顔の輝度と半円筒面照度の関係

正会員 川上 幸二*

The relationship between the luminance of the human face and the semi-cylindrical illuminance.

Kohji Kawakami (Member)

(Iwasaki Electric Co., Ltd.)

ABSTRACT

The human face has been taken up as one of the main visual targets and the provision of its brightness has been a theme. There are some studies with regard to the necessary luminance of the face. However, with lighting design there are many cases where it is difficult to deal with the luminance, therefore it is desirable to convert this to illuminance, which is easier to work with.

Before now, the face was assumed to be a perfect reflecting diffuser and a method whereby this was converted to vertical illuminance was employed.

From the results of experiments regarding human identification in residential areas, J.F. Caminada et al have concluded that the semi-cylindrical illuminance is more pertinent than vertical illuminance and hemispherical illuminance. From the results of experiments in a dark room, the author has concluded that we can provide for brightness of the face by semi-cylindrical illuminance under the condition where an excess of shadow does not occur.

In this paper, the author investigates the influence of shadow when converting luminance to illuminance in real environments (general indoors, underground passages, parks and residential areas at night), and found the following:

(1) Within these kinds of environments and without regard for the influence of shadows, the face can be assumed to be a perfect reflecting diffuser and converted by means of the formula.

$$Esc \approx \pi \cdot Lf / \rho$$

where Esc : semi-cylindrical illuminance.

Lf : luminance of the human face

ρ : reflectance ($\rho \approx 0.3$)

(2) Semi-cylindrical illuminance is more pertinent than vertical illuminance in real environments.

1. ま え が き

ヒューマンコミュニケーションという観点から照明設計の主要な視対象の1つとして、人の顔が重要視されるようになり、道路照明基準 (JIS Z 9111) や照明学会の事務所照明基準などに顔の照度が規定されるようになった。しかし、顔の識別性と深く関係する量は、基準に規定されるような照度ではなく顔の輝度であるとされている。それにもかかわらず照度が用いられる理由は、実際の照明設計では、輝度は取り扱いが複雑で非実用的であるのに対し、照度は計算や測定など取り扱いが容易であるからである。

一方、顔の識別性とその輝度に関係する研究¹⁾は、既にいくつか報告されているが、顔の輝度を照度に換算する方法については

ほとんど研究がない。もし、顔の輝度との間に単純な関係が見出だせれば、実用上非常に有益なことであると言えよう。

これまで事務所照明基準などでは、顔を完全拡散面であると仮定し、顔の輝度を鉛直面照度に換算する方法が採られてきた。同様に道路照明基準 (JIS Z 9111) でも、高さ 1.5 m の鉛直面照度で規定している。

一方、J.F. Caminada らは²⁾輝度を用いず、照度と顔の識別性との関係を街路でフィールド実験し、鉛直面照度や半球面照度よりも半円筒面照度の方が顔の識別性との相関が高いとした。これは「街路照明ガイド」(CIE TC 4-03: 都市照明技術委員会)への半円筒面照度導入の基礎となっている。

筆者は、先に³⁾相互反射が無視できる実験室で、1～2個の点光源で照明した場合における顔の識別性と輝度および照度の関係について実験し、鉛直面照度よりも半円筒面照度の方が適切であるが、顔の輝度と半円筒面照度との間に単純な関係が成立するには、顔に生じる過度の陰影が問題になることを明らかにした。す

* 岩崎電気株式会社技術部技術開発課

本論文の一部は末尾文献(3)(4)(5)(7)にて発表している。

なわち、顔の陰影が過度にならない範囲であるならば、顔の明るさを半円筒面照度で規定できるとした。

このことから、「実際の空間では輝度から照度への換算に陰影がどの程度の影響をおよぼすのか」あるいは「実際の空間で半円筒面照度と鉛直面照度との間に有意な差があるのか」が次の課題として浮かび上がってくる。

そこで筆者は、実際の室内空間³⁾、地下街や地下通路⁴⁾、公園や街路⁵⁾において、陰影が生じている状態での人の顔の輝度と、その位置における半円筒面照度および鉛直面照度を測定し、照度と輝度との関係を分析すると共に、実際の環境下において半円筒面照度と鉛直面照度との間に有意な差があるかどうかを調べることにした。

2. 室内での輝度と照度との関係

2.1 測定方法

測定に使用した室空間は、間口 12.3 m 奥行き 8.2 m 高さ 2.6 m で、天井の反射率約 80%、床の反射率約 30% であり、壁面が約 70%、約 50% および 10% 以下に変えられる。照明器具は蛍光灯ランプ 40 W (白色) × 2 灯用埋め込み下面開放型が、A 断面方向 3.4 m ピッチ、B 断面方向 1.7 m ピッチで 16 台設置されており、床面の平均照度は約 700 lx が得られている。

顔の輝度および照度測定ポイントは、図 1 に示す黒丸印の室コーナー付近の 12 か所で A および B の 2 方向とした。測定高さは図 2 に示すように、座っている女性の顔の高さ (約 1.2 m) とした。

顔の輝度は、光電子増倍管を用いた輝度計で、5 m 距離からマスク 1 度で鼻を中心として測定した³⁾。以降この平均輝度を顔の輝度と呼ぶものとする。また、鉛直面照度は汎用の照度計で、半

図 1 室内での測定ポイント

図 2 室内での測定状況

図 3 半円筒面照度計

図 4 顔の輝度 (L_f) と半円筒面照度 (E_{sc}) との関係 (室内)

図 5 顔の輝度 (L_f) と鉛直面照度 (E_v) との関係 (室内)

円筒面照度は専用の照度計（図 3）で測定した。

2.2 測定結果

測定データは、測定点 12 ポイント 2 方向の 24 個を壁の反射率 3 種類についてそれぞれ測定し、合計 72 個を得た。

図 4 は、顔の輝度 (L_f) と半円筒面照度 (E_{sc}) の関係を示したもので、横軸に顔の輝度を、縦軸に半円筒面照度を取り、72 データを散布したものである。ここに太い実線は、顔の輝度と半円筒面照度の相関関係を求めたときの回帰直線であり、太い破線は半円筒面照度と顔の輝度との比の平均値 ($\bar{x}$) を傾き 45 度で示したもので、細い破線は平均値から標準偏差 ($\pm\sigma$) 分だけずれた範囲を示している。図 5 は同様に顔の輝度と鉛直面照度 (E_v) との関係を示したものである。

3. 地下街・地下通路での輝度と照度との関係

3.1 測定方法

測定は、東京都内（有楽町・日比谷・大手町・八重洲など）の地下通路および地下街の 12 か所で行った。図 6 はその例を示したものである。

顔の輝度および照度の測定ポイントは、照明器具の取付間隔が比較的狭いことから図 7 に示す 4 ポイントとし、測定高さは立っている人の顔の高さ（約 1.5 m）とした。

測定計器および測定方法は、室内での輝度および照度の測定に同じである。

3.2 測定結果

測定データは、測定か所 12 対象について、それぞれ測定点 4 ポイントの合計 48 個を得た。

図 8 は、地下街・地下通路における顔の輝度 (L_f) と半円筒

図 7 地下街・地下通路での測定ポイント

図 8 顔の輝度 (L_f) と半円筒面照度 (E_{sc}) との関係（地下街・地下通路）

図 6 測定した地下街・地下通路の例

図 9 顔の輝度 (L_f) と鉛直面照度 (E_v) との関係 (地下街・地下通路)

図 11 公園・街路での測定ポイント

図 10 測定した公園・街路の例

面照度 (E_{sc}) の関係を示したものであり、図 9 は、同様に顔の輝度と鉛直面照度 (E_v) との関係を示したものである。なお、図中に示した記号等は図 4 に同じである。

4. 公園・街路での輝度と照度との関係

4.1 測定方法

測定は、東京都内の街路 (3 カ所)、公園園路 (2 カ所) および住宅都市整備公団居住地域内の歩行者道路 (3 カ所) の合計 8

図 12 顔の輝度 (L_f) と半円筒面照度 (E_{sc}) との関係 (公園・街路)

図 13 顔の輝度 (L_f) と鉛直面照度 (E_v) との関係 (公園・街路)

カ所で行った。図 10 はその例を示したものである。

顔の輝度および照度の測定ポイントは、照明器具の取付間隔が比較的広いことから図 11 に示す 4 ポイントを基本とし、道路幅員が 4 m 以上の場合には道路際の 4 ポイントを付加した。なお測定高さは立っている人の顔の高さ（約 1.5 m）とした。

測定計器および測定方法は、室内での輝度および照度の測定に同じである。

4.2 測定結果

測定データは、測定カ所 8 対象について、それぞれ測定点 4 ～ 8 ポイントの合計 48 個を得た。

図 12 は、公園・街路における顔の輝度（ L_f ）と半円筒面照度（ E_{sc} ）の関係を図示したものであり、図 13 は、同様に顔の輝度と鉛直面照度（ E_v ）との関係を示したものである。なお、図中に示した記号等は図 4 に同じである。

5. 考察

5.1 半円筒面照度と鉛直面照度との比較

顔の輝度から照度に換算するのに好ましい関係は、測定データの散布図（図 4 と図 5、図 8 と図 9 および図 10 と図 11）の太い実線と太い破線が一致することであり、細い破線で囲まれた範囲が狭いことである。

まず顔の輝度と半円筒面照度、および顔の輝度と鉛直面照度の相関関係を比較してみると、「室内」では 2 つの相関係数間の有意水準は 2 % 以下であり、「公園・街路」では 0.5 % 以下であった。「地下通路と地下街」では、2 つの相関係数間には有意な差はないが、回帰定数の傾きについては 5 % 以下で有意差がある。すなわち、半円筒面照度の方が傾きが 0.98 と 1 に近くリニアな対応があると言える。

次に、照度／輝度比の平均値（ $\bar{x}$ ）を傾き 45 度（図中の太い破線）で示したものと、回帰直線（図中の太い実線）との一致具合を比較すれば、「室内」「地下街・地下通路」「公園・街路」いずれの場合にも半円筒面照度の方が良好であることがわかる。

さらに、照度／輝度比の平均値の標準偏差（ σ ）を比較すれば、半円筒面照度の方がバラつきが少なく、顔の輝度を照度に換算するのに有利であることがわかる。

このように、本測定データから鉛直面照度と半円筒面照度を比較すれば、半円筒面照度の方が優れており、半円筒面照度の理論的な妥当性を裏付ける結果が得られた。

5.2 陰影が及ぼす影響

顔に生じる陰影が、顔の輝度から照度に換算するときに及ぼす影響は、照度／輝度比（ E/L 比）の変化で表すことができる³⁾。

表 1 は、筆者が前回報告した暗室での実験データを、半円筒面照度／顔の輝度比として、仮想点光源の照射方向毎に整理した

表 1 仮想点光源による半円筒面照度／顔の輝度比（相互反射が無視できる暗室でのデータ）

水 平 角	平 均 値	標準偏差	サンプル数
0°	10.0	3.33	200
30°	20.3	7.19	
60°	32.6	15.77	
90° (1:0)*	45.2	16.49	
± 90° (1:1)*	11.3	2.39	
± 90° (1:2)*	12.1	2.48	

注) * () 内数値は左右の光量比を示す。

表 2 測定データの分析結果のまとめ

測定場所	E/L 比	標準偏差	相関係数	傾 き	定 数	有意水準	サンプル数
一般室内	E_{sc} 11.1	1.27	0.93*	0.904	-0.878	2% 以下	72
	E_v 11.5	1.80	0.83*	0.717	-0.371		
地下通路 地下 街	E_{sc} 10.3	1.40	0.98	0.981*	-0.966	5% 以下	48
	E_v 11.2	2.11	0.97	0.862*	-0.727		
公園街路	E_{sc} 11.4	2.46	0.96*	1.041	1.066	0.5% 以下	48
	E_v 12.3	3.64	0.86*	1.112	1.119		

注 1) 傾きおよび定数は $\log E_{sc} = a \cdot \log L_f + b$ なる回帰式における a および b であり、定数 (b) は $L_f = 10^\circ$ のときの $\log E_{sc}$ である。
注 2) * 印は半円筒面照度（ E_{sc} ）と鉛直面照度（ E_v ）に係した照度／輝度比の相関係数又は回帰係数（傾き）の間に有意水準が存在することを示す。またそのレベルを有意水準の欄に示す。

おしたものである。水平角 0 度（顔の正面方向）から 90 度（顔の真横方向、左右の光量比 1 : 0）までのデータは、光源 1 個を仰角 45 度方向から照射した場合のもので、水平角が大きくなるほど陰影が強くなり、それに伴って照度／輝度比の平均値と標準偏差が増加している。± 90 度（左右の光量比 1 : 1 および 1 : 2）は、光源 2 個を両横方向、仰角 45 度方向から照射した場合のもので、水平角 0 度（顔の正面方向）のデータに近似し、陰影が弱いことを表している。

表 2 は、今回測定した実際の空間でのデータを整理し、まとめたものである。なお表中の、傾きおよび定数は $\log E_{sc} = a \cdot \log L_f + b$ なる回帰式における a および b であり、定数 (b) は $L_f = 10^\circ$ のときの $\log E_{sc}$ である。

ここで照度／輝度比に着目すれば、これは表 1 の 0 度および ± 90 度（左右の光量 1 : 1 および 1 : 2）の値に近似している。また、標準偏差も実際の空間の方が小さく、特に過度の陰影が生じる可能性があった公園・街路でも、データのバラつきがやや大きくなった程度に過ぎなかった。

このことから実空間では、暗室において 1 個の仮想点光源によって作り出されるような「過度の陰影」が生じることはまれであると推測できる。

一方、鉛直面照度と半円筒面照度の照度／輝度比データが似ている理由について推測すれば、これは「空間上の任意の 1 点における総ての方向（水平角 360 度）の鉛直面照度および半円筒面照度の平均値は等しく、平均円筒面照度になる」ので、陰影の影響が少なくなるほど等しくなってくるからと考えられる。今回の測定結果からは鉛直面照度の方がバラつきが大きく、陰影の影響を受けやすいと言えよう。

5.3 顔の輝度から照度への換算

照度／輝度比の平均値（ $\bar{x}$ ）に着目すれば、これは顔の反射率（ ρ ）を 30 % とした時の $\pi/\rho \approx 10.5$ に近似した値をとっていることがわかる。すなわち、顔の輝度（ L_f ）から半円筒面照度（ E_{sc} ）への換算は、筆者が検討した範囲においては陰影の影響を無視することができ、(1) 式で換算しても実用上問題がないと言える。

$$E_{sc} = \pi \cdot L_f / \rho \cdots \cdots \cdots (1)$$

ここに E_{sc} : 半円筒面照度
 L_f : 顔の輝度
 ρ : 顔の反射率

6. 結 論

実際の「室内、地下街・地下通路、公園・街路」における、陰

影が生じている状態での人の顔の輝度と、その位置における半円筒面照度および鉛直面照度の測定結果を分析し、次の結論を得た。

- (1) 筆者が測定した範囲においては、半円筒面照度は鉛直面照度よりも顔の輝度との相関が高い。
- (2) 顔の輝度と半円筒面照度との関係は、本研究の範囲では陰影の影響がほとんど無視でき、(1)式で近似できる。
- (3) 人の顔が重要な視対象となる公共空間などの明るさは、鉛直面照度よりも半円筒面照度で規定するのがより適切である。

7. あ と が き

今後、半円筒面照度を実用的に用いるには、照明計算方法とその計測方法が課題となろう。

半円筒面照度の計測は、本研究に用いたような専用の照度計を用いる以外の方法として、互いに直行する4方向の鉛直面照度より推定することができる^{6),7)}。この推定値の妥当性については別の機会に譲りたい。

逐点法による照度計算は、パーソナルコンピュータが普及している現在では、鉛直面照度と同様に法線照度から簡単に求めることができる。一方、光束法による計算はIESコード(1973)⁸⁾に紹介されている平均円筒面照度を求める方法が、そのまま半円筒面照度に適用することができる⁷⁾。これは、空間の任意の1点における水平方向の光の総量は平均円筒面照度であり、半円筒面照度や鉛直面照度はその表現(重み付け)方法が異なるに過ぎない

からである。

従来から用いられている「鉛直方向の光の量」としての水平面照度に対し、それと直行する「水平方向の光の量」を上手に照明設計に取り入れることにより、光環境の設計がより適切に行えるようになろう。

参 考 文 献

- (1) たとえば Fischer, D.: Lighting Research and Technology 2-3 (1970) 150
- (2) Caminada, J.F. and Van Bommel, W.F.W.: New Lighting considerations for residential areas, *Internat. Lighting Rev.* 3 (1980) 69
- (3) 川上: 表情の識別と半円筒面照度の関係, 照学誌 70-6 (昭61年) 282
- (4) 川上, 蒲生, 飯塚: 公共空間における表情の識別, 照全大 No. 73 (昭63年)
- (5) 川上, 飯塚, 蒲生, 佐々木: 顔の輝度と半円筒面照度の関係 照全大 No. 53 (昭64年)
- (6) Fred HAEGER, Berlin: LICHTTECHNIK • 26. Jahrgang Nr. 9/1974
- (7) 川上: 半円筒面照度の屋内照明設計への応用, 光放射の応用・関連計測研究会, AR-89-8
- (8) IES Code for interior lighting (1973) 79

(受付 1990 年 11 月 18 日)