

# 遅延の影響度・影響人数に基づく 遅延対策箇所検討手法

國松 武俊\* 国崎 愛子\*

Evaluation Methods of Measures Against Delay based on Propagation Score and Affected Passengers

Taketoshi KUNIMATSU Aiko KUNISAKI

In recent years, train delay is one of the most serious problems in rail transportations in Japan. Although timetable planners try to improve punctuality by modifying a current timetable, there are no clues as to increase of trains or stations running time/ dwell time supplements should be increased. In this research, we developed an evaluation method of train delay based on its propagation range. We also proposed an evaluation method from the viewpoints of passengers. We applied these methods to the timetable change in existing rail lines and confirmed that the proposed methods can pick up critical trains for which taking measures are effective for improving overall punctuality of the railway lines.

キーワード：遅延波及，定時性，旅客流動，運転時間余裕，停車時間余裕

## 1. はじめに

近年、各鉄道路線において、列車遅延が日々、慢性的に発生し、多くの列車に波及することが課題となっている。特に、複数路線に跨る直通運転を行っている路線では、ある路線でひとたび発生した遅延が、広範囲・長時間にわたり継続するような状況も発生している。このような広域型の遅延は、多くの旅客に迷惑をかけるため、優先的に遅延を解消、縮小する必要がある。

鉄道事業者でも、日々の運行状況を調査、分析し、ダイヤ改正で余裕時分を付加する等の遅延対策を行うことで、ダイヤの定時性向上に努めている。現在、運行状況の分析には、主に運行管理システムに日々蓄積される実績遅延データが活用されている。実績遅延データに対する従来の分析手法として、一定期間の列車遅延の平均値や中央値を算出し、ダイヤ図の列車スジを着色する「色付きダイヤ図」が使用されている。これにより、慢性的に遅延量が多い箇所（列車や駅の着時点または発時点）は判別可能である。しかし、具体的にどこに余裕時分を付加する等の遅延対策を講ずるのが効果的・効率的か、といった遅延対策の立案のための手掛かりを得るのは困難という課題がある。また、遅延量は列車単位で集約されており、その列車遅延により、具体的に何人の旅客が影響を受けたのか、旅客への影響の程度が明示的に反映されない課題もある。

そこで本研究ではまず、遅延量では無く、遅延の「波及範囲」に着目し、ある箇所の遅延が、何箇所の列車や

駅に波及し、遅延の原因となったのか、波及先の箇所数を「影響度」として評価する手法を構築した。これは、多くの列車や駅に遅延を波及させている箇所に、遅延対策を優先的に打てば、広域型の遅延を効果的、効率的に解消、または縮小出来るという考え方に基づいている。次に、ある箇所の遅延により、目的駅への到着が当初より遅れた旅客の人数を「影響人数」として評価する手法を構築した。これは、自動改札機等で取得可能な旅客データを使用し、各旅客について、仮に遅延が無かった場合の列車乗継経路と目的駅到着時刻、および遅延が発生した当日の列車乗継経路と目的駅到着時刻を推定し、それらを比較することで、各箇所の列車遅延により目的駅到着が遅れた旅客を特定し、人数を推定するものである。

構築した2つの分析手法を、単線／複線、通勤路線／都市間特急が走る幹線路線など、性格の異なる3路線に適用し、影響度と影響人数を算出した。影響度や影響人数が大きく計算された個別の列車や駅の情報を、ダイヤ作成担当者に提示したところ、担当者自身も、これらの列車や駅に遅延対策を実施すべきと考えていたことが判明した。さらに、ダイヤ改正において、これらの箇所に余裕時分を付加する時刻変更を施した結果、余裕時分を付与した時間帯、周辺列車の遅延が、ダイヤ改正後には大きく縮小したことを確認した。

以下、2章では、輸送計画における遅延対策業務の概要と関連研究について述べる。提案手法のうち、影響度評価手法を3章で、影響人数評価手法を4章で述べる。5章では、実路線のダイヤ改正への適用結果を示し、6章で結論をまとめる。

\* 信号技術研究部 運転システム研究室

## 2. 列車遅延と輸送計画業務

### 2.1 列車遅延

列車遅延は一般的に、人身事故、信号トラブル等に起因する数十分程度以上の大規模遅延と、混雑による乗降時間の伸び、荷物挟まり等に起因し、比較的頻繁に発生する数分程度の小規模遅延に分類される<sup>1)</sup>。後者の小規模遅延に対しては、ダイヤ改正時に計画ダイヤに余裕時分を付加する等の対策が取られることが多い。本研究では、この小規模遅延への対策に資する分析手法を検討する。

小規模遅延は、非常に広範囲に波及する場合がある。事例として、図1のように、ある枝線Pの列車の駅A到着が遅延し、その結果、平面交差支障により、基幹路線Qの下り普通列車の駅A発車も遅延するケースがある。この普通列車の遅延は、特急を待避する駅Cで下りの特急にも波及するほか、特急が直通運転する単線路線Rにも遅延を持ち込み、駅Eでの行き違い待ちにより、逆方向の上り特急にも遅延を波及させる。そして、上り特急により、基幹路線Qに再度、遅延が波及し、特急を待避する上り普通列車にも遅延が波及する。このケースでは、遅延量は2～5分であるものの、枝線Pでの一次遅延から約4時間経過しても、二次遅延が継続する。このような広域型の遅延波及に対策を打つためには、一次遅延箇所の特定と、そこからの波及範囲の把握が重要である。

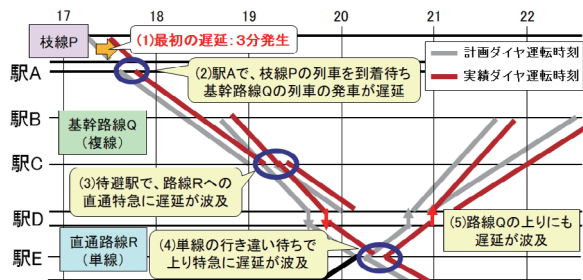


図1 広域型の遅延波及現象

### 2.2 輸送計画業務における遅延対策

遅延対策の検討は、輸送計画の担当者により行われるが、多大な労力を要している。その理由は、①遅延の把握、②原因の分析、③対策の立案、④対策効果の推定、⑤ダイヤ改正後の効果の検証の5段階の業務を、全て担当者が行うためである。特に③では「どの列車・駅のダイヤをどう変更すれば、全体の遅延の縮小に効果的か」を見極め、判断することになる。これには、担当者の経験が大きく影響し、ノウハウが必要なだけでなく、遅延対策案の妥当性の客観的評価といった課題もある。また、余裕時分の付加は、場合により速達性や列車本数に悪影響を及ぼすため、必要以上の付加は望ましくない。

現状、担当者は列車運行状況を何度も現地調査し、複数の対策案の得失を定性的に比較することで遅延対策を決定しており、業務の効率性にも課題がある。

### 2.3 関連研究

小規模遅延に対する分析手法は、一定期間内の遅延の傾向を可視化するクロマティックダイヤ<sup>2)</sup>、遅延の伝経路を相関ルールで抽出する手法<sup>3)</sup>などが提案されている。これらは、遅延対策業務のうち①遅延の把握、②原因の分析、④対策効果の推定、⑤対策後の効果検証のいずれかを支援する。しかし、③対策の立案の支援には十分では無い。すなわち、現状の遅延状況が把握出来たところで、「どの列車や駅のダイヤをどう変更すべきか」「他と比べ、なぜこの箇所への対策が効果的と言えるのか」といった、対策箇所の選定や妥当性に関する示唆が得られない課題がある。それに加え、列車単位で遅延が集約されており、遅延により具体的に何人の旅客が影響を受けたかが、定量的に示されない課題もある。

一方で、遅延による旅客への影響を不効用値として、他路線との乗継の失敗による影響を含めて旅客の視点で評価する方法<sup>4)</sup>や、ICカードデータを利用し、目的駅到着遅延が生じた旅客の総数や総遅延時間で送達障害による影響を評価する方法<sup>5)</sup>も提案されている。これらの研究は、遅延による影響を、列車では無く旅客の視点で分析し、鉄道を利用する旅客にどの程度の影響があるかに基づいたものである。しかし、当日の列車運行トータルとしての影響の評価であり、個別箇所の列車や駅の遅延が、どの程度影響したかは不明で、上記③対策の立案の支援には十分では無い。すなわち、多数の遅延箇所のうち、どこを優先的に解消するのが効果的か、遅延対策の立案と実施の手掛かりが得られない課題がある。

### 2.4 研究の目的

以上を踏まえ、本研究では次の要件を満たす評価手法を構築する。

- ・複数日の実績遅延データから定量的に評価可能
- ・評価値が表す遅延状況を、直感的に理解可能
- ・遅延の波及範囲を把握可能
- ・遅延対策実施時の遅延縮小効果を把握可能
- ・遅延により影響を受けた旅客数を把握可能

## 3. 遅延の影響度評価手法

### 3.1 目的と影響度の考え方

本章では、余裕時分の付加などの遅延対策が、路線全体の列車遅延の縮小に効果のある列車や駅を抽出することを目的に、遅延量に代わり、遅延の波及範囲の大きさを「影響度」として評価する手法について述べる。具体

的には、ある列車・駅で生じた遅延が、同一列車の次の駅以降や、同一駅の後続列車などに波及した箇所数を、影響度として定義する。例えば、図2に示す通り、列車1MのB駅で5分の遅延①が発生し、それが他の28箇所の列車や駅に波及している場合には、遅延①の影響度は28となる。一方、別の列車9MのB駅で7分の遅延②が発生し、それが他の12箇所に波及している場合には、影響度は12となる。この場合、遅延量では遅延②の方が①より大きいものの、影響度では遅延②より①の方が大きい。すなわち遅延①は、広範囲に波及する観点で、②よりも路線全体の定時性に悪影響を与えている。また、仮に遅延①の遅延を解消した場合、①以外に28箇所の遅延が解消出来るのに対し、遅延②を解消した場合、②以外に12箇所の遅延解消に留まることもわかる。よって、路線全体の遅延の箇所数を効率的に減らすためには、遅延対策を②の箇所に実施するよりも、①の箇所に実施した方が効果的と考えられる。このように、影響度の算出により、遅延の波及範囲を定量化することで、遅延対策が効果的な箇所を抽出することができる。

鉄道事業者の輸送計画の実務でも、多くの列車や駅に遅延を波及させている箇所を優先して、遅延対策を打てば、その箇所だけでなく波及先箇所の遅延も改善するため、路線全体の遅延を効果的、効率的に改善出来るというノウハウがある。したがって、影響度に基づく列車遅延評価は、遅延対策の実務に沿った手法であると言える。

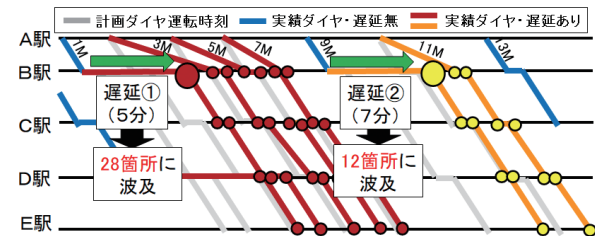


図2 遅延の「影響度」の定義

### 3.2 影響度の算出手順

影響度の算出手順は以下の通りである。まず、対象路線の計画ダイヤデータ、実績遅延データ（各日における、各列車・駅の着遅延／発遅延を記録したもの）を準備する。次に、各分析対象日について、担当者が設定した閾値を上回る遅延量となる箇所を特定する。また、各対象日の各遅延箇所について、その遅延の波及範囲を次節に記載の方法で特定する。そして、波及範囲内の遅延箇所数をカウントすることにより、その遅延箇所の波及先箇所数を当日の影響度として算出する。最後に、計画ダイヤの各列車と駅の着時点または発時点を対象に、全分析対象日の波及先箇所数の中央値を算出し、これを影響度の中央値とする。ここで、当該箇所が遅延が発生してい

ない日は、波及先箇所数を0として計算する。

なお、人身事故や急病人対応等、トラブルによるダイヤ乱れ発生日には、遅延の波及範囲が大きくなり、影響度の値も平常時より相応に大きくなる。今回、平常運転時の小規模遅延対策が目的であるため、トラブルに起因した大規模遅延時の影響度を含めるのは適切で無いと考えられる。一方で、トラブルは様々な時間帯、箇所で発生するため、時間帯、影響が局所的なものを含め、対象路線でトラブルが発生した日の実績遅延データを全て分析対象から除外してしまうと、分析可能な日がほとんど無くなるという問題も発生する。そこで、本研究においては、各遅延箇所に対し、トラブル等で影響度が大きくなったケースを適切かつ効率的に除外するため、複数日の評価結果の集約に、平均値では無く中央値を採用する。

### 3.3 遅延の波及範囲の特定手法

遅延の波及範囲は、以下の方法に基づき特定する。まず、ある遅延箇所の「下流側の隣接箇所」に、当該箇所と遅延量が同一、またはそれ以上となる他の遅延箇所がある場合に、当該の遅延箇所同士を「遅延の波及箇所」として判定する。ここで「下流側の隣接箇所」とは、以下の条件にあてはまる箇所を示す。なお  $T_{min}$  は、対象路線の最小運転間隔の実績値に相当するもので、信号設計上の最小運転間隔（理論値）に、実際の運転操作によるゆらぎ分を加味して設定する。遅延が波及している場合には、先行列車の到着または発車後、すみやかに後続列車が到着または発車するためである。

- 遅延箇所が、列車の駅到着時点の場合
  - ・当該列車の当駅発車時点の箇所
  - ・当該列車の後続列車の、当駅到着時点の箇所（当該列車到着～後続列車到着まで  $T_{min}$  分以内の場合のみ）
- 遅延箇所が、列車の駅発車時点の場合
  - ・当該列車の次駅到着時点の箇所
  - ・当該列車の当駅発車後、次に当駅の同一番線に到着する後続列車の、当駅到着時点の箇所（当該列車発車～当該列車到着まで  $T_{min}$  分以内の場合のみ）
  - ・当該列車の後続列車の、当駅発車時点の箇所（当該列車発車～後続列車発車まで  $T_{min}$  分以内の場合のみ）
- 遅延箇所が、単線区間の列車の駅到着時点の場合
  - ・当該列車の到着後、単線区間に進入する対向列車の当駅発車時点の箇所（当該列車到着～後続列車発車まで  $T_{min}$  分以内の場合のみ）

例えば、図2において、 $T_{min}$  を3分として、遅延箇所①（列車1MのB駅発）の遅延が5分で、1MのC駅到着時の遅延が4分の場合には、①の遅延が1MのC駅着に波及したと判定する。同様に、B駅において、後

続列車 3M（1M と同一の番線に、1M 発車の 2 分後に到着）の B 駅到着時の遅延が 3 分の場合には、1M 発車から 3M 到着まで 2 分で、これが  $T_{\min}$  より小さいため、①の遅延が 3M の B 駅着に波及したと判定する。

次に、ある遅延箇所  $i$  から開始し、遅延の波及箇所と判定された隣接箇所を順に辿ることで、到達可能な全ての遅延箇所を求める。この到達可能な遅延箇所の集合  $E(i)$

( $i$ ) を遅延箇所  $i$  の波及範囲と呼び、 $E(i)$  に含まれる箇所数が、当日の遅延箇所  $i$  の波及先箇所数、すなわち、影響度となる。そして、前節で述べたように、全分析対象日における箇所  $i$  の波及先箇所数の中央値が、箇所  $i$  の影響度の中央値となる。

## 4. 遅延の影響人数評価手法

### 4.1 目的と影響人数の考え方

本章では、列車遅延による影響の大きさを、利用者である旅客の視点から評価する目的で、遅延の影響人数を評価する手法について述べる。基本的な考え方として、影響人数では「遅延により目的駅への到着が遅れた旅客の人数」を算出する。3 章の影響度では、列車と駅の組合せの数により、遅延の波及範囲の大きさを評価している。しかし、遅延列車の乗車旅客数や、実際に旅客何人の到着遅れに繋がったかが不明であり、その結果、ラッシュ時間帯の中心部の駅の、混雑の激しい列車遅延と、乗車旅客がほとんどいない早朝の郊外での列車遅延が同等に評価され、旅客数が多い時間帯を優先した遅延対策の立案に繋がらない課題があった。これを踏まえ、自動改札機等で取得可能な旅客データを活用することで、列車遅延による影響を受けた旅客を特定、集計し、旅客の視点で評価するのが、影響人数の考え方である。

### 4.2 影響人数の算出手順

影響人数の算出手順は、以下の通りである<sup>6)</sup>。必要なデータとして、3.2 節に記載のデータと、自動改札機等で取得可能な旅客データを準備する。旅客データは、分析対象日の毎日では無く、当該路線で標準的な利用状況の日、一日分のデータを用意する。

まず、3.2 節の影響度と同様の手順で、各分析対象日に対し、遅延箇所の特定と、遅延の波及範囲の特定を行う。次に、旅客データと計画ダイヤデータを利用し、仮に列車遅延が全く発生しなかった場合における、旅客 1 人 1 人の列車乗継経路（以下「計画の乗継」）を推定する。あわせて、同一の旅客データ、計画ダイヤデータと、分析対象日の実績遅延データを利用して、列車遅延が生じた当日の、旅客 1 人 1 人の列車乗継経路（以下「実績の乗継」）を推定する。その次に、列車遅延により、目的駅到着が遅れた旅客を特定する。

具体的には、各旅客について、計画の乗継と実績の乗継を比較し、計画の乗継の目的駅到着時刻よりも実績の乗継の到着時刻の方が遅い場合には、目的駅の到着が遅延した旅客（以下「到着遅延旅客」）と判定する。例えば、図 3 において、仮に遅延が無い場合に、A 駅から快速 1M に乗車し B 駅に向かう旅客 P と、A 駅から快速 1M に乗車し、さらに B 駅で普通 3M に乗換え C 駅に向かう旅客 Q が存在する場合を考える。分析対象日当日、快速 1M のみ 5 分の遅延が発生し、普通 3M に遅延が発生しなかった場合、旅客 P は B 駅に計画より 5 分遅れて到着する。一方で旅客 Q は、快速 1M は遅延したものの、B 駅で普通 3M に乗り換えられ、3M には遅延が発生しなかったことから、C 駅には当初の予定通りの時刻に到着している。このような場合には、快速 1M の遅延により影響を受け、到着遅延が生じた旅客は、旅客 P のみが該当し、旅客 Q は該当しない、という判定となる。

その後、各到着遅延旅客を、次節に記載の手法により、列車遅延の箇所と対応付ける。そして、当日の各遅延箇所とその遅延波及範囲内に対応付いている到着遅延旅客数を集計し、それを当日の影響人数として算出する。最後に、計画ダイヤの各列車と駅の着時点または発時点を対象に、全分析対象日の影響人数の中央値を算出する。ここで、当該箇所が遅延が発生していない日は、当日の影響人数を 0 人とし計算する。

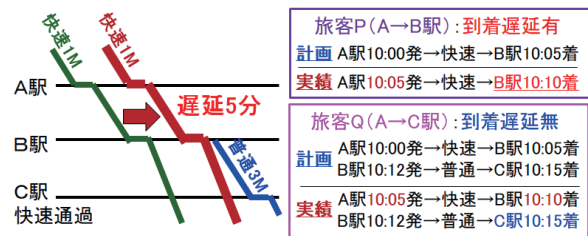


図 3 影響人数算出のための到着遅延旅客の特定

### 4.3 列車遅延と到着遅延旅客の対応付け手法

前節の到着遅延旅客の列車遅延箇所への対応付けは、各旅客の計画の乗継、または実績の乗継が、以下のケースに該当する場合に行う。これは、旅客の到着遅延は、途中駅での乗継に失敗するケースを除き、降車時の列車の遅延に起因するという性質に基づくものである。

- ・計画の乗継に含まれる各列車について、当該旅客が列車を降りる駅の着時点で当日、遅延が生じた場合、当該列車・駅の着時点で当該旅客に対応付ける。ただし、当日の他の列車の遅延により、乗換駅で乗継が出来なくなる列車に対しては、対応付けを行わない。

- ・実績の乗継に含まれる各列車について、当該旅客が列車を降りる駅の着時点で当日、遅延が生じた場合、当該列車・駅の着時点で当該旅客に対応付ける。

## 5. 実路線への適用

### 5.1 対象路線の概要

大部分が複線で、都市間の特急列車、都市圏輸送の快速、普通列車が運行される路線を対象に、実際に行われたダイヤ改正の前後、それぞれの遅延データに対して分析し、提案手法の妥当性と有用性を検証する。

### 5.2 使用データと分析条件

対象路線のダイヤ改正前、改正後それぞれの計画ダイヤデータと、平日約1ヶ月間の実績遅延データを使用する。実績遅延データは1分単位で着遅延、発遅延を記録したものである。また、影響度の算出にあたっては、遅延が1分以上発生した列車、駅、着時点または発時点が遅延箇所とし、影響人数の算出にあたっては、目的駅に1分以上遅延して到着した旅客を計上する。さらに、 $T_{min}$ は対象路線の最小運転間隔を踏まえ、3分に設定する。

### 5.3 色付きダイヤ図による分析結果（改正前）

ダイヤ改正前を対象に、従来手法の遅延量に基づく色付きダイヤ図を作成した結果を図4に示す。列車スジは、対象期間内の各列車、各駅の発遅延の中央値に応じ色分けされ、濃い青色は遅延が無い（0分）列車を、濃い赤色は遅延が大きい列車を表し、緑色はその中間の遅延量を表す。一般的に、多くの列車や駅に慢性的な遅延が生じている。一方で、この多数箇所の遅延を効率的に解消させるために、具体的にどの列車や駅に対策を行うのが良いのか、遅延対策の立案に役立つ知見を得るのは難しい。

一見すると、図4中の黒丸内のような、遅延量が多い赤線または橙線の列車スジに対策を講じるのが良さそうだと考えられる。しかし、これらの遅延は多くの分析対象日において、ここで初めて発生した遅延では無い。赤丸内の箇所で発生した別の遅延が、波及、拡大した結果である。この場合、発生源である赤丸内の箇所の遅延を解消する対策を講じる方が、その遅延波及先である黒丸内の箇所の遅延も同時に解消出来るため、効率的である。そのような、遅延の波及関係を考慮して、効率の良い対策箇所を示す分析とはなっていない問題点がある。

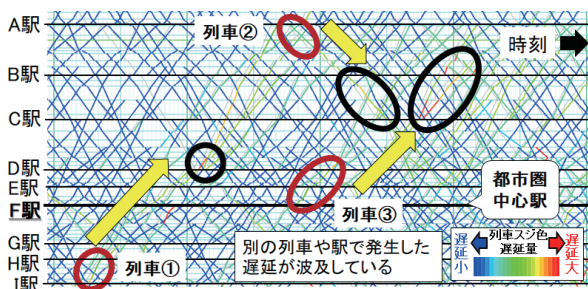


図4 遅延量色付きダイヤ図による分析（改正前）

### 5.4 影響度による分析結果

次に、対象路線のダイヤ改正前のデータを用い、各列車や駅の影響度の中央値を算出した。各列車、各駅発時点の影響度に応じ、色付きダイヤを作成した（図5）。

図4、図5より、影響度を算出することで、多くの遅延箇所から、他の箇所に遅延を波及させやすい列車や駅が容易に特定出来ることがわかる。特に、図4の赤丸内の箇所が、図5で明確に特定され、これらの箇所の遅延対策により、遅延が解消出来れば、その波及先も含む、多くの箇所の遅延縮小、解消に繋がると考えられる。

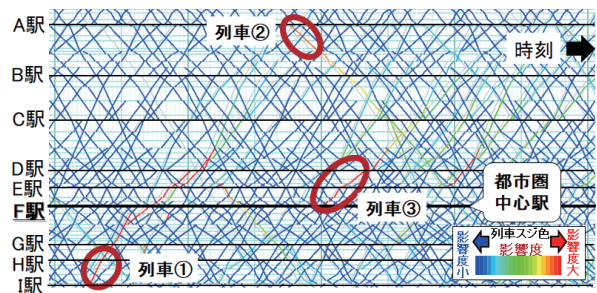


図5 影響度色付きダイヤ図による分析（改正前）

### 5.5 影響人数による分析結果

対象路線のダイヤ改正前のデータと、対象路線の自動改札機から取得された旅客データを用い、各列車や駅の影響人数の中央値を算出した。各列車、各駅発時点の影響人数に応じ、色付きダイヤを作成した（図6）。

図4、図5、図6を比較すると、影響人数の比較的大きな列車、区間は、影響度よりもさらに限定的になる。具体的には、列車①、列車③の都市圏中心駅F駅周辺や、列車②の始発駅A駅周辺の列車スジが赤色、橙色、または緑色で着色された。このうち、列車①と③については、都市圏中心駅であるF駅周辺の区間は、利用者数が多いためであると考えられる。これは、他の駅間では無く、このF駅周辺での列車①、③の遅延を解消した方が、F駅を発着する多くの列車の遅延解消に繋がり、F駅から乗車する多くの旅客の目的駅到着遅延の解消に繋がることを示唆している。

一方で、列車②のA駅発時点については、A駅→B駅、またはC駅への一定数の旅客の目的駅到着遅延に繋がっている。さらに、この遅延がF駅→I駅間を走る複数列車の遅延に波及し、F駅からこれらの列車に乗車する多くの旅客の目的駅到着遅延に繋がることが、影響人数が高くなる原因である。

これらのうち、列車①と②は、この路線のダイヤ作成担当者も、本分析結果の提示前から課題と認識していた。したがって、影響度、影響人数により、遅延対策が必要な列車が適切に抽出出来ることを確認した。

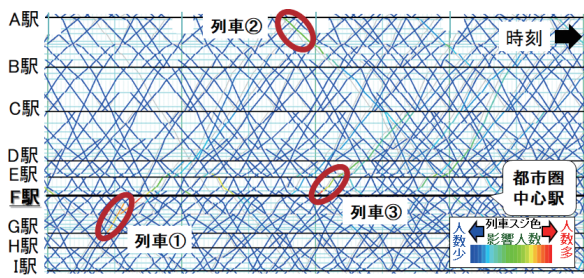


図6 影響人数色付きダイヤ図による分析（改正前）

### 5.6 分析結果のダイヤ改正案作成への活用

前節の分析結果を踏まえ、対象路線のダイヤ改正案の作成において、以下の遅延対策が実施された。まず、列車①については、I 駅到着前の他路線内での遅延が発端となることから、他路線内でのダイヤを見直し、I 駅到着時点での遅延の低減を図った。また、列車②については、A 駅に到着する別路線の列車が遅延した場合に、平面交差支障により列車②の A 駅発車が遅延しやすいことから、A 駅→B 駅間で混雑により遅延が拡大しやすいことから、A 駅の発車番線の変更と、A 駅→B 駅間に余裕時分を付加する変更が行われた。

ダイヤ改正後における、平日1ヵ月間の実績遅延データを用い、遅延量の中央値を算出し、遅延量色付きダイヤ図を作成したものを図7に示す。図4、図7を比較すると、列車①および②の遅延はほぼ解消し、これらの列車から波及していた遅延も解消していることがわかる。これは、遅延対策による効果が発揮されたと言える。一方、遅延対策を実施していない列車③については、遅延量は低下しながらも、多少の遅延が残っており、C 駅付近では後続列車への波及も見られる。

なお、ダイヤ改正後には、新型コロナウイルス感染症拡大等の影響により、利用状況が大きく変化している。しかし今回、遅延対策を実施した列車①および②と、対策未実施の列車③で、改正後の遅延状況に相違が見られたことから、提案手法の影響度、影響人数により抽出された箇所への遅延対策は、一定の効果があったと言える。以上より、提案手法を用いた遅延対策実施の妥当性、有用性が確認された。

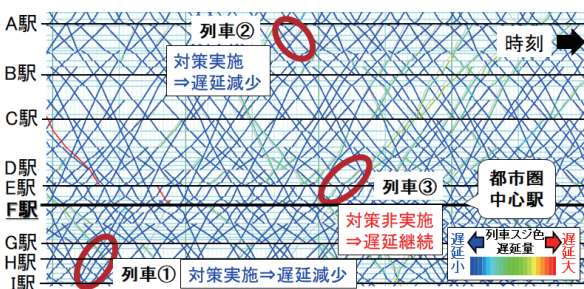


図7 遅延量色付きダイヤ図による分析（改正後）

## 6. まとめ

本研究では、鉄道事業者が、列車運行の定時性向上のためのダイヤ改正等における遅延対策の立案を効率的かつ効果的に実施可能とするため、影響度、影響人数の2つの評価尺度と、それらを用いた分析手法を提案した。影響度は、ある箇所の遅延が、その先、何箇所の遅延に波及しているか、遅延の波及範囲の大きさを表す指標で、広範囲に波及しやすい遅延を優先的に解消するという、鉄道事業者での現状の遅延対策の効果を定量的に示す指標である。一方で、影響人数は、実績遅延データに加え旅客データも使用し、遅延により目的駅への到着遅延が生じた旅客人数を指標とするものであり、遅延によって影響を被る利用者の視点に基づいた評価指標である。

影響度、影響人数ともに、実路線の遅延データに適用し、ダイヤ作成担当者が課題と認識している列車や駅が抽出されることを確認した。さらに、ダイヤ改正後の遅延データと比較し、遅延対策箇所における遅延が実際に解消したことが確認でき、影響度や影響人数による分析の妥当性、有用性を確認した。なお、本稿で紹介した路線以外でも、単線と複線が混在する都市間輸送路線や、単線の通勤路線など、3つの路線で提案手法を適用し、その妥当性と有用性を確認している。

今後は、遅延の波及範囲を特定する手法や、利用者の視点に基づき評価するという考え方を拡張し、ポスト・コロナの鉄道事業環境に応じた、様々な施策の評価にも展開したいと考えている。具体的には、ダイヤ乱れ時の運転整理の評価手法や、列車減便時の旅客への影響評価等に取り組んでいく予定である。

## 文献

- 1) 国土交通省：東京圏における今後の都市鉄道のあり方について、交通政策審議会答申第198号、2016
- 2) 富井規雄：運行実績データに基づく列車の遅延対策、情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム DICOM2017、2017
- 3) 河野重美、富井規雄：相関ルールを用いた遅延伝搬経路の推定、平成29年電気学会全国大会論文集、2017
- 4) 武内陽子、富井規雄、平井力：列車ダイヤの頑健性評価手法、鉄道総研報告、Vol.21, No.4, pp.11-16, 2007
- 5) 角田史記、加藤学、大塚理恵子、助田浩子、大関一博：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、Vol.6, No.3, pp.187-196, 2013
- 6) 國松武俊、国崎愛子、中挟晃介：旅客への影響人数の観点による列車遅延データ分析手法、電学論D、Vol.142, No.5, pp.418-427, 2022