

屋内照明における不快グレアの防止基準についての考察

高 橋 貞 雄*

Consideration on criterion to limit discomfort glare in interior lighting

Sadao Takahashi

It is one of the fundamental requirements in an interior lighting design to avoid discomfort glare that the lighting system gives. There are some metrics used to quantify the glare sensation, one is Unified Glare Rating (UGR), and the other Luminance Limitation Curves for a luminaire.

In 2001, Commission Internationale de l'Éclairage(CIE) has recommended UGR method to limit the amount of glare in a CIE Standard. This standard has been approved as a joint ISO/CIE Standard in 2002. In Japan, the Illuminating Engineering Institute of Japan has provided with "Interior Lighting Standard" in 1999, where Luminance Limitation Curves are applied. This is aimed at doing a Japanese Industrial Standard (JIS) in the very near future.

The purpose of this paper is to consider a criterion to limit discomfort glare in interior lighting, and to propose a way to harmonize Japanese Standard with ISO Standard.

1. はじめに

屋内照明における不快グレアの防止は、適切な照度や演色性の設定と同様に良い照明の基本的な条件である。不快グレアの程度を評価するには種々の方法があるが、大別すれば評価値方法（照明施設からの不快グレアの大きさを数値で表す方法）と輝度制限方法（定められた照明器具取付け範囲におけるすべての照明器具の輝度をある値以下に制限する方法）の二つがある。日本においては現在、輝度制限方法が日本工業規格 JIS C 8106 (1999)「施設用蛍光灯器具」¹⁾ および (社) 照明学会・技術規格 JIES - 008 (1999)「屋内照明基準」²⁾ に採用され、実用されている。

ところが、国際照明委員会（略称 CIE :Commission Internationale de l'Éclairage）は、1986 年以来暫定的に定めていた輝度制限方法³⁾をやめて、UGR(Unified Glare Rating : 統一グレア数字)という評価値方法を正式な CIE 方法とし、2001 年発行の CIE 規格「屋内作業場の照明」に UGR の限界値 (UGR_L) を規定した⁴⁾。この CIE 規格は元々 ISO/CIE 規格 (CIE が原案作成を担当した ISO 規格) として審議・作成されてきた経緯から、ほぼ同時に ISO に提案され国際規格「屋内作業場の照明」として 2002 年に承認された。

* 建設工学科建築学専攻

こうなると、1995 年日本政府の方針として出された日本工業規格の国際整合化という点では、上記二つの規格は少なくとも表面的には問題を含んでいるように見える。JIS C8106 は規格の題目及び内容が異なるので問題はさほどでないかもしれないが、それでも不快グレアの防止基準の点では整合していないように見える。また、照明学会・技術規格 JIES - 008「屋内照明基準」は現在のところ JIS ではないが、近い将来における JIS 化を目途に作成されたものであり、題目、内容ともに整合性の問題をどのように扱うかが重要課題と考えられる。

本報はこのような状況下にあつて屋内照明における不快グレア防止基準を今後どのように定めたらよいか検討し、提案するものである。

2. 評価値方法と輝度制限方法

2.1 不快グレアの評価構造

屋内照明における不快グレアの大きさ G はこれまでの研究から、天井に規則的に配置された光源(多くの場合照明器具)の全般照明において、(1) 式のように示される。

$$G = \frac{f(L_s)f(\omega)}{f(L_b)f(P)} \quad (1)$$

ここに、 $f(L_s)$: 光源輝度 L_s の関数、 $f(\omega)$: 光源の立体角 ω の関数

$f(L_b)$: 背景輝度 L_b の関数、 $f(P)$: 光源の位置指数 P の関数

評価値方法は(1) 式の G を直接、計算して G の大小から不快グレアの程度を算定する。この方法の代表的なものに CIE の UGR⁵⁾、北米照明学会の VCP⁶⁾ (Visual Comfort Probability)、英国の GI⁷⁾ (Glare Index) がある。この中で英国の GI は、UGR が GI と数値を同一に合わせたことから UGR に切り換っている。

輝度制限方法は、(1) 式の G のある与えられた値に対して許容される光源輝度を予め計算して、この値以下に光源輝度を制限してグレアを制御するものである。この方法の代表として、1965 年に開発され 1972 年に認定されたヨーロッパグレア規制方式⁸⁾ (以後、ヨーロッパ方式という) がある。

2.2 評価値間の対応関係

評価値方法と輝度制限方法とは最終的な評価値の表し方が異なっている。その違いは、評価値方法が複雑な計算によって照明施設の相互比較的な不快グレアの程度を示すのに対して、輝度制限方法は照明器具の輝度を輝度制限値と比べることにより、どのような照明器具を用いればどの程度不快グレアが制限されるかを示す。

一般に、照明設計の重要な部分は、いろいろな照明器具の中から特定の照明器具を選び出すことであるから、後者は特に面倒な計算を行うことなく極めて容易に照明器具を選ぶことができる。

これら二つの評価方法は、評価構造が同じことから評価値の間に相関があると考えられる。しかし、評価値は元々心理的な印象の言語表現を基礎にしているため、これを見出すことは容易ではない。評価値が室内の平均照度に影響される点が問題を複雑にしている。例えば、VCP は約 1000[lx]、ヨーロッパ方式は 100~1000[lx] という実験範囲が前提になっている。表 1 は言語表現に基づく各方式のおよその対応関係である^{9,10,11)}。

表 1 言語表現と各方式の評価値の対応関係

言語表現	VCP	ヨーロッパ方式	UGR
just intolerable	5 %	6	28
BCD*	50 %	1.5	19
just perceptible	95 %	0.5	10

*Borderline between Comfort and Discomfort の略

3. UGRの問題点

3.1 計算の困難さ

UGR は 1995 年に CIE が開発した評価値方法で、不快グレアの大きさ UGR は (2) 式で表される⁵⁾。公式中の量記号は (1) 式と同様であるが、背景輝度 L_b には光源の輝度を含めない。

$$UGR = 8 \log \left[\frac{0.25}{L_b} \sum \frac{L_s^2 \omega}{P^2} \right] \quad (2)$$

(2) 式の計算は決して容易ではない。ルーチン計算にはコンピュータプログラムの開発が必要であろう。

3.2 UGR表方法

簡単に UGR を求めるために、基準化された条件で予め用意された UGR 基礎表を用いて、それに必要な補正値を加減して最終的な UGR 値を算出する方法を **UGR 表方法**という。 UGR 基礎表は照明メーカーが提供する個々の照明器具またはその体系 (グループ) 毎に付与されるもので、認定されたものとされている。認定とは照明メーカー単独の自主認定でよいのか、あるいは第三者機関による権威ある認定なのか言及されていないが、何らかの認定が必要である。

規格では UGR の詳細は関連規格・文献によるとあるが、そこでは北歐式の配光記号で 14 種の基礎表がある⁵⁾。しかしながら、この基礎表がどのような照明器具に対して作成されたのか分からないため、日本人には使用が極めて困難である。このようなことから公式による計算の方がまだしも取り組み易く、何よりも数値に対して確信がもてる。

ところが、ISO/CIE 規格 8995「屋内作業場の照明」における UGR の計算は公式からではなく、表方法から求めることとされている。

3.3 UGR曲線方法

UGR 曲線方法は不快グレアの程度を予測するには確度は低い、非常に分かりやすく簡便なことから次善の策として用いられる。文献⁵⁾では特定の部屋及び照明条件について二つの曲線が例示されている。比較的明るい仕上げの部屋 (天井/壁/床帯域の反射率 0.7/0.5/0.2) で、一つは鏡面ルーバ器具の場合、もう一つは拡散性ルーバの場合で天井や壁にも直接、光があたるような条件である。

UGR 曲線方法はヨーロッパ方式に極めて近似したものではあるが、粗い予測になるので UGR 表方法の使用を優先するとされている。

3.4 評価値のずれ

日本および米国のグレア評価研究^{12,13,14)}によれば、 UGR の計算体系で得られる数字は、それに

3～5（日本の研究）あるいは2（米国の研究）を加えると本来のグレア感覚に合うと指摘されている。

つまり、BCD（Borderline Between Comfort and Discomfort：快と不快のちょうど境界）感覚を生じる UGR は日本の研究によれば 22～24、米国の研究によれば 21 ということになる。しかし、 UGR では 19 である。少なくともおよそ 3 ずれている。もしも、ある作業に対して、 UGR で 19 が規定されていたとすると、本来は 22（または米国の研究によれば 21）の照明システムは合格にもかかわらず、19 を超えているので不合格となり、厳しい結果になる。必要以上に安全側に規定していることになる。現在、この評価値のずれの指摘に対する反論的研究はない。

経験ある照明設計者であれば、直ぐに思い至ることではあるが、過剰なグレア規制は使用照明器具数の増加をもたらし、照明設備の消費電力の増大に結びつきかねない。わが国における UGR 制限値（ISO/CIE 規格では UGR_L ）の設定には十分な検討が必要である。

4. 日本における不快グレア防止基準の現状

日本では、ヨーロッパ方式を参考にした照明器具の「グレア分類G」が初めて 1983 年制定の（社）照明学会・技術指針 JIEG-004(1983)「事務所照明基準」に採用された。この基準では輝度制限値は規定されなかったが、照明器具の A-A および B-B 配光断面において鉛直角（ θ ） $45^\circ \leq \theta \leq 85^\circ$ の照明器具輝度がある値以下に実質的に制限するものであった。1989 年にはこれを参考にして、日本工業規格 JIS C 8106「施設用照明器具」に輝度制限値が規定された。

その後、技術の進展により「事務所照明基準」の見直しが行われ、1992 年に照明学会・技術基準 JIEC-001 (1992)「オフィス照明基準」が制定され、照明器具の「グレア分類G」は見直され、鉛直角 65° 、 75° 及び 85° において輝度制限値が定められた¹⁵⁾。

これは長いこと使用されたが、JIS Z 9110「照度基準」の改定の動きや Hf 蛍光灯器具の開発・実用化など蛍光灯器具の著しい技術の進展に対して、1997 年（社）日本照明器具工業会は市販の 40 形蛍光灯器具を対象に、大規模な不快グレア評価実験^{16,17)}を行った。その結果は、表 2 のような輝度制限値が「グレア分類G」および屋内照明環境の「グレア区分D」として、それぞれ JIS「施設用蛍光灯器具」改正版（1999）および（社）照明学会・技術規格 JIES-008（1999）「屋内照明基準」に採用され現在に至っている。

表 2 照明器具のグレア分類Gの輝度制限値

鉛直角 θ	65°	75°	85°
G 0	3,000	1,500	1,500
G 1 a	7,200	4,600	4,600
G 1 b	15,000	7,300	7,300
G 2	35,000	17,000	17,000
G 3	制限なし		

この「グレア分類G」はヨーロッパ方式を参考にはしているが、同じではない。もっとも大きな差異は照度に対するきめ細かい考慮が無いことである。そのためやや粗雑な感じを与えるが、日本のオフィス照明では、室内の平均照度がおおよそ 500～1000[lx]にあり、平均 750[lx]として 500[lx]と

1000[lx]におけるグレアの程度の違いは、UGR目盛りで+1.4～-0.6で、500[lx]と1000[lx]の間では最大2ユニット違うだけでグレア評価に重大な誤りをもたらすものではない。表現は異なるが、ヨーロッパ方式のグレアの質的等級に相当するものが「グレア区分D」である。

5. 考 察

5.1 不快グレアの主観評価値とUGR値との関係

照明器具の「グレア分類G」の基礎になった(社)日本照明器具工業会のグレアの主観評価実験は、図1のような配置条件で一対比較法で35名の観測者によって行われた。

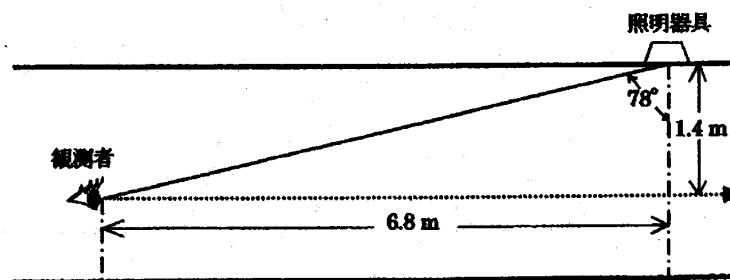


図1 主観評価実験の配置条件 (1998 日本照明器具工業会)

この条件で試験に用いられた照明器具のUGRを計算すると表3ようになる。表中、FLRとあるのは40形ラピッドスタート形蛍光ランプ2灯用を、Hfは45[W]入力Hf蛍光ランプ2灯用器具を夫々示す。また、UGRでは逆富士形のような天井直付けのランプ露出器具には適用しないので、値は参考値である。

計算では実験条件から $L_b=50[\text{cd}/\text{m}^2]$ 、位置指数 P はGuthのデータを用いた。照明器具の輝度 L_s は研究に参加したメーカーの同機種照明器具の $\theta=75^\circ$ における輝度の幾何平均値¹⁸⁾を用いた(本来は $\theta=78^\circ$ の輝度とすべきであるが、近似値として 75° の値とした)。

表3 主観評価実験条件におけるUGR計算結果

	照明器具の種類	L_s [cd/m^2]	ω [sr]	P	UGR
1	一方向15° グレア規制形(白色) FLR	1497	0.001553	1.53	7.0
2	一方向15° グレア規制形(白色) Hf 標準形	2196	0.001553	1.53	9.6
3	一方向15° グレア規制形(白色) Hf 細形	3701	0.001139	1.53	12.2
4	下面開放形 FLR	4740	0.001553	1.53	15.0
5	下面開放形 Hf 標準形	7303	0.001553	1.53	17.9
6	逆富士形 Hf	10151	0.001490	1.53	(20.1)

図2は(社)日本照明器具工業会の一対比較法による主観評価結果とUGRの計算値との対比を示す。主観評価実験における評価スケールは7段階評定による相対的なグレアの程度を示し、UGRの目盛間隔は任意である。相対グレア度目盛上の点線矢印の始点は主観評価値を示し、UGR目盛上の矢は主観評価実験条件におけるUGR値である。

図2から次のことが言える。

- (1) 試験された照明器具の不快グレアの程度は、グレアの小さい方から次の通りである。

- ①一方向 15° グレア規制形 (白色) FLR ②一方向 15° グレア規制形 (白色) Hf 標準形
 ③一方向 15° グレア規制形 (白色) Hf 細形 ④下面開放形 FLR
 ⑤下面開放形 Hf 標準形 ⑥逆富士形 Hf

これは観測方向における照明器具輝度の小→大の順序どおりである。

(2) 計算された UGR 値の大きさは主観評価値の大きさの順序と同じで、グレアの程度をよく表している。

(3) 従って、照明器具の輝度制限方法と UGR 方法との間には本質的な差異はないと考えられる。

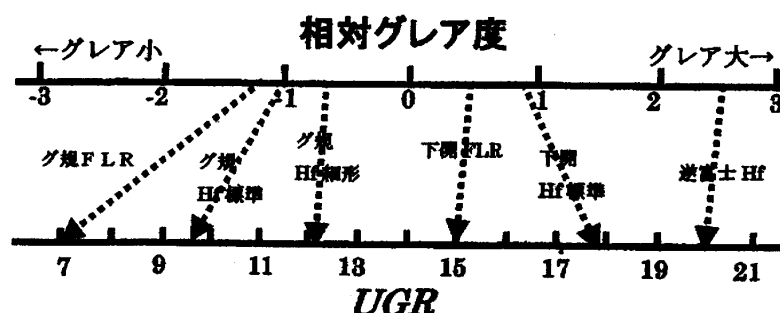


図2 相対グレア度 (主観評価値) と UGR との対応関係

5.2 「グレア分類G」と UGR との対応関係

照明学会・技術規格 JIES - 008 (1999) 「屋内照明基準」における「グレア分類G」は、表2のような輝度制限値である。これを UGR 曲線方法で例示されている拡散性ルーバ器具の輝度制限曲線¹⁹⁾と比較すると、表4のようである。

表4 グレア分類Gと UGR の対応関係

グレア分類G	G 0	G 1a	G 1b	G 2	G 3
UGR	16	20.5	22	25	28 以上

この輝度制限曲線では、室内照度 10π [lx] が $2.3[\text{cd}/\text{m}^2]$ の背景輝度をつくりだすとされているので、平均照度 $500\sim 1000$ [lx] では $37\sim 73[\text{cd}/\text{m}^2]$ の背景輝度になる。これは日本の多くの事務室等に当てはまるので、前項5.1の考察から予想されるように、表4の関係から不快グレアの防止基準を「グレア分類G」あるいは UGR のいずれで定めてもよいと考えられる。但し、3.4で述べたように UGR 評価値のずれの問題があるので、表4の UGR 値をそのまま用いるのは問題である。

5.3 照明器具の配光と不快グレア防止の関係

近い将来、 UGR 基礎表を JIS に盛込もうとする場合、現在のところ日本の照明器具に適用できる認定された UGR 基礎表が無いという大きな問題がある。 UGR 基礎表作成の前提として、少なくとも配光曲線の形状と器具効率及び姿図、配光制御部材を記述すべきである。認定の方法論とそれに伴う必要にして十分な記述様式について早急に検討する必要がある。

また、日本における輝度制限方法には、照明器具の「グレア分類G」上の位置付けは容易にできるが、部屋の平均照度にも関係する「グレア区分」に対する考慮が乏しいという問題がある。

これら二つの問題はつまるところ照明器具の配光と部屋の反射率に起因する。そこで部屋の反射率については明るい部屋として天井 0.75、壁 0.5、作業面 0.25 程度の反射率を想定し、照明器具の配光

を次のように分類する。それによって不快グレア防止の予測に役立てようとするものである。

照明器具の下半球光束のかたを立体角的に4等分し、各々のゾーンに含まれる光束を F_1, F_2, F_3 及び F_4 とする。各照明器具の全光束を F_0 として、

$$\frac{F_1}{F_0} = \alpha, \quad \frac{F_1 + F_2}{F_0} = \beta, \quad \frac{F_1 + F_2 + F_3}{F_0} = \gamma, \quad \frac{F_1 + F_2 + F_3 + F_4}{F_0} = \delta$$

なる比をとり、各々の比の小数第2位を四捨五入して小数第1位の数字で表し、それらを上記の比の順序 ($\alpha\beta\gamma\delta$) に書き並べる。この4桁の数字で配光进行分类する²⁰⁾。これらの比の計算は、配光を余弦の多項式展開する CIE の照明率計算方法から派生的に計算され得る。

表5は45[W]入力の2灯用 Hf 蛍光灯器具 (ランプ全光束 9000[lm]) の計算例で、4桁数字の配光分類と照明器具の「グレア分類 G」との対応を示す。各照明器具のグレア分類は鉛直角 65°、75° 及び 85° の輝度を計算し、それらの値から表2により分類を特定している。

表5 Hf45[W]2灯用蛍光灯器具の配光分類

照明器具名称	器具光束 [lm]	α	β	γ	δ	配光分類	グレア 分類 G
鏡面ルーバ付	5007	0.711	0.996	1.000	1.000	7000	G0
全方向グレア規制形 白色ルーバ付	4721	0.648	0.910	0.981	1.000	6900	G1a
プリズムカバー付	4635	0.578	0.834	0.957	1.000	6800	G1a
乳白カバー付	4190	0.481	0.795	0.962	1.000	5800	G1a
全方向 15° グレア規制 形白色ルーバ付	6598	0.500	0.832	0.978	1.000	5800	G1a
一方向 15° グレア規制 形 (白色)	6919	0.475	0.815	0.976	1.000	5800	G1b
下面開放形	7211	0.483	0.818	0.974	1.000	5800	G2

表5の下から4種類の照明器具はいずれも配光分類 5800 で G1a、G1b、G2 の区別がつかないように見える。しかし、器具光束を加味することにより区別し得るようになる。つまり、照明器具全光束が約 6800[lm]を超えると G1b に、さらに約 7100[lm]を超えると G2 になるということである。

配光分類と照明器具全光束の組合せにより不快グレア防止の予測ができると考えられる。

6. 結 論

これまで考察してきたように、不快グレアを評価する手段として輝度制限方法と UGR との間には本質的な差異は無い。それゆえ、今後の JIS 化において不快グレアの防止基準を定める場合に次のような三つの方向が考えられる。

(1) 現行の輝度制限方法を生かし、「グレア分類 G」の輝度制限値と UGR との対応関係を明らかにする。例えば、表4のような対応関係を作り上げ、照明器具選定の容易性を保つ。この場合、3.4で述べた UGR 値のずれの懸念を含み値の検討が必要である。この立場は「施設用蛍光灯器具」の JIS 規格にとって現実的な対応と考えられる。

(2) 近い将来、UGR に切り替えることを前提に、UGR 評価の経験を積む。UGR は日本ではまだなじみが薄くその数値の意味すら多くは知られていない。この立場は「屋内照明基準」の JIS 規格作成にとって重要と考えられる。

特に、UGR表方法の使用結果については日本ではまだ公表された事例がない。この事は誰にも分るUGR基礎表の情報が無いためと考えられる。5.3で述べた照明器具全光束に対する帯域光束比 α 、 β 、 γ 、 δ 及び照明器具全光束の絶対値を考慮して照明器具の配光分類を行い、UGR基礎表の作成及び「グレア分類G」とUGRとの対応を定めることを提案する。

UGR公式からの計算はISO規格では認められていないが、これがいけないとする理由は見当たらない。公式から得られるUGR値は基礎データとしてUGR使用の経験に利用するとよい。

UGR値の実際のグレア感覚からのずれの問題は、UGR限界値を定める場合に照明の消費エネルギー量に直接影響するので慎重に見極める必要がある。その意味でもUGR応用の経験を積む必要がある。

(3) 全面的に直ちにUGRを採用する。この場合の唯一つの理由は国際規格に採用されているからである。しかし、(1)、(2)で述べたように多くの問題があり、この立場はいたずらに混乱を招くだけであろう。

参考文献

- 1) JIS C 8106 (1999) 施設用蛍光灯器具、日本規格協会、平成 11 年 8 月 31 日 pp.5~6
- 2) 照明学会・技術規格 JIES - 008 (1999) 屋内照明基準、(社) 照明学会、1999 年 8 月 15 日 pp.5~6
- 3) CIE Publication No.29.2 - 1986 Guide on Interior Lighting 2nd edition
- 4) ISO/DIS 8995, CIE DS 008.3/E Lighting of indoor work places (2001)
- 5) CIE Publication No.117 - 1995 Discomfort Glare in Interior Lighting
- 6) 北米 IESNA: IES Lighting Handbook 1987 Reference Volume R9-46~R9-49
- 7) 英国 CIBSE: Code for interior lighting 1994 pp.200~201
- 8) D. Fischer: The European glare limiting method, Light. Res. Tech. 4-2(1972) 97~100
- 9) S. S. Beggs: Prediction of discomfort glare: American Systems(1961-1966), Light & Lighting, August 1967 pp.251~253
- 10) H. W. Bodmann, G. Söllner & E. Senger: A Simple Glare Evaluation System, I. E. May 1966 pp.347~352
- 11) C. Cuttle: Cuttle on Calculations, LD+A 28-8(1998)8~10
- 12) Y. Akashi, R. Muramatsu & S. Kanaya: Unified glare rating(UGR) and subjective appraisal of discomfort glare, Light. Res. Technol. 28-4(1996) 199~206
- 13) (社) 照明学会: CIE グレア評価法 UGR の研究調査委員会報告書、1999 年 3 月 15 日
- 14) R. G. Mistrick & A. Choi: A comparison of the visual comfort probability and unified glare rating systems, J. Illum. Engng. Soc. 28-2 Summer (1999) 94~101
- 15) (社) 照明学会・技術基準 JIEC-001(1992)オフィス照明基準、平成 4 年 2 月 20 日
- 16) (社) 日本照明器具工業会: Hf 蛍光灯器具グレア分類に関する研究報告書、1998 年 8 月
- 17) 高橋貞雄: Hf 蛍光灯器具のグレア分類に関する研究報告(要約)、(社) 日本照明器具工業会会報「照明」、1998 年 3 月 pp.3 ~ 9
- 18) 16)の pp.8~10
- 19) 5)の p.21 Fig. B1
- 20) 黒澤涼之助、高橋貞雄、石野正敏: 照明計算の CIET 方式の研究(2)、昭和 45 年電気四学会連合大会 802、pp.978-979 (平成 14 年 12 月 5 日受理)