

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04724

研究課題名（和文）高齢者の夜間運転の安全を高める環境順応・個人適応型コントラスト向上照明技術の構築

研究課題名（英文）Development of environmentally adaptive and individually adaptive contrast-enhancing lighting technology to improve nighttime driving safety for older people.

研究代表者

明石 行生（Akashi, Yukio）

福井大学・学術研究院工学系部門・教授

研究者番号：10456436

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：加齢に伴う眼の水晶体の白濁によりコントラスト感度が低下する。高齢者の夜間運転の安全性向上には、歩道の歩行者や路肩の障害物など重要な視対象を検出しやすくするために、視対象の輝度コントラストの向上が不可欠である。本研究は、自動車前照灯と道路照明とを連動制御して高齢者の夜間運転時の安全性を向上するコントラスト向上照明システムを開発するために、個人の視覚特性と道路環境の変化に応じて歩行者や障害物を検出できるかどうかを判定する「周辺視の視標検出モデル」と、運転者の複雑な視野から順応輝度を求める「順応輝度算出アルゴリズム」を構築した。さらに、上述のシステムの効果を屋外フィールド実験により実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、高齢者の視覚特性に対応した、これまででない新規な周辺視の視認性モデルを構築すること、複雑な視野情報から周辺視の順応状態を把握できる新規な画像解析アルゴリズムを構築するためのデータベースを提供することである。

本研究の社会的意義は、コントラスト感度の低下により交通安全を脅かされていた高齢者の視覚支援のために、最新のハード技術を活用して視対象のコントラストを高める新規な「コントラスト向上照明システム」を創造することである。

研究成果の概要（英文）：As aging, the eye's lens becomes cloudy, resulting in a decrease in contrast sensitivity. It is essential to improve the luminance contrast of visual targets according to individual visual characteristics to facilitate the detection of important visual targets such as pedestrians and obstacles on the road for driving safety. In order to develop a contrast-enhancing lighting system that improves the safety of older people when driving at night by controlling the interlocking of automobile headlights and roadway lighting, this study determines whether pedestrians and obstacles can be detected according to individual visual characteristics and changes in the road environment. We constructed a visual detection model for peripheral vision and an adaptation luminance calculation algorithm that determines adaptation luminance from the driver's complex field of vision. Furthermore, the effectiveness of the above-described system was demonstrated through outdoor field experiments.

研究分野：建築環境工学

キーワード：輝度コントラスト 高齢者 順応輝度 偏心角 ヘッドライト Adaptive Driving Beam Light Emitting Diode 白内障

1. 社会的背景

加齢とともにコントラスト感度の低下が著しく、その加齢変化に個人差が大きいため、高齢者に対して、視対象と背景との輝度コントラストを高めることが重要である。近年の AI と IoT の台頭、センサーと Light Emitting Diode (LED) の技術の発展により、コントラスト向上照明を実現する要素技術は整いつつある。今回、これらの最新のハード技術を活用し、それらを制御するソフト技術を組み合わせることにより、コントラスト向上照明システムを実現することを着想した。例えば、Adaptive Driving Beam (ADB) は、多数の指向性の高い LED を縦横方向に配列し、個々の LED の点消灯と調光制御により、グリッドに区切った運転者の前方視野の各要素を局部的に照明する新しいプロジェクター型のヘッドライト (HL) である。また、道路照明にもプロジェクター型の配光制御技術を導入することにより、視対象だけを局部的に照明し、視対象の輝度コントラストを高められる。例えば、横断歩道の白線部だけを照明すること、歩行者を追従して照明することが可能になる。

2. 目的

本研究は、プロジェクター型配光制御技術を用いて高齢者の夜間運転時の安全性を向上する「コントラスト向上照明システム」を開発すること、そのために必要な個人の視覚特性と道路環境の変化に応じて歩行者や障害物を検出できるかどうかを判断する「周辺視の視標検出モデル」、その判断に必要な変数である順応輝度を運転者の複雑な視野情報から求める「順応輝度算出アルゴリズム」を構築することを目的とした。

3. 研究の方法

2019 年度から 2022 年度 (1 年間延長) まで、「周辺視の視標検出モデル」を開発するためのデータベース構築のために、輝度コントラスト閾値を求める実験と複雑な輝度分布の視野で順応輝度を求める実験、実験室内でのとの実験結果を実環境で実証するフィールド実験を行った。

3.1. 周辺視の視標検出モデルの構築のための輝度コントラスト閾値を求める実験

2019 年度には、被験者の周辺視野に順応輝度と視標の輝度コントラストが種々異なる視標を提示し、被験者は中心視でトラッキング作業をしながら周辺視で視標を検出した。実験装置は、コンピュータ、ディスプレイ、キーボード、中心視作業提示装置から構成された。中心視作業提示装置は、自車を車線の中に維持するトラッキング作業を模擬した。独立変数を視標の提示位置、視標の輝度コントラスト、順応輝度とし、従属変数を視標の検出率とした。視標は、視線中心から水平線上に右方向に、偏心角 10 度、15 度、20 度の位置に提示した。輝度コントラストは、検出率の 50~80 パーセント値を求めるのに十分な範囲を準備した。背景輝度は 0.1~1.0cd/m² の 3 条件とした。被験者は、中心視作業を行いながら、ディスプレイの周辺視野に提示される視標を検出してもらった。

2019 年度の実験の結果、中心視作業と周辺視作業との間に 1 cm 程度の奥行き之差異があったため、被験者が中心視の視対象と周辺視の視対象に同時に焦点を合わせるのが難しかったことが原因で安定した実験結果が得られなかった。そのため 2020 年度に高齢者を研究対象とするにあたり、中心視のトラッキング作業を視野中心の固視点を固視する作業に代えて中心視作業を単純化した。独立変数は、視標位置、視標の輝度コントラスト、順応輝度とし、従属変数を視標の検出率とした。視標は、視線中心から水平線上に右方向に、偏心角 10 度、15 度、20 度の位置に提示した。被験者は、視野中心の固視点を見ながら、ディスプレイの周辺視野に提示される視標に反応した。

2021 年度には、周辺視において視対象の検出が可能となる順応輝度と輝度コントラストの要件を示す、「周辺視の視標検出モデル」を構築することを目的として、視標の位置、輝度コントラスト、順応輝度が種々異なる条件をコンピュータディスプレイ上に提示して、周辺視における視標検出実験を行った。これまでの実験条件に関する課題を解決したうえで、若齢者と高齢者とが同じ実験条件下で評価できるように、今回改めて統一した条件下で実験を行った。被験者は、目に疾患のない本学の学生 9 名 (23~27 歳) と、高齢者 9 名 (62~65 歳) の協力を得た。

3.2. 順応輝度算出アルゴリズムの構築のための複雑な輝度分布の視野で順応輝度を求める実験

実験では、夜間の市街地の道路を想定し、被験者が複数のグレア光源が存在する視野に提示された視標を検出した。実験装置は、視標提示板、照射光源、2 台の対向車のヘッドライト (以降、HL と略す)、コンピュータ、スイッチから構成された。視標は 70 m 前方の路肩の歩行者を想定し、照射光源から視標提示板に照射する直径 0.4 度の円形のスポット光とした。1 台目の HL は 15m 遠方、2 台目の HL は 110m 遠方に位置する乗用車のロービームを想定した。このレイアウトは、事故が多い「対向車

線の2台の対向車の間の路肩に立つ歩行者が道路を横断しようとする状況」を想定した。実験では、被験者は、中心視に提示された数字を読んで前後2つの数字を合計するトラッキング作業を課したうえで、周辺視で視標を検出する作業を行った。

2021年度は、これまで若齢者と高齢者を対象に行ってきた実験結果に基づいて、周辺視の光幕輝度モデルを作成した。これらの実験では、被験者の視野の周辺部にグレア光源を提示した時に、周辺視野に提示した視標の閾値コントラストを求めるものであった。実験結果から周辺視野に提示したグレア光源が被験者の視野に生じる光幕の輝度分布を求め、そこから、光幕輝度算出のモデル式を求めた。このモデル式の年齢差を調べた結果、高齢者は若齢者に比べて約10倍の光幕輝度になることが明らかになった。ただし、高齢者は白内障の進行の影響により実験結果の個人差が大きいことも明らかにした。

3.3. 夜間屋外でのフィールド実験

2022年度は、昨年度までに明らかにしたモデルを実際の屋外環境で実証するために、福井県総合グリーンセンターの舗装した駐車場で夜間実験を行った。被験者として若齢者8名と高齢者12名の協力を得た。実験では、対向車と歩行者が自車の前方70mに位置する片側3.5mの直線道路を想定して実験装置を上記の駐車場に配置した。実験装置は、乗用車、制御マイコン、検出スイッチ、制御PC、乗用車用HL、対向車用HL、三脚6台、視標、各種電源で構成した。実験中、実験者は制御PCを操作して視標の提示と被験者の応答の記録を行った。視標は、歩行者に見立てた、灰色(反射率0.16)の布を被せて垂直に立てた1.3m×0.4mの板とした。視標は、10m手前に配置した視標用ライトで照明した。検出スイッチは、被験者が視標検出を合図するために用いた。視標ライトと検出スイッチを制御PCに接続した。視点用ライトは赤色のフィルターを貼った懐中電灯であり、被験者から前方70mの位置の地面に置いた。独立変数は、眼前照度と視標輝度とした。眼前照度は、対向車HLの消灯時、ロービームからハイビームまでを想定した0.16lx、0.4lx、3lxの3水準とした。視標輝度は5条件を設定した。従属変数は視標の検出率とした。実験では、被験者は運転席に座り、70m先の注視点を注視し、周辺視野で視標を検出するや否や検出スイッチを押した。以上を対向車HLが消灯、ロービーム、ハイビームの3条件下でそれぞれ8回ずつ繰り返した。このフィールド実験におけるHLシステムは、株式会社小糸製作所から借用した。

4. 研究成果

4.1. 周辺視の視標検出モデルの構築のための輝度コントラスト閾値を求める実験

実験の結果より、各視環境条件(順応輝度×提示位置)に対する検出率を算出した。図1に、検出率を若齢者と高齢者ごとにまとめ、近似したものの中から、視標の提示の偏心角が7.8°で提示方向が水平右の場合を例示する。

(1) 順応輝度 0.1cd/m² (2) 順応輝度 0.3cd/m² (3) 順応輝度 1.0cd/m²

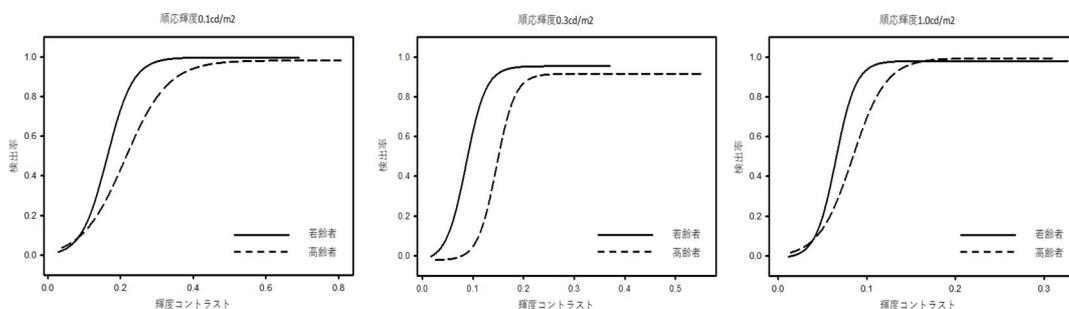


図1 視標の検出率(水平右方向の偏心角7.8°の視標)

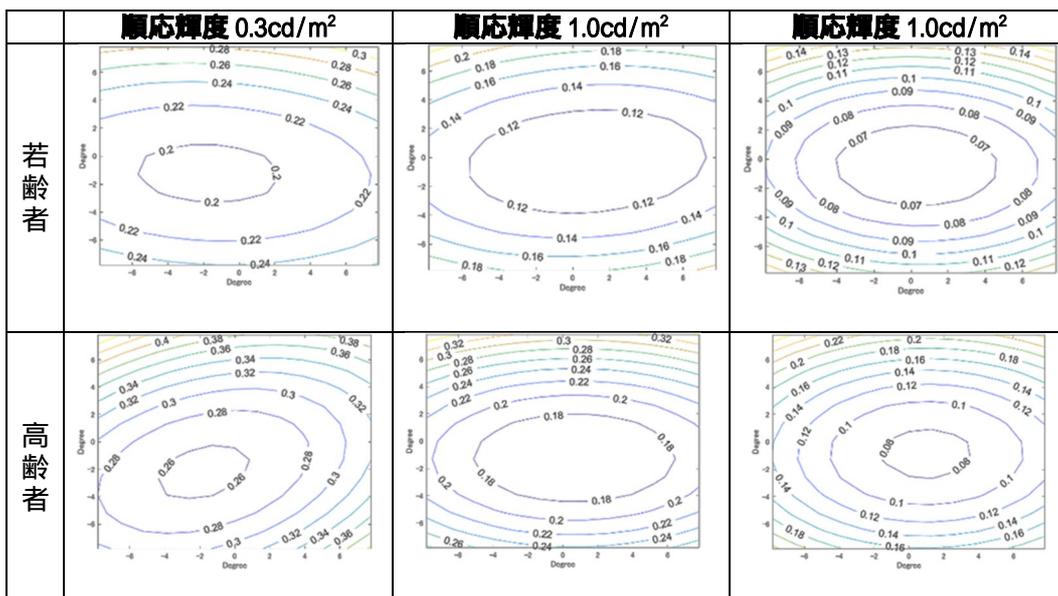
これらの近似曲線から85パーセンタイル値、つまり、特定の条件下で視標を85%検出するために必要な輝度コントラスト値を求めた。この85パーセンタイル値を基に、視標検出モデルを構築した。直感的に理解しやすいものとするために、縦軸、横軸を鉛直方向、水平方向の注視点からの距離とし、高さに輝度コントラストの85パーセンタイル値をとった。それらのデータを2次多項式曲面によって近似し等高線図とした。これを周辺視における視標検出モデルとした(図2にモデルの一例を示す)。

このモデルから、周辺視によって視標を85%検出するために必要な輝度コントラストを算出することができる。また、図2から周辺視による視標検出に対する偏心率、方位角、順応輝度、年齢の影響が読み取れる。特につぎのことが明らかになった。

- ・ 視標の偏心角が大きくなるほど、必要な輝度コントラストが増加し、視標検出能力が低下する。

- ・ 周辺視における等輝度コントラスト曲線は、長軸が水平な楕円形をしている。これは、空間周波数の解像能力を示すデータと同じ傾向を表している。
- ・ 順応輝度が高くなるほど必要な輝度コントラストは低下する。
- ・ 若齢者に比べ高齢者の方が必要とされる輝度コントラストは高い。これは、輝度コントラストを高めれば、加齢によって低下した視覚能力を補えることを示唆する。

表1 視標検出モデル



4.2 順応輝度算出アルゴリズムの構築のための複雑な輝度分布の視野で順応輝度を求める実験

図2は、視野にグレア光源が存在するときの実験結果を示す。図2から、1つ目のヘッドライトが点灯しているときの視標の検出率が最も高く、次に2つ目のヘッドライト、両方のヘッドライトの順に視標の検出率が低くなるのが分かった。つまり、この順に目の中で生じる光幕輝度が高くなるのが分かった。

個人差の大きい高齢者の視覚特性を考慮し、各被検者個々のデータを用いて、個人ごとに解析を進めた。まず、実験の結果を用いて、背景輝度と輝度対比閾値との関係をグラフに示した。そのグラフに実験で求めた輝度対比閾値をプロットし、実験の順応輝度を算出し、そこから光幕輝度を推察した。高齢者の光幕輝度は個人差が大きかったので、被験者を光幕輝度の大きさによって2つに分けて考察した。その結果、光幕輝度の低いグループにおける光幕輝度モデルは次の式のように表せることがわかった。

$$L_v = 326 \times E_n / (\text{ } ^{1.54}) \quad \dots (1)$$

ここで L_v は光幕輝度(cd/m²)、 E_n はグレア光源による眼前照度(lx)、 θ は光源から視標までの視野角(°)である。この式で求められる光幕輝度は若齢者のその6倍程度にあたるのが明らかになった。

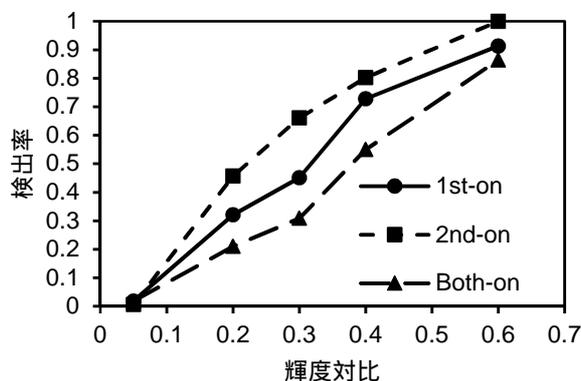


図2 実験結果 (1st-on : 1つ目のヘッドライトが点灯、2nd-on : 2つ目のヘッドライトが点灯、Both-on : 両方のヘッドライトが点灯)

4.3. 夜間屋外でのフィールド実験

図3に高齢者と若齢者の検出率の示すように、グレア光源による眼前照度は視標検出率に影響をした。分散分析の結果、眼前照度 ($p < 0.01$) に関して主効果があった。Tukeyの同時検定の結果、ハイビーム時と比べてロービーム時と消灯時 ($p < 0.01$) の検出率が優位に大きかった。表2に輝度の閾値を示す。以上よりグレア光源による眼前照度の上昇とともに検出率は下がり、視標検出に必要な視標輝度は高くなること、高齢者は若齢者よりも高い視標輝度を要することが明らかになった。

宮崎らがHL及び雨の水溜りでの反射光による条件下で求めた視標検出の閾値輝度は、対向車HLのみのときで 0.43cd/m^2 であったのに比べて今回の輝度値は高齢者で高いことが確認出来た。

実験の結果、対向車HLの有無は視標検出率に影響を及ぼし、ハイビーム時に比べてロービーム時と消灯時の検出率が有意に高いことを明らかにした。グレア光源による眼前照度が高くなるにつれて検出率は低くなること、高齢者の閾値は若齢者の閾値よりも高い輝度を要することを明らかにした(表2)。同時に昨年度までの実験室実験により構築したモデルと整合することを明らかにした。

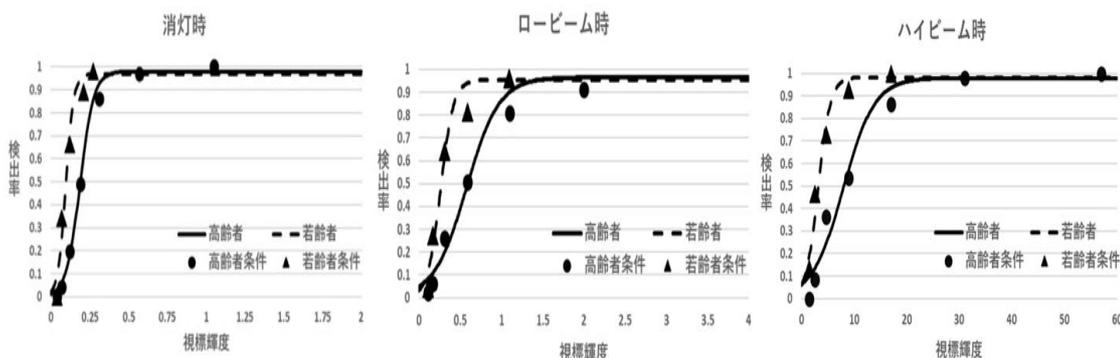


図3 視標輝度と検出率

表2 視標輝度の閾値(cd/m^2)

	若齢者	高齢者
消灯時	0.10	0.19
ロービーム時	0.27	0.59
ハイビーム時	3.24	8.10

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 R Ohashi, Y Akashi, T Uchida	4. 巻 52(4)
2. 論文標題 Comparisons between off-axis detection and on-axis recognition to implement mesopic photometry in roadway lighting standards	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lighting Research & Technology (online first)	6. 最初と最後の頁 540-553
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/1477153519877496	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 該当する

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 宮崎透、明石行生、柴田裕一、石田裕之
2. 発表標題 雨天時における視対象検出のためのADBの照明要件
3. 学会等名 照明学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akashi, Y., Miyazaki, T., Maeda, H., Shibata, Y., Ishida H.
2. 発表標題 LIGHTING REQUIREMENTS FOR ADAPTIVE DRIVING BEAM (ADB) TO IMPROVE TARGET VISIBILITY WHEN ONCOMING HEADLIGHT GLARE EXISTS
3. 学会等名 29th Quadrennial Session of the CIE (国際学会)
4. 発表年 2019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
---------	---------