

鉄道における人間科学研究と学際的アプローチ

鈴木 浩明*

Interdisciplinary Human Scientific Approach to Railway Transport Systems

Hiroaki SUZUKI

Human Science is a generalized term that encompasses a research on human psychology, behavior and responses through a scientific approach. This paper outlines recent topics and potential developments of the approach. In particular, we focus on an interdisciplinary approach in cooperation with appropriate research fields. Major topics discussed include: joint studies with train protection systems on human error prevention, with vehicle dynamics on passengers' motion and injuries caused by train collisions and riding comfort evaluation, and with architectural engineering on safe evacuation methods for passengers in congested railway stations.

キーワード：人間科学，学際的アプローチ，心理学，人間工学，安全性，快適性

1. はじめに

1963年（昭和38年）に鉄道労働科学研究所（鉄道労研）を設置して以来、国鉄はヒューマンファクター研究を組織的に推進してきた。その活動は現在、財団法人鉄道総合技術研究所（鉄道総研）の人間科学研究部を中心とした組織に引き継がれており、心理学、人間工学、信頼性工学等の研究者が、ヒューマンエラー事故の防止や旅客の利便性向上に関わる研究開発に携わっている¹⁾。

人間科学が扱うテーマは、鉄道システムのあらゆる領域と密接に関わっているため、関係する技術分野と協調した研究開発が求められる。このような「学際的」取組みの比重は年々増し、テーマ領域は広がる傾向にある。他分野との連携が必要な課題を「境界テーマ」と呼ぶならば、人間科学研究の大半は境界テーマである。関連する技術分野と代表的なテーマ例を図1に示す²⁾。

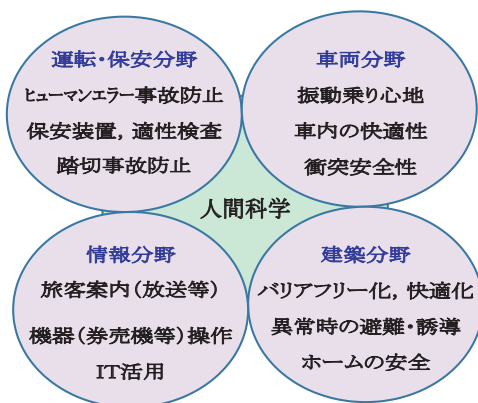


図1 主な関連技術分野とテーマ例

今後の人間科学研究を考える上で、学際化の重要性は増す一方であるため、本稿では、これまでの活動の中から境界テーマに焦点を当てて、その概要を紹介する。

2. 運転と保安

2.1 ヒューマンエラー事故の防止

列車運転に関わるヒューマンエラー事故の防止は、国鉄時代から現在に至るまで、一貫して中心的な検討課題であった³⁾。各種の保安装置の開発、地上信号の視認性向上、操作しやすい運転台の設計などは、事故防止のための技術開発の歴史であり、車両や信号通信技術と人間科学との学際研究の賜物である。

(1) 眠気防止と運転負担の評価

列車の運転は不規則・不定形で、しかも1人で担当する職務であることから、運転士の覚醒レベル低下（眠気、居眠り）に起因する事故の防止が古くからの課題であった。覚醒レベルの低下を事故へとつなげない対策の中心は、ATSやデッドマン装置・EB装置などに代表される保安装置の整備であり、重大事故への反省と技術の進歩に裏付けられて、より確実性の高い装置やシステムの導入が図られてきた。その一方で、運転士の作業負担（ワークロード）を定量的に評価できる指標が必要なことから、運転作業条件と心拍数との対応分析結果に基づき、運転士の勤務条件等から作業負担の程度を予測するシミュレーションプログラムを開発した⁴⁾。

(2) 異常時対応能力向上プログラムの開発

保安装置の開発に加え、運転関係従事員の異常時対応力を向上させて、ヒューマンエラー事故防止に生かすという視点からの取組みもある。例えば、運転シミュレ-

* 人間科学研究部 部長

特集：ヒューマンファクター

タを用いた従来の訓練プログラムでは、異常時の環境的な側面（視覚、音、振動など）の模擬が重視され、心理状況の模擬という側面は見落とされやすい。訓練後の受験者（運転士）へのフィードバックは、教師役（指導者）の主観的な評価が中心になりがちで、その客観化に向けた課題も残されている。このため、現役運転士の協力を得て、異常時における運転士の心理的な側面の模擬体験が可能で、かつ、運転動作や運転士の生理状態などを記録して客観的にフィードバックできる「異常時対応能力向上プログラム」を開発した（本号で紹介する）⁵⁾。

(3) 運転適性検査の改良

運転関係業務への就労候補者を対象に実施している運転適性検査もまた、ヒューマンエラー防止対策の一つである。これは、数種類の心理検査の成績から運転関係作業におけるヒューマンエラーの起こしやすさを推定し、就労の可否を判断するために設けられた制度で、60年の歴史を有している。より有効性の高い検査を開発するための検討は今も継続しており、現役の運転取扱従事員約1500名を対象にした調査結果に基づき、多重選択反応検査や割込抑制検査等の新検査の有効性を確認した⁶⁾。

引き続き、平常時や異常時の各々において、運転士と運転環境のモニター・診断技術の改良を進めるとともに、適切な運転支援システムの開発に取り組む計画である。

2.2 踏切事故の防止

鉄道の「最大の弱点」といわれる踏切事故の防止に向けた取り組みも盛んであり、いくつかの検討例を述べる。

(1) 踏切の視認性向上と評価⁷⁾

踏切の視認性を向上して、遮断直前の横断を防止するために、心理学、交通工学、グラフィックデザイン等の観点から踏切標識の効果的なデザインのあり方や評価法を検討した。その上で、踏切通行者の認知モデルに配慮して、オーバーハング式や二段式などの改良案を作成した。あわせて、踏切標識類の視認性の評価法として、視認距離測定法と反応速度測定手法を提案した。

(2) 踏切のリスク評価^{8) 9)}

鉄道事業者の踏切諸元情報や事故情報を基に、踏切事故の発生傾向や要因の分析、事故発生に伴う列車遅延等の輸送影響に対する分析、線区特性分析を行い、リスク評価・対策効果評価モデルを提案した。さらに、その評価結果と踏切諸元情報や事故情報をパソコン上で一元管理できるように、実用度の高いシステムを提案した。また、踏切での観察調査とドライビングシミュレータを用いた模擬実験結果をもとに、現行の「一旦停止」ルールが解除された際に、どの程度事故のリスクが高まるかを定量的に分析した。

3. 車両内の環境

旅客にとって快適な車両を開発するための学際研究も国鉄時代から盛んであり、乗り心地の評価や疲れにくい旅客用腰掛の設計などに取り組んできた。

3.1 振動乗り心地の評価

我が国の鉄道では、一般に車両と軌道が同一事業者により管理されていることから、乗り心地評価の問題は車両と軌道と人間科学の学際研究と位置付けられる。これまでに、ブレーキ時、曲線走行時、分岐器通過時など、乗り心地が損なわれやすい区間での評価手法を提案するとともに、振子式車両の乗り心地評価に関わる研究開発に取り組んだ^{10) ~ 13)}。振子式車両については、緩和曲線走行時の乗り心地を評価可能な指標を開発するとともに、0.25 ~ 0.3Hzの低周波左右振動が列車酔いの一因であることを明らかにし、車両の制御方式の改善に貢献した¹⁴⁾。

現在の中心的な課題の一つに、高周波振動が乗り心地に及ぼす影響の評価がある。列車の一層の高速化に伴い、20 ~ 30Hzの高周波振動が増す傾向があるが、この領域の振動影響の評価を、従来の体感補正曲線で行うのは難しい。しかも、人にとって非常に低い音として知覚される周波数域のため、影響の評価に際しては、低周波音の知識や技術が不可欠となる。このため、環境工学分野の協力を得て、新しい体感補正フィルタを提案するなどの研究を進めており、本号で詳しく紹介する¹⁵⁾。

3.2 車内快適性シミュレータと快適性指標

車内の快適性向上には、音、温熱、空気、気圧変動、視覚環境など、振動以外の様々な環境要因を考慮する必要があるため、各種要因を考慮した評価指標の開発にも取り組んできた。その検討ツールとして、列車内の振動、騒音、視覚環境などを室内で模擬できる「車内快適性シミュレータ」を設計・開発した¹⁶⁾。これにより、多数の被験者に同一の振動・騒音環境を提示でき、実車では実現困難な試験が実施可能となり、研究は格段に進展した。つり革や手すり、テーブルなどの使いやすさを評価するため、形状や配置を変えて試験を実施し、望ましいデザインを提案した研究事例がある^{17) 18)}。

なお、乗車時間の長さや車内快適性との関係については未解明な点が多いことから、シミュレータを積極的に活用した研究に取り組んでおり、本号で紹介する¹⁹⁾。

3.3 衝撃時の安全性

列車の衝突など、強い衝撃が生じた際の乗客の身体挙動を解明し、その傷害の有無や程度を推定する「サバイバルファクター」研究の重要性も高まっている。車両の構造や強度などの専門知識と人間工学的なノウハウとの

融合が必要なため、15年以上に渡り、車両構造分野と共同で取り組んできた²⁰⁾。

(1) 衝撃時の人体挙動シミュレーション

まずは、衝撃時の傷害実態を把握するための利用者調査を行い、衝撃試験装置を開発して人体ダミーを用いた試験を実施し、基礎的データを蓄積した。その上で、自動車分野のシミュレーション技術に改良を加えることで、乗客の身体挙動の説明・予測を可能にし、安全姿勢の提案や車内設備対策の効果の推定を行った。

例えば、ロングシート端部の袖仕切りについて、形状や材質等を様々に変えて胸部変位をシミュレーションした結果、板（パネル）型の袖仕切りの方が、柱（パイプ）型よりも胸部変位が小さく、胸部傷害の発生確率を低くする効果があることを確認した。とはいえ、パネルのとりうる大きさや形状は様々なため、最適な袖仕切り形状に関わる検討を引き続き進めている。

(2) シミュレーション対象の拡張と評価指標の開発

サバイバルファクター関連のシミュレーションには、衝撃加速度、乗客数（混雑率）、乗客姿勢や向き、各種の車内設備の配置条件など、多くの要因が影響する。研究の第一段階では、正面方向からの衝撃を対象としたが、最近では側面衝突時の影響の検討にも着手している。

衝撃時の安全性を高めるために、車体強度の一層の向上が図られる方向にあるが、どの程度強度を増せば、乗客や乗員の安全性がどの程度向上するのかを端的に示す物差し（指標）は、確立されていない。このため、人間工学的な安全性指標の開発が喫緊の課題となっている。

4. 駅空間における旅客行動

駅における表示類の見やすさや、自動券売機の操作性の研究は国鉄時代から盛んで、今日でも建築や情報技術分野との連携研究が活発に行われている。

4.1 バリアフリー化への対応

2000年の交通バリアフリー法の施行以降、駅へのエレベータ・エスカレータの敷設は急速に進んだが、表示類のみやすさや設備・装置の使いやすさなど、ソフト面の評価については様々な課題が残されている。このため、自動券売機のユーザビリティ調査を行い、不慣れなユーザーへの対応策として50音式入力法に一定の効果があることなどを確認した²¹⁾。また、視覚障害者の駅構内での移動を音声で誘導するシステムの開発や、視覚障害者が島式ホームの内方誤認を防ぐためのホーム縁端警告ブロックの開発など、実用的な成果も多い^{22) 23)}。

4.2 異常時の避難・誘導

(1) 駅シミュレータの開発

災害や事故などの異常時に、混雑した駅から旅客を安全に避難させることは重要な課題であるが、異常時の群集行動については不明な点が多く、有効な対策を立てるに至っていない。とはいえ、大地震や大規模テロなどへの対応が急務のため、建築と人間科学分野が連携して研究開発に取り組んでいる。ただし、避難時の安全性検証のために、旅客（または被験者）を実際の駅に集めて試験を実施するには多くの困難が伴うので、駅の安全性に関わる実験的検討が可能な「駅シミュレータ」を開発した²⁴⁾。橋上駅を模擬し、改札を含むコンコース、駅務室を模擬した事務室1箇所と、階段2箇所を備えている。

(2) 避難シミュレーションへの発展

避難時の基本的な行動特性の把握のため、このシミュレータを用いて基礎実験を実施した。その結果、改札上空に光源を設置すると、低照度条件下でも人は光源のある改札方向に進む傾向があることを確認し、向光性を利用した誘導法の有効性を示した。これを受け、開発中の避難シミュレーションソフトを改良した。引き続きより安全な避難経路へと旅客を導く流動制御手法や、音声案内と合わせた誘導手法の検討を重ね、避難シミュレーションを完成させ、効果的な避難誘導手法を提案する。

4.3 環境要因の評価指標

列車内と同様に、視覚、温熱、音などの複合要因から駅空間の快適度を予測したり、旅客の衛生志向の高まりを受け、その実情を把握して地下駅の臭いや空気環境を評価するための研究に取り組んできた²⁵⁾。例えば、コンコースやホーム上の音環境と放送の聞き取りやすさに関する研究や、温熱的な不快感の特定と改善提案に関する研究などがある^{26) 27)}。駅シミュレータは、駅空間の物理環境（音、空気、視覚環境など）が旅客の心理に及ぼす影響を検討するツールとしても有効である。

4.4 ホーム上の旅客の安全

ホーム上で生じる列車風の影響評価にも取り組んでいる。列車の速度向上に伴い、高速列車のホーム通過時に生じる瞬時的な列車風が旅客に及ぼす影響を評価するために、空気力学、建築分野と連携して、大型風洞や実際の駅ホーム上で列車風の人体への影響を調べる試験を実施し、評価指標を提案した²⁸⁾。合わせて保守作業員への影響の検討事例について、本号で詳しく紹介する²⁹⁾。

5. 安定輸送の実現

5.1 安定輸送の阻害要因

ダイヤに従い安定した輸送を実現することは、鉄道に課せられた使命の一つである。ひとたび輸送が混乱した時の影響は大きいと、旅客の安全性・利便性という視

特集：ヒューマンファクター

点から安定輸送に貢献する研究を推進している。

その一つに、駅ホームでの駆け込み乗車行動を誘発する要因の特定と抑止策に関する研究がある。駆け込み乗車は、当人や周囲の旅客にとって危険だけでなく、安定輸送にも大きく影響する。このため、発車メロディの短縮化が駆け込み乗車行動に及ぼす影響について、実際の駅環境でメロディの長さを変えて実施した社会実験を実施し、オフピーク時におけるメロディ短縮化の有効性を確認した³⁰⁾。

5.2 輸送障害時の情報提供

一方、輸送障害等が生じた際の情報提供のあり方に関わる研究開発も進めている。例えば、旅客が最も知りたい「運転再開見込み」情報は、提供するタイミングと情報の正確さがトレードオフの関係にあり、これまでは、正確さを優先するあまり提供タイミングが遅くなる傾向があった。そこで積極的に見込み情報を提示するための放送ルールの策定に向けた取組みを本号で紹介する³¹⁾。また、将来起こりうる大地震に備え、旅客が駅に求める機能や対応の調査結果についても本号で紹介する³²⁾。

6. おわりに

人（旅客）を安全で確実に目的地まで輸送することは鉄道の使命であり、また、その運行を支えているのも人であるのを考えれば、鉄道における研究の相当部分が人に関わる研究であることは理解できる。学際研究の比重は増す一方であり、リスクの評価や管理に関するテーマでの発展などが期待される。引き続き、他の技術分野と協力して諸問題の解決に取り組みたい。

文 献

- 1) 鈴木浩明：鉄道における人間科学研究の現況と今後の展望，鉄道総研報告，Vol.22，No.7，pp.1-4，2008
- 2) 鈴木浩明：人間とシステムの相互作用，第21回鉄道総研講演会要旨集，pp.77-85，2008
- 3) 鈴木浩明：ヒューマンファクターの観点から安全性を向上する，第19回鉄道総研講演会要旨集，pp.69-76，2006
- 4) 澤貢他：運転士のワークロード予測モデルの精度向上，鉄道総研報告，Vol.22，No.7，pp.11-16，2008
- 5) 喜岡恵子他：運転士の異常時対応能力向上に向けた教育プログラムの開発，鉄道総研報告，Vol.23，No.9，pp.5-10，2009
- 6) 井上貴文他：新しい運転適性検査体系，鉄道総研報告，Vol.22，No.7，pp.5-10，2008
- 7) 井上貴文他：踏切視認性評価手法の検討，鉄道総研報告，Vol.14，No.12，pp.7-12，2000
- 8) 福田久治：踏切安全対策の総合評価の研究，鉄道総研報告，Vol.15，No.1，pp.29-34，2001

- 9) 松本真吾他：踏切通行時の一旦停止義務解除が安全性に与える影響，鉄道総研報告，Vol.22，No.7，pp.35-40，2008
- 10) 鈴木浩明他：曲線区間の乗り心地の許容限度，鉄道総研報告，Vol.14，No.12，pp.19-24，2000
- 11) 小美濃幸司他：乗り心地に考慮したブレーキパターン，人間工学，Vol.42，No.3，pp.164-171，2006
- 12) 鈴木浩明他：車体傾斜車両の緩和曲線走行時の乗り心地評価法，鉄道総研報告，Vol.13，No.11，pp.33-38，1999
- 13) 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
- 14) 榎本衛他：電動油圧アクチュエータを用いた振子制御システムの開発，鉄道総研報告，Vol.19，No.4，pp.29-34，2005
- 15) 中川千鶴他：高周波上下振動が乗り心地に及ぼす影響，鉄道総研報告，Vol.23，No.9，pp.35-40，2009
- 16) 白戸宏明他：車内快適性シミュレータの開発と活用法，鉄道総研報告，Vol.18，No.2，pp.5-8，2004
- 17) 斎藤綾乃他：体格の多様性を考慮した通勤近郊車両用支持具の提案，鉄道総研報告，Vol.20，No.3，pp.23-26，2006
- 18) 中川千鶴他：振動が車内でのパソコン作業に及ぼす影響，鉄道総研報告，Vol.19，No.1，pp.33-38，2005
- 19) 大野央人他：乗車時間の長さが乗り心地評価に及ぼす影響，鉄道総研報告，Vol.23，No.9，pp.41-46，2009
- 20) 小美濃幸司他：人体挙動解析による着座乗客の衝突安全性の検討，鉄道総研報告，Vol.21，No.5，pp.23-28，2007
- 21) 藤浪浩平他：50音検索による切符購入方法のユーザビリティ評価，鉄道総研報告，Vol.19，No.1，pp.21-26，2005
- 22) 深澤紀子他：視覚障害者向け情報提供システムの実証的評価，鉄道総研報告，Vol.21，No.4，pp.17-22，2007
- 23) 水上直樹：視覚障害者誘導用ブロックの駅ホーム上の敷設，JREA，Vol.46，No.10，pp.12-14，2003
- 24) 石突光隆他：駅シミュレータを用いた避難行動特性に関する基礎研究，鉄道総研報告，Vol.22，No.7，pp.17-20，2008
- 25) 鈴木浩明他：衛生・清潔に関する利用者意識の実態と要望の分析，鉄道総研報告，Vol.19，No.1，pp.15-20，2005
- 26) 伊積康彦他：駅空間の音環境に関する実態調査と主観評価試験，鉄道総研報告，Vol.21，No.8，pp.47-52，2007
- 27) 藤井光治郎他：駅の温熱環境と体感評価，鉄道総研報告，Vol.17，No.1，pp.23-28，2003
- 28) 遠藤広晴他：列車風に対する人の姿勢保持限界風速の推定，鉄道総研報告，Vol.22，No.7，pp.21-26，2008
- 29) 遠藤広晴他：列車風が保守作業員に及ぼす影響：Vol.23，No.9，pp.29-34，2009
- 30) 山内香奈他：発車メロディの短縮化が駆け込み乗車行動に及ぼす影響，鉄道総研報告，Vol.22，No.7，pp.27-30，2008
- 31) 山内香奈他：輸送障害時の旅客向け駅案内放送の改善に向けた検討，鉄道総研報告，Vol.23，No.9，pp.53-58，2009
- 32) 藤浪浩平他：大地震遭遇時を想定した鉄道利用者の行動調査，鉄道総研報告，Vol.23，No.9，pp.47-52，2009