

## 目 次

|                                   |               |    |
|-----------------------------------|---------------|----|
| 1. 序 .....                        | [ 桑原 ] ...    | 1  |
| 2. 対象となる高度交通情報システム (ITSの分類) ..... | [ 藤井 ] ...    | 2  |
| 2-1 高度交通情報システムの分野 .....           |               | 2  |
| 2-2 運転支援情報システムのヒューマンインタフェース ..... |               | 3  |
| 2-3 ヒューマンインタフェースに関する課題 .....      |               | 4  |
| 3. 運転中の精神的作業負荷・負担の枠組み .....       | [ 赤羽・桑原 ] ... | 6  |
| 3-1 精神的作業負荷・負担の定義と基本的な枠組み .....   |               | 6  |
| 3-2 精神的作業負荷の評価方法の概要 .....         |               | 9  |
| 4. 精神的作業負荷の計測方法と解釈 .....          |               | 14 |
| 4-1 知覚作業の負荷測定 .....               | [ 岡本 ] ...    | 14 |
| 4-2 処理判断作業の負荷測定 .....             | [ 稲垣 ] ...    | 19 |
| 5. 情報処理モデル .....                  |               | 29 |
| 5-1 認知科学的アプローチ .....              | [ 長谷川 ] ...   | 29 |
| 5-2 車内画像情報の認知 .....               | [ 長谷川 ] ...   | 34 |
| 5-3 運転における情報処理モデル .....           | [ 稲垣 ] ...    | 35 |
| 6. まとめと今後の課題 .....                | [ 桑原 ] ...    | 49 |
| 6-1 まとめ .....                     |               | 49 |
| 6-2 今後の課題 .....                   |               | 49 |
| 参考文献 .....                        |               | 52 |

### 3. 運転中の精神的作業負荷・負担の枠組み

#### 3-1 精神的作業負荷・負担の定義と基本的な枠組み

##### 3-1-1 精神的作業負荷，精神的作業負担，およびメンタルワークロードの定義

ISO 10075-1は，精神的作業負荷（mental stress：MS）を“外部から人間に対して精神的影響を与えるもので，評価可能なすべてのもの”と定義している。また，精神的作業負担（mental strain）とは，“精神的作業負荷の個人への急性影響であり，個人の習慣や事前の状態に関係する”とある<sup>1)</sup>。なお，この規格では，“精神的”という言葉に人間の認知，情報処理，感情の働きすべてを含むものとしている<sup>2)</sup>。

上記の定義においては，原因側を精神的作業負荷とよび，結果側を精神的作業負担とよんでいるが，図3-1に示すように両者が各々の定義の中にそれぞれ結果および原因として含まれており，いわば循環的定義になっている。メンタルワークロード（mental workload：MWL）とは，このような原因-結果の関係の中でとらえられる概念である<sup>3)</sup>。

この定義におけるもうひとつの特徴は，精神的負荷が生体外における環境条件（刺激）としてとらえられているのに対し，精神的負担は生体内における反応として定義されていることである<sup>3)</sup>。

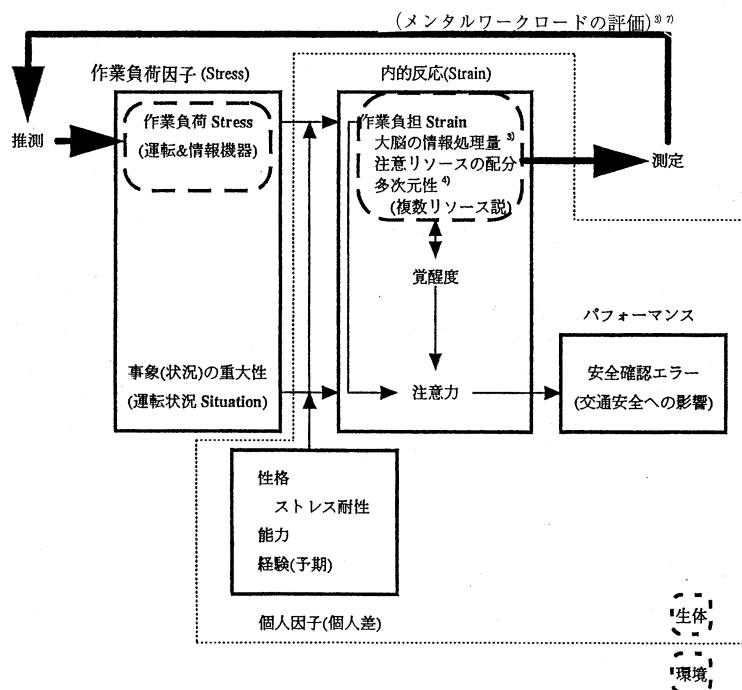


図3-1 運転負荷モデルの構成概要と安全性

### 3-1-2 関連する諸概念との比較

#### (1) メンタルワークロードと疲労

メンタルワークロード研究を、安全を目標にする分野と、健康を目標にする分野とに大別すると考え方が異なる。すなわち、図3-2において安全分野ではオーバーロード1が生じて瞬時的判断能力の限界を超えないように、最大負荷を測定しようとする。一方、健康分野ではワークロードの蓄積が問題となり、オーバーロード2（積分値）を防止するために、平均的負荷の測定を目指しているとするものである。

これに対して、2つの分野の差は時間軸のみならず測定したいメンタルワークロード自体が根本的に異なるとの主張もある。すなわち、安全分野で測定されているメンタルワークロードは、課題遂行に費やされる注意リソース（情報処理リソース）の指標であり、時間的に効果が蓄積されるものではないというのである<sup>4)</sup>。さらに、健康分野における疲労は、“大脳の賦活系と抑制系拮抗のうち、抑制系優位の状態”あるいは“活動を継続したとき、そのまま放置すれば活動の継続が不可能になるが、休息をとれば回復可能であるような状態”などと定義される。したがって、疲労は、その定義が生体の内的状態のみで閉じていて外からの作因という概念が介在しない点で、メンタルワークロードとは基本的に異なるという見方もある<sup>3)</sup>。

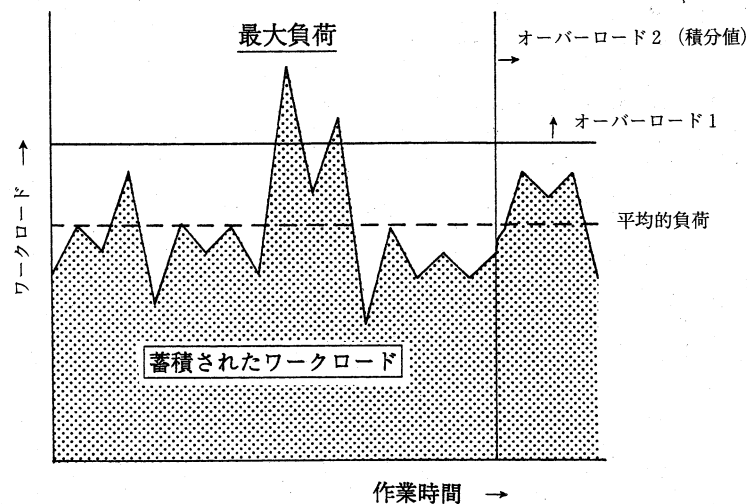


図3-2 ワークロードと作業継続時間の関係<sup>4)</sup>

#### (2) メンタルワークロードと“ストレス”

メンタルワークロードは、主に大脳皮質系における情報処理量を指す。その影響の継続時間も相対的に短い。これに対して“ストレス”（これは前述のメンタルストレスとは異なった概念である）は、大脳周辺系の活動である情動・感情を指し、その影響は過労死等におけるように数年のオーダーで継続することもされるとされる<sup>3)</sup>。

### 3-1-3 メンタルワークロードの枠組み

図3-1に、メンタルワークロードの概念的構成を例示する<sup>5)</sup>。

#### (1) 精神的作業負荷因子

ここで考慮する主な因子は、運転作業あるいは車載情報機器の利用に伴う作業要求(Task Demand)である。これらの“作業要求は必ず時間的制約をもつ”と見なすことにより、要求は負荷に変わる<sup>5)</sup>。

精神的作業負荷因子として考慮されるべきものは、事象(状況)の重大性である。たとえば、高速道路の単路部において単調な運転作業を行っているときと、街路の交差点手前で複雑な運転作業を行いつつ経路選択のための判断をしなければならないような状況とでは、運転者の受ける圧力には格段の相違がある。ただし、状況が重大であるときには作業要求における時間的制約が大きく、かつそのような大きな負荷が同時に複数課せられるとも理解できる。すなわち、状況の重大性は、作業要求による負荷として一元的に扱うことが可能であるとも考えられる。

運転作業(タスク)は、いくつかのサブタスクから構成される。サブタスクの一部は連続的に、他は離散的に実行され、さらにそれらは並列的に実行される必要がある。主要なタスクにはnavigation(経路判断)、maneuvering(衝突回避)、そしてcontrol(車線・車速保持)がある<sup>6)</sup>。

#### (2) 個人因子

外部から与えられた精神的作業負荷(と重大性)を、個人差を考慮して精神的作業負担の程度に変換するために、個人因子が反映される。図3-1では、精神的作業負荷を精神的作業負担へ変換するために“能力差”を定め、事象(状況)の重大性を精神的作業負担に変換させるために精神的作業負荷耐性と予期性(当該事象を予測していたか否か)を介在させている。

#### (3) 内的反応

精神的作業負荷因子が、個人因子の影響下で精神的作業負担に変換される。これは、作業要求(運転タスクあるいは情報機器の利用ともなうタスク)と、それが遂行されるために費やされる情報処理リソース(注意リソース)との関係と等価である。

情報処理リソースは単一ではなく、情報処理の種類に対応して複数のリソースが存在するとの説が近年有力となっている。この複数リソース説によると、複数の作業要求において入力形式が視覚情報と聴覚情報などのように異なり、また反応形式が手動操作と発音などのように異なり、さらに処理過程が知覚過程、中枢処理過程、そして運動過程のいずれかで異なれば、それらは同時並行的に処理され得る<sup>6)</sup>。

このようなタスクと注意リソースとの多元的な関係は、走行状況の変動や個人差をも反映し得る。たとえば、地理不案内な場所における経路選択は主に中枢系のリソー

ス（処理容量）への負荷となり、制御レベルの作業は視覚系および運動系に負荷を与える。また、熟練運転者は視覚リソースと中枢リソースを個別に有し、初心運転者は単一リソースを有するようにモデル化することもできる<sup>6)</sup>。

覚醒度（arousal level）とは、内的状態、すなわち大脳皮質の活動度を表す用語であり、注意リソースの配分量、あるいは負担の程度に影響を受ける。ISO 10075では、精神的作業負荷の影響として活性化と減退的效果と表現されているが、これは覚醒度の概念に包括される。覚醒度は、注意力や内部の情報処理形態にも大きく影響する<sup>5)</sup>。

#### (4) パフォーマンス

パフォーマンスは、作業の量や質を表す概念である。運転作業においては、メンタルワークロードにより覚醒度が影響を受け、それが危険の認知や認知した危険への対応に影響するとみなすことにより、安全性の絶対評価に帰結させることができると考えられる。

### 3-2 精神的作業負荷の評価方法の概要

本節においては精神的作業負荷の評価方法を概観するとともに、詳細は第4章、および第5章に記述する。

図3-1に示すように、一般に精神的作業負荷を直接測定したり、定量的に把握することは困難であり、作業遂行時の精神的作業負荷による影響である精神的作業負担を測定し、精神的作業負荷の質や大きさを推測することになる<sup>7)</sup>。一方で、運転作業が安全にどのように影響するのかを評価するためには、その作業を構成する各タスクがいかなる質と量の精神的作業負荷と等価であるかを同定するばかりでなく、そのような精神的作業負荷が運転状況や個人差と相まってどのような精神的作業負担を発生させるかを把握する必要がある。したがって、メンタルワークロードの評価とは、精神的作業負荷と精神的作業負担の相互関係を把握することであると考えるべきであろう。

図3-3は、主に図3-1の内的反応に焦点をあて、運転作業、メンタルワークロードおよび安全性との関係をより詳細に表したものである。運転作業にはnavigation（経路判断）、maneuvering（衝突回避）、そしてcontrol（車線・車速保持）があり、それぞれに対する生体内反応としての精神的作業負担が発生する。この精神的作業負担は、人間の主に大脳皮質系における、情報処理あるいは知覚のためのリソースの消費と言い換えることができる。このリソースは単一とは限らず作業の質により異なるリソースが消費される、との考え方が近年有力となっていることは前述の通りである。

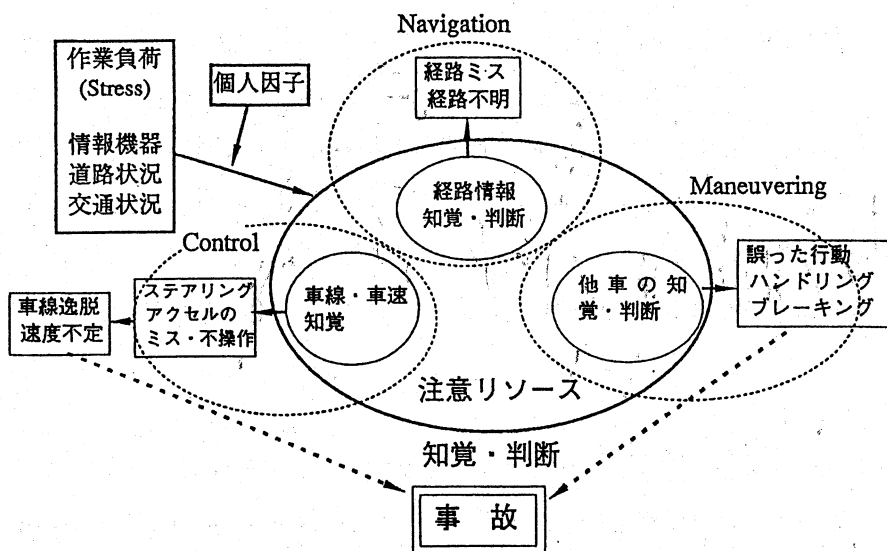


図3-3 運転作業、メンタルワークロードおよび安全性との関係

たとえば、いくつかの運転作業を同時並行的に遂行しなければならない状況においては、それらの作業による精神的作業負担、あるいはリソース量が限界を超え、運転操作の誤りや、その結果としての事故が発生する確率が高まると考えられる。navigation (経路判断) 作業を遂行する上での誤りは直接には事故を引き起こすものではないが、その誤りを補償するために生ずる追加作業や、予期しない状況の発生に伴う個人因子の作用により、リソースの消費量の増大を通じてmaneuvering (衝突回避) やcontrol (車線・車速保持) に間接的に影響すると考えられる。

運転作業と安全性との関係の評価には、以下の方法が考えられる。

- ① 交通事故の分析から運転作業と安全性との関係を直接評価する方法
- ② メンタルワークロード、またはリソースの相対比較に基づいて安全性を推定・評価する方法

さらに方法②は、利用されるリソース量を直接評価する主観的評価法、生理反応評価法、情報処理 (認知) 理論に基づく方法等、およびスペアキャパシティ (リソースの余裕量) の評価を通してリソース量を推定する二重課題法等とに大別される。

②の評価法においても、メンタルワークロードを的確に測定評価し得る唯一の指標は、いまのところ存在しない。しかし、少なくとも主観評価からは人間の内観や主訴が直接的に得られ、生理反応は生体の内部緊張、努力などの客観指標となり、反応動作 (成果) は人的過誤の発生やシステムパフォーマンスへの影響を知る手がかりとなる。これらの3側面からの評価により、個人差や個内変動を含めた評価が可能となる<sup>1)</sup>。

メンタルワークロードを情報処理行動の見地から評価するには、その目的と対象を明確

にすることにより、測定評価指標などを選択する必要がある。選択基準には、以下が挙げられる。

- ① 情報処理行動を知覚・判断・動作などの要素行動に分解するか、一括して見るか。
- ② 目的は作業負荷の予測やシミュレーションか、モックアップや製造品の評価か、あるいは実際の作業システムの恒常的運用場面における作業負担の評価か<sup>1)</sup>。

表3-1に、メンタルワークロード評価次元と評価指標との関係を示す。同表において、すべての測定対象に適用可能な評価指標が上記①の一括評価に、測定対象が限定された評価指標が要素行動別の評価に対応する。また、4分類された測定法は、それぞれ備考に示されるような特徴を有しており、上記②の選択基準に対応している。代表的なメンタルワークロードの評価手法は、以下のように大別される<sup>1)</sup>。

表3-1 メンタルワークロード測定評価指標のマトリクス<sup>1)</sup>

| 測定対象<br>測定法 |          | 知覚負担         | 精神負担         | 動作負担         | 生体負担             | 備 考                                      |
|-------------|----------|--------------|--------------|--------------|------------------|--|
|             |          | 情報検知<br>対象識別 | 情報処理<br>判断決定 | 制御操作<br>通話指示 | 環境ストレス<br>運用ストレス |  |
| 分析・技術的      | 職務分析     | ○            | ○            | ○            | ○                | 主としてシステム開発段階におけるMWLや環境負荷の予測や評価などに利用される。  |
|             | 作業分析     | ○            | ○            | ○            | ○                |  |
|             | 組織分析     |              | ○            | ○            | ○                |  |
|             | 環境分析     |              |              |              | ○                |  |
|             | モデリング    | ○            | ○            | ○            | ○                |  |
|             | シミュレーション | ○            | ○            | ○            | ○                |  |
| 心理・行動的      | 意識調査     | ○            | ○            | ○            | ○                | システム開発段階から運用段階まで広範囲に用いられ、ユーザにも受け入れられやすい。 |
|             | 質問調査     | ○            | ○            | ○            | ○                |  |
|             | 評定尺度     | ○            | ○            | ○            | ○                |  |
|             | パフォーマンス  | ○            | ○            | ○            |                  |  |
|             | スペア能力    | ○            | ○            | ○            |                  |  |
|             | フリッカー    | ○            | ○            |              |                  |  |
| 電気・生理的      | 心拍変動     |              | ○            |              | ○                | 機材・測定上の制約があるが、広範囲に利用される。短期的変動の測定に向いている。  |
|             | 瞬目変化     | ○            | ○            |              | ○                |  |
|             | 眼球運動     | ○            | ○            | ○            |                  |  |
|             | 瞳孔変化     | ○            | ○            |              | ○                |  |
|             | 誘発反応     | ○            | ○            | ○            |                  |  |
|             | 筋肉放電     |              |              | ○            | ○                |  |
| 分泌・代謝的      | アドレナリン   |              | ○            |              | ○                | 測定時期、サンプル収集上の制約がある。<br>長期的変動の測定に向いている。   |
|             | ノルアドレナリン |              | ○            |              | ○                |  |
|             | 17-OHCS  |              | ○            |              | ○                |  |
|             | コルチゾール   |              |              |              | ○                |  |
|             | ナトリウム    |              |              |              | ○                |  |
|             | カリウム     |              |              |              | ○                |  |

### 3-2-1 主観的評価法

クーパー・ハーパー評価表などを用いる方法、NASA-TLX、あるいはSWATなどがある。

NASA-TLX<sup>4)</sup>は、米国航空宇宙局エイムズ研究所において開発され、当初の19のワークロード因子を、以下の6本の評価尺度にまで集約している。

- ① 精神的要求
- ② 身体的要求
- ③ 時間的要求 (時間的圧迫感)
- ④ 作業成績 (作業達成度)
- ⑤ 努力
- ⑥ フラストレーション水準 (不満)

SWAT<sup>4)</sup>は、米空軍アームストロング航空宇宙医学研究所において開発され、メンタルワークロードの次元を以下の3つに区別し、それぞれ3段階で評価させる方法である。

- ① 時間的負荷
- ② 心的努力の負荷
- ③ 心理的ストレスの負荷

NASA-TLXおよびSWATは、それぞれの尺度の重み付けにより、最終的には1次元の尺度値を算出する。また、これらの簡便法も提案されている。

### 3-2-2 生理反応評価

精神的作業負担に対応する有力な生理学的計測手法が実用化されれば、情報処理過程についての有力な客観的指標となる<sup>8)</sup>。ただし、生理指標がメンタルワークロード以外の原因で変化する場合や、メンタルワークロードに起因する他の生理反応の変化が着目している生理指標に異なる方向の変化を与える場合があることに注意を要する。このような問題には、着目している生理指標の変化に影響を与える指標を同時に抽出することにより、メンタルワークロードに起因しない着目指標値の変動を評価対象から除外する対策が考えられる。さらに系統的な対策として、生理指標値を生理メカニズムのモデルを介して生体内部のパラメータ値に変換し、それらの変化パターンでストレス反応をとらえることも考えられる<sup>9)</sup>。

現在注目されている生理的指標には、以下がある<sup>4)</sup>。

#### (1) HRV (Heart rate variability : 心拍数変動)<sup>4)</sup>

HRVをフーリエ解析したパワースペクトルの0.1Hz成分の減少と、課題遂行に費やした努力の被験者自身による評定に強い相関があることが報告されている。例えば、被験者に運転中に副課題として携帯電話をかけさせたところ、混雑した街路のみなら



ず交通量の少ない高速道路においても、副課題によるメンタルワークロードの増加に対応して、HRVおよびその0.1Hz成分の減少が観測されている<sup>10)</sup>。加えて、この指標は客観的難易度や課題遂行成績とはあまり相関がないため、内面的な努力の量としての注意リソース量の測定指標として有効とされている。

(2) ERP (Event-related potential: 事象関連電位)<sup>4)</sup>

ERPのP300成分と課題に配分しているリソース量との間に、困難度が高いほどERPの振幅が大きくなるという、正の相関があるとの報告がある。

### 3-2-3 二重課題法

主課題と副次課題とが同一のリソースプールを使用しているときには、副課題の処理成績が主課題に必要なリソース量と負の関係になることを利用して、スペアキャパシティ(リソース)を測定する方法である。しかし、このような前提は、リソースプールを共有しない課題間では当然成り立たないことに注意を要する。また、主作業の成果に影響を及ぼさないような副次作業を選択することも制約となる。

### 3-2-4 情報処理理論に基づく方法

運転者の時間的動作を基本的情報処理単位あるいはタスクに分解して行動モデル(情報処理モデル・認知モデル)を構成し、情報処理単位ごとのメンタルワークロード値を積算して総体的に評価する手法である。

メンタルワークロードの評価に通常最もよく用いられている手法は、実験を実施して前出の主観的評価法や二重課題法を適用するものである。しかし、インターフェイス設計のための実験には、設計代替案のインターフェイスに対する実システムあるいはモックアップを作成しなければならない。また、実験の信頼性を確保するために多数の被験者を集めなければならない。

このような実験に対する廉価な代替手段として、情報処理理論に基づくモデルを構築し、それによるシミュレーションで精神的作業負担を評価することが考えられる。ただし、情報処理モデル等においても、情報処理単位ごとのメンタルワークロードの評価には、二重課題法や主観的評価法が適用される。

タスクのbit換算、あるいは情報推移モデルにおける情報処理単位ごとの信頼度やメンタルワークロードの値の設定<sup>7)</sup>などのような、動作の種類によるメンタルワークロードの大きさの重みづけが課題である。そのために、主観的評価法などで重みを実験的に定めることが必要である。さらに大きな課題は、外部から直接観察することができない人間の頭の中の認知(情報処理)過程を、どのように明らかにするかである<sup>7)</sup>。