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

○生田　憲人　　別所　雅章　　阿川　啓三　　林　　勝（西日本旅客鉄道）

［機］永瀬和彦（金沢工業大学）

Skillful Train Deceleration to Keep On-time Performance
－ The 2nd Report, an Brake Handling Skill Evaluation of Commuter Service EMUs on the Approach of Stations –

○Norihito Ikuta,　Masaaki Bessyo,

Keizou Agawa,　Masru Hayashi, (West Japan Railways Co.)
Kazuhiko Nagase (Kanazawa Institute of Technology)

In the 1st report, the authors proposed the method to quantitatively evaluate the brake handling skill on the approach of stations. To confirm the utility of the above mentioned method, they analyzed the date piled up in the event recorder installed on the EMUs operated in a JR West commuter line. They also investigated the relation ship between the brake handling and such factors as the velocity of the EMUs on the approach of the station, the velocity at the time when partial brake releasing was done, the deceleration before and after the partial brake release applied, because those factors were said to have strong ties to the on-time performance and the brake handling skill. As the results of the investigations, they confirmed the method could appropriately evaluate the brake handling skill.

キーワード：鉄道，輸送，列車、運転，ブレーキ
Key Words：Railway, transportation, train, train operation, braking

1．はじめに

停車駅進入時のブレーキ扱いは、到達時分に少なからぬ影響を及ぼし、駅間の短い大都市通勤電車線区については、特に影響が大きいとされる。ダイヤ作成の基準となる運転曲線の駅進入時のブレーキ扱いは減速度βを一定と見做した方法が採られ、多くの鉄道は駅進入時のβは概ね2.5から3.7(km/h)/s程度の間の値を採る。

一方、実際のブレーキ扱はこれとは相当異なり、中速域では車両間ブレーキ力不均衡に起因する衝撃の発生防止のため、また低速度域では停止位置目標（以下「停目」という）合わせのため、さらには、停止直前には制輪子摩擦係数変化による乗り心地低下防止のため、などにより多様な階段ユルメが慫慂されている。従って、運転曲線の減速方法と、現場における運転操縦との間には乖離がある。ところが、入駅時のブレーキ扱は乗務員の感覚に大きく依存する技量とされ、今でも乗務員教育の中核をなす見習制度の中においては以心伝心的に行われ、理論解析や操縦技量の評価に関わる体系的研究は行われておらず、理論に基づいた体系的な教育も行われていない。

この問題について本研究の第1報で、入駅速度、階段ユルメ速度、階段ユルメ前後の減速度及び到達時分などの諸因子を用いて技量を評価する手法を提案するとともに、この方法を在来線特急電車に適用して評価を試みた。

その結果、この提案が停止ブレーキの操縦技量を評価する手法として有用であることを確認した。

本報では駅間の短い大都市圏高密度通勤電車区間でこの手法を用い、多数の列車の入駅時のブレーキ扱を評価した。その結果、この手法によって入駅時の多様なブレーキ操縦を定量評価できることを確認した。さらに、改善が必要なブレーキ操縦については、問題点を的確に把握出来ることが明らかになった。

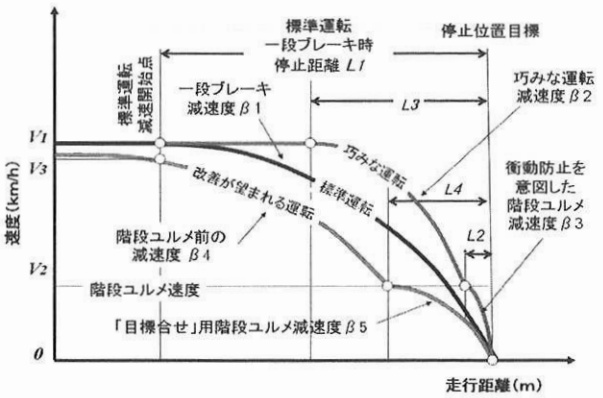

図 1 停止ブレーキの定量評価用モデルの例

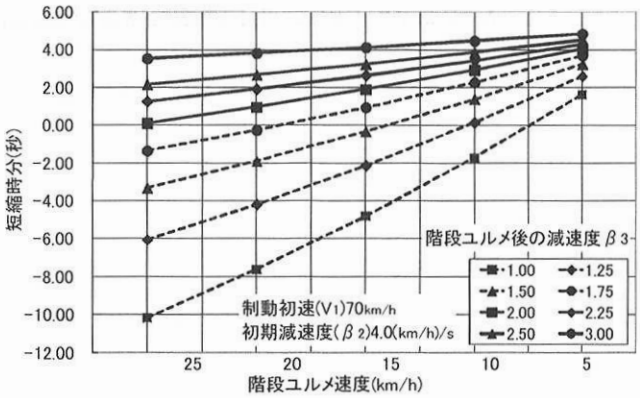

図 2　巧みな運転実施時の到達時分差の変化

－ブレーキ初速 70km/h, β2=4.0 で入駅後、多様な速度域で多様な階段ユルメを実施した場合の到達時分増減－

2．停止ブレーキ操作の評価方法

2．1　ブレーキ扱のモデル

図 1 には駅進入時に、制動開始点付近から停目までの間で、「巧みな運転」、「運転曲線による標準運転」及び「改善が望まれる運転」のモデルを示す。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 $V1$ で進入し、減速度 $\beta 1$ による一段ブレーキで、ブレーキ距離 $L1$ で停目に到達する運転曲線、巧みな運転は減速開始点を過ぎて停目外方距離 $L3$ 点で $\beta 2$ で減速を開始し、停目外方距離 $L2$ 点で速度 $V2$ の時に衝動防止用階段ユルメを実施して減速度を $\beta 3$ に下げて停目に停車する曲線、改善が臨まれる運転は減速開始点外方から $\beta 4$ で減速を開始し、減速開始点を $V3$ で通過し、停目外方 $L4$ 点で階段ユルメを行い、減速度 $\beta 5$ で停目に至る曲線を示す。実運転では衝動防止のため、停止間際に大幅な階段ユルメを行う例が多いが、最近の車両の多くは応答性の優れた電気指令ブレーキなので、停目直前の階段ユルメの影響は到達時分上では無視できると見做した。

2．2　ブレーキ扱の違いによる到達時分の差異

前述の 3 種類の運転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 $T1$、改善を要する運転では $T2$ とすれば、これらは次式で示される。

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

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

2．2　モデルによる到達時分増減の調査

前記理論式に実運転に沿った諸数値を入れ、多様なブレーキ扱に応じた到達時分差を求めた結果を次に示す。

図 2 は巧みな運転の $\beta 2$ を 4.0(km/h)/s（以下、減速度の単位を省略し数値のみを記載する)の高い減速度で入駅し、ブレーキ初速度 $V1$ を 70 km/h、階段ユルメを $V2$ =5～25km/h で実施した場合、標準運転($\beta 1$=2.50)に対する到達時分差 $T1$ を示す。図示の通り、階段ユルメなしの場合、$T1$ は 5.0s 短縮される。しかし、高速域で $\beta 3$=2.0 より低い減速度となる階段ユルメを行うと、せっかく、高減速度で入駅しても、それが帳消しとなる。$\beta 3$=1.0 程度の弱い減速度となる階段ユルメを 20km/h 以上で実施すると、遅れは 8s 以上にも達する。

多くの現場で衝動防止のため比較的高速域での階段ユルメを慫慂しているが、衝動防止と到達時分確保との両観点での調和のとれた階段ユルメを行う必要がある。

3．調査の方法

前記の手法を大阪地区の駅間の短い高密度通勤線区に適用し、入駅時のブレーキ扱の定量評価を行った。

3．1　調査対象の線区と列車

対象の線区と列車の概要は以下の通りである。対象線区の駅近傍はほとんど全て平坦である。

- 調査区間　大阪環状線外回り（平均駅間 1.1km）
- 実施年月　平成 23 年 7 月の昼間・非降雨日
- 対象列車車両編成 201 系 4M4T 電磁直通ブレーキ
- 速度種別　停電 C8
- 調査の方法　ATS-P のデータを取得して解析

3．2　調査の方法

任意に選んだ特定日の 3 列車について、ATS-P 車上装置の昼間帯の任意のデータ・ファイルを抽出し、キロ程、走行距離、速度、時刻及びブレーキ指令データから図 1 に示す曲線を作成した。停止直前以外に 2 回以上のユルメが行われた場合は、最初のユルメ実施点を V2 と見做して減速度 $\beta 2$～$\beta 5$ を査定した。

4．調査結果と考察

4．1　評価法の信頼度の検証

この評価法で懸念される主な問題は以下の通りである。

- 通常は複数回行われる階段ユルメを、最初のユルメを実施した速度 $V2$ で唯 1 回だけ実施されたと見做すこと。
- 減速度は前記ユルメ点を基準に、距離から得ていること。
- 到達時間は前記方法で得た減速度から求めていること。

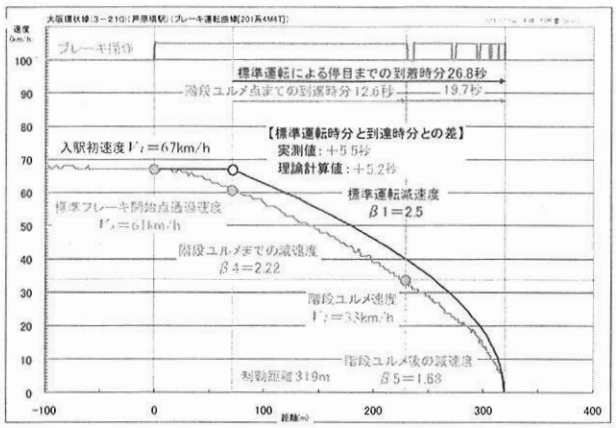

図 3　多数の階段ユルメが実施された事例（ 3-21G ）

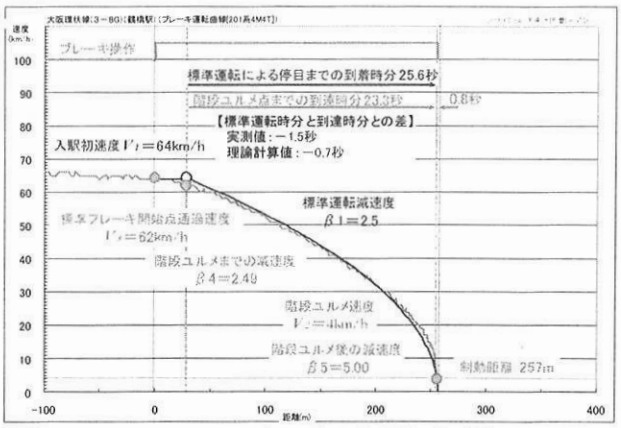

図 5　標準運転に準じた運転(3-8G)

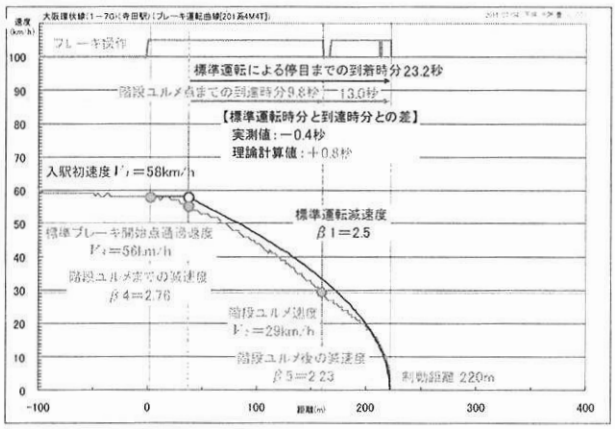

図 4 理論と実測の到達時分差に差異が出た例(1-7G)

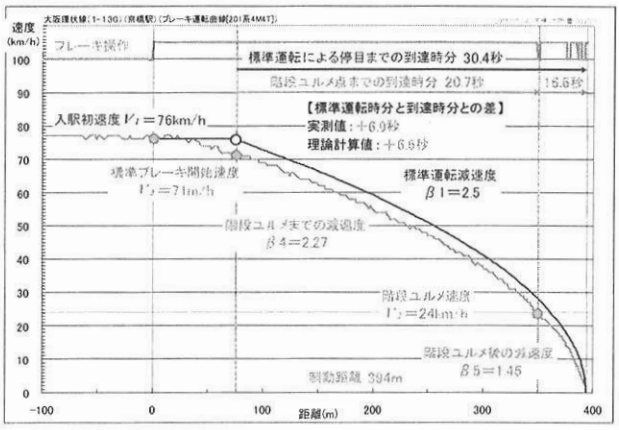

図 6 過剰な階段ユルメによる大幅遅延の例(1-13G)

これらの問題が評価に及ぼす影響を調べるため、多くの階段ユルメが実施されたデータを選び、理論から得た到達時分と実到達時分とを求め、さらに、これらの時分と標準運転との到達時分差 *T1* ， *T2* とを求めた。

図 3 に多くの階段ユルメがなされた例を示す。図中に実運転と標準運転(上側)とを併記し、各曲線主要点の速度及び主要点間の距離ベースの減速度、制動距離が記載されている。さらに、図の最上段からブレーキ動作(保チ電磁弁動作)、標準運転時の減速開始点～停目間の到達時分、実運転の *V2* の前と後との到達時分、実測及び理論計算による到達時分と標準運転到達時分との到達時間差を示す。図の曲線は、さほど高くない入駅速度だが制動距離は長く、保チ電磁弁動作時間が示すように速度 33km/h で大幅ユルメを行い、その後も繰り返して緩めている。標準運転に対する到達時間差は実測、理論ともにほぼ同じ値を示しており、本手法が妥当であることが分かる。$\beta 5$ が著しく低いことが、到達時分増大の原因であることもわかる。

図 4 に理論と実測との到達時間差が 1.2s と大差となった例を示す。図示のように入駅速度が低いのに高減速ブレーキを掛けている。データを詳細解析の結果、保チ電磁弁が動作した 29km/h で部分的に $\beta 5$=1.8 となる大幅ユルメを行い、さらに、停目直前で部分的に $\beta 5$=3.0 に達する強い減速を行っている。このような減速度を急変させる操縦が値を大きく相違させたと判断した。理論値と実測値との時分差が 1.0s 以上となった他の 1 例も、途中で大幅ユルメを行った後、停目直前で再び高減速ブレーキを扱っている。

つまり、乗心地、省エネ、車輪損傷防止などの面で好ましくない運転を行うと、時分差も拡大する。よって、到達時分差も評価の指針として使用することが可能である。それ以外の解析データは、巧みな運転も、改善を要する運転も、理論値と実測値との時分差が 1.0s 以内に収まった。

4．2　評価の実施と考察

(1) 標準運転に準じた運転

図 5 は標準運転とほぼ同じ減速度で一段ブレーキにより停止した例を示す。低速域では制輪子摩擦係数増加の影響で平均減速度より高い減速となったため、到達時分も標準より短縮されている。$\beta 5$ の詳細データを見ると、停止 1 秒前に速度 5km/h の時に全ユルメを行ったが、図示のような高い減速度で停止し、衝動が起きたと思われる。

（2）階段ユルメ後の低減速ブレーキにより遅延した例

図 6 は不適切な階段ユルメで大幅遅延が起きた例を示す。入駅速度は図示のように当線区としては比較的高い。階段ユルメ前の減速度 $\beta 4$ はやや低いが、制輪子摩擦係数の速度依存性による増加を考えれば、ほぼ妥当な値と見られる。しかし、到達時分差は 7s 近くにも達している。原因は階段ユルメ後に図示のような低い減速度をとったことにある。データ詳細解析の結果、速度 10km/h 以下で一時、

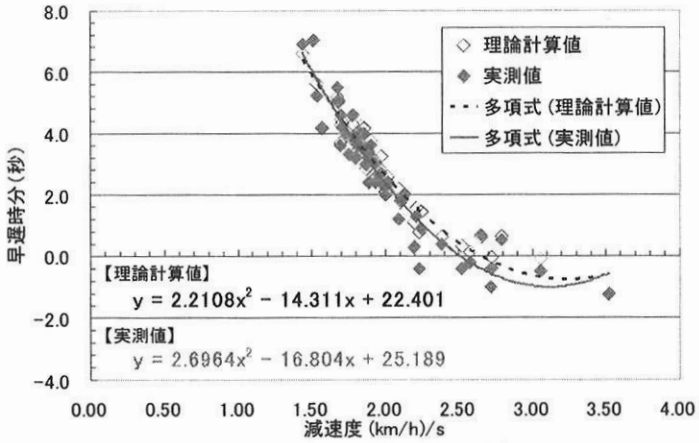

図 7　階段ユルメ後の減速度と到達時間差との関係

ブレーキを完全緩解している。典型的なブレーキ開始位置を誤った事例である。

（3）減速度が到達時分に及ぼす影響

以上の結果から、階段ユルメ後の減速度$\beta 3$, $\beta 5$は到達時分に支配的な影響を及ぼすことが明らかになった。そこで、両者の関係を調査してみた。図 7 は本研究で得た全データについて、「標準運転と理論及び実測との到達時分差」（$T1$, $T2$）と「階段ユルメ後の減速度」（$\beta 3$, $\beta 5$）との関係を調べた結果を示す図である。図で到達時分差を「早遅時分 s」と名付けて縦軸とし、増加する場合は（+）、減少する場合は（−）方向にとり、階段ユルメ後の減速度を横軸とした。図中には、両者の関係を 2 次近似と見做した曲線と近似式とを併記した。図示のように両者の間には、定量的な関係が明確に認められる。そして、階段ユルメ後の減速度を 2.0 以下にすると遅れが急増することもわかる。

一方、階段ユルメ前の減速度$\beta 2$, $\beta 4$と到達時分差との関係を同じように調べた結果を図 8 に示す。従前から高い入駅減速度が到達時分の短縮に効果があるとされているが、案に相違して本研究では全く異なる結果が出た。高い減速度で入駅しても、ブレーキ開始点を誤ったがために大きな階段ユルメを余儀なくされたデータが、少なからず含まれていることが原因と見られる。

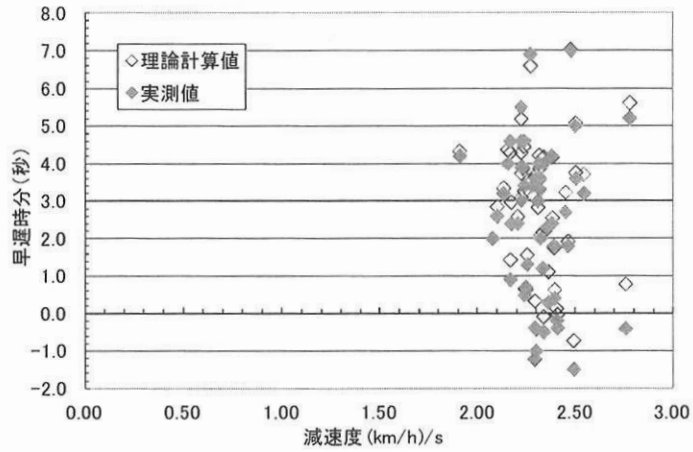

図 8　階段ユルメ前の減速度と到達時間差との関係

このことから、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」ことが重要であることが分かる。

5．結論

入駅時のブレーキ扱を定量評価する手法を、駅間の短い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を評価する研究を行った結果、以下のようなことが分かった。

（1）この手法によって入駅時の多様なブレーキ扱を定量的に評価できることを確認した。

（2）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）乗心地、省エネ、車輪損傷防止など観点から見て推奨出来ない運転が行われた場合には、標準運転と理論及び実測との到達時分差が拡大することがわかった。

（4）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。そして、階段ユルメ後の減速度が 2.0(km/h)/s 以下となった場合には、到達時間差は急増する。

（5）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、停止位置目標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を避けることが肝要である。

本研究で用いたデータは運転時分に比較的余裕があった昼間帯に取得したものであったために、減速度は全体的に低い値であった。その値が比較的高い値を取るであろう（運転時分に余裕の少ない）混雑時間帯についての解析、さらには、本研究で明らかとなった問題点を現場にフィードバックして乗務員の技量を向上させ、乗心地、省エネ、車輪損傷防止などの多様な分野から見た「巧みな運転操縦技量」を敷衍することは、今後の研究課題である。

本研究の過程で、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協力を得た。ここに深謝の意を表します。