

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350452

研究課題名(和文) 運転集中状態を3段階評価する予防安全運転支援システムの構築

研究課題名(英文) Construction of preventive driving support system by evaluating drive concentration in three stages

研究代表者

三宅 哲夫 (Miyake, Tetsuo)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60239366

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：漫然運転は、主として疲労や眠気による意識低下と、意識が運転以外に集中することにより引き起こされる。前者はドライバーの表情から比較的容易に判断できるが、後者を外部から判断するのは容易ではない。

本研究では、注視行動の妥当性、瞬きの時系列変化、覚醒努力表情の有無、アクセル/ブレーキペダルの操作情報を総合して、漫然状態を検出するシステムの開発を行い、以下の成果を得た。a. との解析手法を確立した。b. に代えて、実用性の高いサッケード計測技術を開発した。c. ドライバー情報に基づき、漫然状態を総合的に検出した。d. 漫然状態の発生頻度で運転集中状態を評価する手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：Careless driving occurs mainly when a driver's consciousness level is depressed caused by fatigue and drowsiness and when a driver concentrates on something other than driving. The former state can be detected easily by a driver's expression however, the latter is hard by its appearance.

In this research we aimed at constructing a driving support system which detects careless driving condition by checking i) validity of eye movement, ii) change of blinking in time, iii) whether a driver fights drowsiness and vi) accelerator and brake pedal operation, and consequently we obtained following results. A: The analysis of i) and vi) were achieved. B: A highly practical way for detecting saccade was developed, instead of ii). C: State of careless driving was detected based on multiple driver information. D: A method of evaluating a degree of drive concentration from frequency of occurrence of careless driving was suggested.

研究分野：画像計測工学

キーワード：予防安全 漫然状態 視線 運転支援

### 1. 研究開始当初の背景

警察庁交通事故統計によると、交通事故の原因は、前方不注意、脇見運転、安全不確認など、いわゆる漫然運転が多くを占めている。自動車を運転中のドライバーは、認知、判断、操作という連の高度な情報処理を繰り返しているが、疲労や眠気により脳の働きが低下したときや、脳は十分に活動しているが、意識が運転以外のことに集中しているときは、運転に必要な情報処理能力が低下し漫然運転状態に陥る。

眠気の兆候はドライバーの表情に比較的顕著に現れるが、運転集中状態を外見から判断するのは容易ではない。前者に関する研究報告例は多数みられるが、後者に関しては、ほとんど報告がなされていない。

### 2. 研究の目的

本研究は、自動車を運転中のドライバーの運転集中状態を複数の計測データを基にして解析し、集中状態を3段階評価することを目的とする。

計測データとしては非接触計測が可能な画像情報とアクセルやハンドル操作情報等の、ドライバーの身体に計測機器を装着しないで取得することができるデータを用いる。

### 3. 研究の方法

漫然状態を検出する方法として、ある刺激が与えられたときの反応を解析することは有効である。視覚情報、音声情報あるいは痛覚等の皮膚感覚刺激が与えられたとき、ほぼすべての健常者がその刺激に対して一定時間以内に反応するならば、その刺激に対して反応しない、あるいは反応時間が長いという状況は、漫然状態であると考えられる。

本研究では、外見からは判断が難しい漫然状態を、身体に機器を装着することなく得られる各種情報を用いて総合的に判定する。判定に用いる計測情報は、次章の各節で説明する。

### 4. 研究成果

#### (1) 注視行動の妥当性

ヒトは網膜中心窩で注目する対象を捉えると同時に周辺視野で周囲の状況を把握する。自動車運転中のある瞬間に中心窩で捉えられる物体は高々ひとつである。注視行動の妥当性とは、覚醒状態で運転しているときのあるシーンにおいて、注視する可能性が高い物体を予測し、実際にその物体をどの程度注視しているのかを調べることである。安全確認に必要な先行車両や交通標識等のほかに、ヒトの視覚特性に基づいて注視対象が選択されることを考慮する。

ヒトの視覚特性としてよく知られている以下の3点を前提とした。周辺視野内で輝度が高くなる時には、その対象を中心窩で捉えようとその方向に視線を向ける。視野内に輝度が高い物体が急に出現したときは、その方

向に視線を向ける。自車速度が速くなるにつれて視野範囲が狭くなる。

実験は伊勢湾岸自動車道の豊田南 IC ~ 伊勢 IC 間を走行中に撮影した車両前方画像をスクリーンに投影して行った。図1(a)に車両前方画像例、(b)に、(a)から自車両の進行方向と同じ方向に移動する物体の抽出例を示す。図2(a)は別の車両前方画像例で、(b)に注視対象候補の優先順位付けを行った結果を示す。



(a) (b)  
図1 車両前方画像と処理結果例



(a) (b)  
図2 注視対象優先付け結果  
(赤：1、黄：2、緑：3)

提案した注視対象の優先順位付けが妥当であるかを調べるために、被験者5名による検証実験を行った。結果を図3に示す。

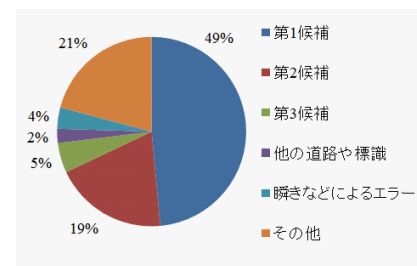


図3 ドライバーの注視行動分析結果

図が示す通り、第1候補とした注視対象を注視した割合は49%、第2候補は19%といずれも高い値を示したことから、注視対象の優先順位付けは妥当であると判断できる。

前述したように、ある瞬間に注視できる物体は高々ひとつであるが、そのときの注視対象の優先順位が第1位ではなくても、運転集中状態でないとは言えない。視線は頻繁に移動しているため、一定時間内での注視の割合で運転集中状態を評価することが残された課題である。

#### (2) 瞬きの時系列変化

ドライバーの運転集中状態を評価する方

法として、視線計測のほかに瞬きの時系列解析を課題として挙げていたが、研究初年度より開始された外部企業との共同研究の課題設定の中で、集中状態を評価する指標として、注視対象に素早く視線を移動させるサッケードの有効性が再認識されたため、本課題の研究を優先した。サッケード計測に関しては、これまで多くの報告がなされているが、本提案手法は計測に特別な装置を用いないことを特徴としている。

本提案手法におけるシステム構成は、ハードウェアが 200fps の近赤外カメラと、夜間の計測に用いる近赤外光源であり、ソフトウェアは、通常の画像処理の組み合わせである。サッケードは角膜反射像の移動量で計測するが、日中は光源としてフロントガラスの外周枠で切り取られた車両前方画像を用いる。

被験者の右目に映り込んだ角膜反射像例を図 4 に示す。撮像用カメラを被験者正面に設置し、カメラの方向を 0 [deg]、被験者から見てカメラの左側を正の角度方向と定める。同図に示す角度は、被験者が注視している方向を表す。

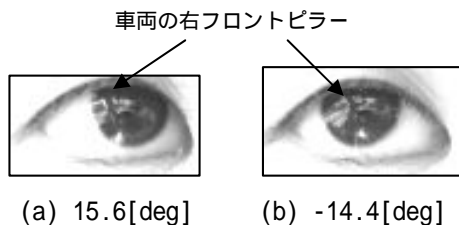


図 4 角膜反射像

サッケード計測の原理を図 5 に示す。簡単のため角膜を介した反射光路を 2 次元平面内で取り扱う。図は眼球部分を含む光学系全体の平面図である。眼球の大きさに比べて被験者とカメラないし光源間の距離が十分大きいので、眼球の水平方向の回転角は、角膜反射像の y 方向移動量を用いて近似的に求めることができる。ここで、頭部の姿勢変化については、撮像間隔が 5 [msec] と短いので、この間の頭部姿勢の変化は十分小さく無視できる。

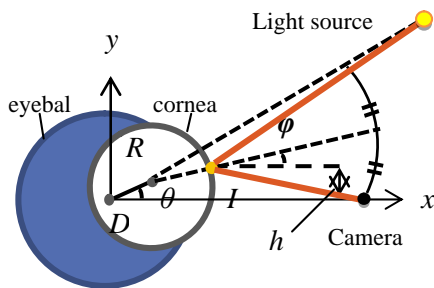


図 5 眼球回転角の計測原理

角膜反射像の移動量とサッケードの関係を検証するために次の実験を行った。被験者

の正面にカメラ、正面の左右 48 [deg] の位置に視標を設置する。被験者は 1 [sec] 間隔のブザーの合図に合わせて、左右交互の視標を速やかに繰り返し注視する。この眼球移動を眼電図 (electrooculography: EOG) を用いて計測し、EOG を真値として画像処理の結果と比較する。

実験結果を図 6 に示す。赤色マークは、画像処理で得た角膜反射像の移動量で、青色の実線は、EOG の出力である。反射像の移動は EOG が急激に変化するタイミングと一致しており、画像処理が有効であることを示している。なお、移動量を求める画像処理では補間処理を行っていないため、画素単位の粗い離散的な計測値となっている。

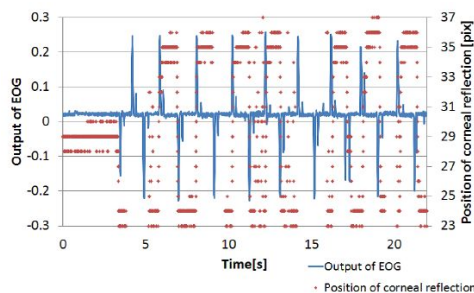


図 6 サッケード計測結果

眼球回転角の計測実験は、静止した車両の運転席に着座した被験者 1 名を対象として行った。表 1 に実験結果を示す。理論値は、実験に用いた視標の方向角で、画像から得た角膜反射像の移動量から求めた眼球回転角と誤差の絶対値は表 1 に示す通りである。

表 1 サッケード計測結果

| 理論値 [deg] | 角膜反射像の移動量 [pix] | 眼球回転角 度 [deg] | 誤差 [deg] |
|-----------|-----------------|---------------|----------|
| 15.6      | 4.25            | 24.97         | 9.37     |
| 4.68      | 0.88            | 5.14          | 0.46     |
| 0         | 0               | 0.00          | 0.00     |
| -4.61     | -1              | -5.88         | 1.27     |
| -14.39    | -3.8            | -22.03        | 7.64     |
| -22.87    | -6.5            | -38.19        | 15.32    |

眼球回転角が大きくなるにつれて、回転後の角膜反射像と回転後の反射像の変形状態の違いが大きくなるため、パターンマッチングの誤差が生じる。このため、現行アルゴリズムによる眼球回転角の計測精度ではサッケードの強度 (回転速度) を高精度で計測することはできないが、サッケードの発生は正確に検出可能であるので、発生頻度を基にした運転集中状態の評価は有効である。

### (3) 覚醒努力表情の有無

交通事故の大きな要因ひとつが居眠り運転であることは周知の通りであり、居眠り検出に関しては多くの報告がなされている。本研究では、眠ることのできない状況で眠気を催したときに、通常見られる眠気に抗う表情

を覚醒努力表情と定義して、その表情の検出法の開発を進めてきた。

欠伸や上まぶたを強く引き上げる動作は典型的な覚醒努力表情である。これらの表情を検出するには個人毎の平常顔が必要であるが、その画像は、運転開始後の早い段階における表情変化が乏しい区間の画像データを用いることとする。

本研究では、顔に配置した特徴点位置の時系列変化パターンを基にして、特定の表情変化を抽出する。特徴点としては、目頭や目尻、あるいは口の両端などの輝度の変化が明瞭な点と頬やまぶたなどの輝度の変化が乏しい点を用いる。特徴点の位置変化は、前者についてはアクティブアピアランスモデル(AAM)を、後者についてはブロックマッチングによるオプティカルフロー(OF)を用いて数値化する。数値化された時系列データをフィードフォワード型の3層ニューラルネットワーク(NN)を用いて学習して分類器を構成し、特定の顔表情を抽出する。

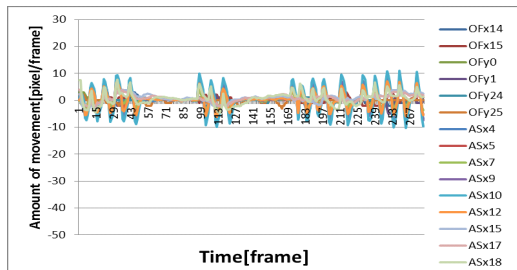
図7に(a)AAMと(b)OFの特徴点配置を示す。(b)に示すとおり、まぶたと口の周囲、および頬に高密度で特徴点を配置している。



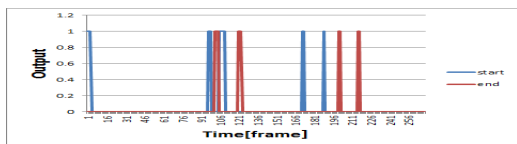
(a) AAM (b) OF

図7 特徴点配置

検証実験は、被験者1名を対象として、学習データとテストデータの2セットを用いて行った。図8、9にそれぞれ平常顔と欠伸での各特徴点の時系列変化(a)と、これらを入力したときのNNの出力結果(b)を示す。

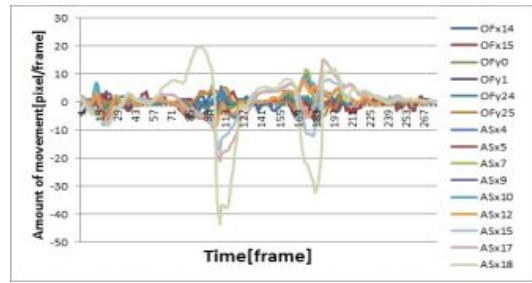


(a) 特徴点の時系列変化

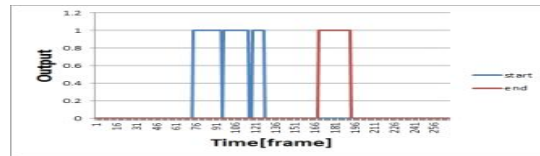


(b) NNの出力結果

図8 平常顔の検出



(a) 特徴点の時系列変化



(b) NNの出力結果

図9 欠伸の検出

NNの出力結果図において、青線は欠伸の開始状態、赤線は欠伸の終了状態に対するNNの反応結果である。図8の平常顔では、NNの結果が不安定であるのに対して、図9では欠伸の開始状態と終了状態に正しく反応していることがわかる。

欠伸と単に口を大きく開ける動作の区別は容易でないが、30[fps]で取得した動画画像において、現在の画像と10フレーム前の画像との差を特徴量とすることで、識別精度が改善された。

#### (4) アクセル/ブレーキペダルの操作情報

車両の直接的な操作情報であるアクセル/ブレーキペダル踏度やステアリング角と、二次的情報である車両速度や先行車両との車間距離、そしてドライバーの生体情報をまとめてひとつの特徴量ベクトルとして、漫然運転状態を検出するシステムを構築した。

はじめに学習データを用いて自己組織化マップ(SOM)を作成し、テストデータがマップ上のどこに位置するかで、漫然状態を判定する。解析対象は、名古屋大学武田研究室が名古屋高速道路を実車走行して計測したデータである。被験者は21~60歳の男女46名で、漫然運転に近い状態に誘導するために一部の区間で英数字発話(二次タスク)をしてもらった。

計測データは、アクセル/ブレーキ踏度[N](同時に両ペダルは踏まないと仮定)、車両速度[m/sec]、ステアリング角[deg]、先行車両との車間距離[m]、生体情報である発汗量[mg/cm<sup>2</sup>・min]で、これらの計測データからアクセル/ブレーキ踏度変化量[N/sec]と車両加速度[m/sec<sup>2</sup>]を求めた。

データのサンプリング周波数は30[Hz]で、上述の7種類の時系列データを5[sec]ごとに区切り、この間の平均値を求めて、新たに5[sec]間隔の時系列とした。さらに二次タスク有り/無しのラベルを加えた8次元データを1被験者あたり120個程度作成した。最後

に、時系列データ毎に 46 名分の全データを平均 0、分散 1 に標準化した。

SOM の学習データとテストデータは、各被験者のデータを無作為に二分し、一方を学習データ、他方をテストデータとした。被験者毎に作成した SOM の結果例を図 10、11 に示す。セルの色分けは、青が濃いほど通常運転で赤が濃いほど漫然運転状態を表している。図 10 は通常運転状態と漫然運転状態が明確に分離できた例で、図 11 はできなかった例である。

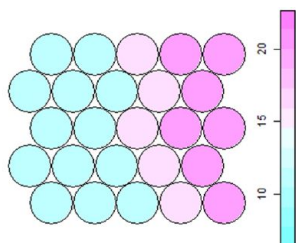


図 10 m6054 の SOM (Male, ID6054)

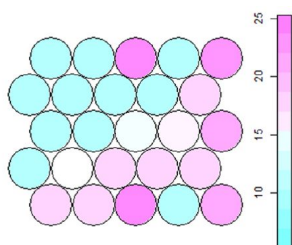


図 11 m6102 の SOM (Male, ID6102)

被験者 46 名のテストデータに対して 1 点毎に通常運転状態であるか漫然運転状態であるかを判定し、推定精度を求めた結果を図 12 に示す。46 名中 30 名の推定精度が 90% 以上であった。また推定精度が 80% 以下の被験者は 5 名であった。推定精度が 50% 以下の被験者は、通常運転状態と二次タスク下での運転状態に特徴の違いが見られなかった。

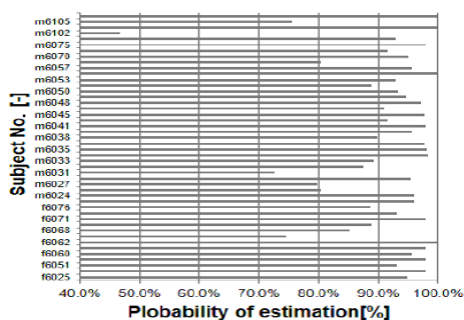


図 12 漫然運転状態の推定結果

高速道路走行中に取得したデータを用いて、漫然状態を推定できる可能性を示したが、高速道路の走行環境は比較的単純であることに留意する必要がある。一般の市街地道路は走行環境が複雑であるため、安全確認行動と漫然状態での運転データの特徴量の違いが不明確になることも予想される。

今後は、サッケード情報を含めた、さらなる入力情報の高次元化と、より総合的な漫然

状態評価が必要である。

運転集中状態の 3 段階評価アルゴリズムの構築は、試行錯誤の段階に留まった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Z. Zhang, J. Chong, T. Akiduki, T. Miyake and L. Wei, Driver behavior analysis at the time of crossing pass using vehicle kinematic model and GMM model, ICIC Express Letters, Part B: Applications, Vol. 7, 2016, 2217-2224.

志村京亮、三宅哲夫、章 忠、秋月拓磨、表情の時系列変化を用いた特定表情の検出、第 22 回画像センシングシンポジウム、Vol. 22, 2016、IS3-26

Zhong Zhang, Tatsuya Fujii, Tetsuo Miyake and Lang Wei, Construction of a Car Following Driving Model for Driver Personal Characteristics Extraction, ICIC Express Letters, Part B: Applications, Vol. 6, 2015, 3165-3171.

〔学会発表〕(計 3 件)

Chiew Xin Yi, 三宅 哲夫、章 忠、秋月 拓磨、運転環境下におけるサッケード計測、第 59 回自動制御連合講演会、2016.11.10-12、小倉

熊坂 暁歩、三宅 哲夫、章 忠、秋月 拓磨、自己組織化マップによる漫然運転状態の解析、第 59 回自動制御連合講演会、2016.11.10-12、小倉

長澤潤、秋月拓磨、章忠、三宅哲夫、高橋弘毅、ドライバの身体動作計測による漫然運転状態検出手法の検証、ロボティクス・メカトロニクス講演会、2016. 6. 8-11、横浜

古市 平、三宅 哲夫、章 忠、秋月 琢磨、運転環境の変化に適応する危険 度推定モデルの構築、第 28 回バイオメディカル・ファジィ・システム学会、2015.11.21-22、熊本

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://is.me.tut.ac.jp/pukiwiki/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

三宅 哲夫 (MIYAKE, Tetsuo)

豊橋技術科学大学・工学研究科・准教授

研究者番号：60239366