

2. 高齢ドライバーの視覚特性の解析と予防安全対策の検討

自動車安全研究領域 ※青木義郎、森田和元、田中信壽、関根道昭

1. はじめに

近年、社会の高齢化により 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、2010 年には 1200 万人を突破している。一方、交通事故は 2001 年頃から減少傾向（図 1¹⁾）にあるが、高齢ドライバーによる事故は 15 年前と比べると 2.1 倍程度に上昇し現在も高止まり傾向にあり、その対策が求められている。また、高齢ドライバーによる事故は、夜間時における対歩行者事故の割合が高い（図 2²⁾）のが特徴である。これは、高齢ドライバーの歩行者の視認性が夜間において特に低下しやすいことが原因になっているものと考えられる。

特に重大事故につながりやすい夜間の高齢ドライバーの対歩行者事故低減を目指し、高齢ドライバーの夜間視認性について解析を行うとともに、年齢層などによって事故の起こりやすさがどのように変化するかを定量化し、新しい前照灯システムの効果評価を実施し、安全性向上のための対策について検討を行った。

2. 高齢ドライバーの視覚の基本特性

夜間時に高齢ドライバーによる対歩行者事故が起こりやすい要因として、視覚などの知覚特性の劣化が上げられる。加齢に伴い夜間における視力の低下やグレア感度の上昇を引き起こし、暗い路面での歩行者は認知されにくくなる³⁾。

筆者らが行った夜間時の歩行者横断を模擬した視認性評価実験³⁾では、若齢層よりも 65 歳以上の高齢層の方が、同じ視力であっても歩行者と背景とのコントラスト閾値（対象物が視認できなくなる輝度コントラストの限界値）が上昇し、歩行者をより視認しづらくなることが示された（図 3）。また、背景輝度が低くなるにつれて、若齢層よりも高齢層の方が歩行者の視認性が低下しやすいことが明らかになった。

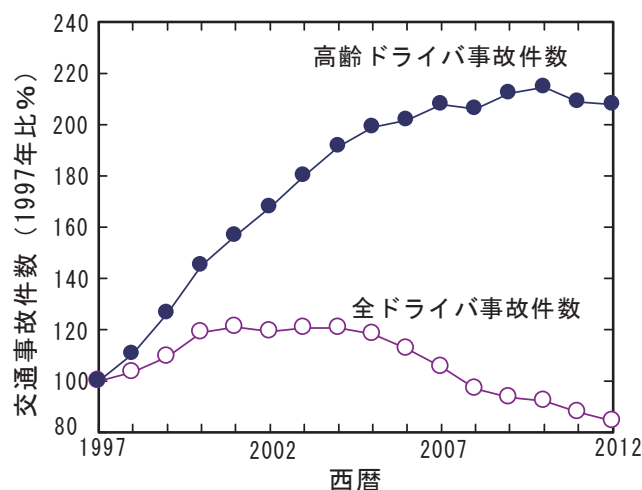


図1 高齢ドライバーの交通事故件数の推移¹⁾

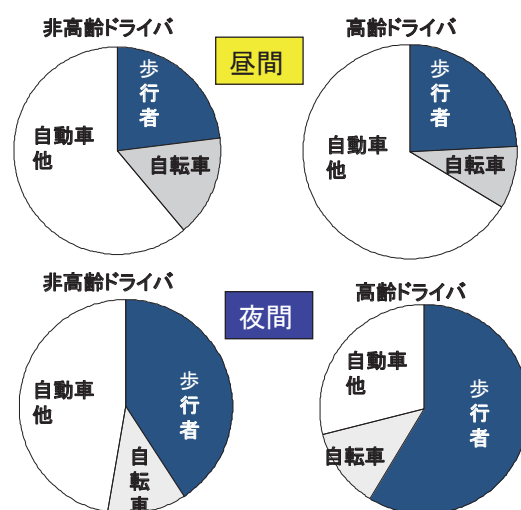


図2 自動車死亡事故の被害者の比率²⁾

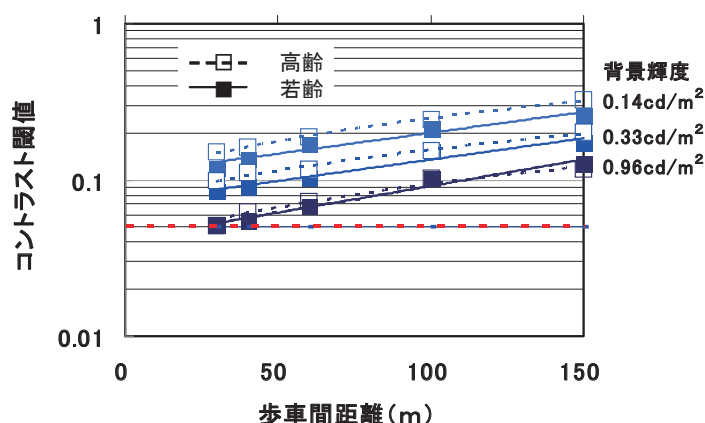
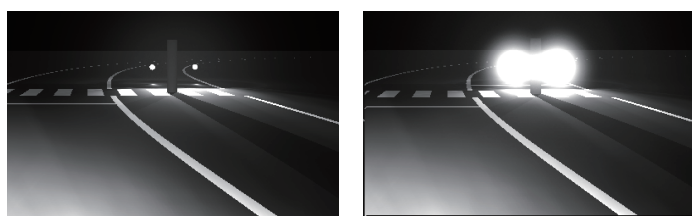


図3 背景輝度や年齢層によるコントラスト閾値の変化

さらに、高齢層は若年層に比べてまぶしさを感じやすくなる。筆者は、高齢ドライバと若年ドライバの見え方の違いを調べるため、対向車前照灯のグレア感の加齢変化をシミュレーション解析⁴⁾し、歩行者横断中のドライバ視界のCG化(図4)を行った。また、近傍に前照灯に相当するグレア光源がある場合の歩行者と背景とのコントラスト閾値の加齢変化を明らかにするため、実験参加者による視認性実験³⁾を実施した。図5に、提示した歩行者とグレア光源の状況を示す。これらにより、高齢ドライバは若年ドライバよりも眼球内光散乱によりグレア光幕(眩しい光源を見たときに光源の周りに発生する光の幕)輝度が上昇し、歩行者の被視認性が低下する(蒸発現象)ことが確認されている(図6参照。図6は、図5の実験により求められた歩行者のコントラスト閾値。歩行者への前照灯照射範囲は全身)。



(a)若年ドライバ (b)高齢ドライバ

図4 対向車前照灯を考慮したドライバ視界のシミュレーション解析

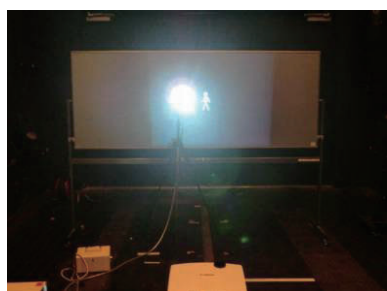


図5 対向車前照灯を考慮した歩行者被視認性評価実験

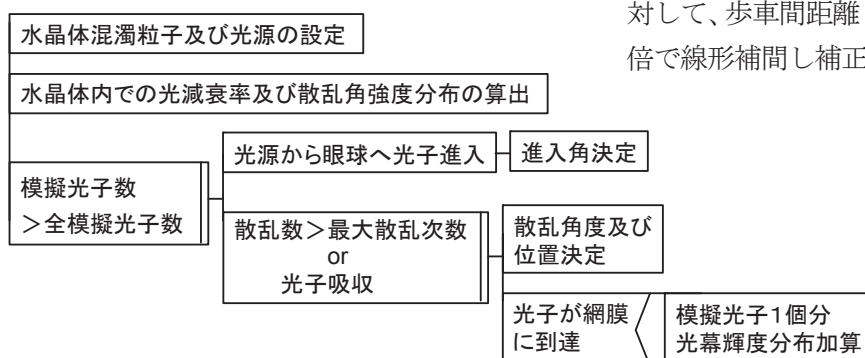


図7 水晶体内光散乱解析フローチャート

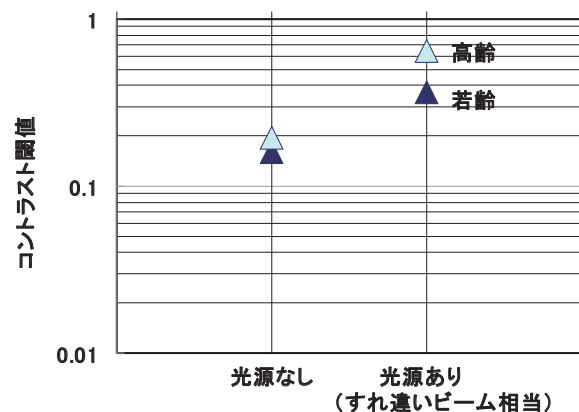


図6 対向車前照灯を考慮した歩行者コントラスト閾値 (歩車間距離は60m、歩行者と光源の距離は2m 想定)

3. 歩行者視認性の解析

これまでの実験で求められた視覚の基本特性(図6)を活用し、対向車前照灯のグレア光幕のシミュレーション解析⁴⁾(図7参照。図7の手順により、光源を見たときの水晶体内混濁粒子による光散乱とその光幕輝度を、モンテカルロ法により解析)を行い、夜間運転中での歩行者の見え方や視認距離が年齢層や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。なお、高齢ドライバや若年ドライバのコントラスト閾値 E_t は、図3の実験データに基づいて、以下の式①、②で設定する。

①若齢者： $\log(E_t) = -0.971 + 0.00293R - 0.400L$

②高齢者： $\log(E_t) = -0.869 + 0.00271R - 0.480L$

R (m)：車間距離。 L ：背景輝度 (cd/m^2)

すれ違いビームについては走行ビームと比べて、歩行者への照射範囲が狭く(足元付近に集中)なるため、コントラスト閾値は図6の場合よりも上昇することが想定される。筆者は、照射範囲により模擬歩行者の被視認性がどのように変化するか評価する実験を行った。その実験結果³⁾に基づき、すれ違いビーム使用時のコントラスト閾値は、式①、②による算出値に対して、歩車間距離40mでは1.1倍、100mでは1.25倍で線形補間し補正する。

3. 1. 解析条件

シミュレーション解析により自車両側のドライバーから見たときの右側歩行者及び左側歩行者の視認性について調べる（図8参照）。道路は2車線、道路幅は7m（単車線は3.5m）とし、車両（ドライバーポイント）はそれぞれ中心線から横1.75m位置を走行する。道路形状は直線とし、視線方向は進行方向とした。

車両の前照灯は走行ビーム及びすれ違いビームとする。今回の解析では、すれ違いビームを基本とした場合と走行ビームを基本とした場合の見え方の違いを調べるため、自車が走行ビームの時は対向車も走行ビーム、自車がすれ違いビームの時は対向車もすれ違いビームとする。配光は実測値を用いた。

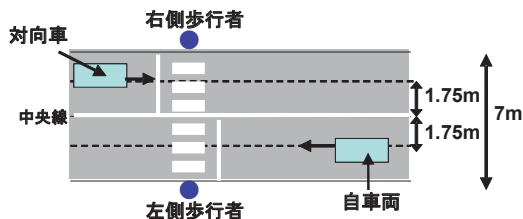


図8 道路設定条件

グレア光幕輝度に影響する水晶体の分光透過率 T や混濁粒子の粒径は年齢層によって変化するものとし、過去の実測データ^{5)~7)}に基づき設定した（式③、④、および表1）。また、若齢ドライバーは20歳、高齢ドライバーは80歳と設定した。

③20から60歳の場合： $T = 10^{-((1.00+0.02(A-32))L1(\lambda) + L2(\lambda))}$

④60歳以上の場合： $T = 10^{-((1.56+0.0667(A-60))L1(\lambda) + L2(\lambda))}$

A：年齢、 λ ：波長 $L1(\lambda)$ 、 $L2(\lambda)$ ：測定による分布

表1 水晶体光学特性

水晶体の屈折率	1.40
水晶体内の混濁粒子屈折率	1.55
混濁粒子の粒径	1 μm (20歳) ~7 μm (80歳)

3. 2. シミュレーションと観測評価結果との整合性

シミュレーションに基づく歩行者視認性の解析結果が、24年度に実施した実験参加者による観測評価実験結果と整合するかどうかの確認を行った。

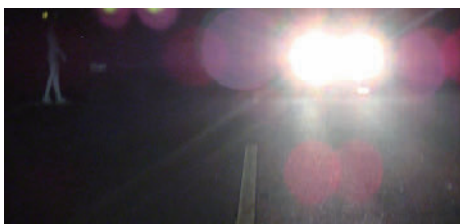


図9 実車を用いた歩行者の被視認性評価実験

表2は図6の実験結果（光源あり）とシミュレーション結果の比較であり、表3は実車を用いた歩行者の観測評価実験（図9）とシミュレーション解析の結果比較である。シミュレーション結果は観測評価結果との差が10%以内に収まることが示されている。

表2 対向車前照灯がある場合のコントラスト閾値

	若齢層	高齢層
観測評価	0.36	0.65
シミュレーション解析	0.34	0.67

※ 前照灯はすれ違いビーム相当（設置位置は歩車間距離60mで歩行者右2mを想定時）

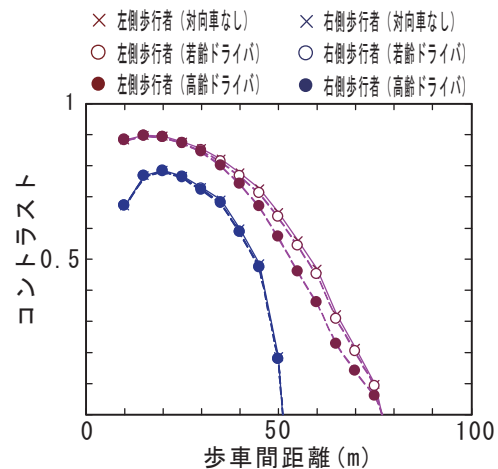
表3 実車による歩行者視認距離

	左側歩行者(m)	右側歩行者(m)
観測評価	80	60
シミュレーション解析	74	65

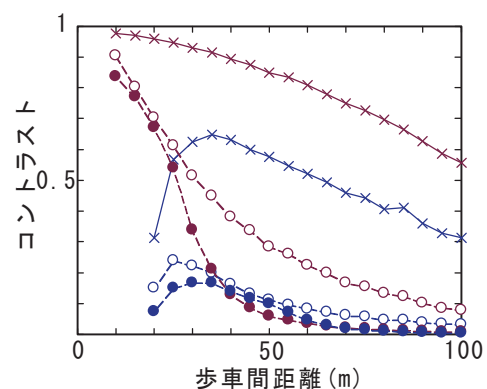
※ 自車両、対向車いずれも走行ビーム

3. 3. 解析結果

各条件下における歩行者と背景との輝度コントラストを図10に示す。



(a)すれ違いビーム使用時



(b)走行ビーム使用時

図10 歩行者と背景との輝度コントラスト

対向車が無い場合には、走行ビーム（ハイビーム）の方がすれ違いビーム（ロービーム）よりもコントラスト低下が小さいが、対向車がある場合には走行ビームの方が蒸発現象によりコントラスト低下が大きくなることが示されている。また、それは高齢ドライバーにおいて顕著に現れる。

求められたコントラストから右側歩行者の視認距離の解析を行った。その結果を図 11 に示す。

走行ビーム同士の場合、対向車前照灯による影響が大きい、すれ違いビーム同士の場合には光度が低い、ため、車間距離による視認距離の変化は小さい。このため、対向車が近い場合には、すれ違いビームの方が歩行者の視認距離が長くなりやすく、対向車が遠い場合には、走行ビームの方が視認距離は長くなりやすい。特に高齢ドライバーの場合には、対向車前照灯の光幕の影響を受けやすくなり、走行ビームよりすれ違いビームの方が歩行者の視認距離は長くなりやすい。

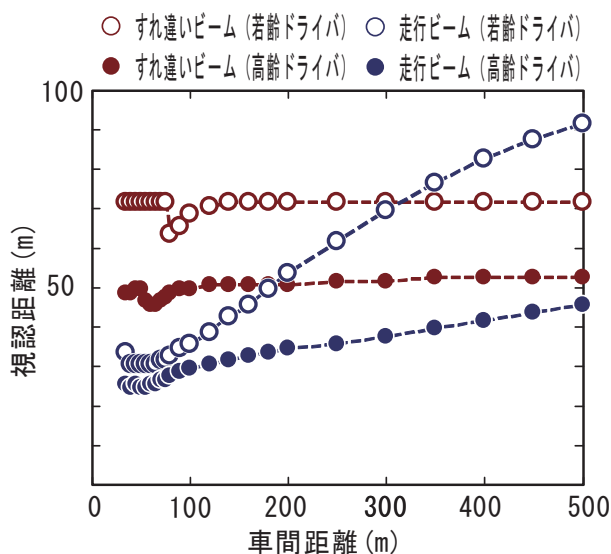


図 11 対向車前照灯を考慮した歩行者の視認距離

4. 歩行者安全性評価

茨城県警の事故調査⁸⁾によると夜間運転時の対歩行者事故のうち 9 割超がすれ違いビームを使用しており、そのうち走行ビームを使用していれば 5 割近くは回避可能という報告もなされている⁸⁾。こうしたことから各県警において走行ビームを基本とするように推奨する動きも広がりつつある。しかしながら、過去に筆者が実験参加者に実施したアンケート（図 12）では、すれ違いビームを基本と回答するドライバーが大半となっている。

また、こうした走行ビームとすれ違いビームの使い分けの問題解決のため、歩行者を視認しやすくなるように自動配光制御する ADB（可変型走行ビーム。図 13 参照）といったシステムの開発・導入も進められつつある。

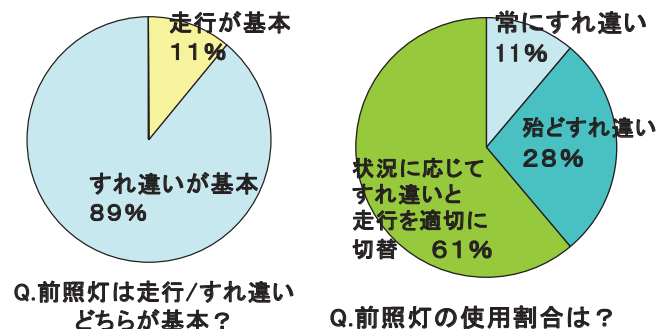


図 12 前照灯の使用状況のアンケート結果



図 13 ADB の自動配光制御

そこで、すれ違いビームと走行ビームのどちらを使用した場合に事故が起こりやすくなるのか、また、ADB により事故の改善効果があるのかをシミュレーション解析により評価することとした。

4. 1. 解析手法

当研究所で開発した予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS)^{9)・11)}（図 14）のドライバモデルと環境モデルのアルゴリズムを活用し、前照灯や交通量により夜間時の横断歩行者の安全性がどのように変化するかを解析する。

シミュレーションで設定するパラメータを表 4、表 5 に示す。歩行者横断判断及び歩行者横断速度は過去に当研究所で実施した実験結果¹²⁾¹³⁾に基づいて設定した。今回の解析では、若齢歩行者だけでなく高齢歩行者もシミュレーション上で出現させるものとし、その出現比率は人口統計に基づき 76% (若齢) : 24%(高齢)とした。道路は直線単路で片側一車線 (図 8) とした。ADB の配光は、対向車にはすれ違いビーム、歩行者には走行ビームが照射されるように適切に制御するものとした。

なお、今回の解析では、前照灯などによる対歩行者の危険度の変化を定量化するため、“接近する車両のドライバが、横断開始しようとする横断歩行者を視認出来ない”かつ“接近する車両がそのまま一定速度で走行すれば横断中歩行者とその車線上で接近する”ケースを危険事象としてカウントする。歩行者横断回数に対するその比率 (以下「視認危険度」と呼ぶ) を算出し、危険度の比較を行うこととした。

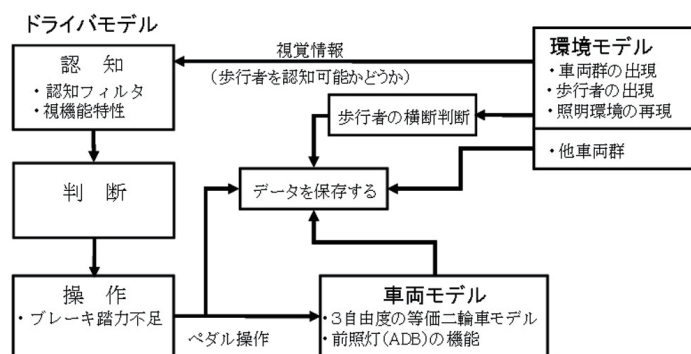


図 14 ASSESS モデル

表 4 歩行者がぎりぎり横断できる歩車間距離
(車両走行速度 40km/h 時)

配光	左側歩行者(m)				左側歩行者(m)			
	走行		すれ違い		走行		すれ違い	
	AV.	S.D.	AV.	S.D.	AV.	S.D.	AV.	S.D.
若齢歩行者	63.7	17.5	62.8	13.2	74.3	32.9	62.0	30.3
高齢歩行者	74.3	32.3	61.2	30.3	70.8	40.6	63.4	37.5

表 5 その他の設定パラメータ

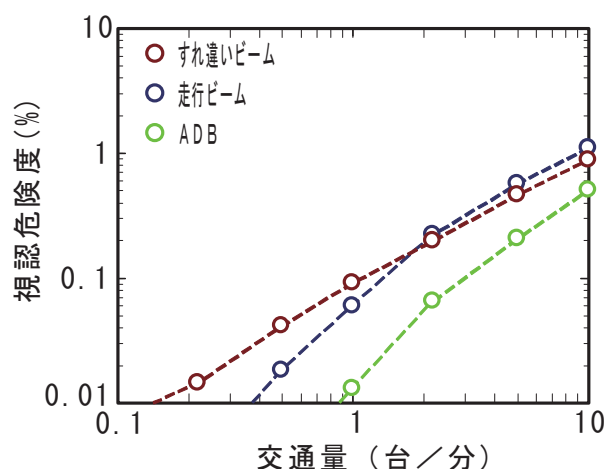
車両交通量	0.1~10台/分(両側合計)
車両速度	40km/h
歩行者横断速度	若齢歩行者2.0m/s. 高齢歩行者1.6m/s
歩行者反射率	5%

4. 2. 解析結果

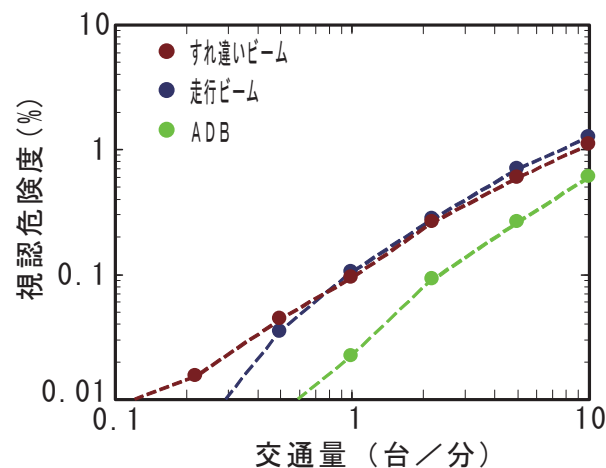
横断歩行者の視認危険度の解析結果を図 15 に示す。

今回の条件では交通量の少ない場合には、光度の低いすれ違いビームの危険度が高くなることが示されている。交通量の多い場合には、走行ビームの危険度が高くなる場合もあり、交通環境によりすれ違いビームと走行ビームのどちらが有効であるかは変化することが示された。

ADB 使用に関しては、いずれのケースでも他の前照灯と比べると視認性が向上し、危険度が低下することが明らかになった。



(a)若齢ドライバ



(b)高齢ドライバ

図 15 前照灯による歩行者視認危険度の変化

5. 最後に

高齢ドライバの夜間運転時の視認性について解析を行うとともに、ドライバの年齢層などによって対歩行者事故の起こりやすさがどのように変化するか

を定量化し、新しい前照灯システムの効果評価を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 対向車が無い場合には、すれ違いビームよりも走行ビームの方が歩行者と背景の輝度コントラストは高くなるが、対向車がある場合には走行ビームの方が蒸発現象によりコントラスト低下が大きくなる。また、それは高齢ドライバにおいて顕著に現れる。
- (2) 対向車が近い場合には、すれ違いビームを使用する方が、歩行者の視認性の面で有利である。
- (3) 夜間運転時の対歩行者への危険度は、走行ビームとすれ違いビームではどちらを使用した方が小さくなるのかは交通量により変化する。ADB を使用した場合には、いずれの交通量でも高齢ドライバ、若齢ドライバに関わらず他の前照灯と比べると歩行者の視認性は向上し危険度が低下する。

今後も高齢ドライバや夜間運転時の安全評価と事故低減の対策について検討を行っていく。

参 考 文 献

- 1) 警察庁交通局：平成 24 年中の交通事故の発生状況 (2013)
- 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) 青木、森田、関根、田中：対向車へのグレアを考慮した前照灯による歩行者の被視認性、自動車技術会論文集(2013)44-1、pp.131-136
- 4) 青木、グレア光幕の加齢変化を考慮した運転視覚情報のコンピュータグラフィックス、自動車技術会論文集 (2009) 40-2、pp.567-572
- 5) 草田他：レーザ散乱光による水晶体タンパク粒子径の測定、あたらしい眼科 2-5(1985)pp.725-728
- 6) 小早川ほか：有色白内障における呈色原因について、あたらしい眼科 9-6 (1992) pp.1069-1072
- 7) J.Xu、J.Pokorny、V.C.Smith：”Optical Density of the Human Lens、”J.Opt.Soc.Am.A 14-5、pp.953-960(1997)
- 8) 茨城県警察本部交通企画課、ライト切り替えによる交通事故防止(2010)
http://www.pref.ibaraki.jp/kenkei/02_koutsu/01_jikobousi/kawara/back_99.html (2010)
- 9) 森田、田中、関根、岡田：予防安全支援システム効果評価シミュレータ(ASSESS)へのドライバのブレーキ操作モデルの組み込みについて、自動車技術会論文集、Vol.41、No.2、pp. 253-258 (2010)
- 10) 田中、森田、廣瀬、高木、松島：予防安全支援システム効果評価シミュレータ(ASSESS)における車両モデルの開発、自動車技術会論文集、Vol.41、No.2、pp. 247-252 (2010)
- 11) 青木、関根、田中、森田、高木：予防安全支援システム効果評価シミュレータ(ASSESS)のための交通流発生手法、自動車技術会論文集、Vol.41、No.2、pp. 259-264 (2010)
- 12) 青木、森田、田中、廣瀬、関根、川寄：予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS)のための歩行者行動特性の解析、自動車技術会論文集 Vol. 42、No. 5、pp. 1199-1204 (2011)
- 13) 青木、松井、関根、及川：高齢歩行者の横断判断特性の解析、自動車技術会秋季大会講演集(2012)