

# 都市鉄道の列車遅延の拡大メカニズムに関する研究\*

## Study on Mechanism of Worsening Punctuality in Urban Railway Services\*

仮屋崎 圭司\*\*

By Keiji KARIYAZAKI\*\*

### 1. はじめに

首都圏の鉄道は、高密度な鉄道網整備、列車の長編成化、高頻度輸送、相互直通運転の実施、ホームドアの設置等により、広域かつ膨大な通勤需要を正確かつ安全に輸送可能とした世界に誇れるシステムである。それゆえに、首都圏の鉄道網は「概成された」と言われてきた。

しかし、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大きな効果をあげた反面、その副作用として、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等が起り、ある種のパラドクスとなっている。これら毎日のように発生する遅延は、通勤時間帯の混雑と相まって、利用者に多大な苦痛を強いている。

そこで本稿では、この都市鉄道の運行遅延の対策検討の第一歩として、駅でのパイロット調査や列車運行データの実績値を用いた現状把握を試み、遅延拡大の抑制方法についての示唆を得るものとする。

### 2. 駅停車時間の調査

#### (1) データ計測の概要

東急田園都市線の渋谷駅、池尻大橋駅、三軒茶屋駅、二子玉川駅および東京メトロ半蔵門線の表参道駅において、列車毎に到着時刻、駅停車時間、出発時刻を計測した。調査は平成20年9月および10月の期間で駅別に1～6日間実施した。調査時間は通勤時間帯（7:30～9:30頃）の約2時間とし、計測値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間を発着時隔と定義する。駅停車時間は、利用者の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

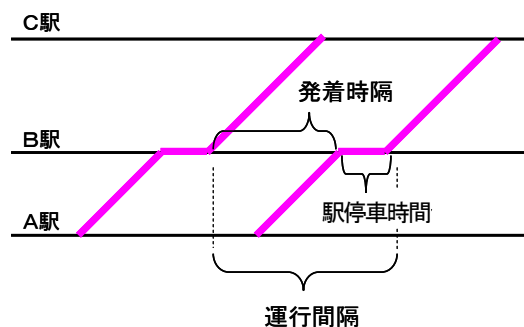


図-1 計測時分の定義（運行間隔の内訳）

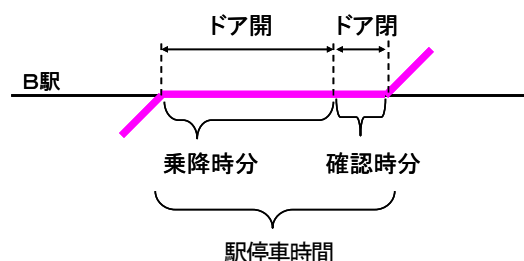


図-2 計測時分の定義（停車時間の内訳）

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-1、図-2参照）。

#### (2) 駅停車時間の計測結果

図-3～6はある調査日の列車毎の駅停車時間を駅別に示している。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。ドア開時の衣服の引込みによるドア支障と、急行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ことがその要因であった。

二子玉川駅から4駅下流の三軒茶屋駅では、駅停車時間増加の主な要因は、乗降時間よりも確認時間の増加であることが分かる。これは無理な駅込み乗車や、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同様に、ドアばさみ等が頻繁に発生し出発時間が遅れる列車が多くなる。

\*キーワード：列車運行遅延、公共交通運用

\*\*正員、工修、(財)運輸政策研究機構運輸政策研究所

(東京都港区虎ノ門3丁目18番地19号、

TEL:03-5470-8415、E-mail:kariyazaki@jterc.or.jp)

一方で、駅の乗降人員が最大である渋谷駅では、確認時分が約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。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。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。

### (3) 増加時間の分布

図-7、8は三軒茶屋駅と渋谷駅における乗降時分と確認時分のヒストグラムである。車内の混雑率や乗降人員数の違いから乗降時分の平均値は異なる値となったが、標準偏差は大きな差がみられなかった。一方の確認時分は、平均値はほぼ同じ値であったが、標準偏差が異なり、三軒茶屋席駅では確認時分が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延時間が増幅し、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分のバラツキと時間増加をどのように抑えられるかの検討が求められる。

遅延の発生は、乗降時分の増加や、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分の増加など、駅毎に遅延発生の要因が異なる。今後、遅れが発生した列車の種別や優等列車の追い越し、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する必要がある。今後の課題としたい。

## 3. 列車運行データと駅間走行時間

### (1) 遅延の分類

遅延の発生・波及の要因は3つに分類される。一つ目は人身事故や車両故障、電気・通信設備故障、自然災害など非常時のトラブルによる発生・波及である。これらの要因による遅延は、遅れ時間とその回復時間が長時間におよぶ可能性がある。2つ目は利用者要因による駅停車時間の増加である。車内やホーム上の混雑に伴う列車乗降時間の増加、無理な駆込み乗車とそれに伴う列車ドア、ホーム柵の再開閉、車内発病などにより列車の駅停車時間が増加し、遅延が発生・波及する。3つ目は線路上の列車混雑要因による駅間走行時間の増加である。先行列車による駅進入制限や走行速度の低下・一時停止・再加速、後続列車の遅れによる発車時間の調整などがそれである。

そこで今回は、このような遅延の発生・波及要因を実際の列車運行データを用いて特に列車運行に着目して現状把握を試みる。列車運行データは、駅毎に各列車の到

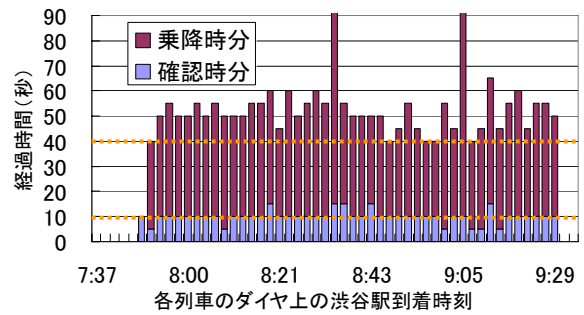


図-3 列車毎の駅停車時間（二子玉川駅10/9）

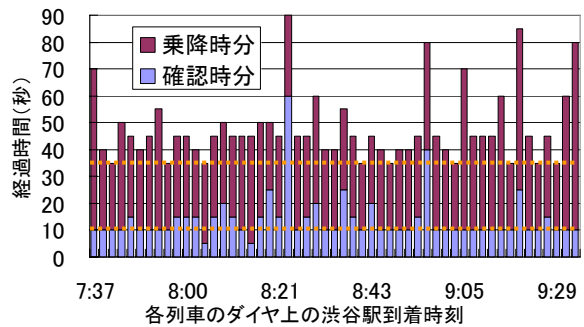


図-4 列車毎の駅停車時間（三軒茶屋駅9/3）

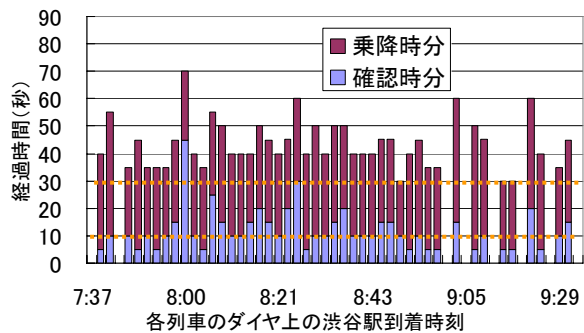


図-5 列車毎の駅停車時間（池尻大橋駅10/3）

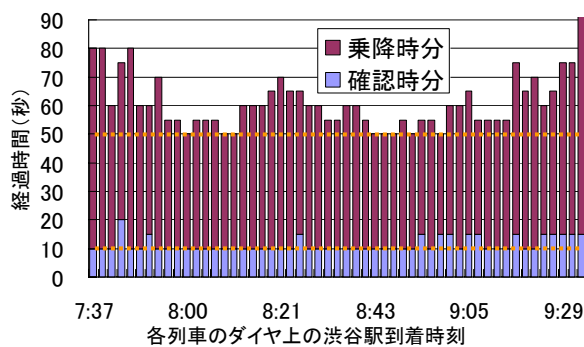


図-6 列車毎の駅停車時間（渋谷駅9/4）

着時刻、出発時刻が記録されたものである。対象路線は、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東急田園都市線、東京メトロ半蔵門線とした。データ取得日時は平成21年1月19日（月）～21日（水）の7:00～11:00である。今回は主に1月19日（月）の集計結果を示す。

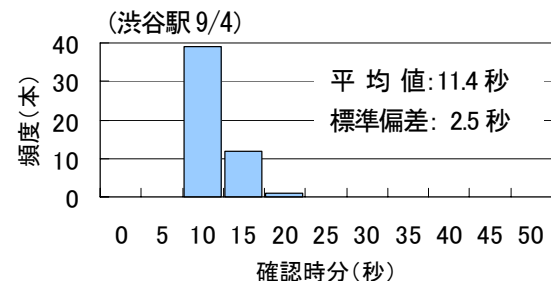
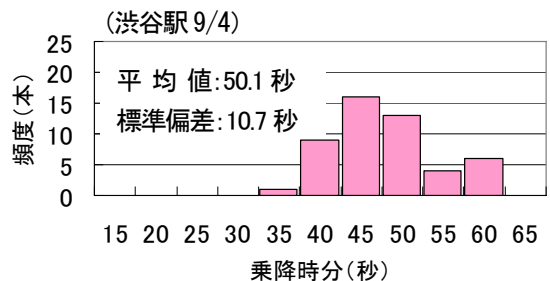
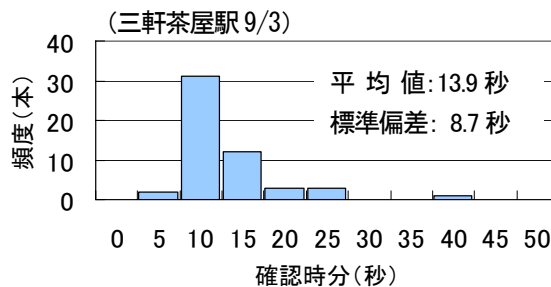
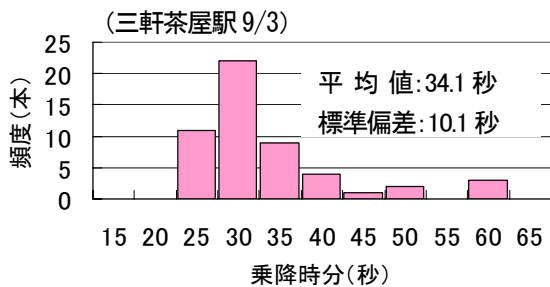


図-7 乗降時分の分布

図-8 確認時分の分布

(2) 駅停車時間と駅間走行時間

図-9、10は準急運転時間帯における池尻大橋駅の駅停車時間と、三軒茶屋駅～池尻大橋駅間の駅間走行時間を列車毎に示している。池尻大橋駅では8:10頃に停車時間のピークがあり、その後は増加量が減少する。一方で、三軒茶屋駅～池尻大橋駅間の走行時間の増加量は、8:00過ぎから徐々に大きくなり9:00頃にピークとなる。また、池尻大橋駅の駅停車時間の最大増加量約70秒と比べ、駅間走行時間のピーク時間帯増加量は120秒～180秒であり、停車時間の増加量より大きな値を示した。停車時間と走行時間の増加量の幅や頻度は駅毎に多様であるが、他の駅においても同様な傾向がみられた。

このように遅れ時間の増加要因は、時間帯によって変化する。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、時間の経過と共に遅れの要因が、駅停車時間から走行時間へと変化していることが分かる（図-11）。言い換えると、遅れの要因が利用者要因による遅れから、列車混雑による遅れへと変化している。

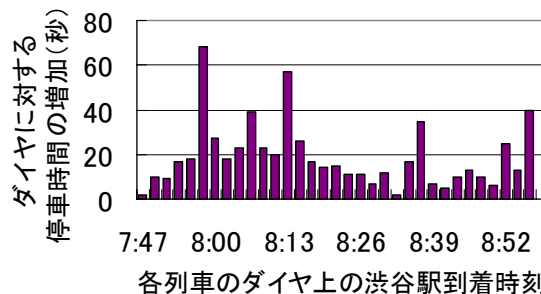


図-9 列車毎の駅停車時間の増加量（池尻大橋駅 1/19）

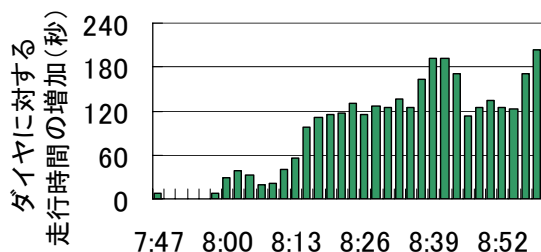


図-10 列車毎の駅間走行時間の増加量  
（三軒茶屋駅～池尻大橋駅間 1/19）

(3) 駅間走行時間と列車の発着時隔

ここで、図-11の枠で囲ったA、B、Cの3本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推定すると、列車Aはダイヤどお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。しかし、各駅での運行間隔をみると、図-12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（ここでは発着時隔と定義する）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。

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、各駅での発着時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、どちらの場合でも駅での発着時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。しかし、列車間隔を空けることは、駅停車時間の増加とそれによる後続列車への影響が生じるため、駅間走行時間と駅停車時間のトレードオフを含めた議論となる。

### (3) 列車密度と走行速度

上記の議論を進めるうえで、重要となるのが駅間の走行速度と列車間隔である。ダイヤ上の列車運行は、各列車が先行列車の挙動に左右されることない適度な間隔を保ち、スムーズな運行がなされるよう計画されている。しかし、一度遅れが発生すると列車間隔に乱れが生じ、駅間には駅到着の順番待ちをする列車が存在するようになる。遅れが増加するとその列がとどころ隙間を空けながら上流の駅まで伸びていく。現在の列車閉そく区間長は、高頻度運行を可能とするため、以前のそれより非常に短い。田園都市線においては、列車間隔が1編成長よりも短く設定されている区間も多く、列車は線路上に密な状態で運行している。このため、先行列車の速度変化が後続列車の運行速度に直接的に影響を与えるような現象が生じており、道路交通の渋滞と類似した線路上における列車の渋滞が発生している。

道路交通においては、交通量と走行速度に関する交通流理論が確立されており、ロードプライシングなど道路使用の最適化の検討に用いられている。その代表例であるQV曲線は、通過交通量Qと速度Vの関係においてどちらも高い状態が存在することを示したものである。自由走行の状態から各車の間隔が詰まって通過交通量Qが増加すると速度Vが低下する。それと同様な現象が鉄道においても起きている。図-13のように、朝のピーク時間帯は線路上の列車本数が増加するとともに駅間の所要時間も増加（走行速度の低下）していることが分かる。しかし、道路交通のQV曲線は走行速度と車両間隔の関係から、通過交通量の最適値が決まるが、鉄道は線路上に駅が存在するため、連続して走行する列車群の途中で新たな遅れが発生するといった現象や、長時間の運行遅延が発生した際に、ボトルネック駅の列車出発間隔あるいは駅停車時間で線路上の全列車の走行速度が決まる等といった、鉄道特有の現象も存在する。走行速度と車両間隔の関係の他に、もう一つ“駅”の要素を組み込んで考える必要がある。

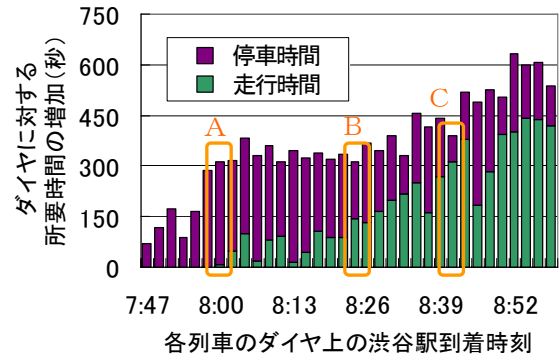


図-11 列車毎の所要時間の増加量  
(溝の口駅～半蔵門駅間 1/19)

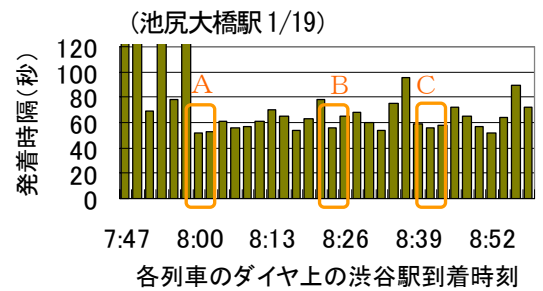
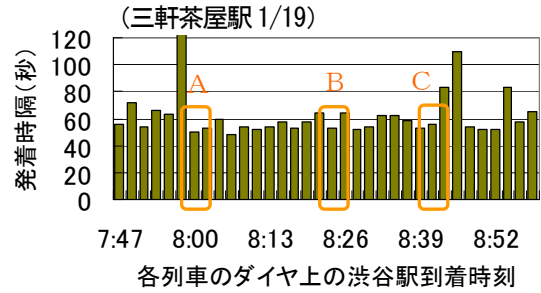


図-12 列車毎の発着時隔

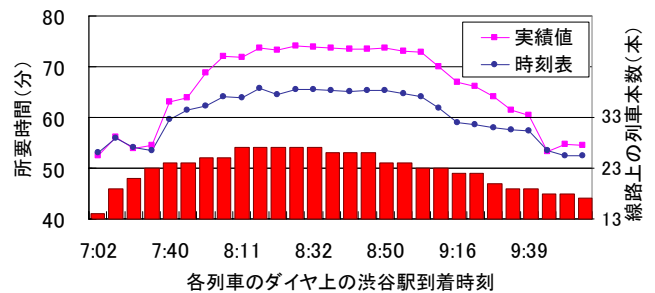


図-13 線路上の列車本数と所要時間  
(中央林間駅～渋谷駅間 1/19：普通列車)

## 4. おわりに

今報告はいずれもある1日のデータからその日の運行状況を概観したに過ぎない。今後の検討を進めるうえでは、ある一定期間のデータから現状分析を行う必要がある。また、鉄道の交通流理論への展開については現在検討を進めているところであり、その途中経過を発表時に報告したいと考えている。

### 参考文献

- 1) 楡木道夫, 西田明, 山口和彦: 列車遅延限りなくゼロを目指して, 運転協会誌, No. 500, pp.2-4, 2001.