

有効視野を用いたメンタルワークロード 推定手法の基礎検討 —ドライビングシミュレータ操縦を題材として—

Basic study on a method to estimate mental workload using useful field of view
- Based on operating a driving simulator -

森島 圭祐 大本 浩司 山中 仁寛

要旨

近年、自動車において運転中に利用される情報通信サービスの普及が始まっている。これの安全な利用のために、運転者の情報処理の負担レベル（メンタルワークロード）に応じて運転者に提供する情報量をコントロールする必要がある。これを実現するためには、運転者のメンタルワークロードを推定する手法が不可欠である。そこで、本稿では運転者の有効視野に着目し、運転者のメンタルワークロードと有効視野との関係を明らかにした上で、ドライビングシミュレータの操縦を題材として、運転者の運転行動を妨げずに有効視野を推定する手法について検討を行った。その結果、メンタルワークロードの増加により有効視野が狭窄することを定量的に示すことができた。また、頭部を固定せず自由な視線移動が可能な状態において有効視野を計測する手法を確立した。さらに、処理の深さと広さを表す眼球運動関連パラメータを用いることで、運転者の有効視野を推定できる可能性があることを示した。これらより、視線情報を用いて運転者の運転作業に影響を及ぼさずにメンタルワークロードを推定できる可能性を示すことができた。

Abstract

In recent years, the use of telecommunication services while driving automobiles has begun to spread. In order to ensure safe use of these services, there is a need to control the amount of information provided in accordance with the mental workload (MWL) imposed on the driver to process the information. To achieve this task, a method for estimating a driver's MWL is essential. In this report, we discuss how we focused on the driver's "useful field of view (UFOV)" and clarified the relationship between the driver's MWL and UFOV as a working premise, and then explored methods to estimate a driver's UFOV without obstructing the driver's vehicle operation based on operating a driving simulator. Our results showed that it is possible to quantitatively show how an increase in MWL causes the UFOV to become narrower. We also succeeded in developing a method for measuring the UFOV without fixing the head. Furthermore, by using parameters related to eye movement that indicate the depth and breadth of information processing, we were able to show that it may be possible to estimate the driver's UFOV. Based on these results, we were able to show the possibility of estimating MWL without affecting driver operation by using eye movement.

1 はじめに

情報通信技術の進展により、4輪車や2輪車等の自動車においてもITS (Intelligent Transport Systems)やASV (Advanced Safety Vehicle)など、情報通信技術を応用した技術の普及が推し進められている。特に近年では、スマートフォンの普及とこれに伴い高速モバイル通信規格(LTE等)の普及が進んでおり、自動車においてもこれらを活用した情報通信サービスの普及が進むと予想される。一方、自動車の運転者は、安全のために常に目や耳から情報を取得し、これをもとに他車両や歩行者の動き、信号や標識など、道路交通環境に存在する様々な情報に注意を払いながら運転を行わなければならない。しかしながら、運転者が処理できる情報の量には限

界があり、運転中の情報通信サービスの利用により運転者が処理しなければならない情報が増えると、安全な運転のために注意を払うべき情報に対する見落としや見誤り、誤判断、誤操作といったヒューマンエラーを誘発し、交通事故の一因となる可能性もある。そのため、自動車の運転時に利用される情報通信サービスを設計する際には、その利用が運転者にとって過剰な負担とならないよう考慮する必要があることはもちろんのこと、運転中においては、その負担レベルに応じて運転者に提供する情報の量をコントロールする必要がある。そこで、本稿では運転者が上述のような情報処理を行う際の負担レベルをメンタルワークロード(以下、MWL)と定義し、運転中

においてこのMWLを定量的に推定する手法について検討する。

ところで、前段において情報通信サービスの利用が交通事故の一因となる可能性について指摘した。交通事故のうち人身事故は実に83%が認知の欠如と反応の遅れに由来していることが知られているが、その認知の約90%が視覚情報によるものであるといわれている^{[1][2]}。そのため、運転者は見落としや不注意をなくするため歩行者や信号等の適切な視対象を速く正確に捉えなければならない^[3]。これらのことから、運転者が視対象をどの程度の範囲において捉えることができているかを理解することは、自動車の運転時に利用される情報通信サービスを設計する際に必要不可欠であるといえる。運転者が視対象を捉えることのできる視野の範囲を有効視野という。具体的には有効視野とは、視覚認知作業をするときに有効に活用されている視野内における視覚情報収集可能範囲のことである^{[4][5]}。この有効視野の範囲は絶対的に規定されるものではなく、視対象の種類(大きさ・形状など)や作業環境(周辺の明るさなど)によって変化する範囲であるため、現在までのところ有効視野の標準的な評価法は定まっていない^[5]。そのため、自動車運転時のMWLと有効視野の関係を調べた先行研究は存在するものの、両者を定量的に取り扱ったものは少ない^{[6]-[9]}。また、従来の有効視野評価法は、頭部を固定する必要があるもの、視野内に視標を提示する必要があるものなど、運転作業そのものに影響を与えるものであり、運転作業に影響を及ぼさずに有効視野を評価する手法は確立されていない^{[10]-[12]}。

そこで本稿では、MWLと有効視野範囲の定量関係を明らかにした上で、ドライビングシミュレータの操縦を題材として運転作業に影響を及ぼさずに有効視野を推定する手法を検討する。これを通して、運転者のMWLを有効視野より推定する手法の提案を目指す。

2 有効視野計測・評価法

本稿では、有効視野計測・評価法として山中ら^[13]の手法を採用する。これは、注視点からの視対象までの距離を刺激の強度ととらえ、その距離における視対象の検出確率を心理測定曲線を推定することで求める方法であり、定量的に有効視野を測定することができる。

2-1. 心理測定曲線に基づく有効視野計測法

心理測定曲線で評価される刺激閾値を結んで形成される包絡線内の領域を有効視野と定義する。いま、図1に示すように、注視点 S_1 から認知対象物 S_2 への距離を x とする。

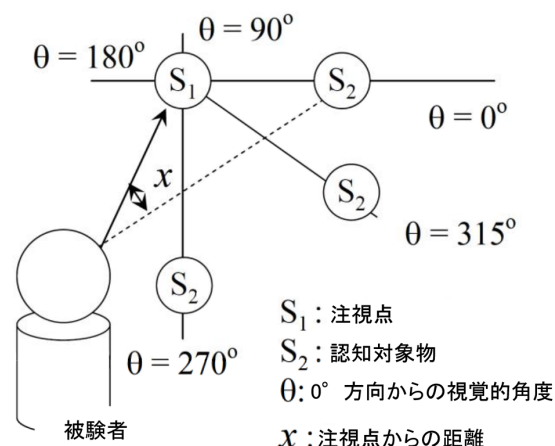


図1 注視点と視覚刺激の距離ならびに方向

x は刺激強度を表す心理物理量であり^[14]、 x が小さいほど刺激は強く、 x が大きいほど弱い。このため、 x を小さい値から大きくするとき認知できなくなる値が存在する。この認知できなくなる x の値は、刺激閾値(stimulus threshold)であり、それを有効視野の縁と考える。この刺激閾値と検出確率の間には関数関係が成立し、その関数を表す曲線は心理測定曲線と呼ばれ、図2に表すような曲線になる^[15]。なお、図2に表す縦軸は非検出確率を表している。いま、図3に示すように固視点 S_1 から各方位における心理測定曲線が得られるとき、それぞれの方位における刺激閾値を結んだ包絡線によって得られる領域を本研究では有効視野(UFOV)と定義している。ここでの刺激閾値は、心理測定曲線が刺激強度(ここでは注視点からの距離)を引数とする非検出確率の累積分布関数であることより、非検出確率を指定したときの累積分布関数の逆関数で得られるパーセント点に相当している。非検出確率が50%の場合の刺激閾値は主観的等価値(PSE)に相当し^[16]、特に断らない限り本研究の有効視野は各方位でのPSEからの包絡線によって形成される。

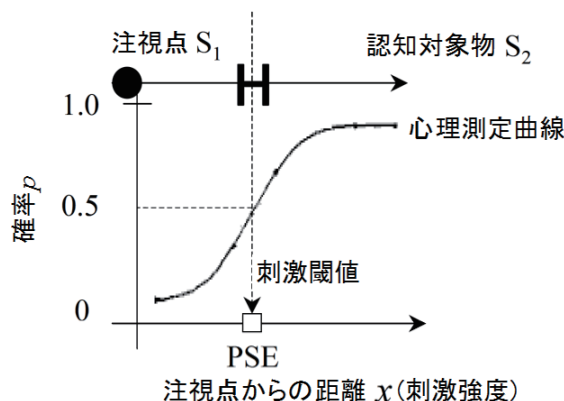


図2 刺激の強度と心理測定曲線

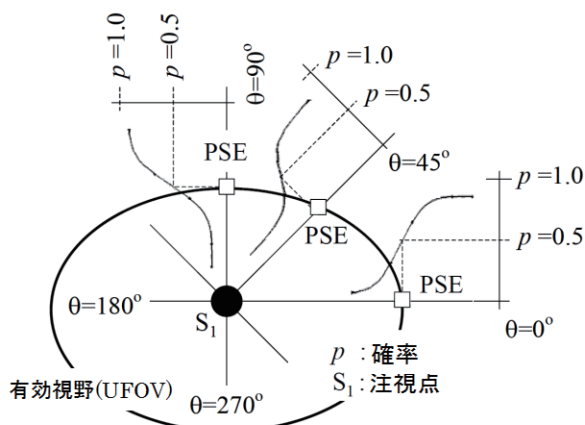


図3 有効視野の定義

ところで、心理測定曲線は刺激強度(あるいは知覚閾値) x の関数として次式で表すことができる。

$$P = f(x) \quad (1)$$

式(1)の左辺は確率であり、一般に次式のような正規分布の累積分布関数による確率で与えられている^[15]。

$$P = \Phi(y) = \int_{-\infty}^y \phi(y) dy, \quad y = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x}, \quad \phi(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} \quad (2)$$

ここに、 μ_x 、 σ_x は x の平均と標準偏差を表し、 $\Phi(\cdot)$ 、 $\phi(\cdot)$ は正規分布の確率密度関数と累積分布関数である。本研究では、視対象の検出が可能な範囲を有効視野と定義していることから、注視点 S_1 から認知対象物 S_2 までの距離 x を変化させて2件法^[15]による“検知できる”もしくは“検知できない”反応を被験者の持つ押しボタン情報として記録することで、図2のような心理測定曲線を描く。これは実際には式(2)の確率分布のパラメータを推定することであり、後述の実験に応じて異なる手法を用いてパラメータの推定を行う。

3 MWLと有効視野範囲の定量関係の検討

ここでは、第2節にて述べた手法により得られる定量的な有効視野範囲とMWLの関係を検討する。これにより有効視野範囲によるMWL推定の可能性を明らかにすることを目的とする。

3-1. 実験内容

図4に実験概要図と実験風景をそれぞれ示す。

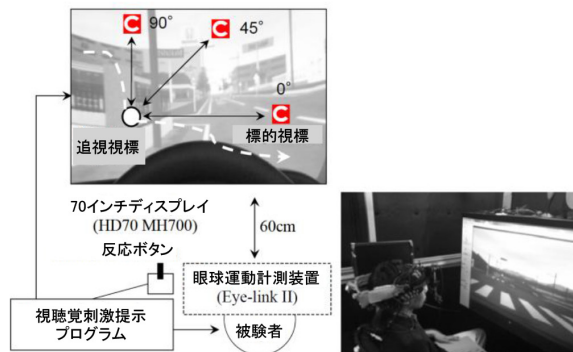


図4 実験概要図

被験者は70インチのディスプレイ表示面の60cm 前方に頭部非固定の状態を着座し、2つの課題を同時に遂行する。主課題はディスプレイに提示された視標の検出課題である。被験者は画面に提示された運転映像上をランダムに10°/sの速さで移動する大きさ直径1°の白色円形の追視視標に視覚的注意を集中させ、眼球、頭部運動により追従作業を行う。被験者は、白色円形視標の周辺に出現する標的視標を検出し、手元のスイッチの押下により反応する。この標的視標はランドルト環の周辺に赤色の領域を設けたものであり、大きさは追視視標と同等である。標的視標の提示位置はステアケース法^{[17][18]}に従って被験者の反応により決定される。即ち、被験者が標的視標を検出できたときには一定の距離だけ視標を遠ざけ、検出できないときには視標を近づける。この手法を用いて、各方向における視野計測(1実験)につき30試行繰り返し出現するように構成した表示プログラムにより標的刺激を提示する。実験では水平、垂直、斜め(注視点から時計の3時方向を $\theta = 0^\circ$ として反時計回りに $\theta = 45^\circ$ 、 90°)の3方向の視野計測を行う。視標検出課題では、標的課題の提示時間は1.0s、表示間隔は3.0s $\pm$ 50%であり、1実験は約2分から3分程度である。一方、視標検出課題と同時に遂行する副次課題として、数的課題(一桁の数字の読み上げ、加算作業)を課す。この数的課題は先行研究^[19]において、事象関連電位との同時計測によりMWLの定量化が既に行われており、負荷の低いものから、「課題なし」、「読み上げ」、「加算」である。数的課題は、一桁の数値が音声により3.0s間隔で被験者に伝えられ、被験者がその数値を復唱する課題を「読み上げ」、連続する2つの数値を加算し答えの一桁目のみを回答する課題を「加算」とし、各課題の正答率を評価指標とする。数的課題の提示はディスプレイ上に設置したスピーカーにより行い音量は70dB(乗用車内における通常会話に相当)程度とした。

以上、本実験は視標検出課題が3方向(水平、垂直、斜め)、

数的課題が3条件(なし、読み上げ、加算)の2因子3水準の実験であり、実験順序はランダムである。

なお、被験者は、21~23歳(平均21.8歳、標準偏差0.75 歳)の運転免許証を所有している健康な男子学生21名とし、実験内容について十分な説明を行い、書面にて同意が得られた後、実験を行った。

3-2. 実験結果

図5に数的課題の正答率を示す。図中の値は、各条件における全被験者の平均であり、図中のエラーバーは標準偏差を示している。なお、以後の図も同様の表記とする。図より、「読み上げ」より「加算」で正答率が顕著に低下しており($p<0.01$, t 検定)、「読み上げ」ではほぼ100%、「加算」では約85%であった。この結果より、「なし」と「読み上げ」のMWLの差は小さく、「加算」になるとMWLが顕著に増加していることがわかる。このことは、本研究で用いたMWL課題条件は段階的にMWLが増加していることを示しており、研究目的を達成するために適切な課題設定であったといえる。

次に、各数的課題条件における3方向の視野計測結果を用いて楕円近似で推定した有効視野領域を特性値とし、数的課題条件と視標出現方向を要因とした二元配置分散分析を行った。その結果、数的課題($p<0.05$)、出現方向($p<0.01$)とも有効視野の影響因子であることが統計的に示された。出現方向について多重比較検定 (Holm 法)を実施した結果、「水平」と「垂直」($p<0.05$)、「斜め」と「垂直」($p<0.05$)の間に有意な差がみられ、垂直方向で視野が最も小さい結果となった。この結果は、先行研究^{[6][7][9]}において報告されている垂直方向で狭く、水平方向で広いといった視野形状と一致しており、本研究における有効視野計測が精度よく行われていることが確認できた。

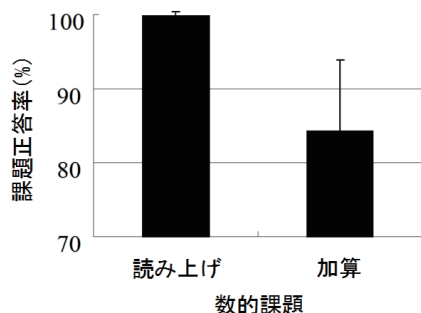


図5 メンタルワークロードと数的課題正答率の関係

続いて、数的課題条件と有効視野の関係を図6に示す。また、図中のデータを用いた多重比較検定 (Holm 法)の結果も

併記する。図より最もMWL 負荷の大きい「加算」において有効視野が最も小さくなり、多重比較検定の結果、「なし」と「加算」($p<0.05$)、「読み上げ」と「加算」($p<0.05$)間に有意な差がみられた。これはMWL 負荷が大きくなるほど有効視野が狭窄することを示している。このことより、MWLの推定に有効視野範囲を用いることは妥当であると考えられることから、次節では運転者の運転作業に影響を及ぼさない有効視野範囲の推定法を検討する。

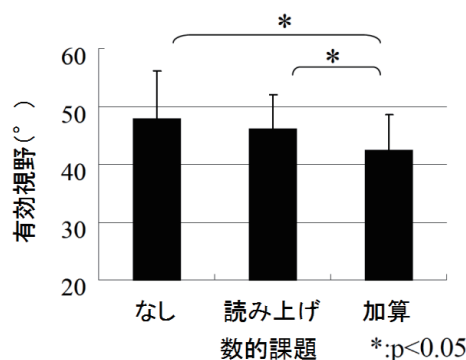


図6 メンタルワークロードと有効視野の関係

4

運転作業に影響を及ぼさない有効視野推定手法の検討

本節では、頭部・眼球運動に全く制限を課さない完全自由視状態で、運転者に反応課題を課すことなく、有効視野の計測ならびに推定が可能な手法についての提案を行う。具体的には、完全自由視の状態での有効視野計測実験により得られる有効視野範囲(目的変数)と、運転者を拘束することなく計測可能な眼球運動を計測することで得られる関連パラメータ(説明変数)の関係を明らかにし、有効視野範囲を眼球運動計測により推定することができる実験式を提案することが本研究の目的である。

4-1. 実験内容

本実験はドライビングシミュレータ(以下DS)により実施する。図7に実験機器構成図を示す。被験者には眼球運動計測装置を装着し、角膜反射法により眼球運動ならびに瞬目を、DSの運転席後方ならび側方に被験者からの距離60cmの位置に設置したハイスピードカメラにより頭部運動をそれぞれ計測する。被験者は完全自由視状態でDSの運転作業を遂行する。走行するコースについては、図8に前方映像の一例とともに示すものである。走行は一般的に自動車教習所での危険予測教習に採用されている事故を誘発するような危険

有効視野を用いたメンタルワークロード推定手法の基礎検討 - ドライビングシミュレータ操縦を題材として -

Basic study on a method to estimate mental workload using useful field of view

- Based on operating a driving simulator-

イベントを除いた市街地走行とする。被験者には、速度制限を40km/hとし、交通法規を遵守した運転を行うよう教示する。被験者はDSの運転作業と同時に視標検出課題を遂行する。視標検出課題とは、DSスクリーン上の水平80°、垂直22°の範囲内に3秒間隔で2秒間出現する検出視標にハンドルに取り付けたボタンで応答するものである。検出視標は前述の第3節における実験に用いたものと同様であり、DSの画面上空間にランダムな位置に提示される。この反応課題の成績を用いて第2節に示した手法により有効視野の計測を行う。なお、心理測定曲線の推定にはプロビット法^[13]を用いる。本実験ではDSの視標表示領域が垂直方向で小さいため、十分な広さを確保でき、精度の良い視野領域の計測が可能である水平方向の有効視野のみを計測する。具体的には、検出視標出現時の注視点に対して左右いずれかの水平方向(水平方向を0°として0°±15°の範囲)に検出視標が出現した場合のデータで有効視野を算出する。

また、被験者には副次課題(以下MWL 課題)として、第3節における実験にて用いたものと同様の数的課題(なし、読み上げ、加算)を課す。

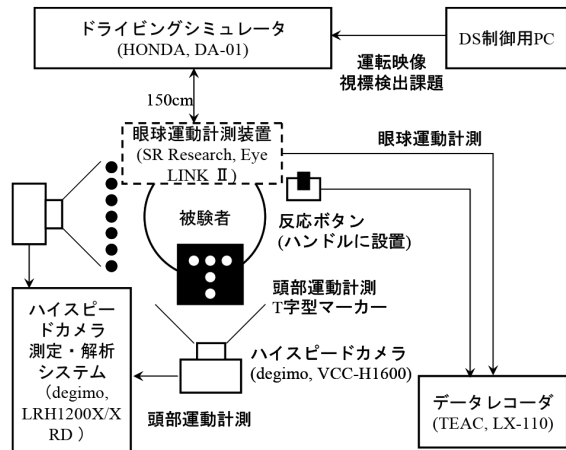
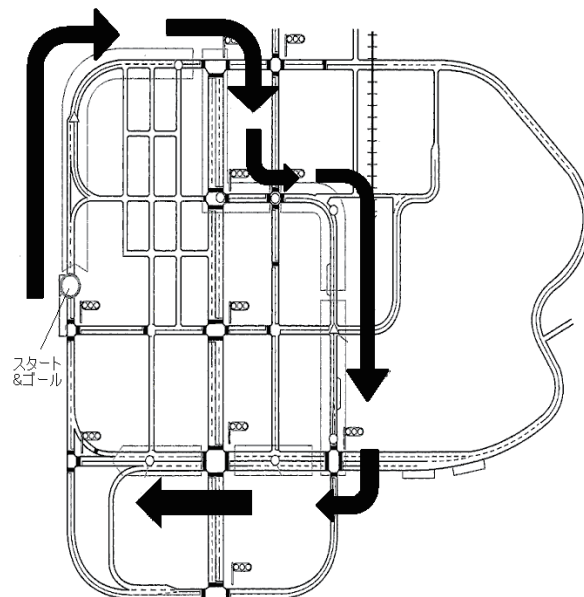


図7 実験機器構成図

実験スケジュールを図9に示す。被験者は一日につき1種類のMWL課題条件下にて実験を行い、各日の最後には被験者にNASA-TLX^[20]評価シートへの回答を求め主観的評価指標とする。なお、MWL課題の実施順序はランダムとし、視標検出課題有りと検出課題無しとの2種類の走行の下で課題を遂行する。これにより、視標提示の無い一般的な運転条件にて計測された眼球運動に関連するパラメータと有効視野範囲の関係性について検討を行うことができる。また、視標検出課題有りの条件はDSの走行コース2周(3分×2)を繰り返し行うため、

計4周(12分)の走行における検出視標への応答から1つの有効視野を算出する。

なお、被験者には課題遂行の優先度が、DSの運転課題、視標検出課題、MWL課題の順であることを教示する。被験者は、21~25歳(平均22.9歳、標準偏差1.05歳)の運転免許証を所有している健康な男子学生9名とし、実験内容について十分な説明を行い、書面にて同意が得られた後、実験を行った。



(a) 走行コース



(b) 運転映像のスナップショット

図8 走行コースと運転映像のスナップショット

練習走行 30分	休憩 10分	実験走行18分(3分×6周)			NASA-TLX
		視標検出課題(有)	視標検出課題(無)	視標検出課題(有)	
MWL課題(なし) 視標検出課題(無)		コース2周	コース2周	コース2周	
MWL課題: なし、読み上げ、加算のいずれか					

図9 一日の実験スケジュール

4-2. 完全自由視状態における注視点計測手法

図10に実注視点算出の概要を示す。図に示すように、実験で視標を提示するDSの前方スクリーンの中心を初期点 f_0 、ある時間 t における眼球回転角 e と頭部回転角 h により得られる注視点がそれぞれ f_{et} 、 f_{ht} とすると、その和が実注視点 f_{eht} となる。眼球、頭部それぞれの回転角の算出については、事前に図中の写真に示すように前方スクリーン上の9点に対してキャリブレーションを実施して求める。あらかじめ被験者毎に初期点における計測値ならびに実際の回転角あたりの計測値の変化量を求め、ある時点の計測値から初期点の計測値の差分をとり、これを回転角あたりの計測値の変化量で除算することで f_{et} 、 f_{ht} をそれぞれ算出する。

眼球運動の回転角の算出には眼球運動計測装置による計測値を用い、頭部運動の回転角は以下に示すハイスピードカメラの映像を用いた手法により算出する。図11に示すように、被験者の後頭部に白色の紙粘土製の5つの球体を黒色のアクリル板上にT字型に配置して作成したマーカーを設置する。このマーカーを被験者の背面よりハイスピードカメラで撮影し、各キャリブレーション点を注視している際のピクセル値による座標点と初期点を注視している際の座標点を輝度差分により画像処理で抽出し、その差を算出する事で単位距離あたりの回転角度を算出する。

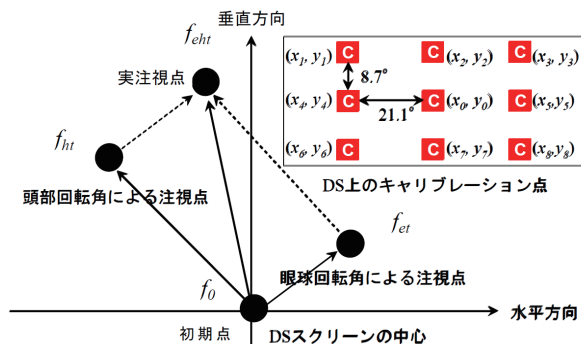


図10 注視点算出法



図11 ハイスピードカメラによる頭部計測

図12に初期点、左上のキャリブレーション点を注視している際のT字型のマーカー座標点を示す。図中黒色のプロットは初期点を、白色のプロットは左上のキャリブレーション点を注視している際のマーカーの位置である。T字型のマーカーに設置された5つの球体の座標点それぞれにおいて、各キャリブレーション点と初期点を注視している際の差をとり、その平均値を水平、垂直方向の変化量として扱う。なお、頭部の前後動も計測される回転角に影響を及ぼすため、被験者の側面からハイスピードカメラによる撮影を行い、前後運動量に応じて1°刻みの補正を行うこととした。

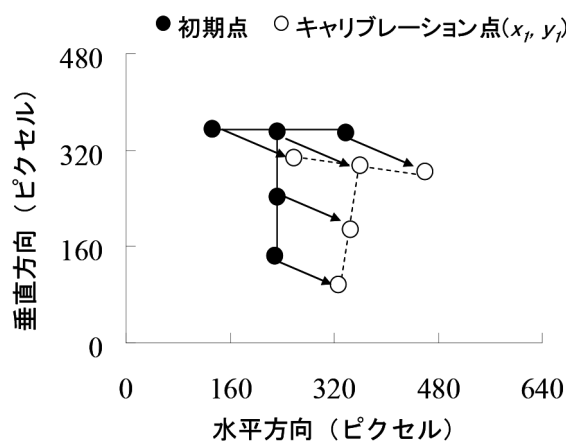


図12 頭部運動によるマーカー座標の変化

4-3. 実験結果

図13に主観的評価指標として採用したNASA-TLXに対する回答を用いて算出したAWWL得点^[20]を示す。AWWL得点は高い順に加算条件(約70点)、読み上げ条件(約40点)、なし条件(約30点)であり、分散分析、多重比較検定の結果MWL課題なし条件と加算条件間、読み上げ条件と加算条件間で有意な差が認められた($p < 0.05$, Holm 法)。このことは、本研究で用いたMWL課題条件は段階的にMWLが増加していることを示しており、研究目的を達成するために適切な課題設定であったといえる。

図14には、水平方向における有効視野の計測結果を示す。図より、MWL課題が加算条件の場合に最も有効視野が狭くなり、なし条件で最も広がっている。図の値を特性値として、分散分析、多重比較分析(Holm 法)を行ったところMWL課題の要因($p < 0.01$)が影響因子であることが明らかとなり、多重比較ではMWL課題なし条件と加算条件($p < 0.05$)、読み上げ条件と加算条件($p < 0.05$)間においてそれぞれ有意な差が認められた。この結果は、MWLが大きくなると有効視野が狭窄することを示しており、加算条件のように非常に大きな負荷にな

ると視野の狭窄が顕著になることがわかる。この結果は第3節における結果と同様であることから、本研究で得られた完全自由視での有効視野計測結果が妥当であるといえる。

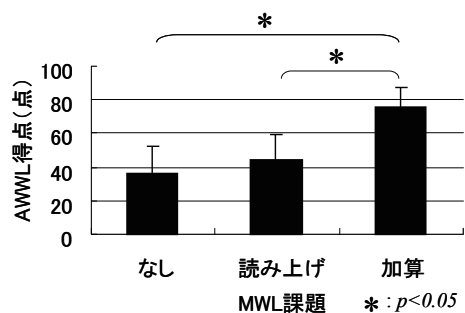


図13 メンタルワークロードと AWWL 得点の関係

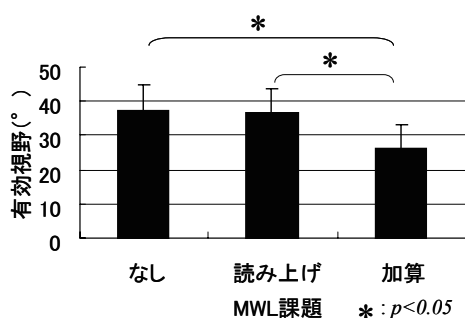


図14 メンタルワークロードと有効視野の関係

4-4. 眼球運動関連パラメータを用いた視野推定

本研究では眼球運動に関連する各種パラメータから有効視野の推定を行う。本研究では、被験者ごとに各MWL課題条件につき1つの有効視野が得られている。そこで、これに対応する眼球運動関連パラメータも被験者ごとに各MWL課題条件を代表する値を1つずつ算出する。

具体的には、実験にて得られた眼球運動ならびに瞬目の計測から、サッカード運動と瞬目における回数、時間および頻度を抽出した。抽出した回数とは1分間に各眼球運動が発生する回数であり、時間とは各眼球運動が1回発生するのに要する時間である。サッカード時間については、1回のサッカードの発生から終了までの平均持続時間である。頻度については、停留・追従運動も加えて各MWL課題条件時に発生するサッカード運動、停留・追従運動、瞬目の発生割合とした。また、サッカード運動については、1回のサッカード運動により移動する注視点間距離の平均値をサッカード距離として抽出した。なお、本研究では眼球回転角速度 $30^{\circ}/\text{sec}$ 以上、かつ移動距離が 3.5° 以上の眼球運動をサッカード運動、サッカード運動で

も瞬目でもない眼球運動を停留・追従運動と定義する。なお、サッカード運動とは視対象の方向に視線を向けるために生じる急速な眼球運動のことであり、この運動状態では視覚から得られる情報の認識能力が極端に低下することが知られている。また、停留状態は一点を注視している状態であり、追従運動は視野内を動く視対象を追従・認識する際に生じ、双方とも視覚情報の認識が可能な状態である^[16]。

さらに、Miura^[21]やBartmann^[22]らは様々な道路状況(混雑した道路や高速道路)での実走行中の眼球運動計測を行った結果、道路状況が混雑しているほど眼の移動頻度が高くなるとともに停留時間が短くなることを示しており、その結果を図15に示すドライバーの情報処理資源の一定則と処理の深さと広さの関係により説明している。

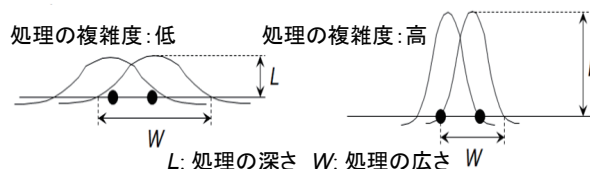


図15 処理の深さと広さの関係^[5]

情報処理資源の量が一定であるとする、深い処理が必要となる状況下においては、周辺に対して配分できる注意の量が低減し、注視点周辺での情報を処理できる範囲が小さくなる。一方、浅い処理で対応できる状況下では、周辺に対して配分できる注意の量が増え、情報を処理できる範囲が大きくなり、これが処理の広さに相当する。このように、処理の広さと深さにはトレードオフの関係があると指摘している。ここで、視覚による情報取得について考えてみる。視覚情報を取得する際には、視覚対象に次々と注視点を移動させて情報を取得する。注視点の移動は眼球を高速で大きく回転させるサッカード運動であり、この距離が処理の広さに、サッカード運動の時間間隔、つまり停留・追従運動に要する時間が処理の深さにそれぞれ影響を受けていると考えられ、本研究で用いている眼球運動関連パラメータの中では、サッカード距離と、停留・追従頻度が処理の広さと深さに強く関係していると考えられる。また、サッカード運動には視覚対象に注視点を合わせる際に若干のズレが生じる場合がある。この場合には、サッカード発生後100-150msecの間に発生する眼球回転角速度 $30^{\circ}/\text{sec}$ 以上、かつ移動距離が $1.0-3.5^{\circ}$ の眼球運動と定義される修正サッカード^[16]が発生し、ズレた注視点が補正される。つまり、修正サッカード発生後の注視点に視覚情報を取得している視覚対象が存在するといえる。また、修正サッカードの発生後から次のサッカード運動までの時間が視覚情報の取得に要する

有効視野を用いたメンタルワークロード推定手法の基礎検討 - ドライビングシミュレータ操縦を題材として -

Basic study on a method to estimate mental workload using useful field of view

- Based on operating a driving simulator-

時間であると考えることができる。そのため、被験者ごとに各MWL課題条件における修正サッカード発生後の注視点の分布から重心を求め、各注視点と分布の重心までの距離の平均が処理の広さ(処理できる範囲)を、修正サッカードの発生後から次のサッカード運動までの平均時間が処理の深さ(情報処理時間)をそれぞれ表す眼球運動パラメータと考え抽出した。

以上より、視標検出課題有り条件で得られた有効視野を目的変数に、視標検出課題無し条件で得られた表1に示す眼球運動パラメータを説明変数として全組み合わせで重回帰分析を行った。

表1 説明変数のパラメータ

説明変数	眼球運動関連パラメータ
x_1	サッカード回数
x_2	サッカード時間
x_3	サッカード頻度
x_4	サッカード距離
x_5	停留・追従頻度
x_6	瞬目回数
x_7	瞬目時間
x_8	瞬目頻度
x_9	処理できる範囲(修正サッカード発生後の注視点分布の重心からの距離)
x_{10}	情報処理時間(修正サッカード発生後からサッカードまでの時間)

なお、個人差による影響を考慮し、分析には被験者毎の標準化値(z-score)を用いた。重回帰分析の結果、有意な偏回帰係数が得られた組み合わせはサッカード距離(x_4)、停留・追従頻度(x_5)、処理できる範囲(x_9)、となり、これらの説明変数により(3)式のような有意な実験式が得られた。

$$Y = 0.649x_4 - 0.604x_5 - 0.549x_9 \quad (3)$$

図16に実験式((3)式)による有効視野推定値と実験により得られた有効視野の相関図を示す。図より、有効視野の値が大きいほど、実験式((3)式)による推定値も高値を示す傾向がみとれ、実験式による有効視野の推定が可能であることを示唆している。また、実験式を構成する3つの説明変数は前述のとおり処理の広さと深さに関連が強いと考えられることから、

処理の広さと深さを示す眼球運動関連パラメータを用いることで有効視野が推定可能であることを示唆している。

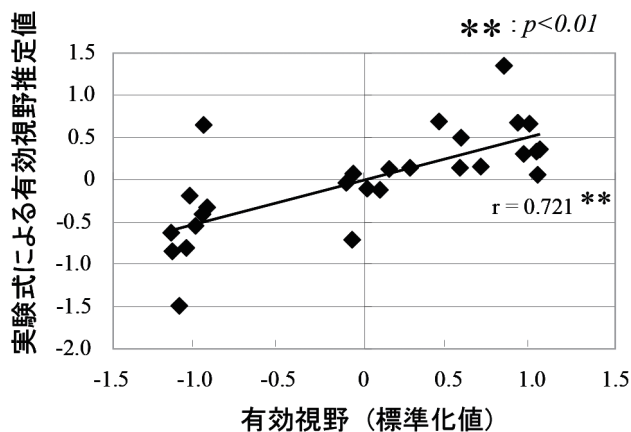


図16 実験式による有効視野推定値

5 まとめ

本稿では、運転者のMWLを推定する手法を探索するため、MWLと有効視野範囲の定量関係を明らかにしたうえで、ドライビングシミュレータの操縦を題材として運転者の運転作業に影響を及ぼさず有効視野を推定する手法について検討を行った。結果は以下のとおりである。

1. メンタルワークロードの増加により有効視野が狭窄することを定量的に示した。
2. 完全自由視(頭部非固定)状態での実注視点と、運転者の視野の内外に提示した視標との視覚的距離から有効視野を計測する手法を確立した。
3. 処理の深さと広さを表す眼球運動関連パラメータ(サッカード距離、停留・追従頻度、修正サッカード発生後の注視点分布)を用いることで、運転者の運転作業に影響を及ぼさず有効視野を推定できる可能性があることを示した。

これらより、運転者のメンタルワークロードの推定可能性を示すことができたといえる。今後、推定精度の向上を図った上で、実運転環境さらには自動2輪車への展開を進めていきたい。

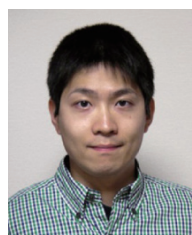
■謝辞

本研究は首都大学東京との共同研究であり、同大学の学生の方々から多大なるサポートをいただきました。この場を借りて、厚くお礼申し上げます。

■参考文献

- [1] Hollnagel, E.: Human Reliability Analysis Context and Control, Academic Press, 145(1993).
- [2] 藤森充, 上迫宏計, 川村幹也, “高速道路における頭部運動を考慮した運転者の視線計測”, 計測自動制御学会論文集, Vol.35, No.4 (1999), pp.473-479.
- [3] Vivek, D. B., “Ergonomics in the automotive design process”, Taylor & Francis Group, LLC, (2012), pp. 105-126.
- [4] 荳阪良二, 現代基礎心理学3 知覚Ⅱ, 東京大学出版会, (1982), pp.183-231.
- [5] 三浦利章, 行動と視覚的注意, 風間書房, (1996), pp.36-52.
- [6] Ball, K., Owsley, C.,: The useful field of view test: A new technique for evaluating age-related declines in visual function; Journal of the American Optometric Association, Vol.64(1993), No.1, pp.71-79.
- [7] Owsley, C., Ball, K., Keeton, D.M.,: Relationship between visual sensitivity and target localization in older adults; Vision Research, Vol.35(1995), No.4, pp.579-587.
- [8] 水内淳, 高嶺恭平, 山中仁寛, 森島圭祐, 大本浩司: 覚醒度と検出視野の関連性; 人間工学, Vol.48特別号(2012), pp.192-193.
- [9] 阿山みよし, 松澤麻紀, 目加田慶人, 春日正男: 動的背景上の有効視野に対する音声情報の影響; 照明学会誌, Vol.85(2001), No.2, pp.105-112.
- [10] 瀬谷安弘, 八木理, 中易秀敏, “リアルタイム視線移動解析による運転作業時の有効視野計測”, 電子情報通信学会技術研究報告, MBE, ME とバイオサイバネティクス, Vol.107(2008), No.460, pp.43-46.
- [11] 中易秀敏, 青木大和, 三好哲也, 中川雅央, “運転状況の変化に基づく運転作業者の知覚と認知特性の実験的分析”, 構造物の安全性及び信頼性 (JCROSSAR2011), Vol.6 (2011), pp.506-511.
- [12] 青木大和, 中易秀敏, 三好哲也, “ドライバーの視線移動解析に基づく自動車運転時の知覚認知と信頼性”, 信頼性シンポジウム講演論文集, Vol.25(2010), pp.124-129.
- [13] 山中仁寛, 中易秀敏, 三好哲也, 前田多章: 視覚認知作業時の有効視野評価法に関する研究; 日本機械学会論文集 (C編), Vol.72(2006), No.719, pp.244-252.
- [14] 大山正, 今井省五, 和気典二: 新編感覚・知覚ハンドブック, 誠心書房, (1994), pp.185-193.
- [15] 日科技連官能検査委員会: 新版・官能検査ハンドブック, 日科技連出版社(1999), pp.395-443.
- [16] 日本視覚学会: 視覚情報処理ハンドブック, 朝倉書店 (2004), pp.390-397&563-571.
- [17] 日本機械学会基準: 統計的疲労試験方法, JSME S 00-2(1994), pp.27-37.
- [18] Dixon, W. J., Mood, A. M., and Ameri, J., : A Method for Obtaining and Analyzing Sensitivity Data, Journal of American Statistical Association, 43(1948), pp.109-126.
- [19] 大本浩司, 高橋励他: 事象関連電位によるメンタルワークロードの評価, 人間中心設計, 5(1)(2009), pp.29-37.
- [20] 芳賀繁, 水上直樹: 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定-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, Vol.32(1996), No. 2, pp.71-79.
- [21] Miura, T.: Visual search in intersections — An underlying mechanism —; IATSS RESEARCH, Vol.16 (1992), No.1, pp.42-49.
- [22] Bartmann, A., Spijkers, W., Hess, M., : Street environment, driving speed and field of vision; Vision in Vehicles-III(1991), pp.381-389.

■著者



森島 圭祐
Keisuke Morishima
技術本部
研究開発統括部
イノベーション研究部



大本 浩司
Hiroshi Daimoto
技術本部
研究開発統括部
イノベーション研究部



山中 仁寛
Kimihiro Yamanaka
首都大学東京
システムデザイン研究科