

# 対向車の前照灯による視覚低下グレア

村 井 裕\*

## Disability Glare by Headlights of an Oncoming Car

Yutaka MURAI

Disability glare - a glare which causes the temporal absence of eyesight - by the headlights of oncoming cars in the opposite lane is of great importance from the viewpoint of traffic accident. The occurrence of the glare is studied experimentally by means of a dark box which is provided with a glare source, a target for observation and an observation window. The threshold illuminance level at which the disability occurs is measured at the observation window as functions of the position and the area of the glare source, and the target luminance level. The result shows that the threshold illuminance level of the disability glare is proportional to the 0.9 power of the target luminance level independent of the glare area. It is also found that the threshold illuminance level is almost in inverse proportion to the square of the angle between the glare source and the target.

### 1. まえがき

自動車の夜間走行に際しては、前照灯を点灯して安全な運転をする義務がある。しかし、対向車線が隣り合うような場合には、自車が点灯して前方の障害を早く視認しようとしても、対向車の前照灯の光が直接目に入って眩しい（直射グレア）ために、視認すべき対象が視認できず発見が遅れることがある。これを減能グレアまたは視覚低下グレアと呼ぶ。このような対向車による視覚低下グレアは日頃しばしば経験するところである。夜間に道路を横切る人がこのグレアのために視認されず、重大な人身事故につながる場合がある。これを「蒸発現象」と呼んで夜間運転する場合に特に注意を払うよう指導がなされている。

交通関係では、晴天時にトンネルに進入する場合を例にとって、直射グレアによる視認性の低下が考察された例がある。<sup>(1)</sup> 最近ではこのようなグレアを軽減するために、トンネルの入り口では照明を明るくし、中に入るに従って照度を減ずるような照明設計がなされている。

自動車の場合には、道路照明を十分行い自動車の前照灯の照度を下げるか、または対向車の照明光を隔壁などで遮光すればよいわけであるが、経済性または景観の観点から、あらゆる場所での実現は難しいと考えられる。最近このグレアを抑制するために、前照灯の配光に関する規格を作成するための国際委員会が開催されている。<sup>(2)</sup>

本研究では、対向車による直射グレアの発生に関する基礎的なデータを得るために行った実験について、その方法および実験結果を述べる。

---

\* 経営工学科

## 2. 視覚低下グレアの実験

### 2. 1 実験方法

直射グレアにより視認性が低下する現象が、どの程度のグレアで発生するかを、実験により明らかにする目的で暗箱を製作した。図1は実験用暗箱の模式図である。暗箱には直径10mmの測定孔が設けられ、その前方475mmの対向した面に、視対象として半透明紙が矩形の窓に貼ってある。この視対象は背後から白熱電球 $L_2$ で照明される。矩形窓の寸法は50m先の人間を想定して幅4mm、高さ16mmにした。視対象と同じ高さで横方向にグレアを発生させるための光源(グレア源)用の窓を複数個設けた。これは対向車が接近するに従ってグレア源の位置が水平方向に移動することを模擬するためである。グレア源用の窓は視対象から30, 50, 100mmの位置に設けられており、実験に用い

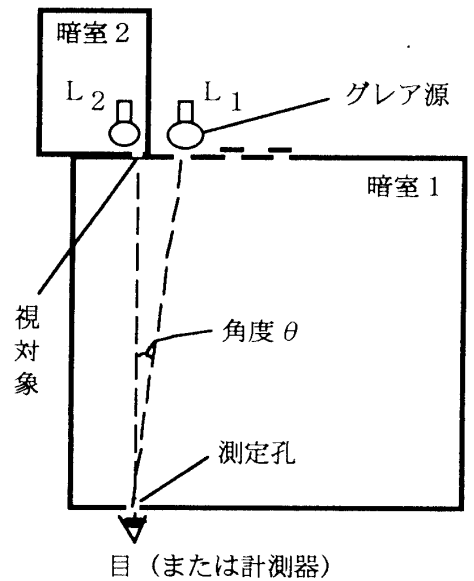


図1 グレア実験用暗箱

る一つの窓を残して他は遮光板で覆い、光を入れないようにすることができる。これらの窓はグレア源の面積が視覚低下に及ぼす効果を調べる目的で、直径を5, 10, 20mmと変化させることができる。グレア源はこの窓の背後から直接白熱電球 $L_1$ で照射することによって実現している。電球 $L_1$ ,  $L_2$ の電圧は個別に電圧調整器で変化させることができる。なお暗箱の内面には黒色のフェルトを張って壁面による反射光をほぼ抑制することができた。

実験では、まず観測者が観測孔から視対象を見つて $L_2$ の電圧を上げ、視対象を視認できる任意の電圧を選ぶ。次にグレア源の位置および寸法を選択し $L_1$ を点灯する。観測者が視対象を見つめた状態で $L_1$ の電圧を上げ、視対象が視認できなくなるときの電圧を測定する。このプロセスを $L_2$ の電圧およびグレア源の位置と寸法を変化させて行った。測定孔から視対象を観測する被験者には、正常な視力を持つ学生2人（KsとKtで標記）を当てた。暗箱の構造から右目だけを用いて観測を実施した。

### 2. 2 グレア照度および視対象輝度の算定

グレア源の位置や寸法、強度を変化させた場合、グレアによる視覚低下の発生は被験者の目におけるグレア源の垂直照度(以下グレア照度と呼ぶ)の関数として取り扱い得ることが示されている。<sup>(1)</sup> そこでグレア源の電圧値で与えられた実験データを照度に変換して一般化しておくために、手持ちの光パワーメータ（アドバンテス、TQ8210+センサTQ82014）を用いて、観測孔を通して入射する光強度をグレア源の電圧の関数として測定した。光パワーメータのセンサは直径約8mmである。測定に際しては、センサの受光面を常に視対象に対して正対した向きで観測孔に取り付けた。しかし光パワーメータは人間の目と異なった分光感度特性を有すること、また白熱電球の放射光の分光強度分布が電圧とともに変化することから、光パワーメータの測定結果を直接照度と関係づけることはできない。以下に光パワーメータの測定結果から照度を求める方法について検討する。

光源に使用した白熱電球は温度  $T$  (K) における完全放射体の分光放射発散度  $Me(\lambda, T)$  にタングステン の分光放射率  $\epsilon(\lambda, T)$  を乗じた分光放射強度を持つものと仮定する。すなわち白熱電球の分光放射強度  $P(\lambda, T)$  は次式で与えられるものと仮定する。

$$P(\lambda, T) = Me(\lambda, T) \epsilon(\lambda, T) \quad (1)$$

$\epsilon(\lambda, T)$  はグラフや表で与えられている。<sup>(3)</sup> また  $Me(\lambda, T)$  は次式で与えられる。

$$Me(\lambda, T) = c_1 \lambda^{-5} \exp \left[ (c_2 / \lambda T) - 1 \right]^{-1}$$

$$c_1 = 3.742 \times 10^{20} \text{ (W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^4 \text{)}$$

$$c_2 = 1.439 \times 10^7 \text{ (nm} \cdot \text{K)}$$

観測孔を通して測定器に入射する放射束は、(1) 式で与えられる放射の一部であるが、その比率は光源の面積、測定器受光部の面積、光源と測定器間の距離、測定器への入射束の角度という実験系の物理的構造から決定される。実験系の配置が一定であれば、測定器に入射する分光放射束  $R(\lambda, T)$  は(1) 式に比例し、 $A$  を配置で決まる比例定数とすれば次式で与えられる。

$$\begin{aligned} R(\lambda, T) &= AP(\lambda, T) \\ &= AMe(\lambda, T) \epsilon(\lambda, T) \quad (2) \end{aligned}$$

光パワーメータの測定値  $Ps(T)$  は、その分光感度特性を  $S(\lambda)$  とすると、次式で表現される。

$$\begin{aligned} Ps(T) &= \int AS(\lambda) Me(\lambda, T) \\ &\quad \times \epsilon(\lambda, T) d\lambda \quad (3) \end{aligned}$$

実験に使用した光パワーメータの分光感度特性は図 2 に示す特性を持っている。<sup>(4)</sup>

白熱電球に印加する電圧を変化させると、フィラメントの温度が変化し分光放射強度分布が変化する。そこで基準となる温度を設定することにより、解析の便をはかった。実験の精度を勘

案して定格電圧の 100 V で点灯したときを基準とし、そのときのフィラメントの温度を 3000 K と仮定した。この基準を用いることにより、任意の電圧に対するフィラメント温度を推定することができる。すなわち任意の電圧におけるセンサー出力  $Ps(T)$  と 100 V におけるセンサー出力  $Ps(3000)$  から、次式を満足するような  $T$  の値を求めることにより目的は達せられる。

$$Ps(T) / Ps(3000) = \frac{\int AS(\lambda) Me(\lambda, T) \epsilon(\lambda, T) d\lambda}{\int AS(\lambda) Me(\lambda, 3000) \epsilon(\lambda, 3000) d\lambda} \quad (4)$$

以上から任意の電圧に対してフィラメント温度を求めることができるので、今度はその温度から人間の目に対する照度  $E$  を推定することができる。人間の目の標準視感度特性<sup>(5)</sup> を  $V(\lambda)$  とすると、測定器が人間の分光感度特性を持っていると仮定した場合の光束  $Pe(T)$  は次式で与えられる。

$$Pe(T) = \int AV(\lambda) Me(\lambda, T) \epsilon(\lambda, T) d\lambda \quad (5)$$

$A$  の値は(3) 式において  $T = 3000 \text{ K}$  とし、100 V における  $Ps(3000)$  の計測値から求められる。従って観測者の目における照度  $E(\text{lx})$  は、(5) 式から計算される光束  $Pe(T)$  がルーメン(lm)の単位を持つので、これを測定器の受光面積  $a(\text{m}^2)$  で割って単位面積当たりの光量を計算すれば求

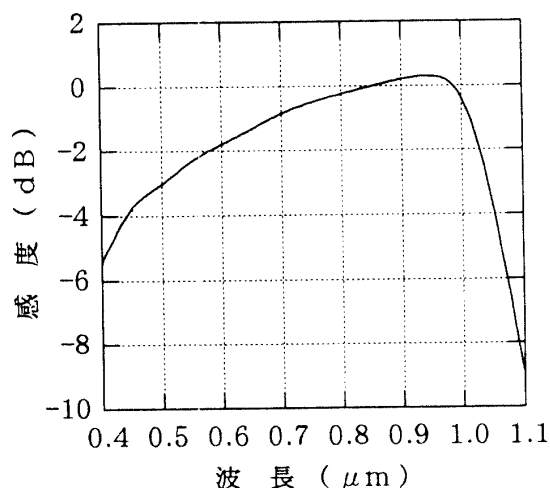


図2 光パワーメータの分光感度特性

められる。すなわち

$$E = Pe(T) / a \quad (6)$$

一方、視対象の視認性は一般に視対象の周囲に対するコントラストとともに向上するとされている。<sup>(6)</sup> ここでは視対象の周囲が暗いことを考慮して、コントラストを視対象の輝度によって表現する。前述のように、視対象は半透明紙で背後から白熱電球  $L_2$  によって照明されている。半透明紙の透過率が可視光線の波長領域では波長に関係なく一定であると仮定し、かつ  $L_2$  についても  $L_1$  と同様に100Vで3000Kという仮定をすれば、(2)～(5)式を用いることにより、測定孔における視対象による光束  $Pe'(T)$  を求めることができる。ただし、この場合の比例定数  $A$  は  $L_1$  の場合とは異なった値をとる。

このようにして求められた光束  $Pe'(T)$  から、視対象の輝度  $L$  は次式から求められる。

$$L = 4\pi r^2 Pe'(T) / Sa \quad (7)$$

ここに  $r$  は視対象と観測孔との距離、 $S$  は視対象の面積である。

### 2. 3 実験結果

以下の実験結果の説明では電圧値で表現された実験データを上記の方法で照度や輝度に変換して表現している。

図3は一例としてグレア源の直径が5mm、その中心位置が視対象中心から30mm離れた場合における実験結果を示す。プロットのマークは被験者別に変えている。実験では視対象の一つの輝度に対してグレア照度を上げていき、視対象が視認できなくなるグレア照度を一人の被験者に対して2回ずつ求めた。この実験で視対象が断続的に視認できないという過渡的な状態があることが判明した。図の(a)はグレアによって視覚低下が秒程度で断続的に起こる場合を示し、(b)は視覚低下が連続的に起こる場合を示している。前者をM、後者をCと標記する。当然のことながら(a)の方が(b)の場合より若干低い値を示している。50km/hrで走行する車が1秒間に約14m進むことを考えると、(a)の場合も十分考察の基礎データとして価値を有するものといえる。実験データには個人差もあるが、個人についてもデータのバラツキが存在する。グレア源の位置を変化させた他の場合についても同様な傾向を示した。以下では安全側を

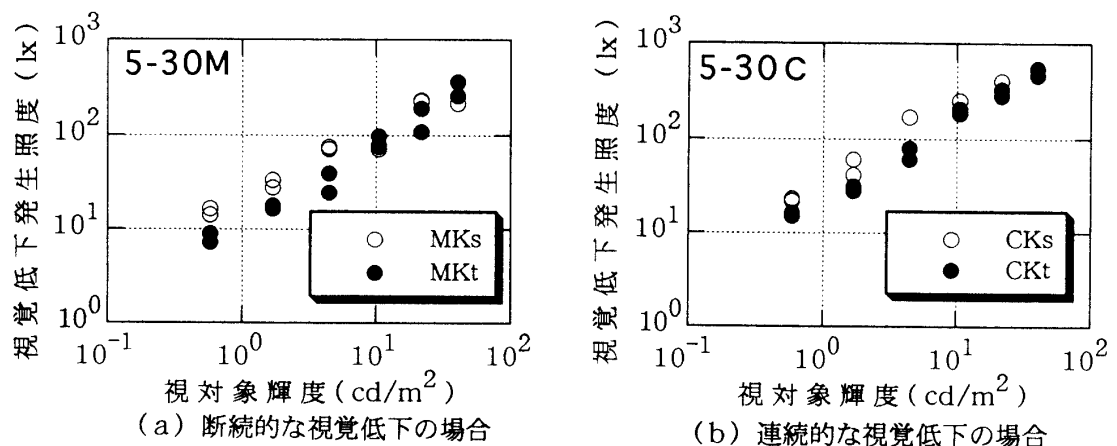


図3 グレアによる視覚低下発生照度

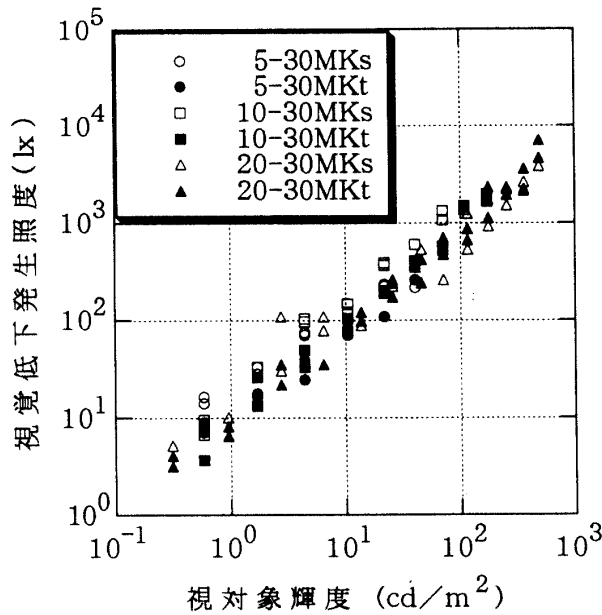


図4 視覚低下発生照度と視対象輝度との関係

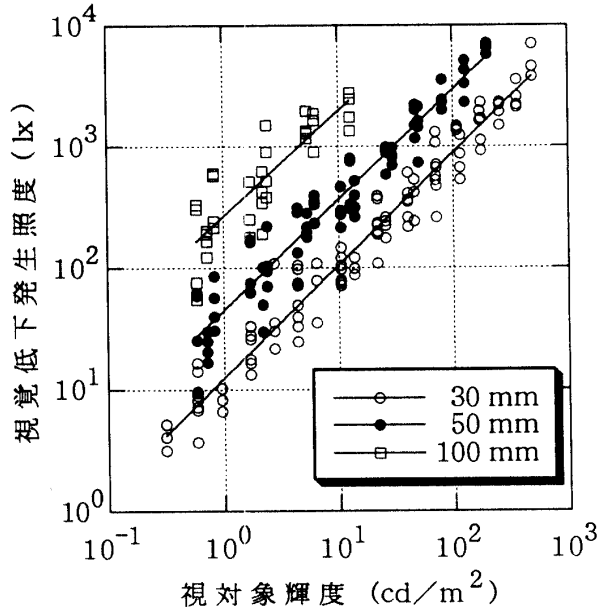


図5 グレア源の位置による視覚低下発生照度の変化

みて(a)の断続的視覚低下発生照度を使用して議論を進める。

図4はグレア源が視対象から30mm離れた場合について、視覚低下発生照度と視対象輝度との関係を、グレア源の寸法を5, 10, 20mmと変化させて求めたものである。実験データのバラツキの範囲内で、視覚低下を発生するグレア照度はグレア源の直径に関係なく、観測孔における照度によって与えられると考えることができる。図5はグレア源の位置を変えた場合について、同一の位置におけるデータはグレア源の寸法に拘わらず一括して同じ記号で示したものである。グレア源が視線から離れるに従って視覚低下が発生する照度は増加する。図中グレアの各位置に対して回帰直線を示したが、どの場合も視覚低下発生照度は視対象輝度のほぼ0.9乗に比例することが認められる。この値はグレアによる光幕形成の考えから導かれる比例関係<sup>(1)</sup>に極めて近い値といえる。

図5の各回帰直線の傾斜がほぼ等しいことから、視覚低下発生照度とグレア源の視線に対する角度との関係を回帰直線の係数から推定することができる。図6は回帰直線の係数とグレア源の角度との関係を示したものである。グレア源の角度は、視対象とグレア源の間隔30, 50, 100mmに対して、視対象と観測孔の距離475mmから、それぞれ3.6, 6.0, 11.9°と計算される。図6のプロットから回帰直線を累乗形式で求めてみると、係数は角度の2.6乗に逆比例することになる。この結果はデータ数が少ないために正確さを欠く。角度の2乗に逆比例する<sup>(1)</sup>という表現でも十分実験結果を説明することができる。

図6の特性からグレア源の角度が増加すると、視覚低下を生起する照度が角度の2乗またはそれ以上の

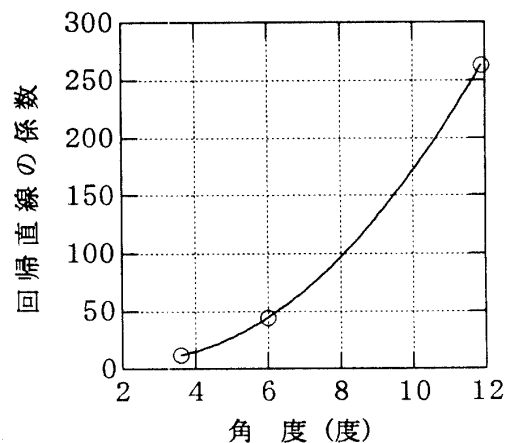


図6 回帰直線の係数と角度の関係

割合で増大することがわかる。視覚低下を防止するために、グレア源から目を反らせることが推奨されることも、以上の実験結果から理解できる。

### 3. 暗順応に関する実験

一般に明所から暗所に入った場合、最初ものが見えないが、時間とともに次第に見えてくる現象が存在し、これを暗順応と呼んでいる。対向車のヘッドライトにより発生したグレアの場合も、同様なことが起こるものと考えられる。対向車が擦れ違った後は、グレア源が消滅するわけであるが、グレア消滅後視覚低下の状態からどの程度の時間で回復するかを実験的に調べた。

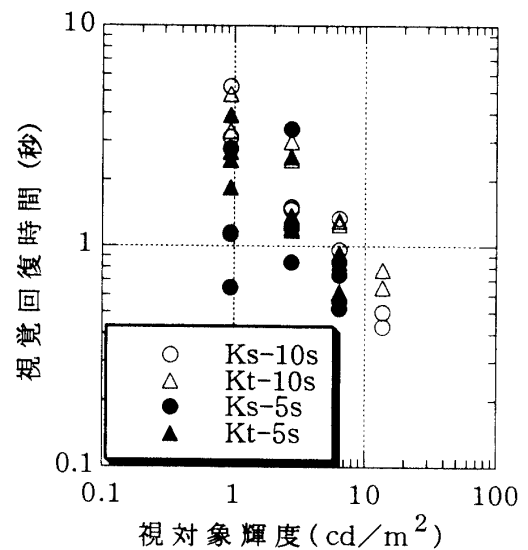


図7 暗順応時間の実測値

#### 3. 1 実験方法

図1に示すグレア実験用暗箱を用いて実験を行った。対向車のヘッドライトによるグレアの場合、対向車が遠方にある初期段階では、視対象とグレア源との角度が $3^\circ$ 以下と小さいことから、視対象とグレア源の間隔を30mmに設定した。視対象の輝度をあるレベルに設定し、グレア源を5秒または10秒間点灯した後消灯する。この間観測者の視線は常に視対象に向けられている。グレア源消滅後、視対象が視認できる状態になるまでに必要な時間を計測した。この実験では、グレア源の観測孔における照度を約6000lxに選んだ。この値は図5からはかなり高い値であるが、実験値のバラツキの範囲を完全にカバーする値として選んだ。

参考として、高照度のグレア源を直視する場合、視覚回復にどの程度時間を要するかを数例の実験によって調べた。

#### 3. 2 実験結果

図7はグレア消滅後に視対象が見え始めるまでの視覚回復時間（暗順応時間）と視対象の輝度の関係を示したものである。グレア源の点灯時間が5秒の場合と10秒の場合とを比較すると、暗順応時間は10秒の場合の方が若干長い。データのバラツキを考えると大差はない。視対象の輝度が $10 \text{ cd/m}^2$ 以上では、暗順応時間は1秒以下になっている。実際の場合には、グレアの照度は上記の値よりかなり低い場合が多いと考えられ、従って暗順応時間はさらに低い値になることが予想される。最大1秒程度を考えておけばよいと判断される。

高照度のグレア源を直視した場合の視覚回復時間は、例えば視対象輝度が $1 \text{ cd/m}^2$ の場合に、直視しない場合の約40倍、150～200秒要するという実験結果を得ている。

以上のように、交通事故防止の観点から暗順応に要する時間も十分考慮に入れるべきであることが判明した。この問題に関してはさらに実験データを蓄積する必要がある。

### 4. まとめ

対向車のヘッドライトによる視覚低下グレアについて実験を実施し、基礎的なデータを得た。結果を以

下にまとめる。

(1) グレア照度を上げていくと、断続的に視対象が見えなくなる過渡的な視覚低下状態を経て、連続的な視覚低下状態に至る。前者の場合に視覚低下時間が秒程度であることから、交通事故との関係を論ずる場合には、断続的な視覚低下発生照度を考慮に入れるべきであろう。

(2) 断続的視覚低下または連続的視覚低下のいずれの場合も、視覚低下の発生は観測者の眼におけるグレア源の照度によって決定される。

(3) 視覚低下発生照度は視対象の輝度の0.9乗という実験結果を得たが、視対象輝度に比例すると考えてもほぼ間違いない。

(4) 視覚低下発生照度はグレアと視対象との間の角度の2~2.6 乗に逆比例するという実験結果を得た。この値の範囲は実験データの蓄積によって小さくすることができる。

(5) グレア源の消滅後の暗順応特性について実験を行った。実験データは不十分であるが、視対象が10 cd/m<sup>2</sup>程度の輝度を持っている状況では、グレア源を直視しなければ1秒以下で視覚が回復する。しかし、グレア源を直視すると視覚回復に要する時間は極端に長くなる可能性がある。

#### 参考文献

- (1) J. J. Vos : CIE-Journal Vol.3 No.2 (1984)
- (2) 岩井 孝司 : TOYOTA Technical Review Vol.4 No. 1 p2 (1995)
- (3) 例えばオーム社 : 照明ハンドブック 第2章「光の物理」 p24 (1978)
- (4) アドバンテスト : カタログ1905 センサ, ケーブル
- (5) 例えば電気学会 : 照明工学 (改訂版) 第1章「照明の基礎」 p14 (1990)
- (6) 例えばハンス・ユルゲン・ヘンシエル(森 礼於訳) : 光と照明 第3章「視覚機能の概念」(1995)

(平成8年11月18日受理)