

特集

車載情報機器操作時の精神的負担の行動的評価手法の開発と有効性の検討*

Development and Effectiveness Evaluation of Performance-based Assessment of Mental Workload Associated with Operating In-Vehicle Information Systems

石川 貴洋

Takahiro ISHIKAWA

石田 健二

Kenji ISHIDA

吉田 周平

Syuhei YOSHIDA

内藤 宏

Hiroshi NAITO

篠原 一光

Kazumitsu SHINOHARA

This study aimed to evaluate the effectiveness of a stimulus detection task as performance indices for assessing drivers' mental workload when operating in-vehicle information systems (IVIS). While operating a driving simulator, participants simultaneously performed some attention-demanding subsidiary tasks such as operations of a car navigation system and the detection of stimulus in the visual, auditory and tactile modalities. The reaction time and the detection error rate varied according to the difficulty level of the subsidiary tasks. These performance indices also varied according to the stimulus modalities reflecting the sense characteristics of the IVIS. Moreover they had a high correlation coefficient with NASA-TLX (NASA task load index). These results indicated that the proposed evaluation method is effective for estimating the mental workload when using IVIS.

Key words : Human engineering, Task load, Driver attention, Mental workload, Stimulus detection task

1. はじめに

1.1 研究の背景

近年、自動車への様々な情報通信技術の導入により車載情報機器は高機能化・多機能化し、ドライバと自動車をつなぐHuman Machine Interface (HMI) が複雑になってきている。これら機器は自動車の安全性・利便性をより高めるが、これらの操作にドライバの注意が過剰に用いられて注意力低下（ディストラクション）を引き起こすことがないように十分に配慮することが必要となってきている。このため、車載情報機器の操作による精神的負担を定量化でき、かつ、実際の製品開発でも簡便に活用できる評価手法の確立が望まれている。

本稿では刺激の検出と反応という単純な課題の行動成績を用いて精神的負担を評価する刺激検出課題法について検討する。刺激検出課題法の先行研究としては、視覚刺激を用いた周辺視野刺激検出課題法 (Peripheral Detection Task ; PDT)¹⁾²⁾ や触覚刺激 (振動刺激) を用いた触覚刺激検出課題法 (Tactile Detection Task ; TDT)²⁾、視覚、触覚、聴覚といった複数種類の感覚モダリティへ働きかける刺激を混在させて用いた精神的負担の量的側面だけでなく質的側面

までも評価しようとする刺激検出課題法³⁾⁴⁾ (便宜的にマルチモーダル刺激検出課題法 (Multimodal Stimulus Detection Task) と名づけ、MSDT法と略す) 等があり、車載情報機器のディストラクションテストとしてガイドライン化も検討されている⁵⁾。そこで、刺激検出課題法が精神的負担評価手法として適切であるかについての検討が必要となってきている。

1.2 精神的負担評価手法として満たすべき要件

精神的負担評価手法として満たすべき要件は、Wickensら⁶⁾によれば感度、診断性、選択性、無妨害性、時間分解能の5要件がある。更に心理学的測定法で一般的に求められる妥当性も重要と考え、次の6要件についての検討が必要と考えた。

- ①感度：課題の困難さや注意資源要求の変化に対して反応すること。
- ②診断性：課題から要求される注意資源が多重資源理論⁶⁾の観点から見てどのような特性（感覚モダリティ、処理段階、処理コード、反応）を持っているかを判別できること。
- ③選択性：課題と関係しない身体的負荷、情動ストレス等の要因によって影響を受けにくいこと。

* (社)自動車技術会の了解を得て、「自動車技術会論文集」 Vol. 44, No. 2 March 2013, 20134228より一部加筆して転載

- ④無妨害性：精神的負担を評価する行為自体が課題の遂行に対して影響を及ぼさないこと。
- ⑤時間分解能：精神的負担の時系列的な変動を表せること。
- ⑥妥当性：既に有効性が確認されている他の精神的負担評価指標と相関のある傾向を示すこと。

1.3 研究の目的

我々は、MSDT法が精神的負担評価手法として適切であるかを次の3ステップで検討することを目指す。本稿では、第1ステップの検討結果を報告する。

〔第1ステップ〕実験水準の全ての時間帯を一括して算出したMSDT法の行動成績（反応時間，見逃し率）に基づいて感度，診断性，選択性，妥当性の4要件を検討し，刺激検出課題の行動成績が精神的負担の定量化・定性化に有効であることをまずは検討する。

〔第2ステップ〕実験水準の全ての時間帯を一括して算出した運転成績や機器操作成績に基づいて無妨害性を検討し，MSDT法が主課題（運転課題や機器操作課題）と共存できることをつづいて検討する。

〔第3ステップ〕ドライバの身体動作変化や自車の走行状況変化を基に区切った時間単位での区分的な行動成績に基づいて時間分解能を検討し，ドライバの身体動作単位や自車両の走行状況単位の時系列変化に対してもMSDT法の行動成績が有効であることを最後に検討する。

先行研究³⁾⁴⁾では，実験水準間における精神的負荷水準の違いを車載情報機器での視認手操作と音声操作，ポータブル機器での視認手操作といった異なる操作体系を用いて設定している。このような方法で精神的負荷水準を設定すると，車載情報機器の操作課題から要求される注意資源の特性が水準間で異質となり刺激検出課題の行動成績の解釈が難しくなると考えられる。そこで本稿では，注意資源の特性を精神的負荷水準間で同質に揃えるため，車載情報機器での視認手操作に限定し同一操作体系における操作課題の有無および操作手数の違いに基づき設定することとした。

なお，本稿で用いるMSDT法は先行研究³⁾⁴⁾に則り，視覚刺激，触覚刺激，聴覚刺激の3種類のいずれか1つを呈示しドライバは刺激を知覚したら直ちにステアリングホイール把持部に設置したボタンを押下する課題とするが，視覚刺激および聴覚刺激の呈示方法，刺激に対するボタン押下方法は後述する手法を提案する。

2. 実験

2.1 実験参加者

運転免許を保有し，右利き，右ハンドル車を月に数回以上運転する男性19名（平均年齢21.7歳・標準偏差0.57，平均運転年数2.79年・標準偏差1.28）を有償雇用した。本研究は大阪大学大学院人間科学研究科行動系研究倫理審査委員会による審査と承認を受けており，インフォームドコンセントの取得等の倫理的配慮を行って実施した。

2.2 実験課題と教示

実験参加者は，主課題であるドライビングシミュレータ（以下DSと略す）による運転課題，DSのセンタークラスタに設置した8型ワイドサイズのタッチパネル式車載情報機器（以下ナビと略す）を視認手操作する課題（ナビ操作課題），MSDT法を同時に遂行した。課題の優先順位は，高い方から順に運転課題，ナビ操作課題，刺激検出課題と教示した。実験環境をFig. 1に示す。

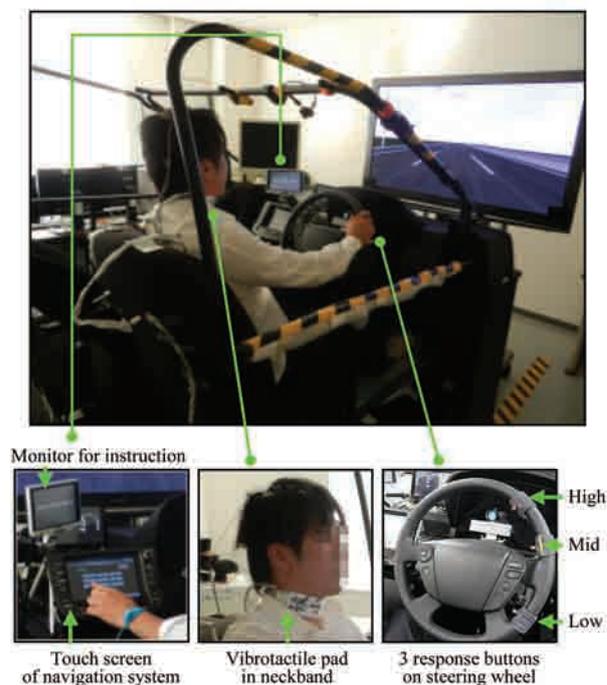


Fig. 1 Experimental Apparatus.

2.2.1 運転課題

DSを用い，S字カーブを繰り返す片側三車線の高速道路の真ん中車線を80～85km/hで走行する先行車を，横にふらつくことなく実験参加者が安全だと思ふ車間距離を保って追従する課題を用いた。

2.2.2 ナビ操作課題

一つの実験水準におけるDS走行開始から終了までの間、ナビ操作の指示、ナビ操作の実施、5秒程度の休止を繰り返す課題とした。ナビはステアリングホイール中心位置から左方向370mm、下方向50mm、奥方向180mmに画面中心がくるように設置した。ナビ操作は4種類とし、ナビ操作の指示では開始タイミングを音声で、操作内容をナビ画面の背後に設置した別の8型モニタで指示するようにした。

- ナビ操作なし（統制条件）：ナビ操作をしない。
- 地図スクロール：8型モニタに表示された矢印方向に2回、ナビ画面をタッチしてスクロールする。標準的な画面遷移数は2回、タッチ数は3回。
- ラジオ選局：8型モニタに表示された2つのラジオ局を順に選局する。標準的な画面遷移数は5回、タッチ数は6回。
- 電話番号入力：8型モニタに表示された電話番号を入力し目的地を設定する。標準的な画面遷移数は5回、タッチ数は14回。

2.2.3 MSDT法における刺激検出課題

一つの実験水準におけるDS走行開始から終了までの間、刺激の呈示、ボタン押下による反応、休止を繰り返す課題とした。刺激の呈示では視覚刺激、触覚刺激、聴覚刺激を混在させて3種類のいずれか1つをランダムな順に300ms間呈示するようにした。ボタン押下による反応では実験参加者が刺激を知覚したら直ちにステアリングホイール把持部に設置したボタンを押下して反応するよう求めた。休止では2000ms～4000ms内のランダムな休止時間を設定し次の刺激を待たせるようにした。刺激呈示開始から100ms未満で反応した場合は無効な試行、100ms～2000msで反応した場合は有効な試行、2000ms以内に反応がない場合は見逃し試行とみなした。そして、一つの実験水準の終了条件を視覚刺激に関する有効な試行を60回、触覚刺激及び聴覚刺激に関する有効な試行を各50回収集できるまでとした。

視覚刺激は、DSに着座した実験参加者から視距離1450mmに設置したTV画面（幅1110mm、高さ630mm）に、視線方向（水平0°、垂直0°）に相当するTV画面中心から（水平-15°～-10°、垂直-5°～+5°）、（水平+10°～+15°、垂直-5°～+5°）の2箇所内のランダムな位置に直径18mm（視角0.7°）の黄丸（輝度162cd/m²）

をDS映像に重畳して呈示した。このように設定した理由は、ある対象を注視しながら同時に別の標的を検出できる範囲を表す有効視野は左右方向±15°、上方向8°、下方向12°以内⁷⁾と言われており、この有効視野内かつDS映像画面と同一平面上に視覚刺激を呈示すれば、先行車を注視しながら同時に視覚刺激の出現を検出できると考えたためである。つまり、実験参加者が自然に前方の先行車を注視し視覚的注意も前方に向けている状態ならば眼球運動を行わずに視覚刺激を検出できるようになり、眼球運動に関わる反応遅れが刺激検出課題の行動成績に含まれないように配慮したためである。

触覚刺激は先行研究に倣い、実験参加者の右側首筋の耳下にネックバンドで固定した振動子（周波数167+41/-34Hz）を震わせて呈示した。

聴覚刺激は実験参加者の正面に設置したスピーカからDS走行音下で十分聞き取り得る音量の、人間の聴覚感度が最も高い周波数4kHzの正弦波音（走行音のみ52dB、走行音+聴覚刺激59dB）を呈示した。実験参加者の聴覚的注意も視覚的注意と同様に自然に前方に向けている状態とし、走行音とは明らかに異なる音で確実に聴覚刺激に気づけるようにした。

刺激に対する反応は実験参加者が押しやすいと感じたステアリングホイール把持部の3箇所配置したボタンのいずれか1つを押下する作業とした。実験遂行中は常にボタン上に親指を載せたままにするよう教示し、ボタン押下に関わる反応遅れが刺激検出課題の行動成績に含まれないように配慮した。また、ボタン位置は実験参加者が実験前に自由に変更できること、ボタン押下直後に次に押下するボタンを変えても良くどのボタンを押下するかは実験参加者に委ねることを教示し、ボタン押下に関わる身体的負荷が掛からないように配慮した。

以上のように、本稿ではMSDT法を視覚、触覚、聴覚への単純な刺激に対するボタン押下作業で構成することで3種類の刺激検出作業間では感覚モダリティに関わる注意資源と比べて、それ以外の処理段階、処理コード、反応に関わる注意資源が極力小さくなるように配慮した。

2.3 実験手続き

DS運転のみを行う一重課題（3分程度）、刺激検出のみを行う一重課題（3分程度）、DS運転とナビ操作

を同時に行う二重課題（3分程度）を地図スクロール、ラジオ選局、電話番号入力の種類分を実施した上で、本稿の解析対象となるナビ操作条件4水準を実施した。

- ①統制条件となるDS運転と刺激検出を同時に行う二重課題（12分程度）、CONTROLと略す。
- ②DS運転、ナビ操作の地図スクロール、刺激検出を同時に行う三重課題（12分程度）、MAPと略す。
- ③DS運転、ナビ操作のラジオ選局、刺激検出を同時に行う三重課題（12分程度）、RADIOと略す。
- ④DS運転、ナビ操作の電話番号入力、刺激検出を同時に行う三重課題（12分程度）、TELと略す。

なお、②～④の順序については、実験参加者18名でカウンターバランスを行い、残り1名はランダム順とした。

実験遂行中は刺激検出課題の行動成績だけでなく、DSが算出する車両挙動信号、実験参加者の生体信号（心電図、筋電図、脈波、胸郭呼吸、脳波、眼電図）も計測・記録した。加えて、各水準終了時にNASA-TLX法による主観的ワークロード評価も実施した。なお、本稿では生体計測について報告しない。

実験は2日に分けて行い、第1日目をインフォームドコンセントの取得やMSDT法とNASA-TLX法のやり方を十分理解し慣れさせる練習日、第2日目をデータの計測・記録を行う本番日とした。

3. データ解析結果

3.1 刺激検出課題の行動成績

独立変数を刺激モダリティ条件3水準 {視覚刺激、触覚刺激、聴覚刺激（それぞれをVISUAL, TACTILE, AUDITORYと略す）} とナビ操作条件4水準 {CONTROL, MAP, RADIO, TEL}、従属変数を後述する刺激検出課題の行動成績とした被験者内二要因分散分析を行った。

従属変数となる刺激検出課題の行動成績として、実験水準の全ての時間帯を一括して算出した検出反応時間と見逃し率を用いた。更に検出反応時間では見逃し試行を完全に除外した場合と考慮した場合の両側面から解析するため、以下に示す平均反応時間と反応時間中央値の2つを用いた。

- ①平均反応時間：刺激検出課題の有効な試行のみを対象として算出した平均値。
- ②反応時間中央値：刺激検出課題の見逃し試行の検出反応時間にタイムオーバー時間（2000ms）を

割り当て、有効な試行とタイムオーバー時間を割り当てた見逃し試行とを対象として算出した中央値。

刺激モダリティ条件とナビ操作条件における平均反応時間、反応時間中央値、見逃し率の実験参加者19名全体での平均値をFig. 2, Fig. 3, Fig. 4に示す。

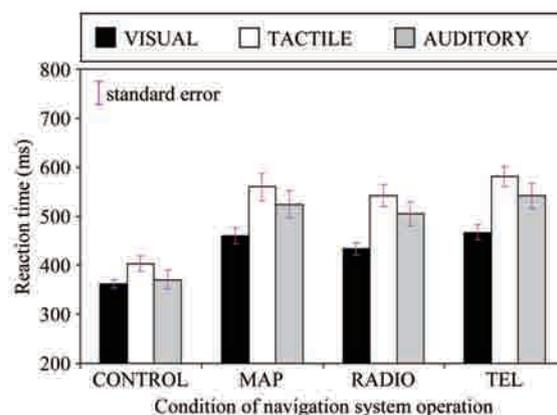


Fig. 2 Mean Reaction times with standard errors for visual, tactile and auditory stimulus for navigation system operations.

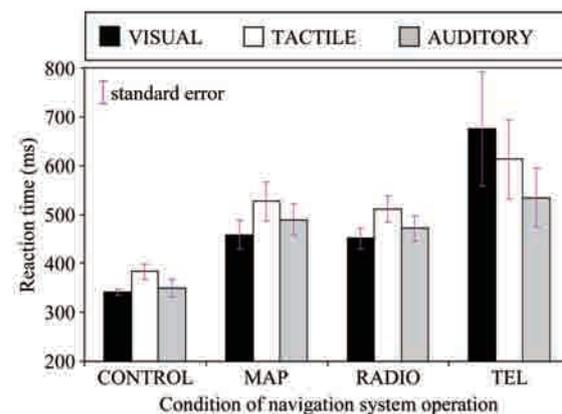


Fig. 3 Median Reaction times with standard errors for visual, tactile and auditory stimulus for navigation system operations.

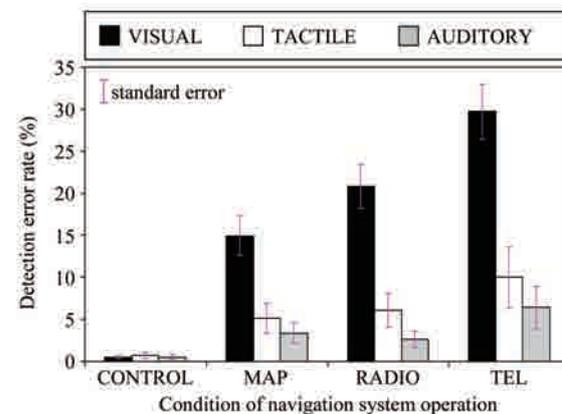


Fig. 4 Detection error rates with standard errors for visual, tactile and auditory stimulus for navigation system operations.

3.1.1 検出反応時間

平均反応時間と反応時間中央値を対数変換した後に刺激モダリティ条件3水準とナビ操作条件4水準での被験者内二要因分散分析を行った結果、どちらの指標値でも刺激モダリティ条件とナビ操作条件の交互作用が認められた（平均反応時間：F (6,108) = 5.55, p<0.01, 反応時間中央値：F (6,108) = 3.03, p<0.01）。

刺激モダリティ条件の各水準におけるナビ操作条件の単純主効果を検討したところ、刺激モダリティ条件のどの水準でもナビ操作条件で平均反応時間・反応時間中央値ともに有意に異なっていた。平均反応時間に関してシェッフェ法（有意水準5%）による多重比較を行った結果、VISUALでは[CONTROL < RADIO < MAP = TEL], TACTILEとAUDITORYでは[CONTROL < MAP], [CONTROL < RADIO], [CONTROL < TEL], [RADIO < TEL]の順に反応時間が長くなった。反応時間中央値に関してシェッフェ法（有意水準5%）による多重比較を行った結果、VISUALとTACTILEでは[CONTROL < MAP = RADIO < TEL], AUDITORYでは[CONTROL < MAP = RADIO = TEL]の順に反応時間が長くなった。

ナビ操作条件の各水準における刺激モダリティ条件の単純主効果を検討したところ、ナビ操作条件のどの水準でも刺激モダリティ条件で平均反応時間・反応時間中央値ともに有意に異なっていた。平均反応時間に関してシェッフェ法（有意水準5%）による多重比較を行った結果、CONTROLでは[VISUAL = AUDITORY < TACTILE], ナビ操作を実施するMAP, RADIO, TELのいずれでも[VISUAL < AUDITORY < TACTILE]の順に反応時間が長くなった。反応時間中央値に関してシェッフェ法（有意水準5%）による多重比較を行ったところ、CONTROLとRADIOでは[VISUAL = AUDITORY < TACTILE], MAPでは[VISUAL < AUDITORY < TACTILE], TELでは[AUDITORY < VISUAL = TACTILE]の順に反応時間が長くなった。

3.1.2 見逃し率

見逃し率を角変換し、刺激モダリティ条件3水準とナビ操作条件4水準での被験者内二要因分散分析を適用した結果、刺激モダリティ条件とナビ操作条件の交互作用が認められた（F (6, 108) = 26.72, p<0.01）。

刺激モダリティ条件の各水準におけるナビ操作条件の単純主効果を検討したところ、刺激モダリティ条件

のどの水準でもナビ操作条件により見逃し率が有意に異なっていた。シェッフェ法（有意水準5%）による多重比較を行った結果、VISUALでは[CONTROL < MAP < RADIO < TEL], TACTILEでは[CONTROL < MAP = RADIO < TEL], AUDITORYでは[CONTROL < MAP], [CONTROL < RADIO], [CONTROL < TEL], [RADIO < TEL]の順に見逃し率が高くなった。

ナビ操作条件の各水準における刺激モダリティ条件の単純主効果を検討したところ、ナビ操作を実施するMAP, RADIO, TELで刺激モダリティ条件により見逃し率が有意に異なった。シェッフェ法（有意水準5%）による多重比較を行った結果、ナビ操作を実施する3水準のいずれでも[AUDITORY < TACTILE < VISUAL]の順になった。

3.2 刺激検出課題の行動成績に対する実験実施順序の影響

独立変数を後述する実験順序条件4水準 {ID1, ID2, ID3, ID4}, 従属変数を後述する刺激検出課題の行動成績とした被験者内一要因分散分析を行った。

独立変数となる実験順序条件4水準 {ID1, ID2, ID3, ID4} は、ナビ操作条件4水準 {CONTROL, MAP, RADIO, TEL} に拘らずに4水準を実施した実験順序1番目から4番目毎にまとめて集計することで生成した。なお、本稿では実験順序1番目は常に統制条件としたため、ID1はCONTROLのみでまとめて集計した。実験順序2番目から4番目にはナビ操作を実施する3水準 {MAP, RADIO, TEL} が混在するため、ID2～ID4はMAP, RADIO, TELが混在した状態でまとめて集計した。従属変数となる刺激検出課題の行動成績として、実験順序条件の水準毎に全ての刺激モダリティを一括して算出した平均反応時間、反応時間中央値、見逃し率を用いた。実験順序条件における平均反応時間、反応時間中央値、見逃し率の実験参加者19名全体での平均値をFig. 5, Fig. 6, Fig. 7に示す。

平均反応時間と反応時間中央値は対数変換した後に、見逃し率は角変換した後に実験順序条件4水準での被験者内一要因分散分析を適用した結果、いずれにおいても実験順序条件の主効果が認められた（平均反応時間：F (3,54) = 67.97, p<0.01, 反応時間中央値：F (3,54)=19.27, p<0.01, 見逃し率：F (3,54)=25.48, p<0.01）。ライアン法による多重比較（有意水準5%）を行った結

果, [ID1 < ID2 = ID3 = ID4]の順に検出反応時間が長くなり, 見逃し率も高くなった. ID1は必ずCONTROLであったため, MAP, RADIO, TELが混在するID2~ID4の間の差について注目すると, 検出反応時間・見逃し率ともに実験実施順序による影響はなかったといえる.

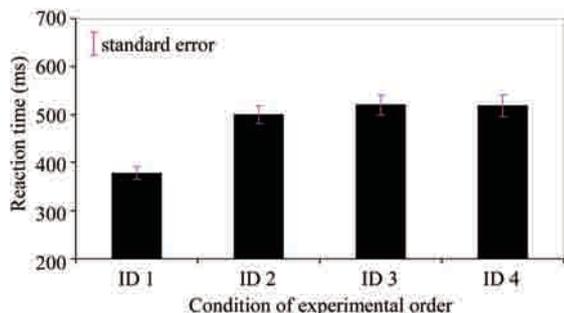


Fig. 5 Mean Reaction times with standard errors for experimental orders.

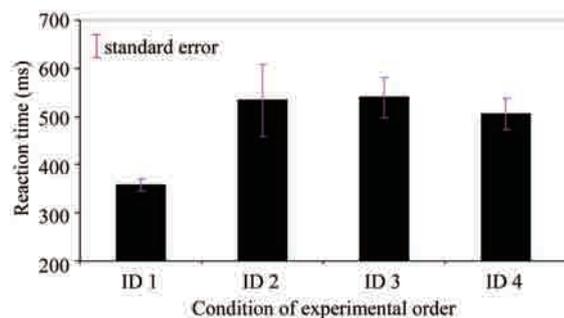


Fig. 6 Median Reaction times with standard errors for experimental orders.

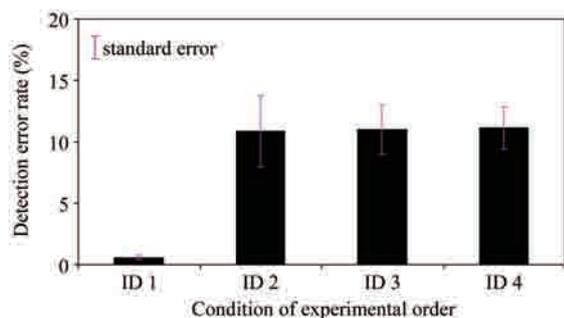


Fig. 7 Detection error rates with standard errors for experimental orders.

3.3 刺激検出課題の行動成績と主観評価値との相関関係

独立変数をナビ操作条件4水準 {CONTROL, MAP, RADIO, TEL}, 従属変数を後述する主観評価値とした被験者内一要因分散分析を行った.

従属変数となる主観評価値として, NASA-TLXデータの各評定値を重みづけ係数により加重平均して算出したWWL (weighted workload) を用いた. なお, 実

験参加者19名中2名分でNASA-TLXデータの記入漏れが生じたため除去し, 17名分でデータ解析を行った. ナビ操作条件におけるWWLの実験参加者17名全体での平均値をFig. 8に示す.

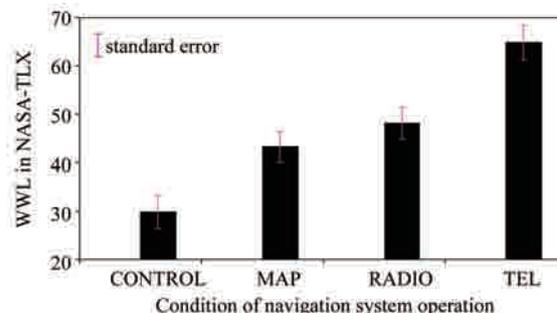


Fig. 8 Subjective mental workload ratings with standard errors for navigation system operations.

WWLに関するナビ操作条件4水準での被験者内一要因分散分析を適用した結果, ナビ操作条件の主効果が認められた ($F(3,48) = 34.06, p < 0.01$). ライアン法による多重比較 (有意水準5%) の結果, [CONTROL < MAP = RADIO < TEL]の順にWWLが高くなった.

続いて, ナビ操作条件4水準において刺激検出課題の行動成績とWWLの相関分析を行った. ここで, 刺激検出課題の行動成績は, 全ての刺激モダリティを一括して算出した平均反応時間, 反応時間中央値, 見逃し率, および3種類の刺激モダリティ毎の平均反応時間, 反応時間中央値, 見逃し率を用いた. なお, NASA-TLXデータの記入漏れがあった実験参加者2名は除去し, 17名分でデータ解析を行った. 検出反応時間は対数変換を, 見逃し率は角変換をし, 更に実験参加者間の個人差の影響を排除し各実験参加者内でのナビ操作水準の違いに起因するデータ分布に着目するため, 検出反応時間, 見逃し率, WWL各々を実験参加者毎にナビ操作条件4水準間で標準得点化した. 刺激検出課題の行動成績とWWLを相関分析した結果, 平均反応時間 (一括: $R = 0.73, p < 0.01$, 視覚: $R = 0.69, p < 0.01$, 触覚: $R = 0.70, p < 0.01$, 聴覚: $R = 0.70, p < 0.01$), 反応時間中央値 (一括: $R = 0.75, p < 0.01$, 視覚: $R = 0.75, p < 0.01$, 触覚: $R = 0.75, p < 0.01$, 聴覚: $R = 0.66, p < 0.01$), 見逃し率 (一括: $R = 0.74, p < 0.01$, 視覚: $R = 0.77, p < 0.01$, 触覚: $R = 0.55, p < 0.01$, 聴覚: $R = 0.44, p < 0.01$) となり, いずれにおいても有意な正の相関が認められた. 全ての刺激モダリティを一括して算出した見逃し率あるいは視覚刺激, 触覚刺激, 聴覚刺激毎の見逃し率とWWLの関係をFig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12に示す.

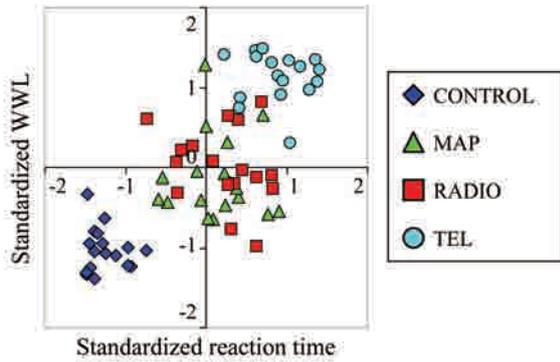


Fig. 9 Correlation between standardized detection error rates calculated from 3 stimulus and standardized subjective mental workload ratings.

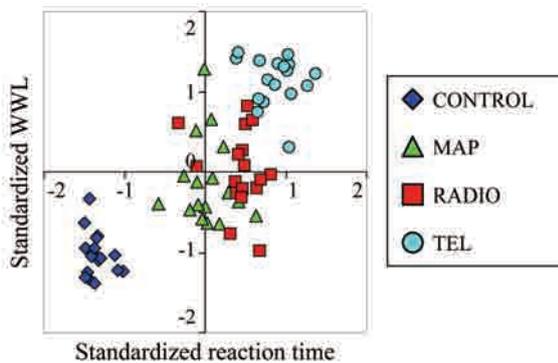


Fig. 10 Correlation between standardized detection error rates calculated from visual stimuli and standardized subjective mental workload ratings.

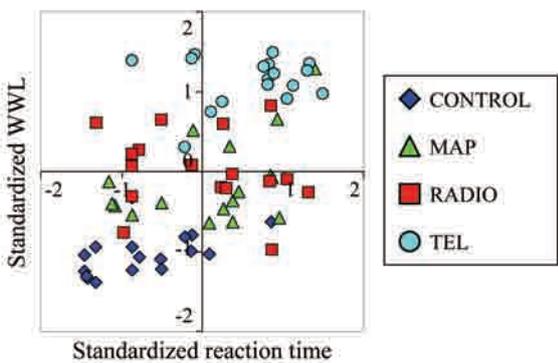


Fig. 11 Correlation between standardized detection error rates calculated from tactile stimuli and standardized subjective mental workload ratings.

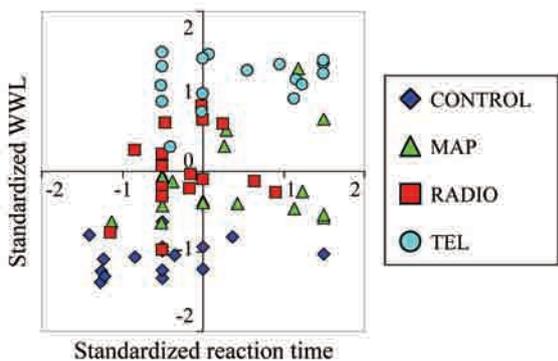


Fig. 12 Correlation between standardized detection error rates calculated from auditory stimuli and standardized subjective mental workload ratings.

4. 精神的負担評価手法として満たすべき要件の確認

4.1 要件の確認方法

本稿で検討する4要件（感度，診断性，選択性，妥当性）を以下の要領で確認していく。

- 感度：精神的負荷水準の違いに対応して刺激検出課題の行動成績が変化し，感度要件を満たすことを確認する。
- 診断性：精神的負荷水準の違いに対応して刺激モダリティ間で刺激検出課題の行動成績の傾向が異なり，診断性要件を満たすことを確認する。
- 選択性：主課題から直接的に受ける一次的負担だけでなく時間経過に伴って発生する疲労・覚醒低下等の二次的負担によっても作業成績は影響を受ける⁸⁾とされているため，実験実施順序に対応して刺激検出課題の行動成績が変化しなければ時間経過に伴う二次的負担の要因によって影響を受けなかったと考えられる。そこで，実験実施順序に対応して刺激検出課題の行動成績が変化せず，選択性要件を満たすことを確認する。
- 妥当性：精神的負荷水準の違いに対応して刺激検出課題の行動成績が一般的な主観的ワークロード評価法であるNASA-TLX法の評価値と強い相関関係になり，妥当性要件を満たすことを確認する。

4.2 感度の確認

3.1記載の刺激検出課題の行動成績およびFig. 2, Fig. 3, Fig. 4より，ナビ操作を実施しない水準（CONTROL）と実施する3水準 {MAP, RADIO, TEL} 間で刺激検出課題の行動成績は顕著に異なった。加えて，操作手数が最も多いTELが最も成績が悪いように刺激検出課題の行動成績はナビ操作条件の操作手数の違いも反映して変化した。この結果からMSDT法は精神的負担の違いに対して感度があると考えられる。

4.3 診断性の確認

Fig. 4記載の見逃し率においてナビ操作を実施する3水準 {MAP, RADIO, TEL} から統制条件 (CONTROL) を引いた差分量の変動傾向を3種類の刺激モダリティ間で比較すると，視覚刺激水準 (VISUAL) の見逃し率が最も顕著に変動した。次いで触覚刺激水準 (TACTILE) の見逃し率が聴覚刺激水準 (AUDITORY) よりも大きく変動した。本稿では3種類の刺激検出作

業間で感覚モダリティに関わる注意資源に比べてそれ以外の注意資源が極力小さくなるように配慮したため、この結果はナビ操作課題によって視覚的注意資源が最も顕著に影響を受け、次いで触覚的注意資源が影響を受けたことを示唆すると考えられる。

加えて、3.3記載の刺激検出課題の行動成績と主観評価値との相関関係およびFig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12より、見逃し率と主観評価値の相関係数は視覚刺激水準 (VISUAL) が触覚刺激水準 (TACTILE)、聴覚刺激水準 (AUDITORY) と比べて顕著に大きく、かつ、全ての刺激モダリティを一括して算出した値よりも大きかった。次いで触覚刺激水準 (TACTILE) が聴覚刺激水準 (AUDITORY) よりも大きかったが、全ての刺激モダリティを一括して算出した値よりは小さかった。この結果はナビ操作課題の視覚的注意資源に対する要求が実験参加者の主観的な精神的負担感に最も大きく影響したことを示すと考えられる。

本稿では視認手操作に限定した同一操作体系でナビ操作条件4水準を設定したため、視覚的注意資源が最も影響を受け、次いで触覚的注意資源が影響を受けたことは理に合っていると考えられる。

以上より、MSDT法では行動成績が大きく変化する刺激モダリティが何かを見ることで、実験で用いた課題がどのような種類の感覚モダリティに関する注意資源を要求し、実験参加者に対してどのような精神的負担感を感じさせているかの質的側面も評価できると考えられる。

4.4 選択性の確認

3.2記載の実験実施順序の影響を検討した結果およびFig. 5, Fig. 6, Fig. 7より、ナビ操作を実施する3水準 [MAP, RADIO, TEL] の実験順序間では刺激検出課題の行動成績の違いは認められず、時間経過の影響が認められなかった。石田ら⁹⁾により重度な眠気が表れないと反応時間に遅れは生じないとも報告されているため、刺激検出課題法はナビ操作課題と関係しない時間経過に伴う軽度な覚醒低下や疲労等に対する感度は鈍いと考えられる。

4.5 妥当性の確認

3.3記載の刺激検出課題の行動成績と主観評価値との相関関係およびFig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12より、全ての刺激モダリティを一括して算出した行動成績お

よび本稿のナビ操作課題が最も必要とした視覚的注意資源に関連する視覚刺激水準 (VISUAL) の行動成績だけでなく、触覚刺激水準 (TACTILE) ・聴覚刺激水準 (AUDITORY) の行動成績でもNASA-TLXのWWLと有意な正の相関が認められた。この結果から、モダリティ3種類の総合的な行動成績にも個別の刺激モダリティ毎の行動成績にもNASA-TLX法で評価される精神的負担感の変動が反映されていると解釈でき、MSDT法が併存的妥当性を持っていることを示唆している。

5. おわりに

本稿では、MSDT法の行動成績を精神的負担評価手法として満たすべき4要件 (感度, 診断性, 選択性, 妥当性) に照らし合わせた結果、MSDT法が4要件全てを満たし、精神的負担評価手法として有望であることを確認した。今後は6要件中の残り2要件 (無妨害性, 時間分解能) を満たしているかを確認していく。

加えて、MSDT法を実際の製品開発に活用することで車載情報機器の安全性・利便性を高められるようにするためには、「安全」と判断できる基準の設定、女性や高齢者といった多種多様なドライバ群への適用、タッチパネル式車載情報機器だけでなく音声操作式車載情報機器やポータブル式情報機器への適用等の検討が必要と考えている。

謝 辞

本稿の実験を共同で実施し、多くの有益な助言を頂いた関西大学 小谷賢太郎先生、鈴木哲先生、朝尾隆文先生、榎田亨氏に心から感謝の意を表す。

<参考文献>

- 1) Jahn, G., Oehme, A., Krems, J.F. and Gelau, C.: Peripheral detection as a workload measure in driving: Effects of traffic complexity and route guidance system use in a driving study, Transportation Research Part F, 8, pp.255-275 (2005).
- 2) Gary, L.R.: Performance metrics for assessing driver distraction: the quest for improved road safety, SAE International (2010).
- 3) 篠原一光, 嶋田 淳, 木村貴彦, 大須賀美恵子, 若松正晴: 車載情報機器利用時のドライバの認知負担の刺激検出課題による評価, 自動車技術会学術

講演前刷集, No.81-12, pp.13-18 (2012).

- 4) Merat, N. and Jamson, H.A. : The effect of stimulus modality on signal detection: Implications for assessing the safety of in-vehicle technology, *Human Factors*, 50, pp.145-158 (2008).
- 5) Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines for In-Vehicle Electronic Devices, from the U.S. Federal Register. <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2012-02-24/pdf/2012-4017.pdf> (accessed 2012-7-31).
- 6) Wickens, C.D. and Hollands, J.G. : *Engineering psychology and human performance* Third Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River (1999), p.301-314
- 7) 独立行政法人 産業技術総合研究所 人間福祉医工学研究部門：人間計測ハンドブック，東京，朝倉書店 (2003)，p.586-587, p.808
- 8) 芳賀繁：メンタルワークロードの理論と測定，東京，日本出版サービス (2001)，p.46-53
- 9) 石田健二，蜂須賀知理，木村禎祐，上條正義：覚醒低下に伴う顔表情の表出傾向とパフォーマンス・生体信号の変化に関する比較検討，自動車技術会学術講演前刷集, No.109-08, pp.5-10 (2008)

<著 者>



石川 貴洋
(いしかわ たかひろ)
エレクトロニクス研究部
人間工学の研究開発に従事



石田 健二
(いしだ けんじ)
エレクトロニクス研究部
工学博士
人間工学の研究開発に従事



吉田 周平
(よしだ しゅうへい)
大阪大学大学院 人間科学研究科
修士2年
メンタルワークロードの研究に
従事



内藤 宏
(ないとう ひろし)
大阪大学大学院 人間科学研究科
助教 博士 (人間科学)
行為と視覚的注意の研究に従事



篠原 一光
(しのはら かずみつ)
大阪大学大学院 人間科学研究科
准教授 博士 (人間科学)
日常的認知と注意に関する心理
学的研究に従事