

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：27101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17K00382

研究課題名（和文）目の調節機能計測技術を応用したぼんやり状態可視化技術の開発

研究課題名（英文）Development of a Method to Find Defocus from the Appearance of the Eye

研究代表者

早見 武人（Hayami, Takehito）

北九州市立大学・国際環境工学部・准教授

研究者番号：60364113

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：覚醒水準の低下によって自動車ドライバーに生じる視覚的なぼんやり感を反映する可能性のある目の動きについて、検出可能な変化がぼんやり感によってもたらされるかどうか、計測モデルを構築して実験的研究により調べた。赤外線カメラで撮影した目の画像から得られる水晶体調節、瞳孔運動、垂直眼球運動それぞれの経時変化に関するぼんやり感の影響は、検出可能な大きさの信号となることを見込まれた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人間が操縦の優先権を持つ自動運転車において、ドライバーの視覚が眠気等で過度にぼんやりしているならば、優先権を人工知能に移行すべきである。ぼんやり感の程度を正しく自動的に判断できる技術について考えることで、今後自動車が自動運転車に置き換わっていく過程で生じる優先権の問題に対する対処方法が示される。主観であるぼんやり感を計測可能な生理現象に置き換えることは学術的な挑戦でもある。

研究成果の概要（英文）：An empirical study about a few measurement models was executed to find whether the defocus of a drowsy automobile driver produces some detectable signal in the movements of the components of the eye, which possibly reflects the defocus of their vision. The effect of the defocus to the time course of accommodation, pupil movements, and vertical eye movements obtained from the infrared video images of the eye was estimated to be large enough to detect.

研究分野：心理学機器，生体物理計測

キーワード：ブラー 眼筋 覚醒水準 自動運転

1. 研究開始当初の背景

- (1) 自動運転車が実用化へと向かう道筋が明確になり、今後の交通システムにもたらされる大きな変化が多くの人々にとってイメージできるものとなってきたことで、社会全体において自動運転に対する期待と不安が交錯しているように見受けられた。人間の運転が人工知能の運転に切り替わる過程では、まず人間の運転を人工知能が監視する状況が生まれ、次に操縦の優先権が人間から人工知能に切り替わり、人工知能の運転を人間が監視することになると考えられる。人間の役割は運転という能動的な作業から監視という受動的な作業に移行していく。監視作業にも訓練が必要である。旅客用の航空機や鉄道では操縦の自動化が進んでおり、操縦を職業とする操縦士、運転士は訓練を積んで自動運転に対応しているが、多くの人々が操縦を行う自動車における作業の移行には不透明な部分が多いと考えられた。
- (2) 自動車の運転に関して、現状では基本的には人工知能よりも人間に信頼が置かれている状況である。しかし人間の作業の信頼性は、突発的な発作や居眠りなどによって明らかに下がることがある。このような状況においては人工知能に操縦の優先権を与えることが社会的に許容されやすく、自動運転の導入が進む過程において重要なステップになると考えられる。優先権を移行させる基準は多くの人々が納得できると感じるものでなければならない。眼筋の運動は従来より運転中の視覚的注意の調査や居眠り運転防止を目的とした多くの研究において採用されてきた実績を持つ計測対象であり、運転中に計測可能でかつ運転者の信頼度を反映するという、操縦作業を評価する際に求められる要件を備えている。操縦の優先権を自動的に切替える技術の開発に対して、開発途上にある自動運転技術への不安感を緩和することで、人間の運転から自動運転への緩やかな移行を促進する効果が期待された。

2. 研究の目的

- (1) 明白な居眠り運転では、睡眠の程度が深い場合は運転者が自車が走行中であるにもかかわらず操縦を止めることによって周囲の物体に衝突し、事故が引き起こされる。このように制御を失っている状況では、操縦の優先権を切り替え、安全な場所に停止させるまでの間の操縦を人工知能が担うことが期待される。
- (2) いわゆる漫然運転の場合は、注意力の低下によりマルチタスクである運転作業の各要素に注意が十分に配分できなくなり、運転作業が雑になることがある。また、眠気を我慢しようとして背筋を伸ばしたりまばたきをするなど全身の筋肉を動かそうとする行動が見られることが多い。これらの状況では運転者は操縦を続けるつもりであり、自動運転が確立すれば人工知能に操縦を任せるかもしれないが、現時点では操縦の優先権の切り替えが必要とまでは言えない。
- (3) 居眠り状態になった段階では既に衝突の可能性が高くなっており、残された時間が限られることで衝突を回避するための制御方法も限定されることになる。骨格筋の動きを観察する限りでは居眠りと漫然運転の線引きは難しく、漫然運転から居眠りへの遷移は突然起きているように見えるが、眼筋を精密に観察すれば優先権切り替えの判断材料となるような覚醒水準に関する情報が得られるのではないかと考えた。そこで本研究では、視覚がぼんやりすることに関連すると考えられる眼筋の運動を計測し、覚醒水準を調べるための計測対象としての可能性について検討を行った。

3. 研究の方法

- (1) 水晶体調節量の計測
毛様体筋の伸縮によって行われる水晶体の厚さ調節の精度が悪いと網膜像がぼけてぼんやりした感覚が生み出される。毛様体筋の運動は反射的に起きるため意識的に制御できないが、調節が更新されなかったり不正確であるために結果として生じる網膜像のぼけは日常的に体験できる。水晶体調節量を連続的に計測できる方法として Double Purkinje 法が知られているが、眼科での特殊用途での利用が主であり頭部の固定も必要であるため、そのままでは操縦監視用途には不向きである。自動車の操縦では頭部を固定できないため、本研究では頭部を固定せず視線方向を計測する方法である瞳孔角膜反射法と Double Purkinje 法を統合した Double Purkinje = 瞳孔角膜反射法に基づき、頭部を固定しない状態で水晶体調節量の変化を検出できるかどうか調べた。
- (2) 瞳孔運動の計測
瞳孔の散大は被写界深度を減少させるため網膜像がぼけやすくなり、ぼんやりした感覚を誘発すると考えられる。暗い場所ではぼんやりしがちであるが、瞳孔が散大して網膜像が

ぼけやすくなることも原因の一つであると考えられる。床に横たわっている状態では座っている状態よりもぼんやりしがちであるが、その感覚が瞳孔運動に反映されているかどうかを確かめるため、姿勢と瞳孔運動の関係を調べた。また、網膜像のぼけが瞳孔運動に反映されるかどうか調べた。

(3) 垂直方向サッカードの計測

強い眠気を我慢していると眼球が上向きに回転し、白目がちになることがある。また、眠気でぼんやりしている状態でまばたきをすると、その動きに連動して上下方向の眼球運動が見られることがある。垂直眼球運動は水平眼球運動に比べて精密な計測が難しく、研究例も少ない。本研究では精密な計測により、水平方向サッカードと比較した垂直方向サッカードの運動特性を調べた。

4. 研究成果

(1) Double Purkinje = 瞳孔角膜反射法によって水晶体調節が検出可能であること

左右に視角で約 10° 離れた 2 個の視標を優位眼のみで交互に注視したときの眼球運動を赤外線ビデオカメラで撮影した。画像処理により瞳孔、Purkinje 第 1 像、Purkinje 第 4 像を検出し、それぞれの中心座標を注視距離 0.5m と 2m の場合について取得した。瞳孔角膜反射法によって補正した Purkinje 第 1 像と Purkinje 第 4 像の間隔を調べたところ、注視距離が近い場合に近づくことが多く、Double Purkinje 法に関する従来知見[1]に一致していた。このことから、赤外線ビデオカメラで取得した動画の画像処理により、運転中の水晶体調節を計測できる可能性が示唆された。但し検出値は感量に近く、安定した計測を行うためには十分なノイズ対策が必要になると考えられた。

(2) 瞳孔径とその変化が注視距離や注視対象の鮮明さを反映していること

優位眼のみで視標を注視した状態で電灯の点灯と消灯を 15 秒毎に繰り返したときの瞳孔運動を赤外線ビデオカメラで撮影した。画像処理により瞳孔を検出し、直径の経時変化を調べた。注視距離 0.5m と 1.5m で比較したところ、注視距離が近い場合では近見反応による縮瞳[2]が見られただけでなく、初期加速度が小さく収束に時間がかかることが多かった。注視すべき距離よりも近いところに焦点が合っているためにぼんやりしている場合、それはこれらの瞳孔運動の特徴から客観的に検出できる可能性があると考えられた。しかし床に横たわった姿勢ではこの効果は緩和されたことから、眠気でぼんやりしている場合には反応が検出されにくいものと予想された。また、優位眼のみで鮮明な画像と不鮮明な画像を 10 秒毎に交互に眺めたときの瞳孔運動を調べたところ、縮瞳が観測された。不鮮明な画像に対する縮瞳は被写界深度を増加させるための反応であると考えられ、ぼんやりしている可能性を示す根拠になると考えられた。

(3) 垂直方向サッカードは水平方向サッカードよりも滑らかであること

横方向もしくは縦方向に視角で約 6° 離れた位置に交互に表示される視標を注視したときの眼球運動を高速度赤外線ビデオカメラで撮影した。瞳孔角膜反射法により眼球の回転角を算出した。眼球の回転が一对の拮抗筋によって実現されているものとみなし、先行研究[3]を参考に粘弾性を持つ機械の力学的性質を表す微分方程式を導出した。回転角の経時変化を微分方程式に当てはめ、垂直方向、水平方向それぞれの回転について前半と後半に分け、弾性係数ならびに粘性係数を推定した。垂直方向サッカードでは前半の弾性係数がより小さく、筋が細いことを反映していると考えられた。回転角の経時変化は水平方向よりも滑らかになった。眼球の垂直回転が水平回転よりも優勢になることで平準化される角加速度を観測することで、回転方向を定めることなくぼんやりしている状態を検出することも可能であると考えられた。

参考文献

- [1] Chisum, GT & Morway, PE : The effect of virtual image projection distance on the accommodative response of the eye. Naval Air Development Center, 77017-40, 1977.
- [2] Fry, GA : The relation of pupil size to accommodation and convergence. American Journal of Optometry, 22, 451-465, 1945.
- [3] Clerk, MR & Stark L : Control of human eye movements: II. A model for the extraocular plant mechanism. Mathematical Biosciences, 20, 213-238, 1974.

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 T. Kimura, T. Hayami	4. 巻 -
2. 論文標題 Effects of gaze distance on direct pupillary light response: relaxation curve analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Life Engineering Symposium 2019	6. 最初と最後の頁 157-158
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

1. 著者名 T. Hayami, T. Matsuo, K. Fukuda, K. Shidoji	4. 巻 -
2. 論文標題 Viscoelastic eyeball behavior in vertical saccadic eye movement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of Life Engineering Symposium 2019	6. 最初と最後の頁 31-31
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 早見武人
2. 発表標題 動画像処理で捉える眼筋運動の機械的性質
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 則長竜弥・早見武人
2. 発表標題 ダブルブルキン工法を用いた頭部非固定条件下での水晶体調節検出
3. 学会等名 第36回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村友洋・早見武人
2. 発表標題 注視距離が直接対光反応に与える影響
3. 学会等名 第36回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 早見武人・松尾太加志・福田恭介・志堂寺和則
2. 発表標題 垂直方向のサッカーにおける加速段階と減速段階の比較
3. 学会等名 第36回日本生理心理学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 早見武人・東島尚輝
2. 発表標題 フォークトモデルに基づく衝動性眼球運動の粘弾性推定
3. 学会等名 第65回システム制御情報学会研究発表講演会
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
研究 分担 者	橋口 公章 (Hashiguchi Kimiaki) (80448422)	九州大学・大学病院・講師 (17102)	辞退

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	鬼塚 俊明 (Onitsuka Toshiaki) (00398059)	九州大学・医学(系)研究科(研究院)・教授 (17102)	

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