複数の点光源による不快グレア

非会員 高橋 宏 (芝浦工業大学) 専門会員 入倉 隆 (芝浦工業大学)

Discomfort Glare Caused by Multiple Point Sources

Non Member **Hiroshi Takahashi** (Shibaura Institute of Technology) and

Fellow Member **Takashi Irikura** (Shibaura Institute of Technology)

ABSTRACT

Visual experiments on the Borderline between Comfort and Discomfort (BCD) luminous intensity were carried out to clarify the characteristics of discomfort glare caused by multiple point sources in a row and in a matrix. The experiments were done under conditions of dark adaptation, varying the number and interval of the sources. The results show that the increase in BCD luminous intensity is smaller than that in the number of the sources, although BCD luminous intensity increases as the number of the sources increases. The condition of multiple point sources in a row on discomfort glare is obtained in the virtual area. The BCD luminous intensity of multiple point sources in a row is lower than that of linear source, even if the interval is narrow.

KEYWORDS : discomfort glare, point source, spatial summation, BCD, signal, aeronautical ground light

1. まえがき

私達の日常生活において、点光源は数多く存在している。例えば、遠方の対向車のヘッドライトや道路照明、ビルの屋上などに設置される航空障害灯、LED で表示される電光掲示板の文字信号などがある。また特殊なものでは航路標識や航空灯火なども観測距離が長い点光源として見える。これらの灯火や信号は通常、複数の光源で構成されている。

また、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、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及び光度について検討されている。このように点光源の見え方について、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。

しかし現在、点光源と不快グレアの関係については未解明な部分が多い。特に、複数の点光源による不快グレアの特性についてはその一部しか明らかにされていない。Obara ら¹⁾は横列灯火の数が多くなるほど、また間隔が狭くなるほどグレア下限の角膜照度が低くなることを明らかにしている。日比野ら²⁾はマトリクス状に装着した白色 LED の間隔を変えて実験をしているが、間隔による心理的影響は明確に確認されなかったことを報告している。一般的に不快グレアについては UGR 法が知られている。しかし UGR 法に使用するデータには制限があり、点光源のように非常に小さい光源や複数の光源に対しては適用できない³⁾⁴⁾。そこで、本研究では複数の点光源の数や配列、間隔を変化させて BCD

(Borderline between Comfort and Discomfort) 光度 (快・不快における限界光度) を求める 3 種類の実験を行った。この結果から、複数の点光源により不快グレアの特性について検討・考察を行う。

2. 実験 1 : 横列灯火による不快グレア

実験 1 では、点光源の数の横列方向への増加とそれに伴う不快グレアの変化についての実験を行った。

2.1 実験方法

図 1 に実験装置を示す。実験は暗室内で行い、観測距離は 1900 mm とする。被験者と光源の間に暗箱を置きテスト光の背景輝度が 0 cd/m² になるようにする。この箱の被験者側の面には観測用の窓を、光源側の面には光源用の窓をそれぞれ設け、光源側の窓にはステンレス板に微小な穴をあけたものを設置し、後ろからメタルハライドランプ (白色光) で照射することにより点光源 (テスト光) とする。被験者に提示するテスト光のパターン例を図 2 に示す。テスト光の光度の調整は、ND フィルターを用いて行う。提示時間はシャッターにより変えることができる。その他の実験条件は表 1 に示す。

被験者は 21 歳から 23 歳までの男性 5 名である。

実験は以下の手順に示すように恒常法により行った。

- (1) 暗室内で暗順応を 10 分行う。
- (2) 被験者の頭を顎台で固定し、テスト光提示位置を注視させる。テスト光の中央を赤色の十分に低い光度で点灯することにより、被験者に提示位置を示した。
- (3) テスト光を提示する。被験者に提示したテスト光が「不快で

図1 実験装置
Fig.1 Experimental apparatus.

図2 横列灯火パターン例
Fig.2 An example of multiple point sources in a row.

表1 実験条件 (実験1)
Table 1 Experimental conditions -experiment 1-

点光源の直径	2'
背景輝度	0 cd/m ²
テスト光提示時間	0.5s
点光源の数	1, 2, 4, 8, 16, 32点
点光源の1点の光度	1.0×10 ⁻⁴ , 2.9×10 ⁻⁴ , 4.6×10 ⁻⁴ , 7.8×10 ⁻⁴ , 1.3×10 ⁻³ , 1.9×10 ⁻³ , 2.9×10 ⁻³ , 5.2×10 ⁻³ , 1.2×10 ⁻² , 2.1×10 ⁻² cd

ある」か「不快でない」かをフォースド・チョイス法によって判断させる。

- (4) テスト光の条件をランダムに変え、それぞれのパターンについて実験を繰り返す。なお、観測の間隔は90秒とする。90秒経過後に次の観測を行ったのは、観測による順応レベルの変動を回復するためと、観測による疲労を少なくするためである。

- (5) 各条件について観測を10回行う。

2.2 実験結果

実験結果より、テスト光の光度（複数の点光源の場合はそれを全て合計した光度）と不快に感じる確率の関係を求めた一例を図

図3 光源光度と不快に感じる確率の関係。(被験者 H.T.)
Fig.3 Relationship between luminous intensity of sources and probability of discomfort.

図4 点光源の数と BCD 光度の関係
Fig.4 Relationship between number of point sources and BCD luminous intensity.

3に示す。図3は被験者 H.T.の2個の点光源の結果である。ここで不快に感じる確率とは、10回の観測のうち不快に感じた回数の割合である。この図より、不快に感じる確率が0.5になるテスト光の光度を求め、それをBCD光度とする。点光源の数とBCD光度（被験者5人のBCD光度の幾何平均値）との関係を図4に示す。

図4より、点光源の数が増加するとBCD光度も増加するが、直線の傾きは1より小さいことが示されている。増加した点光源による不快グレアへの寄与が100%のとき傾きが0、足し合わせ効果が全くない場合に傾きは1になる。図4では点光源の数が10倍になったときBCD光度は約3倍になっている。これは点光源が水平方向に増加しても、増加した点光源は不快グレアへの寄与が100%ではないことを表している。

3. 実験2：マトリクス状灯火による不快グレア

点光源をマトリクス状に配置し、点光源の数が2次元的に増加する場合の不快グレアの変化についての実験を行う。

3.1 実験方法

表2に実験条件を示す。被験者に提示するテスト光のパターン例を図5に示す。被験者は21歳から23歳までの男性4名、女性1名である。その他の条件、実験装置および手順は実験1と同じである。

3.2 実験結果

実験1と同じように、点光源の数とBCD光度（被験者5人のBCD光度の幾何平均値）との関係を求めた。その結果を図4に示

表2 実験条件(実験2)

Table 2 Experimental conditions -experiment 2-

点光源の直径	2'
背景輝度	0 cd/m ²
テスト光提示時間	0.5s
点光源の数	1, 9, 25, 49, 81, 121点
点光源の1点の光度	5.7×10 ⁻⁵ , 9.5×10 ⁻⁵ , 2.3×10 ⁻⁴ , 3.1×10 ⁻⁴ , 4.7×10 ⁻⁴ , 8.0×10 ⁻⁴ , 1.6×10 ⁻³ , 2.9×10 ⁻³ , 4.8×10 ⁻³ , 9.5×10 ⁻³ cd

図5 マトリクス灯火パターン例

Fig. 5 An example of multiple point sources in a matrix.

す。図4より、実験1の結果と同様に、点光源の数が増加するとBCD光度も増加するが直線の傾きは1より小さく、増加した点光源は不快グレアへの寄与が100%ではないことを示している。

ここで、テスト光の中心からの距離と不快グレアへの寄与率の関係について検討してみる。不快グレアへの寄与は、テスト光の中心の点光源が最も大きく、周辺に行くにしたがって不快グレアへの寄与は減少する。不快グレアについては、光源全体から受ける刺激の和によって求まると考え、テスト光中心の寄与率を1とし、テスト光中心から r の位置における点光源の寄与率を $\psi(r)$ とすると、(1)式の値がある大きさに達したときBCD光度となる。不快グレアに関して、網膜の上下方向では非対称で、左右方向および下方向に比べ上方向がグレアを感じにくくなっている。しかし、今回の実験条件のように中心窩から1°以内ではその差は小さく、無視できる程度である。したがって、(1)式では上下方向および左右方向で寄与率が等しいとして扱った。

$$\sum_{i=1}^n \psi(r) I_i \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 I_i ；テスト光中心から距離 r の位置に提示される i 番目の点光源の光度

実験結果より、テスト光中心からの距離と寄与率との関係を求め、横列灯火の場合と比較した結果を図6に示す。図6より、テスト光の中心からの距離が10'付近までに寄与率が急激に低下している。それより外側では寄与率は極めて低くなっている。つまりこの間にある点光源はほとんど不快グレアに寄与していないことを表している。また、横列灯火の場合と比較してみると、マトリクス状に増加した場合のほうが寄与率は低くなっている。これはマトリクス状に増加した場合のほうが増加部分の点光源は不快に感じにくいことを示している。

点光源のテスト光中心からの平均距離を(2)式により定義する。

$$\left(\sum_{i=1}^n r_i \right) / n \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 r_i ； i 番目の点光源のテスト光中心から距離

図6 テスト光中心からの距離と寄与率の関係

Fig. 6 Relationship between distance from the center of the test stimulus and contribution rate.

図7 点光源のテスト光中心からの平均距離とBCDのときの点光源1個あたりの光度の関係

Fig. 7 Relationship between average distance of point sources from the center of the test stimulus and BCD luminous intensity per source.

これにより求めた平均距離とBCDのときの点光源1個あたりの光度(BCD光度を点光源の数で割った値)の関係について図7に示す。図7より、点光源1個あたりの光度を比較すると、テスト光中心からの平均距離が15'くらいまでにおいてはマトリクス灯火と横列灯火では近い値になっている。つまり、今回の実験条件のように等間隔で点光源の平均距離が同じならば、BCDのときの点光源1個あたりの光度はマトリクス灯火と横列灯火ではほぼ等しくなる。

4. 実験3：横列灯火の間隔が不快グレアに及ぼす影響

横列灯火の点光源の間隔を変化させたときのBCD光度を求める実験を行う。

4.1 実験方法

表3に実験条件を示す。同一条件の観測回数を7回とする。その他の条件や実験装置は実験1と同じである。被験者は21歳から23歳までの男性5名である。

4.2 実験結果

実験1、実験2と同様にBCD光度を求めた。点光源の間隔とBCD光度の関係を図8に示す。図8より、点光源の間隔が広がるとBCD輝度・光度とも高くなり不快に感じにくくなる。3点で間隔32'の時のBCD光度は1点のそれより約3倍になっている。つまり、(1)式で示した寄与率の考え方によると、3点の点光源のうち、外側の2点の寄与率はほぼ0になる。しかし、5点で間隔32'の時のBCD光度は1点の時のBCD光度の約3.6倍にしかならない。5点の点光源のうち、外側の4点の寄与率が0であれば

表3 実験条件 (実験3)

Table 3 Experimental conditions -experiment 3-

点光源の直径	2'
背景輝度	0 cd/m ²
テスト光提示時間	0.5s
点光源の数(間隔)	1点 3点(4', 8', 16', 32') 5点(4', 8', 16', 32')
点光源の1点の光度	5.7×10 ⁻⁵ , 2.3×10 ⁻⁴ , 3.7×10 ⁻⁴ , 8.3×10 ⁻⁴ , 1.6×10 ⁻³ , 4.0×10 ⁻³ , 9.5×10 ⁻³ cd

図8 点光源の間隔とBCD光度の関係

Fig.8 Relationship between interval of point sources and BCD luminous intensity.

BCD光度は5倍になると考えられるので、5点で32'間隔の場合は外側の4点の寄与率がまだ0になっていないと考えられる。

5. 考察

4.2章の結果から、点光源の数により寄与率が異なるために、(1)式によりBCD輝度を定式化することは難しいと考えられる。そこで点光源と不快グレアの関係を仮想面積という概念を用いて検討していく。仮想面積とは全点光源でカバーする仮想的な面積である。例えばマトリクス灯火の場合は(3)式で表せる。

$$S = n \times d^2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

S: 仮想面積(m²)

n: 点光源の数

d: 点光源の中心間の間隔(m)

横列灯火での実験結果と過去になされている線光源での実験結果⁵⁾を比較する。用いられた線光源は縦3'なので横列灯火の仮想面積も縦3'で計算する。また、BCD平均輝度を(4)式により求めた。

$$\text{BCD平均輝度} = \text{BCD光度} / \text{仮想面積} \quad \dots\dots\dots(4)$$

仮想面積とBCD平均輝度の関係(横列灯火と線光源との比較)を図9に示す。図9より、横列灯火についてはほぼ一致している。複数の点光源が横列状に等間隔に配置された場合、BCD平均輝度と仮想面積の関係は、(5)式に示すようにほぼ傾き-0.63で表される直線上の値になる。つまり点光源を横列状に配列する場合、数や間隔よりも仮想面積を考えることにより、不快グレアになる条件を求めることができる。

$$L_B = 980 \times S^{-0.63} \quad \dots\dots\dots(5)$$

ただし、L_B: BCD平均輝度、S: 仮想面積

横列灯火と線光源を比較するとBCD平均輝度(線光源の場合BCD輝度)が横列灯火の方が低い値になっている(これは横列灯

図9 仮想面積とBCD平均輝度の関係(横列灯火と線光源との比較)

Fig.9 Relationship between virtual area and BCD average luminance (Comparison of point sources in a row with linear source).

図10 仮想面積とBCD平均輝度の関係(横列灯火とマトリクス灯火との比較)

Fig.10 Relationship between virtual area and BCD average luminance (Comparison of point sources in a row with those in a matrix).

火に仮想面積を適用した場合の結果であり、実際の点光源の物理的総面積で計算したBCD平均輝度であれば逆の結果となる)。Sakitt⁶⁾は線光源の方が閾値レベルでは低い輝度で明さを知覚することを示しているが、不快グレアではその逆の結果となっている。横列灯火の間隔を狭くしていくと線光源に近い見え方になってくるが、点光源の方が不快グレアを生じやすいということになる。線光源を点光源の横列灯火で代用する場合には、不快グレアを十分考慮した輝度設定をする必要がある。

また、仮想面積とBCD平均輝度の関係(横列灯火とマトリクス灯火との比較)を図10に示す。マトリクス灯火と比較するために横列灯火の仮想面積は縦4'で計算した。図10より、マトリクス灯火のほうが横列灯火よりBCD平均輝度が高くなっていることがわかる。これはマトリクス灯火の点光源は2次的に増加するため、点光源間の抑制が効きやすく、背景輝度が高くなった場合と同じ効果により不快に感じ難くなっていると考えられる。

6. まとめ

複数の点光源の数や配列、間隔を変化させてBCD光度を求める実験を行い、複数の点光源による不快グレアの特性について検討した。得られた結果をまとめると以下のようになる。

- (1) 点光源の数が増加するとBCD光度も増加するが、BCD光度の増加は点光源数の増加より小さい。
- (2) 等間隔で点光源の平均距離が同じならば、BCDのときの点光源1個あたりの光度(BCD光度を点光源の数で割った値)は、横列灯火とマトリクス灯火ではほぼ等しくなる。
- (3) 点光源を横列状に配列する場合、数や間隔よりも仮想面積を考

えることにより、不快グレアになる条件を求めることができる。
(4) 横列灯火の間隔を狭くしても、線光源より点光源（横列灯火）の方が不快グレアを生じやすい。

最後に、本研究の一部に卒業研究生として参加した島村典泰氏および占部瑞弥氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) Obara,K., Ikeda,K. and Nakayama,M.: Visual Appearance of a Sequence of Signal Lights, CIE Publ.50, pp.392-398 (1980).
- (2) 日比野治雄, 白井陽平, 山田健一: LED 集積光源が及ぼす視覚的ストレスの影響 — 視覚的ストレスの心理物理学的測定 —, 照学全大, p.207 (2001).
- (3) 照明学会 UGR 研究調査委員会: CIE グレア評価法 UGR の研究調査報告書, pp.4-9 (1999).
- (4) 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, 78-10, pp.516-525 (1994).
- (5) 入倉隆, 豊福芳典: 線光源による灯火の不快グレアの抑制, 照学誌, 85-11, pp.912-914 (2001).
- (6) B.Sakitt: Configuration Dependence of Scotopic Spatial Summation, J.Physiol., 216, pp.513-529 (1971).

(受付日2003年2月27日/採録日2003年5月9日)

高橋 宏 (非会員)

大成建設株式会社

1978年12月生まれ。2003年3月芝浦工業大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了, 2003年4月大成建設株式会社に入社。

入倉 隆 (専門会員)

芝浦工業大学工学部電気・情報系

1956年5月生まれ。1979年3月早稲田大学理工学部電気工学科卒, 運輸省交通安全公害研究所などを経て, 1999年4月芝浦工業大学工学部助教授。博士(工学)。日本光学会, 日本視覚学会, 電気学会, IESNA 会員。