入駅時の適正なブレーキ扱による列車遅延防止法* (通勤線区における停止ブレーキ操縦の評価)

永瀬 和彦^{*1,*2}, 別所 雅章^{*3}, 生田 憲人^{*3}, 漆原 健^{*3}

Skillful Train Deceleration to Keep On-Time Performance in the Approach of Stations (A Brake Handling Skill Evaluation for Commuter Trains)

Kazuhiko NAGASE^{*1,*2}, Masaaki BESSYO, Norito IKUTA and Takeshi URUSHIHARA

^{*2} Railway engineering consultant
Shimoochiai 2-2-2-1220, Shinjuku-ku, Tokyo, 161-0033 Japan

To keep on-time performance of commuter trains in mega cities, the skillful brake handling is required for the drivers on the approach of the stations. However, on the course of the training for the newly comer drivers, such skill has been telepathically given by their instructors, and none of theories nor quantitative instructions has been introduced. The authors proposed a method to quantitatively evaluate the brake handling skill on the approach of the stations. Using the newly proposed method, they investigated the data piled up in the event recorder of the EMUs operated the JR West Ohsaka Kanjoh Line, one of the most densely train-operated commuter lines in the JRs. On the investigations, they confirmed that the brake handling skill could be easily and quantitatively evaluated by the method. Then, they applied it to investigate the trains operated on the Tohokaido Main Line between Kyoto, Osaka and Kobe, where the interval of the stations is longer and the scheduled operating speed is higher than the formally investigated line. The results of the study are briefly reported in the paper.

Key Words : Railway, Maneuverability, Driver Assist, Technology Transfer and Education, Train, Braking

1. はじめに

高い密度で列車が運転される大都市圏の通勤線区は駅間が極めて短いために、運転時間の大半は駅発車の際の加速及び駅停車のための減速に費やされる。このうち、加速は全て自動制御されるために運転士の技量が運転時間に影響を及ぼす可能性は少ないが、駅停車のためのブレーキ操縦（以下、「停止ブレーキ」という。）は一部の鉄道を除き手で操縦されるため、これに費やされる時間には運転士の技量が支配的な影響を及ぼす。例えば、不適な停止ブレーキ操作によって1駅間の運転時間が5秒増大すると、首都圏のJR山手線では列車が1周する間の延べ遅延時間は2分半程度に達し、2分半間隔で列車が運転されている混雑時間帯には遅延した列車と定時で先行する列車との運転間隔は所定の2倍にもなり、放置すれば深刻な事態を招く。このため、高密度通勤線区で定時運転を確保するには、適切な停止ブレーキ操作が不可欠とされる。しかし、これに関わる操縦指導は運転士養成期間の途上で指導担当の運転士から以心伝式的に行なわれ、理論に基づく定量的な指導はほとんど行われていない。

停止ブレーキに関わる主な因子は、入駅時に停車のためのブレーキを初めて作動させる速度（以下、「入駅速度」という。）、乗り心地の低下防止及び列車前頭を停止位置目標（以下、「目標」という。）に合わせるためのブレーキ力低減操作（以下、「階段ユルメ」という。）がなされる速度及び階段ユルメ前と後との減速度などがある。筆者

* 原稿受付 2013年2月15日

^{*1} 正員, フェロー, 金沢工業大学

^{*2} 鉄道技術コンサルタント (〒161-0033 東京都新宿区下落合 2-2-2-1220)

^{*3} (株)西日本旅客鉄道運輸部

E-mail: nagase@neptune.kanazawa-it.ac.jp

らはこれらの因子を用いて、停止ブレーキを定量的に把握する方法を提案し、その詳細を J-Rail2010 で発表した¹⁾。さらに、この方法によって定量把握した停止ブレーキに関する情報と、停止ブレーキに要する時間との関係を調べた。調査は西日本旅客鉄道（以下、「JR 西日本」という。）の典型的な大都市高密度通勤線区である大阪環状線の列車で実施した。その結果、提案した方法を用いることによって停止ブレーキの操縦技量を的確に定量評価できるだけでなく、停止ブレーキに関わる指導にも有効活用出来ることを確認し、その結果は先の J-Rail2011 で報告した²⁾。

しかし、調査を行なった大阪環状線の駅間は極めて短く、入駅速度も 60～70km/h 程度に留まるものであった。そこで、筆者らは研究対象線区を駅間が長く、入駅速度が一部では 100km/h 近くにも達する東海道・山陽線に変え、ここを走る普通電車で適用して調査を行なったところ、これらの線区でも同様の結果を得た。以下には、先に J-Rail2010 で報告した停止ブレーキを定量的に把握する方法及び J-Rail2011 で報告した大阪環状線における調査結果の概要も一部に含めて述べる。

2. 駅停車のためのブレーキ操縦の評価方法

2・1 停止ブレーキ定量評価の必要性

停止ブレーキについての運転操縦を評価する方法はいろいろと考えられる。たとえば、衝動発生の有無などの乗り心地から見た評価、あるいは、ホームでの整列乗車の列を乱しかねない停止位置目標をオーバーしての停止などである。しかし、このような事態が起きた場合、運転士自身は好ましくない事態が起きたことだけでなく、発生原因をも認識している場合が多い。高密度通勤線区の停止ブレーキに関し最も求められているものの一つは、どのような停止ブレーキを扱うと、運転時間がどの程度の変化をするかを定量的に明らかにすることである。これらが明らかになれば、列車遅延を防止するための操縦法を定量的に指導出来ることになる。そこで、本研究では、この問題に絞って論ずることとする。

2・2 停止ブレーキ評価のモデル

優れた停止ブレーキ（以下、「巧みな運転」という。）とされるための必要な条件は「目標に一致」、「衝動がなく、乗り心地が良好」、「ダイヤで定めた運転時間を超えない」、「車輪滑走がない」及び「省エネ運転の趣旨に沿っている」であろう。これに沿った具体的運転方法は、目標に出来るだけ接近した時点で車輪が滑走せず、しかも、乗り心地を害しない限度内で出来るだけ強いブレーキを作動させ、衝動が発生する可能性ある編成では衝動が発生する速度域で衝動防止のために最小限の階段ユルメを実施し、停止直前に停止の際の衝動が起きないようにブレーキを緩めて目標に一致させることである。一方、「改善が望まれる運転」の様態は多様であるが、一般的には目標合わせにこだわるあまり、早めにブレーキを作動させて減速度や入駅速度も低めに抑え、目標よりかなり手前から減速度を下げる階段ユルメを何度か行って目標に合わる運転がその典型である。このような停止ブレーキを扱うと、このような運転を行った間の平均速度が低下し、列車は遅延する。

図 1 は駅付近が平坦な線区における停止ブレーキのモデルを示す速度－距離曲線である。ダイヤ作成のための運転時間を算出する過程で作成される運転曲線に則った運転（以下、「標準運転」という。）は図示の標準運転減速開始点（以下、「減速開始点」という。）に速度 v_1 km/h で進入した時点で最初のブレーキ（以下、「入駅ブレーキ」という。）を減速度（以下、「入駅減速度」という。） β_1 一定で作動させ、以降はそのブレーキを緩めることなくブレーキ距離 L_1 m を走行して目標に到達する。

なお、鉄道で使われる速度及び時間などの因子は全て駅などの特定位置に対応した値として用いられるために、減速度は特定距離を走行する間の速度の差から求め、その間の減速度は一定と見做す方法をとっている。よって、以下には減速度についても特に断らない場合は、これによって求めた値を用い、単位は鉄道で普遍的に使われる (km/h)/s を使用する。さらに、図 1 に示す他の地点の速度、距離及び減速度を示す記号についても同様に添字付の v 、 L 、 β なる記号を用い、速度、距離及び減速度の単位記載は原則省略する。

一方、巧みな運転は標準運転と同じ速度で入駅する。しかし、減速開始点ではブレーキを作動させることをせず通過し、目標からの距離 L_3 の点で β_2 で減速を開始する。そして、目標外方距離 L_2 の地点で速度 v_2 の時に衝動

Fig. 1 Concepts of train deceleration in the approach of the station

防止用階段ユルメを実施して減速度を β_3 に低下させて目標に停車する。改善が望まれる運転は、減速開始点の外方から前述の二つの運転より低い入駅減速度 β_4 で減速を開始し、減速開始点を標準運転の通過速度より低い速度 v_3 で通過する。そして、目標外方 L_4 の地点で速度 v_4 の時に目標合わせのための階段ユルメを行って減速度を β_5 に低下させて目標に至る曲線を示す。なお、実際の運転では多くの場合に停止直前に衝動防止のための階段ユルメを実施するが、停止間際に行われる階段ユルメが運転時間に及ぼす影響は無視できるものとし、さらに、ブレーキ空走時間はゼロと見做した。

2・3 停止ブレーキ評価の方法¹⁾

前述に示した3つの運転モデルの停止ブレーキを定量評価するための最もシンプルな方法は、目標近くの特定地点から目標までの所要時間の差異で評価する方法である。そこで、特定地点が明確である減速開始点から目標までの間の3つの運転方法についての運転時間（以下、「到達時間」という。）を求め、次いで標準運転の到達時間と他の二つのモデルの到達時間との差を求める式を求め、ここで得た式を用いて評価を行うこととした。

標準運転における減速開始点から目標までの到達時間を t_1 、巧みな運転のそれを t_2 、両者の到達時間差を T_1 とする。まず、巧みな運転におけるブレーキ距離 L_3 は式(1)で示される。なお、 v_1 は図1の中に示す減速開始点の速度、 v_2 は階段ユルメ実施点の速度、 β_2 は前記の両地点の間を一定減速度で減速したと見做した時の減速度、 β_3 は階段ユルメ実施点から目標までの間について同様の方法で求めた減速度である。

$$L_3 = \frac{v_1^2 - v_2^2}{7.2\beta_2} + \frac{v_2^2}{7.2\beta_3} \quad (1)$$

すると、 t_2 は下式で示される。

$$t_2 = \frac{L_1 - L_3}{\frac{v_1}{3.6}} + \frac{v_1 - v_2}{\beta_2} + \frac{v_2}{\beta_3} \quad (2)$$

$$= \frac{3.6}{v_1} \left(\frac{v_1^2}{7.2\beta_1} - \frac{v_1^2 - v_2^2}{7.2\beta_2} - \frac{v_2^2}{7.2\beta_3} \right) + \frac{v_1 - v_2}{\beta_2} + \frac{v_2}{\beta_3} \quad (2')$$

よって、 T_1 は式(3)から求められる。なお、上記(2)式の右辺第1項括弧内の距離 L_1 及び L_3 が容易に得られる場

合は、 t_2 を式(2')から求めることに代えて、式(2)をそのまま用いれば、 T_1 はより簡易な式(4)から求められる。

$$T_1 = t_1 - t_2 \quad (3)$$

$$= \frac{v_1}{\beta_1} - \frac{3.6}{v_1} (L_1 - L_3) - \left(\frac{v_1 - v_2}{\beta_2} + \frac{v_2}{\beta_3} \right) \quad (4)$$

次に、改善が望まれる運転については、減速開始点から目標までの距離 L_1 と速度、減速度との関係は次式(5)で示される。なお、 v_3 は図1に示す減速開始点の速度、 v_4 は階段ユルメ実施点の速度、 β_4 は前記の両地点の間を一定減速度で減速したと見做した時の減速度、 β_5 は階段ユルメ実施点から目標までの間について同様の方法で求めた減速度である。

$$L_1 = \left(\frac{v_3^2 - v_4^2}{7.2\beta_4} \right) + \frac{v_4^2}{7.2\beta_5} \quad (5)$$

よって、減速開始点通過速度 v_3 は以下の式で示される。

$$v_3 = \sqrt{7.2\beta_4 \left(L_1 - \frac{v_4^2}{7.2\beta_5} \right) + v_4^2} \quad (6)$$

上記の式(6)の右边括弧内第2項は距離 L_4 であり、この距離が容易に得られる場合は、これを直接に用いても良い。すると、改善を要する運転の到達時間を t_3 とすれば、 t_3 は次式で示される。

$$\begin{aligned} t_3 &= \frac{v_3 - v_4}{\beta_4} + \frac{v_4}{\beta_5} \\ &= \frac{1}{\beta_4} (\sqrt{7.2\beta_4(L_1 - L_4) + v_4^2} - v_4) + \frac{v_4}{\beta_5} \end{aligned}$$

よって、改善を要する運転の到達時間 t_3 と標準運転の到達時間 t_1 との差 T_2 は式(7)で示される。

$$T_2 = \frac{1}{\beta_4} (\sqrt{7.2\beta_4(L_1 - L_4) + v_4^2} - v_4) + \frac{v_4}{\beta_5} - \frac{v_1}{\beta_1} \quad (7)$$

3 モデルによる停止ブレーキの評価¹⁾

標準運転の入駅減速度は鉄道によって多様に異なり、巧みな運転及び改善を要するとされる運転も同様である。これらの運転と標準運転との到達時間差がどの程度生ずるかを検証するには、実際の運転と類似性のあるモデルを設定して標準のそれと対比しなければならない。以下には標準モデルの入駅減速度 β_1 を 2.5(km/h)/s、入駅速度 v_1 を比較的高速の 80.0km/h とし、このモデルと一般的に考えられる巧みな又は改善を要する運転のモデルとの到達時間差を求めた。ここで用いる標準運転の入駅減速度の値 2.5(km/h)/s は JR において電車列車のダイヤを作成する時に用いる値で、多くの民鉄はこれより高い値を用いている。

標準モデルと対比する巧みな運転のモデルは、入駅減速度 β_2 を 3.0(km/h)/s 一定とし、階段ユルメ実施速度

Fig. 2 Time difference between standard and skillful braking

Fig. 3 Time difference between standard and poor braking

v_2 を25.0～5.0km/hの間で変化させ、階段ユルメ後の減速度 β_3 を可変変数として値を1.0～3.0(km/h)/sの間に設定した。そして、標準との到達時間差を式(3)から求め、その結果を図2に示す。図の横軸は階段ユルメ実施速度、縦軸は標準運転との到達時間差である。図示のように階段ユルメ後の減速度が入駅減速度と同じ、つまり、階段ユルメを行わず停止した場合、到達時間は約2.5s短縮される。しかし、階段ユルメ後の減速度 β_3 を2.0(km/h)/sより低い値とし、ユルメ速度を18.0km/h以上とした場合には、運転時分は標準運転のそれより増加する。さらに、階段ユルメ後の減速度 β_3 を1.0程度と弱い値にした場合、ユルメ実施速度が5.0km/hという停止直前の低速の場合であっても、到達時間は標準運転より多い値となる。

従って、入駅減速度を標準よりやや高くしても、階段ユルメを高い速度で実施し又は階段ユルメ後の減速度を低くとした場合には、列車はたちまち遅延することになる。多くの現場で衝動防止等の観点から比較的高速域での階段ユルメが行われているが、この事実を踏まえれば、衝動防止と運転時分確保との間で調和のとれた階段ユルメの手法を研究する必要がある。

他方、改善を要するモデルは以下のような運転を行うものとした。入駅減速度 β_4 は多様な値を採って1.0～2.5(km/h)/sの間で変化させる。この減速度のほとんどは標準のそれより低いので、減速開始点より手前で減速を開始し、減速開始点は標準運転より低い速度 v_3 で通過することになる。その後、目標外方 L_4 の地点で速度25.0～5.0km/hの間で目標合せ用の階段ユルメを実施し、階段ユルメ後の減速度 β_5 を1.0(km/h)/sの一定に保って目標に至るものとした。このようなモデルについて、入駅減速度 β_4 を可変変数と見做し、階段ユルメを行った速度 V_4 に応じた到達時間差 T_2 の値を式(7)から求めた。その結果を図3に示す。図の横軸は階段ユルメ実施速度、縦軸は遅延時間である。なお、図中には階段ユルメが20.0、15.0及び5.0km/hで行われた場合の減速開始点通過速度 V_3 が併記されている。

図示のように入駅減速度 β_4 が低く、階段ユルメ速度 V_4 が高い場合、列車は大幅に遅延する。そして、入駅減速度 β_4 を標準と同じ2.5(km/h)/sにとって入駅しても、階段ユルメ速度 V_2 を停止直前の5.0km/hに実施すると、約3sも遅延することがわかる。なお、このように極めて低い速度での階段ユルメの実施は、階段ユルメ後の減速度がモデルで用いた1.0(km/h)/sと言う低い値であったとしても、従前は改善を要する運転とは見做されていない。

4. 駅間が短い線区での調査とその結果²⁾

前記の手法を大阪地区で駅間が極めて短い高密度通勤線区の一つであるJR西日本の大阪環状線に適用し、入駅時のブレーキ扱の定量評価を行った。大阪環状線の駅近傍はほとんど平坦で、駅間平均距離は1.1kmである。

4・1 調査の方法

調査は2011年7月の非降雨の特定同一日に運転された3列車を選び、日中の時間帯の運転状況について、車上に搭載されたATS-P車上装置の記録部に蓄えられた任意の連続したファイルを取り出し、図1と同じ運転曲線を作成した。横軸に走行距離、縦軸には速度をとり、座標上に解析するデータの曲線で描き、ブレーキ操作の状況

を記載し、入駅速度を求める。さらに、図中に調査対象列車と入駅速度及び停止位置目標が同じ標準運転の曲線を併記する。これらデータから標準運転の減速開始点を求め、標準運転のブレーキ距離 L_1 を算出する。調査列車で停止直前以外に 2 回以上の階段ユルメが行われた場合は、最初のユルメ実施点の速度を図 1 に示した如く速度 v_2 又は v_4 と見做す。

改善を要する運転の場合には、曲線が標準運転の減速開始点と一致する地点の速度 v_3 を先ず、求める。次いで、巧みな運転の場合は入駅ブレーキ開始点から（改善を要する場合は標準運転の減速開始点から）、階段ユルメ実施点までの間及び階段ユルメ実施点から目標に到達して停止するまでの間の減速度は一定とみなし、これらの地点間の距離及び地点通過速度から、その間の減速度 $\beta_2 \sim \beta_5$ を求める。さらに、前記の方法で求めた減速度、図 1 に示す各地点の速度 $v_1 \sim v_4$ 及び標準運転のブレーキ距離 L_1 を式 (3) 及び (7) に代入し、調査列車と標準運転との到達時間差 T_1 又は T_2 を算出する。

4・2 調査の結果

図 4 に前記の方法で実施した大阪環状線・内回り 芦原橋駅入駅データの解析例を示す。縦軸は速度 km/h、横軸は走行距離 m である。これら二つの記録に小数点は付されていないので、解析もその記録を用いた。列車は速度 67km/h で入駅ブレーキを作動させており、この時点を中心として走行距離をとる。列車は起点から 319m 走行して停止目標付近に停止したと見られるので、当該地点を停止位置目標とする。

つぎに、停止位置目標を終端とする減速度 2.5(km/h)/s、減速開始点でのブレーキ初速度 67km/h の標準運転の曲線を図示の如く描く。すると、目標から 183m 外方の地点が調査対象列車の減速開始点となる。対象列車の入駅ブレーキ作動地点は該地点の外方なので、対象列車の停止ブレーキ扱いは「改善を要する運転」となる。データから減速開始点通過速度 v_3 は 61km/h、最初の階段ユルメ実施点の速度 v_4 は図最上段のブレーキ扱の状況から 33km/h と判断される。よって、階段ユルメ前の入駅減速度 β_4 及び最初の階段ユルメ地点から後の停止位置目標までの減速度 β_5 を、これら関係地点の速度並びにそれらの間の図に示す距離($L_1 - L_4$)及び L_4 とから求める。すると、値は図中記載の如く $\beta_4 = 2.3(\text{km/h})/\text{s}$ 、 $\beta_5 = 1.7(\text{km/h})/\text{s}$ となる。これらを式(7)に代入し、到達時間差 $T_2 = 4.7\text{s}$ を得る。さらに、減速開始点通過時刻及び目標への到達時刻の記録から、標準運転と実測との到達時間差（以下、「実測値」という。）を求めると、図示記載の如く 5.2 s となる。

この運転では入駅ブレーキ作動させた地点は標準よりかなり外方であり、入駅減速度が標準より低いのに加え、速度の比較的高い速度で大幅な階段ユルメを実施した。このような結果、1 回の停止ブレーキで到達時間差が約 5 秒に達し、典型的な改善を要する運転である。このような方法で解析全データ 53 件のうち、滑走などで異常値と判断されるものを除いた 47 件を対象に解析と考察を行った。

4・3 考察

ところで、到達時間差に影響を及ぼす因子は多様であるが、最も深く影響を及ぼす因子は巧みな運転をも含め入駅減速度 β_2 又は β_4 と思われ、これと並んで階段ユルメ後の減速度 β_2 又は β_5 であると推定される。そこで、

Fig. 4 An example of brake handling in the approach of Ashiharabashi sta. on the JR Osaka kannjou Line

Fig. 5 Influence of the deceleration after partial brake release upon on-time performance

Fig. 6 Influence of the deceleration by initial braking upon on-time performance

これらと到達時間差との関係を調べた結果を図5及び6に示す．図中には，式(3)又は(7)から理論的に求めた時間差 T_1 と T_2 のほかに，実測値との時間差も併記した．さらに，図5には図中記載の近似式に基づく近似曲線を付記した．なお，巧みな及び改善を要する運転の双方を同一図上に示すために，巧みな運転の時間差を図示する際には，値の正負記号を反転させている．さらに，解析の過程で，一部のデータには減速開始点の内方で入駅ブレーキを作動させたために巧みな運転と見られる操作であったにもかかわらず，その後に大幅な階段ユルメを実施したために時間差が反対となった例や，その逆のケースも見られた．これらのデータの運転の巧拙の判断は時間差の正負の値によって行った．

図5に示す「階段ユルメ後の減速度」と理論上の「到達時間差」との関係を見ると，この値が負となる運転，すなわち，巧みな運転は多くはないことがわかる．全体的な傾向を見ると，階段ユルメ後の減速度が高いものの多くは時間差が負，すなわち，巧みな運転であり，減速度が低いものは改善を要する運転となっている．とくに，減速度が $2.0(\text{km/h})/\text{s}$ を下回る場合の時間差は， 3.0s 以上となっている場合が多い．

入駅減速度と時間差との関係を示す図6を見ると，筆者の予想に反して速度と時間差との間に明白な相関は認められない．従前から入駅減速度を高くすることは時間差短縮に有効とされているが，図からそのような事実は何えない．図示しないデータによれば，入駅減速度を高く取った運転の多くは当初の減速度が高すぎたために，列車が目標の手前に停止する事態を防ぐ目的で大幅な階段ユルメを高速で行い，その結果，時間差を増大させている．そのようなブレーキ扱いが，図6に示す結果を招いたと推定した．

これらの結果から見ると，階段ユルメ後の減速度を低く取らざるを得ない運転，すなわち，列車が目標内方に停止する事態を防ぐために大幅な階段ユルメの実施を必要とするような運転を避けることがポイントであることが分かる．従って，運転士の指導に際しては，階段ユルメ後の減速度を指標として捉え，この値を高く保つことが出来る操縦となるよう指導すべきということになる．従前，停止ブレーキは入駅速度に応じた地点を的確に選ぶことが基本であるとの一般的概念で指導が行われていたのであるが，この研究によって別の視点から運転士に対して定量的な指導を行いうる可能性が生まれた．

5. 駅間が長い線区での調査

5・1 調査対象線区

前記の調査を行った大阪環状線は高密度通勤線区ではあるが，平均駅間距離は短く，入駅速度も低く，線区の大半は平坦で，調査対象の車両はブレーキ応答性が低い201系電車であった．そこで，駅間距離がより長く，入駅速度もより高く，ブレーキも応答性が高い電気指令式を用いた207系車両が走行する線区を調査対象として新たに選んだ．

対象線区は東海道・山陽本線(京都～西明石間)，この間の平均駅間距離は 2.4km ，列車の運転最高速度 120km/h ，調査区間の一部の駅付近には 10% の勾配がある．調査対象は普通(各駅停車)列車で，停車時間を含めた主要駅間平均速度は京都～大阪間では 56.3km/h に達する高速運転を行っており，ダイヤ計画上の入駅速度は最高 98km/h で，運転操縦が比較的難しいとされる線区の列車である．

Fig. 7 Brake handling in the approach of Shin-Nagata sta. on the JR Sanyoh Main Line

Fig. 8 Brake handling in the approach of Mukoumachi sta. on the JR Tokaidoh Main Line

5・2 調査の方法

前章の調査結果では、図 5 に示すように定時運転を阻害すると思われるような停止ブレーキ扱が少なからず見られた。調査は昼間時間帯の列車を対象としたため、遅延が生じても比較的余裕のある停車時間で容易に吸収出来るとの潜在意識が、運転士にそのような操縦をさせた可能性も考えられる。そこで、今回は調査対象列車を朝夕混雑時間帯に運行された 3 列車（下り 2 本・上り 1 本、延停車駅数 105 駅）とし、前章と同様の方法で解析を行った。調査は 2010 年 7 及び 8 月の非降雨時に行い、減速度を求めるに際しては前節でとった距離と速度とを用いる方式に加え、後述する理由から通過地点の速度と通過時刻とから減速度を求める方法を併用した。

5・3 調査の結果

図 7 は山陽本線新長田駅下り列車のデータで、座標軸と図中の諸記号等は図 4 と同じである。当駅で下り列車はホーム始端の外方が上り 10‰、その内方が下り 10‰の勾配で入駅時の勾配変化は 20‰にも達し、ホームは半径 800m の曲線上にあり見通しも良くない。加えて入駅速度は図示のように極めて高く、停止ブレーキ操縦が線区で最も難しい駅の一つである。列車のブレーキ扱いは図示のように巧みな運転に属し、標準運転の減速開始点の約 50m 内方でブレーキを作動させた。当初は上り勾配のため、通常よりやや弱めのブレーキを作動させているが、走行距離 350m 付近で下り勾配に差し掛かったため、追加ブレーキの手配を行った。目標 20m 外方、速度 19km/h で階段ユルメを行い、全般的に高い減速度を保って停止させている。このように操縦が困難とされる駅で、一見すると非常に巧みな操縦で停止させたに関わらず、到達時間差はマイナスではあるが約 -3.0s 程度に過ぎない。

Fig. 9 Brake handling in the approach of Nishi-Ohji sta. on the JR Tokaidoh Main Line

図2に示すように階段ユルメ実施速度は、時間差に大きな影響を及ぼす。本事例でも階段ユルメ速度はかなり高速であったため、時間差が少ない値に留まったと判断した。

図8は向日町駅における下り列車のデータで、改善が望まれる運転に属する。到達時分差は約5.0sに達する。当駅は駅ホーム始端まで3.0‰下り勾配で、これを意識したためか追加ブレーキ手配を行っているが、まもなく74km/hの高速で階段ユルメを行った。その後の減速度は差ほど低くはないが、実施速度が高速であったため、大きな時間差となった。

図9は西大路駅における上り列車の解析データで、列車は97km/hの高速で入駅ブレーキを作動させている。その後に数回の追加ブレーキを手配し、図示のように停止直前の2km/hで階段ユルメを行い、データ上はわずか2m進行し停車した。一見して巧みな運転と思われるが、階段ユルメ後の減速度は1.7(km/h)/s、理論上の到達時間差はわずか-1.0s程度に過ぎない。しかし、実測値の時間差は-5.0sと大きな値を得た。この解析のデータは前述のようにATS-P車上装置の記録器から得ており、元のデータは速度発電機の出力情報に依存している。速度発電機は低速域、特に5.0km/h程度以下では発電機の出力電圧低下によって、速度情報の信頼性に問題が出るとされる。よって、本来は好ましいとされる極めて低い速度域での階段ユルメのデータ解析には、特に注意する必要がある。

5・4 考察

図10は5・2で述べた調査で得た全てのデータについて、階段ユルメ後の減速度と、標準運転に対する理論及び実測値で見た時間差との関係を表し、図中には図示の近似式に基づく近似曲線を付記した。座標軸及び図中の諸記号は図5と同じである。図は図5で示した大阪環状線のものとほぼ同じ傾向を示すものの、減速度は広く分布し、時間差も拡大しており、階段ユルメ後の減速度も大阪環状線に比べ格段に高い値を示している。入駅速度も大阪環状線に比べ格段に高く、駅停車時間に余裕が少ない通勤時間帯であるために、運転士の多くはブレーキ扱に特段の注意を払っているためと推定される。とは言え、減速度が2.0程度以下のものも、少なからず存在し、この減速度域では到達時間差が急増する状況は同様である。なお、減速度1.7(km/h)/s付近の図中に時間差が-5.0sに達する特異なデータが存在するが、これが図9で述べた西大路駅で得たデータである。

今までの解析に用いた減速度は、特定2点間の距離とそれら地点の通過速度とから、その間の減速度を一定と見做した、いわゆる「距離ベース」の減速度であって、この方法は広く鉄道で使われてきた。しかし、本研究で用いる速度情報は、低速域では前述のような問題がある。そこで、ここで用いたと同じデータについて、階段ユルメ後の減速度を、その時点の速度と停止に至るまでの所要時間とから求める、いわゆる「時間ベース」の減速度を用いて、減速度と到達時間差との関係を調べた。その結果を、図11に示す。なお、この方法では、式(3)及び式(7)によって得る理論上の時間差 T_1 及び T_2 を求める際も、時間ベースの減速度を用いた。

この方法で求めた減速度と時間差との関係を見ると、理論と実測値との差は大幅に縮小し、西大路駅で得た特異なデータも近似式の近くに位置している。なお、この方法を大阪環状線で得たデータに適用して、同じ方法で距離と時間との減速度の差異を調べた結果では、このような顕著な差異は現れなかった。東海道・山陽線本線の

Fig. 10 Influence of the deceleration on the base of the length after partial brake release upon on-time performance

Fig. 11 Influence of the deceleration on the base of time after partial brake release upon on-time performance

データは広い速度域にわたることが一因とも推定されるが、真因の解明は今後の研究課題である。

時間ベースの減速度、特に階段ユルメ後の減速度は運転の現場でもストップウォッチを用いて極めて容易に計測できる。従って、従前から以心伝心的に行なわれてきた運転指導に代え、ここで述べた方法によって定量的な値に基づいた指導や技量評価を行なうことが出来ると思われる。

6. 結 論

入駅時のブレーキ扱を到達時間差から定量評価する手法を大都市圏高密度区間の通勤電車に適用し、多くの列車のブレーキ扱について調査する研究を行った結果、以下のようなことが分かった。

- (1) 駅進入時のブレーキ扱における階段ユルメ後の減速度と到達時分差との間は、定量的な関係が存在することを確認した。
- (2) 前記の関係をを用いることによって、多様な線区の入駅時のブレーキ操縦技量を定量評価できるだけでなく、改善が必要なブレーキ扱については問題点を的確に指摘出来ることがわかった。
- (3) 階段ユルメ後の減速度が $2.0(\text{km/h})/\text{s}$ 以下となった場合には、到達時間差は急増する傾向にある。
- (4) 前記の事実を踏まえれば、入駅時の到達時分の増加を防ぐためには、大巾な階段ユルメを余儀なくされるようなブレーキ扱を避けることが肝要である。
- (5) 時間ベースの減速度と到達時間差との関係は、多くの場合に距離ベースの減速度で得た値と変わらず、この方法を用いた方が好ましい結果を得る場合もあることがわかった。よって、運転指導の場でこれを用いれば、従前は以心伝心的に行なわれて来たブレーキ操縦に関わる指導を定量的な指標を用いて的確に行ない得る可能性がある。

今後はこの手法を操縦指導の現場に適用し、実務での有効性についての検証を行きたい。最後に J R 西日本本社運輸部及び車両部並びに大阪支社関係各位の多大な協力を得たことを付記し、ここに深謝の意を表します。

文 献

- (1) 別所雅章, 生田憲人, 浅井浩史, 林太郎, 永瀬和彦, “入駅及び速度制限区間通過時の適正なブレーキ扱による列車遅延防止法, (第 1 報 入駅時のブレーキ扱が運転時分に及ぼす影響)”, 第 17 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 (2010), pp.533-536.
- (2) 生田憲人, 別所雅章, 阿川啓三, 林 勝, 永瀬和彦, “入駅及び速度制限区間通過時の適正なブレーキ扱による列車遅延防止法 (第 2 報 駅間の短い通勤電車の停止ブレーキ操作に関する評価)”, 第 18 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 (2011), pp.527-530.
- (3) 生田憲人, 別所雅章, 漆原 健, 永瀬和彦, “入駅及び速度制限区間通過時の適正なブレーキ扱による列車遅延防止法 (第 3 報 異なる運転状況の下における停止ブレーキ操作に関する評価とその結果)”, 第 19 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 (2012), pp.393-396.