

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：37116

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26870788

研究課題名(和文) 運転中に視機能に及ぼす影響に関する研究～新しい安全指標～

研究課題名(英文) The effects of visual performance in the driving - New safety indicator -

研究代表者

永田 竜朗 (Nagata, Tatsuo)

産業医科大学・医学部・講師

研究者番号：80389460

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：眼の焦点調節反応には、予想される物体の位置に焦点調節を行おうとする推測調節反応と、物体をはっきり見ようとする不随意調節反応が働いており、一致しないと調節動揺を引き起こすことが分かった。

バックミラー視認時に眼精疲労や視認性低下を引き起こす焦点調節動揺が発生していた。これを最小限にするためには、視認範囲は狭いが平面鏡が確実であった。凸面鏡を使用する場合は、眼からミラーまでの距離を40cmよりも離し、凸面鏡の曲率半径が2000mm以上のなるべく大きいものを選ぶべきである。運転など視覚に重大な負荷がかかる作業において、安全基準の一つとして焦点調節応答を測定し視機能への影響を考慮することが推奨された。

研究成果の概要(英文)：The focal accommodation of human eyes is controlled by not only an involuntary system of reflective response that is optimized to see an object sharply but also a system of estimated response to focus on expected position. We found that the conflict between the two systems caused the intensifying accommodative fluctuations.

The accommodative fluctuations while watching through the convex mirror were significantly larger than while watching through the plane mirror. Then, it is recommended that the flat mirror is used as the driving rear-view mirror. If drivers must use the convex mirror, they should set the mirror in more than 0.4m from their eyes and should choose more than 2000mm radius of the curvature.

The accommodation responses should be measured in many situations of the eyestrain such as driving a car and operating a machine in the factory. Furthermore, the accommodative fluctuations should be considered as one of the safety standards.

研究分野：眼科学

キーワード：焦点調節応答 レフラクトメーター 眼精疲労 バックミラー(リアビューミラー) 自動車運転 調節動揺 コックピットデザイン 凸面鏡

### 1. 研究開始当初の背景

自動車のバックミラーは、運転時に前方進行方向からなるべく顔を動かすことなく後方および後側方を視認するための器具である。車内用バックミラーには、確認できる範囲が広いという理由から凸面鏡を使用していることが多い。しかしながら、凸面鏡を使用してその反射像を観察すると、平面鏡に比べ物体が小さく映り実際よりも対象物が遠くにあるように感じるばかりでなく、対象物がぼやけてははっきりと見えない感覚がある。凸面鏡に関する研究は、非球面型や凸面型の車外用ミラーが事故を減らす可能性があるという調査や [Helmers G et al., UMTRI-92-20, 1992、Schumann J et al., UMTRI-96-7, 1996]、凸面鏡を使用したときに被験者が感覚する物体までの距離や大きさについての報告があったが [Higashiyama A et al., Japanese Psychological Research, 2001、Higashiyama A et al., Perception & Psychophysic, 2004、Hecht H et al., Ergonomics, 2007、Van Der Horst R, Appl Ergon, 2004]、客観的に凸面鏡使用時の生体反応を調べた研究はなかった。そこで我々は凸面鏡下での物体視認が人間の目の焦点調節機能に及ぼす影響について、赤外線オプテーターを用い客観的に評価し、ぼやけの原因が、凸面鏡下での物体の観察が観察者の眼に焦点調節動揺を起こすためであることを報告した [Nagata T et al. Appl Ergon, 2013]。一般的に微小な焦点調節動揺はヒトの眼に生理的に存在しており、それを調節微動と呼ぶ。焦点調節動揺の状態が続くと眼精疲労や視機能異常につながるが、この動揺が激しくなくなる条件については検討されておらず、また他の運転時安全確認ツールと焦点調節についても検討されていなかった。

### 2. 研究の目的

自動車の運転席には、安全かつ快適な運転をするために、バックミラーなどの運転時安全確認用ツールが運転時に進行方向から視点を動かさないでよい位置に設置されているが、これだけでは眼生理学的観点から安全性を考慮しているとは言えない。眼の焦点調節応答については考慮されていないからである。そこで、我々は運転中に視機能に及ぼすと考えられるバックミラー視認時の調節応答反応について調査し、調節動揺が最小限となる最適な条件について検討する。

運転など視覚に重大な負荷がかかる作業において、焦点調節応答の検証は安全基準の一つであることを周知する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 装置原理概要

以前の実験系で使用していた焦点調節測定器の測定速度を1秒間に12.5回から50回へ上げ、さらに、瞳孔径と輻湊開散状態も両

眼同時にリアルタイムで測定できるように実験系へ改良した(図1)。平面鏡及び凸面鏡の使用中の調節反応を実際の被験者で測定した。

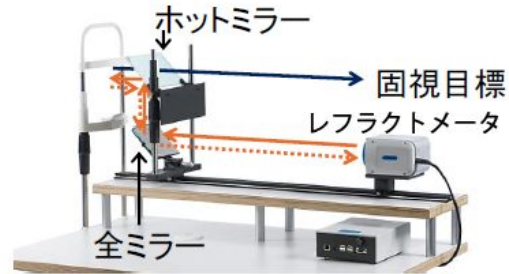


図1 実際の実験系の写真

ホットミラーは、可視光を透過し、赤外線だけを反射するミラー。被験者が自然な状態で固視目標をみている状態で両眼の屈折度を毎秒50回測定できる。

#### (2) 被検者と焦点調節反応の測定

我々は凸面鏡使用時の生体反応を調べるため、視機能が正常である若年者7名14名(19~26歳;平均年齢22.9歳;男性3人,女性4人)を被験者として、凸面鏡使用時の調節応答反応を測定した。

両眼開放下にそれぞれのミラー使用時の調節応答を連続的に測定する。得られた両眼の調節応答波形に対して、調節応答位置と調節動揺を解析し、各条件について、凸面鏡と平面鏡使用時で比較した。

#### (3) 変化要因による調節応答の検討

被験者からミラーまでの距離、ミラーから固視目標までの距離、凸面鏡の曲率半径を変化させて、平面鏡使用時の調節動揺と平均調節応答位置の違いについて、それぞれで比較した。具体的には、実際の自動車の運転姿勢を計測した結果から、観察者からミラーまでの距離を0.3cm、0.4cm、0.5cm、ミラーから固視目標までの距離を3m、5m、10mへと変化させた場合、さらに凸面鏡の曲率半径を600mm、1000mm、2000mmとした場合と平面鏡の場合とそれぞれの調節応答を調べた。固視目標は長径9×9cm(5mで視度1°)のマルチクロスを使用した。

それぞれの条件下で得られた調節応答波計について、左右差、調節動揺、調節位置について統計学的に検討した。(得られたデータの検証として、7人中3人にはミラーから固視目標まで5.0m、被検者からミラーまでを0.4mに固定し、曲率半径860mm、1500mm、3000mmの3種類の凸面鏡を使用して調節応答を追加で測定した。)

また無限遠の前方視から凸面鏡(曲率半径1000m)あるいは平面鏡を使って視標をみたときの焦点調節応答時間を比較した(ミラーから視標まで5m、観察者からミラーまで0.40mで計測した)。

図2に実験系の模式図を示す。ミラーから眼までの距離は0.3~0.5m、ミラーから固視

標までの距離は 3~10m で計測した。ホットミラーを反射した両眼の赤外線像がレフラクトメータに入力されるように設置し、固視している視軸に対応させた。ホットミラーは赤外線だけを反射させ、可視光は透過する性質を持つ。これにより視線に影響与えずに焦点調節反応を計測することができる。

被験者に両眼開放下で 2 種類のタイプのミラーで固視標を観察するよう指示し、この間の各被験者の steady-state 焦点調節応答反応をレフラクトメータで 30 秒間ずつ連続的に計測した。屈折値シグナルを毎秒 50 回コンピューターに記録した。以前の実験系では毎秒 12.5 回の計測であったので、以前より 4 倍精密に測定することができたことになる。今回の実験は固視目標以外は見えない暗室で行った。被験者には、顎台に顔を載せてもらい、それぞれの条件下、固視目標を見るように指示した。測定は被験者 7 名に対して 2 回ずつ行い累計 14 回施行した。

さらに、測定後に全ての被験者に、2 種類のミラーで見ている間の視認性と固視標までの距離感について聴取した。

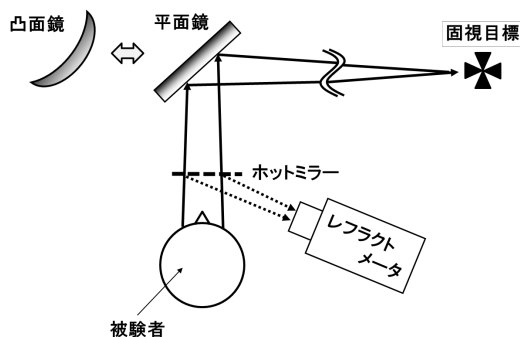


図 2 焦点調節反応測定系の模式図。

固視目標は長径 9cm のマルタクロスとした。ホットミラーで可視光は通過、赤外線だけを反射させ、凸面鏡または平面鏡使用時の両眼の焦点調節反応をレフラクトメータで測定した。実線は視線、破線は赤外線を示す。

#### 4. 研究成果

平面鏡使用時と凸面鏡使用時の焦点調節反応の違いについて、30 秒間測定した焦点調節応答波形の一例を図 3 に示す。平面鏡は実際の距離とほぼ同じ位置に調節を行っているが、凸面鏡では実際の距離よりも近い位置に調節していることが分かる。さらに波形は平面鏡使用時よりも凸面鏡使用時に調節動揺が大きい(波形の振幅が大きい)ことも示している。

それぞれの条件下で得られた調節応答波形に対して、固視目標までの調節応答位置(眼が合焦点をしている位置)を求めた。調節応答位置は 30 秒間の平均調節位置であり調節応答反応値の平均で表すことができるが、2 種類のミラーの平均調節位置の結果について比較すると、それぞれの被験者の凸面鏡使用時の焦点調節応答の平均は平面鏡使

用時に比べて有意に低い値であり、平面鏡使用時よりも凸面鏡使用時の方が調節応答位置はより近くを見ていた( $p < 0.001$ , Wilcoxon signed rank test)。さらに検証すると調節応答位置つまり合焦点の位置は、以前の我々の報告したように、曲率半径や様々な距離が変化しても、被験者から鏡像まで距離におおよそ調節していた。

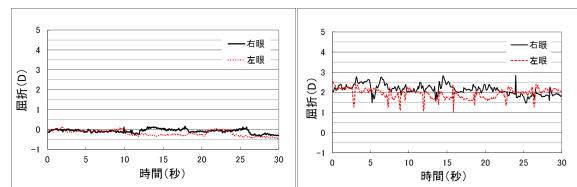


図 3 平面鏡(左図)及び凸面鏡(右図)

使用時の調節応答波形

横軸は経過時間(秒)、縦軸はレフラクトメータで測定した眼の調節反応(Diopter)を表す。(凸面鏡曲率半径 1000mm、ミラー~固視標: 5m、被検者~ミラー: 0.4m での測定データ)

調節動揺(焦点調節の不安定さ)は調節応答波形の振幅としてとらえることができる。平面鏡使用時は常に約 1Hz で 0.3D 程度の安静時の調節微動程度の反応であったが、被検者からミラーまでが 0.4m 以下かつ曲率半径が 1000mm 以下の場合に、凸面鏡による観察時は調節動揺が有意に大きかった( $p < 0.001$ , F-test)。動揺が大きいということは、目標物に焦点を合わせることが難しくなっている状態で、上記条件で凸面鏡を使用した場合は、調節が困難であることを示している。

ミラーから固視目標までの距離の変化(3m、5m、10m)は、凸面鏡の曲率半径を変化させても、調節応答位置および調節動揺に変化がなかった。これは、図 4 のように凸面鏡の特性上、固視目標までの距離が 3m 以上の場合には鏡像から鏡までの距離、鏡像の大きさともにほとんど変わらないためと考えられた。

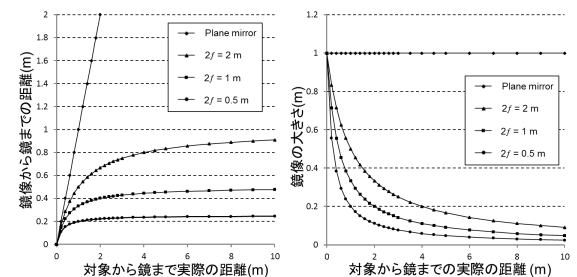


図 4 左: 物体までの距離と反射像までの距離との関係。右: 物体までの距離と反射像のサイズとの関係(1m 大の指標を想定)。

凸面鏡の場合、物体までの距離が一定以上になると、反射像の距離はほぼ同じとなる(左図)。また、物体までの距離が長くなると、反射像の大きさは急激に小さくなるが、一定の距離以上になるとほとんど変化しなくなる(右図)。2f は凸面鏡の曲率半径。

被験者が測定中に感じたミラーを通して見る固視目標の視認性と距離についての調査では、それぞれのミラーを通して見ている間、実際は同じ距離なのだが、凸面鏡下の反射像が小さいため、すべての被験者が、平面鏡に比較して凸面鏡での観察では、固視標の位置が遠方にあると感覚し、さらに凸面鏡使用時は固視標がぼやけてみえることを訴えていた。

このぼやけの原因は、『遠くや近くにある』という思考(想念)が調節応答に影響を与え、という過去の報告[Malmstrom FV et al., Perception & Psychophysics, 1980, Post RB, et al., Johnson CA et al., American Journal of Optometry and Physiological Optics, 1985]から考えると、反射像は同じ距離の平面鏡の反射像よりも小さいため日常生活における経験上、遠くにあると感じ、意識的に遠くに焦点調節しようとするにもかかわらず、実際の凸面鏡の反射像の結像点はより近方(曲率半径以内)にあり、そこへ不随意に焦点調節してしまうという不一致、『距離の誤認』であると考えられる。本研究で、人間の眼の焦点調節反応には、予想される物体の位置に焦点調節を行おうとする推測調節反応と、物体をはっきり見ようとする不随意調節反応が働いていることが確認できる。つまりこれらによる調節が一致しないと調節動揺が激しくなるのである。さらに調節動揺が激しいことは、眼精疲労を起こすことになり、視機能に悪影響を及ぼすことになる。

さらに運転中無限遠の前方視から曲率半径 1000mm の凸面バックミラーを見た時、焦点調節を行うのに平面鏡よりも 2 倍の時間がかかることも分かった(平均 1.1 秒 n=7)。これは、応答に 1 秒かかるとすると、走行している自動車の時速 60 km では 17m、時速 80 km では 22m、時速 100km では 28m も進んでいることになる。

すなわち、バックミラー使用時に発生する眼精疲労や視認性低下を最小限にするためには、視認範囲は狭いが平面鏡を使用すべきであり、凸面バックミラーを使用する場合は、眼からミラーまでの距離を 40cm より離し、凸面鏡の曲率半径がなるべく大きいもの(2000mm 以上)を選択することが推奨される。

現在、他の運転時安全確認ツールについても焦点調節応答反応について検証を進めているが、自動車や飛行機のコクピットの設計の段階から焦点調節応答を安全指標として考慮することを提唱する。

## 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 5 件)

永田竜朗、交通外傷の現況、OCULISTA、査読なし、49、2017、pp.16-27

永田竜朗、自動車バックミラー視認時の調

節応答特性と危険性、福岡県眼科医会報、査読有、243、2016、pp.2-9

〔学会発表〕(計 2 件)

永田竜朗、自動車運転時の焦点調節応答～凸面バックミラーに潜む危険～、第 58 回日本産業・労働・交通眼科学会、2016 年 11 月 19 日、北九州国際会議場(福岡県北九州市)

岩崎常人、永田竜朗、近藤寛之、パワーレフラクトメータによる調節・輻輳・瞳孔の両眼同時測定、第 85 回九州眼科学会、2015 年 5 月 30 日、鹿児島県医師会館(鹿児島県鹿児島市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

永田 竜朗 (NAGATA, Tatsuo)

産業医科大学・医学部・講師

研究者番号：80389460