

グレア光源の位置によるグレア・コンスタントの変化に関する研究

金, 源雨
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻博士後期課程

古賀, 靖子
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

<https://doi.org/10.15017/19026>

出版情報：都市・建築学研究. 3, pp.117-122, 2003-01-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン：
権利関係：

グレア光源の位置によるグレア・コンスタントの変化に関する研究

Glare Constant at Various Positions in the Visual Field

金 源雨*, 古賀靖子**

Wonwoo KIM and Yasuko KOGA

The existing Glare Constant formulas are determined for the glare source located on the line of sight, and the exponents in the formulas have fixed values through the entire visual field. It is necessary to confirm that the exponents have suitable values according to the position and the size of the glare source and background luminance. The purpose of this study is to determine the precise exponents in the Glare Constant formula under given lighting conditions. Through experiments, it is found that the exponents are variable. The modified Glare Constant formula is proposed for the evaluation considering the glare source position. Charts are also proposed to determine the exponents for the glare source size and the background luminance.

Key words : *discomfort glare, glare constant, luminance, background luminance*

不快グレア, グレア・コンスタント, 輝度, 背景輝度

1. はじめに

良い照明環境は、光の量と質の両面を等しく満足するものでなければならない。ものの見え方は、明るさだけでなく、多くの場合、照明の方法、光源や物体の色特性、グレアの程度などに大きく影響される。従って、屋内照明基準¹⁾では、室や作業の種類に応じて、照度のほか、不快グレアの制限、光色、光源の演色性に関する推奨値を定めている。

人工照明に関する不快グレアの評価については、様々な方法が考案されており、代表的なものに、米国のVCP法 (Visual Comfort Probability Method)²⁾、英国のグレア・インデックス法 (Glare Index System)³⁾、ヨーロッパの輝度制限法 (Glare Limiting System)⁴⁾がある。CIE (国際照明委員会) では不快グレア評価法の国際標準化を行い、1995年にUGR (Unified Glare Rating) 法⁵⁾を定めた。しかし、昼光照明に関する不快グレアの評価については、研究が乏しく、確立された方法がない。昼光照明では、グレア光源 (窓面全体あるいは一部) が、人工照明に比べて非常に大きく、また、グレア光源の輝度が一様でないことが原因である。

本研究の最終的な目的は、昼光による不快グレアの評価法を確立することである。不快グレアの程度を表す値は、基本的に、目の順応状態に関わる関数とグレア光源に関わる関数との積を、対数変換することで得られる。本論文では、まず、グレア光源に関わる要素として、グレア・コンスタントの新しい式を提案する。

2. 不快グレアの評価式

既往の不快グレア評価式は、グレア光源が視線上に位置する場合について、不快グレアの程度を求め、グレア光源が視線から離れている場合や大きい場合には、Guthのポジション・インデックス⁶⁾を利用して補正を行うという考え方に基づいている。グレア光源が視線上にある場合の不快グレアの程度を表す指標は、グレア・コンスタントと定義されている。その式は、グレア光源の輝度と大きさ、背景輝度の関数であり、次式で表される⁷⁾。

$$G = \frac{L^p \cdot \omega^q}{L_b^r} \quad (1)$$

ここで、 G : グレア・コンスタント

L : グレア光源の輝度 [cd/m²]

ω : グレア光源の大きさ [sr]

* 空間システム専攻博士後期課程

** 都市・建築学部門

L_b : 背景輝度 [cd/m²]

p, q, r : 指数

不快グレアの評価式によって、指数 p, q, r の比率は若干異なり、光源の大きさと背景輝度の算定方法も異なる。例えば、UGR 法において、 p, q, r の比率は 2.0 : 1.0 : 1.0 である。しかし、いずれの不快グレア評価式においても、グレア・コンスタントは、グレア光源が視線にある場合に限って作成されたものであり、グレア光源の視線からの位置に関する補正を行うポジション・インデックスには、グレア光源の大きさや背景輝度の影響が考慮されていない。よって、グレア光源の位置が視線から離れた場合でも、指数 p, q, r の比率が保たれているかは不明である。

本論文では、それらの指数 p, q, r と、グレア光源の大きさと位置、背景輝度との関係を明らかにし、グレア・コンスタントの修正式を求める。そのため、グレア感覚を生じさせる光源の輝度について測定実験を行った。

3. 基準グレア感覚輝度の測定

3.1 測定装置

測定には、自作のグレア計を用いた。図 1 に外観を示す。このグレア計は、半径 33 [cm] の半球型のスクリーンと、直径 5 [mm]、長さ 3 [m] の光ファイバーで構成されている。スクリーンの内表面を白色の紙で仕上げ、中央に固視させるための小さな穴を設けている。

スクリーンの内表面を、観察者の頭上に設置した白熱電球で照射し、背景輝度を生じさせる。背景輝度の値は、0~350 [cd/m²] の範囲で変えることができる。グレア光源にはハロゲンランプを用い、その光を光ファイバーによってスクリーン背面から当て、円形光源を作った。グレア光源の大きさは、光ファイバーの先端に付ける円筒形の光出口によって変えることができる。グレア光源の輝度は、その大きさに応じて変えた。表 1 に、グレア光源の大きさと設定輝度の範囲を示す。

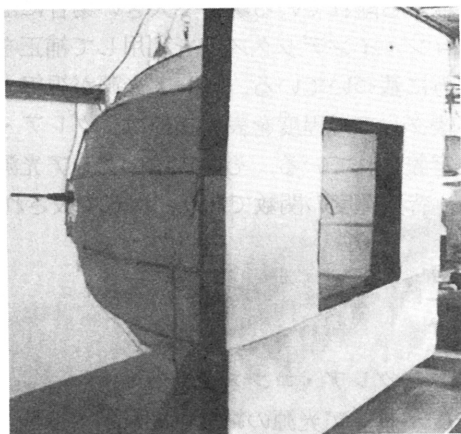


図 1 グレア計

表 1 グレア光源の大きさと設定輝度の範囲

光源の大きさ		設定輝度の範囲 [cd/m ²]
No.	立体角 [sr]	
φ 5	0.00018	0~300,000
φ 10	0.00072	0~27,000
φ 20	0.0029	0~10,000
φ 40	0.012	0~8,000

3.2 不快グレアの評価尺度

本測定では、不快グレアの評価尺度を、表 2 に示す 4 段階に定義し、第 2 段階の「少しまぶしい」を基準グレア感覚とする。

表 2 不快グレアの評価尺度

不快グレアの段階	不快グレアの主観評価
4 段階	我慢できない
3 段階	まぶしい
2 段階	少しまぶしい
1 段階	まぶしい感じがする

観察者の不快グレアの感覚尺度と、グレア光源の輝度との対応を確認するため、不快グレアの各段階について、視線と視線から 30° 離れた点におけるグレア光源の輝度を測定する。グレア光源の大きさは 0.00018 [sr]、背景輝度は 10 [cd/m²] と 30 [cd/m²] の 2 種類とした。

観察者は 25 人であり、九州大学の学生と研究員である。そのうち、男性は 18 人、女性は 7 人である。観察者の年齢は 20 歳から 47 歳で、平均年齢は 27.2 歳である。グレア計の構造上、眼鏡を使用している者は裸眼の状態、コンタクトレンズを使用している者は装着した状態で、測定を行った。

観測者に、グレア光源の輝度調節スイッチを動かして、グレア光源の輝度をゆっくりと上げ、それぞれの段階になった時に、スイッチを止めさせる。その状態で、グレア光源を別の輝度測定板に置き、輝度値を測る。その結果、不快グレアの 1 段階の違いに対するグレア光源の輝度差は、全て対数値で 0.36 になることが分かった。

3.3 基準グレア感覚輝度の測定

視線と視線の水平方向にグレア光源を移動させ、輝度を変化させて、基準グレア感覚「少しまぶしい」を生じる輝度を測定する。グレア光源の位置は、視線から水平方向で角距離 0°、10° (あるいは 20°)、30°、45°、60°、80° とした。背景輝度は 10 [cd/m²]、30 [cd/m²]、100 [cd/m²]、300 [cd/m²] に設定した。不快グレアの評価尺度に関する測定と同様、観測者に、グレア光源の輝度調節スイッチを動かして、基準グレア感覚「少しまぶしい」の段階になった時に、スイッチを止めさせた。

図2 (a) ~ (d) に、グレア光源の大きさと位置による基準グレア感覚輝度を、背景輝度別に示す。基準グレア感覚輝度の値は、25人の観察者から得た結果の平均値である。

背景輝度に関わらず、グレア光源の大きさが大きいほど、基準グレア感覚輝度は低くなった。これは、視野内の同じ位置でも、グレア光源の大きさが変わると、ポジション・インデックスが異なる可能性を示している。ただし、基準グレア感覚輝度に影響するグレア光源の大きさには、上限があると推測できる。

グレア光源の大きさに対する基準グレア感覚輝度の減少率は、背景輝度によって異なり、背景輝度が高いほど、減少率は大きくなった。

また、背景輝度に関わらず、グレア光源の位置が視線から離れるほど、基準グレア感覚輝度は高くなった。

以上より、基準グレア感覚輝度は、グレア光源の大きさと位置、及び背景輝度によって異なることが分かる。これは、グレア・コンスタント式を構成する3要素の指数比率が、光源の大きさと位置、及び背景輝度によって変化することを意味する。

4. グレア・コンスタント式における指数の決定

4.1 グレア光源の大きさに関する指数 q の決定

グレア光源の大きさと基準グレア感覚輝度との関係から、グレア光源の大きさに関する指数 q が求められる。図3に、背景輝度が $10 \text{ [cd/m}^2\text{]}$ 、グレア光源が視線にある時の、グレア光源の大きさと基準グレア感覚輝度との関係を示す。

グレア光源の大きさが 0.0029 [sr] より小さい場合、基準グレア感覚輝度は一定の率で低下するが、グレア光源の大きさが 0.0029 [sr] より大きい場合、基準グレア感覚輝度はほとんど変化しない。これは、例えば、瞳孔の大きさの変化など、視覚システムに関係すると考える。また、これは背景輝度に関わりなく、同じ傾向があった。

グレア光源の大きさが 0.0029 [sr] 以下の時、グレア光源の大きさと基準グレア感覚輝度は、線形反比例関係にある。その傾きが、グレア・コンスタント式における、グレア光源の輝度に関する指数 p とグレア光源の大きさに関する指数 q との比率である。

式 (1) を次式のように書き換える。

$$L^p = G \cdot \frac{L_b^r}{\omega^q} \quad (2)$$

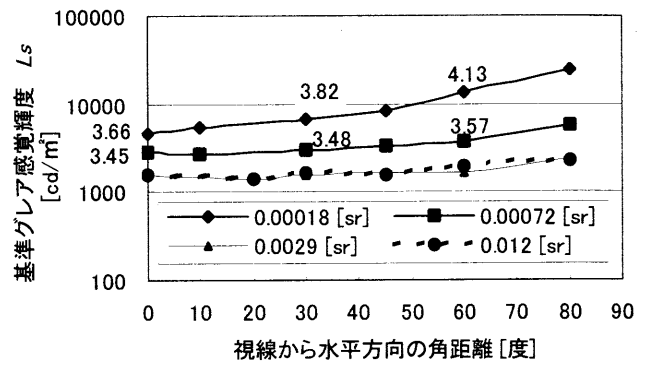
ここで、 G : グレア・コンスタント

L : グレア光源の輝度 $[\text{cd/m}^2]$

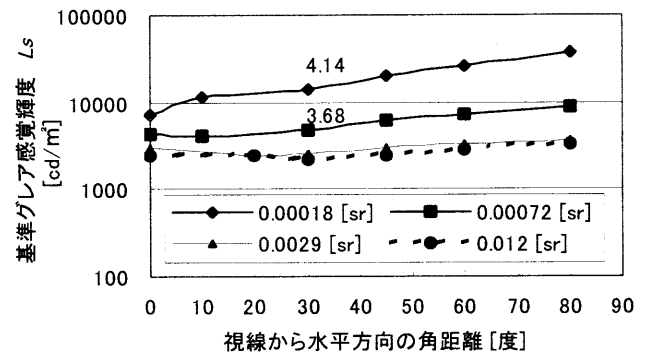
ω : グレア光源の大きさ $[\text{sr}]$

L_b : 背景輝度 $[\text{cd/m}^2]$

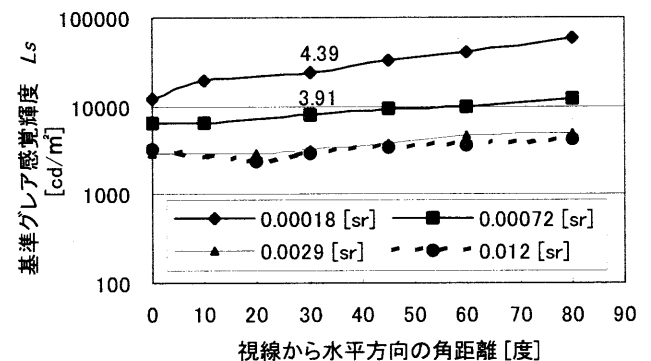
p, q, r : 指数



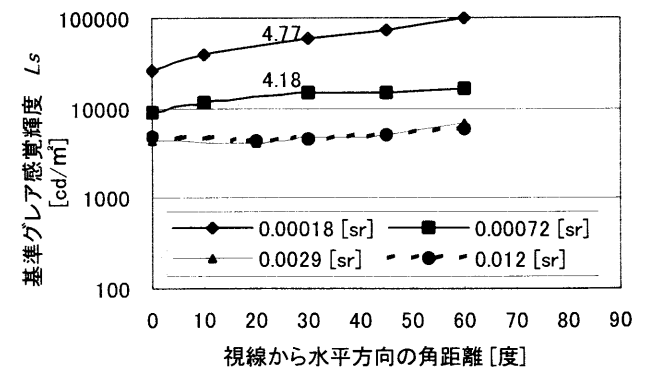
(a) 背景輝度 : $10 \text{ [cd/m}^2\text{]}$



(b) 背景輝度 : $30 \text{ [cd/m}^2\text{]}$



(c) 背景輝度 : $100 \text{ [cd/m}^2\text{]}$



(d) 背景輝度 : $300 \text{ [cd/m}^2\text{]}$

図2 グレア光源の位置と基準グレア感覚輝度の関係

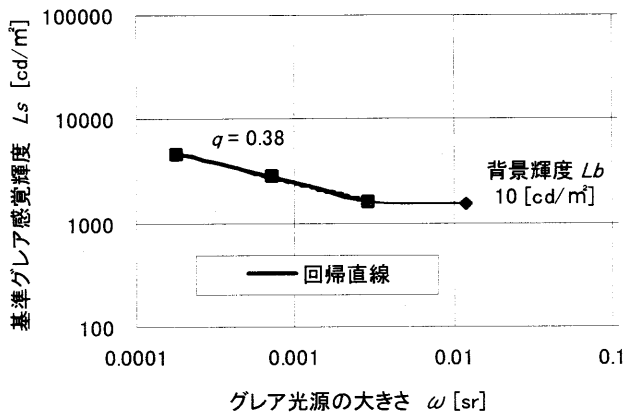


図 3 視線におけるグレア光源の大きさと基準グレア感覚輝度との関係

$$p \cdot \log L = \log G + r \cdot \log L_b - q \cdot \log \omega \quad (3)$$

背景輝度を一定にすると、 $\log G$ 、 $r \cdot \log L_b$ は定数となる。

$$\log L = -q/p \cdot \log \omega + c_1 \quad (4)$$

ただし、 $c_1 = (\log G + r \cdot \log L_b) / p$

背景輝度が 10 [cd/m²] の場合、基準グレア感覚輝度の傾きは -0.38 であり、この値は式 (4) の $-q/p$ に相当する。従って、グレア光源に関する指数 p が 1 の時、グレア光源の大きさに関する指数 q は 0.38 である。

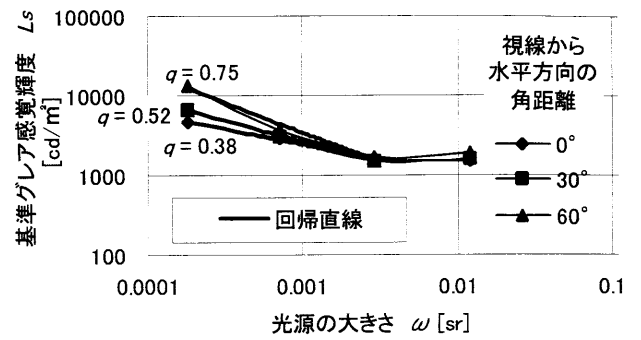
図 4 (a) ~ (d) に、それぞれの背景輝度について、グレア光源の大きさと基準グレア感覚輝度との関係を、グレア光源の位置別に示す。グレア光源が視線から遠いほど、グレア光源の大きさに対する基準グレア感覚輝度の減少率は大きい。また、背景輝度が高いほど、その減少率は大きい。

以上より、グレア光源の大きさに関する指数 q は、グレア光源が視線から遠いほど、また、背景輝度が高いほど、大きくなると言える。図 5 は、グレア光源の位置（視線から水平方向）と背景輝度から、グレア光源の大きさに関する指数 q を求めるためのグラフである。ただし、これはグレア光源の大きさが 0.0029 [sr] 以下の場合にのみ適用される。

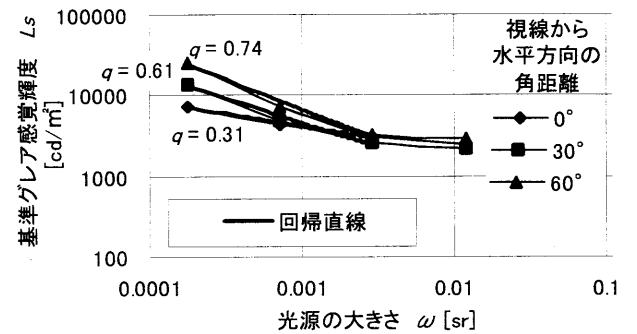
4.2 背景輝度に関する指数 r の決定

背景輝度と基準グレア感覚輝度との関係から、背景輝度に関する指数 r が求められる。図 6 に、グレア光源の大きさが 0.00018 [sr]、グレア光源が視線にある時の、背景輝度と基準グレア感覚輝度との関係を示す。

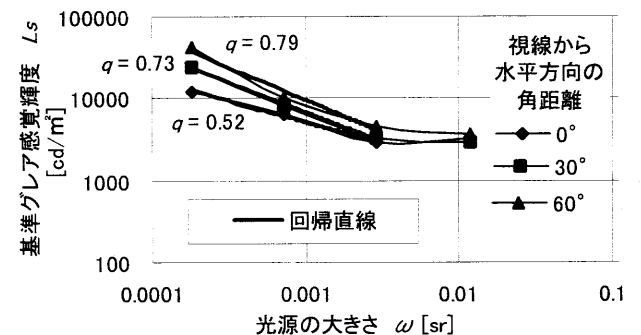
背景輝度と基準グレア感覚輝度は、線形比例関係にあると言える。その傾きは、グレア光源の輝度に関する指数 p と背景輝度に関する指数 r との比率に相当する。



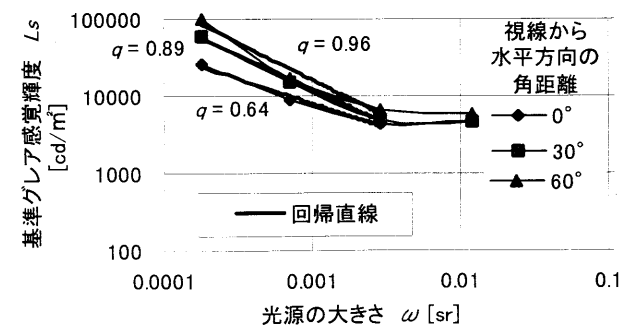
(a) 背景輝度 : 10 [cd/m²]



(b) 背景輝度 : 30 [cd/m²]



(c) 背景輝度 : 100 [cd/m²]



(d) 背景輝度 : 300 [cd/m²]

図 4 グレア光源の位置別のグレア光源の大きさと基準グレア感覚輝度との関係

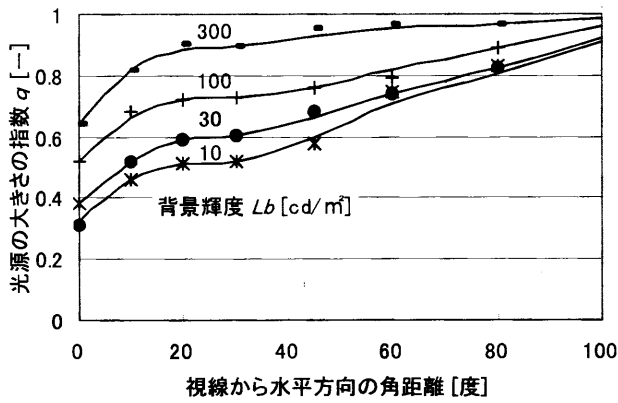


図 5 グレア光源の位置とグレア光源の大きさに関する指数 q との関係

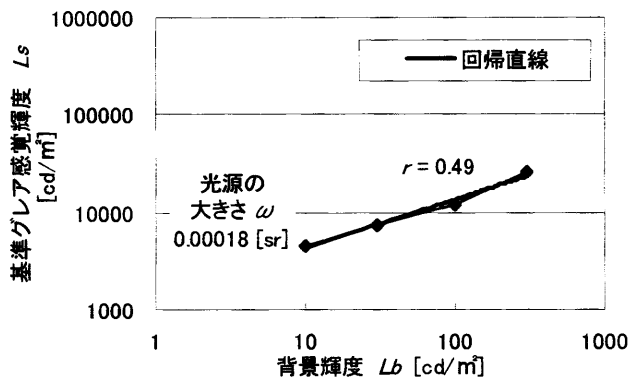


図 6 視線における背景輝度と基準グレア感覚輝度との関係

図 7 (a) ~ (d) に、それぞれのグレア光源の大きさについて、背景輝度と基準グレア感覚輝度との関係を、グレア光源の位置別に示す。グレア光源の大きさが大きいほど、背景輝度に対する基準グレア感覚輝度の増加率は小さい。しかし、その増加率は、グレア光源の位置に関わらず、ほぼ同じである。

図 8 は、グレア光源の大きさから、背景輝度に関する指数 r を求めるためのグラフである。

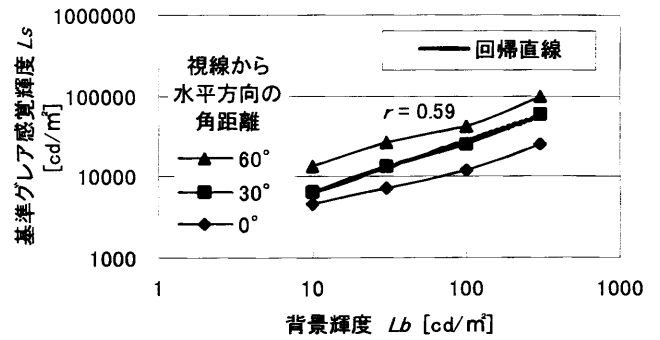
5. グレア・コンスタント式の構成

グレア・コンスタント式において、グレア光源の輝度 L に関する指数 p を 1 とすると、グレア光源の大きさ ω に関する指数 q は図 5 より、背景輝度 L_b に関する指数 r は図 8 より求められる。これより、指数 p, q, r の比率が決まる。

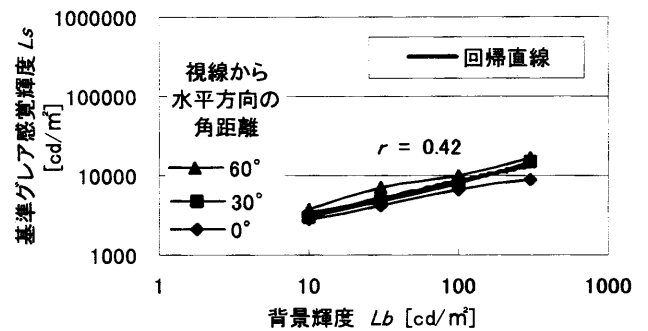
グレア光源の大きさを一定にすると、式 (3) は次式のように表すことができる。

$$\log L = r/p \cdot \log L_b + c_2 \quad (5)$$

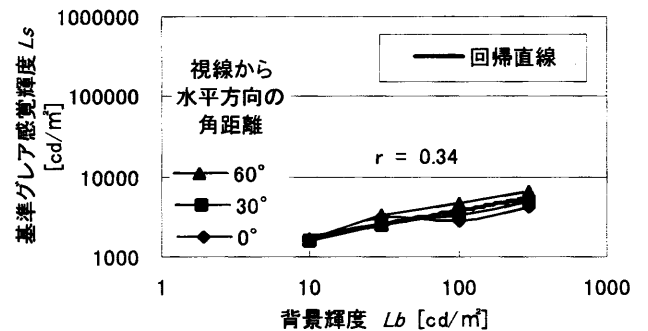
ただし、 $c_2 = (\log G - q \cdot \log \omega) / p$ (c_2 は定数)



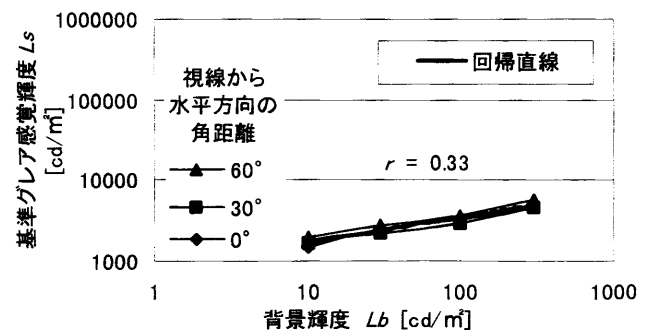
(a) グレア光源の大きさ : 0.00018 [sr]



(b) グレア光源の大きさ : 0.00072 [sr]



(c) グレア光源の大きさ : 0.0029 [sr]



(d) グレア光源の大きさ : 0.012 [sr]

図 7 グレア光源の位置別の背景輝度と基準グレア感覚輝度との関係

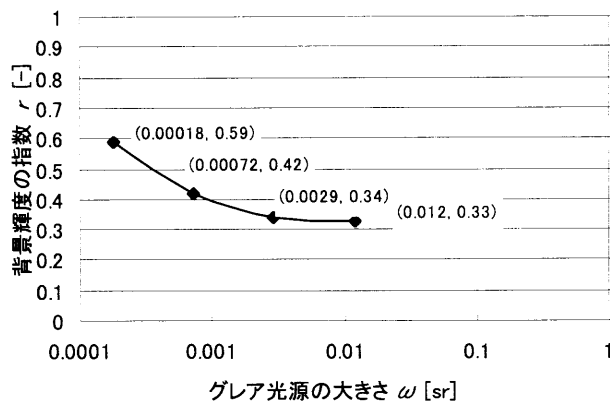


図8 グレア光源の大きさと背景輝度に関する指数 r との関係

式 (4) と式 (5) より,

$$2 \cdot \log L = -q/p \cdot \log \omega + r/p \cdot \log L_b + c_1 + c_2 \quad (6)$$

$p=1$, $c_1 + c_2 = \log G$ とすると,

$$\log \frac{L^2 \cdot \omega^q}{L_b^r} = \log G \quad (7)$$

$$G = \frac{L^2 \cdot \omega^q}{L_b^r} \quad (8)$$

式 (8) より, グレア・コンスタントを求めることができる.

6. おわりに

従来の不快グレアの評価方法は, 視線上のグレア・コンスタントに, ポジション・インデックスによるグレア光源の位置の補正を加え, 不快グレアを評価するというものである. しかし, ポジション・インデックスは, グレア光源の大きさや背景輝度の影響を含んでいない.

本研究では, グレア光源の大きさや位置, 背景輝度も考慮するグレア・コンスタントを用いて, 不快グレアを評価するという新しい方法を提案する. この方法では, ポジション・インデックスを必要としない. そのため, グレア・コンスタント式におけるグレア光源の輝度と大きさ, 背景輝度に関する指数の比率が, グレア光源の大きさと位置, 背景輝度によって異なることを明らかにし, 指数を決定する方法を示した.

グレア光源が大きくなると, 不快グレアの評価には, 目の順応状態による影響の方が大きくなる. 人工照明の場合に比べ, 昼光による不快グレアの評価には, 重要な要素である. また, 背景輝度の算定についても, 新しい方法を提案する必要がある. 引き続き, 目の順応状態に関わる検討を行う.

参考文献

- 1) 例えば, CIE S 008/E-2001: CIE Standard - Lighting of Indoor Work Places, 2001 や照明学会・技術規格 JIES-008 (1999): 屋内照明基準, 1999 など.
- 2) IESNA: IES Lighting Handbook 1984, Reference Volume, New York, pp. 9-47, 1984.
- 3) R.G. Hopkinson: Architectural Physics Lighting, HMSO, London, pp. 201-224, 1963.
- 4) CIE Pub. No. 55 (TC-3.4): Discomfort Glare in the Interior Working Environment, 1983.
- 5) CIE 117-1995: Discomfort Glare in Interior Lighting, 1995.
- 6) M. Luckiesh and S.K. Guth: Brightnesses in Visual Field at Borderline between Comfort and Discomfort (BCD), Illum. Eng., Vol. 44, pp. 650-670, 1949.
- 7) R.G. Hopkinson: A Study of Glare from Very Large Sources, Illum. Eng., Vol. LV, pp. 288-294, 1961.

(受理: 平成 14 年 11 月 28 日)