

【研究ノート】GoA2.5 の運転作業の特徴抽出

—GoA1 と GoA2.5 との比較を中心として—

赤塚 肇

日本大学大学院総合社会情報研究科後期課程修了 / (公財) 鉄道総合技術研究所

Identifying the characteristics of driving a GoA2.5 train

—Comparisons between GoA1 and GoA2.5—

AKATSUKA Hajime

Ph.D., Graduate School of Social and Cultural Studies, Nihon University / Railway Technical Res. Inst.

Railway companies are affected by the population decline in Japan. As a result, employing train drivers and other railway staff is challenging, and staff shortages are a severe problem. Because of these circumstances, driverless, automatic trains have been focused on as one solution to improve efficiency and save human resources in train operations. The automation grade of train operations is referred to as “GoA,” and it is categorized as GoA0 (On-sight Train Operation) to GoA4 (Unattended Train Operation). Moreover, GoA2 (Semi-automated Train Operation) and above are classified as automatic operations. In GoA2, there are almost no obstacles on the track or railway premises except in emergencies, whereas GoA2.5 has interfaces with other transportation modes (e.g., railway crossings). It is similar to GoA1 (Non-automated Train Operation). GoA2.5, in which the train crew must monitor the train’s path (a GoA2.5 train crew), is considered as vigilance tasks rather than driving tasks in terms of labor science. This study aimed to identify features of GoA2.5 tasks to develop survey items for assessing GoA2.5 train crews’ work status.

1. はじめに

「鉄道における自動運転技術検討会」の第1回検討会資料(国土交通省, 2018)に従えば, 鉄道分野も人口減少の影響を受け, 運転士をはじめとした係員の確保および養成に困難を生じつつある。係員の不足が深刻な問題として捉えられているなか, 業務の効率化・省力化の一環として運転士が乗務しない形態での列車, すなわち, 列車自動運転の導入が対策の一つとしてクローズアップされている。詳しくは後述するが, 列車自動運転は自動化のレベル(Grade of Automation: GoA)に応じ, GoA0 から GoA4 までの5段階で整理されている。

ところで, 「鉄道における自動運転技術検討会」(国土交通省, 2020a)で検討の対象となった自動運転レ

ベルは, GoA2 と GoA3 との間の自動化レベルであり GoA2.5 と呼称されるレベルであることに注意が必要である。GoA2.5 の適用が想定されている鉄道(あるいは路線)はいわゆる「ローカル線」であり, 自動列車制御装置(Automatic Train Control: ATC)といった保安装置は導入されていない。また, 都市鉄道のように, 鉄道用地は完全に外部とは切り離されていない。そのような路線への GoA2.5 導入について留意すべき事柄は, 「当該のレベルで運転される列車の前頭部に乗務する係員(以下, GoA2.5 係員という)の役割」である。異常時に非常停止手配などを行うことは与件としても, GoA2.5 係員は, 平常時にどのような役割を果たすか, 換言すれば, どのような作業を行うかについて, GoA2.5 係員の作業において特徴

的な事柄の抽出が本稿の目的である。このために、GoA1とGoA2.5の作業の特徴を比較する。また、そこで明らかにされた事柄について、GoA2.5係員の作業状態をアンケートなどで把握しうるように、質問項目の素案作成を試みる。

2. 列車運転の自動化レベル

前章で述べたところであるが、日本工業規格(2012)によれば、列車の自動運転レベルは、表1のとおりとなっている。そして、GoA2以上が自動運転の範ちゅうとなっている。

表1 GoA レベル (国土交通省, 2020a, p. 3, 図から作成)

自動化レベル	乗務形態	日本国内導入状況
GoA0 目視運転	運転士および車掌	路面電車
GoA1 非自動運転	運転士および車掌	一般的な鉄道
GoA2 半自動運転	運転士	一部の地下鉄など
GoA3 添乗員付自動運転	列車に乗務する係員	一部のモノレール
GoA4 自動運転	係員の乗務なし	一部の新交通など

表2 GoA2.5の特徴 (国土交通省, 2020a, p. 3, 図から作成)

自動化レベル	乗務形態	日本国内導入状況
GoA2.5 緊急停止操作等を行う係員付自動運転	先頭車両の運転台に乗務する係員	なし

以下もすでに触れたところであるが、GoA2.5は、GoA2とGoA3の中間に位置づけられるものであり、先頭車両の運転台に係員が乗務するという形態のものである(表2)。ただし、「係員」としか述べられておらず、必ずしも動力車操縦者免許を保有している

者、一般的な職名でいうところの「運転士」とは限定されていない点に注意が必要である。

3. 列車運転作業の特徴

3.1 運転にかかわる機能の分類

楠神(1994)によれば、列車運転はいくつかの機能からなり、それは表3のように分類される。

表3 運転にかかわる機能の分類 (楠神, 1994, p. 403, 表3を一部改変)

運転に関わる機能	内容
① 運行にかかわる機能	・発車・到着制御, 速度制御など, ダイヤや信号などに従った列車の運行にかかわる機能
② 監視にかかわる機能	・旅客, 公衆, 障害物, 施設状態など, 車両外の監視にかかわる機能 ・車両状態の監視にかかわる機能
③ 異常時の対応機能	・緊急に列車を停止させる機能 ・列車停止後の処置対応機能 ・その他
④ 接客にかかわる機能	・旅客案内や車内改札など, 接客にかかわる機能

表3は、表1におけるGoA1を扱ったものであり、ごくありふれたスタイルの列車運転である。すなわち、運転士は、地上信号機あるいは車上信号機の現示を確認し、信号現示に定められた速度や、曲線や勾配など線形によって規定される速度に従って、主幹制御器やブレーキを手動で操作し列車を運転する。ここで、表3の「①運行にかかわる機能」について、若干の補足を加える。

列車は、あらかじめ設定されたダイヤグラム(時刻)にしたがって運転されるが、このことは安全確保に対してきわめて重要であるという(塩沢, 1996)。GoA1では、運転士は、定時運転のために、天候、乗車率、前方の閉そくをはじめとして、時々刻々と変化する状況にあわせた「列車操縦パターン」を主体的・自律的に考えるとともに、加減速制御や駅の所定位置への停止制御を行う。芳賀(2005)も、ワークロードの文脈ではあるが、運転士のタスクとして、列

車操縦、信号注視のほか、定時運転のための時間計算を挙げている。これらが、表3に示される「①運行にかかわる機能」の具体的内容である。つまり、GoA1では、平常時においては、運転士は地上信号機あるいは車上信号機の現示を確認し、表3に示される「②監視にかかわる機能」を含みつつも「①運行にかかわる機能」を主体とする作業を行うことになる。なお、「③異常時の対応機能」は、平常時の運転にかかわる機能ではないこと、さらに「④接客にかかわる機能」は、そもそも運転にかかわる機能ではないため、本稿では検討の対象としない。

一方、GoA2あるいはGoA2.5の自動運転では、「①運行にかかわる機能」は列車の加減速制御は、「自動列車運転装置(Automatic Train Operation: ATO)」が、駅の所定位置への停止制御は「定位置停止装置(Train Automatic Stop-position Controller: TASC)」が担う。「①運行にかかわる機能」は、基本的には、発車の際、車載あるいは車外モニタによる車側安全確認後に列車起動ボタンを押下することのみとなる。

3.2 列車運転における監視作業と注視作業

中西(2012)は、運転取扱いの観点から、本線を運転できる列車の条件について、「鉄道信号の現示に従い、かつ前途に注意しながら運転ができるように、編成の最前部に運転台のある車両を連結すること(p.46)」と述べているものの、単に「前途に注意しながら」としか記していない。列車運転にあたって、最前部で監視が行われるのか注視が行われるかについては触れられていないことから、まず、監視作業のありかたと、注視作業のありかたをまとめる。そして、注意という側面から相違点と共通点を整理し、列車運転に際しては、監視作業と注視作業のうち、どちらに焦点をあてるべきかについてまとめていく。

3.2.1 列車運転における監視作業

前節に示したとおり、楠神(1994)は、運転にかかわる機能について監視ということばを用いており、そこには、異常やその予兆の把握という意味も含まれている。また、遠藤(1984)は、業務が自動化の進展に伴って操作・監視から、監視・操作へ、さらに監視主体へ移行するものの一例としてパイロットやプラントオペレータのほか、列車運転士を取り上げている。

ところで、鉄道分野では、前方の障害物を検知するための情報処理システムの研究開発が盛んに行われているが、そこでは監視ということばが用いられている(例えば、鶴飼・那須・長峯, 2012; 中曽根・長峯・鶴飼・向嶋・出口・村瀬, 2017)。情報処理システムという観点から、監視ということばを定義するならば、検知、すなわち、顕在化した異常などの発生を覚知することと整理できよう。

ここで、監視に関連する重要な概念として注意を取り上げることができるが、ここで、注意を維持しつづける、あるいは持続させるという側面を強調している概念として、「ビジランス」を取り上げることができる(例えば、古屋・新谷・宮城, 2011)。これを作業、すなわち、合目的な行動の1つという側面から捉えるならば、通常は監視をしているのみで、反応すべき条件がそろった場合にのみ反応を行う要素があるものと整理されることになる(那倉・入倉, 2004, 2005; 福田・早見・志堂寺・松尾, 2007)。

さて、ビジランスは、実験場面においては、生起の予測が困難で、時間的にもまれにしか起こらない事象を検知する課題によって測定される(古屋他, 2011)。ここで、反応すべき条件を「異常」と仮定し、作業という側面からビジランスにアプローチするならば、突発的に生じた、あるいは顕在化した危険や望ましくない事態を、いち早く覚知することと整理される。列車運転における「監視」も、不意に生じた、あるいは顕在化した異常や危険の発生または、その予兆を迅速に覚知するというものであり、典型的なビジランス作業である。Spring, McIntosh, Capomecchia, & Baysari (2009)は、列車運転にかかわるビジランス課題の成績について、非常ブレーキがかけられた地点と、安全に重大な影響をおよぼす事象との離隔という指標で測定しているが、これに注目すれば、列車運転のビジランスは、線路の近傍において、予期せず生じた危険をいち早く知り、これに反応することと整理しうる。

3.2.2 列車運転における注視作業

列車運転について前方監視という用語は使用せず、前方注視という用語を使用しているものもある(例えば、芳賀, 2005; 飯山, 1974)。また、宇賀神(1993)は、作業負荷の文脈であるが運転士の注視行動とい

う語を用い、さらに、速度向上と行動の変化との関連性を論じるなかで、「速度が高くなるにつれて、注視の対象を頻繁に切り換えながら、かつ信号を待ち受け気味に凝視するようになる(p. 379)」と、注視のありかたについても述べている。

さて、宇賀神(1993)に見るように、列車運転の基本は信号の注視となるが、麻生・橋田・伊南(1976)は、さらに踏み込んだ見解を示している。すなわち、「自分の運転する線路上の全区間を、その見通し可能な範囲で常に前方を注視し、あらゆる障害に対処しなければならない(p. 224)」というものであり、前方注視を列車運転の原則の1つとして示している。ここで、「常に前方を注視し、あらゆる障害に対処」という点を、便宜的に「常に前方に注意をはらい、危険なことに対して、前もって対処する」と解釈するならば、注視は、危険の有無を積極的に見つけだしていくことを含むという、「検出」作業と整理できる。

ところで、鈴木・山内・松浦(2019)によれば、自動車運転は、他の車両の進路変更などの異常事象を発見するために、さまざまな注視対象を確認しているという。このような事態は、麻生他(1976)の指摘と合致するところである。鉄道での典型例を次に示す。塩沢(1996)に従えば、列車の進路は、信号をはじめ、施設の保全などによって、常に保証(クリア)されていることが大原則であるが、これ以外の重要な前提条件として、線路内立入の禁止が挙げられている。例えば、鉄道用地の境界付近に存在する公衆、あるいは踏切に接近中の自動車について、「相手が適切に法令などにしたがった行動をとると信頼できる」、つまり、公衆はみだりに鉄道用地内に立ち入らない(鉄道営業法の遵守)、自動車は踏切手前で一時停止・左右確認後に踏切内に進入する(道路交通法の遵守)と言い切ることができない。このため、線路前方や近傍に、連続的あるいは離散的に存在する、事故の可能性をもつ対象に注意を払う必要が生じる。

飯山(1974)は、前方注視について、信号機の注視に当てられてる以外の時間は、線路上の異常の予知と探索に充当されていると述べている。これに従えば、前方注視の本質は、予知と探索という積極的な情報収集行動であるといえよう。つまり、監視が予期せず顕在化した事象の素早い覚知に対して、注視は、

事故とのつながりを予期できるものを探すこと、いわゆるハザード知覚的なものと整理しうる。ごく簡単には予測的であるかいなかということである。

3.3 注意機能面から見た監視と注視の相違点など

監視と注視との関係を、検知と検出との関係になぞらえれば、監視は、顕在化あるいは顕在化しつつある異常や危険をいち早く覚知するという作業であり、注視は、危険源を積極的に見つけだしていくという作業と整理しうる。前者はパッシブな事態であり、後者はアクティブな事態である。

さて、先にビジランスという文脈で監視を論じ、これに関連する概念として注意をとりあげたが、篠原・山田・神田・臼井(2007)は、これまでに注意研究で検討されてきた注意機能について、6つの要素が抽出されると述べている(表4)。

表4 注意の諸機能

機能	内容
集中	1つの課題に注意を焦点化する
配分	複数の課題に注意を同時に向ける
抑制	不必要な情報が処理されることを抑える
切り替え	ある課題から別の課題へ注意対象を変更する
持続・維持	一定の注意を保つ
割り込み	ある課題を遂行しているときに、一時的に別の課題の処理を行う

注) 篠原他(2007)を参考に作成

また、Spring *et al.* (2009)を参考とすれば、ビジランスは持続的注意と言い換えることができる。これらに基づいて監視と注視を注意機能の側面から整理すれば、監視と注視は、注意の持続・維持を共通の機能とし、必ずしも排他的なものではないが、主たる機能と従たる機能に違いがある。すなわち、監視は「集中」が主たる機能、「配分」が従たる機能であり、これに対して、注視は「配分」が主たる機能となり、「集中」が従たる機能と整理される(表5)。

また、すでに述べたところと関係するが、列車運転における監視は、平常とは異なる状態が顕在化し

ている、または顕在化しつつあることを覚知した場合、それに注意を集中することとも整理しうる。

表 5 列車運転作業の監視と注視の共通点と相違点

用語	共通機能	特徴	主機能	従機能
監視	維持	パッシブ	集中	配分
注視	持続	アクティブ	配分	集中

一方、注視は、次々に出現しうる不安全行動をとる可能性や不安全状態に移行する可能性をもつ対象を探索するため、注意を配分することと整理できる。

さて、監視と注視について、列車運転作業にブレイクダウンするならば、それぞれ次のようにまとめられる。監視は、前途の進路上や線路の近傍で、現に異常や危険が発生していることを知らせる特別な信号を発する装置が、動作していることを覚知した場合には、速やかに非常停止手配などをとることが典型例となる。一方、列車運転作業における注視は、宇賀神(1993)が簡単に述べているが、運転全般に敷衍するならば、以下のようなになるだろう。すなわち、前途や線路近傍について、事故を発生させる可能性を持つ対象が存在するかどうか、周囲の状況に注意を配分し、もし、そのような対象を発見したならば、事故発生を想定して、その動向に注意を集中する。実際に、注意を向けている対象が鉄道用地内に接近・侵入してきた場合には、非常停止手配をとることになる。

表 6 に鉄道用地内外の注視対象と起こりうる事故の典型例を示した。表 6 に示した事故発生の可能性を持つ対象のなかで、特に上の 3 つは、次から次へと、現れては消え、消えては現れ、複数の対象が同時に現れたりもする。このような場合、注意の切り替えも求められる。

さて、本稿では、列車運転における監視作業と注視作業の特徴を整理してきた。その結果に基づき、前もって安全を確保するためには、飯山(1974)が述べるところの予知と探索、すなわち、何が起こるかを予測し、さまざまな対象に注意を配分し、積極的に

情報を取得することがまず必要と考えた。注視という作業がなければ監視もしえないとも捉えられるため、本稿では前方注視を扱うこととした。

表 6 鉄道用地内外の注視対象と事故の典型例

注視対象	事故につながりうる行動・状態 (例)	起こりうる事故
旅客	ホーム端の歩行 構内通路の直前横断	鉄道人身 障害
公衆	鉄道用地内への立ち入り 踏切での直前横断	鉄道人身 障害
自動車	踏切での直前横断 踏切での滞留 (トリコ)	踏切 障害
線路	線路上の障害物 (飛来物)	車両 物損
架線	架線への付着物 (飛来物)	車両 物損

4. GoA2.5 と注視作業

4.1 GoA2.5 における列車運転の特徴

楠神(1994)は、列車運転作業について「機能分類」を最上位とし、その下位分類および作業内容について詳細に記述している。

そこから GoA2 あるいは GoA2.5 導入において運転士にかえシステムが行うようになると考えられる列車運転作業を抽出した (付録 1)。

列車運転作業は 37 個挙げられていたが、そのうち 15 個 (約 40%) が運転士の操作から離れることがわかった。また、運転士の操作あるいは制御からシステムの制御に移行する機能の具体的内容は、いずれも運転士が主体的・積極的に行う列車運転作業であった。対象に注意を向けるという要素を主体とする作業が GoA2.5 係員に留保される。注視が GoA2.5 係員の作業において特徴な事柄となる。

4.2 GoA2.5 化の注視作業水準への影響

一般論として、人間はビジランス作業がきわめて不得手である。得手・不得手を論じるに際しては、ビジランス作業の良否を把握することも重要となってくるため、その操作的定義を行うこととした。ビ

ジランスが不得手な理由として、いくつかの説が提案されているが、さしあたり、ビジランスは、大脳を中心とする中枢神経系の機能状態と関連していると記述する立場をとり、ビジランス作業の良否は中枢神経系の機能状態の良否によって示されるとした。

また、ビジランス低下の具体的なメカニズムについては、刺激の欠如と感覚環境の単一性（単調さ）による動機づけの低下によって脳幹網様体の活動が抑制される結果、大脳皮質の活動が抑制され、大脳皮質の賦活レベルが低下するという覚醒理論（山田・臼井，2013）を援用することとした。

これらを踏まえたうえで、日本の鉄道を対象とした、あるいは、鉄道を含めてのビジランスを扱っている先行研究（例えば、遠藤，1984；芳賀，2005；楠神，1994）を参考として、GoA2.5レベルの自動化で問題となり得る「作業負荷の変化」、「作業負担の変化」、「中枢神経系の機能状態」、「前方注視水準」の4つをキーワードとして設定し、これらの関係性についての作業仮説的な概念モデルを設定した（図1）。

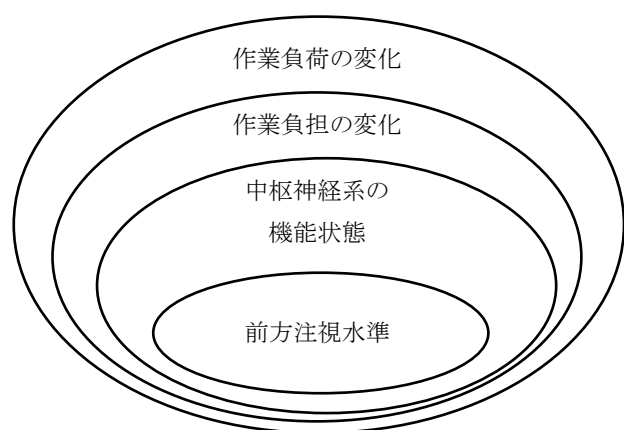


図1 「作業負荷の変化」、「作業負担の変化」、「中枢神経系の機能状態」、「前方注視水準」の関係性に係る作業仮説的な概念モデル

このモデルでは、「作業負荷の変化」が最も大きな外延となっており、以下、「作業負担の変化」、「中枢神経系の機能状態」、「前方注視水準」が下位の外延に付置けてられている。次節以降、これらの内容について、きわめて簡単にはあるが整理を試みる。

4.2.1 作業負荷の変化

作業負荷を扱う前に、作業がどのような概念であ

る整理する。作業とは行動様式のひとつであり、外界からの情報の受け入れ（情報入力系）→作業の決め事に適合した情報処理（情報変換・処理系）→操作・動作（出力系）という機能分担があり、この順序で処理が進められていく（遠藤，1984）。一方、「作業負荷」とは、ごく簡単には、外部から作業者に課される作業の強さをいい、それが作業者に対してさまざまな影響を及ぼす。当然のことながら、列車運転作業も、いくつかの作業からなる。

付録1に詳しいところであるが、GoA1では、運転士は、ダイヤグラムに沿って適切な運転を行うために、外部の状況を把握し、これに応じて自分自身で運転操縦のパターンを考える。そして、これを実現するように主幹制御器やブレーキを扱うことで速度制御を行うなど、運転という作業に主体的・自律的に取り組むことができる（もちろん、前方注視も含まれる）。一方、GoA2.5では、平常時の運転に関連する作業は、基本的には出発時に起動ボタンを押下するのみであり、先に示したような運転作業はなくなる。作業負荷全体を俯瞰した場合、作業負荷は減少することになる。GoA2.5の最大の特徴は、列車運転はATOやTASCによる自動制御であって、GoA2.5係員は運転操縦にはかかわらない。GoA2.5化という作業の変化が起こり、運転操縦作業がなくなる一方で、注視にかかわる情報変換・処理系の負荷自体は従前の水準で残置される。このため、作業負荷において注視にかかわる情報変換・処理系が占める割合が相対的に大きくなる。

4.2.2 作業負担の変化

本項では、作業負担の変化について簡単に整理する。作業負荷に対する作業者の心身的な反応を作業負担といい（遠藤，1984；芳賀，2005）、作業負荷と作業負担をあわせた概念として、ワークロードの語を使用している研究もある（例えば、芳賀，2005）。ただし、本稿では、作業負荷は作業者に何らかの影響を及ぼす外部要因、作業負担は、その外部要因が作業者の内部で具現化したもの（ただし、人や状況によって様相は異なる）として、両者を使い分ける。

繰り返して述べているところではあるが、GoA2.5は、GoA1、すなわち、列車運転に際し、運転状況

にかかわる情報を積極的に入手し、それに基づき、みずからの裁量の範囲内で、ダイヤグラムに沿った運転操縦を行うことが作業の主体となっていない。ATO を代表とするシステムがほぼすべての列車運転の機能を担う。このことから、列車操縦という作業負担に対応したところの作業負担はなくなるため、時間経過が加味された2次的作業負担（芳賀，2005）に起因するような平常時の運転エラー（例えば、停車駅通過、停止位置不良、工事などによる臨時制限速度の超過）が発生する可能性はほぼなくなる。勘違いや思い違いなどによる運転エラーの心配がなくなるという点で、心的な負担は軽減されることが期待される。

4.2.3 中枢神経系の機能状態

GoA2.5 での作業負担のありかたは、中枢神経系の機能状態に対して影響を及ぼしうる。遠藤(1984) 従えば、情報変換・処理系の中枢は脳新皮質であるなか、提示される情報が少ない場合には、脳新皮質の活動に影響が現れるという指摘から説明しうる。すなわち、人間の情報処理は提示される情報量が中庸な場合にのみ、適切に機能するものであって、情報変換・処理系での作業負担が軽すぎる場合は、ネガティブ効果、すなわち単調が生じるというものである。また、佐藤・澤・水上・鈴木・塩見・海津(2007)は、単調と脳新皮質前頭葉の活性化（覚醒水準）との関連を指摘しており、遠藤(1984)も、単調は、脳が本来的に担う高次の判断と創造という活動が阻害されたことで発生する抑止現象でもあると述べている。つまり、脳は、適度な刺激を受けなければ、容易に単調状態に陥ってしまう。このほか、Grant (1971)は、ビジランスを情報処理の劣化として捉えている。これを列車運転場面に当てはめれば、前方注視は列車運転に際して必要不可欠な作業の1つではあるが、常に、踏切で人や自動車が列車通過を待っている、あるいは、鉄道用地境界の近くに人がいるわけではない。つまり、提示される情報が乏しい場合も多々ある。また、鉄道用地内の近傍にハザード性をもつ人や自動車が存在していたとしても、それらが思いもよらない行動をとる、換言すれば、突発的な状況の変化は確率論的なものであり、かつ、その可能性はきわめて小さい

ものである。つまり、何の変哲もない状況下で、いつものとおり、いつものように運転作業にあたることがほとんどであると考えられる。そのような場合、刺激が過小となり、時間経過とともに作業負担に影響が出現する。そして、そのなかには単調も含まれる。

中枢神経系の働きを、いわゆる PDCA サイクル的に捉えれば、GoA2.5 では、自ら立てた計画—動作—結果—計画と結果との突き合わせ・計画修正という連環的な情報処理が行われず、脳が賦活化されにくいと想定される。また、作業負担も単調を招来しやすい。これらのことから、GoA2.5 では、賦活低下の程度を捨象するとしても、中枢神経系の機能状態の変化（単調）の発生可能性について、十分に考慮する必要がある。

4.2.4 前方注視水準

最後に、中枢神経系の機能状態の変化が、前方注視水準に及ぼす影響を整理する。先にも述べたように、単調の本態の一つには覚醒レベルの低下がある。これが発生すると、作業精度も低下し、エラーと隣りあわせとなる事態におちいる（遠藤，1984）。佐藤他(2007)も、覚醒水準が低下したときにエラーが起こることが多いと指摘している。

GoA2.5 係員には、線路上（踏切、ホームを含む）に支障物を発見したときに、「緊急停止操作ボタン」を操作し、緊急停止を行うことが求められている（国土交通省，2020b）。そのようななか、「覚醒レベルの低下」が発生すれば、事故の危険が潜在する対象物への注意を配分し、事故の可能性を認めた場合に、それに注意を集中することが困難になる。具体的には、注意をむけるべき対象を、発見しそこねるというエラーが生じうる。このほか、先述のとおり、GoA2.5 導入は、ローカル線が念頭におかれている。そのような鉄道や路線には、第3種踏切（警報機あり、遮断機なし）や第4種踏切（警報機なし、遮断機なし）も存在しており、ここを通行する自動車や歩行者に対して特段の注意配分や集中が必要とされる。これらの見落とし、すなわち、注意の配分や集中の失敗は、非常停止手配の遅れなどにつながりかねず、安全な列車運行に対して問題を生じうる。

5. 単調に関する質問項目の素案作成

本章では、まず、中枢神経系の機能状態の測定方法についてごく簡単にまとめる。つぎに、単調について質問紙調査で測定するため、質問項目の素案の作成を試みる。

5.1 中枢神経系の機能状態測定的一般的方法

5.1.1 生理計測

一般的に、ビジランス課題については、負担測定の方法論として生理量計測が用いられることが多い。生体の様相に関する情報について客観的かつ連続的に計測できることなどから、方法論的には大変すぐれているといえる。計測対象となる生理指標には、さまざまなものがあるが、Carbon, Cobelentz, Mollard, & Fouillot (1993)に従えば、鉄道において多用されるものとして、脳波、眼電、心電の3つが挙げられる。また、宇賀神(1993)に従えば、日本においては、伝統的に心電とフリッカーテストが用いられてきたという。日本では、心電とフリッカーテストについては、蓄積された知見も多く、有用性も高い。しかしながら、いずれの生理指標を用いるにしても、これらの測定を現車による試験へ適用するにはいくつかの困難を伴う。

すなわち、試験列車の設定や乗務員の勤務操配の都合、測定自体や測定前の準備などに時間かかることから、実施の自由度が小さくなるためである。実車を使用し、現職の運転士などを対象とした試験を行うことから、表面的妥当性もそれなりに確保されるものの、前述のとおり、試験列車を多く仕立てることも難しく、被験者数が少なくなることや運転士のサンプリングが課題となりがちである。このため、実験結果の処理に関する方法論は、シングルケース研究によるものとなり、分析は定性的なものとなることも少なくない。一方、シミュレータ実験では、多様な実験条件を設定が可能であり、操作ログを記録することや、いわゆる二重課題を用いて注視作業水準を測定することもできる。しかし、こちらについても、被験者数の確保が課題となりうる。また、課題を抽象的なものとした場合、表面的妥当性について疑問が呈される余地もある。

5.1.2 質問紙調査の実施

前項では、生理計測に焦点をあてたが、ワークロード一般を対象とする場合、質問紙調査が用いられることも多い。これは、悉皆調査も可能であり、現車試験やシミュレータ試験を補完する有力な方法となりうる。Bier, Wolf, Hilsenbek, & Abendroth, (2020)は、疲労の測定について論じているが、これを参考にすれば、質問紙調査はその場・その時点、作業前後での主観的な状況に関するデータを取得するものと位置づけられる。さて、日本ではワークロードの文脈では、日本語版 NASA-TLX が使用されることも多い(例えば、芳賀・水上, 1996)。しかし、これは回答にあたって、一対比較を繰り返した上で、負担評価を求めることから、すばやい回答が難しいほか、被回答者の負担も大きい。一方、作業と作業との間のわずかな時間で、簡便に調査を繰り返し行い、それを累加していくことができれば、データは準連続的なものになる。作業負担の文脈において、眠気などを簡便に測定しようとする尺度が開発されており、例えば、澤・宇賀神・大久保・芳賀(2001)は「実用的評価指標」を提案している(表7)。

表7 実用的調査指標
(澤他, 2001, p. 209, 表7)

因子	項目
I 眠気・疲労	・まぶたが重かった
	・ひと休みしたいと思った
II 負担に抗する努力	・緊張していた
	・気の休まるひまがなかった
III あき・集中困難	・意欲がわかなかった
	・作業にあきていた

これは、一継続作業時間が長時間にわたる列車運転作業を意識したもので、妥当性を確保しつつ、作業負担を簡便、かつ、実験や作業などの途中といたごく短い間で測定できる指標であり、シミュレータ実験結果に基づき開発されたものである。第1因子は、第3因子である「あき・集中困難」に属する項目への負荷量も低くなかったとの報告もあり、単調と眠気や飽きに関連性があることが示唆される。

このほか、佐藤他(2007)は、覚醒レベルの測定に

ついて、長さ 10cm の線分に対して、左側を「問題がない状態」、右側を「問題がおおいにある状態」とし、線分の範囲のなかで現状の程度について、線分に斜線の記入を求める視覚アナログ尺度(Visual Analogue Scale: VAS)を適用した尺度を用いている。

5.2 単調に関する質問項目の素案作成

GoA, 特に GoA2.5 を視座とした場合に重要な概念となる単調について、これに特化し、かつ簡易に測定(回答)しうる尺度があるか否かを確認するため、文献検索を行った。具体的には、CiNii, J-STAGE や Google Scholar を用い、『単調』と『尺度』、『単調』と『測定』と『尺度』をキーワードとして検索した。英語論文については、Google Scholar のほか、Science Direct を併用して同様の検索を行った。しかし、いずれにおいても参考となりうるような文献を見いだすには至らなかった。

そこで、列車運転の自動化に起因する単調について、簡易に測定および回答しうる質問項目の素案を作成することとした。また、素案作成にあたっては以下の2点に留意することとした。

1点目は、単調の操作的定義としてなんらかの概念を使用すること、2点目は、単調を概念の外延として使用することである。これらは、なんらかの概念の操作的定義として単調を使用したり、ある概念の内包として位置づけられた単調の概念を用いたりすると、単調の測定を意図しながらも、適切にそれができない可能性が想定されることによる。例えば、May & Baldwin (2009)は、疲労に関する概念モデルのなかで、睡眠に関連する疲労を悪化させる原因の1つとして、受動的タスクに関連する疲労を取り上げている。ここで、受動的タスクに関連する疲労の下位に単調を位置づけているが、この場合、受動的タスクに関連する疲労を単調で測定することができることはわかるが、単調をなにで測定するかは判然としない。単調をどのような事柄で測定するかを明確化しないままでは、単調を単調で測定するという循環論的な事態に陥る可能性もあるため、この点に留意したということである。

本稿では、澤他(2001)を中心に、青木(1993)、Bier *et al.* (2020)、Dunn & Williamson (2012)、遠藤

(1984)、芳賀(2005)、小林・出村・郷司・佐藤・野田(2000)、澤・宇賀神・藤浪・田中・大久保・芳賀(1997)を参考とし、単調という概念の内包として5つの要素を想定した。具体的には、行動の活性低下・消極的行動(以下、単に行動の活性低下という)、作業意欲の低下、覚醒水準の低下、心的飽和、場面の変化・状況からの脱出(以下、単に場面の変化という)である。なお、これらの要素は主に感情体験によって測定されるとした。

つぎに、上記の内容を踏まえて、図1を共分散構造分析(Structural Equation Modeling: SEM)的なモデルに再構成した(図2)。なお、このモデルにおけるだ円と四角の使い分けはSEMのパス図上での使い分けに準じている。

図2のモデルでは、単調は、各要素を具体的に記述した内容で測定されるものと操作的定義が行われており、1つの要素について暫定的に2項目ずつ、計10項目の素案が設定されている(付録2)。

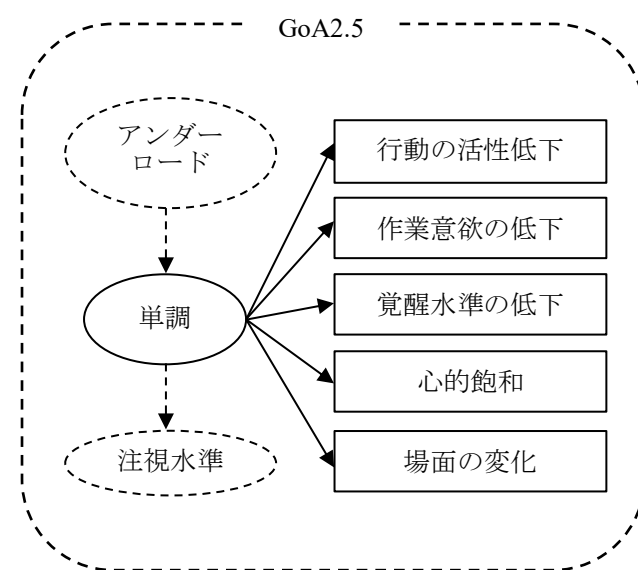


図2 単調と各要素のモデル
(実線が単調およびその要素)

既存尺度と素案との違いは主に2点ある。1点目は、作業負荷が生じる場面などの違いである。既存尺度は、実験などのアドホックな場面を微視的に扱うが、素案は、日々の業務場面を巨視的に取り上げる。2点目は、作業負荷(原因)と中枢神経系の機能状態(結果)との関係(因果関係)の観察方向

が、時間軸に対し順方向か逆方向かに関係する。

芳賀(2005)、小林他(2000)や澤他(2001)では、アドホックな場面で微視的に測定された機能状態（結果）が、どのような作業負荷に影響されているのかを振り返る。すなわち、原因に関心があり、因果の観察方向は時間の流れとは逆の方向になる。一方、本稿の素案は、日常的に継続・反復される列車運転、つまり、業務としての列車運転を俯瞰したとき、GoA2.5という作業負荷（原因）のもとで、単調がどのような場面・様相で具現化するか（結果）を測定するものである。結果に関心があり、因果の観察方向は時間軸に対して順方向となっている。

さて、提示される情報量が少なく、過小負荷となって作業精度が低下するという状態は、作業開始から時間がそれほど経過しないうちに発生するという、いわゆる「単調の30分効果」（遠藤，1984）も単調を論じるうえで重要な要素である。また、先に述べたところであるが、Bier *et al.* (2020)は、主観的状況の尺度は、その場・その時の状況を測定するものと指摘しており、これに鑑みても、回答時に時間経過が考慮されるような工夫をする必要がある。

これについては、回答に関する教示のなかで、乗務開始から乗務終了までの全体的な作業場面の想起を求めるものであることを示すほか、質問項目のワーディングによって対処可能であると考えられる。このことから、本稿で設定した質問項目のワーディングは、基本的に、「…しているうちに、…となってくる」などという表現としており、時間の動きを意識したものとなっている。すなわち、回答時点での状態や、乗務時間のある1点にのみフォーカスしての回答を求めているものではなく、時間が経過していくなかで、単調に内包される事柄に変化があったか否かというニュアンスを持たせている。

6. おわりに

すでに述べたところであるが、鉄道を含めてさまざまな産業で「人手不足」が問題となっている。このようななか、作業の自動化が有力な解決策の1つとなっている。一方、完全自動化は技術面、コスト面、社会的なリスク認知などといった側面から、全面的な導入やシステムの完全置き換えが難しいとい

う部分があることはいうまでもない。このことから、システムの一部を自動化し、自動化に移行しなかった部分の作業について人間が担当するという運用が現実的な解決策となることも多い。その場合、人間が担当していた作業の一部をシステムに移行し、人間とシステムとの協働で作業が進められることになるが、そのようなシステム構成とする場合、当然のことながら人間とシステムとの接点（ヒューマン・マシン・インターフェイス）のありかたが問題となる。

人間とシステムのより円滑な協働を実現するためには、よりよいヒューマン・マシン・インターフェイスを構築することが必要であるが、これを目指すにあたっては、まず状況の把握が不可欠である。

現状を把握するためには、実場面での調査、シミュレータを用いた調査（あるいは実験的調査）という方法があるが、前述のようにメリットとデメリットが存在する。もちろん、質問紙調査にもメリットとデメリットがある。質問紙調査には、Bier *et al.* (2020)が指摘したような方法論的な課題はあるものの、調査対象となる現場などについて、悉皆調査を行いうるという点が、実場面やシミュレータでの調査や実験との比較において最大のメリットとなる。

最後に、本稿は、作業負荷から注視行動の関係性の特徴から導出した質問項目の素案を示したものに過ぎない。今後は、質問紙調査の実施を見すえつつ、素案として作成した質問項目について、必要に応じて補訂や項目追加などを行うとともに、尺度構成のために必要となる一連の手続きを実施し、実用に供しうるものとして確定させる予定である。

引用文献

- 青木 和夫 (1993). ISO/TC159におけるメンタルワークロードの概念と定義及び設計の指針 人間工学, 29(8), 339-342.
- 麻生 銀吾・橋田 信毅・伊南 盛治 (1976). 列車運転のマン・マシン・シミュレーション 人間工学, 12(6), 221-226.
- Bier, L., Wolf, P., Hilsenbek, H., & Abendroth, B. (2020). How to measure monotony-related fatigue? A systematic review of fatigue measurement methods

- for use on driving tests. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 21(1), 22-55.
- Carbon, P. H., Cobelentz, A., Mollard, R., & Fouillot. (1993). Human vigilance in railway and long-haul flight operation. *Ergonomics*, 36(9), 1019-1033.
- Dunn, N., & Williamson, A. (2012). Driving monotonous routes in a train simulator: the effect of task demand on driving performance and subjective experience. *Ergonomics*, 55(9), 997-1008.
- 遠藤 敏夫 (1984). 自動化の安全 —work load の観点から— 安全工学, 23(4), 193-201.
- 福田 恭介・早見 武人・志堂寺 和則・松尾 太加志 (2007). ビジランス課題中における持続性瞬目と一過性瞬目 福岡県立大学人間社会学部紀要, 15(2), 27-35.
- 古屋 泉・新谷 和美・宮城 陽子 (2011). 選択反応課題におけるラットのビジランス低下：手続きの操作とニコチンの効果 動物心理学研究, 61(1), 107-113.
- Grant, J. S. (1971). Concepts of Fatigue and Vigilance in Relation to Railway Operation. *Ergonomics*, 14(1), 1111-1118.
- 芳賀 繁 (2005). 各種交通機関における操縦者のワークロードと状況認識に関わる諸問題 国際交通安全学会誌, 30(3), 284-289.
- 芳賀 繁・水上 直樹 (1996). 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロードの作成 —各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度— 人間工学, 32(4), 71-79.
- 小林 秀紹・出村 慎一・郷司 文男・佐藤 進・野田 政弘 (2000). 青年用疲労自覚症状尺度の作成 日本公衆衛生雑誌, 47(8), 638-646.
- 飯山 雄次 (1974). 列車運転のマン・マシン・シミュレーションの研究 —山手線をモデルにした試行実験— 心理学評論, 17(3), 238-259.
- 国土交通省 (2018). 鉄道における自動運転技術検討会 第1回検討会資料 Retrieved from <https://www.mlit.go.jp/common/001292666.pdf> (2022年7月31日)
- 国土交通省 (2020a). 鉄道における自動運転技術検討会 令和元年度とりまとめ Retrieved from <https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001351026.pdf> (2022年7月31日)
- 国土交通省 (2020b). 鉄道における自動運転技術検討会 令和元年度とりまとめ (概要) Retrieved from <https://www.mlit.go.jp/tetudo/content/001351015.pdf> (2022年7月31日)
- 楠神 健 (1994). 鉄道における運転の自動化と安全 ヒューマンファクタからの検討 安全工学, 33(6), 400-407.
- May, J. F., & Baldwin, C. L. (2009). Driver fatigue: The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(3), 218-224.
- 中西 昭夫 (2012). 安全の仕組みから解く鉄道の運転取扱いの要点 日本鉄道運転協会
- 中曽根 隆太・長峯 望・鶴飼 正人・向嶋 宏記・出口 大輔・村瀬 洋 (2017). 画像処理技術を用いた前方障害物検知装置の開発 鉄道総研報告, 31(3), 11-16.
- 那倉 達哉・入倉 隆 (2004). 運転疲労が明滅光探索時間に及ぼす影響 照明学会誌, 88(2), 94-96.
- 那倉 達哉・入倉 隆 (2005). 疲労と有効視野の関係 照明学会誌, 89(11), 794-798.
- 日本工業規格 (2012). 自動運転都市内軌道旅客輸送システム (AUGT システム) —安全要求事項 JIS E3802:2012(IEC 62267:2009)
- 佐藤 清・澤 貢・水上 直樹・鈴木 綾子・塩見 格一・海津 成男 (2007). 発話音声を用いた心身状態評価に関する実験的検討 鉄道総研報告, 21(5), 17-22.
- 澤 貢・宇賀神 博・藤浪 浩平・田中 綾乃・大久保 堯夫・芳賀 繁 (1997). 作業時間が作業者の心身状態に及ぼす影響の実験的検討 鉄道総研報告, 11(11), 25-30.
- 澤 貢・宇賀神 博・大久保 堯夫・芳賀 繁 (2001). 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, 52(4), 202-210.
- 篠原 一光・山田 尚子・神田 幸治・臼井 伸之介

(2007). 日常生活における注意経験と主観的メンタルワークロードの個人差 人間工学, 43(4), 201-211.

塩沢 寛 (1996). 鉄道の運転ルールの解説 日本鉄道図書

Spring, P., McIntosh, A., Capomecchia, C., & Baysari, M. T. (2009). Level of automation: effects on train driver vigilance. *Paper Presented at International Conference on Rail Human Factors (3rd: 2009)* (Lille, France), 792-801.

鈴木 大輔・山内 香奈・松浦 理 (2019). 異常事象に気付く運転士の注視行動 鉄道総研報告, 33(1), 17-23.

宇賀神 博 (1993). 列車運転の作業負荷が運転士に及ぼす影響の評価について 人間工学, 29(6), 377-380.

鵜飼 正人・那須 ボクダン友幸・長峯 望 (2012). 光学画像センサによる列車前方の監視手法 鉄道総研報告, 26(7), 29-34.

山田 健太・臼井 伸之介 (2013). ヴィジランス課題における口頭課題の影響 人間工学, 49(6), 289-296.

付録1 GoA2 あるいは GoA2.5 で運転士からシステムに移行される作業 (楠神, 1994, p. 401, 表1の一部を参考に作成)

機能分類	内容	左記の具体的内容
基本機能	運転状況の認知	<ul style="list-style-type: none"> ・速度制御 ・走行計画の策定
	発車制御	<ul style="list-style-type: none"> ・発車制御 ・加速制御 ・最高速度による加減速制御 ・信号現示 (臨時信号を含む) による加減速制御
本線運転にかかわる機能		<ul style="list-style-type: none"> ・地形・線形による加減速制御 (線路曲線, 転てつ機, 勾配, 標識)
	速度制御 運転制御	<ul style="list-style-type: none"> ・その他速度制御による加減速制御

- ・定時運転を考慮した運転制御 (回復運転を含む)
 - ・乗り心地を考慮した運転制御
 - ・経済運転を考慮した運転制御
-
- 列車制御
- ・駅までの走行計画の策定
 - ・減速制御
 - ・衝動の少ない停止制御
 - ・定位置停止制御

付録2 質問項目の素案

質問項目

(行動の活性低下)

- ・乗務しているうちに, 列車運転作業に張り切って取り組めなくなってくる
- ・仕業のなかに設定された休憩時間にはいったら, その時間をのんびりと過ごしたくなってくる

(作業意欲の低下)

- ・担当列車の始発駅や引継駅を発車した後, 列車運転作業に対する「やる気」が, ほどなくうすくなる
- ・積極的に列車運転作業に取り組もうとする気持ちが, すぐになえてしまう

(覚醒水準の低下)

- ・乗務しているうちに, たびたび「意識の迂回」が起こりそうになる
- ・乗務しているうちに, 思いもかけずにぼんやりしてしまいそうになる

(心的飽和)

- ・すぐに乗務に飽きが生じてくる
- ・乗務を続けることが, 早々に苦になってくる

(場面の変化)

- ・はやく次駅に到着し, 客扱い作業を行いたいと思うようになる
- ・はやく終点に到着し, エンド交換作業を行いたいと思うようになる

(Received: October 17, 2022)

(Issued in internet Edition: November 1, 2022)