

2205 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4報 異なる運転状況の下における停止ブレーキ操作の評価とその結果

○生田 憲人 別所 雅章 漆原 健 (西日本旅客鉄道株式会社)

正 [機] 永瀬 和彦 (金沢工業大学)

Skillful Train Deceleration to Keep On-time Performance

The 4th Report, a Brake Handling Skill Evaluation of Various Trains on the Approach of Stations

○Norito Ikuta, Masaaki Bessyo, Takeshi Urushihara (West Japan Railways Co.)

Kazuhiko Nagase (Kanazawa Institute of Technology)

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. 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. On the investigations, they confirmed the utility of the method. They applied it to some other line, where the interval of the stations is longer and the scheduled speed is higher than the formally investigated line. The results of the study are briefly reported in the paper.

Keywords : Railway, transportation, train, train operation, braking

1. はじめに

高密度通勤線区で列車を定時運転するためには、入駅時の適切なブレーキ操作が不可欠とされる。しかし、これに関わる指導は、運転士養成期間の途上で教導運転士などから以心伝式的に行なわれているのが実情で、理論に基づく定量的な指導はほとんど行われていない。

筆者らは入駅速度、階段ユルメ速度及び階段ユルメ前後の減速度などの因子を用いて、入駅時のブレーキ操作を定量評価する新たな手法を提案し¹⁾、これをJR西日本の典型的な通勤線区である大阪環状線の列車に適用して、入駅時におけるブレーキ扱の評価を試みた。

その結果、提案した手法はブレーキ操縦技量を的確に定量評価できるだけでなく、ここで得た評価は運転士のブレーキ操縦指導の指標として有効に活用出来ることを確認した²⁾。

しかし、調査を行なった大阪環状線の駅間は短く、入駅速度も60~70km/h程度に留まるものであった。本報では研究の対象を駅間が長く、入駅速度が一部では100km/h近くにも達する東海道・山陽線の京都~西明石間の普通電車に変え、提案した手法で調査を行なった結果を述べる。

2. 停止ブレーキ操作の評価方法

評価方法についてはこれまでの報告^{1), 2)}で詳細を論じたので、ここでは概略を述べる。

2.1 ブレーキ扱の評価モデル

図1には入駅時のブレーキ開始点付近から停止位置目標(以下「停目」という)までの間における「巧みな運転」、「標準運転」及び「改善が望まれる運転」のモデルを運転曲線で示す。標準運転は標準運転減速開始点(以下「減速開始点」という)に速度 V_1 で進入し、減速度 β_1 による一段ブレーキでブレーキ距離 L_1 を要して停目に到達する曲線、巧みな運転は減速開始点を過ぎ停目外方距離 L_3 点で β_2 により減速を開始し、停目外方距離 L_2 点で速度 V_2 の時に衝動防止用階段ユルメを実施し、減速度を β_3 に低下させて停目に停車する曲線、改善が望まれる運転は減速開始点外方から β_4 で減速を開始し、減速

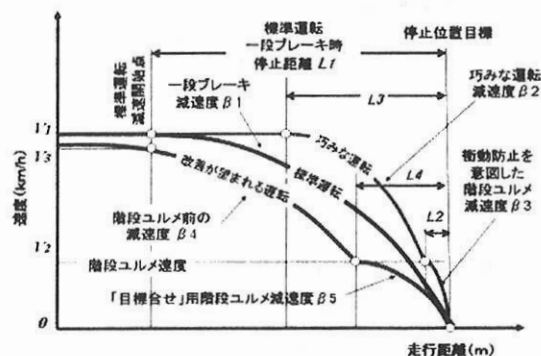


図1 停止ブレーキの定量評価用モデル¹⁾

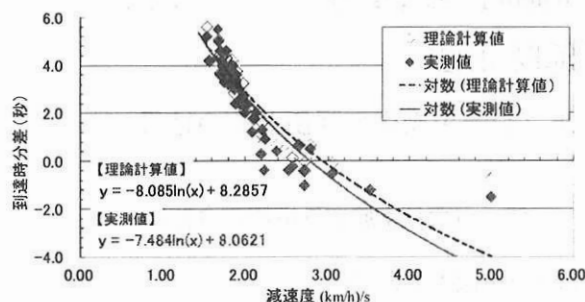


図2 階段ユルメ後の減速度と到達時分差との関係²⁾

開始点を速度 V_3 で通過、停目外方 L_4 点で階段ユルメを行い、減速度 β_5 で停目に至る曲線を示す。

このモデルを基に、最初の階段ユルメから停止に至るまでの減速度 β_3 及び β_5 、階段ユルメ速度並びに各減速度と到達時分差との関係について調査した。

2.2 モデルによる差異算出式

前述の3種類の操縦方についてブレーキ空走時間を無視し、減速開始点から停目までの標準運転との到達時分差を巧みな運転では T_1 、改善を要する運転では T_2 とすれば、これらは次式で示される^{1), 2)}。

$$T_1 = \frac{V_1}{\beta_1} - \frac{3.6}{V_1} \left(\frac{V_1^2}{7.2\beta_1} - \frac{V_1^2 - V_2^2}{7.2\beta_2} - \frac{V_2^2}{7.2\beta_3} \right) - \left(\frac{V_1 - V_2}{\beta_2} + \frac{V_2}{\beta_3} \right)$$

$$T_2 = \frac{1}{\beta_4} \left(\sqrt{7.2\beta_4 \left(L_1 - \frac{V_2^2}{7.2\beta_5} \right) + V_2^2} - V_2 \right) + \frac{V_2}{\beta_5} - \frac{V_1}{\beta_1}$$

2.3 これまでの研究成果

図2は大阪環状線の昼間列車の約60回の駅停車回数に前記評価方法を適用し、階段ユルメ後の減速度 (β_3 または β_5) と標準との到達時分差との関係を表したものである。両者には定量的な関係が明確に認められ、特に階段ユルメ後の減速度が2.0(km/h)/s (以後、減速度は単位を省略し数値のみを記載する) 以下となると時間差が急増する。よって、入駅時に適切なブレーキを扱うためには、「停目合せのために大巾な階段ユルメを余儀なくされるようなブレーキ扱 (ブレーキ開始点の誤りなど) を避ける」ことが重要との知見を得た。

3. 新たな線区における調査の実施

3.1 調査線区の選定

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、平均駅間距離が1.1km、入駅速度は低く、線区の大半は平坦であり、調査対象車両はブレーキ応答性が低い201系電車であった。

今回は、駅間距離がより長く、入駅速度もより高く、かつ、起伏に富んだ区間を対象とし、ブレーキも応答性が高い車両を調査対象とした。

3.2 調査線区ならびに列車の概要

対象線区と列車の概要は以下の通りである。調査区間の駅付近の勾配は $L \sim \pm 10\%$ 、曲線は最小半径が400mと変化に富んでいる。

○調査区間：東海道・山陽線 (京都～西明石間)

駅間距離 平均2.4km、最短0.7km、最長5.3km

線区最高速度 120km/h

○運転状況の概要

調査対象：普通 (各駅停車) 列車

表定速度 京都～大阪 56.3km/h、大阪～西明石 49.3km/h

惰行初速 110～45km/h、ブレーキ初速 98～39km/h

最高速度 120km/h

○車両

編成：207系3M4T、制御方式VVVF、

電気指令式ブレーキ8ノッチ

3.3 調査方法

上記区間における平成24年7.8月の非降雨時の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) を任意に抽出し、ATS-P車上装置の記録 (キロ程、走行距離、速度、時刻及びブレーキ指令データ) から以下に示す曲線を作成した。作成方法は前回研究報告²⁾と同様である。

なお、ATS-P記録器の距離記録に高い精度が期待できないため、減速度を求めるに際しては、念のため距離と時間との双方を基準とした値を併せ求めた。

4. 調査結果と考察

4.1 調査におけるブレーキモデルの分布結果

表1は駅停車ブレーキ操作の全数を巧みな運転と改善が望まれる運転に分類し、それぞれの運転について標準運転時分内に納まったものと、超過したものとを件数で示す。なお、標準運転との時間差は計測誤差を考慮し、差が1秒を越えるものを超過と見做した。

表に示す通り、巧みな運転は1/3弱に留まり、改善が望まれる運転の多くは、後述のように運転時分が標準時分を大きく超過しているものが多い。以下には、この分類に従って特徴的なデータを示す。

4.2 下り勾配途上にある駅での操縦例

図3及び4はいずれも山陽線の新長田駅下り列車におけるデータで、横軸は実ブレーキ開始点を基準とした距離、縦軸は速度で、図中に標準の運転曲線、ブレーキノッチ及び図示の如く主要測定値が併記してある。双方ともに巧みな運転に属するが、到達時分差は図3では約2.5秒の短縮、図4においては1.3秒の増加となっている。

両者ともブレーキ開始以降に追加ブレーキを行っており、初期の減速度に注目すれば時間の短縮が期待できるが、図4では階段ユルメ後の減速度は1.79と標準運転減速度を大きく下回る状態が約7秒継続したことにより到達時分差の増加をもたらしている。

当駅で下り列車はホーム始端外方が上り10‰、その先が下り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。

減速中に勾配による顕著な減速度変化が生ずるため、操作を誤ると大きな追加ブレーキによる抑え込み、または大幅な階段ユルメを行ってブレーキ距離を伸ばしなからの停目合わせを強いられる。図4のケースは下り勾配

表1 巧みな運転と改善が望まれる運転の件数

	標準以内	標準時分超過
「巧み」運転	23	8
「要改善」運転	19	55

途上で減速度確保のために追加したブレーキを早めに緩めるべきであったが、その時期を逸して後に大幅な階段ユルメを強いられ到達時分差が増加した。

この様な扱いの難しい駅の図4に示す事例は、本来は巧みな運転に属するブレーキ扱いであっても、以後の不適切な制動操作が到達時分差の増加をもたらす一例であり、このような駅では運転士の技量の差が顕著に表れる。

4.3 明らかに制動操作が不適切な操縦例

図5及び6はいずれも向日町駅における下り列車のデータで、図5は巧みな運転、図6は改善が望まれる運転に属する。到達時分差は図5では約2.6秒の短縮、図6は5.4秒の増加となっている。

図5ではブレーキ開始位置は標準運転とほぼ同じで、この車両の基準ブレーキ5ノッチの減速度が2.7であることを考えるとブレーキ開始時機は適切と考えられるが、追加ブレーキを行っている。その理由は所定ブレーキノッチ投入前に低ノッチをしばらく使用したこと、この駅の制動開始位置からホーム始端までは3%の下り勾配であるため、制動距離不足となり追加ブレーキを扱い、結果として階段ユルメ後の減速度が約3.0となりトータルとしては標準運転の減速度である2.5を上回ったためと考えられる。

一方、図6の事例は典型的な改善が望まれる運転である。ブレーキ初速は図5と同じ80km/hだが、ブレーキ開始位置が70mも手前であるため、初期制動では基準ブレーキ5ノッチを投入するも、早い時期に階段ユルメによりブレーキ距離を伸ばしている。その後、停目付近で

は更にブレーキノッチを低下し、約9秒後に停止位置に停止している。

この車両の基準ブレーキ5ノッチの1段下位の4ノッチ設計減速度は2.2であり、その後のユルメによる損失合算が5.4秒の大きな到達時分差につながっており、典型的なブレーキ開始位置を誤った事例である。

近年普及している電気指令式ブレーキ車両ではブレーキノッチに応じた定常的な減速度をほぼ得ることができるので、高速で入駅する際は特に適切なブレーキ開始時機とノッチの選択が重要である。

4.4 階段ユルメ後の減速度と到達時間差との関係

図7に今回調査における階段ユルメ後の減速度と標準運転に対する到達時分差との関係を表す。また、図中には距離ベース計算による到達時間差を対数近似と見做した曲線と近似式とを併記した。

図示のように減速度は2.0以上、時間差1~2秒のものが多く、図2に示す大阪環状線とは傾向が異なる。その原因は入駅速度が大阪環状線に比べ極めて高いがために、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。だが、減速度が2.0程度以下では到達時間差が急増する状況は今調査でも確認できた。

今回の調査では減速度を前述の如く距離基準の他に時間基準でも求め、結果を図中に併記した。図示のように両者の値はほぼ一致している。時間基準の減速度は現場でも極めて容易に求めることが出来るので、この値を指導の場で直接に用いれば、運転士に対し定量的な指標を基に的確な指導を行うことが出来る。

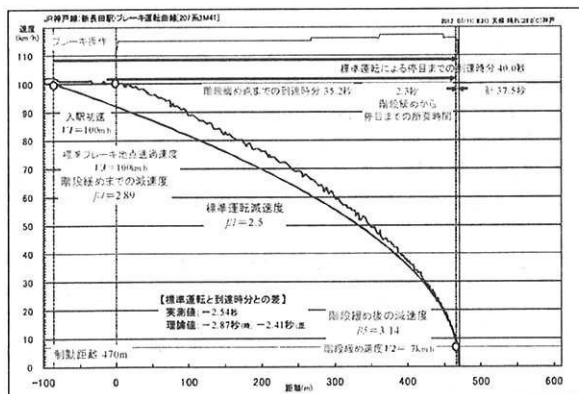


図3 巧みな運転による到達時分短縮(新長田)
(2012. 7. 11 天候: 晴)

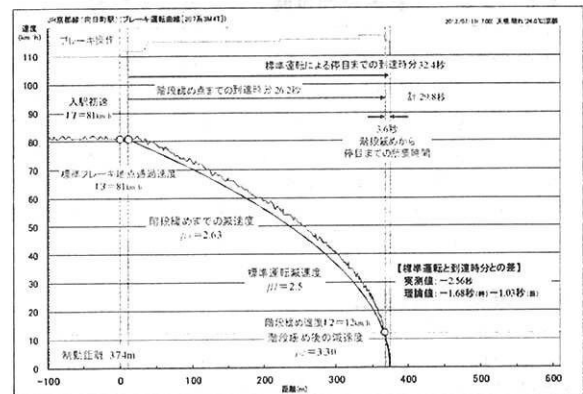


図5 巧みな運転による到達時分短縮(向日町)
(2012. 7. 11 天候: 晴)

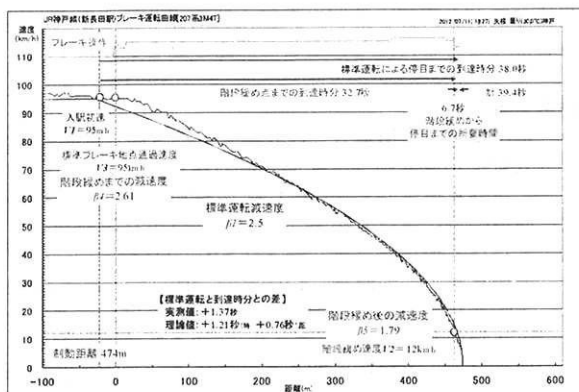


図4 巧みな運転による到達時分増加(新長田)
(2012. 7. 11 天候: 曇)

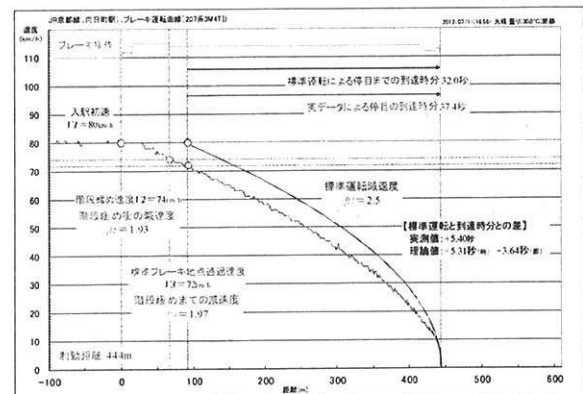


図6 改善が望まれる運転による到達時分増加(向日町)
(2012. 7. 11 天候: 曇)

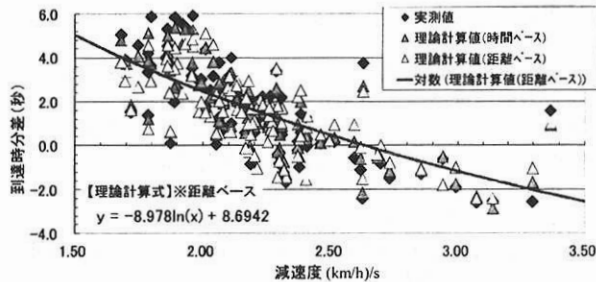


図7 階段ユルメ後の減速度と到達時分差との関係

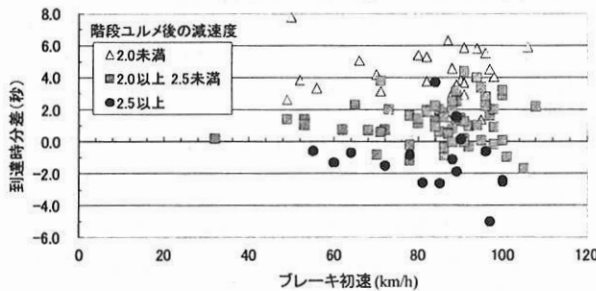


図8 ブレーキ初速に応じた到達時分差の分布

図は省略するが、階段ユルメ前の減速度と到達時分差との間には大阪環状線とは異なり、ある程度の相関が認められ、特に初期の減速度が 2.0 程度以下の場合には到達時分差は大幅に増大することも判明した。

4.5 ブレーキ初速が到達時分差に及ぼす影響

図8はブレーキ初速に応じた標準運転に対する到達時分差の分布を示し、横軸にブレーキ初速、縦軸に到達時分差を取った。図から階段ユルメ後の減速度が到達時分差に及ぼす影響は、ブレーキ初速の上昇に応じて増大する傾向にあることがわかる。特に 80km/h 以上の高速域で低い減速度を招く稚拙な階段ユルメのブレーキ扱は到達時分を顕著に増大させ、逆に的確な階段ユルメは到達時分を大きく短縮させ得ることが分かる。

4.6 運転士の技量差

今回の調査には6名の運転士が携わったが、この中から2名の運転士を選び、個々の技量を階段ユルメ前後の減速度と到達時分差から考察した。図9は平均到達時分差の最も大きい運転士C(+2.4秒)と、最も小さい運転士F(-0.7秒)の各駅における階段ユルメ前後の減速度と到達時分差との関係を示したものである。両者の減速度分布には明らかな違いが見られる。

平均到達時分差がマイナスとなった運転士Fの場合には減速度の分布が小さく、かつ、減速度は 2.5 前後のエリアに集中分布しているのに対し、平均到達時分が標準

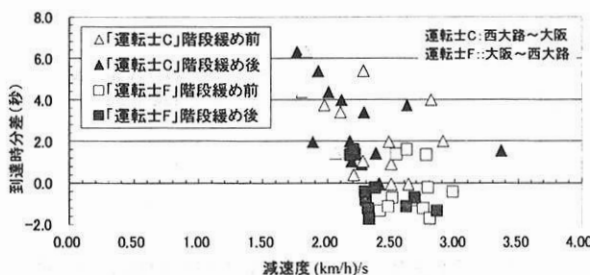


図9 運転士の違いによる階段ユルメ前後の減速度

運転を上回る運転士Cの場合の減速度は 2.5 以下のエリアに広く分布している。これは、運転士Fが車両の減速状態把握や各駅の線形等を考慮したブレーキ開始位置の決定が定常的に適切であり、それに伴い階段ユルメ時機も適切となるためと考えられる。

以上のように、この調査手法は運転士個々のブレーキ技量を定量的に捉えるとともに、技量向上のために改善すべきポイントを把握するための有効な手段である。

5. 結論

入駅時のブレーキ扱を定量評価する手法を駅間が長く入駅速度が高い東海道・山陽線の通勤電車に適用し、その技量を調査した結果、以下のようなことが分かった。

- (1) 調査対象線区の階段ユルメ後の減速度と到達時分差との間には、入駅速度が低い線区と同様に明確な関係が認められた。よって、提案した手法は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ことが明らかになった。
- (2) 階段ユルメ後の減速度が到達時分差に及ぼす影響はブレーキ初速の上昇に応じて増大する傾向にあり、初速が 80km/h を上回る速度域での階段ユルメ後の減速度は到達時分差に極めて大きな影響を及ぼす。
- (3) 階段ユルメ前の減速度と到達時分との間には大阪環状線とは異なり、ある程度の相関が認められ、特に初期の減速度が 2.0 程度以下の場合には到達時分は大幅に増大する。原因は入駅速度が高いためと判断される。
- (4) 巧みな運転を行う運転士の入駅減速度及び階段ユルメ後の減速度は共に高い値を保持しているのに対し、これと異なる操縦を行う運転士のその値は多様に変化する。その原因は入駅時のブレーキ開始位置及びブレーキノッチの選択に適正を欠くことにある。この事実を踏まえれば、ブレーキ操縦技量の向上を計るには速度に応じたブレーキ開始位置及びブレーキノッチに応じた減速度を把握させることが肝要である。
- (5) 停止位置目標の外方に顕著な勾配変化のある駅に停車する際には、階段ユルメを行なう時機の僅か遅れは到達時分差に大きな影響を及ぼす。
- (6) 現場で容易に求め得る時間基準の減速度は本提案の理論で用いた距離基準の減速度と大きくは変わらないことがわかった。よって、これを運転指導の現場で用いれば、ブレーキ操縦に関わる技量の指導を、定量的な指標を用いて的確に行なうことが出来る。

今後はこの手法を操縦指導現場に適用し、実務での有効性についての検証を行きたい。最後にJR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。

参考文献

- (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, pp.533-536, 2010
- (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, pp.527-530, 2011