

研究

閃光による不快グレア

入倉 隆・谷口 哲夫・青木 義郎

交通安全公害研究所交通安全部 〒181 三鷹市新川 6-38-1

(1994年9月30日受付, 1995年5月2日受理)

Discomfort Glare Caused by Flash Light

Takashi IRIKURA, Tetsuo TANIGUCHI and Yoshiro AOKI

Traffic Safety Division, Traffic Safety and Nuisance Research Institute,
6-38-1, Shinkawa, Mitaka 181

(Received September 30, 1994; Accepted May 2, 1995)

A visual experiment was carried out to clarify the characteristics of discomfort glare caused by a flash light. In this experiment, subjects matched discomfort glare between a flash light and a steady light at various flash frequencies, flash durations and retinal eccentricities. The results showed that the ratio of luminous intensity of test flash light to that of steady reference light decreases as the flash frequency increases, when the frequency is less than 4 Hz. The decrease of this ratio started in lower frequency as the retinal eccentricity increases. The change of discomfort glare sensitivity with stimulus frequency is consistent with that of flicker sensitivity previously reported.

1. ま え が き

持続時間の短い強い光である閃光は、誘目性および識別性に優れており、航空障害灯、灯台をはじめ交通機関の視覚信号として広く用いられている。通常、これらの灯火は遠距離から視認されることを目的としているので、その光度は非常に大きなものとなっている。このため例えば、白色閃光の航空障害灯等は近隣住民に及ぼす影響が懸念されており、基準の制定に関して、影響ができるだけ少なくなるように灯火の配光および光度について検討されている。このように閃光の見え方について、閾値レベルでの特性とともに、不快グレアに関する特性を明らかにすることが求められている。

いままで、閃光の視認性や閃光のグレアによる不快感の有無およびその程度について、しばしば実効光度を基に論じられてきた。閃光の実効光度は、一般に Blondel and Rey の式(1)による。

$$I_e = \int_{t_1}^{t_2} I dt / \{0.21 + (t_2 - t_1)\} \quad (1)$$

ただし、 I_e : 実効光度、 I : 瞬時光度、 t_1 , t_2 : 閃光の時

間、 t_1 , t_2 は I_e の値を最大にするように選ぶ¹⁾。

しかし、式(1)は光覚閾において実験的に求められたものであり、閾上においては成立しない²⁾。式(1)の0.21の値を変えることによって、閾上まで拡張して適用しようとする考えもあるが、その範囲も閾値の20倍程度までとされている³⁾。したがって、式(1)を用いて閃光のグレアによる不快感の有無およびその程度を求めることはできないと考えられる。

また、数 Hz 以下の条件では、閃光の周波数が大きくなるにしたがってグレアによる不快感が増大するといわれているが、その特性についても明確にされていない。定常光の不快グレアに関しては、網膜上の位置と不快グレアの大きさについての多くの報告がある^{4,5)}。一方、Osaka⁶⁾ は閃光の持続時間および網膜上の位置と明るさについて報告している。しかし、網膜上の位置と閃光の不快グレアの関係については研究されていない。

本研究では、グレアによる不快感が等しくなるように閃光と定常光をマッチングさせる視覚実験を実施し、閃光の周波数、呈示持続時間、網膜上の位置と不快グレアの関係について検討を行った。

2. 実 験

2.1 装 置

テスト光 (閃光), 基準光 (定常光) 等の呈示位置を Fig. 1 に示す. 観測距離は 5 m である. テスト光および基準光は外径 3 min の円形である. 固視点は外径 15 min の円形であり, 基準光に比べて十分に低い明るさの赤色光である. 固視点は, テスト光と基準光の中間の位置にあり, 固視点からテスト光および基準光までの距離は 0.5° , 5.5° , 11° の 3 種類である. テスト光の閃光周波数および呈示持続時間はチョッパーにより変えることができる. テスト光および基準光は, ハロゲンランプでスクリーン裏面より開口および拡散板を通して白色光 (色度は $x: 0.45$, $y: 0.43$) を照射したものであり, テスト光の光度は被験者の手元にある光度調整用ノブを回転させることにより変えることができる. テスト光の波

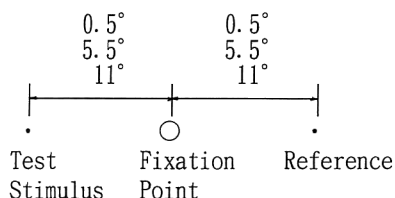


Fig. 1 Stimulus configuration. Fixation point is the midpoint between test stimulus and reference.

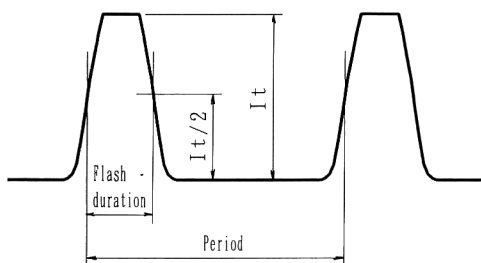


Fig. 2 Waveform of flash light. The flash durations are 33 ms, 50 ms and 100 ms.

形は, Fig. 2 に示すように矩形波に近いパルスである. 背景輝度 (スクリーン前面の輝度) は 0 cd/m^2 である.

Table 1 に, テスト光の呈示位置, 呈示持続時間, 閃光周波数および基準光の光度を示す. 網膜上の位置は, 0.5° が中心小窩, 11° が近周辺部であり, 5.5° はその中間の位置として選んだ. 交通機関の視覚信号としては $0.5 \sim$ 数 Hz がよく用いられており, 実験での周波数はそれに合わせた.

Putnam ら⁷⁾の結果から, 外径 3 min ($6 \times 10^{-7} \text{ sr}$) の光を中心視で観測した場合, 不快グレアをちょうど感じ始めるときの輝度 BCD (borderline between comfort and discomfort) は, 約 10^4 cd/m^2 である. 基準光の光度が 2.0 cd のときの輝度は $1.4 \times 10^5 \text{ cd/m}^2$ であるので, これらは BCD より大きく, 不快グレアを感じる輝度である. 基準光の光度が $2.0 \times 10^{-2} \text{ cd}$ のときの輝度は $1.4 \times 10^3 \text{ cd/m}^2$ であり, BCD より小さく, 不快グレアを感じない輝度である. 不快グレアを感じない輝度でも実験を行ったのは, グレアによる不快感を等しく感じるときの閃光と定常光の関係を, 不快グレアを感じない条件での明るさが等しい閃光と定常光の関係と比較するためである.

2.2 手 順

実験は, 以下の手順に示すように調整法により行った. 被験者は 19~44 歳の男性 6 名である. 人工瞳孔は用いず, 自然視で行った.

- (1) 被験者は約 10 分間の暗順応を行う.
- (2) 固視点を両眼で注視しながら, テスト光 (閃光) のグレアによる不快感が基準光 (定常光) のグレアによる不快感と等しくなるように, テスト光の光度を手元のノブで調整する. ただし, 光度が $2.0 \times 10^{-2} \text{ cd}$ の基準光の場合は, 不快グレアでないため, テスト光と基準光の明るさが等しくなるようにテスト光の光度を調整する. 観測時間の制限は設けなかったが, ほとんどの観測は 30 s 以内に終えた.
- (3) 測定者がテスト光の光度を測定する. 測定は, 被

Table 1 Condition of test stimulus and reference.

Retinal eccentricity (deg)	Luminous intensity of reference (cd)	Flash duration (ms)	Frequency (Hz)
0.5	2.0	100	0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4
〃	〃	50	1, 2, 3, 4
〃	〃	33	1.5, 3, 4.5
〃	2.0×10^{-2}	100	0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4
5.5	3.5	100	0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4
11	〃	〃	〃

験者の位置から輝度計 (Topcon BM-5 A) を用いて行う。

- (4) テスト光の閃光周波数を変えて(1)~(3)を繰り返す。テスト光の閃光周波数の呈示順序はランダムとする。
- (5) テスト光の呈示位置, 呈示持続時間および基準光の光度を変えて(1)~(4)を繰り返す。

この実験では被験者の負担が大きいため、同一条件の観測は各被験者とも2回ずつとした。

3. 結果

3.1 BCDより大きい場合と小さい場合の比較

テスト光 (閃光) のグレアによる不快感が基準光 (定常光) のグレアによる不快感と等しいと判断したときのテスト光光度 (波高値) を I_t とし, 基準光光度を I_m とする。基準光光度が 2.0×10^{-2} cd の場合は, テスト光と基準光の明るさが等しいと判断したときのテスト光光度を I_t とする。網膜上の位置 0.5° , 呈示持続時間 100 ms, 基準光光度 2.0 cd および 2.0×10^{-2} cd について, 被験者 6 名の観測結果を幾何平均して求めた I_t/I_m と閃光周波数の関係を Fig. 3 に示す。○は基準光光度 2.0 cd, □は基準光光度 2.0×10^{-2} cd のときの結果である。各データに付けられた縦線は標準偏差であり, 被験者 6 名の観測結果のばらつきを表す。

Fig. 3 より, 不快グレアを感じないレベルである基準光光度 2.0×10^{-2} cd の場合は, いずれの閃光周波数においても, 基準光光度 2.0 cd より I_t/I_m は大きくなっている。また, いずれの基準光の場合も, 閃光周波数が 1.5

Hz 以上になると, 閃光周波数が大きくなるにしたがって I_t/I_m は小さくなっている。これは, 閃光の強度が BCD より大きい場合は, 閃光周波数が大きくなるにしたがって, グレアによる不快感が等しくなるときの定常光に対する閃光の相対光度は減少することを示している。これに対して, 閃光の強度が BCD より小さい場合は, 閃光周波数が大きくなるにしたがって, 実効光度が大きくなることを示している。さらに, 不快グレアを感じないレベルである基準光光度 2.0×10^{-2} cd において, 低周波数で $I_t/I_m < 1$ になっておらず, ブロッカー・ザルツァー効果は現れていない。

グレアによる不快感が等しくなるような定常光に対する閃光の相対光度を Blondel and Rey の式 (式(1)) から求めることができるとすると, 呈示持続時間が 100 ms のとき, I_t/I_m は 3.1 となる。しかし, Fig. 3 の基準光光度が 2.0 cd のとき, I_t/I_m は 0.43~1.0 となっている。このことは, グレアによる不快感が等しくなるような定常光に対する閃光の相対光度を Blondel and Rey の式からは求められないことを示している。

3.2 網膜上の位置および呈示持続時間の影響

実験を行った網膜上の位置は 0.5° , 5.5° , 11° の 3 種類であるが, これらについて被験者 6 名の観測結果を幾何平均して求めた I_t/I_m と閃光周波数との関係を Fig. 4 に示す。呈示持続時間は 100 ms, 基準光光度は 2.0 cd (網膜上の位置 0.5°) と 3.5 cd (網膜上の位置 5.5° , 11°) である。○は網膜上の位置 0.5° , △は 5.5° , □は 11° での結果を示している。

Fig. 4 より, 網膜上の位置が網膜の中心窩から遠ざかるにしたがって, I_t/I_m が小さくなっている。つまり網

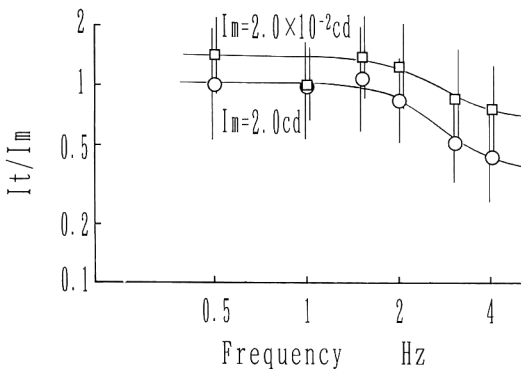


Fig. 3 Relation between flash frequency and I_t/I_m . Each point represents a geometric mean of 6 subjects. Error bars indicate ± 1 standard deviation.

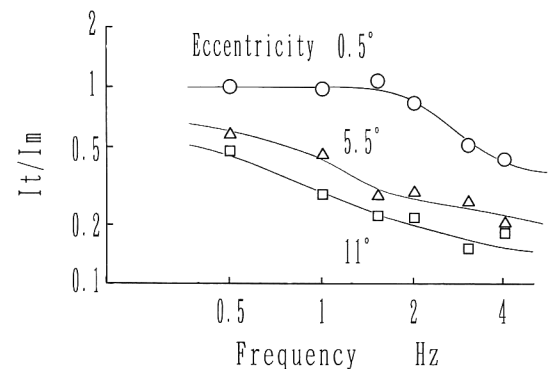


Fig. 4 Effect of retinal eccentricity. Flash duration is 100 ms. Each point represents a geometric mean of 6 subjects.

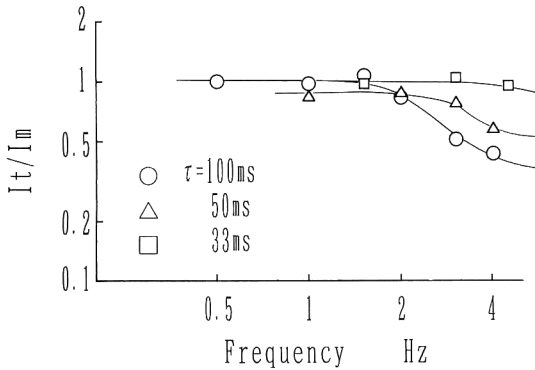


Fig. 5 Effect of flash duration. Retinal eccentricity is 0.5° and I_m is 2.0 cd. Each point represents a geometric mean of 6 subjects.

膜の周辺部にいくにしたがって、グレアによる不快感が等しくなるときの定常光に対する閃光の相対光度は減少する。網膜上の位置が 5.5° および 11° では、 I_t/I_m は 1 より小さく、0.57~0.15 となっている。つまり、閃光のグレアによる不快感は、約 $1/2 \sim 1/7$ の光度で定常光のグレアによる不快感と等しくなる。

また、網膜上の位置が 0.5° では、閃光周波数が 1.5 Hz 以上になると閃光周波数が大きくなるにしたがって I_t/I_m は小さくなっているが、 5.5° および 11° では、閃光周波数 0.5 Hz からすでに閃光周波数が大きくなるにしたがって I_t/I_m は小さくなっている。

実験を行った呈示持続時間 τ は 100 ms, 50 ms, 33 ms の 3 種類であるが、これについて被験者 6 名の観測結果を幾何平均して求めた I_t/I_m と閃光周波数との関係を Fig. 5 に示す。網膜上の位置は 0.5° 、基準光光度は 2.0 cd である。○は τ が 100 ms, △は 50 ms, □は 33 ms の結果を示している。Fig. 5 より、閃光周波数 3~4 Hz 付近の値を除き、いずれの呈示持続時間においても、 I_t/I_m は 1 に近い値である。呈示持続時間 50 ms は 100 ms に比べて 1 閃光当たりのエネルギーは $1/2$ 、33 ms は $1/3$ であるが、1~2 Hz ではグレアによる不快感が等しくなるときの定常光と閃光の光度の差はほとんどない。

4. 考 察

4.1 フリッカー知覚との比較

実験結果から、グレアによる不快感が等しくなるときの定常光に対する閃光の相対光度は、周波数により変化することが示された。これより、閃光による不快グレアにはフリッカー知覚が影響していることが考えられるの

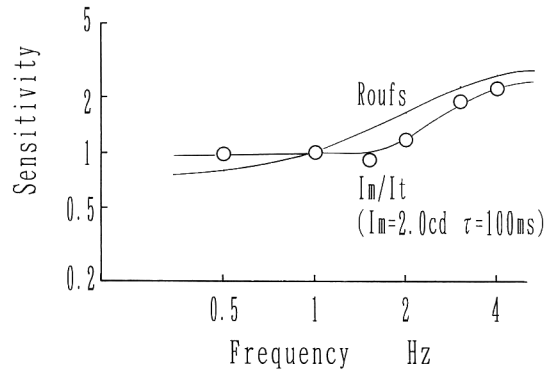


Fig. 6 Comparison of flicker sensitivity from Roufs and discomfort glare sensitivity obtained from experimental results. The data are shifted along the ordinate as the value at frequency of 1 Hz is 1.

で、閃光による不快グレアとフリッカー知覚の関係について考察する。

定常光では輝度が高くなるにしたがって、グレアによる不快感が増すことが知られている⁸⁾。閃光においても輝度（光源面積が不変の場合は光度と言え換えることができる）が増大するにしたがって、グレアによる不快感は増大すると考えられる。したがって、本実験における I_t/I_m の逆数 I_m/I_t は、同じ不快グレアをもたらすのに必要な相対光度の逆数であるから、感度に比例する値であると考えることができる。一方、フリッカー感度については多くの研究が行われているが、Roufs⁹⁾ は輝度の正弦波変調に対するちらつき感度を低周波域について求めている。Roufs の実験で用いた刺激光は、大きさが直径 1° の円形の白色光、平均網膜照度 1150 td であり、周辺光はある場合とない場合の条件で行っている。網膜位置は中心窩であり、直径 2 mm の人工瞳孔が用いられている。実験結果は、被験者 1 名のものが示されている。

網膜上の位置 0.5° 、基準光光度 2.0 cd、呈示持続時間 100 ms における本実験結果の I_m/I_t と Roufs の結果（周辺光なしの場合）の比較を Fig. 6 に示す。縦軸は相対値であり、周波数 1 Hz の値が 1 になるようにしてある。○が本実験結果の I_m/I_t を示している。実験条件が異なるため単純に比較できないが、4 Hz 以下の低周波数においては、周波数の増加に対するフリッカー感度の上昇の割合は、不快グレアに対する感度の上昇の割合よりやや大きい。しかし、周波数が大きくなるにしたがって、フリッカー感度も不快グレアに対する感度も上昇し

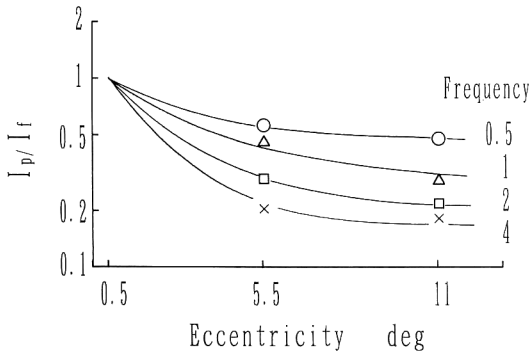


Fig. 7 Relation between retinal eccentricity and I_p/I_f . I_p/I_f is the ratio of luminous intensity in the periphery to that in the fovea when the discomfort caused by the glare is equal. The parameter is frequency.

ており、似た傾向を示している。閃光の不快グレアの閃光周波数に関する特性には、フリッカー知覚が影響している可能性がある。

4.2 網膜上の位置

苧阪¹⁰⁾は、定常光の明るさが等しくなるときの中心窩に対する周辺部の相対光度を求めている。それによると、輝度が比較的高い条件では、明るさが等しくなるときの中心窩の輝度と周辺部の輝度の差はほとんどなく、明順応の場合も暗順応の場合もその差は1 dB以下となっている。また佐々木ら⁵⁾は、定常光のグレアによる不快感が等しくなるときの中心窩に対する周辺部の相対光度を求めている。それによると、相対光度は周辺部にいくにしたがって増大する。しかし、網膜位置が20°ぐらゐまでは増大は小さく、特に水平方向ではその相対光度の差はほとんどない。

ここで、本実験での中心窩(網膜上の位置0.5°)における I_m/I_f に対する周辺部における I_m/I_f の比を I_p/I_f とする。佐々木らの結果より、 I_p/I_f は、閃光のグレアによる不快感が等しくなるときの中心窩に対する周辺部の相対光度と考えることができる。 I_p/I_f と網膜上の位置との関係を Fig. 7 に示す。これは Fig. 4 のデータを書き改めたものであり、○は周波数0.5 Hz、△は1 Hz、□は2 Hz、×は4 Hzの値を示している。

Fig. 7 より、 I_p/I_f は、周辺部にいくにしたがって減少している。また、周波数が大きいほど I_p/I_f の減少は大きい。網膜上の位置が11°までの範囲では、定常光の

場合、明るさやグレアによる不快感が等しくなるときの中心窩に対する周辺部の相対光度は、ほとんど変化しない。しかし閃光の場合、グレアによる不快感が等しくなるときの中心窩に対する周辺部の相対光度は、周辺部にいくにしたがって減少するものと考えられる。

5. ま と め

グレアによる不快感が等しくなるように閃光と定常光をマッチングさせる視覚実験を実施し、閃光の周波数、呈示持続時間、網膜上の位置が不快グレアに及ぼす影響について検討を行った。それらの結果をまとめると、以下ようになる。

- (1) 4 Hz 以下の領域では、閃光周波数が大きくなるにしたがって、グレアによる不快感が等しくなるときの定常基準光に対するテスト閃光の相対光度は減少した。
- (2) 網膜上の位置が周辺部にいくにしたがって、低い周波数からこの相対光度の減少が生じた。
- (3) 周波数に関して、不快グレアに対する感度はフリッカー感度と同じような特性をもつ。

文 献

- 1) C. A. Douglas: "Computation of the effective intensity of flashing light," *Illum. Eng.*, **52** (1957) 641.
- 2) 池田紘一, 小原清成, 佐久間正和, 西川真司: "単色閃光灯火の実効光度", *照学全大* (1990) pp. 81-82.
- 3) T. H. Projector: "Effective intensity of flashing lights," *Illum. Eng.*, **52** (1957) 630-640.
- 4) 田淵義彦, 中村 肇, 筒井 亨, 西村政信, 佐土根範次: "視野中心の光源と視野周辺の光源による不快グレアの比較", *照学誌*, **75** (1991) 73-79.
- 5) 佐々木嘉雄, 室井徳雄: "均一背景輝度下における光源の位置と快・不快の限界輝度", *照学誌*, **63** (1979) 542-548.
- 6) N. Osaka: "Brightness exponent as a function of flash duration and retinal eccentricity," *Percept. Psychophys.*, **30** (1981) 144-148.
- 7) R. C. Putnam and R. E. Faucett: "The threshold of discomfort glare at low adaptation levels," *Illum. Eng.*, (1951) 505-510.
- 8) 明石行生, 村松陸雄, 金谷末子: "UGR (Unified Glare Rating) と不快グレアの評価との関係", *照学誌*, **78** (1994) 516-525.
- 9) J. A. J. Roufs: "Dynamic properties of vision— I. Experimental relationships between flicker and flash thresholds," *Vision Res.*, **12** (1972) 261-278.
- 10) 苧阪直行: "周辺視における明るさのべき関数と Equal Brightness Contour—暗・明順応下での比較—", *心理学研究*, **50** (1979) 1-8.