

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

運行ダイヤから 利用者の速達性を考える

鉄道は数多くの機能から構成される巨大システムであるとともに、さまざまな状況のもとで日々運行しています。利用者の速達性向上を考える場合、車両や台車、電力供給設備、軌道状況などの技術開発による速度向上は重要なアプローチです。一方で、路線全体を見渡した列車運行の計画（運行ダイヤ）も速達性に大きく関与します。ここでは、運行ダイヤの観点から速達性について考えます。



平井 力
Chikara Hirai
信号・情報技術研究部
運転システム研究室
室長
[専門分野] 数理モデル、
社会情報システム

運行ダイヤ

運行ダイヤとは、列車の運行計画を表現した図面（ダイヤグラム）を意味しますが、「ダイヤの乱れ」という言い方もあるように、列車運行そのものを指す場合もあります。「列車ダイヤ」、「鉄道ダイヤ」、または、単に「ダイヤ」と呼ぶこともあります。ここでは運行ダイヤと呼ぶことにします。ただし、図面としての運行ダイヤを明示的に指す場合には、ダイヤ図と言うこともあります。

簡単な運行ダイヤの例を図1に示します。横軸は時刻、縦軸は駅の位置を表します。この例では、駅Aから駅Eの5駅があり、概ね10:00から11:10までの運行ダイヤとなっています。それぞれの斜めの線が列車運行の計画であり「スジ」とも呼ばれます¹⁾。各駅間の所要時間は8分、駅停車時間はすべて2分と考えることにしましょう。例えば、列車1は10:00に駅Aを発車し、駅Dに10:28に到着した後、10:30に駅Dから駅Eに向けて発車します。このようなダイヤ図は、運行ダイヤを策定する際に用いられるだけでなく、この情報を必要とする各部門や

現業機関で共有されることになります。

利用者の動向

運行ダイヤの策定においては、各列車に見込まれる利用者数が考慮されません。車両の重さを計測する装置や目視などによって、列車に乗車している人数を、また、自動改札機データなどによって、ある駅から別の駅までの時間帯別利用者数を、ある程度の精度で知ることができます。沿線の企業や学校の状況や、花火大会といったイベントなどによる利用者数増減も考慮して日々の運行ダイヤは策定されます。

さて、利用者からのニーズ（※参照）として速達性を考慮する場合、利用者が乗る駅から行き先とする駅までの移動に要する時間が1つの尺度となります。これを旅行時間と呼ぶことにします。列車1が駅Aから発車した直後の10:00から、10:20に列車3が発車するまでの間に、1分間ごとに2人の利用者が列車に乗車するために駅Aのホームに現れたとしましょう。このうち1人は駅Dまで、1人は駅Eまで乗車するとします。特別な理由がなければ、これらの合計40名の利用者は

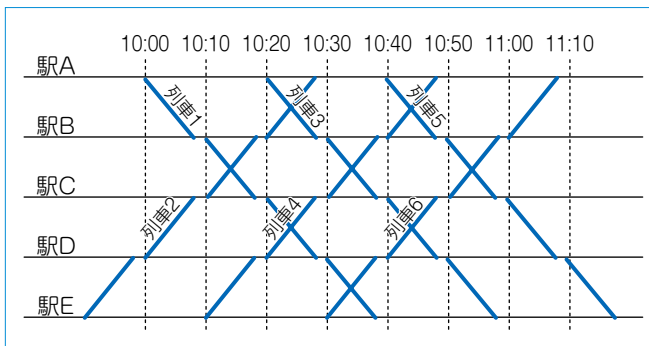


図1 運行ダイヤの例

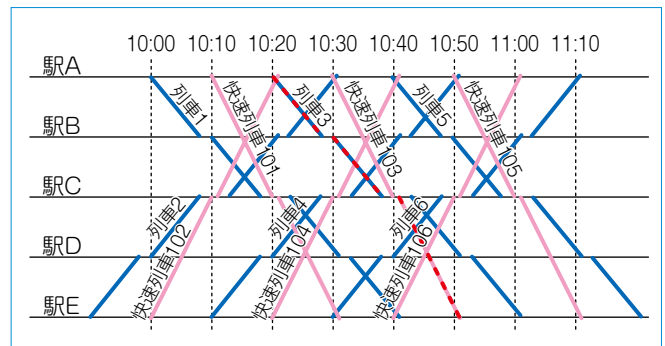


図2 快速列車設定案1(駅Cでの接続あり)

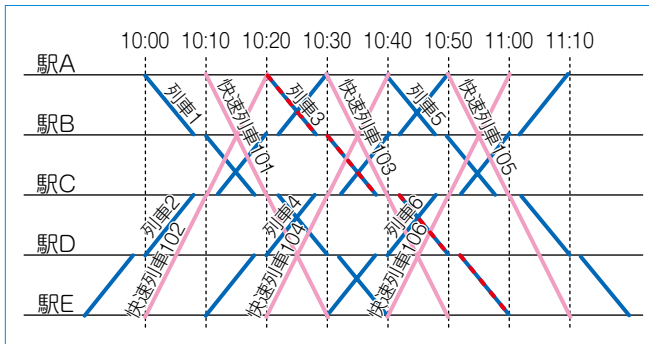


図3 快速列車設定案2(駅Cでの接続なし)

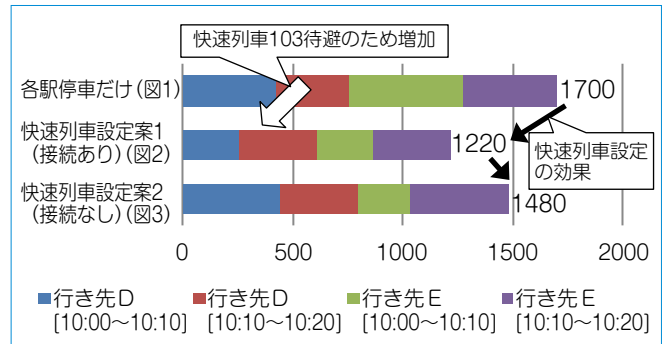


図4 駅Aから乗車する利用者の旅行時間

駅Aで列車3に乗り、それぞれの行き先で降車します。例えば、10:01に駅Aに現れた駅D行きの利用者は、駅Aで19分待ってから列車3に乗り、28分後に駅Dに到着します。待ち時間と乗車時間の和は47分となり、これが旅行時間となります。40名全員の旅行時間の総和をとると、この場合は1700(人・分)となります。これを総旅行時間と呼ぶことにします。

運行ダイヤによる速達性の例

ここで、速達性向上のために快速列車の設定を考えます。図1の列車はすべて各駅停車列車でしたが、快速列車

は駅Bと駅Dは通過するものとします。駅Cでは快速列車と各駅停車列車が接続し乗換可能とします。図2にこのときのダイヤ図の例を示します。快速列車は駅Aと駅C、駅Cと駅Eの間をいずれの方向も10分で走行し、駅Cでは1分停車とします。駅Cでは、各駅停車の到着後2分で快速列車は到着し、快速列車の発車後2分で各駅停車が発車します。この案を快速列車設定案1としましょう。駅Aで列車3に乗りした利用者は駅Cで快速列車103に乗り換えることでより早く駅Eに到着することができます。図2では、この経路を点線で示します。

同様の時間設定で、さらなる速達性の向上を図り、快速列車が駅Cも通過する場合を考えます。これを快速列車設定案2とし、図3にダイヤ図を示します。ただし、この場合、駅Aで列車3に乗りした利用者は駅Cで快速列車103に乗り換えることはできません。図2の場合と同様に、この経路を点線で示します。

図4に、各駅停車だけ(図1)、快速列車設定案1(図2)、快速列車設定案2(図3)のそれぞれについて、先に示した40名の旅行時間を計算した結果を示します。

快速列車設定案1(図2)において、さきほど同様に40名の総旅行時間を計算すると1220(人・分)となり、速達性が向上したと考えることができます。ただし、駅Aに10:10~10:20に現れる行き先Dの利用者は、駅Aから列車3を利用しますが、列車3は駅Cで快速列車103を待避するため、各駅停車だけ(図1)の場合よりも旅行時間

利用者からのニーズ

利用者にとって移動手段の1つである鉄道に速達性が求められることはもちろんですが、近年は正確性もさらに強く求められる傾向にあります。列車に乗りする前に、スマートフォンなどでその経路を検索するという行為は今ではあたりまえです。検索結果のとおり移動できることは鉄道の強みですが、ダイヤ乱れが発生すると、所定の運行ダイヤから得られる経路探索結果とは状況が異なってきます。リアルタイムな列車運行状況に基づいた情報提供へのニーズは高まっていくものと考えられます。

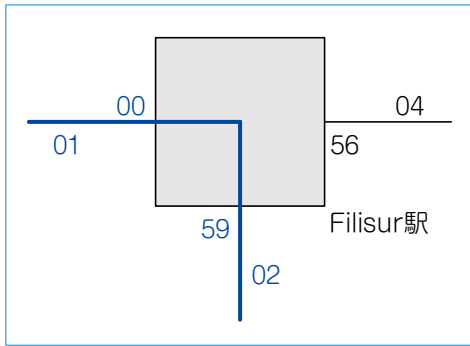


図5 駅での接続状況を示すダイヤ図の例

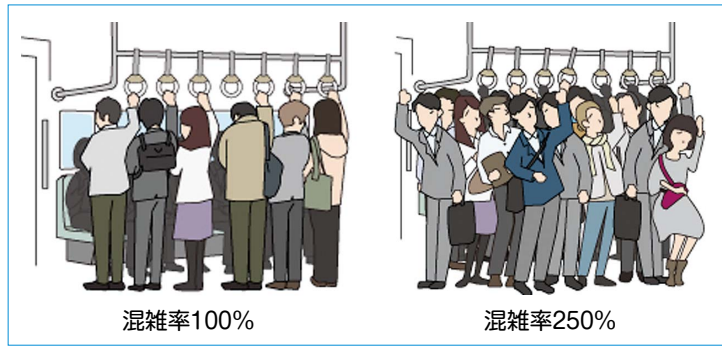


図6 混雑率の違い

が増加します。

快速列車設定案2(図3)では総旅行時間は1480(人・分)となります。快速列車の速達性を向上させたにも関わらず、総旅行時間は大きくなっています。駅Cで、快速列車と各駅停車間の乗り換えができなくなり、結果としては快速列車設定案1(図2)に比べると速達性が損なわれます。

これらは簡単な例ですが、全体の速達性の向上を検討するには、利用者の動向をしっかりと考慮する必要があります。なお、この計算結果は快速列車設定についての一般的な結論ではありません。利用者の現れ方によって、まったく異なる結果になることについても理解が必要です。

海外の事例

運行ダイヤに着目することで、利用者の速達性を高めている事例として、スイスの鉄道を挙げることができます²⁾。スイス国内では、各主要駅での接続を実現する運行ダイヤとなっており、これらの接続状況はネットグラフ(NETGRAPH)³⁾と呼ばれるダイヤ図での表現が可能となっています。図5はスイス東部の山間部にあるFilisurという駅の接続状況を描いています。正方形が駅を示し、各直線は運行路線を表します。正方形に近い側の数字が毎時の到着時刻、遠い側の数字が毎時

の発車時刻です。例えば、右から来る列車は毎時56分着で、下方向の02分発、左方向の01分発に乗り換えられます。左から来る列車は毎時00分着、下から来る列車は毎時59分着なので、いずれからでも、右への04分発に乗り換えることができます。

このような接続があらゆる駅で実現されており、バスやLRTとの接続も考慮されています。利用者は行き先までスムーズに乗り継ぐことができるので、乗換時間短縮による速達性向上が実現されていると言えるでしょう。このような運行ダイヤはIntegrated Clock-face Timetableと呼ばれています⁴⁾。

混雑率との関係

特に大都市圏の通勤鉄道利用者にとっては、速達性に加え、車内の混雑率も重要な関心事となります。図6に混雑100%と混雑率250%の違いを示します。混雑率100%は定員乗車であ

り、座席につくか、つり革につかまるか、ドア付近の柱につかまることができる状態です。一方、混雑率250%では、電車がゆれるたびに体が斜めになって身動きができず、手も動かさない状態となります⁵⁾。極端な比較ですが、これら2つの状態では、乗車時間が同じだったとしても、利用者が感じる不快感は異なることでしょう。

鉄道に関するプロジェクトを評価するために、混雑率が及ぼす不快感を時間に換算する混雑不効用関数が検討されています⁶⁾。図7にその関数を示します。横軸が混雑率(%)を示し、縦軸は混雑不効用の時間換算係数を示します。250%では約0.5となっていますので、例えば250%の混雑率の列車に30分間乗車した場合は、 $(30 \times 0.5 =)$ 15分多く乗車した場合と同様の不効用が生ずることになります。つまり、100%未満程度の混雑率で45分乗車した場合と同様の不効用が生ずるという解釈に

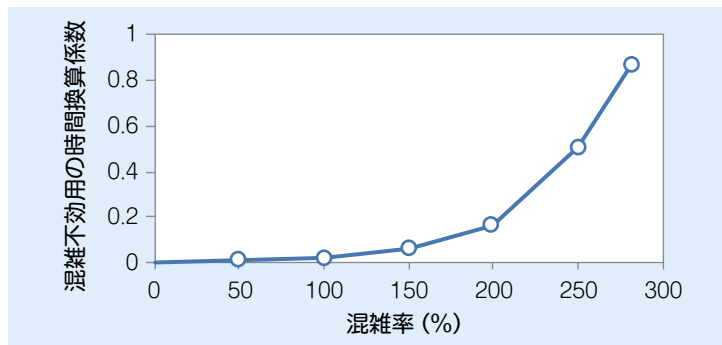


図7 混雑不効用の時間換算係数

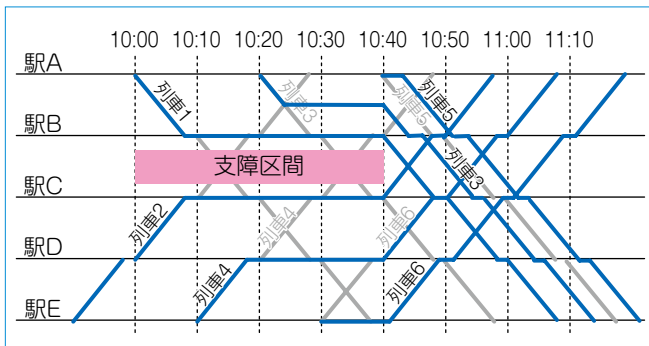


図8 ダイヤ乱れ

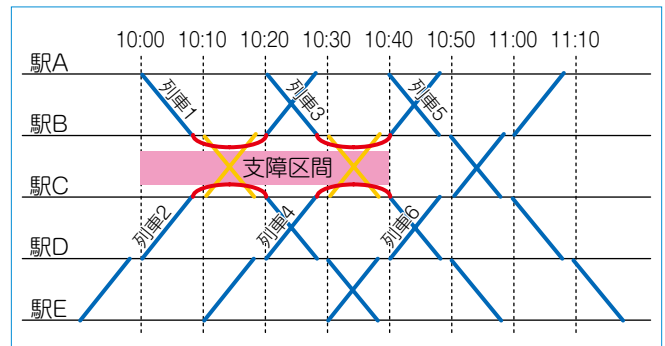


図9 運転整理

なります。このような関数を用いることで、混雑状況についても、速達性と並べて議論することが可能となります。

このような観点で運行ダイヤを評価する場合、シミュレーション計算が有効となります。利用者1人1人の動向をコンピューター内で詳細に表現することによって、混雑率や乗換による不効用を考慮した「速達性」を算出し、定量的な比較検討をすることもできます⁷⁾。

ダイヤ乱れ時の速達性

事故などの発生により運行ダイヤに乱れが生ずることがあります。乱れの規模にもよりますが、最近は列車を可能な限り運行させる方針をとることが多いようです。つまり、事故が発生している箇所以外の範囲での折返し運転などが積極的に実施されています。

図1の運行ダイヤにおいて、10時から10時40分まで、駅Bと駅Cの間で列車運行ができない場合を想定します。この区間を支障区間と呼ぶことにしましょう。図8は運転整理⁸⁾(参照)をしない場合の列車運行を予測したダイヤ

図です。列車1および列車2はいずれも支障区間の手前となる駅Bと駅Cでそれぞれ10時40分まで停車しており、それに伴って後続の各列車も遅れています。

図9は運転整理を実施し、列車を折返して運行させている状況を示します。円弧は列車の折返しを表し、駅Bでは列車1から列車2、列車3から列車4に折返しています。一方駅Cでは列車2から列車1、列車4から列車3に折返しています。図8と比べるとわかりますが、10:10から10:40頃の駅Aと駅Bの間、駅Cと駅Dの間での列車運行を確保しています。この事例も利用者の動向に依存しますが、少なくとも運転整理をしない場合と比較すれば、列車が動いている分だけ、多くの利用者が移動可能となっています。適切な運転整理は利用者の速達性確保にもつながります。

おわりに

鉄道は数多くの機能から構成されています。各機能の情報をネットワーク

で統合し、状況に応じたフレキシブルな列車運行を実現することで、運行ダイヤ設定の可能性は広がると考えられます。利用者の観点による速達性をさらに高められることでしょうか。将来の鉄道に求められる機能は、理想的な運行ダイヤに関する議論からも明らかになっていくのかもしれませんが。RRR

文献

- 1) 富井規雄(編著): 鉄道ダイヤのつくりかた, オーム社, 2012
- 2) 大内雅博: 時刻表に見るスイスの鉄道, 交通新聞社, 2009
- 3) <http://www.sma-partner.ch/images/Downloads/NGCH-2015.pdf>
- 4) Felix Laube, Marco Lüthi: スイス連邦鉄道における接続を重視した新しい運行管理手法, オペレーションズ・リサーチ, Vol.53, No.8, pp.458-463, 2008
- 5) 国土交通省ページ: <http://www.mlit.go.jp/common/000225773.pdf>
- 6) 国土交通省鉄道局, 鉄道プロジェクトの評価マニュアル(2012年改訂版), http://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_fr1_000040.html
- 7) 國松武俊, 平井力, 富井規雄: 列車運行・旅客行動シミュレーションシステムの開発, 鉄道総研報告, Vol.21, No.4, pp.5-10, 2007
- 8) 電気学会・鉄道における運行計画・運行管理業務高度化に関する調査専門委員会(編): 鉄道ダイヤ回復の技術, オーム社, 2010

運転整理

ダイヤ乱れが発生すると、列車運行を正常な状態に戻すため、運行ダイヤに一連の変更が加えられます。これは運転整理と呼ばれ、指令室に常勤する指令員の意思決定に基づいて実施されます。運転整理においては、運行ダイヤだけではなく、車両や乗務員のスケジュール変更も必要となります。運行ダイヤをできる限り早く回復することに加え、利用者への迅速かつ正確な案内も重要です。