

## 運転士のワークロード予測手法の妥当性向上

澤 貢\* 佐藤 清\* 水上 直樹\* 鈴木 綾子\*

### Validity Improvement of the Prediction Method of Workload Evaluation for Train Drivers

Mitsugu SAWA Kiyoshi SATOU Naoki MIZUKAMI Ayako SUZUKI

In 1998, JR developed scales to evaluate train drivers' workload considering off-duty hours. The developed scales are based on "Ohshima's Table of Workload and of Sleep Effect" as well as weighted by empirically estimated effects of duty types and rest conditions. The authors carried out a study to improve the validity and expand the functions of the foregoing scales. The studies consist of analyses of data collected by the train driving simulator experiment and the results of field investigation. Based on the results analyzed, new scales were developed that reflected the weight coefficient of item of the train type and train schedule condition, the criteria for the workload scores and new method of calculating rest effect scores.

キーワード：安全，運転士，ワークロード，シミュレーション，列車運転シミュレータ

#### 1. はじめに

運転士の勤務を割り付ける乗務員運用は、列車運行に合わせて決められるため、不規則、不定型なものとなる。このため、今日の多くの鉄道会社では、勤務時間、深夜勤務、1日の乗務時間、1継続乗務時間等の制約（運転士の乗務割交番作成に伴う勤務の基準）を設け、運転士のワークロード（作業負担）に対する配慮がなされている。基準が制定された意味では、一定の結論が得られていることになる。しかし、これらの基準は経験の積み重ねの中で方向付けられたものが多く、その根拠が十分とはいえない。これらの基準のもとで、運用効率が高く、ワークロードに配慮した乗務員運用が作成されることになるが、担当者の経験によるところが大きい。

そこで、本研究では、運転士のワークロード管理を支援するツールとして開発された「ワークロード評価スケール」<sup>1), 2)</sup>の精度向上と機能拡充を図ることを目的とし、乗務員運用の作成に利用されるツールを提案する。

#### 2. ワークロードの予測手法

これまでに、乗務員運用の作成にあたって、運転士の勤務条件の影響を定量的に評価する手法の開発が試みられてきた。その一つに、橋本<sup>3)</sup>は、乗務による疲労の限界の管理を目的とした継続乗務の距離（L）と時間（T）を概算する「LT値」を作成した。疲労は運転速度のa乗（ $0 < a < 1$ ）に比例すると仮定し、継続乗務の距離と時

間との積を一定の範囲に収めようとしたものである。「LT値」は簡便な手法として関係者に注目されたが、その後の施設設備の充実等によって、運転の環境が整ってきたこともあり、実用化には至らなかった。

日本産業衛生学会産業疲労研究会<sup>4)</sup>は、人間の標準的な24時間の生理的リズムを基礎とした「勤務負荷評点表」と「睡眠効果評点表」を提案している。「勤務負荷評点表」では、昼間の9時から17時までの8時間勤務による評点を100点、夜間の22時からの8時間勤務が昼間の3分の1増の133点となるように、他のすべての始業時刻と拘束勤務時間の組合せにおける評点を1時間単位で表示している。「睡眠効果評点表」は「勤務負荷評点表」と対をなすものとして作成されており、昼間の8時間勤務による影響は夜間の8時間睡眠で相殺されるという考え方に基づいたものである。23時から8時間の睡眠をとった場合の評点を100点としている。

盛岡<sup>5)</sup>は、勤務と勤務の間隔時間である在宅休養時間から算出される「休養効果評点表」を提案している。これは、「勤務負荷評点表」と「睡眠効果評点表」の考え方と同じで、勤務の終業時刻と在宅休養時間の組み合わせにおいて、夜間を主体とする16時間の在宅休養時間を100点、昼間を主体とする同じ16時間を4分の3の75点となるように作成したものである。

「勤務負荷評点表」、「睡眠効果評点表」および「休養効果評点表」は、勤務の内容を考慮していないし、睡眠効果および休養効果についても平均的な状態のものしか考慮していない。言い換えれば、実生活者の工夫、努力というような真の実態が反映されていないということである。これらの評点表は上記の欠点もあるが、勤務および

\* 人間科学研究部（人間工学）

特集：ヒューマンファクター

睡眠や休養の効果を数量的に扱っている利点があるため、運転士の勤務条件の影響を定量的に評価する手法の基礎になると考えられる。

最近の試みとしては、交番中の運転士のワークロードを予測する「ワークロード評価スケール」を開発したものが<sup>1), 2)</sup>。これは、「勤務負荷評点表」と「睡眠効果評点表」をもとに、運転士の作業種別（本線運転、便乗、入換等）、運転士の作業の中心となる本線運転のワークロードの補正要因（乗務車種、乗務範囲等）および休憩条件（自区休憩、他区相部屋休養等）に応じた重みをかけて、任意の時点における疲労度をワークロードの累積値（以下、ワークロード得点とする）として評価するものである。この妥当性については、18日間の行路（勤務）を対象に、運転士36名が各勤務の4時点で評価した疲労感とワークロード得点との関係から検証された。2変数間の相関係数は $r = 0.60$ となり、概ね妥当性のあることが確認されている<sup>6)</sup>。一方、本スケールには次のような問題点もある。(1) 乗務員運用表からのデータの得やすさを考慮しているため、本線運転の補正要因が限られている。(2) 在宅時の休養効果得点は、在宅時間のすべてで睡眠をしたと仮定して算出されるため、実態からかけ離れた数値となっている。(3) ワークロード得点に判定基準が設けられていないため、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が難しい。

3. シミュレータ実験による要因の重み付け

運転士のワークロードに及ぼす要因を整理するために、特徴のある12運転区所、計37行路から収集された運転士の心拍数、脳機能の興奮性や緊張度を表すとされているフリッカー値および自覚症状しらべのデータを用い<sup>7)</sup>、いくつかの均質なグループに分類するクラスター分析を行った。その結果、「稠密線区」、「心身の機能低下が比較的小さい日勤とワンマン運転」、「一般線区と夜間運転作業」、「継続乗務時間の長い運転作業」と解釈される4つのクラスターが抽出された。すなわち、運転士のワークロードの規定要因として、乗務線区、運転形態に関する要因、乗務時間帯および継続時間の時間要因が重要であり、ワークロードはこれらの要因から補正されることが必要と考えられる。

本線運転のワークロードを乗務車種、乗務範囲、平均無停車時間等に応じて補正し、これに時間をかけてワークロード得点を算出する「ワークロード評価スケール」は、上記の要因が概ね包含されたものであると考えることができる。本研究では、「ワークロード評価スケール」の精度向上と機能拡充を目指し、“列車種別”、“踏切の有無”および運転余裕時間、回復運転の有無にかかわる“ダイヤ設定条件”の要因を同スケールに追加し、列車運転

シミュレータを用いた実験により、これらの要因についての重み付けを試みる。

本実験で使用する列車運転シミュレータは、A鉄道会社の線区の中から16.7kmの10駅区間の上下線を模擬したものである<sup>8)</sup>。本シミュレータの構成は、(1) 簡易運転台を格納する運転室、(2) コンピュータグラフィックスで作成した路線画像をリアルタイムで90インチのスクリーンに投影するための模擬視界発生ユニット、(3) シナリオ制御および作業者の運転操作履歴の記録を行う制御・記録ユニットからなる。

3.1 列車種別に関する実験

列車種別に関する実験では、実験条件としてA駅を基点とし、B駅、C駅、D駅、E駅を順に各駅停車で運転する各停型条件、A駅・E駅間をノンストップで運転する通過型条件の2条件を設定した。

A駅からE駅間(9.3km)の運転を1系列と数える。1系列に要する時間は、各駅の停車時間を20秒に設定したことにより、各停型条件は10分15秒、通過型条件は7分30秒となった。また、各停型条件は6系列、通過型条件は8系列から構成し、各条件の実験に要する時間がほぼ同じになるようにした。実験課題は、通常の列車運転とほぼ同様に、信号に従い停止位置標に車両を正確に止めること、各駅間に与えられた運転時間で列車を運転すること、信号に係る誤確認等を防止するために指定した確認位置で喚呼を行うことにした。

被験者は男子8名(22.9 ± 3.0歳)、いずれも列車運転未経験者である。実際の運転士と運転未経験者において、ワークロードの絶対評価は異なるが、実験条件間の相対評価では運転経験等による差はほとんどないと考えられる。被験者には報酬を与え、実験の目的、内容等を十分に説明した上で実験参加の同意を得た。すべての被験者は、鉄道システムの基礎、作業内容と手順、定時運転の“コツ”等についての座学での学習と3日間の実技訓練を経て、本実験に入った。これまでに、本シミュレータ上での作業者の習熟過程を検討し、10駅間4系列の運転作業を3～6回行うことにより、運転時間、停止位置に関する作業精度が上がり、生理的にみても低ストレス化が示されている。本実験では、6系列の各停型条件の運転作業を行った後、被験者による順序効果が相殺されるように決定された試行順序で、2条件を1人2回ずつ行った。

測定項目として、睡眠時間、体調等に関するフェースシート、実験開始前のA駅出発前と実験終了後のE駅到着後および中間系列(各停型:3系列、通過型:4系列)の終了後において、運転負担調査票<sup>9)</sup>をもとに作成した眠気、疲労、緊張、単調、達成感の5要因からなる10項目の調査票への記入、その補強材料としてフリッカー値

測定を行った。また、実験前後の2分間の閉眼安静時と運転時の心電図を連続記録した。さらには、すべての実験終了後に各停型条件における総合的なワークロードを100点とした時の通過型条件についての主観評定を求め、この値を重み係数として反映させることにした。

### 3.2 踏切の有無に関する実験

踏切の有無に関する実験の条件および手続きは次の通りである。実験条件として、踏切あり条件と踏切なし条件の2条件を設定し、A駅からE駅間を各駅に停車する6系列(65分10秒)の模擬運転作業を被験者に要請した。被験者は、列車の運転未経験者男子8名(22.4 ± 0.9歳)である。すべての被験者は、3日間の座学および実技訓練を経て、本実験に入った。本実験では、1系列の踏切あり条件の運転作業を行った後、被験者による順序効果を考慮して2条件を1人1回ずつ行った。

踏切あり条件は、特殊信号発光機の点灯または車のとりこ場面があり、発見後は直ちに警笛を鳴らし、車を踏切外に退避させる作業が要請される。踏切なし条件は、踏切およびその付帯設備が削除された路線の運転である。なお、踏切あり条件では実技訓練において、特殊信号発光機の点灯または車のとりこ場面をランダムな箇所にて1系列当たり0.6回設定した。本実験の踏切あり条件では、実験開始に先立ち上記の作業を要請したが、実際は注意を向けさせるだけで、特殊信号発光機の点灯または車のとりこ場面を一度も発生させなかった。

測定項目および手順は、3.1節の列車種別に関する実験に準拠している。

### 3.3 ダイヤ設定条件に関する実験

ダイヤ設定条件に関する実験の条件および手続きは次の通りである。実験条件として、前半の4系列は通常運転条件、後半の2系列は運転時間の短縮に努める回復運転条件の2条件を設定し、A駅から第10番目の駅であるJ駅までを各駅に停車する6系列の模擬運転作業を被験者に要請した。被験者への負担度を考慮して、2つの条件の実験の間には15~30分の休憩時間を設けた。なお、回復運転条件では、1回目は「出来るだけ短い運転時間で運転すること」、2回目は「もっと短い時間で運転すること」を被験者に指示した。

被験者は、列車運転シミュレータの模擬路線を日常運転している運転士10名(平均年齢:38.2 ± 1.3歳, 運転経験年数:17 ± 1.5年)とし、実験概要と手続きの説明を受けた後、各種測定に入った。睡眠時間、体調等に関するフェースシートへの記入後、心電図用の電極とアイカメラ(EMR-8)を装着し、3分間の閉眼安静を要請した。各系列の終了駅であるJ駅では、眠気・疲労、努力、飽き・集中困難の3要因で構成される運転負担調査票に

時間的切迫感の要因を加えた4要因8項目の調査票への記入を求めた。

## 4. 結果および考察

### 4.1 条件の差異に伴うワークロードの重み付け

#### 4.1.1 列車種別

各停型条件における総合的ワークロードを100点とした時の通過型条件の場合は83点と評定された。本線運転のワークロードを補正する列車種別の重み係数として、各駅停車型列車:1.00, 通過型列車:0.83を与えることを提案する。一方、運転士の指導的立場にある運転関係者によると、通過型列車の運転が多い区所の運転士は各駅停車型列車の方が緊張しやすく、逆に各駅停車型列車の運転が多い区所の運転士では通過型列車の方が緊張しやすいことを指摘している。つまり、日常運転している列車が各停型か通過型かによって、当該列車に伴う緊張度が変わってくるということである。列車種別に偏りがある場合は、この点に考慮してワークロード得点を解釈する必要がある。

次に、総合的ワークロード(重み係数)が測定しているものを明らかにするために、各種の測定指標を用いて、各停型条件と通過型条件における心身反応を示したものが図1である。対安静心拍数に示される緊張度と主観評価の緊張感、各停型条件よりも通過型条件の方が低く、総合的ワークロードの結果と対応関係が示された。総合的ワークロードが「作業のきつさ」といった緊張の程度を反映したものであると推測される。また、作業負荷(刺激)の大きさを横軸に作業負担(ワークロード)を縦軸にとると、負荷が大きいほど負担が増加し、逆に負荷が小さすぎても退屈で眠くなり、負担が増加するU字型曲線を示すのが一般的である。今回の眠気と単調感において、各停型条件よりも通過型条件の方が高いという関係が総合的ワークロードに反映されなかった理由は、過小負荷の影響を評価していないことが考えられる。

疲労感については次のことが考えられる。疲労感とは

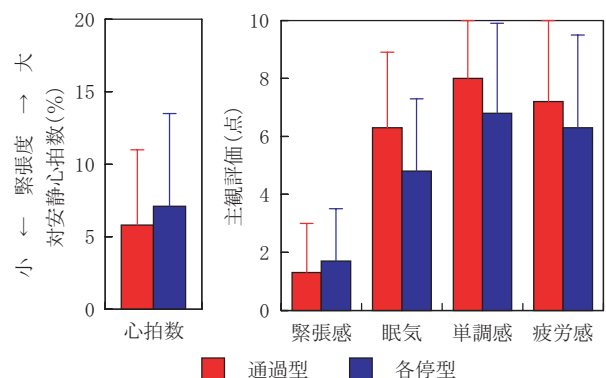


図1 列車種別と心拍数および各症状の主観評価

特集：ヒューマンファクター

大負荷の影響として休息を求める。これに対し、単調感  
は過小負荷の影響として状況、場面等の変化を求める。  
このように、単調感と疲労感とを区別できるが、両者  
ともに眠気を伴う特性がある。今回の実験では、単調感  
が他の主観評価項目と比べて高くなっていること、単調  
感、眠気および疲労感の3つの評価項目が同じ傾向を示  
していることから、作業の単調性によって生じた眠気を  
疲労感として評価したのではないかと推測される。

4.1.2 踏切の有無

踏切の有無に伴う運転時の主観評価の結果は以下の通  
りである。

緊張感の得点は踏切の有無による違いが表れなかつた  
が、単調感および眠気については踏切あり条件よりも踏  
切なし条件の方が高い傾向が示された。緊張感の結果に  
条件差が表れなかつた理由として次のことが考えられ  
る。一つに、踏切あり条件、踏切なし条件ともに、単調  
感の得点が他の評価項目と比べて高くなっていたことか  
ら、本実験は作業の単調性が強いものであったと考えら  
れる。踏切あり条件において、車と衝突した場合のその  
後の運転の心理的な影響を考慮して、特殊信号発光機  
の点灯または車のとりこ場面を一度も発生させなかつた  
ことが関係している可能性がある。第二の理由として、運  
転士が行う情報獲得行動はほぼ視覚に頼ることになる  
が、踏切およびその付帯設備が削除された踏切なし条件  
では、走行位置を把握するための目安が減ることになり  
、逆に緊張感を高めた可能性が考えられる。

これまでの現地調査の結果から、踏切が運転士の警戒  
や不安を強めていることは明らかである<sup>10)</sup>。踏切の有無  
に応じたワークロードの重み付けは今後に残された。今  
後は、実際の運転士による主観評価調査等を行い、「ワー  
クロード評価スケール」の完成を図る必要がある。

4.1.3 ダイヤ設定条件

通常運転条件、回復運転条件に伴う運転時の対安静心  
拍数を運転余裕時間別に示したものが図2である。運転  
余裕時間は、各駅間の標準運転時間と実際の運転時間と  
の関係から、運転の遅れ時間が10秒以上となった駅間を  
小、10秒以下となった駅間を大として区別した。結果と  
して、運転余裕時間の小は2駅間のデータ、運転余裕時  
間の大は7駅間のデータを解析対象とした。また、被験  
者は列車運転シミュレータの模擬路線を日常運転してい  
る運転士であるが、本シミュレータにおける運転は初め  
てであること、通常運転条件の実験時間は回復運転条件  
よりも長いことから、これらの影響を出来る限り取り除  
く必要がある。そこで、回復運転条件の比較対象として、  
通常運転条件の2系列と3系列のデータを用いることに  
した。

図2を見ると、通常運転条件、回復運転条件ともに、運  
転余裕時間の大小によって対安静心拍数に示される緊張

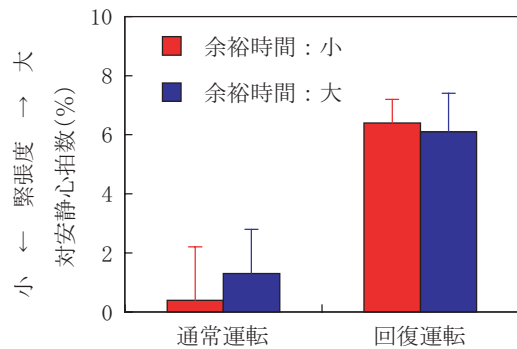


図2 ダイヤ設定条件と心拍数の関係

度に違いが見られなかつた。この結果から、本線運転の  
補正要因として、運転余裕時間を追加する必要はないと  
考えられる。一方、回復運転条件における対安静心拍数  
は通常運転条件と比べて、運転余裕時間の小で4.8%、運  
転余裕時間の小で6.0%高くなっていた。図3の主観評価  
の結果からも、回復運転条件は通常運転条件に比べて、時  
間的切迫感、努力の得点が高く、逆に飽き・集中困難、眠  
気・疲労の得点が低く、図2を補強する結果が示された。

そこで、回復運転を本線運転の補正要因に組み入れる  
ことを試みる。なお、ここでは総合的ワークロードを測  
定していないため、これを反映していると考えられる緊張  
度の評価項目を用いて検討する。具体的には、4.1.1項  
の列車種別の実験による総合的ワークロードと対安静心  
拍数との関係をもとに、回復運転における総合的ワーク  
ロードの値を推定する。4.1.1項と4.1.3項の2つの異  
なる実験の対安静心拍数データを標準化し、通常運転の総  
合的ワークロードを100点とした時の回復運転の得点を  
求めると、130点となった。回復運転の重み係数として、  
1.30を与えることを提案する。

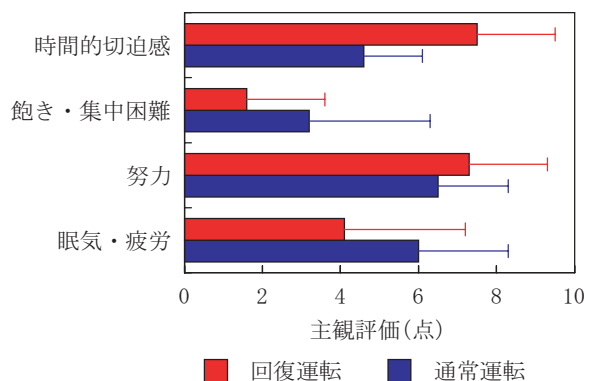


図3 ダイヤ設定条件と各症状の主観評価の関係

4.2 休養効果得点の算出方法の見直し

「ワークロード評価スケール」では、通勤および身支度  
時間を除く在宅休養時間のすべての時間を睡眠として、  
休養効果得点が算出される。労働科学研究所 (1982年)

の資料<sup>11)</sup>によると、運転士等の交代勤務者における就床時刻別の平均睡眠時間は、22時から1時台に就床した時は8時間程度、明け方から午前中にかけては4～6時間、午後から夕方にかけては2～3時間であり、睡眠の長さは時刻の影響を受けていることが示されている。近年、日本人の睡眠時間は短縮化の傾向にあるが、睡眠の長さや時刻の関係については当時と大きく変わっていないと考えられる。そこで、上記の知見をもとに、通勤および身支度時間を除く在宅休養時間を睡眠が可能な時間とそれ以外の時間を休養時間と区分し、休養効果得点を算出する新たな方法を提案する。

その妥当性については、現地調査から得られた運転士のフリッカー値と、新旧方式により算出されたワークロード得点との2変数間の相関係数を比較することにより調べる。解析対象は、特徴のある5つの運転区所、計15行路のデータを用いた。このうち、新旧方式によりワークロード得点が異なる3つの運転区所のデータを分析したところ、表1の結果が得られた。A区所とC区所のデータでは、新方式の採用により相関係数が高くなった。B区所については、もともと2変数間に相関がなかったことが原因と考えられる。以上のことから、新方式が概ね妥当であると考えられる。今後、解析対象を増やし、更なる妥当性の検証が必要である。

表1 新旧方式による相関係数の比較

	旧方式	新方式	N数
A区所	0.53	0.61	40
B区所	0.42	0.28	17
C区所	0.69	0.75	15

4.3 ワークロード得点についての判定基準の作成

大島<sup>2)</sup>はフリッカー値の低下率の判定基準を設けている。エネルギー代謝が大きい肉体労働と精神労働は、「人間にとって好ましい限界」を作業前値から-5%以内、「可能限界」を作業前値から-10%以内とされている。これをもとに、ワークロード得点についての判定基準の作成を試みる。

5運転区所15行路から得られた運転士のフリッカー値とワークロード得点との2変数の関係を示したものが図4である。いずれの運転区所のデータもフリッカー値が低下するほどワークロード得点が高く、B区所の「▲」記号のデータを除き負の相関（有意水準5%）が認められた。そこで、5つの運転区所のデータを一つの群とみなし、すべてのデータを用いて(1)式を作成した。

$$\text{フリッカー値} = 1.636 - 0.059 \text{ ワークロード得点} \quad (1)$$

(1)式より、フリッカー値の-5%と-10%に対応する

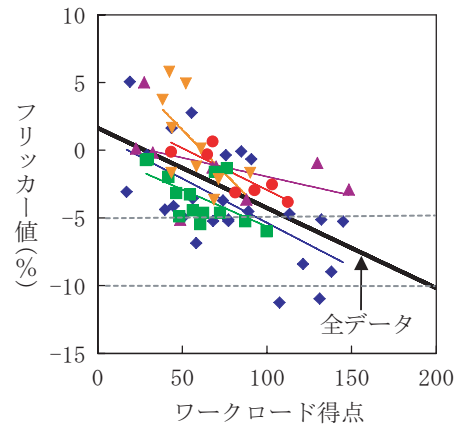


図4 フリッカー値とワークロード得点の関係

ワークロード得点を求めた結果が表2である。この得点を判定基準として提案する。なお、今回の解析対象において、「要注意」領域となる200点以上のデータを扱っていないため、200点以上のワークロード得点はあくまで外挿となる。「要注意」領域の得点についての妥当性の検証が必要である。

そこで、仮想ではあるが、ワークロード得点が200点以上となる模擬行路を作成し、運転士の乗務割交番作成に伴う勤務の基準との関係を調べてみた。3夜続けて、21:00～00:00の時間帯にEC各停型列車、05:00～07:30の時間帯にEL旅客列車に乗務する模擬行路のワークロード得点を求めたところ、3夜目の前半乗務の終了時に186点、後半乗務で「要注意」領域に入り、終了時は215点となった。多くの鉄道会社では深夜帯の乗務を2時間以上含む行路は、連続2夜を限度としている。これを概ね支持する結果が、「ワークロード評価スケール」から得られたことは興味深い。

表2 提案するワークロード得点の判定基準

フリッカー値	ワークロード得点の判定基準	
-5%～-10%	境界範囲	110点～200点
-10%以下	要注意	200点以上

4.4 「新ワークロード評価スケール」の作成

以上の結果をもとに、列車種別とダイヤ設定条件の要因についての重み係数、休養効果得点の新たな算出方法およびワークロード得点の判定基準を反映させた図5の「新ワークロード評価スケール」を作成した。このソフトでは、作業種別、休憩条件、本線運転の補正要因および各々の開始・終了時刻を入力することにより、運転士のワークロード得点が計算され、その結果が表示されるようになっている。また、「通常範囲」、「境界範囲」、「要注意」の3領域に区分した表示と、実作業、勤務中の休憩

特集：ヒューマンファクター

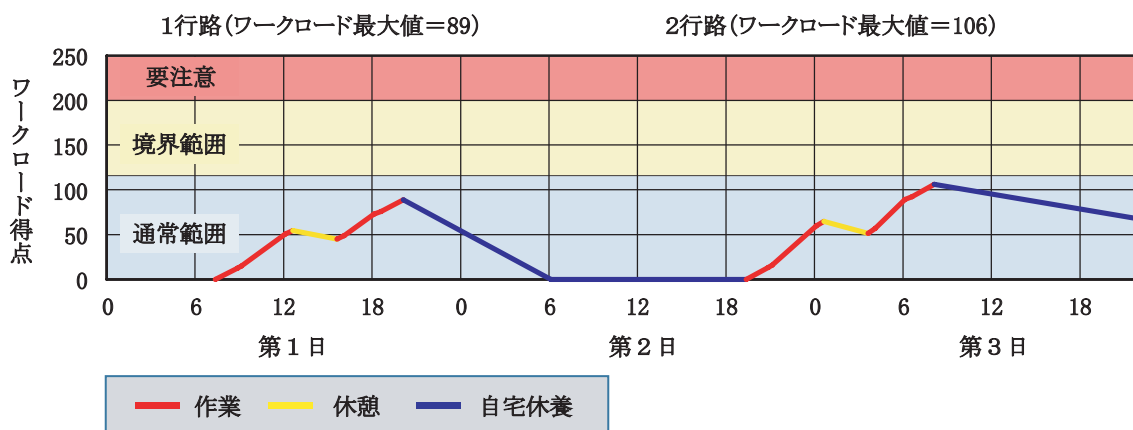


図5 模擬行路によるワークロードの表示例（イメージ）

および自宅休養の3項目に分類したワークロード得点の表示の採用により、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が容易にできる特徴も有している。

5. まとめと今後の課題

本研究では、池田<sup>3), 4)</sup>の「ワークロード評価スケール」に列車種別とダイヤ設定条件の要因の重み係数、休養効果得点の新たな算出方法およびワークロード得点の判定基準を追加し、運転士のワークロード評価の精度向上とシミュレーション機能を拡充した「新ワークロード評価スケール」を開発した。新たに追加した補正要因およびワークロード得点の「要注意」領域の妥当性は今後に残されたが、「新ワークロード評価スケール」は人間科学的に優れた乗務員運用を作成するための支援ツールとして役立つものと考えている。

今後の課題は、実用化に向けて「DRACON」<sup>12)</sup>等に本研究結果を組み込むことにより、運用担当者等が手軽に利用できるツールの提案を目指すことが必要である。さらには、本線運転のワークロードとして、「作業のきつさ」といった過重負荷の影響のみならず、単調感等の過小負荷の影響を考慮したツールの開発、ならびに運転士が乗務するタイプのATO運転、地下鉄運転等の作業に対応し得るツールを開発することである。

6. おわりに

運転士のワークロードは、実作業だけではなく年齢、作業意欲、工夫等により大きく異なるのが普通である。真の実態を把握するための現地調査は重要である。「新ワークロード評価スケール」の効用と限界を理解したうえで、本ソフトを活用して頂ければ幸いである。

最後に、本ソフトを作成するにあたり、多くの指導を

頂いた㈱テス小堀雄三氏に感謝の意を表する。

文献

- 1) 池田敏久：動力者乗務員の「ワークロード評価スケール」の開発 (1)、鉄道総研報告, Vol.2, No.3, pp.17-24, 1988
- 2) 池田敏久：動力者乗務員の「ワークロード評価スケール」の開発 (2)－貨物列車運転士のワークロードの規定要因の定量化－, 鉄道総研報告, Vol.7, No.1, pp.9-15, 1993
- 3) 動力車乗務員の運転条件と作業負担に関する研究報告書：日本鉄道運転協会, 1977
- 4) 大島正光：疲労の研究, 同文書院, 1979
- 5) 動力車乗務員の乗務行路作成に関する研究報告書：日本鉄道運転協会, 1982
- 6) 米山信三, 田村敏昭：運転士の主観的評価法による勤務負荷評点法の妥当性の検討, 総研報告, Vol.5, No.3, pp.43-48, 1991
- 7) 鉄道総合技術研究所：乗務労働に関する労働科学的研究－各種線区における列車運転が運転士に及ぼす生理的影響度調査－, 1995
- 8) 深沢伸幸, 倉又哲夫, 佐藤清, 澤貢, 水上直樹, 赤塚肇：列車運転シミュレータ上で発生するヒューマンエラー, 鉄道総研報告, Vol.17, No.1, pp.15-18, 2003
- 9) 澤貢, 宇賀神博, 大久保堯夫, 芳賀繁：作業負担に及ぼす作業時間効果の測定のための実用的調査指標の開発, 日本経営工学会論文誌, Vol.52, No.4, pp.202-210, 2001
- 10) 池田守利, 佐藤清, 猪俣理：運転速度の違いによる電車運転士の作業負担について, 交通医学, Vol.44, No.1,2, pp.1-7, 1990
- 11) 小木和孝編：労働 負担の調査.労働科学叢書72, 労働科学研究所, 1984
- 12) 久保隆司：パソコンを活用した乗務員運用作成ツール DRACONの開発, RRR, pp.25-30, 1991