

混雑と乗り心地の関係を探る

小美濃 幸司
人間科学研究部
(人間工学 研究室長)

白戸 宏明
同
(同 主任研究員)

遠藤 広晴
同
(同 研究員)



おみの こうじ



しろと ひろあき



えんどう ひろはる

はじめに

通勤・通学と言うと、混雑という言葉を連想される方も少なくないと思います。特に都市圏での通勤・通学時の混雑は大きな課題です。図1は国土交通省鉄道局から発表された都市圏の混雑データです。混雑率は解消の傾向にあるようです。ただし、その減少傾向は鈍りつつあるようにも見えます。また、同データには個別の線区のデータも掲載されていますが、首都圏ではあいかわらず200%を超える混雑率が記録されている線区もあり、今も解決が求められ続けています。なお、図の混雑率は国土交通省発表によるものであり、分野によっては定義の仕方が異なり、その値は変わって来ることをお断りしておきます。

通勤時の混雑の抜本的対策は新しく線路を作ったり、線路の数を増やしたりという輸送力の大幅増強が考えられます。ただし、それは大きなコストと時間がかかるため、そこまでの効果が望めないまでも、少しでもできる改善をということで進められてきた対策も多くあります。運転本数を増やす、1つの車両の断面積を増やして少しでも多くの人を乗せられるようにする、通勤時に座席を収納したりして立ち席数を増やす、時間差通勤を推進するなどです。さらには不快さ、苦痛といったことを軽減するために、ドア

の数を増やして乗り降りをしやすくする、つり革を増やして身体を支えやすくする、車内換気・空調の改善を図るなどの対策もとられてきました。ただし、都市圏の現状からすると、今後も改善に向けた努力を続けていく必要があると考えられます。

混雑の影響評価

ところで混雑対策を検討しようと思しますと、その効果を見積もるために混雑の影響を評価する必要があります。混雑が利用者にどのような影響をもたらしているのか、そしてその程度はどのくらいなのかを評価することが要求されます。混雑評価の試みは多様で、たとえば利用行動に対して鉄道輸送にどの程度の価値があるかをお金に換算して、混雑している場合、混雑していない場合の損得を見積もろうという検討が報告されています。また、通勤・通学する人が受ける混雑の負担を評価するために、身体への影響、生理的影響がどの程度あるかを調べているという報告もあります。橋本らは心拍数、発汗量、尿中アドレナリン、筋肉の活動量など沢山の生理データから、混雑率と生理的な負担の増加の関係を報告しています¹⁾。さらに、人がつり革につかまっている力を調べるため、実験的につり革の張力も測定しています。混雑が増すと周りの人と接するような状況では他の乗客から力を受けるので、自分の姿勢をつり革や手すりをつかんで支える姿はよく見かけられます。つり革の張力がその力を反映していることは想像に難くありません。実験では、混車率100~200%では停車ブレーキ時でも、カーブ走行時でも張力のピークがほとんど20kg以下であるのに対して、混車率260%で30kg、320%で50kg、360%で70kgと混雑の増加とともに、張力は増加したと報告されています。

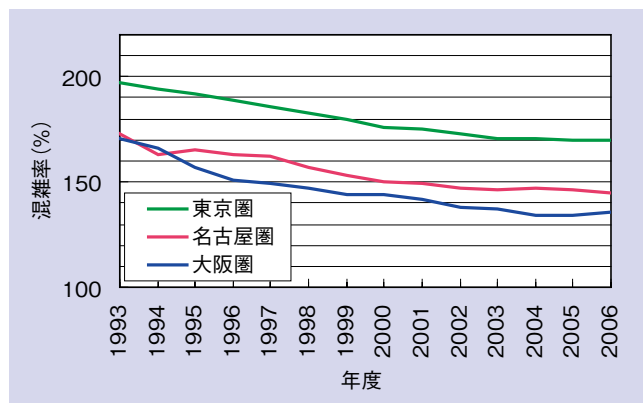


図1 都市圏の代表的混雑区間の平均混雑率

列車の乗り心地

ところでタイトルの乗り心地を広辞苑で引いて見ますと、

「乗ったときの気持ち」とかかれています。辞書を引くまでもないという方もいらっしゃると思いますが、かなり漠然とした言葉で、聞く人によっていろいろとられかたがあると思います。揺れや振動といった乗り物の動きに対して乗り心地が良いとか、悪いとか言う人もあれば、車内が暑くて乗り心地が悪いと言ったり、車内サービスが行き届いた列車で乗り心地がいい列車だと感じたりする人もあるでしょう。「乗ったときの気持ち」に影響する要因は沢山あるわけで、鉄道の乗り心地をいかに良く保つかということとで頭を悩ませている研究者・技術者にとっては、考えなければならぬことが沢山あるということになります。

その乗り心地に係る要因を鈴木が整理したところによりますと、乗り心地という言葉には「狭義の乗り心地」、「広義の乗り心地」、「最広義の乗り心地」という範囲の使い分けが考えられるということです²⁾。「狭義の乗り心地」は振動や加速度の要因によって引き起される乗り心地です。「広義の乗り心地」は「狭義の乗り心地」を包含し、振動以外の音、温度、空間、気圧なども含めて定量的に量れる物理的要因によって引き起される乗り心地です。「最広義の乗り心地」はさらに「広義の乗り心地」を包含し、車両の内装・外観、眺望、接客といった要因によっても引き起される乗り心地です。一方、鉄道工学の分野では（鉄道総合技術研究所においてもそうですが）、「乗り心地」というと一般に「狭義の乗り心地」を指し、車両の振動や加速度といった要因をいかにコントロールして、乗り心地をよくしていくかということが検討されてきました。ここでの話もこの検討の流れに関連していますので、以降特に断らない限り、「狭義の乗り心地」を単に「乗り心地」と言うこととし、話を進めたいと思います。

ブレーキ時の乗り心地

振動したり、加速したりする車内で常に自分の姿勢を保持する努力が要ります。このような負担の大きさと乗り心地が左右されると考えられますが、混雑率が高いときには姿勢を保持することだけで、身体的により高い負担が生じます。白戸らの調査³⁾によれば、通勤近郊型列車で立っている人がよろける場面は、ブレーキ時が一番多いということです。また、先に述べたように混雑率が高くなるとブレーキ時につり革につかまる力も大きくなってくることが報告されています。そこでここでは、乗り心地をブレーキ減速時の乗り心地に代表させて、混雑による影響について述べたいと思います。



図2 ブレーキを体感し乗り心地を評価する実験風景

通常のブレーキパターンでいうと、ブレーキハンドルを一定のレベル（ノッチ）に合わせると、ブレーキのかけ初めでは減速度が増加していき、ある一定の減速度 β に達します。また、ブレーキハンドルを戻すと減速度は減少し、最終的に0となります。この減速度が生じている間、車内の乗客は前方に身体を引かれるような力を感じます。このときの乗り心地がブレーキ時の乗り心地で、減速度 β とブレーキかけ初めとかけ終わりにみられる減速度の変化の割合（これをジャークと呼んでいます）に強く依存することがわかっています。一般に強いブレーキとは、減速度 β が高いブレーキを指しますが、減速度の大きさだけでなく、ジャークも乗り心地に影響するという点が重要です。そこで筆者らもブレーキ時の減速度、ジャークおよび乗り心地の関係を調査しています。調査の方法としては、鉄道利用者にモニタとして参加してもらい、いろいろなブレーキパターンを体感し、評価してもらった実験を行っています。ただし、体感の特急列車を想定したり、通勤列車を想定したり、また、実験に使用する設備も営業車、試験車、シミュレータなどを使い分けており、実験設定は多様です。図2にそれらを代表して、ブレーキ実験の風景を示します。乗車姿勢は多様ですが、実験では乗り心地上不利な姿勢を対象として、進行方向に立って体感することが多いです。また、その時の乗り心地評価ですが、代表的なところとして「1.加速度を感じない」、「2.気をつけると感じる」、「3.はっきりと感じる」、「4.やや不快である」、「5.非常に不快である」、「6.危険を感じる」といった多段階尺度を使い、そのモニタの評価平均値で評価したり、「1.乗り心地として許容できる」、「2.乗り心地として許容できない」という尺度に対して「許容できない」とした人の割合で評価したりします。特に、基準となる減速度を検討するといったような場合には後者のタイプの評価を用いています。

混雑と乗り心地



図3 シミュレータを使った混雑時のブレーキ時の乗り心地調査；混雑率250%の例

ここで、筆者らがシミュレータを使用し、混雑がブレーキ時の乗り心地が与える影響について調べた結果についてご紹介します。シミュレータは総研の所有する車内快適性シミュレータで、走行振動、音、車窓などを制御することによって、列車に乗っているような擬似体験ができます。このシミュレータでブレーキ時の減速度を模擬的に発生させ、モニタにその乗り心地を評価してもらいました。なお、減速度は営業線でみられるブレーキ程度としました。

混雑の影響を調べたいのでシミュレータ内にいっぱい人を詰め込みたいのですが、装置の耐荷重を越えてしまいます。それで、その中に床面積1.2m²の小部屋を設け、混雑率が150%および250%となるように、それぞれ6名および10名のモニタが小部屋内に

立つこととしました(図3)。また150%条件の時に、余った4名のモニタが小部屋の外のスペースに立ち、小部屋内の6名と同時に評価を行いました。この条件での評価を混雑率100%未満のデータとしました。

つり革、手すりなどはなく、手荷物は持たずに、自然に立つようにしました。混雑率が高い条件では壁や他人に触れる状況となりますが、できるかぎり寄りかからずに、自立するようにしました。姿勢の向きは列車進行方向とし、参考として混雑率250%のときにのみ枕木方向(列車進行方向に対して横向き)の条件も設けました。

評価についてはモニタに駅停車時のブレーキとして「許容できる」または「許容できない」の2段階で乗り心地を回答してもらいました。また、補足データとして、モニタが寄りかかることで壁にかかる荷重を計測しました。

なお、実験には10名のモニタを1グループとして、6グルー

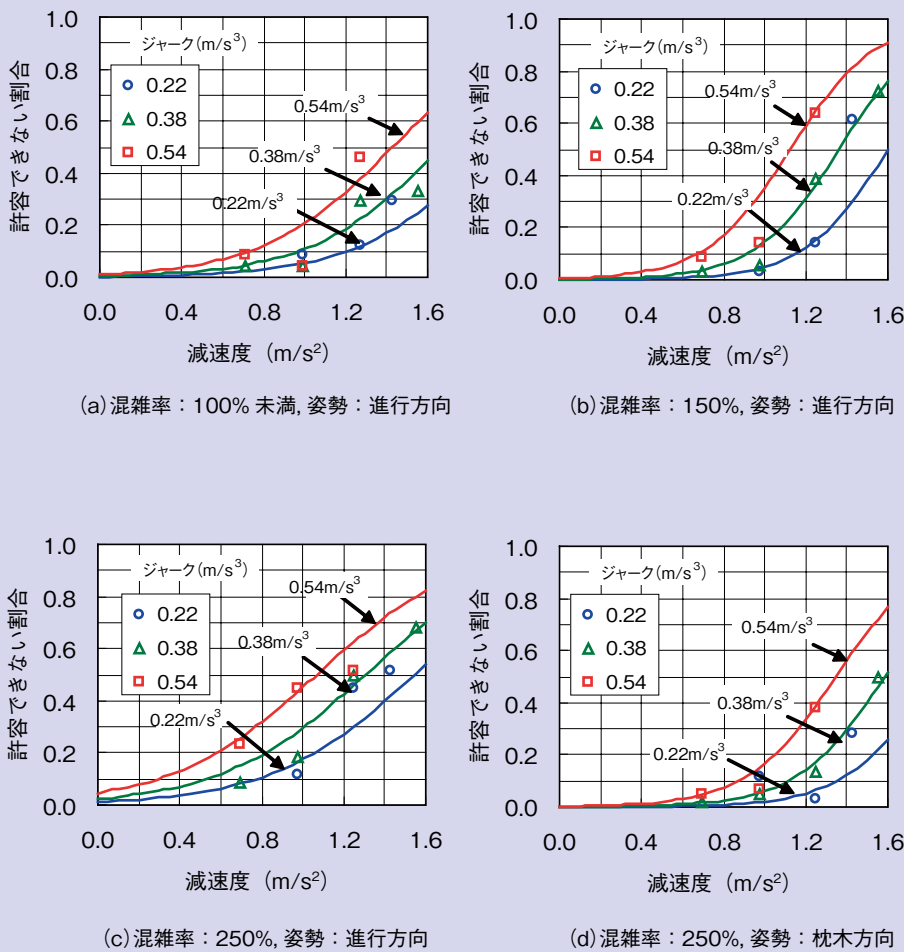


図4 許容できない割合

(データ数は混雑率100%未満：n=24，混雑率150%：n=36，混雑率250%：n=60)

ブ、のべ60名が参加しました。モニタは全員男性で、通勤・通学に列車を利用している方たちでした。

実験結果

ブレーキとして許容できない割合を図4に示します。減速度が増加すると乗り心地が悪くなる傾向を示しています。この傾向はジャークが高くなると、更に乗り心地が悪くなる方向にシフトする傾向が見られます。また、混雑率100%未満よりも150%または250%の方が、乗り心地が悪くなる傾向にあります。ただし、混雑率150%と250%では減速度が低いところでは250%の方が乗り心地が悪いのに対し、減速度が高くなると混雑率150%と250%での評価が逆転する場合も見受けられ、一概に150%よりも250%の方が乗り心地を悪く感じているとはいえない結果となっています。この点に関しては、さらにデータを得て確認をする必要があると考えています。

もう少し細かくグラフを見てみます。減速度がちょうど 1m/s^2 の評価をみますと、混雑率250%の場合にはジャーク 0.54m/s^3 から 0.38m/s^3 に下げることによって、許容できない割合を約0.5から0.3程度に低減させる効果があることがわかります。混雑率が高いときに乗り心地が悪くなりますが、このようにジャークを下げることによってその悪化を抑えることができると考えられます。

また、姿勢の向きについてみますと、混雑率250%での比較になりますが、枕木方向になると許容できない割合は大きく低減し、減速度 1.2m/s^2 であってもジャークを 0.22m/s^3 とすると許容できない割合は0.05以下となっています。車内の立ち方で、乗り心地がかなり変わることがわかります。

壁にかかる荷重を計測した結果を図5に示します。壁荷重は減速度に対してほぼ比例して高くなる傾向にあります。混雑率が高いと荷重が全体的に高くなる傾向がみられます。営業列車では車両の端以外は進行方向に寄りかかる壁がありませんので、実験で壁にかかっていた荷重は乗客が負担することになります。1人の乗客がまともに受けてしまうと、立ってられないということも考えられます。また、姿勢の向きについてみると、混雑率250%のデータのみではありますが、進行方向に向いているほうが枕木方向に向いているよりも壁荷重が高くなる傾向がみられます。この結果からも、進行方向のほうがブレーキに対して姿勢を保ちにくく、壁によりかかる傾向が強いことを示しているものと考えられます。

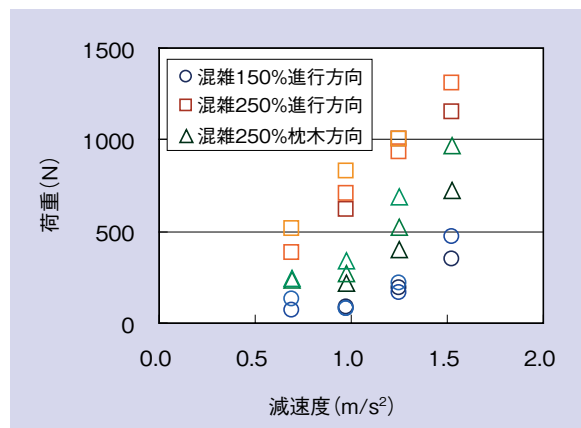


図5 壁にかかる荷重

おわりに

今回は混雑が乗り心地、特にブレーキ時の乗り心地に及ぼす影響を調べた研究結果を中心に述べてきました。ブレーキ時に最も混雑の影響が見られると考えたからですが、曲線を通過するときなども、遠心力がかかるので、進行方向か、枕木方向かという違いがあるものの、今回の結果が参考になります。曲線通過時も混雑度が大きくなると乗り心地に影響はあるようです。ただし、営業列車では一般的にブレーキに比べて遠心力の方が小さいので、その影響も小さいと考えられます。

さて、混雑対策として輸送密度を高くする努力がなされていますが、今後さらに高くしようとすると、平均速度を上げ、ブレーキ減速度も上げる必要がでてきます。ところが本文にありますように、ブレーキ減速度が高い領域では混雑の影響が強く表れてきますから、乗り心地にも考慮する必要があります。そこで、ジャークを抑えれば減速度を上げて乗り心地を損なわないようにできるという考え方が出てきます。すなわち、平均速度を上げることとブレーキ減速度とジャークをセットに検討する必要があると思われます。このように乗り心地と混雑の関係は切り離すことができないと考えており、さらに混雑と乗り心地の関係調査を進めていく予定です。RRR

文献

- 1) 橋本邦衛他：通勤列車およびバスの車内混雑と通勤の疲労について、鉄道労働科学, 19号, 1966
- 2) 鈴木浩明：快適さを測る, 日本出版サービス, 1999, p.13
- 3) 白戸宏明他：通勤近郊型車両の乗り心地に対する利用者意識の分析, 鉄道総研報告, Vol.20, No.3, 2006, pp.27~30