

鉄道のヒューマンサイエンス

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道



小美濃 幸司
Koji Omino
人間科学研究部
部長
[専門分野] 人間工学

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、および駅・車内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ます。そのためには、鉄道を動かす人、鉄道を利用する人、この鉄道に関わる人をよく理解することが重要です。その心理、身体、生理、行動、組織風土などを測定、評価、解明し、問題解決や改善提案を行う研究がヒューマンサイエンスです。ここでは、現在の鉄道の課題や新技術動向を踏まえ、ヒューマンサイエンスの取り組みについて紹介します。

はじめに

鉄道が安全であるためには事故を起こさない継続的な取り組みが重要であり、鉄道事故の原因としてしばしばとりあげられてきたヒューマンエラーの対策は、とくに重要な課題の一つです。また、鉄道利用促進の面から、車内や駅が便利で快適であることは重要です。車内・駅の利用環境を改善するために考えるべき要素はたくさんありますが、そもそも利用者をよく理解して改善していくことが肝要です。安全性についても、便利・快適についても社会が鉄道に求めるレベルは時代とともに高くなってきており、ニーズに応え続けるうえで必然的にヒューマンサイエンスという分野が注目されるようになってきたと考えています。そこで、ここでは、現在の鉄道の課題や新しい技術を踏まえながら鉄道総研のヒューマンサイエンスの成果と取り組みを紹介します。

ヒューマンエラー対策

(1) 教育訓練手法の開発

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ています。そのスキルレベルを維持させるためにはつねに訓練内容の改善の努力が求められるところですが、その改善に苦心している事業者も多いのが実情です。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ます。

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ります(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、状況認識などが含まれ、近年安全上の重要な研究課題として注目されています。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」とそれを使った教育プログラムがあげられます。指差喚呼(☞参照)は確認ミスを防止するスキルとして普及している一方、そもそもミスを犯すことがまれであるため、効果の実感がもてずに形骸化しがちです。そこで、教育プログラムは効果を体感して実行意識を高めることができるものとなっています。

一方、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」とそれを使った教育プログラムがあげられます。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が原因の重大な事故やインシデントが発生して

☞ 指差喚呼

指差喚呼とは、おもに目視での確認ミスを防止するため、確認対象を指差し、対象の状態や実行しようとする操作内容を発声する安全確認動作であり、鉄道発祥の確認スキルとされています。

☞ 復唱・確認会話

復唱と確認会話は、会話でのコミュニケーションミスを防止するためのスキルです。相手が言ったことをそのまま繰り返して確認するのが復唱であり、相手の言葉を言い換えたり、結果として起こることを返したりして確認するのが確認会話です。

います。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(☞参照)の理解と実施を促進する内容となっています。

以上はすでに研究成果が実用化されているものですが、現在取り組みつつある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ー訓練手法」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訓練手法」の開発があります(図1右)。近年進展が著しい生体計測技術を活用することで、新たな提案を目指しています。以下、これらの研究について紹介します。

①視線検知機能を活用した運転シミュレーター訓練

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やすくなります。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ーを使った異常時対応能力向上訓練を実施しており、有効な対策の一つと考えられています。その際、とく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一つであり、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ー訓練の研究開発に取り組んでいます¹⁾。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ー訓練を実施しました。この場合、線路の異常に気づきやすい視線の

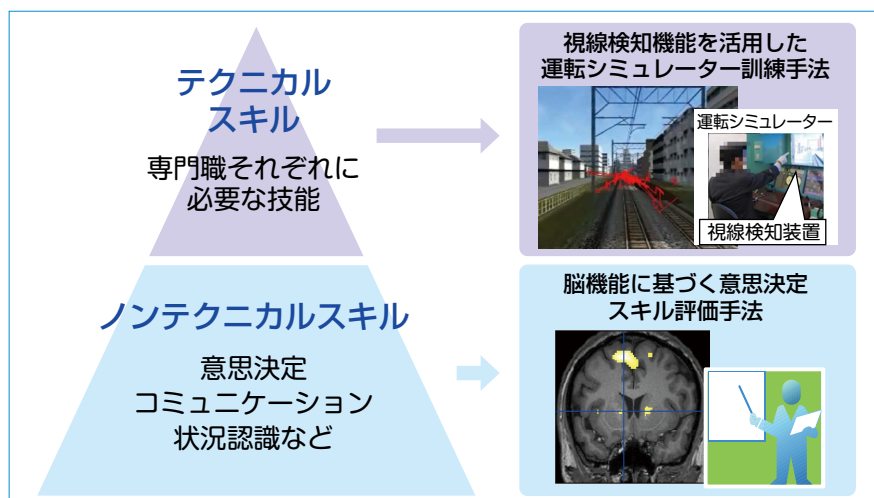


図1 テクニカルスキルとノンテクニカルスキルおよび最近の研究例

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、とくに前方注視の時間が長いことがわかりました。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考えており、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ます。

②脳機能に基づく意思決定スキル訓練手法

また、現場での判断ミスは事故に直結する可能性のあるヒューマンエラーであることからその対策は重要です。そこで、まず脳活動の解明を通じて判断(意思決定)に偏りを説明するモデルを提案し、モデルに基づいた作業課題を開発します。そして、その作業課題を活用して偏りのない判断を行える能力(意思決定スキル)を訓練する手法の開発を目指します。

現在は、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す。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²⁾はその一つです。この時、fMRI(☞参照)を使って確認すると意思決定関連の脳領域が活性していることが確認されました。ほか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とスキルを探っていく予定です。

(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事故につな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ます。ここでは「顔画像を活用した運転士の眠気検知システム」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」の二つの研究について紹介します。

①顔画像を活用した運転士の眠気検知システム

居眠り検知装置はすでに自動車分野で商品化されていますが、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ます。ただし、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ます。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

☞ fMRI (functional magnetic resonance imaging, 機能的核磁気共鳴断層画像法)

fMRIとは、MRIを使って脳内のわずかな血流変化をとらえ、活動している脳領域を画像に表現する技術です。X線を使わないため放射性被曝することがなく、安全に脳の深部まで測定することができます。



図2 簡易運転シミュレーター運転時の生理計測実験

拘束したり、運転士に負担をかけたりしないよう、画像解析技術を利用します。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ます。

現時点では、まだ検知精度を上げる必要があります。また、西日の影響や、自動車と違いシートベルトなどの姿勢の拘束がなく顔が大きく動くため、画像認識の精度が落ちるといった課題はあります。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す。

②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

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、そこからの逸脱を検出し、正常に戻るための警報を出し、さらに指令に注意情報を提供するというものです。現在、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」の開発に取り組んでいます。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と考えています。

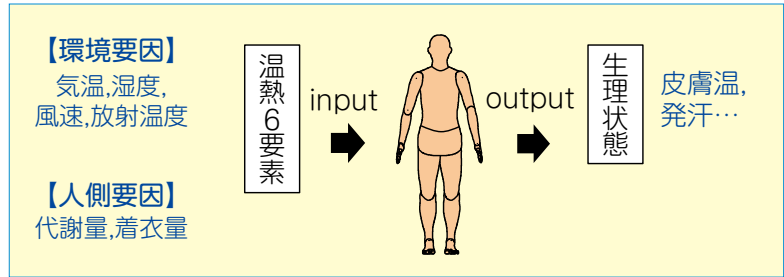


図3 人体熱モデル

この研究において簡易な運転シミュレーターを使った実験を行いました(図2)。運転のシナリオは、運転中に障害物が線路上に突然出現し、衝突を回避するために的確に非常ブレーキをかけることを求められるものでした。ブレーキを最短でかけることができた被験者ももっとも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、心拍数が上がり、呼吸が浅くなっていました。このように脳波で異常な脳活動がとらえられるとともに、心拍数や呼吸にも対応した変化がみられました。さらに生理計測データを蓄積し、心身の逸脱を判定できる指標を探っていきます。

車内・駅の利用環境改善

(1) 車内環境改善

車内の利用環境改善では、安全・安心に向けた最近の代表的な研究として「列車事故時の車内安全性評価」の研究を、快適な車両に向けた代表的な研究として「温熱刺激の快適性評価手法」の研究を紹介します。いずれも関連分野の人体の数値モデルを使ったシミュレーション研究です。

①列車事故時の車内安全性評価

鉄道の安全のためには事故を起こさ

ないことがもっとも重要ですが、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重要です。そこで万が一、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支援を目指した研究に取り組んでいます。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(☞参照)を構築してきました。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条件を推定してみました。通勤列車および特急列車の二つの設定を対象として解析したところ、通勤列車ではロングシートに座っている乗客が端部の袖仕切りで傷害するリスク、立っている乗客が車内設備とほかの乗客に衝突して頭や胸に傷害を負うリスク、特急列車ではクロスシートの乗客が前の席に衝突して足にけがを負うリスクがあることが示唆されました。以上のように、車内設備レイアウトによって被害状況が異なることがわかり、現在推定された被害ポイントを対象とした対策について検討を進めています。

②温熱刺激の快適性評価手法

また、車内に関する苦情として温熱環境に関するものが多く、空調の改善

☞ 乗客挙動シミュレーション

乗客挙動シミュレーションとは、人体の数値モデルを使って列車が衝突したときの乗客の動きを予測計算するもので、乗客が車内設備やほかの乗客と衝突する状況を推定し、またはその乗客が受ける傷害を推定することに使われます。

は重要な課題です。そ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ません。そこで、鉄道固有の送風機（横流ファン）の風や腰掛下ヒーターの熱を受けた際の人の生理・心理状態のデータを取得し、列車内の局所的な温熱刺激に対する快適性予測手法の研究に取り組んでいます。

提案手法は人体熱モデル（図3）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ています。とくに人体熱モデルは皮膚温などの状態を身体各部ごとに予測でき、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ます。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、おおむねよい予測精度であり、実態をよく反映していることが確認されています。通勤列車の空調制御の改善に本予測手法が役立つものと考えており、さらに実用的で、効果的な活用方法も検討していく予定です。

(2) 駅環境改善

駅環境改善では、安全・安心に向けた代表的な研究として「列車・ホーム間の隙間通過時の旅客の挙動」の研究が、快適な駅に向けた代表的な研究として「旅客設備に関する衛生環境の実態把握」の研究があげられます。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ることから、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ます。

①列車ホーム間の隙間通過時の旅客の挙動

報道などでホームからの転落が取り上げられることがありますが、各事業者ではホーム柵の設置や注意喚起などさまざまな対策を実施してきています。鉄道総研でもさらなる対策に向けた支援のため、一般の旅客が列車とホーム間の隙間への転落事故の背景要因を探

る基礎的研究に取り組んでいます。これまでの事故報告だけでは見えてこない要因として、乗降時の足の運び方に着目をしました。列車とホーム間の隙間を模擬した実験装置を作成し（図4）、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

いると推察されました。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にくくしますが、その意識がある利用者は少なく、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ました。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ます。

②旅客設備に関する衛生環境の実態把握

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、姿勢を安定させる安全設備であっても触れたくない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ります。そこで、手すりなどの設備の利用を促進するため、エスカレーター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む始めました。

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、エスカレーター手すりなどの順に「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りました。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、エスカレーター・階段からは環境由来の



図4 列車・ホーム間の隙間通過時の旅客の挙動を調べる実験

細菌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とくに多いということはありませんでした。これらの調査から、まずは利用者に衛生の実態を正しく理解してもらうことが大切であると考えられました。

おわりに

以上、ヒューマンサイエンスの中から代表的な研究を紹介してきました。そのほかにも踏切事故防止のため、踏切通行者についての研究も行っており、鉄道利用者以外の人も研究対象となることがあります。このようにヒューマンサイエンスが取り組むべき課題は広い分野にわたっており、鉄道総研では、引き続き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、利用者や鉄道事業に関わる方々に役立つ研究に取り組んでまいります。[RRR]

文献

- 1) 鈴木大輔, 山内香奈, 松浦理: 異常事象に気付く運転士の注視行動, 鉄道総研報告, Vol.33, No.1, pp.17-22, 2019
- 2) 北村康宏, 井上貴文, 佐藤文紀, 中村竜, 小野間統子, 中川千鶴: 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