屋内照明における不快グレアの研究 - 全視野における Position Index の起案 -

准員 石倉 知 永 子 (金沢工業大学) 非会員 上 山 大 輔 (奥村土木興業株式会社)
非会員 澤 田 朋 克 (第一工業株式会社) 専門会員 金 谷 末 子 (金沢工業大学)

Extension of the Position Index of Discomfort Glare to the Whole Visual Field

Associate Member Chieko Ishikura (Kanazawa Institute of Technology),
Non Member Daisuke Ueyama (Okumura Engineering Corporation),
Non Member Tomokatsu Sawada (Daiichikogyo co., Ltd) and
Fellow Member Sueko Kanaya (Kanazawa Institute of Technology)

KEYWORDS : Position Index, discomfort glare, interior lighting

1. はじめに

不快グレアの除去は照明要件の重要な要件である。不快グレアに影響する要因には、発光面輝度、発光面積、背景輝度、Position Index (光源と視線方向との位置関係) がある。これらの要因に基づく不快グレアの評価については、これまでに数多くの研究が行われている。不快グレアの評価式には、Luckiesh-Guth¹⁾ が提案している Position Index が用いられている。Luckiesh-Guth が提案している Position Index は、水平視線上仰角 0 度～53 度までの範囲しか規定されていないが、Ngai ら²⁾ が行った頭上からのグレアに関する実験や山子ら³⁾ の実験から、水平視線上仰角 85 度以上でも高輝度光源が頭上にある場合、不快グレアが生じることが明らかになってきている。そのため、53 度以上の Position Index がどのように変化するかを明らかにする必要がある。本研究は、全視野における Position Index の提案をすることを目的とする。

2. 既往研究

Position Index に関する実験研究には、Luckiesh-Guth、佐々木ら⁴⁾、岩田ら⁵⁾、金ら⁶⁾ など、数多くの研究がある。表 1 に、これらの実験条件と Position Index に関する実験結果を示す。

Luckiesh-Guth は、上部視野におけるテスト光源の位置と BCD 輝度との関係を求め、これに基づいて Position Index の図を作成した。基準光源 (2844cd/m²) としてスクリーン中央に配置し、基準光源と視線から水平方向、45 度方向、鉛直方向上に配置されたテスト光源との比較を行った。その結果、視線から離れるにつれて、Position Index は大きくなり、視野の限界部では最も大きい値を示すことを明らかにした。

同様に、佐々木らは、光源の位置による影響について実験した。実験条件については、Luckiesh-Guth らとほぼ同じではあるが、半球形スクリーンのサイズ (半径 0.45 m)、実験方法と測定範囲が異なる。佐々木らは、基準光源の輝度を各被験者の BCD 輝度値で設定し、テスト光源との比較を行い、また上下視野の比較を行った。その結果、Luckiesh-Guth と同様にテスト光源が中心より周辺に移動するにつれて Position Index は大きくなる。視野周辺部ではグレア感覚が低下し、中心よりも Position Index が小さくなる位置もあったが、視野下方より視野上方の方が Position Index は高いことが得られた。

岩田らは、上下視野 30 度内における Position Index を提案し

ている。この実験では、平面スクリーンを用い、調整方法と一定方法による主観的実験を行った。実験条件および実験方法については、視野の上部 5 箇所に基準光源を置き、それらに対応するテスト光源を視野の下部において、そのグレア感覚の差を比較して下部視野の Position Index を求めた。視線より下に置いた光源によるグレアに対する感覚は、佐々木らと同様の結果を得た。

金らは、全視野における Position Index の実験を行い、全視野における不快グレア感覚の分布は、視覚感覚の分布とは異なることを明らかにした。また Luckiesh-Guth の提案している Position Index から等感覚線に基づいて下部視野の Position Index を求められないことを明らかにした。

表 1 Position Index に関する研究

Table1 Experimental conditions in previous studies.

	Luckiesh-Guth	佐々木, 室井	Iwata, Tokura	金ら
光源の大きさ[sr]	0.0011	0.0011	0.0038	0.00018
光源の輝度 [cd/m ²]	0～ 103000	0～ 20000	615～ 2795	1500～ 70000
背景輝度[cd/m ²]	34.26	10～150	1	10
設定範囲 及び結果	上部視野に関する Position Index の 図を作成する	上下視野によるグ レア感覚の比較 計測を行う	上下視野(±30 度)についての Position Index の 図を作成する	全視野の Position Index の図を作成 する

3. 実験

Position Index の実験では、光源の大きさや評価方法に影響を受けやすい。そのため、本実験では、Luckiesh-Guth の実験と条件を合わせ、全視野における Position Index を明らかにする実験を行うこととした。

本研究では基準 BCD 輝度を求め、求めた基準 BCD 輝度を基準光源に置き、テスト光源の BCD 輝度との比で、全視野における Position Index を算出した。以下の実験において光源の輝度は調光により変化させたが、色温度変換フィルターを使って、調光による色温度の変化をできる限り小さくした。その結果、平均色温度は、2900 K で標準偏差は、35 K であった。(3.3 章の実験において)

3.1 実験条件の設定

全視野における Position Index を明らかにするために、図 1 に示す実験装置を製作した。この実験装置は、順応室と実験室から成り立っている。実験室側には、半径 1m の半球形スクリーンを設置した。またスクリーンは、水平視線上方角 0 度から 10 度間隔で ±90 度まで、方位角 0 度から 30 度間隔で 90 度までの両者を組み合わせた各位置から光を提示することが可能である。スクリーンの内表面を背景輝度として、蛍光灯 (18W・昼白色) 四本を四隅に設置し、35cd/m² で一定にした。基準光源には、ミニハロゲンランプ (12V・50W)、光源の大きさは、Luckiesh-Guth と同じ 0.0011sr のものを使用した。これは直径 3.7 cm の円形光源で実現した。

図 1 実験装置

Fig.1 Experimental apparatus.

3.2 基準 BCD の実験

3.2.1 実験条件・手順

基準 BCD 輝度の測定では、今後の実験において基準光源となるランプの輝度を設定するために測定を行った。光源の位置は、水平視線上方角 0 度、方位角 0 度 (半球形スクリーン中央) の位置に設置した。被験者には順応後、正面の基準光源を直視するよう指示し、6 条件の輝度 (1000cd/m², 2200cd/m², 3500cd/m², 5700cd/m², 7500cd/m², 10500cd/m²) を 1 条件ずつランダムに 1 秒間隔に点滅させ、1 つの条件を 10 秒間提示し、10 秒のインターバルにおいて、次の条件を 10 秒間提示した。10 秒のインターバルの間に被験者に評価させた。評価項目は“常時視野内にあって心地よい光”“常時視野内にあって心地よくないと感じ始める光”“常時視野内にあって心地よくないと感じ始める光”の 3 項目である。この評価項目から“常時視野内にあって心地よくないと感じ始める光”を不快グレア評価判断基準とした。被験者は大学生 18 名 (男性: 9 名, 女性: 9 名, 平均: 20.9 歳) である。眼鏡を使用しているものは裸眼の状態、コンタクトレンズを使用しているものは装着した状態で測定を行った。

3.2.2 実験結果

被験者 18 名による不快グレア判断基準の輝度の値を対数にして幾何平均を行うと 5011.9cd/m² となった。この実験結果から、今後の実験の基準光源の輝度を 5000cd/m² とした。

3.3 左右視野領域の Position Index の検討

3.3.1 実験条件・手順

左右視野領域による Position Index 差異の有無を確認するため、方位角 ±30 度、水平視線上方角 ±30 度、0 度の計 6 ポイントの Position Index を測定した。テスト光源で提示する光源の条件は 13 条件で、3500cd/m², 5000cd/m², 6000cd/m², 8000cd/m², 12000cd/m², 20000cd/m², 36000cd/m², 68000cd/m², 132000cd/m², 260000cd/m², 359000cd/m², 460000cd/m², 620000cd/m² とした。被験者に順応後、基準光源を直視させたまま、テスト光源が基準光源と同じまぶしさであるかを判断させた。このときテスト光源において複数条件“基準光源と同じまぶしさである”と判断された場合は、再度その条件を提示し、その中で最も基準光源と同じであると感じた条件を不快グレア評価判断基準とした。被験者は、前実験と同様に 26 名 (男性: 13 名, 女性: 13 名, 平均: 21.3 歳) である。

3.3.2 実験結果

被験者 26 名による不快グレア評価判断基準を (1) 式を用いて、Position Index を求めた。左右の視野領域の間で Position Index に差異があるかどうかを t-検定を用いて解析した結果、両者に有意な差はないことを明らかにした (p=0.23)。このことから本研究では Position Index は右視野と左視野で対称であると考え、右視野のみを実験対象として Position Index を求め、それを左視野に線対称移動することで全視野における Position Index を提案することにした。

$$\text{Position Index} = \frac{\text{テスト光源輝度}}{\text{基準BCD輝度}} \quad \dots\dots (1)$$

3.4 上下視野領域のグレア感の検討

3.4.1 実験条件・手順

右視野に関して上下視野においてグレア感の違いを明らかにするため、テスト光源の位置は、方位角 0~90 度、水平視線上方角 ±90 の計 69 ポイントで測定を行った。テスト光源で提示する光源の輝度は、前実験と同様の 13 条件である。評価方法に関しては、前実験と同様である。また被験者も同様に学生 20 名 (男性: 10 名, 女性: 10 名, 平均: 21.3 歳) である。

3.4.2 実験結果

被験者 20 名による不快グレア評価判断基準の輝度から求めた Position Index の平均値を図 2 に示す。

図 2 上下視野領域の Position Index の検討結果

Fig.2 Results of Position Index in the upper and lower visual fields.

図 2 から既往研究と同様に基準光源からテスト光源が離れるにつれて Position Index の値が高くなっていることが分かる。また同様に上部視野よりも下部視野の方がグレアを感じやすく、Position Index の値が小さくなった。視野領域であると考えられる水平視線上方角 -80~50 度、方位角 0 度~60 度までは、Position Index の値も小さく変化が穏やかである。

4. 既往研究との比較

ここでは、本実験と類似する実験条件を用いた 2 つの既往研究を対象として本実験結果と比較した。図 3 に、本実験結果と既往研究との方位角 0 度の Position Index の値をプロットし、近似曲線を比較した。本実験と Luckiesh-Guth, 佐々木, 室井の実験結果はほぼ類似していると考えられる。これらの類似点および相違点の原因について、以下に詳細に調べることにした。

図3 上部視野における方位角0度の比較

Fig.3 Comparison of declination angle 0° in upper part field of vision.

4.1 Luckiesh-Guth らとの比較

Luckiesh-Guth と本実験との Position Index の関係性について同範囲（水平視線上仰角0度～53度）において比較を行った。その結果を図4に示す。

図4 本実験と Luckiesh-Guth との関係性

Fig.4 Correlation between Luckiesh and Guth and this experiment.

図4の縦軸は今回の実験で得られた実験結果を基に、各方位角における近似曲線を求め、その近似式より算出した Position Index であり、横軸は Luckiesh-Guth の Position Index を示している。図4から本実験と Luckiesh-Guth のデータを比較した結果、相関係数が0.99となり、相関が高いことが判明した。

次に、本実験と Luckiesh-Guth のデータの間範囲における Position Index を図5に示す。図5の実線は、本実験の Position Index を、破線は Luckiesh-Guth の Position Index を示す。

図5から、本実験では、中心視から斜めのラインでまぶしさを感じやすいという結果が出ているのに対し、Luckiesh-Guth ではまぶしさを感じにくくなっている。また、各曲線の間隔についても本実験と Luckiesh-Guth の研究であり差が見られないことからまぶしさを感じる比に関して同じ傾向があると考えられる。

本実験と Luckiesh-Guth の研究の Position Index が4の曲線を取り上げて比較すると、Luckiesh-Guth は $V/R \approx 0.7$, $L/R \approx 2.5$ のところで Position Index の値が4であるのに対して、本実験では、 $V/R \approx 1.2$, $L/R \approx 2.5$ のところで、Position Index 値が4となっている。これは、市川ら⁷⁾が示すように、もともと不快グレアを感じにくい日本人は、基準BCD輝度が高いためと考えられる。

図5 本実験と Luckiesh-Guth の Position Index の比較

Fig.5 Comparison between Position Index of this experiment and Position Index of Luckiesh and Guth.

4.2 佐々木らとの比較

本実験結果と佐々木らの結果の比較を行った。その結果、前述した Luckiesh-Guth と同様に、本実験の方が全体的に Position Index は小さくなった。佐々木らは Luckiesh-Guth の結果と近いが、佐々木らの研究と本実験のデータの違いは実験方法にあると考えられる。本実験では、基準光源の基準BCD輝度を測定する実験を行い、結果より求めた基準BCD輝度を、基準光源の輝度として実験を行っている。その為、被験者全員が同じ輝度の基準光源で実験を行ったのに対して、佐々木らは、この方法ではデータのばらつきが大きくなるということを理由に、被験者ごとにBCD輝度を求め基準光源とする方法をとっている。その結果、実験結果自体にばらつきは見られるものの Position Index に換算すると傾向が一致するためにこのような方法をとっている。この実験方法の違いが結果の違いにつながったと考えられる。

本実験と佐々木らの同範囲における Position Index の比較を図6に示す。本実験の Position Index は、どの方向においても、佐々木らの Position Index よりも低い値を持つが、両研究の垂直方向(下)の曲線を比較すると、約30度付近で Position Index が低くなり、その後、角度が増すにつれて Position Index は高くなる傾向は共通する。しかし本実験の垂直方向(上)に関しては約30度付近まで一定の値をとってその後上昇する曲線に対して佐々木らは、なだらかな曲線である。

図6 本実験と佐々木らの Position Index の比較

Fig.6 Comparison between Position Index of this experiment and Position Index of Sasaki and Muroi.

図7 全視野の Position Index 図

Fig7 Chart for determining the Position Index of sources located at various positions in the whole visual field.

5. 全視野における Position Index の提案

全視野に対する Position Index の実験結果から各方位角における近似式を算出した。図7に近似式から算出した Position Index 図を示す。

図7から上部視野と下部視野とは Position Index は異なり、上部視野の Position Index は、下部視野の Position Index より大きくなっていることが分かる。また、その差は、光源の位置が視線から遠いほど大きい。

6. おわりに

本研究では、全視野の Position Index を明らかにするために基準とする光源の BCD 輝度を求め、左右視野領域・上下視野領域の Position Index を求める実験を行った。

基準 BCD 輝度の実験結果では、Luckiesh-Guth よりも大きな値である 5000cd/m²を基準 BCD 輝度とした。

次に、代表的な位置に対して、左右視野領域における Position Index を求める実験を行った結果、両者に大きな差異はなかった。そのため、Position Index は左右対称とみなし、右視野領域のみを実験対象として Position Index を求め、それを左視野に線対称移動することにより、全視野における Position Index を提案することとした。

実験の結果、既往研究と同様に、基準光源からテスト光源が離れるにつれて Position Index の値が高くなっている。また同様に上部視野よりも下部視野の方がグレアを感じやすく、Position Index の値が小さくなることを明らかにした。

さらに、本実験で求めた Position Index と既往研究の Position Index との比較検討を行った。どの既往研究の Position Index よりも本実験の Position Index は、絶対値そのものは低いものの、両者の傾向に共通する点が多いことから、本実験で提案する全視野における Position Index の妥当性が確認できたと考える。

最後に、原稿の作成に当たってレンセラー工科大学ライティングリサーチセンターの明石行生氏にご助言をいただいた。記して謝意を表する。

参考文献

- (1) Luckiesh, M and Guth, S.K.: Brightness in Visual Field at Borderline Between Comfort and Discomfort (BCD), J. illum. Eng. Soc, 44-11, pp. 650-670 (1949).
- (2) P. Ngai and Boyce: The Effect of Overhead Glare on Visual Discomfort, J. Illum. Eng. Soc, 29-2, pp. 485-500 (2001).
- (3) 山子幹雄, 富岡大嗣, 金谷末子: 屋内照明器具による Overhead Glare に関する検討 (第1報), H14 年度照学全大, p. 220 (2002).
- (4) 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, 63-9, pp. 542-548 (1979).
- (5) Iwata, T and Tokura, M: Position Index for a glare source located below the line of vision, Light. Res. Technol., 29-3, pp. 172-178 (1997).
- (6) 金源雨, 古賀靖子, Odalea B. C. Meo: 全視野におけるポジション・インデックスに関する研究, 照学誌, 88-11, pp. 847-852 (2004).
- (7) 市川宏, 長南常男: まぶしさの快不快限界線 (BCD) に関する基礎的研究, 照学誌, 48-10, pp. 476-481 (1964).

(受付 2005 年 9 月 26 日/採録日 2005 年 12 月 2 日)

石倉 知永子 (准員)

金沢工業大学

〒921-8812 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1

1982 年生まれ。2005 年 3 月金沢工業大学工学部居住環境学科卒業、同年 4 月同大学大学院工学研究科建築学専攻博士前期課程入学、現在に至る。

上山 大輔 (非会員)

奥村土木興業株式会社

〒601-8381 京都市南区吉祥院西ノ茶屋町 70

1982 年生まれ。2005 年 3 月金沢工業大学工学部居住環境学科卒業、同年 4 月奥村土木興業株式会社に入社、現在に至る。

澤田 朋克 (非会員)

第一工業株式会社

〒100-0005 東京都千代田区丸の内 3-3-1

1981 年生まれ。2005 年 3 月金沢工業大学工学部居住環境学科卒業、同年 4 月第一工業株式会社に入社、現在に至る。

金谷 末子 (専門会員)

金沢工業大学

環境・建築学部建築都市デザイン学科

〒921-8812 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1

1939 年生まれ。1962 年同志社大学工学部電気工学科卒業。同年松下電器産業株式会社に入社、照明研究所に配属。1998 年金沢工業大学教授。博士 (工学)。現在、同大学 環境・建築学部建築都市デザイン学科で光環境の評価、加齢と光環境、景観照明等の研究と教育に従事。照明学会理事 (1995-1997)、日本照明委員会副会長 (2003-)、1998 年照明学会賞、2003 年 CIE Award 受賞。照明学会、日本照明委員会、日本建築学会、日本色彩学会、日本人間工学会、日本視覚学会 各会員。