

道路・交通工学における人間工学的問題の動向 ーメンタルワークロード計測と NASA-Task Load Index の紹介ー

下條 晃裕* 大沼 秀次**

はじめに

自動車は航空機や列車に比べて人間が操作に関与する部分が非常に大きいため運転操作に対するリスクも大きい。リスクは人間が道路環境・交通状況を判断して車両を操作することから生じる。

本文では、運転操作の安全性に関わる問題としてとりわけ短時間の操作が要求される場合の人間の精神的作業負荷・負担（メンタルワークロード）の評価の必要性を考察する。その後メンタルワークロードの測定手法のひとつである主観的手法に分類される NASA-Task Load Index に関して紹介する。

1. 完璧人間像からの脱却と人間工学的評価

1. 1 完璧人間像の仮説とのジレンマ

最初に交通工学や伝統的な工学分野での人間行動のモデルについて略述する。通常のシステムにおいて適用されている人間の行動はいわゆる「完璧人間像」という仮説の下に成立している。その仮説は以下の3点に集約できるといってよい¹⁾。

- ・知的活動を完璧に行うなら、論理学や数学が構築した世界へ到達できる。
- ・いかなる状況に遭遇しようと、感情を最適な状態に保つことができる。
- ・意思の力によって、自己を完全にコントロールできる。

交通工学や道路設計では反応時間という経験的数値があるものの上記の仮説に立脚している場合が多い。

しかし、現実では普通の人間の思考・行動は様々な環境・状況に応じて「完璧の程度を適度のレベルに設定」し、ある程度のミスは許容されると暗黙のうちに了解をしているのではないだろうか。この点が仮説と現実の大きく異なる点で、交通工学および道路設計の安全性を評価する際の難しいところである。

設計者・解析者らが悩む点は人間の行動を「完璧人間像」から「完璧の程度を適度のレベルに設定」と置き換えたときから、ミスをしていても事故に至らない方策

が何であるかが具体的に整理されたものが見あたらないあるいは存在しないことにある。

1. 2 人間工学的評価の必要性和その難しさ

システム制御からの原則を用いれば、ミスが事故に直接的に陥らない方法としては、「多様性確保のための選抜」、「人の適性にかなった適性配置」、「労働意欲」が大きな鍵になるといわれている¹⁾。

しかしながら、車の運転という孤立して集団や組織の支援が期待しにくい作業環境の場合は、上記の原則に大きな制限が生じる。人間の思考・感情・情動をコントロールすることは事実上不可能であるから、車両や道路環境側で最大限の事故防止策を工夫することになる。

現在、車両の安全性技術の進歩や ITS の技術開発に大きな期待が高まっており、予防安全に有効に寄与する技術の進展に期待感が高まっている。同時に伝統的な道路工学・交通工学は安全制御の分野の拡充及び人間工学 (Ergonomics または Human Factor) に踏み込んだ道路設計や道路付属施設の計画等に領域を広げる必要性が高まっていると思われる。

その際に重要なことは適切に「人間－自動車－道路系」というシステムループを認識して評価をすることが重要な課題である。

例えば、EC 運輸委員会では New Information Technologies In The Road Transport Sector と題する報告書で「車内情報システムの作業性及び安全性に関する決議」で粗悪なデザインや不適切な使用は運転操作に悪影響を与えると公的に明確にし、製造者、取付者、使用者に対するそれぞれの責任にまで言及している²⁾。この点は我が国も大いに見習うべき点であろう。その一方、人間工学的観点からの基準については引き続き検討する課題とされており、定性的なチェック項目ぐらいがある程度である。これは、あらためて人間－自動車－道路系というシステムループでの人間工学的評価の難しさを示している。

2. 人間工学の検討手法

2. 1 人間工学からの観点からみた自動車運転

さて、自動車を運転するという行動を模式化すると図-1 のようになるであろう。眼や耳などの「感覚器」が道路・交通環境や車内の計器（表示器）から車両の状況情報を取得し、脳などの「中枢神経系」に伝達される。次にそこで処理された結果が手足などの「筋肉」を通じて車内のハンドル・ブレーキ等の操作量を決定し、車両の運動軌跡が描かれる。

ここで、「道路・交通環境や車内の計器」という環境要因と「感覚器、中枢神経系、筋肉」という個人的要因が自動車の運転にも生じることがわかる。すなわち、ひとつの系（人間-自動車-道路系）をつくりだしている。

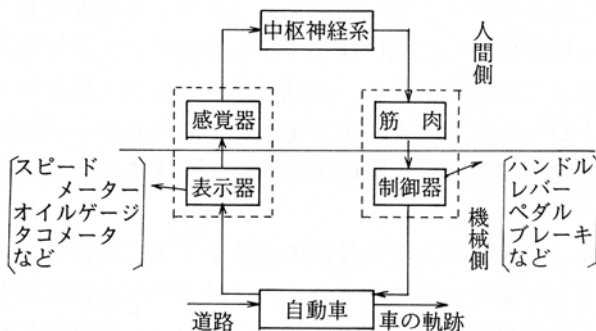


図-1 人間-自動車-道路系のシステム図

さて、そのとき運転者は自動車の運転行為を事故が起きないないよう「完璧の程度をある程度に設定して」自動車及び周辺環境に気を配りながら行う。人間工学の用語でいえば「作業負荷」の状況下にあると同時に「負担」を負わされていると言い換えることができる。仮にその状態のときの負荷・負担の量を「ワークロード」と呼ぶことにしよう。

そうすると、よく通い慣れた道路を普通に走行にする場合でも、運転開始から終了までワークロードは発生し蓄積されていく（図-2）。ワークロードのレベルは道路環境や運転者の行為（車両操作やラジオをつけたりタバコに火をつけるという2次の行為など）によって時間の経過とともに変動する。

あるとき、急な歩行者の飛び出しにヒヤリ・ハット等の体験をすることも少なくない。この種の体験は運転者に通常の運転時のワークロード（図-2 中の折れ線の値における平均的負荷あるいはその周辺の値）よりも高い負荷がかかることになる（図-2 中の最大負荷は1つの例である）。

このとき短時間のワークロードで一般的な人間の情報処理能力の許容量を超える負荷を「オーバーロード1」と定義しよう。先程の「運転者がヒヤリ・ハットする事象」というのは、オーバーロード1を超えたワークロードが運転者に与えられている状況であると理解できる。この状態が直接的に事故の危険性を示す指標ではないが、運転者にとってみれば短時間の「非常に高い負荷に対してのワークロードが生じる」ことになる。

また、図-2 中のハッチング部分がワークロードの総量で、時間の経過とともに増大していく。今度は、長時間のワークロード量（例えば、長時間運転による疲労や覚醒度の変化）でオーバーロード1と同様にそれに対応する軸として「オーバーロード2」が定義できる。

このように安全性に関わる事象では、オーバーロード1や2が発生しないようにシステムを人間の許容能力にあわせることが第一に重要であると思われる。

とりわけ、ITSの情報技術を運転者に伝達する手段や事故を誘発する誘因について運転者側の安全対策を検証することが急務であると考えられる。その意味では道路・交通技術者は「オーバーロード1」を防止する意味でワークロードの評価法やオーバーロード1のボーダーラインの位置を検討する価値があると思われる。

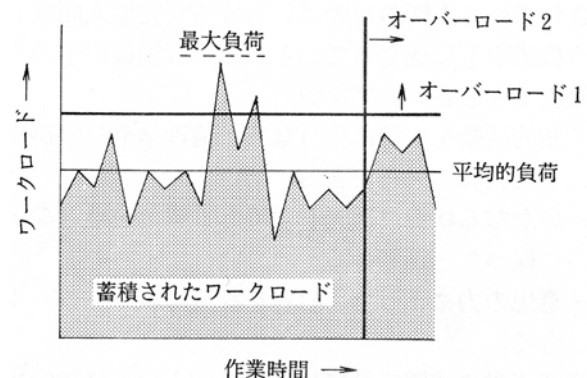


図-2 ワークロードと作業時間の関係図³⁾

2. 2 メンタルワークロード

まず、「メンタルワークロード」という用語について整理したい。結論からいえば、現在のところその定義は一樣ではない。それは精神活動に伴う作業負荷や負担という抽象的な表現が研究者間でもその指し示す内容が多様であると思われるからである。

J I S の「人間工学-精神的作業負荷に関する原則-用語及び定義」（JIS Z8502）⁴⁾によれば、精神的

作業負荷は「身体活動が主となる活動であっても、活動は、すべて精神的負荷を負わせるものである。…

(中略)…この規格では、“精神的”という表現を、人間の体験及び行動の過程についていう場合に用いる。この意味での“精神的”は、人間の認知、情報、感情、情動的な過程を表す。このような各側面は、相互に関係があり、現実には分離して取り扱うことはできず、また、そうすべきものでないで、精神的という言葉を用いる。」と、一般的な概念で提示している。

同様に「精神的負荷 (mental stress)」の定義は、外部から人間に対して作用を及ぼし、かつ、精神的に効果を与える評価可能な影響の全体。「精神的負担 (mental strain)」は、精神的負担によって個々の人の内部に直ちに起こる効果 (長期にわたる影響ではない。すなわち図-2 中のオーバーロード 1 を超えるか超えないかの議論である。) であって、各人の対処様式を含み、個人の習慣及びそのときの事前条件に依存するものと定義されている⁴⁾。

この JIS 規格の国際規格は、1991 年に定められた ISO10075 (Ergonomic principles related to mental work-load General terms and definitions) の第 1 版にあたる。

JIS 規格の審議中問題になった事項のひとつとして ISO 規格の表題にあたる work-load の日本語での訳語問題があった。この語は「作業の負荷と負担とを合わせた意味をもち、日本語では負荷と表現される場合と負担と表現される場合とがある。日本語にこのような意味を持つ load に対応した適切な語が他に存在しないために “work-load” という語を作業負荷と訳した。」⁴⁾とある。このように work-load は研究領域で精神的作業負荷や精神的負担との表現の誤用をさけるため、負荷と負担の関係が明らかである場合を除いて、概してメンタルワークロードという語を用いることが多い。

2. 3メンタルワークロードの計測手法

メンタルワークロードの計測手法には大きく分類して以下の 3 つの方法がある。

- 1) パフォーマンス指標；反応遅れ時間など行為中に計測可能な人間の行動。
- 2) 生理的指標；心拍数、血圧、脳波、GSR 等の生体現象。
- 3) 主観的手法；平易に言えば自覚症状でとてもいいようか。被験者は専門家からみれば同じ症状を述べるのに様々な言葉で述べるように、認知科学の分野では被験者から専門家が聞き取る内観法⁵⁾が

我が国では主流である。

3. 主観的メンタルワークロード

3. 1 主観的メンタルワークロード

主観的メンタルワークロードは主観的手法によって測定されたメンタルワークロードの値のことである。

しかしながら、内観法はわれわれが計測の目的とする「運転操作の安全性とりわけ短時間の操作が要求される場合のメンタルワークロード評価」に対しては 2 つの欠点を有している。ひとつは、与えられた課題に対して被験者は自分自身の観察はそう簡単にできない。もうひとつは、集めたデータに客観性が乏しいことである。この 2 点は内観法自体の問題といえる⁵⁾。

日本においては短時間の操作が要求される場合のメンタルワークロード評価に対して規格化されたテスト法及び評価法は残念ながら存在しない。米国ではアームストロング航空宇宙局で開発された SWAT (Subjective Workload Assessment Technique) や NASA のエイムズ研究所で開発された NASA-TLX (Task Load Index) が主観的メンタルワークロードの評価に用いられている。NASA-TLX の利点は評価次元が SWAT に比べて非常に少なく、質問の被験者への負担が大きく軽減されることも大きな特徴であると思われる。また、手法についてはメンタルワークロードの項目が複数にわたり、項目が交錯することが普通である。NASA-TLX ではその交錯の相関関係を明示しているとともに 6 項目の評価尺度を用いて、与えられた課題によって適応性のある評価尺度を見分け、ワークロードの全体的評価を計算できることが大きな特徴である。

3. 2 NASA-TLX

NASA-TLX (以下、TLX と略す。) は、被験者が課された課題 (タスク) に回答する方法をとる。評価尺度は 6 種類で、3 つのグループに分類できる。日本語訳は三宅をはじめ種々の訳⁶⁾もあるが、本文では下條・萩原らの訳⁷⁾を用いる。なお、オリジナルの定義については Hart⁸⁾ らを参照していただきたい。以下は評価尺度の定義を日本語にしたものである。

(1) 課されたタスクによる要求

- 1) 精神的負担 (Mental Demand): どの程度、精神的かつ知覚活動が要求されたか (例: 思考、意思決定、計算、記憶、観察、検索等)。作業は容易であったか、それとも困難だったか。単純だったか、それとも複雑であったか。過酷だったか、それとも寛大であったか。

2) 身体的負担 (Physical Demand) : どの程度、身体活動が必要であったか (例: 押す、引く、回す、操作、活動等)。作業は容易だったか、それとも困難だったか。ゆっくりしていたか、それともきびきびしていたか。ゆるやかだったか、それとも努力を要するものであったか。落ち着いたものであったか、それとも骨のあるものであったか。

3) 忙しさ: (Temporal Demand) : 作業や要素作業の頻度や速度にどの程度時間的圧迫感を感じたか。作業はゆっくりしていて暇だったか、それとも急速で大変だったか。

(2) 求められたタスクに対する反応

達成度 (Own Performance) : 実験者 (あるいは自分自身) によって設定された作業の達成目標の遂行についてどの程度成功したと思うか。この目標達成における作業成績にどのくらい満足しているか。

(3) 実行したタスクに対する自己評価

1) 努力 (Effort) : 自分自身の作業達成レベルに到達するのにどのくらい一生懸命 (精神的に身体的に) 作業を行わなければならなかったのか。

2) ストレス (不満度) (Frustration) : 作業中、どのくらいのストレス、落胆、いらいら、不安、不快感、あるいは安心、喜び、満足、自己満足を感じたか。

以上のTLXを構成する6項目の評価尺度は先に紹介したような特徴を有しており、以下にその特徴を示す例を例示する。

知覚探索を含めたタスクが被験者に与えられた場合「忙しさ」が6項目の中で最も重要な要素または高く評価される要素となる。一方、暗算のような知能活動を刺激させるタスクが与えられた場合、「精神的負担」が重視される。また、身体を動かさなければならぬタスクが与えられた場合は「身体的負担」が最も重要な要素となる。

上記の例が示すように、タスクの特性によって評価される尺度の反応が明確になることがこの手法の大きな特徴であり他の試験法に比した利点である。

3. 3試験方法

最初に、タスクに対する尺度間の重み (weight) を決定する。被験者に尺度間の一対比較を行い (15回)、より重要な尺度を各尺度毎に合計する (最大 5、最小 0)。その後、タスクについての 6 尺度の評価値 (raw rating score) を得るため図-3 に示すよう

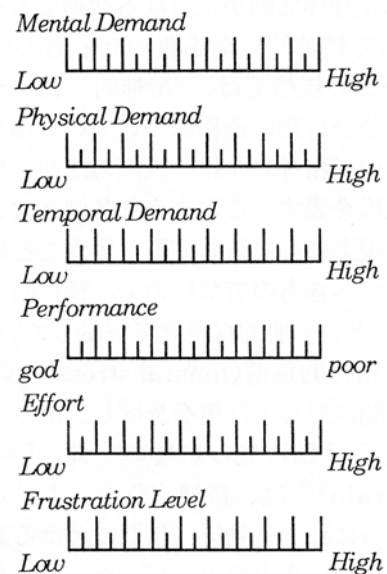


図-3 TLXの被験者の評価フォーム

な評価スケールを用いて、被験者がスケールの任意の位置に○印をつける。

3. 4結果とその解釈

被験者から得られた一対比較の回答と 6 尺度それぞれの評価値によって、重みづけられた尺度の評価値が算出され、各尺度の評価値を合計して総合的な評価値であるWWL (weighted workload) が算出される。

結果の解釈では、尺度の評価値を用いてタスクに大きく影響のある尺度を抽出でき、その大小関係を検討することによってタスクにおけるクリティカルな尺度を抽出することが可能となる。また、WWLの大小関係をみることによりタスクに対する総合的な判断を与えることができる。

3. 5簡単な数値例

この例はHart⁸⁾の最終ページにある数値例であり、「刺激時間間隔による操作の困難性」を分別するために2つのタスクを比較したものである。刺激時間の間隔は、タスク1で0.5秒、タスク2では0.3秒である。図-4は被験者1人あたりの回答項目とともにWWLを求めるまでの過程を示している。

尺度間の一対比較では忙しさ (TD) が多く選択されており、タスク1と2での評価もTDが最も差がある。WWL値はそれぞれのタスクにおいて実施者がその主観的強度が最も大きい尺度と他の尺度の合成した総合評価値である。この例では、タスク2の実行がタスク1に比べて相対的にワークロードが大きいことを示している。

要素間の対比較による重みの決定

PD / MD	TD / PD	TD / FR	MD III = 3
TD / MD	OP / PD	TD / EF	PD = 0
OP / MD	FR / PD	OP / FR	TD III = 5
FR / MD	EF / PD	OP / EF	OP I = 1
EF / MD	TD / OP	EF / FR	FR III = 3
			EF III = 3
			SUM = 15

タスク 1 の評価値

DEMANDS	RATINGS FOR TASK 1:		RATING	WEIGHT	PRODUCT
MD	LOW	I x I	HIGH	30	x 3 = 90
PD	LOW	I x I	HIGH	15	x 0 = 0
TD	LOW	I x I	HIGH	60	x 5 = 150
OP	EXCL	I x I	POOR	40	x 1 = 40
FR	LOW	I x I	HIGH	30	x 3 = 90
EF	LOW	I x I	HIGH	40	x 3 = 120
			SUM		490
			WEIGHTS (TOTAL)	15	
			MEAN WWL SCORE	32	

タスク 2 の評価値

DEMANDS	RATINGS FOR TASK 2:		RATING	WEIGHT	PRODUCT
MD	LOW	I x I	HIGH	30	x 3 = 90
PD	LOW	I x I	HIGH	25	x 0 = 0
TD	LOW	I x I	HIGH	70	x 5 = 350
OP	EXCL	I x I	POOR	50	x 1 = 50
FR	LOW	I x I	HIGH	50	x 3 = 150
EF	LOW	I x I	HIGH	30	x 3 = 90
			SUM		730
			WEIGHTS (TOTAL)	15	
			MEAN WWL SCORE	49	

図-4 数値例

3. 6道路交通分野での使用例

これまで、TLX指標を用いた研究は外国ではカーナビゲーションシステムについての適用性などヒューマンファクタ問題でパフォーマンス指標と同時に計測され評価の対象となっている⁹⁾。日本では北海道大学大学院工学研究科と当所で携帯電話の設置位置問題で共同研究を行ったのが最初である¹⁰⁾。また、最近では案内標識システムの開発にも主観的手法が取り入れられている¹¹⁾。これらの研究において注目すべき点は主観的評価と同様にパフォーマンス指標や生理指標を計測して総合判断している点にある。逆に言えば、主観的手法は絶対評価が難しいために他の評価法を組み合わせて、代替案の相対比較を行うための指標として利用されているのあり、単独で用いられてきていないことに注意を払う必要がある。

4. まとめ

これからの道路設計や道路付属物に関しては人間工学的要素も取り入れ予防安全の概念とその手法の必要

性を提示した。その際には人間—車両—道路系のループシステムの一部として道路を認識する必要があることを示した。

さらに、メンタルワークロードの概念自体が新しいものである。その測定手法としては、パフォーマンス指標、生理的指標、主観的手法の3つに分類できる。特に、代替案の相対評価に関しては主観的手法が有効である。その中で、NASA-TLXは有用な手法として定着する可能性を有している。

おわりに

主観的メンタルワークロードの測定は、今後人間—自動車—道路系での評価で大きな要素となると見込まれる。しかし、交通工学・道路設計の分野では、国内での評価手法が確立されておらず、今後ともに交通工学分野でのパフォーマンス指標との関連性を含めて実証研究が必要である。

本文を作成するにあたり、平成9～10年度に共同研究を行った北海道大学大学院工学研究科の萩原亨助教授、トクナガロベルト氏との研究成果を利用させていただいた。紙面を借りて深謝する。

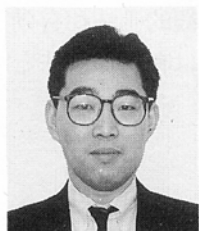
参考文献

- 1) 海保博之・田辺文也：ヒューマン・エラー，新曜社，1996年10月，pp.38-45.
- 2) EC 運輸委員会(ECTMT)：NEW INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE ROAD TRANSPORT SECTOR，1995年.
- 3) 神山昭男，斉藤和雄：生体負担の測定と評価をめぐって，人間工学，Vol.29，No.6，1993年12月，pp347.
- 4) 日本工業標準調査会：人間工学 精神的作業負荷に関する原則 用語及び定義，JIS Z8502，1994年12月.
- 5) 守一雄：認知心理学，岩波書店，1995年4月，pp24.
- 6) 芳賀繁：NASA タスクロードインデックス日本語版の作成と試行，鉄道総研報告，Vol.8，No.1，1994年4月，PP15-17.
- 7) 下條晃裕，萩原亨，高木秀貴，Tokunaga R.：ドライビングシミュレーションによる携帯電話設置位置の違いによる運転者挙動への影響に関する研究，第17回交通工学研究発表会論文報告，1997年11月，pp. 121-124.
- 8) S. G. Hart and L. E. Staveland：Development of NASA-TLX(Task Load Index)：Results of Empirical and Theoretical Research，Human Mental Workload，North-Holland，1988，PP.139-183

- 9) Srinivasan, R. et al. : Simulation Study of Driving Performance with Selected Route Guidance Systems, Transportation Research PartC, Vol.2, No2, 1994, PP.73-90.
10) トクナガ・ロベルト, 小澤正志, 萩原亨ほか:自動車運転

中の携帯電話使用・操作に関連する研究,自動車技術会論文
文集, Vol.30, No.1, 1999年1月, pp.127-131.

- 11) 高松誠治ら:道路案内標識評価システムの開発, 交通工学,
Vol.34, No1, 1999年1月, pp.25-35.



下條 晃裕*

開発土木研究所
道路部
交通研究室
主任研究員



大沼 秀次**

開発土木研究所
道路部
交通研究室
室長