

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03898

研究課題名（和文）自動車の室内空間がドライバーの運転余裕に与える影響の定量化

研究課題名（英文）Quantification of the effect of car cabin design on mental workload during driving

研究代表者

茅原 崇徳（Chihara, Takanori）

金沢大学・新学術創成研究機構・助教

研究者番号：00582967

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、眼球運動の計測データから自動車運転時の認知負担を定量化すること、および車室空間の設計が認知負担に与える影響を評価することを目的とした。ドライビングシミュレータを使った運転タスクと認知負担を制御するための副次課題を同時に課す実験を行い、認知負担の評価に有用な眼球運動パラメータを抽出した。また、機械学習における異常検知を応用して認知負担を定量化する手法を提案した。そして、提案手法を適用し、車室空間の高さが認知負担に与える影響を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
交通事故を防止する上で、運転者の認知負担を定量化することは重要な課題である。認知負担は直接計測することができないが、機械学習における異常検知を応用して認知負担を定量化する手法を提案したことが、本研究の学術的意義である。また、車室空間の高さが認知負担に与える影響を評価したことは、提案手法が実際の設計に適用可能であることを示すものであり、社会的に有益であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to quantify the mental workload of driving a car from eye movement measurement data, and to evaluate the influence of cabin space construction on mental workload. We conducted an experiment in which a driving task using a driving simulator and a secondary task to control the mental workload were imposed simultaneously, and we extracted eye movement parameters useful for evaluating the mental workload. We also proposed a method to quantify mental workload by applying anomaly detection in a machine learning framework. We then applied the proposed method to evaluate the effect of cabin space height on mental workload.

研究分野：人間工学

キーワード：認知負担 自動車運転 眼球運動計測 機械学習 異常検知 ドライビングシミュレータ

1. 研究開始当初の背景

交通死亡事故の主な原因は漫然運転であり、これは考え事などで運転に集中していない状態である。人間には作業パフォーマンスが最大となる適切な精神負担の量が存在し、認知負担 (Mental workload; MWL) が過大になると作業パフォーマンスが低下すると考えられている。漫然運転は考え事や会話などで MWL が増加し、安全な運転行動を継続できない状態になっていると考えられる。そのため、交通事故を予防するためには、ドライバの MWL を低減させることが必要になる。一方、燃費機能の向上などを目的として、自動車が小型化する傾向にあるが、室内空間と視野を減少させ、運転余裕を損なう恐れがある。交通事故の防止の観点から、自動車の室内空間と MWL の関係の定量化は重要な課題である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、自動車運転中の MWL を定量化する手法を提案し、さらに自動車の室内空間と MWL の関係を評価し、運転しやすい車室空間の設計に関する知見を得ることである。具体的には、MWL を定量化する新しい手法として、運転中の眼球運動に着目し、運転状態への介入がなく自然な運転操作状態で MWL を定量的に推定する手法を確立する。さらに、複数の室内空間で運転タスクを行い、上記の推定手法を用いて室内空間の設計因子が運転余裕に与える影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 眼球運動計測に基づく自動車運転時の MWL 推定

ドライビングシミュレータ (DS) による運転課題を主課題とし、さらに MWL の制御のための副次課題を同時に課し、その際の眼球運動を計測した (図 1)。取得した眼球運動データから、MWL の推定に有用と考えられるパラメータを抽出した。さらに、抽出したパラメータを特徴量として、機械学習における異常検知の手法を応用して MWL を推定した。具体的には、One Class Support Vector Machine (OCSVM) を使用し、MWL が低い正常状態の眼球運動データから MWL が高い状態を検知する識別境界を作成し、識別境界からの距離 (異常度) で MWL を評価した。



図 1 実験の様子

(2) 車室空間の変化が空間知覚に与える影響

車室空間の設計変更が空間の知覚に与える影響の検討を目的として、ルーフ高さやフロントガラス奥行きを変更したモデルをバーチャルリアリティ (VR) 空間内で実験参加者に提示して広さ感を評価させた。計測した広さ感の評価値に対して分散分析を行い、ルーフ高さやフロントガラス奥行きが増加が広さ感に与える影響を評価した。

(3) 車室空間の変化と MWL の関係

車室空間のルーフ高さが変化すると、運転席からの視界が変化する。そこで、ルーフ高さの影響を模擬するために、DS のディスプレイ上部を遮蔽し、垂直方向の視野の制限が MWL に与える影響を検討した。3 水準の遮蔽領域 (遮蔽無し、遮蔽小、遮蔽大) を設定し、OCSVM を応用した MWL の定量化法を適用して視界制限が MWL に与える影響を評価した。

4. 研究成果

(1) MWL の定量化に有用な眼球運動パラメータの抽出

副次課題として N-back 課題を採用し、5 つの水準 (N-back 無し、0-back, 1-back, 2-back, 3-back) で実験を行った。NASA-TLX で計測した主観的負担感は副次課題の主効果が有意であり、副次課題の難化に伴い単調に増加した。さらに、副次課題の正答率は副次課題の難化に伴い有意に減少した。このことから、N-back 課題が運転時の MWL を段階的にコントロールできていると判断した。

次に、複数の眼球運動パラメータを算出し、副次課題を制御因子として分散分析を実施した (表 1)。算出したパラメータは視線角度の標準偏差 (SD)、頭部角度の SD、眼球回転角の SD、頭部運動分担比 (視線移動量に占める頭部移動量の割合)、および瞬目回数である。瞬目回数

外のパラメータは水平方向と垂直方向で個別に算出した。副次課題の主効果が有意であった眼球運動パラメータは水平・垂直方向の視線角度 SD, 水平方向の眼球回転角, 水平方向の頭部運動分担比, および瞬目回数である。このように, MWL の定量化に有用であると考えられる眼球運動パラメータを抽出することができた。なお, これらのうち, 垂直方向の視線角度 SD は効果量が比較的低く, 副次課題の条件間の差がわずかであったため, 後に示す機械学習の特徴量から除外した。

表 1 眼球運動パラメータの分散分析結果 **: $p < 0.01$

Parameters	p -value	Effect size
SD of horizontal gaze angle	$p < 0.001^{**}$	0.122
SD of vertical gaze angle	0.004**	0.087
SD of horizontal head angle	0.206	0.018
SD of vertical head angle	0.443	0.044
SD of horizontal eyeball rotation angle	$p < 0.001^{**}$	0.153
SD of vertical eyeball rotation angle	0.079	0.049
Sharing rate of head movement in horizontal direction	0.002**	0.119
Sharing rate of head movement in vertical direction	0.732	0.016
Number of blinks	$p < 0.001^{**}$	0.213

(2) 機械学習を応用した MWL の定量化

前節で示した結果に基づき, 4つの眼球運動パラメータ(視線角度 SD, 眼球回転角 SD, 頭部運動分担比, 瞬目回数)を特徴量とし, OCSVM を用いて実験参加者ごとに MWL が高い状態を検知する識別機を作成した。図 2 と図 3 に, それぞれ異常と判定されたデータの割合と識別境界からの距離(異常度)の分布を示す。異常データの割合の中央値は副次課題の難化に伴い単調増加した。特に, 3-back はいずれの実験参加者にとっても高い MWL であるが, 異常データの割合の平均値は約 95% であり, MWL が高く異常な状態を高い精度で検知できている。また, 異常度は副次課題の難化に伴い単調増加している。さらに, 主観的な認知負担(NASA-TLX のスコア)と異常度の相関係数は 0.658 であり, 有意な相関が得られた。以上の結果から, OCSVM を応用した提案手法により, MWL の定量的な評価が可能であると考えられる。

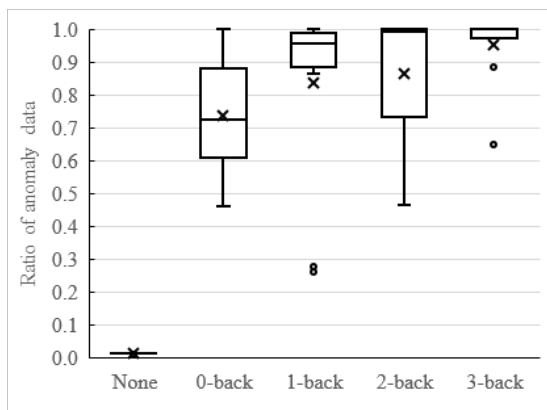


図 2 異常と判定されたデータの割合

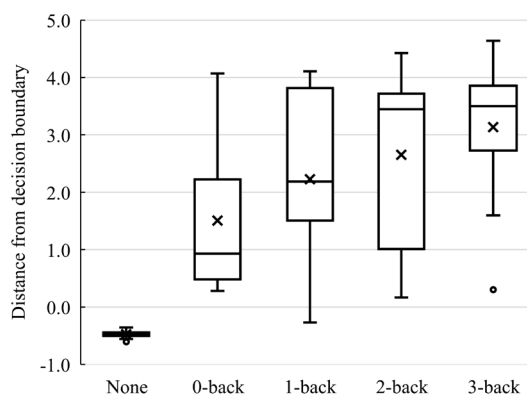


図 3 識別境界からの距離(異常度)

(3) VR による車室空間の広さ感の評価

トヨタ社のプリウスの CG モデルをベースに, ルーフ高さ R とフロントガラス奥行き W を変更した CG モデルを作成し(図 4), VR 空間内での運転席からの視界を実験参加者に提示した。そして, 「車室空間の広さ」を「1:狭い」から「7:広い」まで 7 段階で評価させた。図 5 に主観評価の実験参加者間の平均値を示す。分散分析の結果, ルーフ高さの主効果は有意であり, フロントガラス奥行きの主効果は有意ではなかった。ルーフ高さに対する多重比較の結果, すべての水準間の組み合わせにおいて有意水準 1% で有意差が存在し, ルーフ高さの増加に伴い主観評価の平均値が増加した。フロントガラス奥行きについては水準間で有意差はみられなかったが, ルーフ高さが 0 mm と 50 mm のときはフロントガラス奥行きが増加に伴い主観評価の平均値が高くなる傾向がみられた。

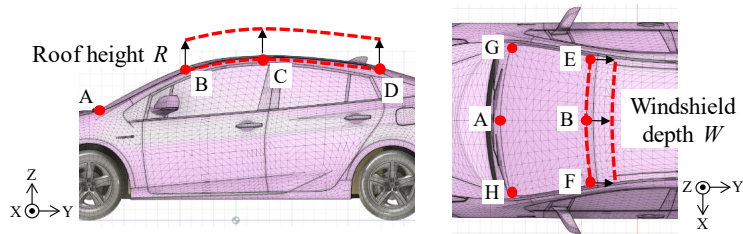


図4 ルーフ高さと同フロントガラス奥行き

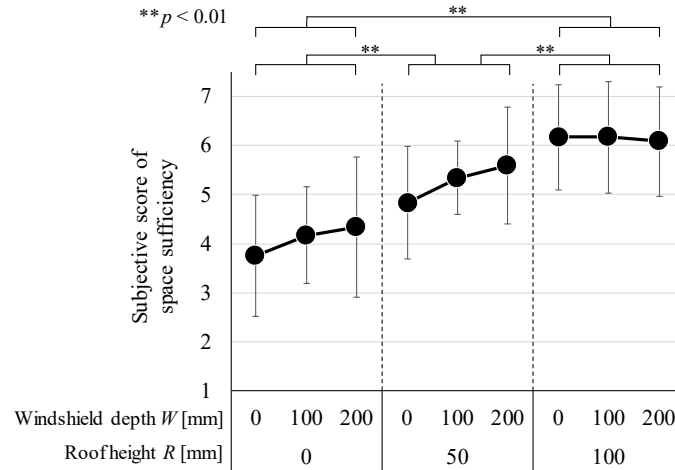


図5 広さ感の平均値

(4) 視界の遮蔽が MWL に与える影響

視界の遮蔽の影響と比較を目的として、副次課題として N-back 課題を課した。N-back 課題の水準は 2 水準 (N-back 無し, 2-back) とした。また、特徴量には (1) で抽出した 4 つの眼球運動パラメータを用いた。分散分析の結果、主観的な認知負担は遮蔽量と副次課題ともに主効果が有意であった。一方で、すべての眼球運動パラメータにおいて、副次課題の主効果は有意であったが、遮蔽量の主効果は有意ではなかった。したがって、遮蔽量の影響は 2-back 課題と比較して弱いと考えられる。しかし、遮蔽と副次課題が無い条件を正常データとして OCSVM の異常検知を行った結果、2-back 課題無しで遮蔽あり (遮蔽小と遮蔽大) の条件では、45% 程度のデータが異常と判定された。このことから、提案手法によって比較的弱い MWL でも検出できる可能性があることが示唆された。また、遮蔽量が少ないほど異常度が減少することから、前方の視野を広く取ることは運転者の MWL の増加を抑制する上で一定の効果があると予想される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 茅原崇徳, 坂本二郎	4. 巻 85
2. 論文標題 バーチャルリアリティによる自動車室内の設計変更が視覚的な広さ感に与える影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 19-00241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.19-00241	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 茅原崇徳, 小林史拓, 坂本二郎	4. 巻 86
2. 論文標題 可視光カメラを用いた眼球運動計測に基づく自動車運転時のメンタルワークロード推定	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 19-00326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.19-00326	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Chihara Takanori, Kobayashi Fumihiro, Sakamoto Jiro	4. 巻 89
2. 論文標題 Evaluation of mental workload during automobile driving using one-class support vector machine with eye movement data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Ergonomics	6. 最初と最後の頁 103201 ~ 103201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apergo.2020.103201	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 茅原崇徳, 小林史拓, 坂本二郎
2. 発表標題 画像センサを用いた自動車運転時のメンタルワークロード推定に関する基礎的検討
3. 学会等名 日本機械学会 北陸信越支部 第56期総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 茅原崇徳, 宮崎太志, 坂本二郎
2. 発表標題 バーチャルリアリティ空間における自動車室内空間の変更が空間知覚に与える影響
3. 学会等名 日本人間工学会 第60回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林史拓, 茅原崇徳, 坂本二郎
2. 発表標題 眼球運動を用いた自動車運転時の認知負担評価に関する基礎的検討
3. 学会等名 令和元年度 日本設計工学会北陸支部 研究発表講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chihara, T., Kobayashi, F., Sakamoto, J.
2. 発表標題 A pilot study on estimation of mental workload during automobile driving using eye movements
3. 学会等名 JSME International Design and Concurrent Engineering Conference 2019 & Manufacturing Systems Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 茅原崇徳, 小林史拓, 坂本二郎
2. 発表標題 眼球・頭部運動計測に基づく自動車運転時のメンタルワークロード推定
3. 学会等名 日本機械学会 第29回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井晴登, 茅原崇徳, 坂本二郎
2. 発表標題 車両交通量の変化が自動車運転時のメンタルワークロードに及ぼす影響
3. 学会等名 日本機械学会 北陸信越学生会 第49回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 茅原崇徳, 小林史拓, 坂本二郎
2. 発表標題 機械学習を用いた異常検知による自動車運転時のメンタルワークロード評価
3. 学会等名 日本人間工学会 第61回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 茅原崇徳, 坂本二郎
2. 発表標題 データ解析の時間間隔が眼球運動による自動車運転時のメンタルワークロード推定の精度に与える影響
3. 学会等名 日本機械学会 第30回設計工学・システム部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小杉直矢, 茅原崇徳, 坂本二郎
2. 発表標題 瞳孔径の変化を用いた自動運転車の減速走行時における搭乗者の不快感の推定
3. 学会等名 日本機械学会 北陸信越支部 第58期総会・講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 茅原崇徳, 坂本二郎
2. 発表標題 異常検知を応用した自動車運転時のメンタルワークロード推定と時系列変化の評価
3. 学会等名 日本人間工学会 第62回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chihara, T., Sakamoto, J.
2. 発表標題 Effect of time length of eye-movement data analysis on the accuracy of mental workload estimation during automobile driving
3. 学会等名 21st Congress of the International Ergonomics Association (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------