結果を示したものです。このアルゴリズムによれば、そもそもの原因は、単線区間での行き違いの結果(図4①)、ある列車が少し遅れることで、それが別の駅での行き違いでほかの列車に伝播し(図4②)、さらに、端末駅での交差支障(列車の進路が交差するために、一方が待たされてしまう現象)、番線支障(同じ番線を使っている前の列車の発車が遅れると、次にその番線を使う列車は、駅の手前で待たされる現象)が発生して、特急列車に遅延が波及していることがわかりました(図4③)。

図4は、ある1本の列車の遅延の原因を探るためのものですが、これを路線全体に拡張して、見つかったルールを全部つなげてみたのが図5です。この図の丸は、ある列車がある駅で遅延したという事象に対応していて、その間の線(実際には、矢印)は、事象間の関係、すなわち、遅延が伝播していることを示しています(これは、図4とは別の全線単線の路線を対象にしています)。この図は、発生した遅延がどの程度の範囲に伝播するかを示していると解釈することができます(このことから、図5のような図形を「遅延伝播ネットワーク」と名付けました)。つまり、遅延伝播ネットワークのサイズが大きければ、遅延が広範囲に伝播する、つまり、頑健でない列車ダイヤであるというように、遅延伝播ネットワークの形状から、列車ダイヤの頑健性を評価することができるのではないかと考えています(頑健性は、列車ダイヤだけで決まるのではなく、線路などの設備やダイヤ乱れが生じた時の対応の仕方なども大きく関連します。よって、列車ダイヤの頑健性というよりは、鉄道システムの頑健性という方が適切でしょう)。これについては、今も研究を継続中です。

遅延の流れを改善する

ダイヤに沿って電車を運転するのは運転士です。よって、運転士の運転方

法の「うまい・へた」によって、遅延が増えたり減ったりします。「うまい」とか「へた」というのは随分失礼な表現ですが(わかりやすいようにわざとこういう言葉を使っています)、ここでは、もちろん、遅延を回復する(少なくとも増大させない)運転、遅延を増大させる運転という意味で使っています。

とくに大都市圏では、電車が稠密に走っているために、一人でも「へた」な運転士がいると、その影響は後続の多数の電車に影響することになります。ですから、路線の遅延を減らすためには、運転士全員が「うまい」運転をする必要があります。

もちろん、運転士は、プライドを持って、うまい運転をしようと心がけています。ただ、運転士の宿命ですが、知ることができるのは、自分の電車のことだけです。自分の運転が後続の電車にどのような影響を与えたのかを知ることが通常は不可能です。また、自分の運転方法を、他の運転士の運転方法と比較することも通常はありません。ですから、(失礼な言い方で恐縮ですが)我流の運転になる傾向があることは否定できないと思います。

しかし、繰り返しますが、路線全体の遅延を減らすためには、運転士全員にうまい運転をしてもらわなければなりません。

ここで知りたいのは、「うまい運転

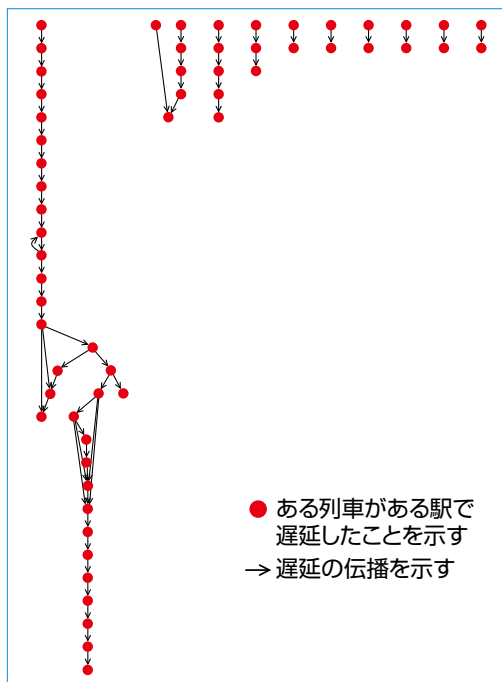


図5 遅延伝播ネットワーク

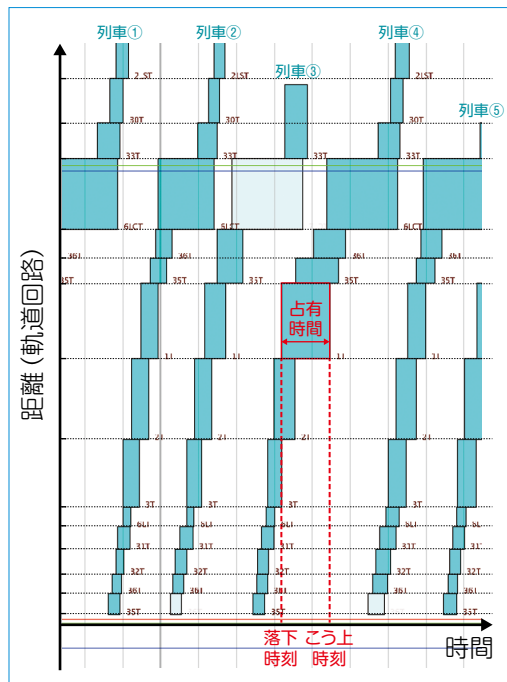


図6 軌道回路の落下・こう上データの例

とへたな運転は、どこが違うのか」です。それがわかれば、へたな運転士(!)に、運転方法を指導することができるでしょう。そして、それによって全体のレベルを向上して、路線の遅延を減らすことができるでしょう。

この問いに答えるために筆者らが使ったのが、決定木という、これもデータマイニングでよく使われる手法です。

使った入力データは、軌道回路の落下・こう上データです(例を図6に示します)。軌道回路ですが、線路は、いくつかの区間に分かれていて、それぞれの区間はレールを介した電気回路になっています。これが軌道回路です。そこに列車がいるかどうかを検知するために使います。列車がいれば、入口にある信号機を赤にして、列車が入ってこないようにします。列車の追突や衝突を防ぐための鉄道の最も基本的な安全確保の仕組みです。

この仕組みから、ある軌道回路に列車が入った時刻(落下時刻)といなくなった時刻(こう上時刻)を知ることができます。図6でいうと、横軸が時間で、縦軸が距離(軌道回路)です。長方形は、その軌道回路に列車がその時間存在し

ていた(「占有していた」といいます)ことを示します。長方形が階段状になっているのが1本の列車の動きです。

筆者らは、数カ月に渡る軌道回路の落下・こう上データを集め、それを「うまい運転」と「へたな運転」に分類したのち、決定木を使って何が違うのかを探ってみました。

その結果、「へたな運転士は、ある箇所をわざとゆっくりと走っている」ことがわかりました(厳密にいうと、「わざと」かどうかはわからないのですが)。さらに分析を進めると、そのような運転をする理由は、ゆっくり走って前方の信号機の現示(色のこと)が変わって速度制限がなくなる(正確にいうと、25km/hの制限が45km/h制限に変わる)ことを期待してのことだということがわかりました。ところが、現実には、ゆっくり走っても信号の現示は変わらないことが多く、その場合、ゆっくり走ったことによるロスと25km/h制限によるロスで遅延が増大し、また、期待通り変わったとしても、それまでに時間をロスしているので、やはり遅延は増えているということだったのです。

つまり、この場合、何も考えないで信号に従ってなるべく速く走る運転が「うまい運転」だったということになります。

ただし、もちろん、これは、一般的に成り立つ規則ということではありません。あくまでもこの場所においてのみ成り立つ規則です。しかし、それだからこそ見つけるのが困難だとも言えます。時とともに、列車ダイヤも変

われば車両性能も変わり、場合によっては信号システムも変わります。そのような中で常に遅延回復に役立つ運転をするには、日頃からデータを蓄積し、このような分析を行なっていることが重要だと思います。

まだまだ課題とデータが

この記事では、遅延対策を対象として、列車の運行実績データを使って、遅延の原因や伝播経路の特定、遅延を減らすための運転方法の発見などに関する研究の成果を解説しました。

しかし、遅延対策以外にもまだまだいろいろとやるべきことがあるでしょう。また、データにしても、運行実績データ以外にも、各種の有用なデータがあります。たとえば、運転状況記録装置のデータ、交通系ICカードのデータなどです。また、外部にも有用なデータはあります。たとえば、経路案内システムの検索履歴データなどは、利用者のデマンドを知る上で非常に興味深いデータです。この記事が遅延対策のみならず、各種のデータの今後の活用に向けての参考になれば幸いです。

RRR