

都市鉄道の列車遅延の拡大メカニズムに関する研究

平成22年1月25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——**小野 尚** 東京急行電鉄(株)鉄道事業本部運転車両部統括部長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——遅延の現状

1.1 発生状況

首都圏における輸送障害(列車の運休、旅客列車の30分以上の遅延等)の件数は平成17年度をピークに減少傾向にあるが、平成20年度は679件であり、これは1日当たり1.9件の輸送障害が発生したことになる。しかし、元データの鉄道運転事故等届出書は30分未満の遅延を報告対象としておらず、恒常化する短時間の遅延は含まれていない。輸送障害に至らない30分未満の遅延については、既往の統計データが存在していないのが現状であり、その実態が十分に分からない。2009年に国土交通省が実施した鉄道事業者へのアンケート調査による実態調査が唯一であろう。

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。多くの事業者ホームページで、路線毎に遅

延証明書の発行履歴が公表されている。都心部を営業エリアとし多くの路線で他事業者との相互直通運転を実施している東京メトロでは、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。(発行回数は平成21年12月より4回/日に増加)この遅延証明発行書を平成21年4月1日から同年11月30日までの8ヵ月間集計した。

東京メトロ9路線において、平日は1日当たり平均13.2件の遅延証明書を発行している。発行時間は始発から朝10時までの通勤時間帯に42%が集中し、通勤利用者が少ない土・日曜日は平日の約3割と発行件数が減少する。

丸ノ内線および銀座線を除く7路線は他社との相互直通運転を実施している。これらの路線において20分以上の遅延証明書を発行した際の遅延の発生場所を集計すると、その46%が他事業者の路線内で発生した遅延であり、相互直通運転により遅延の影響が路線間を

越えて波及していることが分かる。

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している。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。

1.2 発生・波及の背景

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。しかしながら、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



講師：仮屋崎圭司



コメンテーター：小野 尚

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。

一般に, 運転本数が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。また, 首都圏の全路線長における相互直通運転の路線延長は平成20年度で900kmを越えている。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。

1.3 現状の対策

遅延拡大の抑制策として, 相互直通運転を一時的に中止し, 折り返し運転等を実施している。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し, 新たな遅延の発生と波及が生じており抜本的な解決には至っていない。また運輸司令では運転整理によるダイヤの回復など, 遅れの影響を早期に回復する取り組みを実施している。これらの対策は長時間の遅延に対しては大変有効である。しかし, 残念ながら短時間の遅延においてこれらの対策を実施することは難しく, 短時間の遅延についての

実質的な対策に苦慮しているのが現状といえる。

そこで本研究では, 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, 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る。

2—遅延の発生・波及の分析

2.1 分析データ

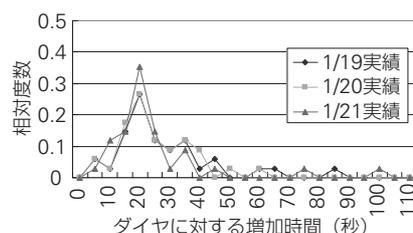
列車運行実績値は, 駅毎に各列車の到着時刻, 出発時刻が秒単位で記録されたものである。これにより各列車の運行状況を時系列に把握することが可能である。調査対象は, 相互直通運転を実施しており, かつ定常的な遅れが発生していることから, 東急田園都市線および東京メトロ半蔵門線とする。データ取得日は平成21年1月19日(月)~21日(水)の3日間とし, 時間帯は7:00~11:00である。なお, 準急運転時間帯における渋谷駅での到着最大遅延時間は19日が約9分, 20日が約3分, 21日が約2分であった。

2.2 所要時間

通勤時間帯の運行ダイヤは, 日中のダイヤよりも所要時間が長く計画されている。主に駅停車時間の増加を見越したもののだが, 実際には駅停車時間とともに駅間の走行時間も増加している。準急運転時間帯の34本の列車(渋谷駅到着時間7:47~8:58)において, 溝の口駅から半蔵門駅までの遅れ時間の内訳をみると(図4:4.1参照), 時間の経過と共に遅れの要因が, 駅停車時間から駅間走行時間へと変化していることが分かる。言い換えると, 遅れの要因が利用者要因による遅れから, 線路上の列車混雑による遅れへと変化している。

2.3 駅の停車時間

3日間のデータは遅れの状況に差があり, 渋谷駅における到着遅延時間も異なる。しかし, 池尻大橋駅においてこれら3日間の駅停車時間を比較すると, ダイヤに対する増加時間に対して同様な分布となっている。大幅な遅れ時間の発生は, 全日で発生していることも注目される(図1)。時間帯別では8:00以降に停車時間の増加が多くみられるが, 60秒以上の増加は8:00前からの全時間帯で発生している。



■図1 駅停車時間の増加量の分布
池尻大橋駅(日別比較)

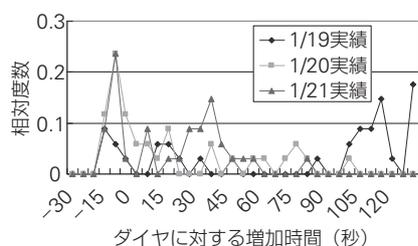
また, 以前に実施した駅調査から列車毎に駅停車時間の時間構成をみると, 駅停車時間は大別して, 利用者の乗降に要する乗降時分と, 事業者の安全確認時分(ドアばさみを含む)の2つに分類され, それらの構成は駅毎に異なることが分かっている。

また車内混雑率と駅停車時間の関係についても, 一定の相関がみられる。駅停車時間と車内の混雑率には, 二次曲線の関係が成り立つと考えられ, ある混雑率を超えると急激に駅停車時間が増加する, いわゆる臨界点が存在すると思われる。このような現象をいかに定量的に捉えていくかが求められており, 駅停車時間の分析は, 乗車時分, 降車時分, 確認時分および混雑率(車内, ホーム)との関係から列車毎の詳細な分析が必要といえる。

2.4 駅間の走行時間

日別比較では一定の分布形状はみられない。比較的遅延時間の大きい19日

は大幅な増加が発生している列車の割合が多く、走行時間の増加が全体の遅延時間に影響していることが分かる(図一2)。時間帯別では、時間経過と共に時間増加する列車の頻度が高くなっている。これは列車の運行速度が先行列車の位置によって決まるため、遅延の発生により各列車の間隔が詰まり、走行時間が増加したと考えられる。



■図一2 駅間走行時間の増加量の分布
三軒茶屋駅～池尻大橋駅(日別比較)

列車速度と列車間隔は、走行する列車の安全な停車を確保するよう決定される。このため、閉そく区間長や分割の仕方により、発生した遅延の後続列車への影響度合いが異なる。混雑緩和のため列車本数を増やす場合は、駅手前の閉そく割りを細かくし、線路上の列車密度を高めることになるが、遅延の波及抑制を考えると、駅直後の閉そく割りを細かくすることが有効である。各列車が在線している閉そく区間を、後続列車へ如何に早く明け渡すかということになる。駅直後に曲線線形が存在すると、閉そく区間を抜ける速度が低下し、遅延の影響が後続列車へ及びやすくなるケースもある。

これらの点から走行時間の現状把握は、閉そくの区間割りを考慮し、時系列に列車1本1本の挙動を関連させ分析することが重要といえる。

3—遅延の波及メカニズムの究明

3.1 シミュレーションの概要

遅延の拡大要因として、駅停車時間の増加のみならず、駅間走行時間の増加も大きく影響している。特に短時間の遅

延において、遅延時間の拡大やダイヤ回復までの長時間化は、列車の高頻度運行に伴う走行時間の増加による影響が大きいと考えられる。

そこで今回は、運行ダイヤ、信号コード表、運転曲線図、列車性能から得られる情報を入力データとし、列車1本1本の駅間の運行挙動を再現するシミュレーションモデルを構築した。駅停車時間は実績値を入力する。これを用いて、駅間の列車挙動と遅延の関係の分析を試みる。このシミュレーションは各駅間において、閉そく区間毎の移動時間、移動速度を、先行列車の挙動を基に算出し、列車1本1本の挙動を動画により視覚的に表現する。

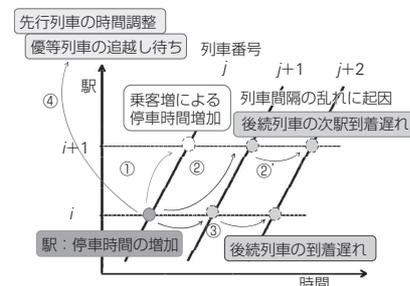
3.2 停車時間増加の影響

シミュレーションを用いて駅での停車時間の増加が、後続列車に及ぼす影響を分析する。閉そく割りや線形により駅毎に影響の度合いは異なるが、例えば、三軒茶屋駅では朝ラッシュ時において停車時間が5秒増加すると、直ちに後続列車の走行時間の増加(到着遅れの増加)が生じる結果となる。30秒増加の場合、3本後ろの列車まで走行時間の増加が生じる計算となった。また、列車の間隔が乱れると、停車時間が増加した(遅延が発生した)駅より下流の駅間においても走行時間の増加を繰り返すケースがある。駅間の短い区間や計画ダイヤの停車時間が長い駅の手前で、先行列車との間隔が小さくなり、減速を強いられるためである。例として、シミュレーション上で、各駅の停車時間をダイヤ通りに設定し、計画ダイヤどおりの運行状態にあるなかで、桜新町駅において任意の列車1本の停車時間を30秒増加させた。その結果、その列車以降の後続列車は桜新町駅にダイヤに対して30秒～35秒程度遅れをもって到着する。しかし、4駅先の渋谷駅では途中の駅間において走行時間の増加が生じたため、3本

目の後続列車で到着遅れが約60秒に拡大し、その後の後続列車も遅れ時間を微増する結果となった。実際には、駅での対応や経験的な運転技術により、遅れの回復が図られ計算どおり遅延時間が拡大することは考えにくい。しかし、このような計算結果はラッシュ時間帯の過密なダイヤとそれを遵守した運行がいかに困難であるかを示すものである。

3.3 遅延の波及メカニズム

遅れの発生した列車が次駅以降における乗客の増加により、乗降時間が増加しさらに遅れが拡大する事象や、先行列車の時間調整・優等列車の追い越し待ちによる遅れの拡大については、これまでも知られてきた。これらの遅延拡大の要因は駅停車時間の増加である。一方で、ある駅で発生した遅延が後続列車にどのように波及・拡大するかについて記した文献は少ない。遅延の発生駅における到着遅れと、次駅以降での運行間隔の乱れによる遅れの拡大は、駅間の走行時間の増加に起因するものであり、駅の乗降に関する分析と併行して、列車の運行挙動を捉えた交通流としての分析および対策が必要である。



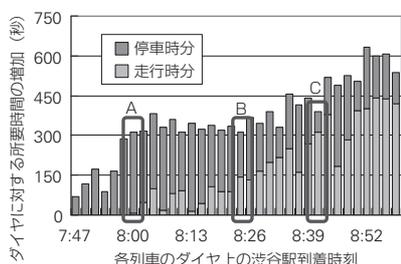
■図一3 遅延の波及・拡大の要因

4—運行方法による遅延対策の検討

4.1 走行速度の低下

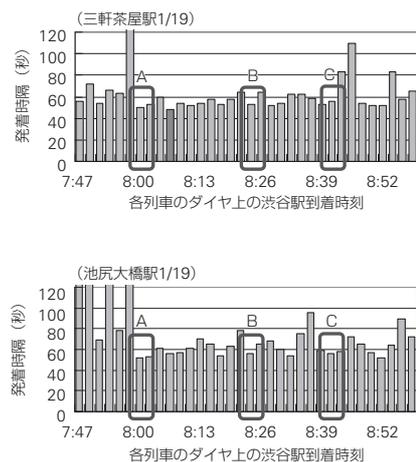
図一4の枠で囲ったA, B, Cの3本の列車の遅れの要因について着目する。列車Aはその大部分が駅停車時間の増加である。列車Bは駅停車時間の増加と駅間走行時間の増加の割合が半々。

列車Cは駅間走行時間の増加が遅れの要因の大部分を占めている。ここから駅間の走行状態を想定すると、列車Aはダイヤ通りのスムーズな運行であったのに対し、列車Cは先行列車との間隔が詰まっていたため、速度低下や一時停止等が頻繁に発生していたと考えられる。



■図-4 列車毎の所要時間の増加量(溝の口駅～半蔵門駅間1/19)

しかし、各駅での運行間隔をみると、図-5のように先行列車が出発した後、後続列車が到着するまでの時間(ここでは発着間隔と定義する)に大きな差はなく、各列車とも同じ時間間隔で駅に到着していることが分かる。



■図-5 列車毎の発着時隔

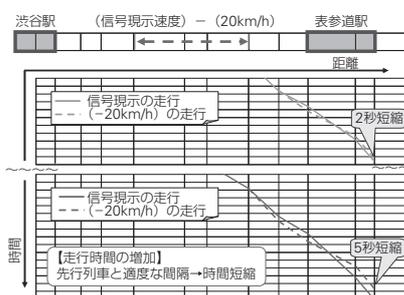
朝ラッシュ時は、利用者の駅での待ち時間を最小にし、運転間隔の乱れによるダンゴ運転の発生を防ぐため、駅において等間隔運行を保つように列車運行が実施されている。日本の鉄道運行システムと鉄道事業者の技術が、現在の高密度な等間隔運行を可能としている。

このように各列車の駅間の運行状態が、各駅での発着間隔に影響を与えな

いということは、列車Aのように先行列車との間隔が十分空いておりスムーズな駅間走行が可能な場合においても、列車Cのように先行列車との間隔が狭く各列車がその先行列車の運行挙動に左右されて運行している場合においても、どちらの場合も駅での発着間隔を一定に保つことが出来る。つまり、駅間に存在する列車の間隔にはある程度の自由度があり、ある範囲・領域においては列車の間隔に依らず狙った時刻に列車を到着させることが可能である。したがって、ダンゴ運転による遅延を発生させることなく、列車の間隔の最適性について議論することが可能であり、運行時の列車間隔に検討の余地があることを示唆している。

そこで、ボトルネック駅となる渋谷駅とその隣の表参道駅間において、列車間隔の詰まりにより、駅間の走行時間が増加しはじめた際に、定速走行の閉そく区間において信号表示の最高速度に対し20km/h程低い速度で走行した場合をシミュレーションする。この場合、先行列車との間隔が適度にひらき、減速および再加速による時間ロスが低減したことにより、表参道駅に2秒程度早く到着することが可能となった。さらに次の後続列車は5秒程度の遅れ回復となる(図-6)。これを繰り返すことで、遅れの回復は早くなることが分かった。シミュレーションでは2つの駅間において、列車6本の速度を下げて運行した場合、20番目の後続列車において遅延時間が30秒程度回復した。

必ずしも前へ前へと詰めるのではな



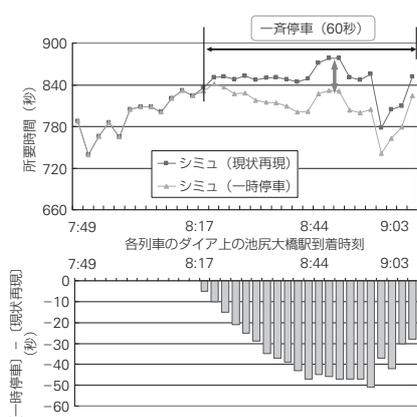
■図-6 駅間のタイムスペース図

く、遅れが生じている場合は、あえて速度を低下させ、適度な間隔を保つことによって、遅れの解消へとつながることが示唆される。

4.2 後続列車の一時停止

列車間隔の詰まりにより、駅間での走行時間が増加している区間では、一端、走行時間が増加するとその後もその増加時間が区間を通過する列車に引き継がれるため、遅延(走行時間増加)の回復が遅くなる。そこで、走行時間の増加が発生している区間において、それより上流に位置する全ての列車に対して一時的な停車を実施する。シミュレーションでは通常時80秒程度の走行時間が170秒程度まで増加した三軒茶屋駅～池尻大橋駅間(19日)において、その駅間に進入する前の列車(上流側の列車)を同時に60秒停車させた。その結果、先行列車と適度な間隔が確保されたことで、この駅間の走行時間は105秒程度まで回復し、二子玉川駅～池尻大橋駅間(5駅)の所要時間は、一斉停車後の列車21本において1本当たり34秒の回復、所要時間の合計で約12分回復する結果となった(図-7)。実際のラッシュ運転時間帯では、停車による乗客の増加により、新たな遅延が発生することが考えられるため、この様な列車の一斉停車を実施するタイミングの判断は非常に難しい。しかし、ピーク時間帯を過ぎた後もダイヤが乱れており、短時間の遅延が残っている場合においては、その実施は可能であると考えられる。この場合、ピーク時間帯を過ぎているので、乗客による新たな遅延発生への心配もさほどなく、運転整理による輸送量低下を招くこともない。一斉停車による間隔調整がなされることで、早期のダイヤ回復が期待できる。

通常時と遅延発生時、あるいは遅延発生時も短時間の遅延と長時間の遅延とでは、駅での乗降や列車運行の状況



■図一七 所要時間の変化(二子玉川駅～池尻大橋駅間)

が異なる。全て同様の運行方法ではなく、それぞれの状況に合わせて運行方法の簡易な工夫により、遅れの拡大を抑制あるいはダイヤの早期回復の可能性があるのであると考えている。

5—今後の課題

5.1 最適な列車間隔とダイヤの検討

遅延発生時は、運転本数が減少し、結果として輸送量の低下が起きている。ならば、ダイヤ計画は、運転本数減となるが、余裕時間が生まれるため、遅延が発生しにくくなり、結果として輸送量が大きくなるようなダイヤは存在するのか。最適な列車間隔とダイヤの関係についての検討を考えている。

5.2 列車間隔と駅停車時間の考慮

今回のシミュレーションは、駅停車時間を入力データとしている。実際の駅停車時間は列車の発着間隔、混雑率等により値が変動する。今後、列車の運行と利用者行動による駅停車時間の推定とを一体的に再現するシミュレーションモデルの改良が必要である。

5.3 運行信頼性の評価指標の提案

駅改良による列車乗降時間の改善は、遅延の発生・波及の対策としても有効である。そのため、上記のシミュレーションモデルにより、駅施設の改良事業

の効果を駅の利便性向上だけでなく、路線全体の遅延対策としても評価することが可能となると考えている。

ソフト面とハード面とを一体的に分析し、より有効な遅延対策の検討を、さらには、既存施設に残されているであろう有効活用の余地について検討を試みたいと考えている。

■コメントの概要

1—田園都市線の輸送改善経緯～混雑緩和・遅延抑制に向けて～

田園都市線は、中央林間から渋谷までの約32kmを結んでいる路線である。渋谷では東京メトロ半蔵門線と接続し、その先、押上を経て東武伊勢崎線久喜、および日光線南栗橋まで、総延長105kmの区間において三社による相互直通運転を行っており、一日あたり約119万人のお客さまにご利用いただいている。

輸送状況は、朝ラッシュピーク1時間に10両編成29本を平均2分05秒間隔で運転しており、近年で最も混雑が高かった2007年には、渋谷駅到着7:50～8:50の最混雑1時間で平均混雑率が198%という状況であった。

この時間帯はホームの案内要員を増やし、当時は各駅合計で220名あまりの係員を総力配置して、遅れ防止に努めていたが、それでも5分以上の遅延が度々発生するといった状況であった。

当社で取り組んできた混雑緩和対策としては、まず、2009年から実施している6ドア車両の導入がある。混雑緩和の緩和と遅延の抑制がその目的である。しかし、田園都市線内から半蔵門駅まで座席を格納するため、座ることができないお客様がでてきてしまう。このため、お客さまから相当なお叱りを頂戴するのではと覚悟していたが、導入してみるとお客さまからは6ドア車両を増やしてくれとの意見が多く寄せられた。混雑を緩和して欲しいとのお客さまの要望を改め

て実感した次第である。現在、朝ラッシュ時に、6ドア車両を14本運転しており、当初は5号車と8号車だけであったがその後4号車を追加し10両編成中3両を6ドアとしている。

二つめとして、2007年から準急運転を実施している。急行電車にお客様が集中し、駅での停車時間が増加するため、これが遅れの大きな要因のひとつとなっていた。そこで、朝ラッシュ時の急行13本を、二子玉川駅から渋谷駅は各駅停車とする「準急」に変更した。急行はお客さまから人気が高いため、導入に当たっては社内でも議論を重ねた。準急の導入前は、各駅停車と急行のピーク1時間の平均混雑率は、渋谷駅到着時に40～50%の開きがあったが、準急運転を開始し、約半年が経過した時点では、平均混雑率の開きが10%弱に縮小し、列車ごとの混雑が平準化した。遅延の抑制という意味では、これがかなり追い風となっている。

三つめとして、朝ラッシュ時に29本を超えて運転本数を増やすことは難しいため、お客さまのピークの山の裾野を崩すことを目的に、ダイヤ改正の度にピークの前後に列車を増発し、混雑率の緩和を図ってきた。さらに、昨年末には、東京メトロ東西線の取り組みを参考に早起き応援キャンペーンとして、早朝時間帯に田園都市線の各駅からPASMOをタッチして乗車すると、お客さまの携帯電話に提携店舗の優待クーポンを送信する企画を実施した。この取り組みについては、お客さまの意向も収集できたので今後とも工夫をしながら進めて参りたい。

四つめとして、16年の歳月をかけて大井町線の二子玉川と溝の口間を延伸し、田園都市線と併せ、同区間を実質複々線化した。また、大井町線内に待避線を作り、溝の口から大井町まで急行運転を開始し、都心へのルートを増やした。これはお客さまの利用を分散し、最終的には田園都市線の混雑緩和につながるも

のと考えている。昨年7月の工事完成に伴い、少しずつではあるが効果が現れはじめている。

2—現業における取り組み事例～肌で感じて創意工夫～

朝ラッシュ時の田園都市線は2分05秒ヘッドで運転している。駅に列車が停車してから出発するまでを停車時分、列車が動き出してから、次の列車が停車するまでを追込み時分と呼んでいる。田園都市線には性能の良いATCを導入しているが、それでも追込み時分に65秒が必要であることから、停車時分をその差60秒としないとダイヤが成立しない。このため、運転士はいかに追込み時分を短くするか、一方、駅と車掌は所定の停車時分内にお客様の乗り降りを終わらせ発車させるかが、現業サイドとして、遅延を生じさせないための取り組みの鍵となっている。

①追込み時分の短縮

A駅からB駅まで運転するに当たり、B駅で先行列車が止まっていることを前提に、運転速度と運転時分の関係についてみると、最初通常の速度で運転すると、その後はB駅で先行列車が止まっているため、最後は非常に速度を落とした運転になってしまう。一方、A駅から前もって速度を落として運転したケースを考えると、非常に速度を落とした運転をすることなくB駅に到着するので、両者を比較してみると、後者のほうが駅間の運転時分が短くなる傾向にあった。

田園都市線の運転士の取り組みとして、2000年ごろから、運転士数名で研究チームを立ち上げ、遅れの最大の要因となっている、池尻大橋駅から渋谷駅間について、最も良い追込みの運転方法について研究を重ねてきた。

渋谷駅はラッシュ1時間に5万人のお客様が乗降する我が社の最大のターミナルである。乗降時間が長くかかるた

め先行列車がまだ停止しているうちに、後続列車が駅の手前まで接近し、停車してしまうということが度々あった。その結果、運転操作のタイミングにより追込み時分にバラつきが生じていた。そこで研究チームでは、各列車の追込み時分を計測したり、運転士一人一人から運転方法について丹念に聞き取りを行い、それを分析して、考えられる最もベターな運転操作基準を作成した。結論としては、先行列車に接近し、駅手前で一旦停車をしない。そのためには、先行列車の動きに応じ、途中の各地点で最適な速度に調整しながら運転を行うというものであった。

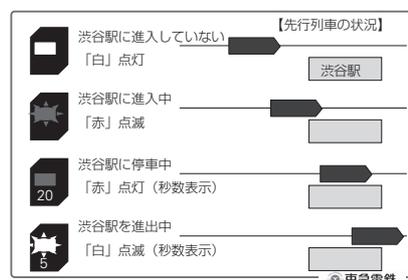
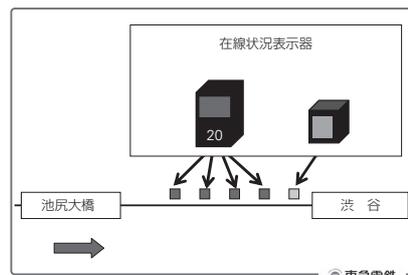
効率よく運転するためには、肉眼で見えない先行列車の状況をいかに後続列車の運転士に知らせるかがポイントとなる。しかし、この区間は地下であり、カーブもあることから先行列車が見えない。このため、池尻大橋駅から渋谷駅間のトンネルの壁面に、渋谷駅の先行列車の状況がわかる在線状況表示器を設置した。

運転士は、走行地点とこの情報を見ながら最も効率の良い追込みとなるように、速度を調整しながら運転することとした。さらに、運転操作の標準化のため、軌間に、運転操作の目安となる補助看板を設置した。

これらの研究による標準的な運転操作の確立と、全運転士への水平展開を実施した結果、渋谷駅の追込み時分が実施以前と比べ、1列車当たり平均約3秒短縮する改善効果が得られた。ラッシュ1時間29本とすれば、合計で約1分30秒の短縮が図れていることになる。何よりも全運転士が追込み改善という共通の目標をもって業務に取り組んでいることは、運転士仲間のモチベーションを維持・向上する上でも意義があった。

②停車時分の短縮

渋谷駅の停車時分の超過を抑えるこ

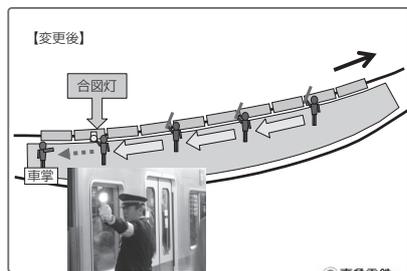
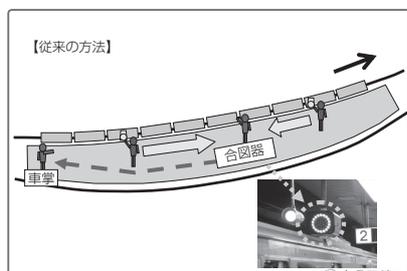


■図-8 在線状況表示器の機能

とは、定時運行を維持する上で重要なポイントである。そのため渋谷駅は、当社の中でもホーム案内要員を手厚く配置している駅のひとつとなっている。また、駅での停車時分の短縮を図るべく、朝ラッシュ時のホーム案内時における合図方式の見直しを実施した。

渋谷駅では、駅係員から車掌へ「ドア閉めてよし」、「発車してよし」の合図を合図器により行っている。これはホーム中央付近の係員が合図器のボタンを押すことにより、ホームの表示灯が点灯し、車掌はこの合図を確認することで、閉扉操作や運転士への出発合図を行うものである。従来の朝ラッシュ時の合図方式は、ホームに3名の駅係員を配置し、まずホームの前・後に1名ずつ配置した駅係員から、合図灯により中央の駅係員へ合図を送り、これを受けて合図器により車掌へ知らせる方式であった。しかし、この場合、前後の合図者、中央の合図者ともに自分の左右の状況を確認しなければならず、わずかながらも時間にロスが生じていた。そこで、変更しようということになり、新しい合図方式では、1名増やして中継合図者3名と最終合図者1名の体制とし、各合図者はいずれも列車

に向かって自分の右側一方向のみを確認して旗で合図を送るやり方にした。そして、最後に車掌の直近に立つ駅係員が、合図灯で車掌に知らせる体制とした。これによりホーム要員増強等による効果と合わせ、1列車当たりの停車時分を、平均10秒短縮することができた。



■図—9 ホーム合図方式の変更(渋谷駅)

以上のような様々な取り組みの結果、平均混雑率は、2007年の198%から、昨年秋の調査による187%へ、11ポイント低下した。

また、最大遅延時分は、準急運転開始前の2006年と2009年との比較では、トラブルのなかった通常日では1.5分、車内急病人や、戸袋への手荷物引き込まれなどトラブル発生日では3.6分、全てを含めると2.6分の縮小と、それぞれ遅延の抑制が図られている。特に以前は、一旦トラブルが発生すると遅れが一気に拡大し、大幅な遅延に波及する傾向が顕著だったが、最近では遅延の拡大に至らないケースが増えている。これは、先ほど講師が指摘した混雑率の臨界点と関係してくるのではないかと考えられる。

3—研究報告へのコメント

講師の研究報告は、遅延の発生・波及メカニズムの現状をきめ細かく分析されている。また、列車の動きをシミュレーションにより再現することで、新しい視点から遅延抑制のヒントをご提案いただいた。

遅延抑制のこれまでの考え方は、各列車又は各駅別に、列車を前に進めることが基本となっていた。講師の研究は、前後の列車の位置関係から、結果的に最も遅延抑制効果の高い運行パターンを求めるものであり意義深い。

先ほど、運転士の取り組み事例で紹介したとおり、現業第一線の係員は体感的に気づき、現物合わせで試行錯誤を繰り返すことにより、最適値を探り出す努力をしている。この研究の深度化により、その答えを求めることができればありがたい。

また、ある一区間のみではなくその前後の区間も含め線区全体で見渡すことで最適値を求められれば、ありがたい。さらに、混雑の臨界点の指摘があったが、我々の場合、これを遅延のなだれ現象と称している。感覚では田園都市線の場合、混雑率190%ぐらいではないかと思っているが、その数値が前もって明らかになれば、大変参考になる。最後に、大変な成果をあげられる研究となることを祈念している。

■質疑応答

Q 駅の近いところで一旦車両を止めて再度運転を開始した場合、運転士はブレーキ初速を低めにする傾向にあるように見受けられる。池尻大橋駅から渋谷駅に行くときに、最初から速度を落としていったほうが、結果的に早く着くということ、シミュレーション結果からランカーブで示して欲しい。また、閉そく割を変えた場合のシミュレーションを行って欲しい。

レーションを行って欲しい。

田園都市線の混雑率が11%低下したことの要因を分析して欲しい。田園都市線から大井町線に人が流れたのだろうか?また会社への要望になるが、特定の駅間だけでもATO化を検討されたらどうか?

A 仮屋崎:今回の研究を通じて、ブレーキ初速や加速・減速のタイミングなど運転士の運転の仕方も駅間の走行時間に、大きく影響することがわかった。また、シミュレーションを行うことにより、それを定量化してより具体的なものが見えてくる。ランカーブや幾つかの指標を用いてその評価を進めていきたい。ご指摘のとおり閉そく割を見直すことで列車の運行、線路上の列車の流れが変わる。200mの列車長に対し70m程度の閉そく区間が存在するほど現在の閉そく割りは細かく分割されており、自動車交通の渋滞に類似した線路上の列車渋滞が発生する程である。これらを踏まえ、閉そく割が及ぼす遅延の発生・波及の関係についてシミュレーションを活用し検証していきたいと考えている。

C デジタルATCなど技術も進歩している。同時に、ラッシュのときに、カーブのカントのあるところで止めてはいけないなどのお客様への影響や、相互直通している会社との調整も考慮にいれながら検討していきたい。なお、混雑率の低下については、横浜市営地下鉄のグリーンライン線ができて、田園都市線から旅客がシフトしていることも大きな要因である。

Q ホームドアは運転阻害の要因を取り除くという意味では有効であるが、停車時分の短縮との関係では有効であるか?駅のホームの幅員、階段・エスカレータ・エレベータの数は、停車時分の短縮と関係するか?後続列車に

先行列車の情報を送ると言う意味での、デジタルATCの導入の可能性はあるか？

A 仮屋崎:ホームドア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。このため、東京メトロでは丸ノ内線にホームドアを導入する際にダイヤ改正をしている。また、実際に駅のホームで見ていると、ドアばさみが発生すると列車ドアとホームドアが各々に再開閉を強いられるので、1回のドアばさみによる停車時間の増加量は大きくなる傾向にある。他方で、ホームドアは安全性の向上に有効であり、事故を防ぎ長時間の遅延を抑制する効果もある。このため、ホームドアの導入は路線全駅で一律に導入することが良いのか、時間帯や駅によっては人員配置の方が適当なのか、いずれにしても、各駅の特徴を踏まえ駅毎に個別の検討が必要であるかと思う。

また、駅施設については、利用者の乗車位置の選定は、降車駅で利用する階段付近を選ぶ傾向にある。またターミナル駅では、先の列車の利用者を捌ききれず、ホーム上に利用者が滞留し後続列車のスムーズな乗降が妨げられている。ホームの混雑を緩和するため、階段や通路を拡幅、増設することは、利用者の分散につながり、停車時間増加を抑制する効果が大きいと思う。

C 現時点では、ホームドアを設置すると停車時分は延びる。ただし、ホームドアも技術進歩しており、また、確認

方法を工夫することで停車時間に与える影響を少なくするように努力している。

エレベーターなど駅施設についても影響はある。我々は、お客様の乗車についてはお手伝いすることができ、降車については無力に等しい。6ドア車両を導入したときも、渋谷駅の一番混む階段や副都心線の乗換のところの車両を6ドアとした。駅の構造以外で問題となるのは、優等列車を待つお客様である。これらの事情を考慮する必要がある。

デジタルATCになると、先行列車の動きがわかるシステムになると思う。現行のATCを更新するときに、費用との関係を含め検討することになると思う。

Q かつて輸送力の増強について検討する部署にいたが、2分30秒ヘッドであると1時間に24本入れるはずだが、実際には21本しか入らない。今までの研究の中で、列車間隔の最適化について何らかの知見があれば教えて欲しい。

A 仮屋崎:遅延が発生した場合、各列車の所要時間が増加するため、ピーク1時間の運行本数は減少しており、ダイヤ上29本/hよりも少ない本数しか走っていない。ならば、ダイヤにある程度の余裕を持たせて、遅延を抑制し、ダイヤ上の比較では、運行本数が減少するが、実際の運行本数の低下は抑えられ、結果として輸送量の増加

につながるのではとの考えから、検討してみたが、思うような結果は得られなかった。

シミュレーションでは、現在のダイヤの停車時分を全体的に3割増しても、大幅な遅延の増加とはならなかった。むしろ、突発的な停車時間の増加がランダムに発生すると、遅延は大きくなり、回復に時間を要する傾向にあった。ダイヤでは突発的な停車時間の増加を考慮することは難しい、それを踏まえた上でどのようにしていくのかを検討しているところである。ダイヤに合わせるように運転することが、結果として遅延の増加を招いているのではないかという観点からも検討している。

Q 行政の立場から、このような研究に取り組んでいただいていることに対し謝意を申し上げる。研究で理論上明らかとなったことと、現場の取り組みの方向性が一致しているとお話に感銘を受けた。是非、この研究の成果を、鉄道会社間で横展開して欲しい。また、混雑率の緩和と遅延対策については、来年度も予算を計上しており、国としても取り組んでいきたい。次回、更なる研究成果が聞けることを期待している。

(とりまとめ:宮下 創(東京急行電鉄(株)),
仮屋崎圭司、野澤和行)