

# 17. 高齢運転者の知覚特性の劣化とその対策について

交通システム研究領域  
自動車安全研究領域

※青木義郎 豊福芳典 塚田由紀  
関根道昭 森田和元

## 1. はじめに

近年、高齢者の交通事故は増加を続けており、これからの本格的な高齢社会の到来に向けてその対応策が求められている。加齢に伴って人間の心身機能の低下が起こるが、それによって運転中にどのような問題が発生し、それに対処するための環境作りをどうするかその安全対策の検討が重要である。

この研究では、高齢者の視覚特性の低下について解析を行った。視覚特性の加齢変化を考慮したCGシミュレーションの開発を行い、前照灯のグレア感の加齢変化やグレア光幕が情報認知に及ぼす影響について調べた。また高齢ドライバーに適した前照灯について検討を行ったので、その内容について報告する。

## 2. 加齢による知覚特性の劣化と交通事故への影響

### 2.1 高齢ドライバーの事故の増加

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、平成17年度には、約1,000万人に達している。これに伴って、高齢者が事故に関わる割合も増加している(図1参照。データは警察庁「平成18年中の交通事故の発生状況」及び「運転免許統計平成18年度版」より)。

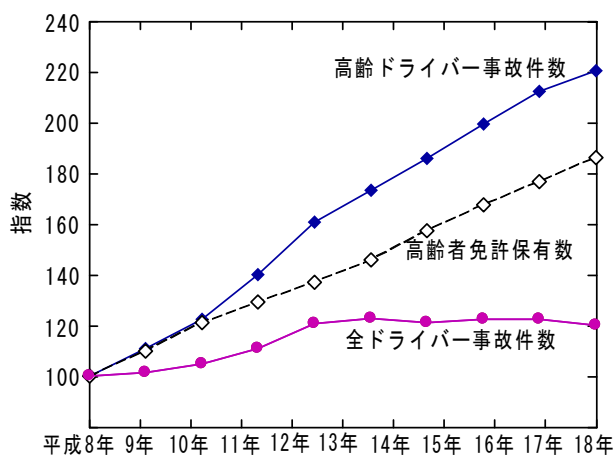


図1 高齢ドライバーの交通事故の推移  
(平成8年末を100とした指数)

また平成17年度の免許保有者一人当たりの死亡事故件数は、全体平均の0.8件に対して、75歳~79歳は1.6件、80~84歳では2.3件、85歳以上では4.2件というように高齢になるにつれて死亡事故に関係する割合が高くなる。

### 2.2 高齢者の視覚の基本特性

高齢ドライバーによる事故増加の要因として、視覚などの知覚特性の劣化が上げられる。

加齢に伴う水晶体の混濁度の増加などにより、視覚の空間周波数特性、グレア感度、色覚特性、焦点調整能力等が変化し、視覚機能は低下する。こうした視覚機能の低下により提示された運転情報が十分に認知されない可能性がある。

65歳以上の高齢者は若年層に比べまぶしさを感じやすくなる。筆者が過去に行った解析では眼球内光散乱によりグレア光幕は2~3倍上昇することが確認されている(図2参照)。こうした視覚能力の変化は、ドライバーの灯火や標識の認知に影響を及ぼす。この研究では加齢による前照灯のすれ違い時のグレア感について解析評価を実施する。

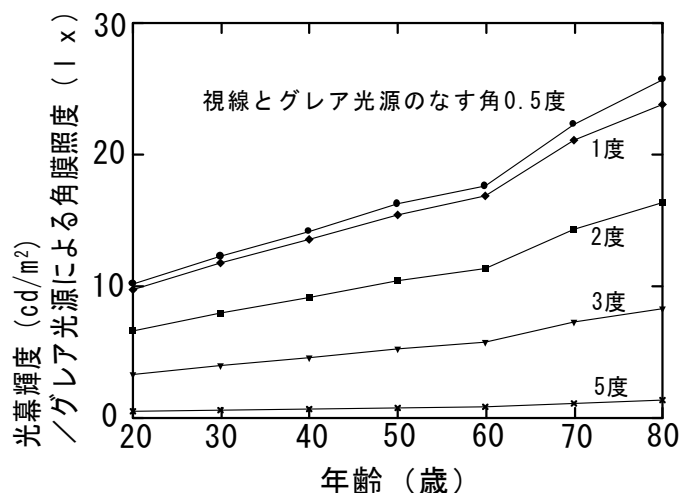


図2 加齢によるグレア光幕の変化

### 3. 視覚の加齢特性を考慮したドライバー視界の解析手法

視覚特性の加齢変化が交通環境に及ぼす影響について実運転時を想定した評価を行うため、ドライバーの視界が加齢や前照灯によりどのように変化するかをCGシミュレーションにより解析を行う。

#### 3.1 グレア光幕の解析手法

本研究では対向車前照灯のグレア光幕輝度もCG上で描写するものとする。その加齢変化は眼球内光散乱を数値シミュレーション<sup>2)</sup>により解析を行い、その可視化を行う。

水晶体の透過率や粒径は過去の実測データ<sup>3)-6)</sup>に基づくものとする。水晶体の混濁（老化）は主に、水晶体内のタンパク質の凝集によって起こる。高齢者になるとこの凝集したタンパク質の粒径が大きくなる<sup>3)4)</sup>。草田<sup>3)</sup>らの測定によると、30歳未満のタンパク質の平均粒径は1.56micron、50歳以上では4.45micronという結果を報告した。

水晶体の屈折率は核部にて1.40、表層部にて1.38とされている。水晶体内でのタンパク質の屈折率について測定した例は見あたらないが、酸化コレステロールについて1.515、1.555という値が報告されている<sup>5)</sup>。本研究では、表1のように水晶体内での屈折率等を設定した。水晶体の屈折率は核部の値を用いた。粒径は加齢により増大する実験結果<sup>3)</sup>に基づき“粒径=1+(年齢-20)\*0.1”と設定を行った。なお水晶体内の分光透過率TはJ.Pokorny<sup>6)</sup>らの水晶体の光学濃度の加齢変化モデルに基づいて設定を行った。

(年齢が20から60歳の場合)

$$T = 10^{-((1.00+0.02(A-32))L1(\lambda) + L2(\lambda))}$$

(年齢が60歳以上の場合)

$$T = 10^{-((1.56+0.0667(A-60))L1(\lambda)+L2(\lambda))}$$

ただしA：年齢、λ：波長

L1(λ)、L2(λ)：実験より得られた分布

これらの水晶体データに基づき図3に示すモンテカルロシミュレーションにより光幕輝度の算出を行う。

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 <sup>5)</sup>
混濁粒子の粒径	1~7μm <sup>3)4)</sup>

#### 3.2 CGシミュレーション設定条件

CGシミュレーションは、2台の車両がすれ違い走行する場合について実施し、対向車のすれ違いビームの見え方と2台の車両の前照灯照射による路面の輝度分布について解析を行う。その計算パラメータを表2に示す。路面反射率は15%、完全拡散反射とする。歩行者や白線標識の反射率は80%を用いるものとする。前照灯の配光については実際に使用されている2種類のすれ違いビームの平均値を用いた。

表2 計算パラメータ

前照灯地上高	0.65m
2灯左右間隔	1.15m
ドライバーの目の高さ	1.20m
背景条件	夜間
街路灯照射照度 <sup>注1)</sup>	鉛直面2lx 水平面10lx

注1) 交通量の少ない道路（商業地区）を想定

照明基準（JIS Z9111-1988）

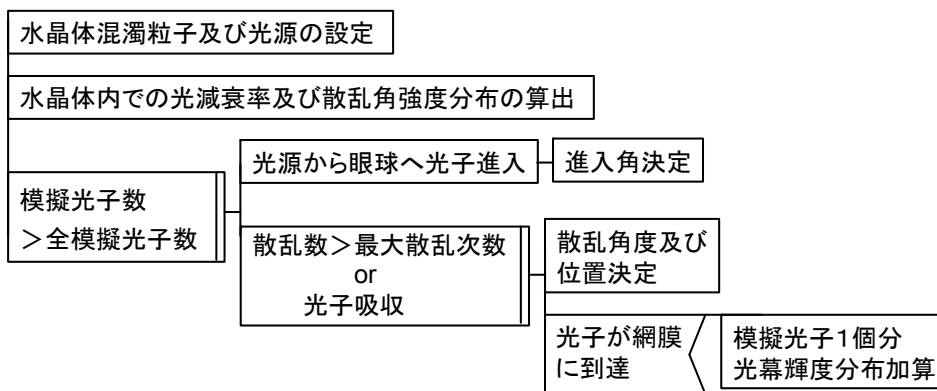
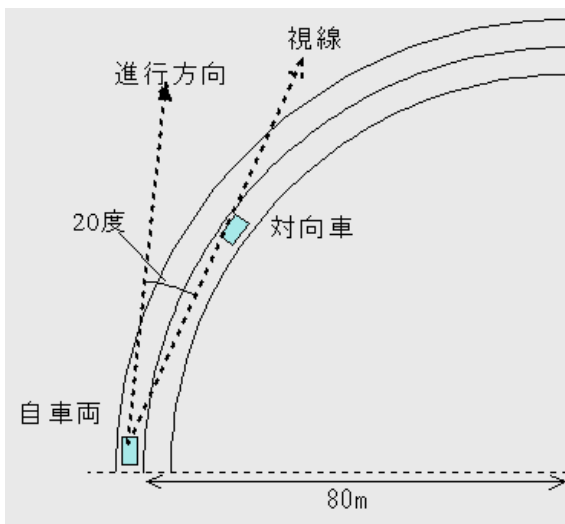
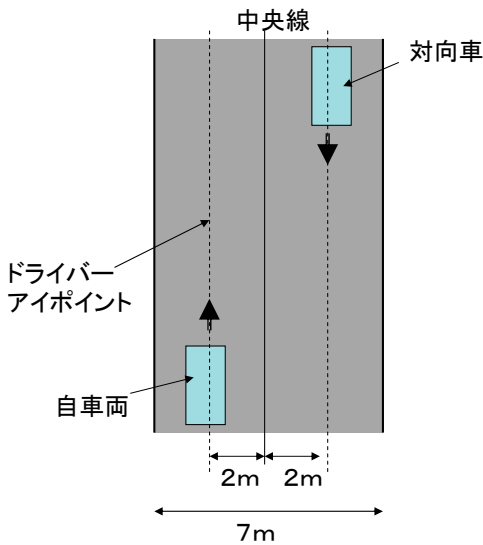


図3 水晶体内光散乱解析フローチャート

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 2m 位置を走行する（図 4 参照）。道路形状は直線及び曲線（曲率半径 80m）とし、直線走行及び曲線走行（左カーブ及び右カーブ：図 5 参照）する場合について、自車両側のドライバーから見たときの視界について CG シミュレーション解析を行う。視線方向は、直線走行時には進行方向、曲線走行時には曲がる方向に 20 度<sup>7</sup>振るものとした。

CG 表示範囲は視線に対し鉛直角 5°～-20 度、水平角 -20 度～20 度とする。



## 4. 解析結果

### 4. 1 加齢による前照灯のグレア感の変化

直線走行すれ違い時におけるドライバー視界の CG シミュレーション画像を図 6、図 7 に示す。加齢によりグレア光幕は変化し、高齢者（図 7）は若齢層（図 6）と比べてグレア感が増し、光幕輝度も強く広がることを示されている。

また道路の形状のより見え方がどの様に変化するのか解析を行った。高齢者の曲線走行時（曲率半径 80m）のすれ違いビームの見え方を図 8 に示す。

道路の形状によりグレア感は変化し、曲線走行時は視線が対向車に近づくケースがあり、グレア光幕が上昇する場合があることが示されている。

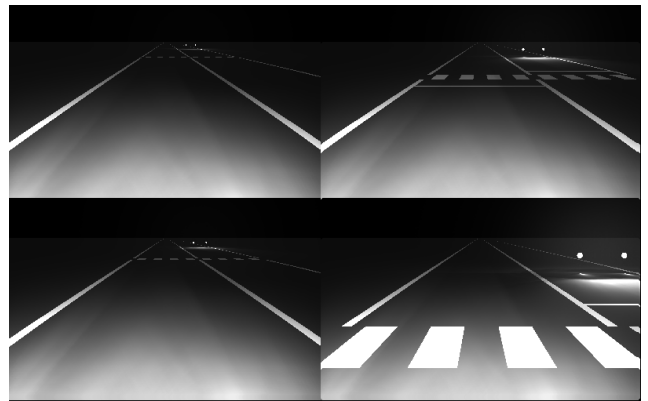


図 6 直線走行時のすれ違いビームの CG 画像  
（若齢層 20 歳のグレア光幕考慮）

注) 図中の左上→左下→右上→右下の順にすれ違い走行接近車両間隔は順に 70,50,30,10m（図 7、図 8 も同様。車両間隔とはすれ違いまでの 2 車両の走行距離の和を示す）

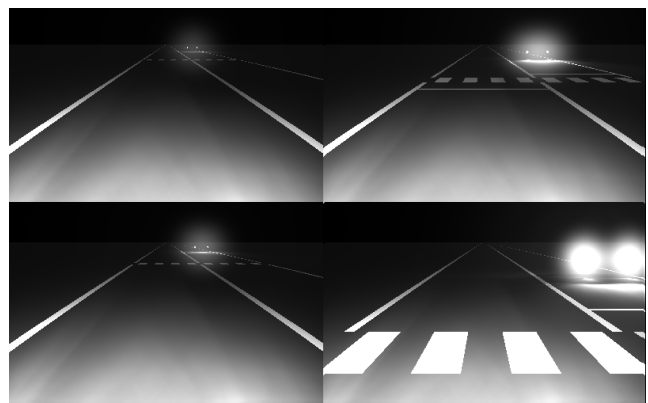
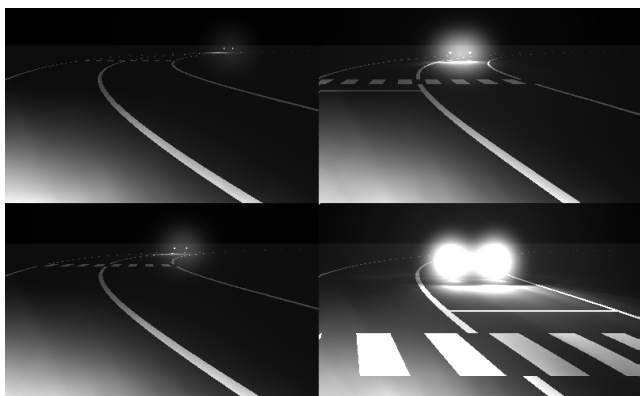
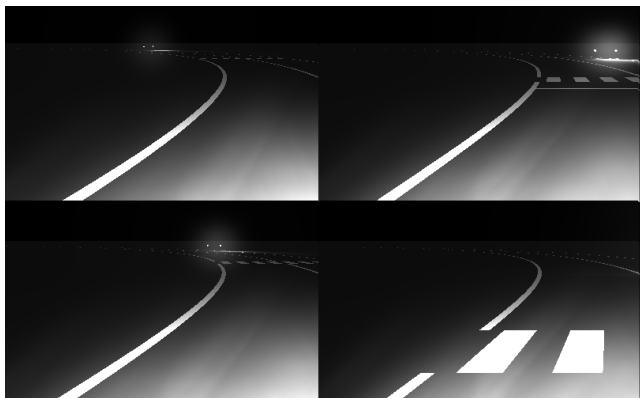


図 7 直線走行時のすれ違いビームの CG 画像  
（高齢者 80 歳のグレア光幕考慮）



(a)右カーブ



(b)左カーブ

図8 曲線走行時のすれ違いビームのCG画像  
(高齢者80歳のグレア光幕加算)

こうして求められた対向車すれ違いビームの光幕輝度及び角膜照度の値に基づきドライバーのグレア感を推定する。グレア感の定量化については様々な提案がある。今回は(1)式の H.-J.Schmidt-Clausen と J.Th.H.Bidels のモデル式を用い不快グレアを数値化する。なおこの不快グレア評価値  $W$  は小さいほどグレア感は強まり、ドライバーが耐えられる限界値は4という報告がなされている<sup>8)</sup>。

$$W=5.0-2\log \Sigma (E / ((1+(L_h / C_{pl})^{0.5}) \theta^{0.46} C_{poo})) \quad (1)$$

$E$  : ドライバーの眼前照度(lx)

$L_h$  : ドライバーの順応輝度(cd/m<sup>2</sup>)

$\theta$  : ドライバーの視線とランプ方向のなす角度

$C_{pl}$  :  $4.0 \times 10^{-2}$ (cd/m<sup>2</sup>)

$C_{poo}$  :  $3.0 \times 10^{-3}$ (lx・min<sup>-0.46</sup>)

(1)式により不快グレアの評価値を算出した結果を、図9、図10に示す。なお、順応輝度  $L_h$  は1.0(cd/m<sup>2</sup>)とした。高齢ドライバーのグレア評価値は、視線とランプ方向のなす角度  $\theta$  地点での光幕輝度を算出しその加齢による上昇比を眼前照度  $E$  の値に掛け合わせるにより求めた。

図9の結果は、直線走行時の前照灯のグレア感が、年齢層によりどのように変化するかを示している。若齢者の場合、直線走行時には前照灯(すれ違いビーム)は不快グレアとならないが、高齢者の場合には車両が接近した時、グレア評価値が4以下となる。高齢ドライバーに対して前照灯の不快グレアは許容外になる可能性があることを示されている。また高齢ドライバーの場合、車両接近時にグレアになりやすいほか、車両間隔が長くなった場合も視線と光源方向のなす角度が狭くなることによりグレア感が増す場合がある。

また図10の結果は、図5に示す曲線走行時(曲率半径80m)と光軸が上向き(路面凹凸や荷重により光軸が3度上向きになった場合を想定)になった場合の高齢ドライバーのグレア評価値を示している。曲線走行時には特に右カーブ走行時においてグレア評価値は許容限界値4以下となりやすく、グレア感が著しく上昇するケースがあることが示されている。また光軸が上向きになった場合もグレア感は上昇する。

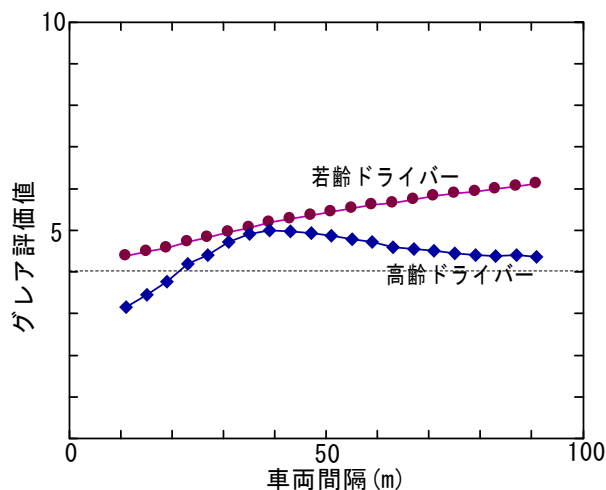


図9 加齢によるグレア評価値の変化

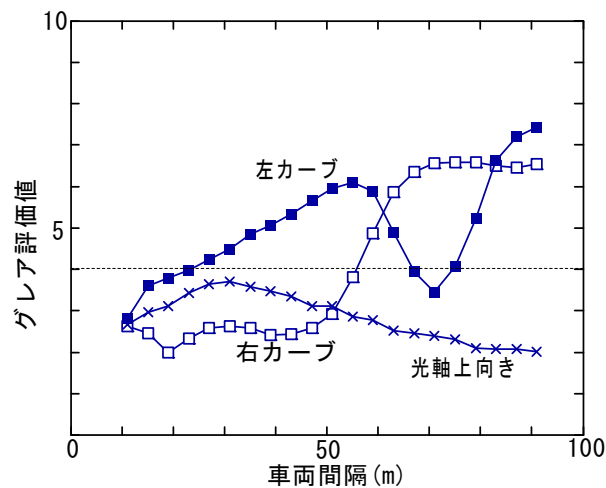


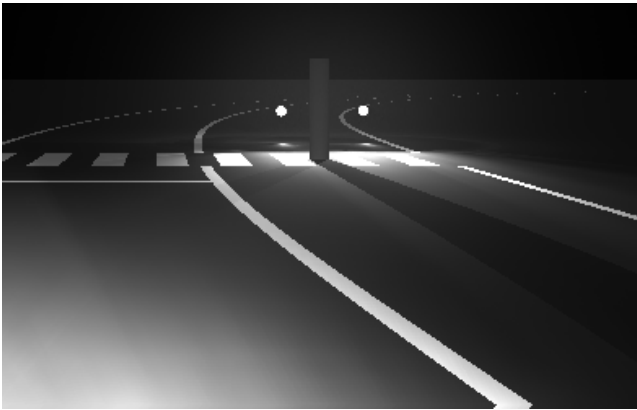
図10 道路形状による高齢者のグレア評価値の変化

#### 4. 2 グレア光幕による歩行者の蒸発現象

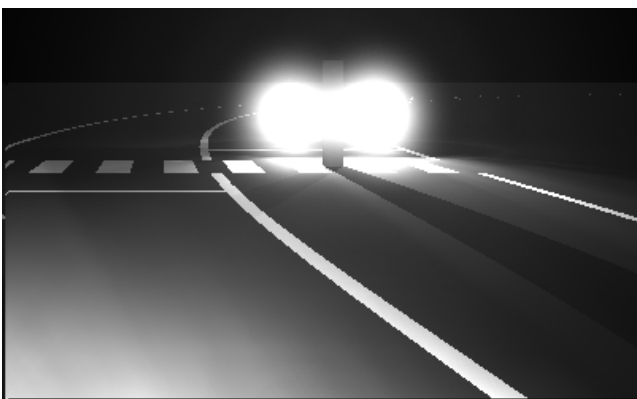
交通事故を事故類型別にみると、歩行者横断中の死亡事故は死亡事故全体の24%<sup>9)</sup>を占めており、最も割合が高く、その対策が望まれる。夜間時においては対向車の前照灯により前方を通過する歩行者の視認性が著しく低下する場合がある。これは蒸発現象と呼ばれ夜間時の人対車両事故の要因となっている。

歩行者が横断歩道を通過中で対向車がその後方に停止している場合の視界を解析した。その結果を図11に示す。なお歩行者は高さ1.5m、直径0.3mの円筒形の形状で模擬している。

高齢ドライバーの場合、道路横断中の歩行者は対向車前照灯のグレア光幕に覆われ、そのコントラスト識別が困難になることが示されている。横断中の歩行者の被視認性が著しく低下する可能性がありその対策及び注意喚起が必要であるものと考えられる。



(a)若齢ドライバー



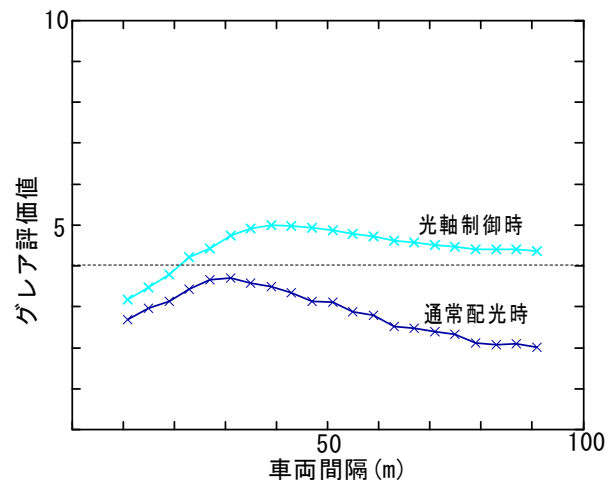
(b)高齢ドライバー

図11 グレア光幕による歩行者の蒸発現象

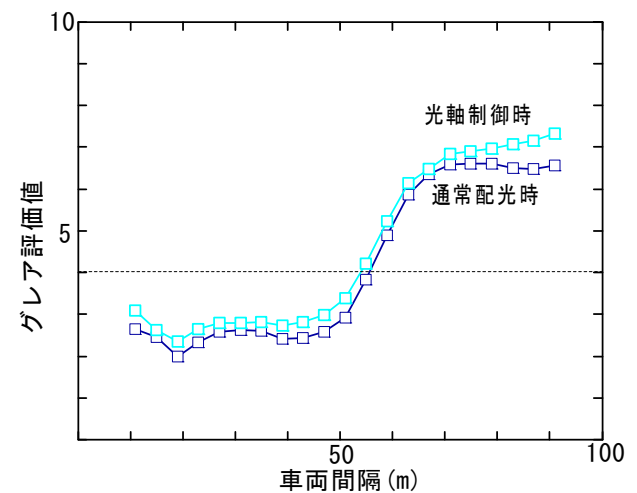
#### 4. 3 グレアの改善

グレアの低減方法としては配光変更あるいは光軸自動制御（オートレベリングあるいはAFS）等が考えられる。光軸制御により高齢者のグレア評価値がどのように変化するかを求めた。その結果を図12に示す。なお、光軸上昇時はオートレベリングにより光軸を水平に補正し、カーブの場合は光軸制御により曲がる方向に10度振り向けることとする。

(a)光軸上向き時においては光軸制御（水準調整）によって、グレア評価値は通常配光時よりも高くなり、グレア改善が可能であることが示されている。また(b)右カーブ時においても光軸制御によりグレアの改善が見られることが示されている。なお、左カーブ時には、光軸制御による改善は見られなかった。



(a)光軸上向き



(b)右カーブ

図12 光軸制御によるグレア感の変化

## 5. 最後に

高齢社会により高齢者の免許保有者数も年々増加し続けており、これに伴って、高齢者が事故に関わる割合も増加している。

この研究では CG シミュレーションによる前照灯のグレア感の加齢変化の解析を行い、高齢者の視覚能力低下の対策方法について検討を行った。その結果を以下に示す。

- (1) 直線走行時、対向車前照灯のグレア感は加齢により上昇し、高齢ドライバーに対して不快グレア許容外になる可能性がある。
- (2) 道路形状により対向車前照灯のグレア感は変化し、右カーブ走行時や光軸が上向きになった場合にグレア感は上昇する。
- (3) 高齢ドライバーの場合、道路横断中の歩行者は対向車前照灯のグレア光幕に覆われコントラスト識別が困難になり、歩行者の被視認性が著しく低下する可能性がある。
- (4) 右カーブ時においては、光軸制御によりグレアの改善が見られる。また光軸上向き時も光軸制御によりグレア改善ができる。

今後も、身体能力が低下する高齢者に適した灯火器や車載設備についての検討を行っていく。また今回開発した CG シミュレーションを活用して各種前照灯の評価を目指す。

## <参考文献>

- 1) 科学技術庁研究開発局：高齢社会における製品・生活環境等のユニバーサル化に関する研究成果報告書 pp.202-215 (2002)
- 2) 青木他：視覚特性や大気光学特性を考慮した模擬視界の生成、交通研研究所報告 (2004)
- 3) 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
- 4) 中谷ほか：レーザ散乱分光法による人眼水晶体蛋白質粒子径の臨床測定、医用電子と生体工学 24-5 (1986) pp. 310-314
- 5) 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
- 6) J. Xu, J. Pokorny, V. C. Smith: "Optical Density of the Human Lens," J. Opt. Soc. Am. A 14-5, pp. 953-960 (1997)
- 7) 岡田他：カーブ道路走行時における運転者の視線移動量測定結果、交通研発表会講演概要、pp75-78(2003)
- 8) 益子他：可変配光前照灯(AFS) が対向車ドライバに与える幻惑状況の解析、交通研研究発表会講演概要、pp79-84(2003)
- 9) 警察庁交通局：平成 18 年中の交通事故の発生状況 (2007)