視野内平均輝度による総量グレア範囲の抽出

不快グレアの対比効果と総量効果 その2

THE RANGE OF THE TOTAL-AMOUNT GLARE DETERMINED
BY THE AVERAGE LUMINANCE OF THE VISUAL FIELD
Contrast effect and grand total effect on discomfort glare Part 2

岩田 利枝*, 佐々木 良和**, 伊藤 大輔***, 望月 悦子****

*Toshie IWATA, Yoshikazu SASAKI, Daisuke ITOH
and Etsuko MOCHIZUKI*

The purpose of this paper is to identify the range of the total amount glare by using the average luminance of the visual field. Two series of experiments were carried out. In the first experiment, the pre-adaptation level equals the background luminance, and in the second, the pre-adaptation level is constant. The curve indicating the relationship between the luminance and glare sensation for the field with uniform luminance is obtained. The first experiment shows a significant difference in glare sensation, when the ratio of background luminance to source luminance is different, even when the average luminance of the visual field is the same. The second experiment shows that the effects of the ratio of background luminance to source luminance on glare sensation are not significant and that the average luminance can be used to predict glare sensation. The effect of the pre-adaptation level on glare sensation is also discussed.

Keywords: Discomfort glare, Glare Indices, Effect of contrast, Effect of total amount, Average luminance of visual field, Subjective experiment

不快グレア、グレアインデックス、対比効果、総量効果、視野内平均輝度、主観評価実験

1. はじめに

1.1 研究背景

人工光照明を対象とした不快グレア評価指標として Unified Glare Rating (UGR) による規制値が JIS 基準となったが¹⁾、窓のような大きい光源については、国内外とも基準として認められている指標がない²⁾。不快グレアは「対比効果 (contrast effect) と「総量効果 (grand total effect)」（あるいは飽和効果 (saturation effect) とも言われる）があり^{2)~5)}、UGR 式では、比較的小さい光源の範囲 (0.0003 ~ 0.1sr) を対象にしているので全体の光量はそれほど大きくはならず、対比による効果を評価していると考えられる。しかし、光源が大きい場合や背景輝度が高い場合には、対比効果より総量効果によってグレアが引き起こされることがある^{3)~6)}。

大きい光源の不快グレア評価では、適用範囲が限られる評価方法が多く提案されているが^{3)~10)}、その原因の一つにはいずれも実験式のため、導出される式が実験条件の影響を大きく受けることが挙げられる。筆者らは前報⁷⁾において、既存のグレア評価式とその基になった実験の特徴をまとめた。また、背景輝度を変化させることによって、対比グレアと総量グレアの変化点を抽出することを試みたが、総量グレアの存在を確認するにとどまった。

1.2 前報⁷⁾の概要と本研究の目的

前報では、前順応輝度条件の異なる2つの実験を行った。前順応輝

度を目の位置の鉛直面照度 300lx で一定とした場合では、高輝度部分立体角 0.1sr、1.0sr で、グレア感は低輝度部分輝度の影響を受けなかった。均一輝度視野との結果を比較すると、高輝度部分が小さい場合には、輝度比 1/5 程度で視野内平均輝度による予測値と近い値となり、光源が大きい場合には、低輝度部分の違いによる視野内平均輝度の差が小さいため、グレア感に与える視野内平均輝度の影響が大きくなった。低輝度部分輝度を前順応輝度とした場合では、前順応輝度が低い条件では経過時間によるグレア感の減少が見られたが、高い条件ではグレア感が経過時間によって増加し、2分経過後には低輝度部分輝度の影響がみられなかった。結論として、総量グレアの存在は確認されたものの、低輝度部分輝度を変化させるという方法では、対比グレアから総量グレアに移る条件を明らかにすることはできなかった。

これらの結果を受け、本報では引き続き、総量グレアの出現条件を明らかにすることを目的とした。

2. 総量グレアに関わるパラメータ

2.1 前報の結果による検討

前報⁷⁾で、大きい光源を扱った既往研究のうち実際の窓を用いた実験による評価式^{3), 5), 6)}では対比を示す項と総量を示す項を用いて加算していることを示した。対比効果が高輝度部分輝度と低輝度部分輝度の比で示され、総量効果が目に入る光量として目の位置の鉛直面照度

* 東海大学情報デザイン工学部 教授・博士(工学)

** (株)ジェディックス

*** 独立行政法人建築研究所 専門研究員・博士(工学)

**** 千葉工業大学工学部 助教・博士(工学)

Prof., Tokai University, Dr. Eng.

Gedix, Co., Ltd., B. Eng.

Research Specialist, Building Research Institute, Dr. Eng.

Assistant Prof., Chiba Institute of Technology, Dr. Eng.

で決まるとすると^{注2)}、視点がグレア源中心にある場合、グレア感^{注3)}は以下のような式になると考えられる。

$$\text{グレア感} = m \log Ls/Lb + n \log \{ Ls\phi_s + Lb(1-\phi_s) \} \quad (1)$$

ここで m, n は係数、 Ls は高輝度部分輝度、 Lb は低輝度部分輝度、 ϕ_s は高輝度部分の立体角放射率
 $Lb/Ls = R$ とすると

$$\text{グレア感} = -m \log R + n \log \{ Ls(\phi_s + R(1-\phi_s)) \} \quad (1)'$$

対比によるグレア感 (第1項) と総量によるグレア感 (第2項) の加算が成り立つ保証がないし、係数 m, n が一定であるとも言切れないが、グレア感評価が第2項だけからでも予測できる場合を、総量効果が支配的な条件だと考えることができる。

前報の結果を、式 (1) 第2項の視野内平均輝度によって表すと図1のようになる。視野内平均輝度の等しい均一輝度視野の評価と不均一輝度視野の評価との差が対比によるグレア感と考えられる。高輝度部分が小さい場合 (立体角 0.1sr)、高輝度部分輝度と低輝度部分輝度の比が概ね 5:1 以下の場合に、均一輝度の評価と不均一輝度の評価が近くなる。立体角が大きい場合 (1.0sr) には視野内平均輝度に与える高輝度部分輝度の影響が大きいため、視野内平均輝度によるグレア感予測が可能なように見える。

しかし、図1 (a) の光源輝度 4000cd/m² のプロットと図1 (b) の結果から、「前順応輝度」が、図1 (b) から「注視時間」が、対比効果と総量効果の関係に影響すると考えられる。前順応輝度と注視時間について、従来の小さい光源の不快グレア研究では、UGR の基礎となった Hopkinson の研究¹²⁾ は視野に十分順応するという方法を、アメリカの VCP の基本になった Guth の研究¹³⁾ は点減光によって背景に順応する方法を用いており、パラメータとして扱っていない。大きい光源の場合には「視作業面の輝度に順応し」、「グレア源を見た直後に評価する」ことが、より実環境評価に近いと考えられている³⁾⁻⁶⁾。

2.2 先行研究結果の検討

不快グレア研究は多くあり前報でも検討したが⁷⁾、ここでは立体角が 1.0sr 以上を扱い、総量効果を評価していると考えられる2つの先行研究^{9), 10)} について、再度検討を行う。

従来のグレア評価で扱われている4つのパラメータ (「光源輝度」「光源の立体角」「背景輝度」「視野内の光源の位置」) のうち光源の位置を視線上に固定した上で、「前順応輝度」「注視時間」の2つをパラメータとして加えて不快グレアを評価しようとした研究として、井上らの研究¹⁰⁾ が挙げられる。井上らは不均一輝度の視野と等しいグレア感を引き起こす均一輝度視野の輝度を「等価な均一視野輝度」とし、これを求めた上で、前順応輝度と経過時間の影響を考慮するという方法を提案している。等価な均一視野輝度に置き換えることにより、光源輝度、光源の立体角、背景輝度の3つのパラメータを1つにし、均一視野輝度が同じであればこれらの3つのパラメータによらず、前順応輝度と経過時間の影響が一定であるとして、5つのパラメータを統合した評価方法を提案している。

井上らの論文では等価な均一視野輝度は光源輝度別に立体角と光源と背景の輝度比によって図示されているが、この等価な均一視野輝度と視野内平均輝度の関係を、0.1sr ~ 1.0sr の範囲について示すと図2のようになる^{注4)}。この検討範囲では、光源輝度が等しければ、視野内平均輝度と等価な均一視野輝度の関係は立体角の影響を受けない。視野内平均輝度と等価な均一視野輝度が等しい場合を点線で示すと、いず

れの場合でも等価な均一視野輝度の方が高い値を示している。井上らの研究の特徴は、光源の輝度、立体角が等しければ背景輝度が上昇するとグレア感が増加するという結果を全実験条件において示していることで、前報では「すべて総量効果になっている」と述べた。しかし、図2から、同じ視野内平均輝度であれば均一輝度の評価より高いグレア感となっており、対比効果も評価されていることがわかる。

一方、Wienold らの研究⁶⁾ では実際の窓を用いており、順応は作業

(a) 前順応輝度 = 96cd/m² 評価までの時間 2 秒

(b) 前順応輝度 = 背景輝度 評価までの時間が 2 秒と 2 分

図1 前報³⁾の結果 (視野内平均輝度を用いて示した)

図2 井上ら¹⁰⁾の結果

図3 Wienold⁶⁾らの結果

面（紙面、コンピュータディスプレイ）で、目の位置の鉛直面照度を用いて評価している。図3に結果を示す（1プロットが約29サンプル、合計349サンプル）。図1、2と比較するため図の上部に平均輝度に変換した値を示し、図1、2と横軸の位置をそろえた。図中にひかれた回歸直線では相関係数が0.65程度であるが、鉛直面照度1000lx以上に限れば、より高い相関を示している。ただし、この研究では光源の立体角が大きい範囲にあり（0.96sr～4.1sr）、立体角、背景輝度によらず、光源輝度と鉛直面照度の相関が高くなる。それが、グレア感（Wienoldらの研究ではグレアの不満率）が鉛直面照度によって予測できる一因となっている。そのため実用上鉛直面照度を用いても差し支えないのか、総量がまぶしさをもたらしているのかについてははっきりしない。式（1）で言えば第2項の係数 n 以外の部分が大きくなったためなのか、係数 n が大きな値に変化するのかについては不明である。

2.3 本研究の条件設定

これらの検討結果から、本研究では総量グレアを分離するため、視野内平均輝度をパラメータとして不快グレア評価を行い、均一輝度視野の評価との差から総量グレアが支配的な範囲の抽出を試みることにした。従来の光源輝度、背景輝度、光源の立体角のうちの1つを変化させてそれぞれのべき指数を求める方法に対して、3つのパラメータを視野内平均輝度として1つにまとめてしまうことにもなるが、本論文では式（1）を仮定して、第1項の影響の大きさから総量グレア範囲を探すことにした。また、第2項に対する光源の大きさの影響^{注5)}についても検討する。視野内平均輝度、高輝度部分と低輝度部分の輝度比とも前報の結果から、総量効果が支配的になりはじめると考えられる前後で設定した。高輝度部分の立体角は前報で用いた範囲とした^{注6)}。

3. 実験方法

本研究の実験では「光源」と「背景」の区別がそぐわないので、以下「高輝度部分」「低輝度部分」とする。前報と同様に、前順応輝度を低輝度部分とした実験（第1実験）と前順応輝度を一定にした実験（第2実験）を行った。実際には、第1実験の結果を受けて第2実験の実験条件を設定しているが、結果の比較などをわかりやすくするため、ここでは二つの実験をまとめて示す。

3.1 実験条件

低輝度部分輝度 L_b の高輝度部分輝度 L_s に対する比を輝度比 L_b/L_s と

して示す。第1実験、第2実験とも視野内平均輝度（以降「平均輝度」） $Lave$ 、輝度比 L_b/L_s 、高輝度部立体角 ω （以降「立体角」は断わりのない限り高輝度部分立体角）をそれぞれ対数で等間隔となるように3～5条件設定し、均一輝度視野条件も加えた。実験条件を表1に示す。

第1実験では、前順応輝度は低輝度部分輝度 L_b と等しくし、立体角 ω 3条件、平均輝度 $Lave$ 4条件、輝度比 L_b/L_s 3条件、の計36条件に均一輝度視野4条件を加えた計40条件とした。

第2実験では、順応輝度は全条件で視野内均一輝度96cd/m²（鉛直面照度300lx）とし、立体角 ω 3条件、平均輝度 $Lave$ 3～5条件、輝度比 L_b/L_s 3条件、の計33条件に均一輝度視野5条件を加えた計38条件とした。

平均輝度で条件を作っているため、高輝度部分輝度と低輝度部分輝度は立体角、輝度比によって異なる。表1に各輝度比条件の輝度範囲を併記した。

3.2 実験室・視野装置

実験室は前報⁷⁾と同様で、前室と評価室の2つからなる。前室は間接照明で目の位置の鉛直面照度が約7lxになっている。評価室には評価視野装置と順応視野装置がある。図4に評価視野装置の断面図を示す。評価装置も光源部分をやや変更したこと以外は前報と同様である。光源装置は輝度、色温度が安定するように使用ランプの構成を前報とやや変えている。高輝度部分用光源として光源装置には40W直管型蛍光ランプ18本と32W直管型蛍光ランプ16本を使用し、低輝度部分用光源装置には40W直管型蛍光ランプ16本と、21Wコンパクト型蛍光ランプ8個を使用した。

低輝度部分輝度を前順応輝度にする第1実験ではシャッターを使用し、一定輝度を前順応輝度にする第2実験では順応視野装置（前報⁷⁾と同じ）を使用した。

3.3 手順

第1実験では、被験者があご台を用いてまっすぐに評価視野を見て順応輝度に1分間順応した後、シャッターが開かれ高輝度部分が現われる。被験者は光源を指定した時間（約2秒）見た後、不快グレアを前報⁷⁾と同じスケールを用いて評価した（0:感じ始める、1:気になり始める、2:不快だと感じ始める、3:ひどすぎると感じ始める）。評価対象は「目が感じる刺激」とし、特に高輝度部分あるいは視野全体との指示は行わないようにした。実験条件はランダムに呈示した。被験者は平均年齢22.1(SD=0.8)歳の健康な学生20名(女:4、男:16)で、4名1組で実験を行った。一人の被験者が、1日に20条件ずつ、2日間実験に参加した。

第2実験では、被験者は順応視野で1分間、目の位置の鉛直面照度が300lxの状態に順応した後、評価視野を（約2秒）見た後、不快グレアを第1実験と同じスケールで評価した。評価対象は第1実験と同様にした。被験者は平均年齢22.0(SD=0.0)歳の健康な学生10名(女:2、男:8)で、5名1組で、1日に19条件ずつ2日間実験に参加した。

第2実験では、被験者は順応視野で1分間、目の位置の鉛直面照度が300lxの状態に順応した後、評価視野を（約2秒）見た後、不快グレアを第1実験と同じスケールで評価した。評価対象は第1実験と同様にした。被験者は平均年齢22.0(SD=0.0)歳の健康な学生10名(女:2、男:8)で、5名1組で、1日に19条件ずつ2日間実験に参加した。

3.4 統計解析

前報⁷⁾と同様に、スケール上の評価点を数値化したものをグレア感評価とした。実験

表1 実験条件		
	第1実験	第2実験
高輝度部分の立体角 ω [sr]	0.10, 0.32, 1.0	0.10, 0.32, 1.0
視野内平均輝度 $Lave$ [cd/m ²]	400, 600, 900, 1350	600 ^{*2} , 900, 1350, 2025 ^{*3} , 3038 ^{*4}
輝度比 L_b/L_s ^{*1} (log L_b/L_s)	1, 1/2.5, 1/6.3, 1/16 (0, -0.4, -0.8, -1.2)	1, 1/2.5, 1/6.3, 1/16 (0, -0.4, -0.8, -1.2)
前順応輝度	低輝度部分輝度	96 [cd/m ²] (鉛直面照度 300 [lx])
高輝度部分輝度 L_s [cd/m ²]	S ^{*5} 959 ~ 14562 M 875 ~ 8709 L 696 ~ 3999	S 1438 ~ 14562 M 1312 ~ 13064 L 1567 ~ 8997
低輝度部分輝度 L_b [cd/m ²]	S 272 ~ 1288 M 163 ~ 1176 L 75 ~ 936	S 408 ~ 1288 M 244 ~ 1763 L 168 ~ 2015

図4 装置断面

高輝度部分用光源
シャッター
開口
視野
低輝度部分用光源
顎台

*1 L_b :低輝度部分輝度 L_s :高輝度部分輝度
*2 $\omega=0.1, 0.32$ sr の場合のみ
*3 $\omega=0.32, 1.0$ sr の場合のみ
*4 $\omega=1.0$ sr の場合のみ
*5 S: 0.1sr, M: 0.32sr, L: 1.0sr を表す

図5 均一輝度視野の評価

図6 均一輝度視野評価のLogistic回帰

結果の解析には、前報⁷⁾と同様にノンパラメトリック検定を用いた。

4. 結果

4.1 均一視野の結果

図5に第1実験、第2実験で得られた均一輝度視野のグレア感の中央値を示す。25%タイル値、75%タイル値、およびWilcoxonの検定結果を併記した。均一輝度視野では輝度の上昇に伴いグレア感が増加しており、同じ条件を評価した場合（600、900、1350cd/m²）、第1実験と第2実験の評価には有意差は見られなかった。さらにこれに前報での結果を加えて、Logistic回帰を行ったものを図6に示す。グレア感評価が0（まぶしさを感じる始める）となるのは、平均輝度が415cd/m²のときで、グレア感評価が2（不快になり始める）となるのは平均輝度が1900cd/m²のときであった。図中に井上らの結果⁴⁾、背景を光源の一部として計算したPGSV（式（2））を併記した。

$$PGSV = \text{Log} (Lave^{3.2} \omega^{-0.64} / Lb^{0.61-0.79 \log \omega}) - 8.2$$

$$\div \text{Log} (Lave^{3.2} \omega^{-0.64}) - 8.2$$

(2)

Lave: 平均輝度

$\omega = 2\pi$ とすると $0.61-0.79 \log \omega \div 0$ となる

井上らは異なったスケールを用いているので、井上の論文¹⁾に従ってスケールの変換を行ったが^{注7)}、平均輝度1000 cd/m²以上の範囲で見ると、井上らの結果の方が本研究結果よりグレア感評価が低くなっている。

式（2）を用いたPGSVの計算値は、平均輝度が800～4000 cd/m²（PGSVが0.7～2.9）の範囲でLogistic回帰曲線との差が10%以下となり、一致していた。

4.2 輝度比によるグレア感評価の違い

図7に第1実験（低輝度部分輝度に順応）、図8には第2実験（一定輝度に順応）の平均輝度とグレア感の中央値の関係を、立体角、輝度比別に示す。25%タイル値、75%タイル値、およびFriedman検定結果を併記した。

第1実験ではいずれの立体角、いずれの平均輝度でも、輝度比によるグレア感の有意差が見られた。さらに、同じ立体角、同じ平均輝度で、輝度比2条件ずつ36通りのWilcoxonの符号順位検定を行った結果、いずれの条件間にも有意差が認められ、輝度比があれば輝度比が小さい（対比が大きい）条件ほど高いグレア感を示していた。しかし、輝度比LogLb/Ls=-0.4のグレア感が、均一輝度（LogLb/Ls=0）のグレア感

図7 視野内平均輝度、輝度比とグレア感（第1実験 前順応輝度＝低輝度部分輝度）

（図を見易くするためにlogLb/Ls=-0.8の条件はプロットを少し右方向に移動させている。）

図8 視野内平均輝度、輝度比とグレア感（第2実験 前順応輝度＝低輝度部分輝度）

（図を見易くするためにlogLb/Ls=-0.8の条件はプロットを少し右方向に移動させている。）

図9 立体角とグレア感
(第1実験 $\log Lb/Ls = -1.2$)

図10 立体角とグレア感
(第2実験 $\log Lb/Ls = -1.2$)

図11 高輝度部分輝度、輝度比とグレア感
(第1実験)

図12 高輝度部分輝度、輝度比とグレア感
(第2実験)

ア感より有意に低くなり、 $\log Lb/Ls$ が-0.4から0の間ではこの関係が逆転する結果となった。

第2実験では、1条件 (0.32sr, 1350 cd/m²) 以外の条件では輝度比によるグレア感への有意な影響は見られなかった。さらに、同じ立体角、同じ平均輝度で、輝度比2条件ずつ33通りのWilcoxonの符号順位検定を行った結果、2つの組み合わせ以外は差が見られなかった。差が見られたのは、立体角0.32sr、平均輝度1350cd/m²で輝度比 $\log Lb/Ls$ が-0.4と-0.8の間、立体角1.0sr、平均輝度3038cd/m²で輝度比 $\log Lb/Ls$ が-0.4と-1.2の間で、いずれも5%有意であった。これらの間では、いずれも輝度比が1に近い方がグレア感評価が高くなり、対比によるグレア感増加は認められなかった。グレア感評価も概ね、同じ平均輝度の均一輝度の評価に等しくなり、総量进行评估していると考えられた。

4.3 立体角によるグレア感評価の違い

立体角の影響については、第1実験ではFriedman検定の結果、1条件 (平均輝度400cd/m²、輝度比 $\log Lb/Ls = -0.8$) を除いていずれの条件でも、グレア感に有意な差は見られなかった。図9に例として $\log Lb/Ls = -1.2$ の中央値と25%タイル値、75%タイル値を示す。

第2実験ではFriedman検定の結果、2条件 (平均輝度900cd/m²、輝度比 $\log Lb/Ls = -1.2$ と平均輝度1350cd/m²、輝度比 $\log Lb/Ls = -0.4$) を除いて、グレア感に有意な差は見られなかった。図10に例として $\log Lb/Ls = -1.2$ の中央値と25%タイル値、75%タイル値を示す。同じ平均輝度、同じ輝度比で、立体角2条件ずつ33通りのWilcoxonの符号順位検定を行った結果、2つの組み合わせ以外は差が見られなかった。差が見られたのは、平均輝度900cd/m²、輝度比 $\log Lb/Ls = -1.2$ で立体角0.1srと1.0srの間と、平均輝度1350cd/m²、輝度比 $\log Lb/Ls = -0.4$ で立体角0.32srと1.0srの間で、いずれも立体角が小さい方

が大きい方より5%有意でグレア感評価が高くなった。

4.4 高輝度部分輝度をういた検討

従来パラメータとして用いられてきた高輝度部分輝度によって輝度比、立体角の影響を検討した。その結果を図11、12に立体角0.1sr、1.0srの場合について示す。0.32srは両者の間にあたる傾向を示している。第1実験の0.1srの図には、UGRの適用範囲にあたるのでUGRによる予測値も併記した。

第1実験では、立体角が小さい時には輝度比の影響は小さく、高輝度部分輝度でグレア感が決まっている。UGRで予想されるほど輝度比の影響はない。しかし、立体角が大きくなるにつれ、高輝度部分輝度とグレア感の関係に輝度比が与える影響が大きくなっている。また、いずれも高輝度部分輝度が等しい均一輝度 ($\log Lb/Ls = 0$) の場合よりグレア感評価が低くなっている。

一方、第2実験では立体角の小さい条件の方が輝度比による影響が見られる。しかし、第1実験の結果や従来示されてきた対比効果とは逆に、高輝度部分輝度が等しければ輝度比が1に近いほど高いグレア感を示している。

4.5 順応による影響の検討

第1実験では対比効果が大きく、第2実験は総量効果が大きく見られたが、両者では順応条件が異なる。順応輝度の影響を検討した。図13に例として平均輝度900 cd/m²と1350 cd/m²で、立体角0.1srと1.0srの場合の順応輝度の違いによるグレア感の変化を示す。 $\log Lb/Ls = -1.2$ の条件では、0.32srと1.0srの場合にはすべて順応輝度が高い第1実験の方がグレア感評価が有意に高くなっていた。特に平均輝度900 cd/m²、 $\log Lb/Ls = -1.2$ で1.0srの場合、前順応輝度の差がほとんどないのに関わらず、グレア感評価が異なっている。視野の輝度の変化から考えれば、前順応輝度が低い方がグレア感が高くなる予

測されるので、この結果は順応輝度以外の要因によって引き起こされたと考えられた。第1実験ではシャッターを用いて高輝度部分を出現させており、第2実験では被験者が視野を移動させている。第1実験では、被験者が無意識に、シャッターを開くことによって現れた高輝度部分だけを評価対象としてしまった可能性がある。

5. 考察

5.1 総量グレアの出現範囲について

本研究では視野内平均輝度で評価可能な範囲を求めることにより、総量グレアとなる範囲が求められると考えた。図14は予想された結果を模式的に示したものである。この図のように、対比によるグレアが十分小さくなり、輝度比によらず評価が等しくなる条件が現れると予測した。しかし、結果はこの図のように輝度比別の評価が接近していくことがなかった。第1実験では対比の影響が視野内平均輝度によって変化せずば一定で、第2実験では対比の影響が見られないという極端な結果となった。ただ、均一輝度視野のグレア感については、前報の結果も含めて得た予測曲線はかなり信頼できるものと考えられる。第2実験の不均一輝度の評価結果がこの予測曲線と一致したことから見ても、第2実験の実験条件および評価方法は、総量グレア範囲にあるとみることができる。

5.2 第1実験結果の矛盾点と実験方法について

第1実験と第2実験の違いである前順応輝度に着目して、前順応輝度以外は同じ条件になる時のグレア感評価を比較したが(図13)、第1実験の方が前順応輝度が高いにもかかわらず、第2実験よりグレア感が高くなり、視点輝度の変化でグレア感評価の差を説明することはできなかった。考えられるのは、第1実験は被験者がシャッターを用いたことで出現した高輝度部分を評価したかもしれないということである。

また、第1実験では輝度比が1に近い条件で、等しい平均輝度を持つ均一輝度視野よりグレア感が低くなるという結果が見られた(図7)が、これも、前述のように第1実験では出現した高輝度部分を評価していたと考えれば、ある程度説明がつく。

高輝度部分輝度を横軸にした検討では、第1実験では、(図11)、立体角が大きい方が輝度比の影響が大きくなった。立体角が視野全体に達すれば輝度比の影響がなくなるので、立体角が大きいほど輝度比の影響が小さいと考えられ、また、これまでの研究でもそのような結果が示されてきている。第1実験の結果はこれと異なっている。考えられる理由は、図13に示されているように、高輝度部分の立体角が大きい方が低輝度部分輝度の差が大きくなり、輝度比の違いによる前順応輝度の違いが大きくなるということである。

このように実験方法によって、従来とは矛盾した結果も見られた。先行研究の実験方法を十分に検討し、教示も慎重に行ったが、まだ実験方法に課題を残した。

5.3 PGSV との比較

図15は本実験での条件付近のPGSVによる予測値を示したもので、実験範囲では概ね、高輝度部分のみをグレア源と考えた計算値の方が平均輝度を用いて視野全体をグレア源と考えた計算値より小さくなっている。平均輝度を用いた方法によるPGSVは図6に示したように、均一輝度視野の評価とはPGSVが0.7~2.9の範囲で一致しており、図7、図8中に示した均一視野評価と等しくなる。一方、高輝度部分のみを

図13 前順応輝度の影響

図14 予測された結果

図15 PGSVの変化 (0内はlogLb/Ls)

図16 PGSV とグレア感

グレア源と考えたPGSV計算値と評価を比較すると(図16)、第1実験結果では全体的に過小評価となり、特に立体角が小さい場合に、その傾向が著しかった。また、第2実験結果では、輝度比が1に近い条件($\log Lb/Ls = -0.4$)で、PGSVが過小評価になる傾向は立体角が小さいほど著しく、適用範囲による式の補正が必要である。

6. まとめ

本論文では、視野内平均輝度を用いて不快グレアを評価し、等しい平均輝度をもつ均一輝度視野の評価と比較することにより総量効果が支配的になる条件の抽出を試みた。従来のグレア研究とは異なるパラメータを用いたことによって以下の知見を得た。

(I) 先行研究を平均輝度を用いて検討すると、高輝度部分輝度、立体角が一定の場合、低輝度部分輝度が増加するとグレア感が増加する井上らの動的評価法¹⁰⁾は、総量効果と対比効果の両方を評価していること

が示された。

(2) 均一輝度視野のグレア評価曲線を示した。この曲線は平均輝度が800～4000 cd/m² の範囲で、平均輝度を用いて計算したPGSVと10%以下の誤差で一致した。

(3) 低輝度部分輝度に順応しシャッターを用いた第1実験では、同じ平均輝度でも輝度比によって評価が異なり、輝度比が1に近い方がグレア感が有意に低くなった。また、輝度比が1に近い条件では同じ平均輝度となる均一輝度視野よりグレア評価が低くなった。

(4) 一定輝度に順応し被験者の移動によって視野を変化させた第2実験では、輝度比による評価の差が見られず、平均輝度が等しい均一輝度視野のグレア評価と一致した。

(5) 前順応輝度の影響を検討すると、シャッターを用いた場合には前順応輝度が高い場合でも、順応輝度が低い場合より、グレア感を高く評価する場合があった。

上記の(3)～(5)の知見から、同じ視野条件でも、呈示方法によって対比効果と総量効果のどちらが支配的になるかが異なると考えられた。シャッターを用いて高輝度部分を呈示した場合には、対比効果が支配的になり、対比効果が小さければグレア感が低くなり、その総量効果から予測されるグレア感よりさらに低くなる場合も見られた。この場合には、対比効果によるグレア感と総量効果によるグレア感が加算されているわけではなく、対比効果によるグレアのみが評価されたことになる。一方、視線の移動によってグレア源が視野に入る場合、前順応輝度が100cd/m²程度で、視野内平均輝度が600cd/m²以上、低輝度部分輝度が高輝度部分輝度の1/16以上の条件であれば、総量効果によるグレアとなった。

呈示方法については、先行研究でも点滅光を用いたり¹³⁾、光源輝度を調整する¹²⁾などの方法がとられており、必ずしも重要視されてはいなかったが、総量効果を抽出していく上での検討課題の一つといえる。

謝辞

本研究の一部は平成19年度科学研究費補助金(基盤研究(C)、課題番号18560582 研究代表者 岩田利枝)による。実験は島川博之君と實光俊治君(当時千葉工業大学卒論生)の力によるところが大きい。記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) JIS Z 9125 屋内作業場の照明基準 2007 年
- 2) Hopkinson, R.G., Petherbridge, P. Longmore: Daylighting, William Heinemann Ltd. pp.301-304, 1966
- 3) Iwata, T., Tokura, M. Shukuya, M and Kimura, K: Experimental study on discomfort glare from windows, Part 2, Subjective response to glare from actual windows, 日本建築学会計画系論文報告集第439号, pp.19-31, 1992 年 9 月
- 4) Osterhaus, W.: Brightness as a simple indicator for discomfort glare from large are glare source, Proceedings of the 1st CIE symposium on Lighting Quality, pp.113-124, 1998
- 5) Fisekis M.et al.: Prediction of discomfort glare from windows, International Journal of Lighting Research and Technology, 35(4) CIBSE, pp.360-371, 2003
- 6) Wienold, J. and Christoffersen, J. : Evaluation methods and development

of a new glare prediction model for a daylight environment with the use of CCD cameras, Energy and Buildings 38, pp.743-757, 2006

- 7) 岩田利枝、伊藤大輔、平野祐介: 不快グレアの対比効果と総量効果、日本建築学会環境系論文集第618号, pp.1-7、2007 年 8 月
- 8) 金源雨、古賀靖子、原昌康: 窓による不快グレア評価法の開発 その1均一な大光源からの不快グレア、照明学会誌91(2)、pp.63-68、2007 年
- 9) Velds, M.: Assessment of lighting quality in office rooms with daylighting systems, PhD thesis, Technical University of Delft, The Netherlands, Chapter 3, 2000
- 10) 井上容子、伊藤克三: まぶしさ感の動的評価、日本建築学会計画系論文報告集、第398号, pp.9-19、1989 年
- 11) 井上容子: 視環境の動的評価法、博士学位論文(大阪大学)、第4章、p.87、1985
- 12) Petherbridge, P. and Hopkinson, R.G.: Discomfort glare and the lighting of buildings, Transactions of the Illuminating Engineering Society 15 (2). pp.39-79, 1950
- 13) Luckiesh, M. and Guth S.K.: Brightness in visual field at borderline between comfort and discomfort, Illuminating Engineering, Vol.44, pp.650-670, 1949

注

- 注1) 国際照明委員会 (CIE) 第3部会、技術委員会 TC3 - 39glare from Daylighting では評価方法の提案がないままに、2007年中に委員会を終了することが決まった。
- 注2) 厳密には瞳孔径の影響を受け、また網膜上の感度分布の影響があるが、ここでは既往の研究成果と実用上の精度から目に入射する光として鉛直面照度を用いる。
- 注3) 対比効果を示す項として UGR を用いる場合^{2), 3)}もあるが、UGR 式もさらに以下のように分けられる。

$$\begin{aligned} \text{UGR} &= 8 \log \Sigma 0.25 \frac{L_s / P}{L_b} L_s / P \omega \\ &= 8 \log \Sigma \frac{L_s / P}{L_b} + 8 \log \Sigma L_s / P \omega + 8 \log 0.25 \end{aligned}$$

L_s : 光源輝度 [cd/m²] L_b : 背景輝度 [cd/m²]

P : ポジションインデックス [-] ω : 立体角 [sr]

第1項が対比を、第2項が量を示していると考えることができる。またもし視点が光源上にあれば $P=1$ となる。(1) 式と比較すると、第2項に背景からの光が含まれていないという違いがあり、光の総量ではなく光源からの光量を示していると解釈できる。また、 m と n が 1:1 になっているのは興味深い。Hopkinson が基本式を導いた過程をみてもそれぞれのべき指数を順に決定しただけで、「対比」や「量」として考えているわけではない。

注4) 井上らは視野の中央に位置する円形のグレア源を用いているので、立体角投射率を求めて立体角重みづけ平均輝度を算出した。

注5) 式(1)から考えれば立体角投射率をパラメータとする方が考え方としてはすっきりするが、ここでは従来の研究との比較を容易にするため立体角で示した。

注6) 立体角は、縦2.4m、横2.4mの窓の中心に視点がある場合、窓からの距離が1mで2.5sr、2mで1.1sr、4mで0.33srとなる。UGRの適用範囲の立体角の上限が0.1sr (Hopkinsonの実験範囲の上限は0.027sr) ということを考え、本研究では0.1sr～1.0srの中で3段階作成した。

注7) 井上は「まぶしくない」～「耐え難い」の5段階スケールを用いているが、参考文献11)の中で、評価尺度間に図A1に示すような対応があると示している。

図A1 評価尺度の対応¹⁰⁾

(2008年6月7日原稿受理, 2008年10月1日採用決定)