

人間科学における安全のための研究開発

小美濃 幸司*

Recent Topics on Human Science Research for Railway Safety

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 safety management support and the improvement of car inside environment and station environment. This paper outlines the recent topics on the human science research of the education and training programmed for preventing human errors, the human error analysis method and the countermeasures against outside factors threatening a railway safety.

キーワード：人間科学，ヒューマンエラー，教育訓練，鹿衝撃事故

1. はじめに

鉄道総研の人間科学分野では、鉄道の安全性、利便性、快適性向上の観点から安全管理業務の支援や駅・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る。特に、鉄道の安全・安定輸送のためには、ヒューマンエラー防止は重要な課題であり、ヒューマンエラーの調査・分析手法や鉄道従事員の教育訓練などにおいてより有効な提案を目指して研究を行ってきた。また、列車と野生動物の衝突や踏切事故などの鉄道システム側でコントロールできない要因（部外要因）の事故も無視できない安全問題であり、人間科学の観点から対策提案に向けた研究を進めている。ここでは、ヒューマンエラー防止のための教育訓練、ヒューマンエラー分析手法および鉄道の安全を脅かす部外要因への対策に関する最近の研究成果について紹介する。

2. ヒューマンエラー防止のための教育訓練に関わる最近の研究

ヒューマンエラー防止のための教育訓練の代表的な研究として、運転訓練や指差喚呼についての研究が挙げられる。前者の成果として、異常事態では心理的な負担が高くヒューマンエラーを犯しやすい状態にあるといえるが、そのような場合にも適切に対応ができるための運転訓練として「運転士の異常時対応能力向上プログラム」を提案した¹⁾。後者の成果として、安全確認のために行われている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、その効果を体感するため「指差喚呼のエラー防止効果の検証」²⁾を行い、教育訓練の場で使用できるように体感できる作業課題を教材として作成し、それを使った教育プログラムを提案した。これらの訓練法はすでに鉄道事業者などで活用されている。

一方、ヒューマンエラーは無意識の単純なミスから、高い集中力を要求される場面での判断ミスまで様々なものがあり、教育訓練で対応できるエラーだけを対象にするとしても、相当数の種類が必要となると思われる。また、同じ訓練を繰り返していると、訓練効果は慣れによって低下していくこともあり、エラーが同じであっても新たな訓練方法が必要となることもある。このようなことから、鉄道総研では教育訓練の研究を継続してきているが、最近の主な研究開発として、まず、コミュニケーションエラーに対する2つの研究「鉄道現場作業における情報伝達エラー発生要因と対策の検討」³⁾と「異常時の指令のコミュニケーション訓練手法」⁴⁾の成果について、また、現在、取り組みつつある判断ミスに対する研究「判断ミス防止訓練に向けた意思決定課題の基礎的評価」⁵⁾について紹介する。

情報伝達エラー（コミュニケーションエラー）に起因する事故を防止することを目的とした訓練手法を検討するために、情報伝達エラーに関連する事例（1706件）やヒヤリハット経験（97件）を収集・分析し、情報伝達エラー発生過程を表した情報伝達エラー要因モデルを作成した。このモデルから、情報伝達エラーに起因する事故を防止するためには、復唱や確認会話の実施が有効であることが分かった。さらに、復唱や確認会話を有効に機能させるためには、会話の当事者が、受け取った情報あるいは自分が発信した情報内に曖昧な情報や情報不足等の情報伝達エラーにつながる可能性のある要因に気

* 人間科学研究部 部長

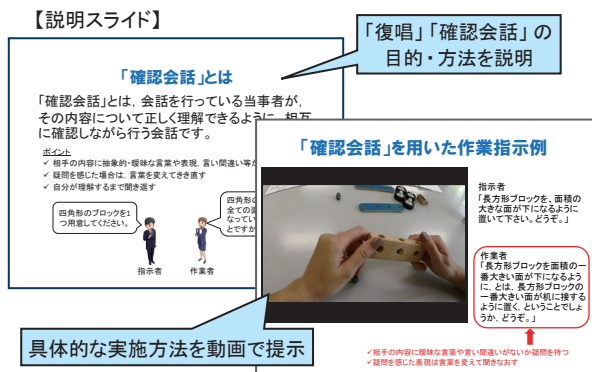


図1 復唱・確認会話学習教材

づき、的確に確認する能力が必要であることが分かった。そこで、復唱および確認会話の実施方法やポイントを学習する「復唱・確認会話学習教材（図1）」と、会話内に含まれる曖昧情報や情報不足（情報伝達エラー発生要因）への気づき能力を向上させる「情報伝達エラー要因学習教材」を試作した。これらの教材を使って一般参加者及び鉄道会社社員を対象とした訓練効果の検証実験を行ったところ、エラーの低減効果が確認された。

また、特に異常時にはコミュニケーションエラーが発生しやすいことから「異常時の指令のコミュニケーション訓練手法」の開発に取り組んだ。異常時に列車の運転状況の管理を担当する指令員や、乗務員や車両の運用を手配する担当の指令員が正確かつ円滑に情報を共有でき、現場で容易に実施可能な訓練を狙ったものである。訓練参加者は異常時の情報伝達場面を模擬したシナリオを体験し、訓練を撮影したビデオ画像を見て、相互に振り返りを行う。その際に用いるコミュニケーション技術の留意点を45項目に整理したチェックシートは、意識づけや普段の業務の振り返り時の実行度の確認に有効であり、コミュニケーション技術の習得を促すものとなっている。訓練試行の結果、コミュニケーション技術の重要性の認識が向上し、普段の業務における実行度も向上することが確認された。

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す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、事故対応などで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。一方、通常の作業においても、ちょっとした確認を省略して、判断誤りを犯す場合がある。両者の判断誤りの原因は大きく異なると考えられるが、背景にはどちらも判断を偏らせる認知的要因があり、判断の偏りを起こしにくくできる何らかのスキルがあるものと考えている。そこで、まず「判断ミス防止訓練に向けた意思決定課題の基礎的評価」の研究において、判断を偏らせる要因を洗い出すとともに、個々の意思決定の傾向を評価することができるような実験

課題（作業課題）の開発に取り組んだ。

鉄道の事故分析データから得られた278件の意思決定エラーの事例を分析し、発生した作業場面と判断の傾向をそれぞれ検討した結果、確認に関わる作業場面が全体の60%以上を占めること、また、70%以上の事例で近視眼的な判断をする傾向があることが判った。そこで、この結果に対応して、作業後に確認を省略するかどうかの判断が求められる場面を再現した作業課題（図2）と、短期的メリットと長期的メリット（すぐに分かるメリットと徐々に理解できるメリット）を考慮に入れて判断を下す作業課題を開発した。また、異常時を想定した意思決定が困難な場面における作業課題も作成した。

さらに、脳機能画像法（fMRI）を用いて、3つの作業課題実施中に、それぞれの課題の特徴と対応した異なる意思決定関連の脳領域が活性化することを確認し、これらの課題が意思決定の作業課題として適切であることを確認した。

今後はこれらの作業課題を活用して意思決定スキルの評価方法を作成し、スキル向上のための教育訓練法を開発していく予定である。

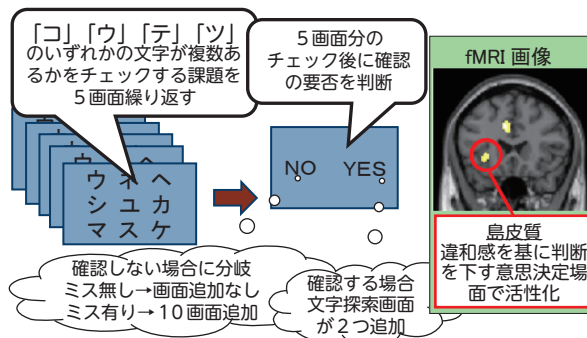


図2 確認場面を再現した作業課題と課題実施中のfMRI画像

3. ヒューマンエラー分析手法に関わる最近の研究

これまでヒューマンエラーの背景要因を分析する「鉄道総研式ヒューマンファクタ分析法」を提案し⁶⁾、多くの事業者に活用されてきた。ただし、この手法はエラー事象の数が多い場合に調査や分析に時間を要していた。そこで、分析を効率的に行うため、「ヒヤリハット情報を用いた安全管理支援手法」の研究においてリスク情報を活用した新しい手順を提案した⁷⁾。従来は、システムが要求している目標と実際の行動とのズレを「逸脱」として特定し、その全てを分析対象としていたが、新しい手順では事故やヒヤリハット等のリスク情報を用いてリスクが大きいエラーを特定し、分析対象を限定して分析の重点化ができるようにした。また、特定されたヒュー

マンエラーの背景要因を論理的に探る作業を補助するため、なぜなぜ分析の支援ツールを開発した。900件の事例のエラー要因の因果関係の分析結果に基づき「なぜ？」という問いに対する要因の候補を提示するツールであり、一貫した論理で効率的に分析を進めることができる。さらに、背景要因の分析結果に基づいて対策を検討する際に、関係者への注意等の一時的な是正対策に留まらずに作業の仕組みの改善を促すため、遵守すべき取り扱いの内容や実施条件等に無理がないかを確認する9つのステップからなるヒューマンファクター対策検討フローを作成した。この新たな提案はヒヤリハット等を安全管理体制に活用して、合理的に分析を行い、作業や仕組みの改善を促すものである。なお、今年度から本研究の成果を反映させた改訂版教材の提供を始めた。

上記のようなヒューマンエラーのエラー分析にあたり関係者の行動や発生状況等の十分な情報収集が必要であるため、現場において事象の関係者を対象に聞き取り調査が実施されているが、従来は標準となる手法がなく、情報不足により調査や報告の手戻りが発生しやすくなっていた。そこで、心理学研究における知見（認知面接法や傾聴法など）をもとに、聞き取り調査を実施する際の心構えや留意点を考慮した「鉄道総研式事故の聞き取り調査手法」を開発した⁸⁾。手法は教材としてまとめられており、その導入を支援するため、受講の動機づけや体験を重視した教育プログラムも作成した。この聞き取り調査手法はモニター調査によって高い有効性があることが確認されている。

第2章ではコミュニケーションエラーが事故に直結しないようにするための教育訓練を紹介したが、「普段の職場内でのコミュニケーションの不足がヒューマンエラーを引き起こしやすい職場風土を作っているのではないか。その職場風土を改善したい」という要望もある。そこで、教育訓練そのものではないが、関連研究として「現業管理者のコミュニケーションスキル評価手法」⁹⁾を紹介する。

まず、乗務員職場を対象としたヒアリング調査やアンケート調査により、現業管理者（助役、指導者等）が「乗務員から相談を受ける機会の多さ」と「社員の異変への気付き」に関連性があることを確認した。そこで、相談を受ける機会が多い管理者の態度・行動を見出すための分析を行い、職場社員と管理者のコミュニケーションを促すための、34のチェック項目で5つの側面から評価を行う「管理者コミュニケーションスキル評価手法」を開発した。具体的には「話す機会を増やす行動」、「個人把握のための行動」、「相談された時の態度」、「相談や面談時の話し方」および「対応終了時と終了後」の5つの場面での管理者の行動・態度を評価尺度としている。また、評価チェックシートに回答すると、評価結果を自動

的に算出し、回答者の強み・弱み、および乗務員が求める態度・行動などの情報を提示するフィードバックツールを作成した。これらについて、モニター調査を実施した結果、モニターの9割以上に操作性やわかりやすさの肯定的評価がみられ、また、9割に今後の改善への動機づけがみられることを確認した。

4. 鉄道の安全を脅かす部外要因への対策に関する最近の研究

列車と野生動物の衝突や踏切事故などの鉄道の安全を脅かす部外要因に対する研究についても取り組んでいる。前者については、特に鹿との衝突件数が年々増加し、無視できない状況にある。運転士には衝突を回避するための負担が増え、衝突してしまうと乗務員に加え保線掛の負担も増え、乗客にも不便が及ぶ。そこで事業者は鹿避け柵を設けたり、徐行区間を設けたり、いろいろな対策を講じているが¹⁰⁾、鹿の個体数の増加などにより衝突件数を減らすことが難しいのが現状である。こうした事態を改善するべく「忌避音による鹿接触事故防止技術の開発」¹¹⁾の研究に取り組んでいる。鹿は声（警戒声）で互いに危険を知らせあう習性があり、また、声以外にも警戒反応を示す音がみられ、車両接近時にこうした音を使って鹿が線路から離れるように行動制御する方法を検討した。

まず、鹿個体を用いた試験より、飼養鹿、野生鹿ともに、警戒声が吹鳴されると警戒態勢を取ることを確認した。さらに、この特性を利用して、鹿が嫌う犬の咆哮を警戒声に続けた忌避音を考案し、その効果検証を行った。鹿が柵の途切れる場所から線路に侵入するのを防ぐ目的で、柵に鹿をセンサーで検知して忌避音が吹鳴するように設定して観察したところ、鹿が侵入を躊躇する様子や逃げ去る様子が観察された。また、営業列車前頭部に忌避音装置を取り付けて吹鳴する試験を、鹿の衝撃事故が多い時期に実施した。吹鳴試験に先立ち、GISを利用した鹿衝撃事故マップを作成して対策箇所を抽出し、沿線の植生や地形などの特徴を考慮したうえで忌避音吹鳴区間を選定した。この吹鳴区間において列車から忌避音を吹鳴しながら走行したところ、通常走行時は鹿目撃回数が13.6回（100km走行当たり）なのに対し、忌避音吹鳴走行時は7.5回と45%減少した。これらの結果より、考案した忌避音は事故防止に有効な手法であると考えられた。今後は忌避音に対する慣れの影響の程度について確認し、実用化に向けた取り組みを進めていく。

踏切事故については、主に道路交通という鉄道外要因が鉄道の安定輸送の阻害原因となっている課題である。鉄道側では線路の高架化などにより踏切をなくしたり、線路内に立ち往生した自動車を自動検知する障害物検知

特集：安全の人間科学

装置を設置したり、一通りの対策は実施されてきているところである。一方、踏切の数は多く、こうした対策をすべての踏切に実施することは難しい状況にあり、さらに踏切事故を軽減していくには、もう一段の工夫が必要と考えている。そこで、今後、通行者への情報提供・表示の工夫などについて検討していく予定であり、まずは、そのための基礎データを整えるため、踏切の通行実態の調査と詳細な分析を進めている。

踏切事故の約半数は遮断機のある踏切の歩行者と、自動車の停滞等によるものである。また、踏切事故の中に占める高齢者の割合が高いことから、遮断後も踏切内に歩行者や自動車が留まってしまう現象に対して「踏切の鳴動状態を考慮した歩行速度特性」¹²⁾ および「高齢ドライバーの踏切事故の要因解明」¹³⁾ の研究を行った。

「踏切の鳴動状態を考慮した歩行速度特性」では、複線1箇所と複々線2箇所の踏切をビデオカメラで撮影し歩行速度を計測した。4726人の実測値から確率分布のパラメータを推定し歩行速度分布（歩行者通行モデル）を同定した。歩行者が鳴動後に進入した場合、歩行速度分布は速い方向にシフトしていたが、歩行速度を上げない遅い人がいることが分かった。また、踏切長が長いほど、歩行速度は早く、横断歩道と同様の傾向であった。今後は、踏切内の混雑状態が歩行速度分布に与える影響や歩行者や自動車などの通行の軌跡についても解析していく予定である。

また、「高齢ドライバーの踏切事故の要因解明」では、自動車の踏切進入時と進出時の問題について調査と実験を行い、高齢者と若年者の行動を比較した。その結果、進入時に、踏切出口の空間余裕を確認しなかったり、警報を無視したりして侵入する傾向は若年者に多く、警報に気付かない傾向は高齢者に多いことが分かった。進出時に、踏切内に閉じ込められた際の対処では、遮断かんを手で持ち上げようとする、非常ボタンを押したのち踏切内に戻る等の問題のある行動が高齢者に多く、滞留の要因であることが分かった。

5. おわりに

これまでのヒューマンエラー研究ではヒアリングやアンケートによる本人の自己報告をもとに心身状態を推定する主観的方法を主に使ってきたが、脳波、心拍数、発汗などの生理データも積極的に活用し、心理的・生理的両方法で得られたデータと作業パフォーマンスを対応付けることでより説得力のある心身状態推定方法の検討についても並行して進めている。現在「生理指標による運転状態モニタリング」の研究では、どのような心身状態

のときにパフォーマンスが落ち、ヒューマンエラーを起こしやすい状態にあるのかを探り、そして運転士のそのような心身状態を推定する方法を検討している。

また、運転士の眠気を捉えるモニター方法、前方監視を支援する線路内状況のモニター技術や検知した異常事態について情報提供する方法について開発を進めている。人間科学研究としては、中でも眠気や運転士の心身状態の異変などを運転士に負担をかけることなくモニターし、運転支援や事故防止に役立てられるよう、テーマ「運転士の眠気状態推定システムの開発」を進めている。

技術の進歩とともに鉄道システムも進化し続け、システムが複雑化し、それを動かす人に求められる作業や能力に応じた取り組みが生じてくるものと考えられる。人間科学的観点からのシステム設計がますます重要となると考えられ、鉄道総研はそうした時代に必要とされる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) 小美濃他：運転士の異常時対応能力向上プログラムの実用化，鉄道総研報告，Vol.27, No.3, pp.17-22, 2013
- 2) 増田他：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
- 3) 中村他：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
- 4) 畠山他：異常時における指令のコミュニケーション技術訓練手法，鉄道総研報告，Vol.29, No.7, pp.11-16, 2015
- 5) 北村他：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
- 6) 宮地：職場安全管理の改善に向けたヒューマンファクター分析手法，鉄道総研報告，Vol.21, No.5, pp.11-16, 2007
- 7) 宮地他：ヒヤリハット情報を用いた安全管理支援手法，Vol.30, No.9, pp.5-10, 2016
- 8) 宮地他：事故の背景要因に対する聞き取り調査手法と教育プログラム，鉄道総研報告，Vol.29, No.7, pp.5-10, 2015
- 9) 宮地他：現業管理者のコミュニケーションスキル評価手法，鉄道総研報告，Vol.31, No.11, pp.5-10, 2017
- 10) 志村他：車両接近時の鹿の行動と音による行動制御の可能性，鉄道総研報告，Vol.29, No.7, pp.45-50, 2015
- 11) 志村他：忌避音による鹿接触事故防止技術の開発，鉄道総研報告，Vol.31, No.11, pp.35-40, 2017
- 12) 鈴木他：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
- 13) 井上他：高齢ドライバーの踏切事故の要因解明，鉄道総研報告，Vol.31, No.11, pp.23-28, 2017