

# 都市鉄道の運行ダイヤ過密化に伴う 列車遅延の波及に関する研究

平成20年11月13日 運輸政策研究機構 大会議室

1. 講師———**仮屋崎圭司** (財)運輸政策研究機構運輸政策研究所研究員2. コメンテーター——**岩倉成志** 芝浦工業大学教授3. 司会———**森地 茂** (財)運輸政策研究機構運輸政策研究所長

## ■ 講演の概要

### 1— 首都圏における遅延の現状

#### 1.1 輸送障害と短時間の遅延

首都圏における輸送障害の件数は、近年増加する傾向にある。輸送障害とは30分(旅客列車以外は1時間)以上の遅延を生じた場合に鉄道事業者から地方運輸局長へ報告される鉄道事故統計項目の一つであるが、これに列車運転事故や事故回避のための安全確認により発生した遅延の件数を合計すると、平成17年度は1,176件であった。これは1日当たり3.2件の輸送障害が発生したことになる。

一方、近年の新たな問題として、輸送障害に至らない短時間の定常的な遅延がある。朝ラッシュ時の混雑に起因する遅れである。毎朝の通勤で、車内混雑と運行遅延の二重のストレスを感じている方も多いのではないだろうか。しかし、このような短時間の遅延に関する統計的なデータは存在しておらず、実態

がよく分かっていない状況にある。

短時間の遅延について、公表されている数少ない情報の一つに、各鉄道事業者が発行する遅延証明書がある。インターネットで各事業者のホームページにアクセスすると、どの事業者においても、トップ画面から遅延証明書の発行画面へとリンクされている。それだけ運行遅延が日常的になっているということかもしれない。

#### 1.2 遅延証明書の発行履歴

遅延証明書の発行基準は事業者により様々であり、対象となる遅延時間(5分以上又は10分以上)や1日の発行回数(朝ラッシュ時のみ、3回/日、2回/日)も事業者毎に異なる。そこで今回は、首都圏の中心部を運行し、他事業者と複数の路線において相互直通運転を実施している東京地下鉄株式会社(以下、東京メトロ)の遅延証明書の発行履歴を集計し、首都圏における遅延の現状について傾向を把握する。

東京メトロは、朝ラッシュ時、日中、帰宅ラッシュ時の3回/日、5分以上の遅延に対して証明書を発行している。東京メトロ9路線において今年9月~10月の2ヵ月間の集計では、発行された遅延証明書の件数は676件、1日当たり平均11.1件であった。

発行時間は始発から朝10時までの通勤時間帯に約45%が集中し、通勤利用者が少ない土・日曜日は平日の3割程度と発行件数が減少する。そこで、平日、朝の通勤時間帯に着目し、路線毎に発行件数をみると、半数以上の路線が7割以上の割合で遅延証明書を発行し、なかでも丸ノ内線、半蔵門線、日比谷線など約2分間隔で運行している路線においてはほぼ毎日、発行していることが分かった。これらの路線は混雑率が依然として高く、それを緩和するための高頻度運行であるが、その反面、余裕時間が少ない過密な運行ダイヤとなっており、定時性の確保が困難となっている。

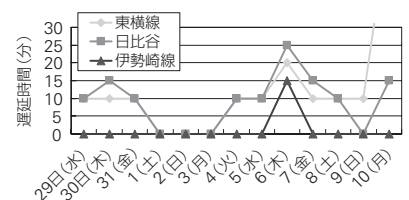
また、このような路線の多くは相互直通運転を実施している。図-1は相互直通路線である東急東横線、東京メトロ日比谷線、東武伊勢崎線の遅延証明書の発行履歴を示している。図から東横線の遅延が日比谷線に波及し、また伊勢



講師：仮屋崎圭司



コメンテーター：岩倉成志



■図-1 遅延証明書の発行履歴

崎線で発生した遅延が日比谷線と東横線それぞれに波及していることがうかがえる。東京メトロ千代田線と小田急小田原線(下り)など他の相互直通運転路線においても同様な傾向を確認することができた。つまり、ある一つの路線で発生した遅延が、相互直通運転の実施により、郊外部から都心部へ、また都心部から郊外部へと双方に波及し、その影響範囲が事業者間を越えて広域化していることが分かる。

### 1.3 鉄道ネットワークと遅延

首都圏の鉄道輸送は未だに混雑率180%を越える路線が多く存在し、それらはいずれも運行間隔2~3分の高頻度運行を行い、既存の施設容量一杯に運行を行っている。このため、ある路線で運行トラブルが発生すると、他路線へ振り替えられた需要が、その振り替え路線に新たな遅延を発生させ、ネットワーク状に遅れが連鎖する。つまり、遅延の問題は、混雑率が高く高頻度運行を行い、かつ相互直通運転を実施するある特定路線の問題だけではなく、ネットワークとして広がる首都圏鉄道全体の問題といえる。

このような混雑と遅延の問題は新聞等でも取り上げられており、社会的にも改善が求められる重要課題といえる。交通政策審議会の鉄道分科会においても2008年の報告書で定常的な遅延の問題が述べられており、その対策の必要性が提言されている。

## 2—遅延の要因

### 2.1 鉄道整備と新たな課題

これまで首都圏の都市鉄道は4つの混雑を改善すべく、その対策を行ってきた。第1は車内の混雑、第2は線路上の列車の混雑、第3はターミナルの混雑である。第4は踏切の混雑、開かずの踏切問題である。これらの混雑に対し、ネットワーク整備や列車の長編成化、運行

システムの改良と高頻度運行、車両改良、相互直通運転、ターミナルの改良、ICカードの導入、連続立体事業など様々な取り組みを実施し、それらの施策は大きな成果をあげてきたといえよう。それゆえに、首都圏の鉄道網は「概成された」と言われることがある。しかし、特にこの高頻度運行、相互直通運転といった日本の最も特徴的な施策はその効果の反面、副作用として①通勤時間帯の慢性的な遅延、②人身事故、車両故障等により発生した遅延の広域的な連鎖、③一度発生した遅延の回復に数時間も要してしまうといった回復困難性の問題が起こり、ある種のパラドクスとなっている。

#### 1) 高頻度運行

一般に、運転本数とその限界である線路容量に達する以前に、ある本数を越えたところから駅間の所要時間も増加する現象が発生する。複数の列車種別を運行する路線においては、その影響は著しい。日中の所要時間に対し、朝ラッシュ時は1.2倍以上の所要時間を設定し時刻表を組んでいる路線も多く存在する。

朝の通勤時間帯は、車内の混雑を緩和するために線路上に多くの列車が存在する。運行ダイヤは過密に計画され、些細な時間増加で遅延が発生し、それが次々と波及しやすい状態にある。

#### 2) 相互直通運転

首都圏の全路線長における相互直通運転の路線延長割合は平成17年度で35%に達している。それに伴い、運行形態の複雑化や、他路線の事故等の影響を受ける、また、事故等におけるダイヤ調整の煩雑化といった負の効果が遅延の発生・波及の現象として顕在化している。その対応として、相互直通運転を一時的に中止し、折り返し運転を実施している。しかし、それに伴う駅ホームの混雑、乗換え時間の増加、時刻表の乱れといった、相互直通運転の正の

効果により解消していた問題が再発生し、新たな遅延の発生と波及が生じてしまい抜本的な解決には至っていない。

### 2.2 遅延と運行の信頼性

ある鉄道事業者で実施した利用者アンケートによると、利用者が重要視する改善項目として「輸送サービスの安定性向上」が最上位となっており、利用者サービスの向上としてもその対策が求められている。

これまで首都圏の都市鉄道が当然のこととして成し遂げてきた定時性は、今その信頼が揺らぎかねない状況にある。これは「概成」どころか「日本の鉄道神話が崩れた」とも言うべき状況であり、その対策は急務である。日本の鉄道にとつての再チャレンジともいえよう。

本研究では、このような定常的な遅延の発生と波及という首都圏の鉄道が直面する新たな課題について、詳細な実態の把握と現状分析及び、時系列的な定量的分析から遅延の発生と波及のメカニズムを究明することにより、鉄道の信頼性回復に向けた施策の提案を試みたいと考えている。

### 2.3 既存の研究

都市鉄道の混雑問題と列車の運行方式に関しては、国内外を問わず多くの研究がなされてきた。代表的なものとしては、利用者の経路選択、駅における旅客流動、運行ダイヤの最適化等である。さらに時代が進み、列車運行と旅客流動のシミュレーションに関する研究も多く発表されている。しかし、これらの研究の殆どが列車の車内混雑緩和または駅構内の混雑緩和の視点から利用者便益が論じられてきたものであり、列車運行に関する遅延の発生と波及のメカニズムに言及し、運行の信頼性に関する分析を行っている研究が不足しているため、上記の問題が生じていると考えられる。

## 2.4 遅延の発生要因の仮定

人身事故や踏切事故、車両・電気通信設備の故障、自然災害など運行上のトラブルが要因で発生した遅延は、輸送障害に至るような長時間の遅延が発生するケースが多い。一方で短時間の遅延は、軽微な信号トラブルや車両故障により発生する場合もあるが、特に朝の通勤時間帯には利用者混雑による定常的な遅延が発生している。

利用者混雑による遅延は、乗降時間の増加、無理な駆込み乗車、それに伴うドアの再開閉、また車内での発病などの要因により、列車の駅停車時間が増加して遅延が発生すると考えられる。そして、一端遅延が発生すると、当該列車は次駅での乗降人員の増加によりさらに遅延が増大する。それに伴い、後続列車には走行速度の低下や、一時停止、再加速などの運行ロスが生じる。また、遅延が発生した列車の遅れの増大を抑制するため、先行列車においては、出発時間を遅らせるといった運転間隔の調整を実施する。このようにして、ある列車で発生した遅延は後続列車と先行列車の双方に波及し、路線全体の遅延に拡大していくと考えられる。

## 3—実態調査による仮定の検証

そこで今回は、遅延の発生要因の一つである駅停車時間の増加について、実態調査を実施し、仮定の検証を行う。

### 3.1 調査概要

東急田園都市線の二子玉川駅、三軒茶屋駅、池尻大橋駅、渋谷駅、および東京メトロ半蔵門線の表参道駅、丸ノ内線の四ツ谷駅において、列車毎に到着時刻、駅停車時分、出発時刻を計測した。調査時間は朝の通勤時間帯(7:30~9:30)の2時間である。計測は秒単位で計測し二捨三入した。

調査対象駅において、先行列車が駅を出発し、計測対象列車が駅に到着す

るまでの時分を発着時隔と定義する。駅停車時分は利用者が列車乗降に要する時分と、事業者が運行上の安全確認に要する時分とを区別して把握するため、列車ドアが開いている時間を乗降時分とし、列車ドア閉時から列車が発車するまでの時間を確認時分としてデータを計測した(図—2、図—3参照)。

### 3.2 調査結果(田園都市線)

1) どれくらいの遅延が発生しているか?

駅で列車を待つ利用者にとって、運行の遅れとは時刻表に対する遅れと考えられる。そこで、田園都市線の渋谷駅において、各列車が時刻表の記載時刻よりも30秒前に駅に到着し、記載時刻の30秒後に出発すると仮定した場合(駅停車時分60秒)の列車到着遅れと出発遅れを集計した。

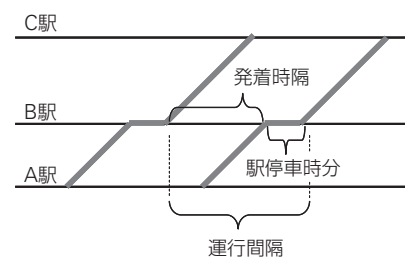
平日6日間の集計では、6日間の全日で遅延が発生した。遅れた列車の本数は18本~53本/53本中(7:30~9:30)、遅延時間は約1分~9分と日によって様々であった。一般的に雨の日は遅れると言われているが、実態調査においても雨の日の計測は晴日より、遅延の本数、

時間ともに増加する結果となった。

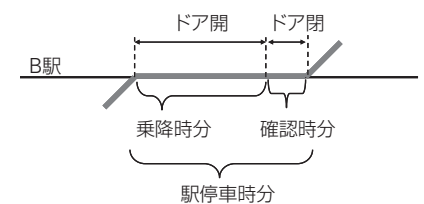
2) 運行間隔による遅延の評価

しかし、実際の列車は時刻表のように分単位でなく、5秒や10秒など秒単位のダイヤで運行されているため、列車の遅延を時刻表から評価することは不適切である。そこで、田園都市線の朝ラッシュ時間帯の平均運行間隔130秒に対して、列車毎に運行間隔を計測し、その差分を遅れ時間と定義して計測結果を集計した。

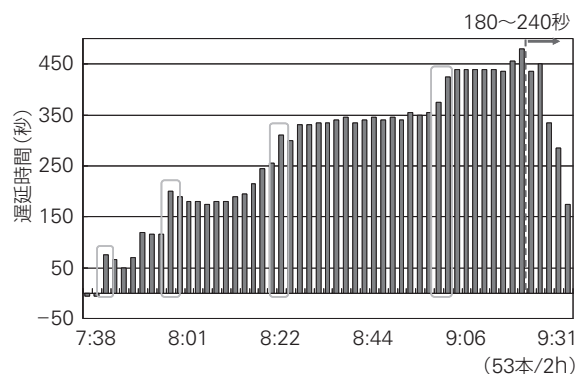
図—4は、ある日の田園都市線の渋谷駅における列車毎の遅延の累積を表している。朝ラッシュ時の7:30~9:30に渋谷駅に到着する53本の列車について、先行列車との運行間隔70秒と、渋谷駅での停車時間60秒を合計した運行間隔130秒に対して、各列車の遅れ時間(増加時間)を累積で示している。7:45頃の列車で70秒の遅延が生じ、その後、増減を繰り返しながら9:20頃には最大460秒程度の累積遅延が計測された。この値がこの日の渋谷駅における最大遅延時間である。その後、通勤のピーク時間も終わり、運転間隔は180秒~240秒となるため、累積された遅延は急速に回復する。この日は10:00前には遅



■図—2 計測時分(運行間隔の内訳)



■図—3 計測時分(駅停車時分の内訳)



■図—4 列車毎の遅延の累積

延が解消し、時刻表どおりの運行が再開された。

3) どこで遅延が発生しているか？

図一4の累積グラフをみると、所々に大きく遅延時間が増加する列車が存在している。図上で枠囲みをした列車であるが、この日に計測された遅延は、これらの列車が何らかの要因となり発生したと考えられる。そこで、同日の渋谷駅における列車毎の発着時隔と駅停車時間をみる(図一5)。先ほどの遅れの原因と考えられる列車は、駅停車時間が他の列車とほぼ同様な値であるのに対し、発着時隔については他の列車よりも大きな値を示している。発着時隔の増加は当該列車の到着遅れを示すことから、渋谷駅における遅延は渋谷駅で発生しているものではなく、上流方の駅にて発生し、その遅延が渋谷駅まで持ち込まれていることが分かる。

では、遅延はどこで発生するのだろうか。別日であるが、渋谷駅の上流方の駅である二子玉川駅を例にみる(図一6)。二子玉川駅では、渋谷駅と対照的に、運転間隔が増加する原因は、発着時隔ではなく、停車時間の増加となっている。つまり、この日においては、二子玉川駅より上流で遅延は発生していません。二子玉川駅にて遅延が発生したことになる。では停車時間が増加し、遅延が発生した原因は何であろうか。

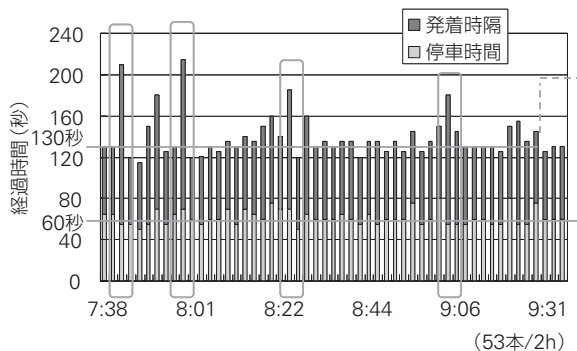
4) 遅延の発生する要因は？

二子玉川駅における列車毎の駅停車時間の内訳をみる(図一7)。二子玉川駅で遅延が発生した列車は、乗降時間の増加により駅停車時間が増加している。乗降時間が増加した列車は、ドア開時の衣服の引込みによるドア支障と、快速運転を再開した列車が乗客の分散乗車を促すために、駅停車時間を長く取ったためである。これらの要因により、この調査日においては駅停車時間が計画時間よりも増加し、遅延が発生した。

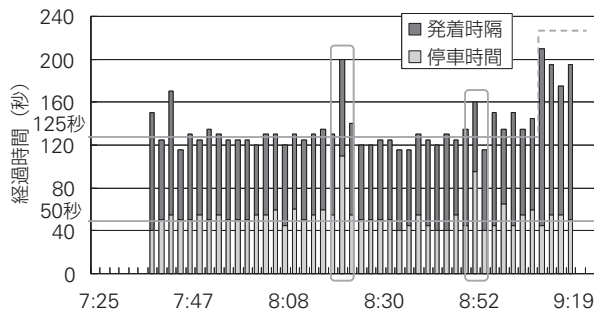
二子玉川駅から都心側へ4駅目の三

軒茶屋駅で同様に駅停車時間の内訳をみる(図一8)。すると、駅停車時間が増加している列車は、乗降時間よりも確認時間の増加がその要因であることが分かる。これは無理な駆込み乗車や、乗

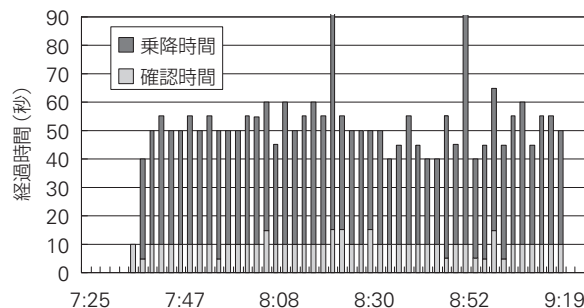
客の乗車位置の集中によってドアの再開閉を行い、ドア閉め時間が増加したこと、およびドアばさみの解消に時間を要したことがその原因である。さらに車内の混雑率が増加する池尻大橋駅でも



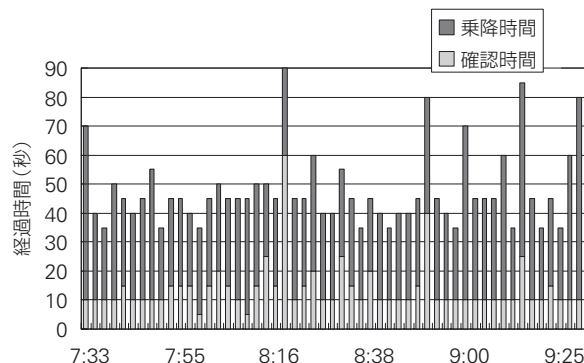
■図一5 列車毎の運行間隔(渋谷駅)



■図一6 列車毎の運行間隔(二子玉川駅)



■図一7 列車毎の駅停車時間(二子玉川駅)



■図一8 列車毎の駅停車時間(三軒茶屋駅)

同様に、ドアばさみ等が頻繁に発生し、列車の出発時間が遅れていることが分かった。

一方で、駅の乗降人員が最大である渋谷駅では、確認時間が約10秒とほぼ一定の値となっており、ドアばさみ等による停車時間の増加が抑制されている(図-9)。この要因として、渋谷駅では朝ラッシュ時に駅員を約30名配置しており、10両編成の列車の各ドアにほぼ一人ずつ駅員を配置している(写真-1)。閉まりかけているドアを腕力で開き、ドアばさみの発生を寸前のところで防いでいる。まさに駅員の努力の現れといえよう。

### 5) 遅延の発生要因の頻度

今回の調査対象駅において乗降時間と確認時間のヒストグラムを作成すると、乗降人員数の違いから乗降時間の平均値は駅毎に異なる値となった(30秒~50秒)。しかし、値のバラツキを示す標準偏差には大きな差がみられなかった。一方の確認時間は、平均値はほぼ同じ値(10秒~14秒)であったが、標準偏差が駅毎に異なり、三軒茶屋駅と池尻大橋駅では確認時間が20秒以上となる列車も多く存在し、値のバラツキが目立つ結果となった。

高頻度運行下においては数秒の遅れにより遅れ時間が増幅し、路線全体へと波及する。遅延の対策の一つとして、ターミナル駅および、その手前の駅における確認時間のバラツキと時間増加をどのように抑えるかの検討が求められる。

遅延の発生は、乗降時間の増加や、駆込み乗車およびドアばさみ、またドア閉めから発車までの安全確認時間の増



■写真-1 駅員の配置 (渋谷駅)

加など、駅毎に遅延発生の変因が異なる。今後、遅れが発生した列車の種別や優等列車の追越し、車両毎の混雑率や、駅の構造を考慮した分析を行い、他の要因についても検証していきたいと考えている。

### 3.3 調査結果(丸ノ内線・半蔵門線)

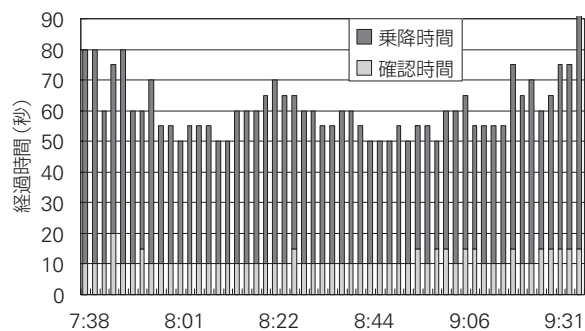
#### 1) ホーム柵による遅延の影響

駅停車時間の増加要因として、ホーム柵等の稼働時間がある。また、ホーム柵が設置されていることで確認時間にどのような影響が生じるのだろうか。東京メトロ丸ノ内線の四ッ谷駅において田園都市線と同様の計測を行った。混雑や乗降人員による影響があるので、一概には比較できないが、ホーム柵が設置されている場合の特徴として、ドアばさみが発生すると列車ドアとホーム柵がそれぞれ再開閉を強いられるので、1回のドアばさみによる確認時間の増加割合が大きくなる傾向にある。

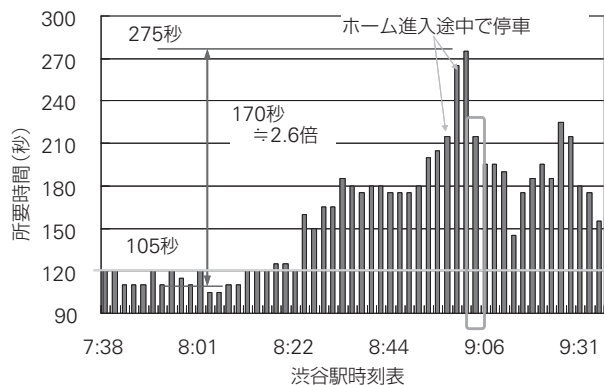
#### 2) ダンゴ運転による遅延の影響

朝ラッシュ時における東京メトロ半蔵

門線の渋谷駅~表参道駅間の所要時間の変化を図-10に示す。調査日において、渋谷駅と表参道駅ともに列車の運行間隔は約130秒が維持されており、等間隔運行がなされていた。しかし、8:25頃の列車において表参道駅で駅停車時間が約30秒増加したために、後続の列車が駅に進入できず、その列車は駅間の所要時間が約40秒増加した。一端、先行列車が詰まり、所要時間が増加すると、高頻度運行であるが故にそれ以降の後続列車はその遅れの影響を直接的に受け継ぎ、さらに後続へと伝播する。このような状況が続くと、走行時の減速だけでなく、駅間での停車が発生するようになり、所要時間はさらに増加する。この区間の日中の平均所要時間は約2分であるが、この日はその倍以上の4分35秒を要する列車が存在した。高頻度運行下における遅延発生時の問題点であり、一度遅延が発生した際に、通常時と同様な運転方法を実施することの弊害が提起されている事例といえよう。



■図-9 列車毎の駅停車時間 (渋谷駅)



■図-10 駅間の所要時間

図上で枠囲いをした列車は、所要時間が減少する機会となった列車である。この列車はそれまでの先行列車と異なり、渋谷駅での停車時間を長く取っていた。つまり、先行列車とある一定の間合い空けて出発したことで、駅間での不効率的減速等を抑えたスムーズな走行を行い所要時間が短縮したと考えられる。その直後の後続列車は渋谷駅の到着が約30秒遅れることとなったが、その後の列車は再び約130秒の等間隔運行が維持された。その後は他の駅からの遅延波及により再び所要時間が増加したが、運行間隔を空けることが所要時間の短縮の機会となったことは、遅延発生時のより早いダイヤ回復方法のヒントになるのではないだろうか。

#### 4—その他の遅延の発生要因

近年、ホーム柵等の設置を推進する動きがある。安全性の向上、人命の尊さ、また事故発生による長時間の遅延を考えると重要な取り組みといえよう。ただし、ホーム柵の稼働は一駅当たり約3秒の駅停車時間の増加をもたらす。丸ノ内線で導入した際は、池袋から新宿・荻窪の往路と帰りの復路の合計で、2分20秒の時間増加となり、ダイヤ改正を行っている。このことから、安全上のホーム柵と駅停車時間の増加および遅延とはトレードオフの関係にあり、導入の仕方の検討が必要である。路線全駅で一律に導入するのが良いのか、駅によっては人員配置の方が適当な場合もあるかもしれない。安全かつ、遅延の最小化を検討していく必要がある。

また乗客の行動・振舞いの変化も遅延に影響している。携帯電話の画面を見ながらの乗降やホームでの移動、乗降時に列車ドアの両脇に立ち残る人なども遅延の発生・増大の要因となっている。さらに高齢者のトリップ数の増加や、文化の異なる外国人など、利用者

の多様化と社会の変化に伴い、対策の考え方も変えていく必要があるといえる。

#### 5—今後の課題

①遅延の実態をミクロに分析することが必要である。遅延の発生確率、分布を駅毎に捉えて、各々に発生の抑止方法、発生後の回復方法の対策を検討する。また、ある特定駅において、特定の確率で遅延が発生する場合、その遅れ幅が分かれば、その時間を見込んだダイヤの設定といったことも考えられるかもしれない。

②遅延の視点から運行間隔を検討する。遅延の波及を抑制する運転間隔はあるのか。また、発生した遅延を素早く回復する運転方法はあるのかについて検討する。遅延が発生し、列車の運行がダンゴ状になったとき、そこから通常の運行状態に戻すには、列車を間引くか列車の間隔を空けなくてはならない。その場合、どういったタイミングで、どの位の間隔を空けるのが最適なのか。また、短時間の遅れも微少な間隔で戻るのではないかなどについて検討する。

③利用者の行動に着目して、利用者の行動を変える方法についての検討も必要であろう。列車の運行をスムーズにするために利用者にどのような行動を取ってもらおうと良いのか、またそのように促す方法はあるのかを考えていくことも重要といえる。

## ■コメントの概要

### 1—本研究に対するコメント

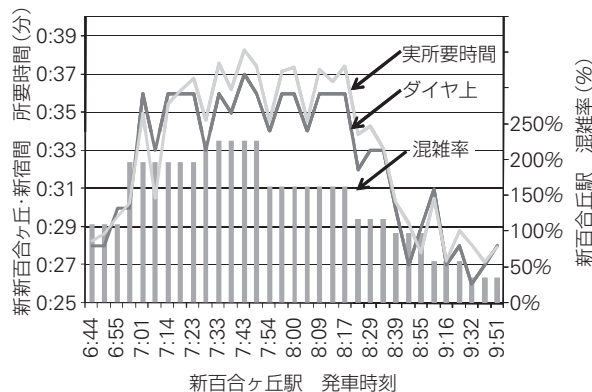
詳細な実態把握と包括的な分析をしているという点、また、収集したデータで発生と波及の定量的な分析をしているという点で、今後の研究の展開が楽しみである。ただ、列車の遅延には複雑な要素が絡むため、大量の遅延データを収集するのは難しい。鉄道事業者の方々の協力を得て、モニタリングのデータ整備を充実させ、解明をきちんと進めていただきたい。

### 2—過密運行がもたらした新たな課題

講演で言及のあった4つの混雑については、既に運輸政策審議会18号答申の準備調査の段階から森地教授が指摘されていた。このうち、線路上の列車混雑によりもたらされた課題として、ダイヤ上の所要時間と実所要時間の乖離がある(図—11)。鉄道政策は主として車内の混雑の解消に主眼が置かれてきたが、車内混雑に所要時間の遅れも加わり、二重にサービスが劣化していることが都市鉄道の課題であるといえる。

### 3—列車遅延の社会的費用

列車遅延による社会的費用の要素には、①発車時刻遅延による待ち時間の増加②ダイヤ上の運行時間の遅れによる所要時間の増加③運行本数減少による輸



■図—11 所要時間の増加

送力低下と混雑率の増加④遅刻リスクを回避するための余裕時分の増加がある。これまでの研究における効用関数の推定結果によれば、それぞれ①45円/分②25円/分③8~12円/10%④7円/分の社会的費用が生ずる。これをもとに東京圏の通勤者を対象とした列車遅延の社会費用を概算すると175円/人となり、都区部へ500万人/日・片道という条件を設定すると2,180億円/年となる。年間の通勤日数を250日とすれば、10年間で1兆8千億円となり、これを改善するため10年間で1兆円投資したとしてもB/Cは1.8となり、この問題の大きさがわかる。

4—列車遅延のメカニズム

列車の遅延は次のようにして起こる。ある駅で過度な乗降者数があったり、ターミナル駅で他の路線からの乗客が一度に乗車するなどにより、ある列車が遅れると、列車間の距離を確保するため、次の列車も遅れる。遅れた列車には、混雑の悪化と乗降者数の増加が生じ、さらに遅れる。これが、次々と波及し列車遅延が一定時間続くことになる。

5—エージェントアプローチによる列車遅延モデル

こうしたメカニズムをモデリングして、対策の効果や、波及をどう抑えられるのかといった点を解析するため、数理化モデルの開発に取り組んでいる。

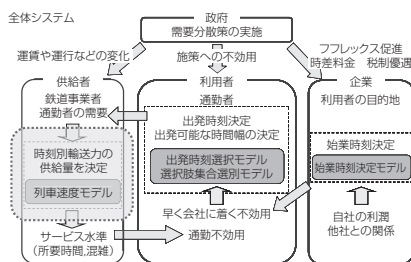
特に交通政策の事前評価には有用であると考えている。追越し施設、折り返し、相互直通等の投資計画や最近東急田園都市線で行ったようなピーク時間帯には急行を運行させないといった運行計画の変更がどう遅延に影響するのか、また、フレックスタイム、時間差料金といったピーク需要の平準化や無理な乗車をなくすことがどれほど遅延の解消に影響するのかが解明されれば、交通政策に反映することができる。

列車の遅延に影響を及ぼす主体とそ

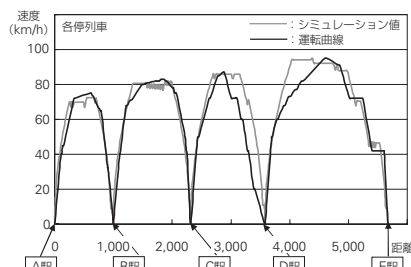
の相互関係は図—12のとおりである。今回のモデルは、エージェントアプローチという方法をとるが、これは、主体と主体の相互関係を表してシミュレーションしようとするものである。米国では、道路の交通量分析に用いられており、道路を解析できるなら鉄道でも使えるだろうという発想である。日本の鉄道の場合、緩行、急行、快速等運行パターンが複雑で、マルコフ連鎖や回帰モデルは使いにくいので、シミュレーションを用いることとした。

列車の運行を表現するモデルは、大手民鉄(都心方向の21.5km区間)の4:50(始発)から10:30分の114本の列車を対象とし、運転曲線図、信号設置位置図、信号現示系統図、列車運行図表、列車性能表をデータとして用いた。車両性能(最高速度、加減速性能等)と運行ルールをプログラムに設定しており、実際の運転者の行動(たとえば、二つ先の信号を見ている)を表現できるようにした。モデルに表現された速度を分析すると、遅延がどの程度生じているかわかる。シミュレーションとランカーブを比較したのが図—13である。

同様に時間帯別の駅間所要時分をダイヤとシミュレーションで比較したとこ



■図—12 鉄道の遅延に係る全体システム



■図—13 速度変化の比較

ろ、シミュレーションの方が推定所要時分が短くなるという結果を得た。この要因は駅における乗降時間をモデルに組み入れていないためと考えており、これをどう表現するかが課題である。駅における乗降時間については、以前は、駅停車時間=f(乗車人数、降車人数、混雑率、基本停車時間)といった簡単な回帰式的なモデルで表現していたが、これでは遅延の様子をうまく表現できなかった。そこで、これもエージェントモデルで表現しようとする研究を始めている。乗降時のビデオのデータから一人あたりの乗車時間を計測すると、乗り初めのころは0.5秒程度だが、時間がたつにつれ乗車時間がかかるようになり、最後に急激に乗車時間が増加するという結果が得られた。混雑時に無理に乗車したり、ドアばさみが起きたりしたためと思われる。これを踏まえ、エージェントモデルでは、乗降者の速度と行動ルールを設定し、シミュレーションを行った。シミュレーションの実行画面では、混雑しているのに無理に乗ろうとして扉が閉まるまでに時間がかかってしまうといった様子も表現できる。モデルの推定結果は表—1のとおりである。推定値の方が3~4秒短くなっている。一人あたりの乗車時間(扉の通過時間)を比較しても実測値より推定値の方が短い。これは、シミュレーションでは、乗降客が行儀よく行動するためと思われる。今後は、行儀の悪さを含めた実際の行動をパラメーターに入れなければならないと考えている。

このように、これまで列車運行と駅内で個別にモデルを作ってきたが、今後

■表—1 乗降時間の比較

|         | 都心駅1 | 都心駅2 | 都心駅3 | 郊外駅1 |
|---------|------|------|------|------|
| 実測値(秒)  | 25.6 | 32.1 | 13.7 | 10.6 |
| 推定値(秒)  | 29.2 | 35.1 | 9.2  | 7.9  |
| 標準偏差    | 7.8  | 12.1 | 0.9  | 1.3  |
| 最大値     | 67.4 | 84.4 | 11.6 | 12.0 |
| 最小値     | 18.6 | 19.0 | 7.4  | 5.4  |
| 乗車人員(人) | 11   | 10   | 6    | 3    |
| 降車人員(人) | 11   | 12   | 16   | 9    |
| 混雑率(%)  | 210  | 220  | 130  | 120  |

これらを連携して、過少推計だったところも解消したい。

## 6—列車遅延解消へ向けた政策課題

線路容量、終端駅容量の拡大に向けて都市鉄道等利便増進法というすばらしい制度ができたが、いくつかの課題もある。一つは広域的に遅延が起きる場合でも即地主義をとっているため、便益の発生するところと費用負担をしてもらうところが異なってしまう場合があるという点である。また、終端駅の折り返し施設の整備だけではそれほど利用者が増加すると思えない中で、累積黒字転換年限30年というのは厳しいと思われる。さらに、特定都市鉄道整備促進特別措置法(特特法)が実質的に使えなくなった現在、利用者が見込めない路線での整備方策として、積立金の可能性はないのかといった課題もある。

オフピークも15年以上前から進められているが最近フレックスタイムも頭打ちである。3年前に行った国土交通省所管の143の非営利法人へのアンケート調査では、「始業時刻を30分遅くすることに問題ない」が21%、「始業時刻を30分早くすることに問題ない」が19%という結果が出ている。こうした組織が始業時刻の変更を行えば、民間企業も変更しやすいかもしれない。

鉄道の運行安全性確保と列車遅延解消に向けた利用者・企業との対話機会の確保も重要となる。発車間際の無理な乗車には利用者全体に負担がかかること、始業時刻の分散には効果があること、サービス改善のためには特特法で成功したような積立制度と運賃アップが必要なこと等については、利用者、企業に理解してもらう必要がある。

## ■ 質疑応答

C パリでは、1960年代、乗客がホームに入る所に鉄の扉があって、列車が

駅に接近すると扉が閉まるというシステムがとられていた。一方、ストックホルムでは、車内で人の身体に触れないのが暗黙のルールとなっている。こうした諸外国の例も参考にされるとよい。

Q 表定速度と輸送量が逆比例するならば、ピークロードでは、表定速度を落としてしまえば輸送力が向上するのではないか。

A 森地：表定速度と混雑度に加え、従来は閉そく区間が長かったので問題とならなかった密度の問題が生じている。今回の発表で、列車を目一杯入れ込まないで間隔をあけるといっても、ご質問と同趣旨である。列車が遅れたら報告しなければならないとか、間引きをすることはいけないといったルールを行政が柔軟に運用することが望まれる。

自動車では、容量と速度をあげることが可能となっている。鉄道でも理論上は同様のことができるかもしれない。

C 東急と半蔵門線の相直の路線では、CSATCという信号システムを用いている。このシステムは、駅の出入りのところで時隔が決まるもので駅間はかなりの速度で走ることが前提となっている。従って、列車間隔が詰まってくると問題を起こす可能性がある。

C 山手線と京浜東北線の分離前は、扉の数も少なく、1分20秒の運行間隔であるなど、以前は現在より悪い条件だったが、大きな遅れを出すこともなく何とかやっていた。最近になって列車の乱れや遅れが問題となっている原因として、乗客の動きが鈍くなっている点と時隔制御の運転者の技量やドア閉めの車掌の技量が落ちてきている点があるのではないかと感じている。前者では、素早い振る舞いの方が得をするのだといった誘導が、後者では、事業者による訓練が求めら

れるが、こうした点も今後、研究の対象にしてほしい。

また、列車が乱れたり、遅れたりした後の運転整理、運行管理をどうしたらいいのかという観点からも議論してもらいたい。

Q 相直の影響で遅延が拡大しているという分析があったが、経営形態が異なるから遅延が拡大するというよりも、運行距離が長距離化したことによる拡大という方が正確ではないか。

A 仮屋崎：西武線の事故が有楽町線や副都心線に広がるように、1カ所の遅延が路線延長70km以上の範囲に波及していくということが問題であると指摘した。遅延の原因と波及の広域化についてどう表現するのがよいのか、今後、整理して進めたい。

Q 遅延の問題は、輸送力を最大限提供した上でどうなるかという観点から考えなければならない。守れるダイヤにすることは輸送力が落ちるということである。遅延と輸送力の関係、混雑率の関係を研究し、遅延ができるだけ少なくなる方策を考えてもらいたい。

A 仮屋崎：輸送力、ダイヤの信頼性、速達性はトレードオフの関係にある。この関係を意識しながらどの状態が最も望ましいのかという点について、研究を進めていきたい。

C 混雑率は低下して180%の目標に近づいている。300%の時代にうまくやっていたというコメントがあったが、たとえばドアの閉め方などソフト面の改善で対応できないものかと感じた。

A 岩倉：春休みと夏休みの学生が乗らない期間は、10%ほど旅客数が減少するが、ダイヤ通り運行できているという感覚を持っている。その期間のデータを集めて、遅延のメカニズムを研究したい。

(とりまとめ：内田 傑、仮屋崎司)