

鉄道利用者の快適性に関わる研究の現状と課題

鈴木 浩明* 中川 千鶴**

Trends and Topics in Research on Passengers' Comfort

Hiroaki SUZUKI Chizuru NAKAGAWA

Technologies to minimize vibration and noise on trains are key factors to improve ride comfort. It is also important to develop how to measure the sense of comfort and discomfort of passengers as the concept of “comfort” is ambiguous. If an index of discomfort resulting from vibrations can be developed, it can evaluate technological development aimed at minimizing that particular discomfort. The recent development of digital technologies is making it possible to further improve comfort. This article describes the basic concept of research on comfort and the direction of future efforts.

キーワード：快適性，人間工学，顧客満足，カスタマーエクスペリエンス

1. はじめに

生活レベルの向上や環境制御技術の発達に伴い、鉄道などの公共交通機関に対しても、「より快適に」「より便利に」というニーズが高まっている。「快適」という言葉は日常生活でも用いられるが、研究対象としては多義的で曖昧である。

鉄道総研では、大別すると以下の3つの領域で快適性の評価と向上に関わる研究開発に取り組んできた(図1)。

- ① 列車内(振動, 音, 温熱, 混雑, 座席など)
- ② 駅(移動しやすさ, 案内表示, 放送, 乗降時など)
- ③ 鉄道利用環境全般(運行頻度, 費用, 駅アクセスなど)

本稿ではまず、鉄道利用者の快適性を考える上で重要な概念や定義を概説し、鉄道総研で実施してきた主な研究アプローチを紹介する¹⁾。ついで、デジタルデータを活用した今後の快適性研究の方向性を解説する²⁾。

2. 快適性の定義と対象

「快適」という概念は、快(pleasant)と適(neutral)の2つの意味から成り立つ(図2)²⁾。「適」は不快さを感じない状態、「快」は積極的に心地よさを感じる状態と定義できる。例えば、車内や駅における騒音、振動、混雑度を減らし、温度や照度を可能な限り最適化して、利用者に不快さを知覚させなくする。これが適環境の実現である。温度を例にあげると、暑かったり寒かったりすれば人は不快と感じるが、ちょうどよい温度であれば、温度を意識することはほとんどない。

一方、快環境の実現とは、列車であれば、斬新なデザインの車両、ワイドで高品質な座席、家族連れが楽しめる

るスペース、美味しい食事の導入などが例となる。駅であれば、魅力的な店舗やレストラン、イベント、保育施設などを増やして、駅へ来ることのインセンティブを高める工夫に相当する。日常的な通勤輸送においては、適要因の改善に重点が置かれるが、新しい顧客を開拓したり、鉄道会社の社会的印象を高めるには、快要因への配慮が重要である。昨今、周遊型の豪華寝台列車(クルーズトレイン)が「一度は乗ってみたい憧れの列車」と人気を博しているのも、快環境を意識した戦略の成功例と言える。

なお、快と適の区別は固定的ではなく、乗客の期待値の向上に伴い変化する。かつて、冷房車が珍しかった時代には、冷房による空調は贅沢な快要因であったが、今や「あって当然」の適要因である。駅や車内で良好な無線通信や電源を提供することも、若い利用者を中心に、適要因と受け取られつつある。運賃以外の追加料金を必要とする座席指定列車(ライナー)の増加は、大都市圏における「着席」価値の増大の反映でもある。快適性に対する利用者ニーズは、時代とともに高まる傾向にあるため、常にニーズを把握して、期待値を上回るサービスを提供することが、今後ますます重要となる。

3. 快適性研究のアプローチ

快適性研究の目的は「評価法(指標・尺度)の開発」と具体的な「改善手法の提案」に大別できる。前者は、物理量と利用者の不快感との対応関係を分析し、評価指標や許容限度値などを提案する研究である。物理量の中には、振動、騒音、座席の寸法や硬さ、列車の待ち時間、費用など、多彩なものが含まれる。後者は、提案した評価法に基づき、快適度を向上させるための具体的な提案を行うものである。

例えば、列車の振動乗り心地の場合、振動の物理的強度が同じでも、周波数が異なると知覚される強度は異なる

* 研究開発推進部

** 人間科学研究部 人間工学研究室



図1 鉄道利用時の快適性に影響する主な要因²⁾

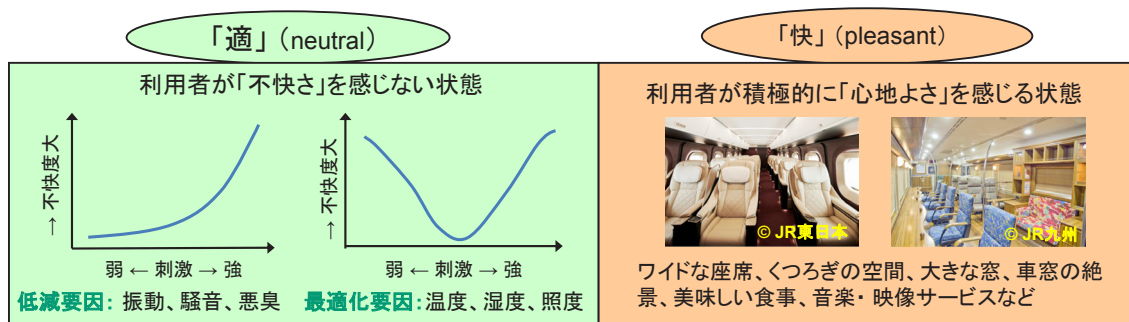


図2 「快」と「適」の二側面²⁾

る。このため、物理的な振動を人の感じ方に合わせて補正するフィルターを考案して、体感と合う評価指標を開発する研究を実施してきた。最近では、左右、上下、前後の複合振動の影響を的確に評価して、一元的に表示可能にすることで、車両や軌道側の対策に活用しやすいシステムの開発を進めてきた³⁾。

一方、1Hz未満の低い周波数域の振動は、乗り物酔いの主因となる。日本各地の特急列車内での利用者アンケート調査の結果、0.25～0.3Hzの左右動が多い区間では、酔う人が増える傾向があることが明らかになった⁴⁾。したがって、この周波数域の振動をできるだけ抑えて、車体傾斜時の車両運動を制御できれば、酔いにくい車両の開発が可能になる⁵⁾。

このほか、気圧変動に起因する耳の不快感(耳つん)の許容限度値、人の生理・心理モデルに基づく温熱快適性の評価尺度、車内の総合的な快適性に影響する振動、音、座席、眺望などの要因比率、さらには車内騒音や臭いの評価法など、さまざまな研究開発に取り組んできた^{1) 6) 7)}。

駅では、構内での歩きにくさの評価指標を開発し、旅客の流動を模擬して可視化できる旅客流動シミュレーションを開発して、改良を重ねてきた⁸⁾。また、放送の聞きやすさや空間の視覚的評価などを含む、駅空間の総合的な快適性の評価指標の開発、雨で濡れた床材の滑りやすさ評価、視覚障

害者の移動しやすさの支援などの研究を実施してきた^{9) 10)}。

また、鉄道利用環境、特に運行頻度に関する研究に関しては、混雑や遅延による不快感を定量化し、ダイヤを工夫することで混雑を平準化したり、列車間隔を調整することで、利用者の満足度を向上する研究開発に取り組んできた^{11) 12)}。

4. シミュレータの活用

実際の列車内や駅で、快適性の評価や向上に関わる実験を実施するのは重要であるが、環境制御技術の発達に伴い、実環境を模擬したシミュレータを併用するケースが増えている。二つの大型シミュレータを例に述べる¹⁾。

① 車内快適性シミュレータ(図3上段)

列車走行時の振動、騒音、車窓風景などを模擬でき、車内の快適性に影響する環境要因の特定や、手すり・つり手等の車内設備の有効性の検討に活用している。

② 駅シミュレータ(図3下段)

橋上駅を模擬したもので、コンコース、改札、階段等から構成される。駅空間の快適性評価とバリアフリー化、床材と滑りやすさに関わる基礎実験などで活用している。

快適性の研究でシミュレータを用いる利点は次のように整理できる。



図3 快適性研究におけるシミュレータの活用例

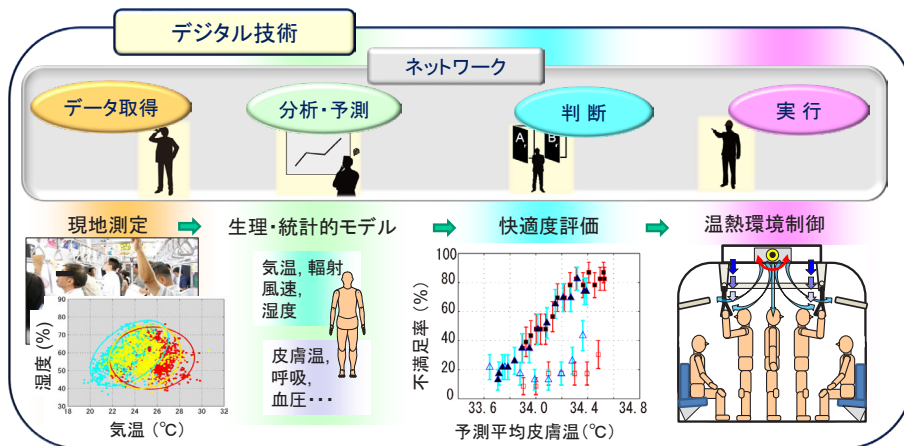


図4 デジタル技術の温熱環境制御への適用例²⁾

① 刺激環境を自由に設定できる

音、照明、振動などの刺激強度を自在に変更したり、組み合わせ条件を変えたりできるのが最大の利点である。列車内調査の結果、0.25～0.3Hzの低周波左右振動が多い区間で酔いを訴える乗客が多いと前述した。車内快適性シミュレータを活用して当該周波数成分の比率を増やして実験した結果、酔う被験者が増加した¹³⁾。これは実車から得られた疫学的なデータの正しさを、シミュレータで実証的に確認した一例である。

② 繰り返し同一環境で試験できる

実際の車両で「完全に同じ揺れを10回提示する」のは困難であるが、シミュレータでは、繰り返し同一の環境を再現できる。通勤列車の吊り手や手すり形状の使いやすさを検討した際には、大勢の実験参加者が同一振動を体験できるシミュレータのメリットが生かされた¹⁴⁾。

5. デジタル技術の活用

以上で述べたように、評価指標を提案し、改善策に

活かしていくのが快適性研究の中心的アプローチであった。しかしながら、最近のデジタル技術の発達は、研究のさらなる発展を可能にしている。デジタル化とは、狭義には連続的なアナログ量を離散的なデジタル量に変換することを意味する。だが、近年のセンサ、コンピュータ、ネットワークの高性能化と低コスト化によって、デジタル化の概念は次第に拡張されている。デジタルデータをコンピュータ上に蓄積し、ネットワークで共有して、迅速かつ高精度にシステムの状態の把握、分析、予測、判断を行う。このような一連のプロセスを、ここではデジタル化と総称する。

鉄道総研では、安全やメンテナンス分野で、すでにデジタル化の取り組みを推進しているが(図4上段)¹⁵⁾、快適性研究にも以下のようなステップで活用できる。

- ① 駅や車内の快適性に影響する要因をデジタルデータ化してネットワークを通じ収集する(データ取得)。
- ② 収集したデータを分析し、快適度をデジタルモデルで再現し、状況の把握と予測を行う(分析・予測)。
- ③ より快適度を高めるための対応を策定する(判断)。

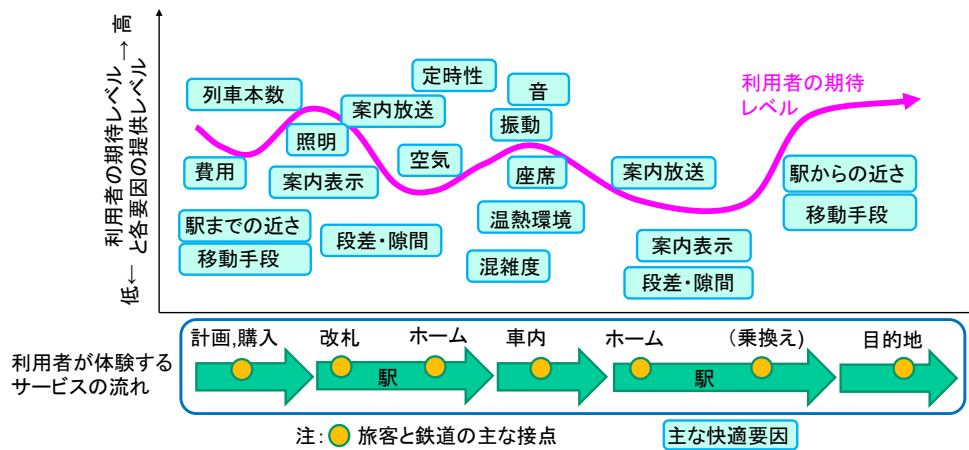


図5 利用者と鉄道の主な接点における期待レベルと提供レベル（データは架空）²⁾

④ 的確に環境を制御する（実行）。

例えば、気温、湿度、輻射熱、気流、混雑によって駅や車内の温熱環境は逐次変化する。これらを的確に分析し予測して、最適な温熱環境を実現するのが、デジタル化による温熱快適性制御である（図4下段）。車内の温熱環境制御は、従来、車掌が担当してきたが、将来の無人運転列車の導入などを想定すると、デジタル技術の導入による温熱環境制御が不可欠となる。

振動要因については、列車の振動状態を検出して、アクティブに制振する技術の導入が進んでいるが、放送の聞きやすさ、日射のまぶしさ、空気や臭いなどの要因にも、デジタル技術を導入した制御を適用できる。

6. おわりに

これまでとはもすると、駅や車内、鉄道の利用環境など、快適性の向上を個別の領域で議論してきた。しかしながら、利用者視点に立てば、トータルな評価が必要である。トータルとは単なる部分の総和ではない。鉄道利用を計画し、必要な乗車券類等を購入し、改札を通過し、駅構内を移動して、列車に乗降し、乗り換えたり、再び駅構内を移動して、目的地に到着する。こうした一連の体験（カスタマーエクスペリエンス）のあらゆる接点におけるさまざまな要因が利用者の満足感に影響する（図5）。個々の接点の改良だけでなく、各接点を統合的にとらえ、カスタマーエクスペリエンスの質を評価する手法の開発を進めることで、鉄道の優位性を高める取り組みを、さらに推進したい。

なお、本稿で紹介した研究の一部（車内快適性シミュレータ・駅シミュレータの開発）は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

文献

- 1) 鈴木浩明：車内の快適さを測る，RRR, Vol.73, No.4, pp.4-7, 2016
- 2) Suzuki, H., “Comfort and digitalization,” Ascent, No.6, pp.5-8, 2019.
- 3) 中川千鶴他：車内の乗り心地を評価する，RRR, Vol.73, No.4, pp.12- 15, 2016
- 4) 鈴木浩明他：低周波振動が列車酔いに及ぼす影響，鉄道総研報告, Vol.18, No.2, pp.9-14, 2004
- 5) 風戸昭人：振子車両の乗り物酔い解消を目指して，RRR, Vol.68, No.10, pp.2-5, 2011
- 6) 遠藤広晴他：夏季の通勤列車内の温熱快適性予測手法，鉄道総研報告, Vol.29, No.7, pp.27-32, 2015
- 7) 鈴木浩明：トンネル内で生じる耳つんの評価，RRR, Vol.59, No.6, pp.12-15, 2002
- 8) 山本昌和：駅の歩きやすさを向上する，RRR, Vol.67, No.1, pp.27-30, 2010
- 9) 伊積康彦他：駅空間の快適性を向上する，RRR, Vol.65, No.6, pp.30-33, 2008
- 10) 大野央人：視覚障害者誘導用ブロックを効果的に配置する，RRR, Vol.71, No.7, pp.16-19, 2014
- 11) 村越暁子他：列車ダイヤに対する顧客満足度の予測，鉄道総研報告, Vol.22, No.7, pp.49-54, 2008
- 12) 辰井大祐他：旅客の流れを考慮して列車の流れをみる，RRR, Vol.75, No.2, pp.12-15, 2018
- 13) 大野央人：乗り物酔い評価法の改良に向けて，RRR, Vol.70, No.6, pp.12-15, 2013
- 14) 斎藤綾乃：つり革・手すりの使いやすさを考える，RRR, Vol.62, No.12, pp.30-33, 2005
- 15) 久保俊一：ICT で創る安全・安心のための新たなシステム，第31回鉄道総研講演会前刷集, pp.7-12, 2018