

ヒューマンシミュレーション技術の 鉄道への適用

鈴木 浩明
人間科学研究部
(部長)

藤浪 浩平
同
(人間工学 主任研究員)

伊積 康彦
構造物技術研究部
(建築 主任研究員)



すずき ひろあき



ふじなみ こうへい



いづみ やすひこ

はじめに

人の動作、行動、判断などをシミュレーションするための技法が近年急速に発達し、産業・医療・教育などの分野で多くの成果を挙げています。鉄道も例外ではありません。私たちはこの10年近くの間、運転操作や運転士の生理反応を記録できる「列車運転シミュレータ」や列車の乗り心地を実験室環境で評価できる「車内快適性シミュレータ」を開発してきました。また、駅における「旅客流動シミュレーション」や、衝撃時の「乗客の身体挙動シミュレーション」を整備しました。ヒューマンシミュレーション技術を、鉄道利用者や従業員の安全性と快適性の向上に活用していく流れは、今後ますます大きなものになると予測されます。本稿では、この5年間に「将来指向課題」として取り組んできたヒューマンシミュレーション技術関連の研究成果を中心に、その特色や具体例を紹介します。

人間科学とシミュレーション

シミュレーションという言葉は日常でもよく用いられますが、分野によってその定義は多少異なります。ここでは、「現実のシステムに近い状態や環境を人工的に作り出して模擬実験を行い、現実のシステムを評価・予測すること」といった意味合いで考えます。ヒューマンシミュレーションという現実のシステムとは人そのもので、人の動作、行

動、判断などを指します。

自然科学分野では一般に物理量同士の関係の解明を扱いますが、人間科学分野で想定するのは通常、図1のような関係です。Aの環境(刺激)は自然科学分野と同様の物理量ですが、Bの人間(反応)は感情、意思、経験、好み、文化などの要因に影響される点で物理量とずいぶん違います。もちろん、これらを確率論的に扱おうとする考え方もありますが、きわめてシンプルな問題解決状況でないとその適用は困難です。このため、人間科学分野ではAの環境要因のみにシミュレーション技術を適用して、環境の模擬装置としての「シミュレータ」を開発し、実験ツールとして利用するケースがよくあります。AとBの違いに着目して、実験とシミュレーションとの関係を整理したものを図2に示します。

①は環境・人間ともにシミュレーションを用いず、実際の人間を被験者として実験や調査を実施するケースです。②は前述のように人間科学に特有の技法であり、例えば、列車の客室内や運転室内の環境をシミュレーション技術で再現して、実験ツールとして活用するケースに相当します。これを「体験型シミュレータ」と呼びます。③は人の動作や行動を多数のパラメータで規定される物理量に置き換えてシミュレーションするもので、自然科学分野の検討方法と変わりありません。

鉄道利用者、従業員の行動や判断に関わる諸問題の中で、体験型のシミュレーションに適した課題を抽出し、そのシ

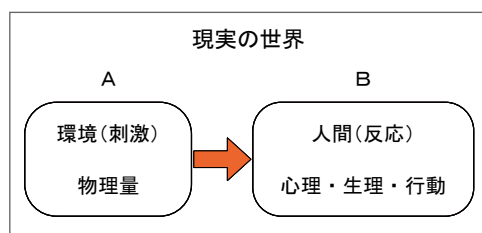


図1 人間科学における研究アプローチの典型例

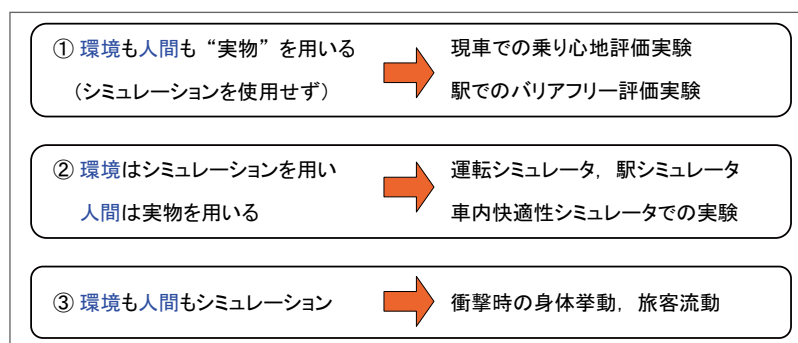


図2 人間科学における実験とシミュレーション

シミュレータを開発したり(図2の①→②への発展), シミュレータ実験や調査を通して, 環境→人間の関係を定式化し, 自然科学型のシミュレーションに発展させること(同①②→③)が当面の課題です。以下,

- (1) 列車運転の安全性向上に関わるもの
 - (2) 駅や車内における乗客の安全性向上に関わるもの
 - (3) 駅や車内における乗客の快適性向上に関わるもの
- に分け, 代表的な研究例と成果を概観します。

列車運転の安全性向上

研究開発用列車運転シミュレータ

これは列車の運転室内の環境を模擬した装置です。運転士の教育・訓練を目的とした運転シミュレータは鉄道事業者に広く導入されていますが, 本稿で扱う研究開発用シミュレータは運転時の疲労感や覚醒度, またはヒューマンエラーを誘発する環境要因を調べたり, 運転台の操作性を評価するなどの目的で開発されたものです(図3)。

運転操作(列車の速度・位置, 力行・ブレーキ操作量など)だけでなく, 作業者の視線の動きや脳波などの生体情報を記録する装置を組み込んでいます。

運転士のワークロード(作業負担)評価スケールの開発

実際の乗務時のデータ分析と列車運転シミュレータによ



図3 列車運転シミュレータの操作風景

る実験結果から, 列車種別とダイヤ設定条件の影響, 休養効果などを考慮に入れ, 運転士の時々刻々の作業負担(ワークロード得点)を判定する新たな基準を提案し, ソフトウェア化しました。

これにより, 乗務員運用に指定されている作業種別(本線運転, 入出区, 入換など), 休憩条件, 本線運転の補正要因および各々の開始・終了時刻から, 運転士のワークロード変動を推定できます(図4)。見直すべき行路や交番の抽出, 事故防止の重点指導列車や休養管理の重点指導行路の把握への活用を想定しています。

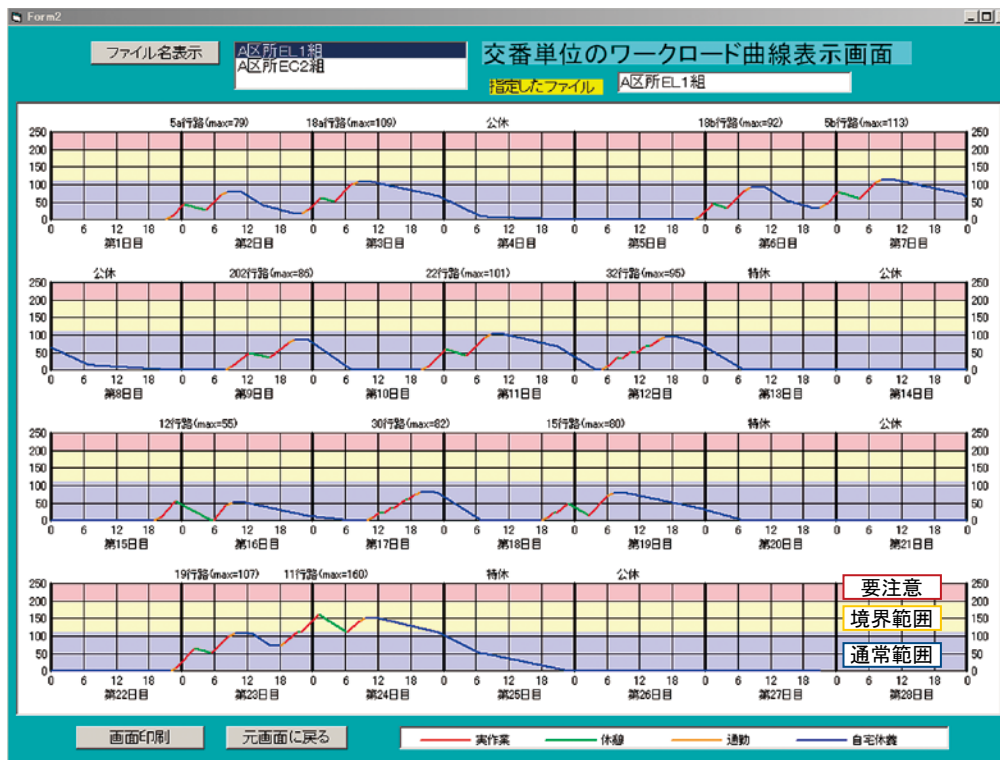


図4 ワークロードシミュレーションの結果表示例(縦軸がワークロード得点)

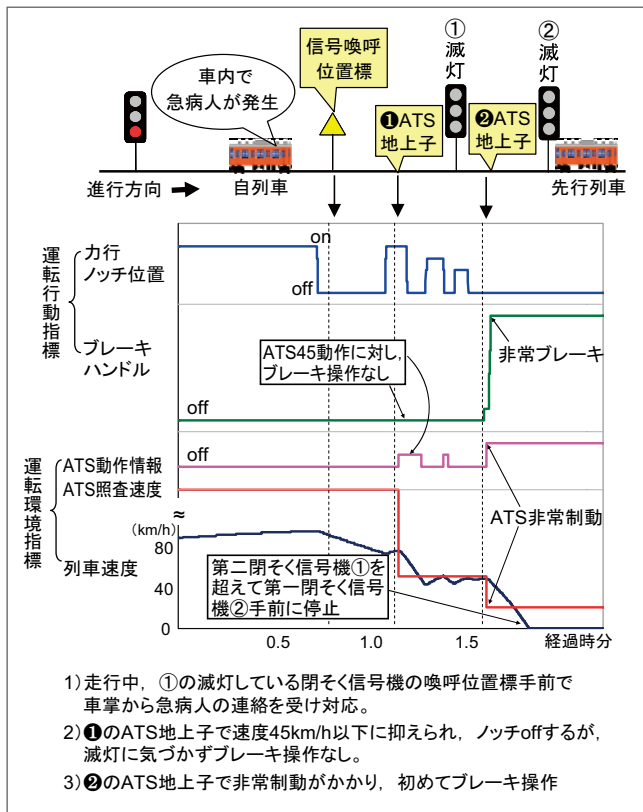


図5 異常時体験課題例(閉そく信号機滅灯課題)と可視化システムの表示例



図6 駅シミュレータ外観(上)と旅客流動評価試験の様子(下)

異常時対応能力向上プログラムの開発

列車運転シミュレータを用いた従来の訓練では、異常時の環境的な側面(視覚、音、振動など)の模倣が重視され、運転士の心理状況の模倣は十分ではありませんでした。訓練後に受験者(運転士)へフィードバックされる情報は、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ます。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倣体験が可能で、かつ、運轉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」を開発しました(図5)。これにより、運轉操作情報とその際の生理的な反応を関連づけて運転士にフィードバックすることができ、運転士自身の気づきを活用した教育効果が期待できます。

鉄道利用者の安全性向上

駅シミュレータの開発

災害や事故などの異常時には、混雑した駅から旅客を安全に避難させる必要がありますが、異常時における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ません。とはいえ、大地震や大規模テロなどの発生を想定し、旅客を安全かつ確実に避難させる方策の検討は急務と考え、「駅シミュレータ」を開発しました。

このシミュレータは橋上駅を模擬しており、内部の広さは約15m×16m、天井高は約3.5~6.5mです。駅務室を模擬した事務室が1箇所と階段が2箇所設けてあります(図6)。

旅客流動評価と避難のシミュレーション

駅の旅客流動シミュレーションソフトは、すでに多くの事業者に活用されていますが、今回、駅構内の歩きやすさを旅客の視点で数値化して評価できるような改良を加えました。駅シミュレータを活用して混雑状況を考慮した歩行実験を実施し、混雑状況と旅客が感じる歩きやすさや歩行速度の関係を把握しました。これらの結果をもとに駅構内における歩きやすさの評価式を作成しました。これにより、旅客にとって、より歩きやすく移動負担の少ない駅の施設計画が可能になります(図7)。

この旅客流動シミュレーションのノウハウを活用し、異常時の避難シミュレーションの開発に取り組みました。避難時の基本的な行動特性を把握するために、駅シミュレータを活用して一連の実験を実施しました。例えば、停電を模した暗闇状態で光や音声、人による誘導の有無により、旅客の避難行動がどのように変化するかを把握しました。この結果を、実績の豊富な旅客流動シミュレーションに組み込むことで、避難シミュレーションのプロトタイプを開発しました。

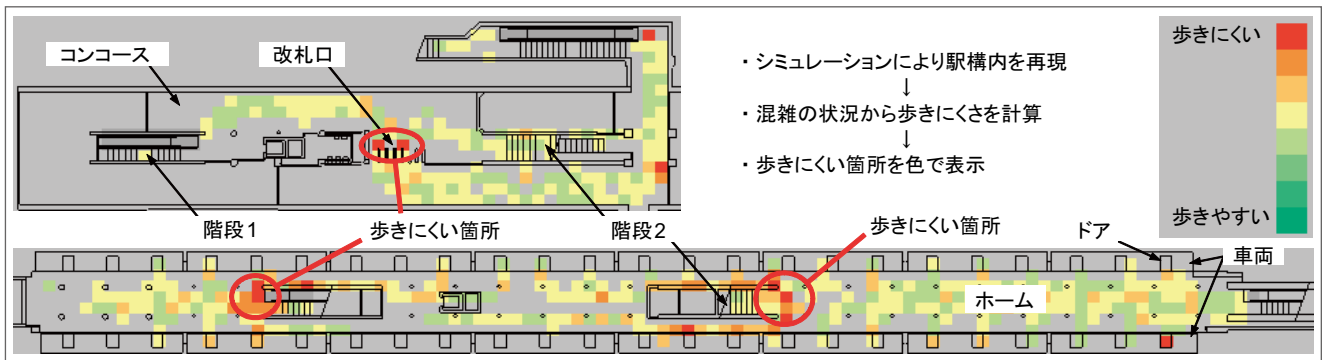


図7 旅客流動評価シミュレーション結果の表示例

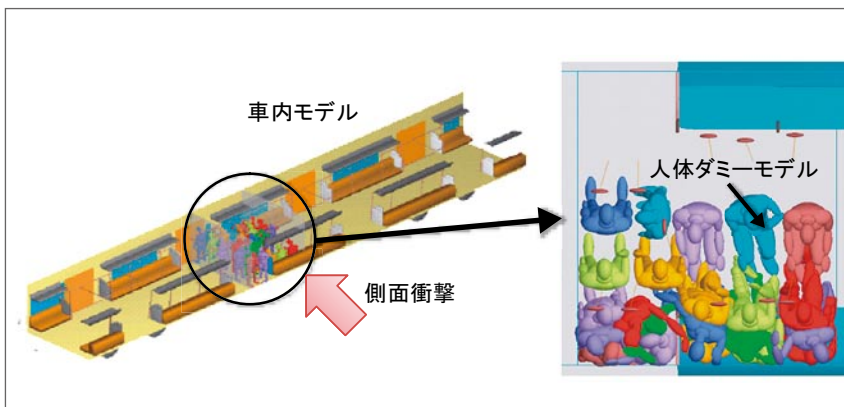


図8 側面から衝撃を受けた際の乗客挙動シミュレーション例

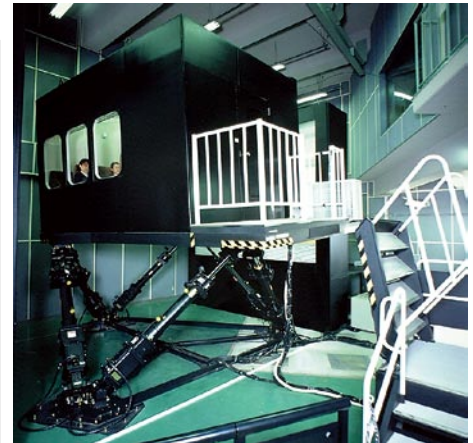


図9 車内快適性シミュレータの外観

衝撃時の身体挙動シミュレーション

踏切事故などで通勤列車が衝突した際の車内の乗客挙動を解析し、乗客の被害の程度を推定できる数値シミュレーション方法を開発しました。通勤車両を剛体近似したモデルの中に、乗客を模擬した人体ダミーモデルを配置したもので、衝突時の衝撃を入力することで、衝突時の乗客の動きと被害程度を推定できます(図8)。これにより傷害を引き起こす車内の原因の特定できるとともに、シミュレーションでその対策を講じた場合の乗客の動きと被害の程度を予測することができ、被害対策の検討に活かせます。

鉄道利用者の快適性向上

車内快適性シミュレータの活用

これは、列車内における快適性(乗り心地)の評価指標の開発を目指して製作した装置であり、客室内の振動、騒音、車窓風景などを実験室内で模擬できます(図9)。これを用いた実験により、通勤車両内の縦手すりが乗客の姿勢保持に有効となる距離と位置の範囲を把握しました。この結果をもとに2次元の図面上で車両内の支持具の充足度を判断できる評価モジュールを試作しました。

駅空間の快適性評価

近年、駅は単なる移動・通過の場から、コミュニティの

中核、情報発信の拠点、新たなショッピングゾーンなど多様な価値を生み始めています。このため、駅空間をさらに快適で過ごしやすい場としていくための研究開発も必要です。ここでは、サービスや接客などの要因は含めず、音、光、温熱、臭いなどの物理量に限定して駅空間の快適性に及ぼす影響を定量化するための検討を行いました。実駅や駅シミュレータを用いた評価実験の結果に基づき、音環境や臭気成分の分析手法、温熱環境の改善手法などを提案しました。例えば、駅の温熱環境シミュレーションの機能向上を進め、駅コンコースの温熱環境計算結果からPMV分布を面的に表現できるようにしました。なお、PMVとはISOの定める温熱指標で、環境側4要因(気温、放射温度、気流、湿度)などから算出します。

おわりに

本稿では、これまでに取り組んできたヒューマンシミュレーション技術を概観しましたが、すでに実用化フェーズにあるものも、今後さらなる改良・発展が必要なものもあります。鉄道に関わる様々な技術分野の力を結集して、引き続き実用的なヒューマンシミュレーション技法の開発・整備に努めたいと考えています。なお、本研究の一部は、国土交通省補助金を受けて実施しました。[RRR]