

# 鉄道における最近の人間科学研究

小美濃 幸司\*

## Recent Topics on Human Science for Railways

Koji OMINO

From the point of view of the safety, convenience and comfortability of railways, the Human Science Division of Railway Technical Research Institute has been conducting research on the education and training programmed for the prevention of human errors, the driver support and the improvement of car interior environment and station environment. This paper outlines the recent topics on the fundamental research based on the current issues of the railway and the new technological trends.

キーワード：人間科学，ヒューマンエラー，教育訓練，運転士，車内環境，駅環境

## 1. はじめに

鉄道総研の人間科学分野では安全性，利便性，快適性向上の観点からヒューマンエラー防止のための教育訓練，運転支援，車内・駅の旅客の利用環境改善に向けた研究開発に取り組んでいる。これまで，安全性の面では，安全マネジメントを支援するため，ヒューマンエラーの背景要因を求めるヒューマンファクター分析法<sup>1)</sup>やそのデータを収集するための事故の聞き取り手法<sup>2)</sup>，エラー防止のための教育訓練教材<sup>3) 4)</sup>とそれらを活用した訓練プログラムを開発した。これらは，多くの事業者に活用されてきており，また，現在の社会に適合した運転士の適性検査の見直しにつながるデータを提供してきた。利便性，快適性の面では，ユニバーサルデザインを取り入れた手すりやつり革の設計法<sup>5)</sup>，移動円滑化ガイドラインに資する視覚障害者誘導用ブロックの敷設方法<sup>6)</sup>および振動乗り心地評価方法<sup>7)</sup>などを提案してきている。

これらの研究成果は実用に供されているものであるが，それ以前に地道に行われてきた人間科学の基礎研究の知見がベースとなっており，これからも鉄道の維持・発展に役立つ成果を提供していくためには，基礎研究の継続的な取り組みが欠かせない。引き続きヒューマンエラー事故防止および車内・駅の利用環境改善の基礎研究を実施しており，本稿では，現在の鉄道の課題や新技術動向を踏まえ，これら最近の人間科学研究について紹介する。

## 2. ヒューマンエラー事故防止の基礎研究

### 2.1 教育訓練手法

ヒューマンエラーを防ぐスキルの維持，向上を図るため，鉄道事業者でさまざまなエラー防止教育が実施され

\* 人間科学研究部長

ている。そのスキルレベルを維持させるためには訓練内容の改善の努力が常に求められるところであるが，その改善に苦心している事業者も多いのが実情である。鉄道総研ではその支援として訓練方法やその教材の開発に取り組んでいる。

スキルには，専門職それぞれに必要なテクニカルスキルとそれを支えるノンテクニカルスキルがある（図1左）。ノンテクニカルスキルには，意思決定，コミュニケーション，状況認識等が含まれ，近年安全上の重要な研究課題として注目されている。実用化されている代表的なテクニカルスキルに関する研究成果としては「指差喚呼エラー防止効果体験ツール<sup>3)</sup>」とそれを使った教育プログラムがあげられる。目視による安全確認の基本動作である指差喚呼は，まれにしか起きない事故に対するものであるため，効果の実感が持てずに形骸化しがちであるが，この教育訓練によりその効果を体感することで実行意識を高めることができる。実用化されている代表的なノンテクニカルスキルに関する研究成果としては「情報伝達ミス防止訓練教材<sup>4)</sup>」とそれを使った教育プログラムがあげられる。コミュニケーションエラーはどのような職場でも起こる可能性があり，近年でもコミュニケーションエラーを原因とした重大な事故やインシデントが発生している。この情報伝達ミス防止訓練はそれらの実態を踏まえ，繰り返されるコミュニケーションエラーに関わる知識を学び，エラー対策として実効ある復唱・確認会話の理解と実施を促進する内容となっている。

以上は既に事業者で活用されている実用化された研究成果であるが，現在の取り組まれている新たな教育訓練を目指した研究開発として，代表的なテクニカルスキルの研究に「視線検知機能を活用した運転シミュレータ訓練手法<sup>8)</sup>」の開発，代表的なノンテクニカルスキルの研究に「脳機能に基づく意思決定スキル評価手法<sup>9)</sup>」の開

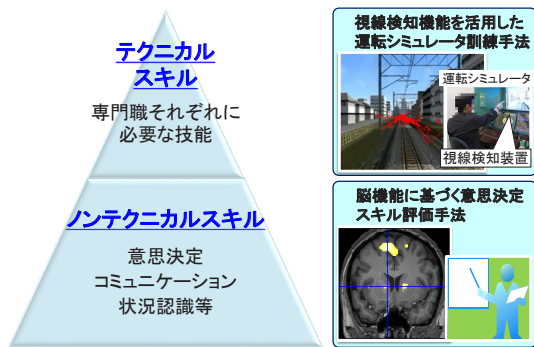


図1 テクニカルスキルとノンテクニカルスキルおよび最新の基礎研究例

発がある(図1右)。近年進展が著しいICTの要素技術である生体計測技術を活用することで、新たな提案を検討しているものであり、現在、基礎研究の段階にあるものである。以下に、これらの研究開発が目指す目標と現時点の成果について紹介する。

異常時にはヒューマンエラーが起きやすい心理状態に陥り易くなる。そこでこのようなエラーを防止するスキルを身に付け、向上させるため、鉄道事業者では運転シミュレータを使った異常時対応能力向上訓練を実施しており、有効な対策の1つと考えられている。その際、特に前方確認など目視による確認は運転士の重要な作業の1つであり、視線データが訓練の振り返りに非常に有効と考えられることから、視線検知機能を活用した運転シミュレータ訓練の研究開発に取り組んでいる。まずは、異常を見逃さない視線の動きを調査するために、設備故障と隣接線の陥没という異常事態が重なるシナリオでシミュレータ訓練を実施した。この場合、線路の異常に気づきやすい視線の動きと、そうでない動きのパターンがあり、陥没に気づいた運転士は注視点の移動範囲が広く、特に前方注視の時間が長いことがわかった。こうした知見を踏まえて運転の振り返りができれば効果的であるとされており、さらに効果を上げるために、注視点情報のフィードバック方法についても検討を進めている。

また、危機管理の観点から、近年ではこれまで想定外とされてきた事象も想定に含める取り組みや研究が進められている。こうした特別な状況下での危険回避、事故対応において鉄道従事員は負荷の高い精神状態にあり、判断誤りを起こしやすい状況にあるといえる。

そこで、まず脳活動の解明を通じて意思決定に偏りが生じる過程を説明できるモデルの提案と、モデルに基づいた作業課題を開発する。その作業課題を活用して意思決定スキルの評価手法を開発する。最終的な成果として意思決定スキルの教育訓練手法を目指しており、訓練効果評価にこの方法を活用する予定である。

現在は、最初のステップの意思決定を偏らせる作業課題の開発に取り組んでいるところである。一度下した判

断への固執が生じやすい場面で、再判断を行う作業課題はその1つである。この時、fMRI(機能的磁気共鳴画像法)で確認すると角回という意思決定関連の脳領域が活性化していることが確認された。意思決定に他の種類の偏りが生じやすい作業課題も開発しており、今後は、これらの作業課題を活用して適切な判断をしているときの脳活動パターンを特定し、その領域が活性化するスキルを探っていく予定である。

## 2.2 運転士の心身異常検知手法

心身の異常がヒューマンエラー、ひいては事故に繋がらないようにする対策として、運転時の心身状態を推定し、早期に異常を検知、警告するシステムを目指している。ここでは「顔画像を活用した運転士の眠気検知システム<sup>10)</sup>」と「生理指標を活用した運転士心身状態のモニタリング手法<sup>11)</sup>」の研究開発について紹介する。

居眠り検知装置はすでに自動車分野で商品化されているが、鉄道総研では鉄道にこの技術を応用することを考えている。ただし、目指すところは居眠りだけでなく、その前兆である強い眠気を検知し、運転士に警告を発出するシステムを目指している。その際、営業運転での実用性を意識し、検知のために動きを拘束したり、運転士に負担をかけたりしないよう、画像解析技術を活用する。これには、目立たず、意識させない小型カメラの活用を考えている。

現在、夜間時間帯など眠気を催す環境下でのシミュレータ実験を行い、最新の画像解析によりカメラ画像からまぶたの開眼度の推定を試みている。そして、実験データを基にその開眼度を含めた15種類の画像特徴量を使った眠気推定式を提案している。現時点では、まだ、推定制度を上げる必要があり、また、西日などの影響や、自動車と違いシートベルトなどの姿勢の拘束が少ないため体の動きが多いことなど課題は多い。そこで、これらの解決のため、さらなる画像認識の高度化に取り組んでいるところである。

また、生理指標を活用した運転士心身状態モニタリングによる運転支援のイメージとしては、個々の運転士データから良好な状態を学習した上で、逸脱を検出し、その情報を検知したときに正常に戻るための警報を出し、さらに指令に注意を向ける情報を提供するものである。その実現に必要な「生理指標を活用した運転士の心身状態の推定法」の基礎研究に取り組んでいる。近年の計測技術の向上により脳活動が脳波でリアルタイムに直接モニタリング可能になってきており、脳活動を心拍、呼吸などの簡易な測定で生理指標に対応付けることで実用化の可能性が見えてくるものと考えている。

この研究において簡易な運転シミュレータを使った実験を行った。運転のシナリオには突然、運転中に障害物

が線路上に出現する異常事態が設定され、衝突を回避するために的確に非常ブレーキを引くことができるかをみる課題であった。ブレーキを最短で引くことができた被験者と最も長い時間を要した被験者には脳波に違いがみられ、後者は過緊張の状態となっており、心拍数が上がり、呼吸が浅くなっていた。このように脳波で異常な脳活動が捉えられるとともに、心拍数や呼吸波形においても対応した変化がみられることから、さらに生理計測データを蓄積していくことで、それらを組み合わせることで心身の逸脱判定ができる指標が提案できるものと考えて検討を進めている。

### 3. 車内・駅の利用環境改善の基礎研究

#### 3.1 車内環境改善

車内の利用環境改善では、安全・安心で、かつ快適な車両を目指した研究開発に取り組んでいる。安全・安心に向けた最近の代表的な研究開発として「列車事故時の車内安全性評価<sup>12)</sup>」の研究テーマが、快適な車両に向けた代表的な研究開発として「温熱刺激の快適性評価手法<sup>13)</sup>」の研究テーマがあげられる。いずれも身体の数値モデルを構築し、シミュレーションを活用した研究であり、いわゆるデジタルヒューマンモデルを活用した基礎研究の代表例として以下に紹介する。

鉄道の安全のためには事故を起こさないことが最も重要であるが、自然災害や踏切事故など、鉄道外部の原因による防ぎきれない事故を想定した対策も、鉄道の安全・安心のための研究開発として取り組んでいる。万が一、列車事故で車内に衝撃的な加速度が生じた場合にも、乗客・乗務員の被害を最小に抑えるための車内設備設計の提案を目指した基礎研究である。これまで、車両が衝突した際の車内の乗客挙動シミュレーション手法を構築してきた。今回、その技術を活用し、事故シナリオとして踏切事故を想定して、乗客の傷害が大きくなる乗車時の条件を求めた。通勤列車および特急列車の2つの設定を対象として解析したところ、通勤列車では乗客がロングシート端部の袖仕切りから離れて座っていた場合に頭部傷害のリスクが高く、立っていた場合は車内設備や他の乗客に衝突することで頭部と胸部のリスクが高く、特急列車ではクロスシート着座時に前席の背もたれ脚部に衝突することで脚部のリスクが高くなることが示唆された。以上のように、同じ事故シナリオにおいても車内設備レイアウトによって被害状況が異なることが分かり、現在これらの被害ポイントを対象とした車内設備対策について検討を進めている。

また、車内に関する苦情として多い内容が、車内の温熱環境に関するものであり、快適な車内環境を提供するためには、空調環境の改善は重要な課題である。その実

現のためには、乗客の温熱的な快適性を適切に評価・予測することが欠かせない。そこで、鉄道固有の局所温熱刺激（横流ファンの風や腰掛下ヒータの熱）を受けた際の人の生理・心理状態の基礎データを取得し、列車内の局所温熱刺激に対する快適性予測手法の研究開発に取り組んでいる。

提案手法は人体熱モデルによる生理状態予測部と、統計モデルによる心理状態予測部から構成され、人体熱モデルの特性を身体部位別に考慮することで、風が身体の一部に当たる状況や温められた座面に座った状況での人の生理状態を予測可能としている。通勤車両内での被験者実験で提案手法を検証したところ、概ね良い予測精度であり、よく実態が反映された評価手法であることが確認されている。通勤列車の空調制御の改善に本評価手法が役立つものと考えており、さらに実用的で、効果的な活用方法についてさらに検討を深めていく予定である。

#### 3.2 駅環境改善

駅環境改善では、安全・安心で、かつ快適な駅を目指した研究開発に取り組んでいる。駅空間での安全・安心に向けた代表的な研究開発として「列車・ホーム間の隙間通過時の旅客の挙動<sup>14)</sup>」の研究テーマが、快適な駅に向けた代表的な研究開発として「旅客設備に関する衛生環境の実態把握<sup>15) 16)</sup>」の研究テーマがあげられる。これらは、いまだに実態の把握が十分とは言えない分野であり、そのため、環境改善に資する基礎的な知見の提供を主な目的とした調査研究となっている。

近年、報道などでホームからの転落がしばしば取り上げられることがある。その理由として、日本では鉄道は生活の足で身近な話であり、また、以前はなかったスマートフォンを使いながらの歩行など新たな要因の発生や、社会的に障害者、子供、高齢者等の安全に対する配慮の意識が高まっていることもあげられる。こうした状況から、各事業者ではホーム柵の設置やさまざまな方法による注意喚起などの対策を実施してきている。

鉄道総研でも視覚障害者がホームから転落するのを防ぐために、視覚障害者誘導用ブロックのホーム上の敷設方法の研究<sup>6)</sup>などを行ってきているが、最近では、乗降時における列車・ホーム間の隙間への転落や踏み外しに関する基礎的研究に取り組んでいる。これまでの事故報告だけでは見えてこない要因として乗降時の足の運びに着目し、乗降を実験的に再現して、転落や踏み外しに影響する要因を推定した。列車とホーム間の隙間を模擬した実験装置を作成し、乗降動作を計測したところ、転落や踏み外しの可能性を高める要因として、乗車時の隙間をまたぐ際の進入角度が影響していると推察された。すなわち隙間に対して真っ直ぐまたぐことが転落や踏み外しを生じ難くすることから、真っ直ぐまたぐ足の運びを

促す案内や情報提示が有効と考えられた。今後は、その最適な情報提示方法の検討が課題となっている。

また、近年は衛生に対する意識の高い旅客の割合が高くなっていると考えられ、手すりなどの、姿勢を安定させ、ひいては身の安全を確保するための設備であっても触れたくない、そのために使わないというケースが増えているという指摘がある。そこで、手すりなどの設備の利用を促進するため、エスカレータの手すりなど駅で接触部位に関する衛生環境の利用者意識および実態を明らかにする研究に取り組み始めた。

旅客設備利用について意識調査を実施した結果、トイレ便座、エスカレータ手すり等の順に「触りたくない」割合が高く、その理由として「汚い、菌がいそう」と考えている利用者が多いことがわかった<sup>15)</sup>。一方、設備の接触部位表面の微生物分布を調査した結果、トイレ設備からはヒト由来、エスカレータ・階段からは環境由来の細菌属が割合の多くを占めていたものの、いずれも微生物数自体は特に多いということではなかった<sup>16)</sup>。これらの調査から、設備の維持管理への更なる投資よりは利用者の認識を変える取り組みが有効であると考えられた。

#### 4. おわりに

以上、最近の人間科学の基礎研究の中から代表的なものを紹介した。その他にも、安全にかかわる研究開発では、さらなるヒューマンエラー防止に向けたテーマ「ヒューマンエラー防止に向けた運転情報記録の解析<sup>17)</sup>」、より安全な踏切を目指して改めて実態把握から始めて踏切事故対策を考えていくテーマ「踏切安全性向上のための踏切システム<sup>18)</sup>」、今後、鉄道車両のガイドラインとしても導入の検討の可能性がある電磁界環境の人への影響について、その基礎データを整備するためのテーマ「電磁界の生体刺激作用の特性解析<sup>19)</sup>」などにも取り組んでいる。さらには、旅客対応の課題として近年社会的に問題となっている旅客暴力対策のテーマとして「旅客対応時トラブルの発生メカニズムの解明<sup>20)</sup>」にも取り組んでいる。

今回は基礎研究を中心として人間科学に関する最近の研究について紹介してきたが、いずれも将来的には実用化を目指すものであり、そのため常に利用者や事業者など鉄道に関わる人のニーズや意見を踏まえて、人間科学ヒューマンファクター研究を進めていく所存である。

#### 文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道総研式ヒューマンファクター分析法マニュアル[初級編]，鉄道総合技術研究所，2017
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道総研式事故の聞き取り調査手法マニュアル，鉄道総合技術研究所，2014
- 3) 増田貴之他：指差喚呼のエラー防止効果の検証，鉄道総研報告，Vol.28，No.5，pp.5-10，2014
- 4) 中村竜他：鉄道現場作業における情報伝達エラー発生要因と対策，鉄道総研報告，Vol.31，No.11，pp.11-16，2017
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 鈴木大輔，山内香奈：シミュレータ訓練における運転士の注視行動と異常事象の発見，鉄道総研報告，Vol.33，No.1，pp.17-22，2018
- 9) 北村康宏他：判断ミス防止訓練に向けた意思決定課題の基礎的評価，鉄道総研報告，Vol.31，No.11，pp.17-22，2017
- 10) 水上直樹他：運転士の支援に向けた眠気検知手法の開発，鉄道総研報告，Vol.33，No.1，pp.11-16，2018
- 11) 中川千鶴他：生理指標を活用した運転士状態推定の基礎的検討，鉄道総研報告，Vol.33，No.1，pp.5-10，2018
- 12) 中井一馬他：列車事故時の乗客挙動解析によるロングシート乗客の被害推定と対策，鉄道総研報告，Vol.33，No.1，pp.29-34，2018
- 13) 遠藤広晴他：優等車両内において乗客が感じる温熱快適性の季節差の研究，鉄道総研報告，Vol.33，No.1，pp.41-46，2018
- 14) 斎藤綾乃他：列車乗降時の踏外し要因の基礎研究，鉄道総研報告，Vol.33，No.1，pp.35-40，2018
- 15) 京谷隆他：駅設備の接触箇所に関する利用者意識調査，平成30年室内環境学会学術大会予稿集，2018
- 16) 川崎たまみ他：培養法による駅設備の付着細菌数調査，平成30年室内環境学会学術大会予稿集，2018
- 17) 鈴木大輔他：鉄道運転士の停止操作を対象とした運転情報記録の解析，第50回安全工学研究発表会講演予稿集，pp.33-36，2017
- 18) 鈴木大輔他：踏切の鳴動状態を考慮した歩行速度特性，鉄道総研報告，Vol.31，No.11，pp.29-34，2017
- 19) 池畑政輝：磁界による健康影響と防護方針の現状，鉄道総研報告，Vol.30，No.9，pp.47-52，2016
- 20) Okada, Y., et al.: The Effect of Communication by Staff and Alcohol on Passengers' Anger Expression, Abstracts ISRA 2018 World Meeting, pp.152-153, 2018.