

講演 3. 高齢者等の交通弱者に配慮した自動車前照灯に関する評価解析

自動車研究部 ※青木 義郎 後閑 雅人 田中 信壽 安本 まこと
 小糸製作所 山村 聡志 中澤 美紗子

1. はじめに

高齢社会により 65 歳以上の高齢者の免許保有者数も年々増加し続けており、2016 年には 1768 万人に達している。これにより、高齢ドライバによる 2016 年の事故は 20 年前と比べると 2.2 倍以上 (図 1¹⁾) となっており、高止まり傾向にある。また高齢ドライバによる事故は、夜間時において対歩行者への事故の割合が高いのが特徴である²⁾。これは、夜間時における歩行者の被視認性の低下が原因と考えられる。

こうしたことから夜間の歩行者被視認性向上のため、前照灯の高光度化や、対向車のドライバにグレアを与えず歩行者をより見えやすくするような配光可変型前照灯の開発導入が行われてきている。また、保安基準における走行ビームの最高光度は近年 1 灯当たり 112,500cd から合計で 430,000cd と引き上げられた。

これらによりドライバから見た夜間歩行者被視認性の向上が期待されるが、その一方で高光度化した前照灯が歩行者に与える影響については十分な知見が得られていない。また歩行者のグレアについては UNECE(国際連合欧州経済委員会)の GRE (灯火器分科会)でも十分議論されてないのが現状である。

この研究では、夜間時の対歩行者事故の低減を目指し、歩行者へのグレアも配慮した新しい前照灯配光について評価解析を行うものとし、前照灯の照射範囲や加齢により歩行者被視認性及び認知特性がどのように変化するのか評価実験を実施した。

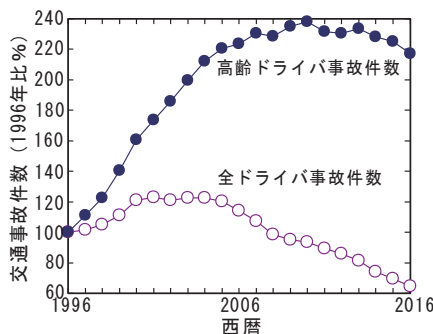


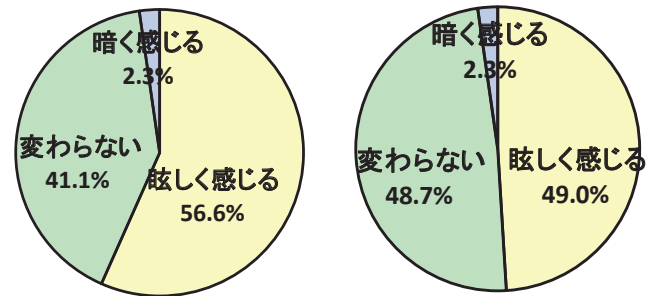
図 1 交通事故の推移(1996 年比)

2. 前照灯に関する歩行者へのアンケート調査

年齢層 (高齢層: 65 歳以上。非高齢層: 20~64 歳) 別に、歩行者から見た前照灯の明るさ等に関するアンケート調査を実施した。その結果を図 2、図 3 に示す。

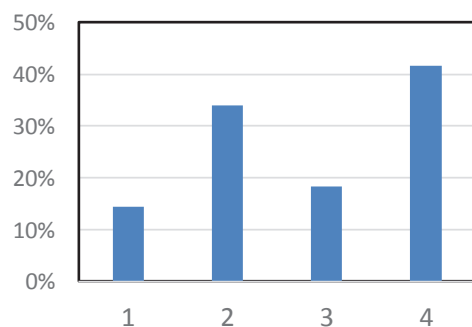
高齢歩行者、非高齢歩行者いずれも最近の前照灯は眩しく感じる人の割合が高く、高齢歩行者はその割合がより高くなることが図 2 に示されている。

また、前照灯の明るさが歩行者安全性に及ぼす影響については、眩しすぎて危険を感じたことのある歩行者の割合が 3 割強存在することが示された (図 3-1、3-2)。



(a) 高齢歩行者 (n=312) (b) 非高齢歩行者 (n=312)

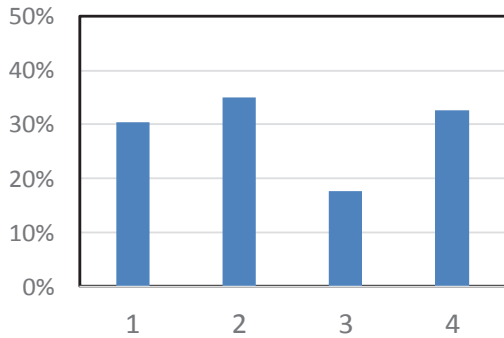
図 2 前照灯の明るさに関する歩行者アンケート結果 (Q.最近の自動車前照灯、以前と比べてどのように感じるか?)



- 1: 暗い夜道で前照灯の明るさが十分でなく危険を感じたことがある
- 2: 眩しすぎて、横断中などに危険を感じたことがある
- 3: 眩しく感じても危険を感じたことはない
- 4: 特に危険を感じたことはない

(a) 高齢歩行者 (n=312)

図 3-1 前照灯による歩行者安全性のアンケート結果 (Q.夜間接近してくる車両の前照灯について (複数回答可))



- 1: 暗い夜道で前照灯の明るさが十分でなく危険を感じたことがある
- 2: 眩しすぎて、横断中などに危険を感じたことがある
- 3: 眩しく感じても危険を感じたことはない
- 4: 特に危険を感じたことはない

(b)非高齢歩行者 (n=312)

図 3-2 前照灯による歩行者安全性のアンケート結果 (Q.夜間接近してくる車両の前照灯について (複数回答可))

3. 歩行者被視認性の評価解析

アンケート調査結果 (図 2、図 3-1、3-2) より、最近の前照灯は眩しく感じやすく、また安全性への影響も懸念されることから、歩行者へのグレアも配慮した新しい前照灯配光を使用した場合、高齢ドライバーから見た歩行者の被視認性がどのように変化するかを評価解析することとした。また、歩行者死亡事故 (図 4 参照³⁾) のうち 72%は道路横断中に発生していることから、本研究では、横断歩行中の歩行者の見え方について評価することとした。

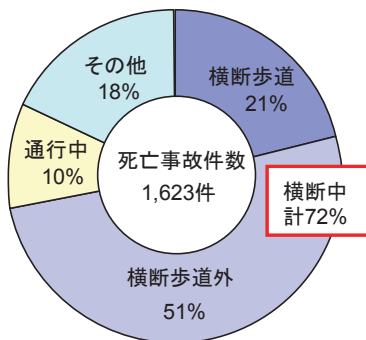


図 4 歩行者死亡事故の行動類型別割合 (終日)

3. 1. 歩行者被視認性実験方法

本研究では、夜間横断歩行者の見え方が前照灯などによりどのように変化するかを明らかにするために、暗室 (当研究所低視程実験棟暗室 (図 5 参照)) 内において実験参加者 (高齢者) による評価実験を行った。

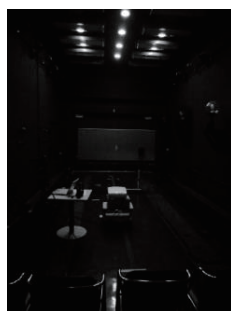


図 5 暗室

3. 1. 1. 視認対象物

歩行者は、スクリーン上へのプロジェクタライトによる投影画像 (図 6 参照。 (最大投影面積 0.7m×1m)) により模擬する。歩行者の身長は成人男女平均である 160cm とした。横断歩行姿勢の歩行者の画像からその形状を抽出し、評価実験に使用することとした。



3. 1. 2. 前照灯照射範囲 図 6 模擬歩行者

前照灯による見え方の変化を評価するため、3 種類 (図 7 参照: 全身照射、首下照射、足元照射) の画像を使用して実験を行った。全身照射は走行ビームを想定、足元照射はすれ違いビームを想定した。

さらに歩行者にグレアを与えずなおかつドライバに歩行者を視認しやすい将来の新型灯火を想定した”首下照射”の画像についても評価を実施することとした。

それぞれの歩行者画像について視認できるかどうか評価を行うものとした。

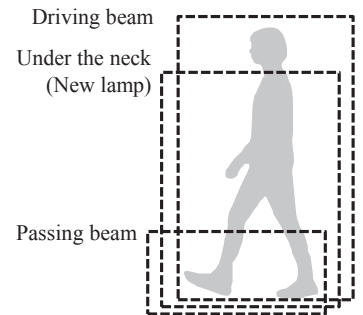


図 7 前照灯の照射範囲

3. 1. 3. 観測条件

歩行者とドライバー間の距離は 30~150m と設定した。実験参加者は歩行者画像が投影されたスクリーンから 6m 離れた状態で観測評価 (図 8 参照)



図 8 観測状況

を行うものとし、縮尺率からこの時スクリーン上に映る人体の見かけ上の全長を算出し、表示を行った。

路面の水平面照度は CIE で規定されている 3lx (交通量の少ない住宅地区) ~20lx (交通量の多い商業地区) に基づき、路面の反射率は 15% で完全拡散であるものとして、背景輝度 (路面輝度) は

$$0.14 \sim 0.96 \text{cd/m}^2$$

と設定した。

歩行者輝度は前照灯の照射範囲内において均一とした。歩行者輝度と背景輝度のコントラスト C は以下の式(1)より算出する。何か存在するのがわかる (物体知覚)、歩行者であることが分かる (歩行者認知)

ぎりぎりのコントラスト値（コントラスト閾値）を、それぞれの条件で求めるものとした。

$$C = (L_p - L) / L_p \dots\dots\dots(1)$$

L_p : 歩行者輝度 [cd/m²] L : 背景輝度 [cd/m²]

3. 1. 4. 実験参加者

実験参加者は、65歳以上の運転免許保有者16名である。なお、また実験参加者は外部から派遣されており、当研究所の「人間を対象とする実験に関する倫理規程」に基づき実験を開始する前に内容の説明を充分に行い、インフォームドコンセントを得た。

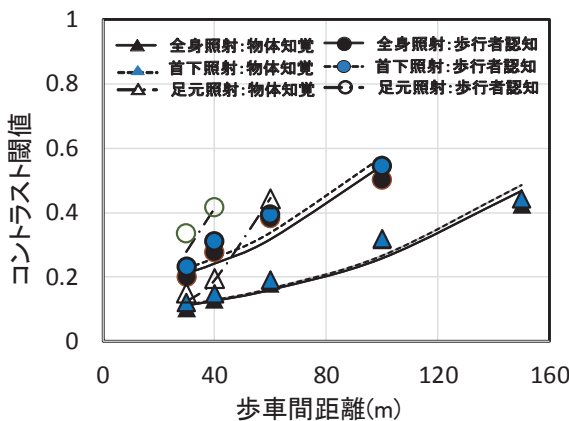
高齢層の平均年齢は70.9歳（標準偏差3.8）、平均視力は左0.80、右0.90であった。

3. 2. 実験結果

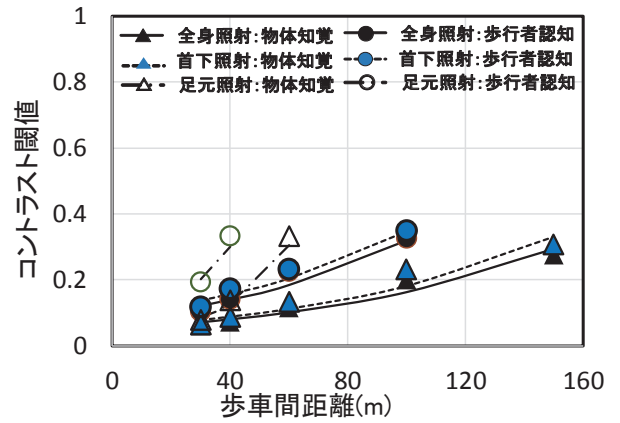
3. 2. 1. 照射範囲によるコントラスト閾値の変化

実験結果から歩行者についての物体知覚及び歩行者認知が限界となるコントラスト閾値を算出し、前照灯の照射範囲や背景輝度などとの関係を調べるものとした。その結果（背景輝度:0.14または0.96cd/m²のケース）を図9に示す。コントラスト閾値は、物体知覚、歩行者認知が可能な実験参加者の割合が50%（中央値）の時の値をそれぞれ算出したものである。

照射範囲、背景輝度、歩車間距離の条件により物体知覚と歩行者認知のコントラスト閾値は変化することが示されている。背景輝度が低下すると、視覚認知能力も低下するため、その分コントラスト閾値も高くなるものと考えられる。コントラスト閾値は視程などの算出において一般的に0.05が使用されているが、今回のような夜間の暗い条件では十分に整合せず、背景条件が暗くなるほど、また歩行者の距離が遠くなり見かけ上の大きさが小さくなるほど、大きな違いが出ることが明らかになった。



(a)背景輝度: 0.14cd/m²



(b)背景輝度: 0.96cd/m²

図9 照射範囲によるコントラスト閾値の変化

また物体知覚と歩行者認知のコントラスト閾値はいずれの条件でも大きく異なる。歩行者認知のためには物体知覚の場合よりも、さらに高いコントラストが必要になることが明らかとなった。

照射範囲の影響については、歩行者へのグレアを考慮した新型前照灯（首下照射）のコントラスト閾値は走行ビームの結果とほとんど差が見られない。すれ違いビームについてはより高いコントラストが知覚認知に必要であることが示されている。

今回求められたコントラスト閾値 E_t と、歩車間距離 D (m) や背景輝度 L (cd/m²) との関係式を重回帰分析により求めた。その結果を以下に示す。

- 走行ビーム（全身照射：物体知覚）
 $\log(E_t) = -1.069 + 0.00516D - 0.247L \dots\dots\dots(2)$
- 走行ビーム（全身照射：歩行者認知）
 $\log(E_t) = -0.816 + 0.00594D - 0.286L \dots\dots\dots(3)$
- 新型前照灯（首下照射：物体知覚）
 $\log(E_t) = -1.068 + 0.00521D - 0.203L \dots\dots\dots(4)$
- 新型前照灯（首下照射：歩行者認知）
 $\log(E_t) = -0.779 + 0.00574D - 0.265L \dots\dots\dots(5)$
- すれ違いビーム（足元照射：物体知覚）
 $\log(E_t) = -1.434 + 0.0185D - 0.199L \dots\dots\dots(6)$
- すれ違いビーム（足元照射：歩行者認知）
 $\log(E_t) = -1.045 + 0.0171D - 0.171L \dots\dots\dots(7)$

この解析結果から走行ビームと新型前照灯（式(2)と(4)、式(3)と(5)）で歩車間距離と背景輝度に対する係数の値がほとんど変わらないことが明らかになった。また両側 t 検定（5%）においても有意差は認められなかった。すなわち走行ビームと新型前照灯との比較では、物体知覚や歩行者認知特性に殆ど影響しな

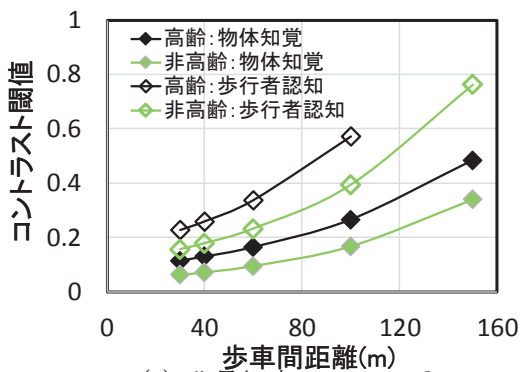
い。これは歩行者にグレアを与えない新型前照灯は、歩行者の被視認性を走行ビーム並みにできる可能性を示すものである

なお、すれ違いビームにおいては歩車間距離に対する係数が他より大きくなり、すれ違いビームの狭い照射範囲は歩行者認知や物体知覚に大きく影響する。

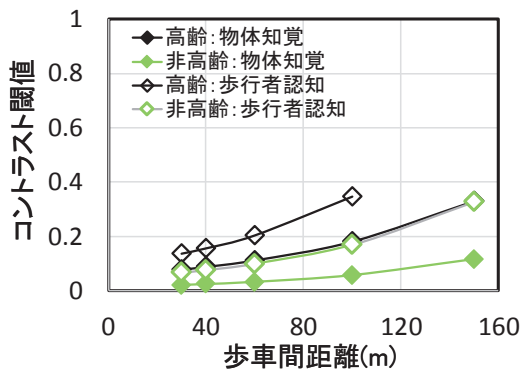
3. 2. 2. 年齢層によるコントラスト閾値の変化

年齢層によるコントラスト閾値の変化（本研究の高齢ドライバの結果と以前実施した非高齢ドライバ⁴⁾の結果の比較）を図10に示す。なお、非高齢層（平均視力、左1.07、右1.01）と今回の高齢層とでは、実験参加者の平均視力に差があったため、高齢層については視力上位8名のデータ（平均視力、左0.98、右1.08）に対する解析データを用いて、比較を行うこととした。

視力に大きな差がないにもかかわらず、夜間の条件では、物体知覚、歩行者認知いずれの条件でも高齢層の方が悪化しており、より高いコントラストが必要となることが示されている。



(a) 背景輝度: 0.14cd/m²



(b) 背景輝度: 0.96cd/m²

図10 年齢層によるコントラスト閾値の変化

4. まとめ

この研究では、夜間時の高齢ドライバ等による対歩行者事故の低減を目指し、歩行者へのグレアも配慮した新しい前照灯配光について評価解析を行った。前照灯の照射範囲や加齢により歩行者被視認性がどの

ように変化するのか評価実験等を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 高齢歩行者、非高齢歩行者いずれも最近の前照灯は眩しく感じる人の割合が高く、高齢歩行者はその割合がより高くなる。また、前照灯の明るさが歩行者安全性に及ぼす影響については、眩しすぎて危険を感じたことのある歩行者が3割強の割合で存在する。
- (2) 前照灯の照射範囲の影響については全身照射と首下照射ではほとんど差が見られなかった。歩行者にグレアを与えない新型前照灯（首下照射）は歩行者の被視認性を走行ビーム並みにできる可能性が示された。足元照射についてはより高いコントラストが視覚認知に必要である。
- (3) 背景輝度が低下すると、歩行者が視認限界となるコントラスト閾値も高くなる。コントラスト閾値は一般的に 0.05 が使用されているが、今回のような夜間の暗い条件に十分に整合せず、背景条件が暗くなるほど大きな違いが出る。
- (4) 物体知覚と歩行者認知のコントラスト閾値はいずれの条件でも大きく異なる。歩行者認知の場合には物体知覚の場合よりもさらに高いコントラストが必要になる。
- (5) 夜間の条件では、物体知覚、歩行者認知いずれの条件でも非高齢層より高齢層の方が同程度の視力でも悪化しやすく、より高いコントラストが必要となる。

今後も、交通弱者である高齢者や歩行者を保護するため、高齢ドライバ等の歩行者被視認性改善について検討を行う。

参考文献

- 1) 警察庁交通局: 平成 28 年中の交通事故の発生状況 (2017)
- 2) 三井: 高齢者の身体機能と交通死亡事故の関係、科学警察研究所報告交通編 (1995) 36-1、pp. 53-69
- 3) 交通事故分析センター: ITARDA INFORMATION83 (2010) pp.1-12
- 4) 後閑雅人、青木義郎、田中信壽、安本まこと、山村聡志、中澤美紗子: 前照灯照射範囲の違いによる歩行者の被認知の変化 (第一報)、自動車技術会秋季大会 (2016)