光環境における輝度の対比の定量的検討法

専門会員 中 村 芳 樹 (東京工業大学)

A Technique for Quantitatively Examining Luminance Contrast in Lighting Environment

Fellow Member Yoshiki Nakamura (Tokyo Institute of Technology)

ABSTRACT

Although it is highly desirable to be able to examine the contrast of luminance quantitatively in order to design an appropriate brightness pattern, conventional luminance contrast expressing methods can not be applied to the actual complicated luminance distribution. A previously proposed analysis method for expressing the luminance distribution was used to develop a technique for quantifying the contrast of luminance in an actual complicated luminance distribution. Application of this technique showed that it works well to actual distributions.

KEYWORDS : contrast, luminance contrast, lighting environment, quantitative representation, filtering

1. はじめに

光環境の計画、特に商業的な空間における照明計画では、空間内に明暗の変化を意図的に作り出し、何らかの演出的な要素を含んだ計画を行うことがしばしばである。照明計画の件数だけからいえば、均一に明るいことを第一の目的とした計画よりも、むしろ明暗の変化を意図的に作り出したものの方が多い。

一方、これまで均一照明を目指してきたオフィスにおいても、均一な照明がベストであるとは限らないと考えられはじめている。明視を確保するだけの照明から、プラスアルファとしての要素を取り込む必要性が認識され、適度な不均一さを取り込んだ照明計画も散見されるようになった。状況にあった明暗の変化を意図的に作り出すことは、従来以上に照明設計のもっとも重要な要素の一つとなりつつある。

明暗の変化を積極的に取り込んだ照明計画では、多くの場合、人の視線をそこに誘導したいという対象物があり、それを周辺よりも明るく照明することによって目立たせ、人の注意を引き寄せる。そのような対象物に与えられる照明は、周辺に比べて十分明るくなければならないが、かといって極端に明るすぎると、空間内の明るさ変化のバランスが崩れてしまう。

あるいは逆に、周辺よりもやや暗い部分を作り出すことにより、落ち着き感を醸し出したり、明るい部分と対比させて明暗を強調したりする場合もある。そのような場合もまた、それらの暗い部分は適度に暗いことが重要なのであって、暗すぎではせっかくの工夫が台無しになる。

明暗の変化を積極的に取り組んだ照明計画では、このように、周辺の明るさとの関係を考慮しながら、明るく照らす部分や暗く残す部分の明るさレベルを微妙に調整することが必要であり、その調整が言わば、照明デザイナーや照明コンサルタントの腕の見

せ所であると言えるだろう。

このような明るさの検討は、対象物の反射率が異なったり、物体の向きが異なったりすると同じ照明を与えてもその明るさが異なることから、多くの場合輝度を用いて行われる。そしてその検討を定量的に行おうとすれば、対象物の輝度と周辺の輝度との比、あるいは対象物輝度と背景輝度との対比を求めることになる。ところがこれらの物理量を求めることは、対象物やその周辺が複雑な輝度の分布を持っているため難しく、結局、定性的な検討のみに止めたり、極端に単純化した状況を想定した上で定量的な検討を行なうことになる。

このような現状を鑑み、筆者は複雑な輝度分布を定量的に検討する方法を提案した¹⁾²⁾。しかしそれらの論文では、その方法論を主な論点としたため、提案した輝度分布の解析法が、照明計画でどのように応用できるかを具体的に示さなかった。そこで本稿では、提案した解析法を応用することにより、新たに、現実の光環境において輝度の対比を検討する方法を提案する。

2. 輝度の対比を検討するための要件

まず、輝度の対比を検討する具体的な事例として、図1の(a)、(b)に示すような、机にある木彫りの人形に施されたスポット照明の効果を検討する場合を想定する。(a)、(b)とも、机には天井に据え付けられた白色蛍光灯によって360 [lx] の水平面照度が与えられ、左上前方から照明されたスポットライトによって人形の顔面には250 [lx] の鉛直面照度(手前向き)が与えられている。(a)では人形の背景に植栽がおかれているため輝度の対比が大きく、(b)では背景に明度の高いポスターが見えているため輝度の対比が小さくなっている。

輝度の対比は、(1)輝度比(=対象物輝度/周辺輝度)、もしくは、(2)輝度対比(=(対象物輝度-背景輝度)/背景輝度))で定量的に

(a)背景に植栽がある場合

(b)背景にポスターが見える場合

図1 輝度の対比を検討する画像

Fig. 1 Images for examining contrast of luminance.

示されることが普通である。これらを算出するためには、対象物である人形の輝度と背景や周辺の輝度を得ることが必要となるが、図1の画像から分かるように、対象物である木彫りの人形の表面、背景、周辺にはそれぞれ複雑な輝度分布が生じているため、代表的な点を一つだけ取り上げて検討するというわけにはいかず、一般的には、人形の表面、背景、周辺と思われる領域を設定してその領域内の輝度を平均し、人形の表面輝度、背景輝度、周辺輝度とする。

このようにして求められた平均輝度の値は、設定された領域の範囲によって変化することは言うまでもないが、この領域を客観的に設定することはむずかしい。たとえば図1の人形の輝度を求める場合を考えてみると、人形と背景の輝度の対比は、主に人形の明度の高い顔面部分と背景との対比であると考えられるが、人形と背景という言葉だけから考えると、人形全体の平均輝度を求めた方が良いような印象も受ける。対象物がもう少し大きく、一部に照明が施されているような場合にはもっと判断が難しく、どの部分を対象領域に含めるべきかは主観的に判断せざるを得なくなる。さらに背景領域の判断に至っては、範囲を決める判断基準が全くない。

このような場合の一つの解決方法として、単純に領域内の平均をとるのではなく、重み付け平均をとるという方法も考えられる。通常、対象部分と周辺部分の境界は微妙なものであり、この領域の輝度の値は、輝度の対比に対する寄与は小さいと考えられるから、このような境界の重み付けを小さくすることは理にかなっているし、領域の取り方が少々異なっても求められた対比の量の違いは小さくなる。しかしこのような重み付け平均を考えるとすると、どのような重み付けを採用すべきかという問題が新たに生じることになる。

輝度の対比を定量的に検討する際のもう一つの問題は、輝度分布を測定する解像度の問題である。輝度分布はデジタル画像として測定されることになるが、測定された各ドットの輝度の値は測定装置の解像度に応じて既に平均化された値である。同じ対象物であっても、解像度を高くして測定すると、一般に輝度変化のレンジは大きくなる。

このように考えていくと、輝度比や輝度対比を定量的に検討す

るためには、(1)輝度分布を測定する解像度を設定し、(2)検討する領域の大きさを客観的に決定し、(3)領域内の輝度を代表する値を算出する、という三つの段階に対して、それぞれ適切な方法が示されなければならないことがわかる。

3. フィルタリングと輝度の対比

輝度分布の画像は、さまざまな強さを持ったさまざまな粗さの2次元の輝度変化が合成されたものであると考えることができ、それぞれの輝度変化は2次元の三角関数の形で表すことができる。どのような粗さの輝度変化が、どれだけの強さを持ってその輝度分布を構成しているかを知りたい場合、三角関数として表された輝度変化の振幅を知ればよく、輝度分布画像をフーリエ変換してパワースペクトルをとることにより、それを知ることができる。一方、ある特定の粗さの輝度変化が、どの部分にどれだけの強さで存在するかを知りたいければ、その粗さの輝度変化だけを通過させるフィルタをかければよく、その操作をフィルタリングと呼ぶ³⁾。

筆者は、特定粗さの輝度変化だけを通過させる理想的なフィルタを提案し、それを用いて複雑な輝度分布を解析する方法を提案した¹⁾。検出しようとする輝度変化の周波数を f_0 [cycle/deg] (すなわち波長を $1/f_0$ [deg]) とすると、筆者らの提案したフィルタ関数は、平面上の位置を x, y 、横方向、縦方向の周波数成分を u, v とすると、

周波数領域では

$$\tilde{N}(u, v) = \frac{(u^2 + v^2)}{f_0^2} \exp\left(1 - \frac{(u^2 + v^2)}{f_0^2}\right) \dots\dots\dots (1)$$

実領域では

$$N(x, y) = \pi^3 f_0^4 \left[\frac{1}{\pi^2 f_0^2} - (x^2 + y^2) \right] \exp[1 - \pi^2 f_0^2 (x^2 + y^2)] \dots\dots (2)$$

と表される。

輝度分布画像をフィルタリングするには二つの計算方法ある。一つは、輝度分布画像をフーリエ変換し、その結果に式(1)を掛け、その後逆フーリエ変換を行うという方法であり、もう一つは、輝度分布画像に対し式(2)を用いてたたみ込みと呼ばれる計算を行う方法である。

図2 フィルタ関数 N
Fig. 2 Filter function N .

ここで後者の方法でフィルタリング計算を行う場合を考えてみる。

離散的に測定され輝度分布画像 $I(k,l)$ に離散的に表現したフィルタ N をたたみ込む計算は次のように表される。

$$I'(m,n) = \sum_k \sum_l I(k,l) \bullet N(m-k,n-l) \dots\dots\dots (3)$$

フィルタリングの操作では、このような計算を全ての点に対して行うが、ここでこの計算をある特定の点 (m,n) だけに注目したものであると考えると、この計算は、点 (m,n) の周囲の輝度を、フィルタ関数によって重み付けし合計するという操作と同じであることがわかる。筆者が提案した N フィルタは、図2(b)に示すように $(0,0)$ を中心とした点対称な分布を持ち、中心部分が正、周辺部分が負となる関数である。したがってこの計算は、点 (m,n) を中心とした領域、すなわちフィルタ関数の値が正である領域の重み付け合計と、周辺領域、すなわちフィルタ関数の値が負である領域の重み付け合計との差を取るという操作と同じである。そして N フィルタは全領域で積分すると0となるという性質を持つことから、この点の周囲に輝度変化がなく一定の値をとる場合、その計算結果は0となる。

このように、フィルタリングの計算は、輝度分布の画像が輝度の絶対値で表現されている場合、中心領域と周辺領域の輝度の差を求めていることになり、輝度分布画像が対数で表現されている場合は、中心領域と周辺領域の輝度の比を求めていることになる。この両者を合わせて、輝度の対比を算出しているという表現を使うとすると、フィルタリングの計算は、画像上の全ての点に対して、その点を中心にした輝度の対比を算出していることになり、その際の対象領域と周辺領域が、図2(b)に示すような関数として定義されていると言うことになる。

このような対象領域と周辺領域の設定がもっとも適切かどうかについては今後検討する必要があるものの、検討する領域の広さを客観的に定める方法としては理論的な背景があることから、 N フィルタによるフィルタリングを応用して輝度の対比を定量化すれば、前章で述べた輝度の対比を定量的に検討する要件の内、(2)と(3)についてはクリアできる可能性がある。

次に、 N フィルタによるフィルタリングを実際に計算しようとすると、 N フィルタ関数が局在してはいるものの無限の広がりを持ち、厳密な解を求めることができないことから、フィルタ関数を何らかの形で近似しなければならない。 N フィルタ関数のようなバンドパスフィルタを近似する場合、周波数毎の重み付けの値

図3 N フィルタと計算精度
Fig. 3 N -filter and calculation precision.

がある値より小さいものを無視するという方法をとることが通例で、具体的には、図3のAより低い周波数やBより高い周波数は存在しないとして計算を進める。このBを設定すること、すなわちフィルタを通過するもっとも高い周波数を設定することは、輝度分布画像に含まれていなければならないもっとも高い周波数を設定することにつながり、サンプリング定理より、輝度分布画像を測定すべき解像度が決まることになる。したがって、実際のフィルタリングの計算に当たって計算の精度を設定すれば、前章の要件(1)を満たすことになる。

このように、 N フィルタを用いたフィルタリングを応用すれば、輝度の対比を定量的に検討するための方法を提案できる可能性が高いことがわかる。

4. 輝度の対比の定量的表現法

前章で述べたように、 N フィルタを用いたフィルタリングを応用して、検討したい対象を中心に N フィルタによる重み付け加算を行うという操作を考えれば、周辺との輝度の対比を定量的に検討するための指標が導入できる可能性がある。次にこの方法で定量化される輝度の対比について考察してみる。

N フィルタの重み付けが正となる範囲は、図2(b)にあるように、検出周波数を f_0 とすると中心からの距離が $1/(\pi f_0)$ 以下の領域であり、検出周波数が決まれば一定の値となる。ここで、図4(a)のような対比を検討したい領域(対象領域)があり、その領域の中心に点 (m,n) を取り、検出周波数を変化させて N フィルタによる重み付け加算を行った場合を考えてみる。図4(b)には、検出周波数が異なった場合の N フィルタによる重み付けの変化を示す。ここでは問題を単純化するために、1次元の変化だけを取り

上げてある。

(1)に示される検出周波数が高い場合、言い換えれば検出波長が短い場合には、フィルタ関数の値は主に対象領域内で変化することから、演算結果は0に近いものとなる。また検出波長が長い(3)の場合も、演算結果は正の値となるもののその値はかなり小さい。これに対して(2)では、フィルタ関数の正となる領域と対象領域とが一致しており、この場合の演算結果は、検出波長を連続的に変化させて N フィルタによる重み付け加算を行った際の最大値となる。

検出波長を連続的に変化させて N フィルタによる重み付け加算を行ったこのような様子は、具体的には図5のように表現される。対象領域が周辺領域より明るい場合は実線で示すように、対象領域が周辺領域より暗い場合には破線のようなグラフとして表される。この変化の様子はもちろん、対象領域や周辺領域の輝度分布によって異なるが、その絶対値の最大値は一意的に決めることができる。そして、対象領域の中心点が特定できないような場合でも、中心付近の複数の点に対して上記演算を行い、各点で得られる絶対値の最大値の大きさを比較することにより、絶対値の最大値を一意的に決めることができると考えられる。

そこで筆者は、対象領域内の点に対して、検出波長を連続的に変化させて N フィルタによる重み付け加算を行った結果得られる絶対値の最大値を、対象領域と周辺領域の「主要な輝度の対比

図4 対象部分の大きさと検出波長の大きさの関係

Fig. 4 The relation between the size of a target part and the size of detection wavelength.

図5 検出波長を変化させた場合の重み付け加算結果の変化

Fig. 5 Shifts of the weighting addition result at the time of changing detection wavelength.

(principal luminance contrast)」として定義することを提案する。この方法によれば、周辺との対比を検討したい対象が明らかであれば、輝度の対比を表す一つの定量的な指標を与えることができる。

5. 計算のための数値マトリックス

実際の N フィルタによる重み付け加算には、ある計算精度を設定して計算することになるが、その際には、図3のAより低い周波数やBより高い周波数は存在しないとして計算を進めることになる。Bで示されるフィルタを通過するもっとも高い周波数からは輝度分布画像の測定解像度が(サンプリング定理よりBの2倍の周波数となる)、Aに示されるもっとも低い周波数からは重み付け加算の範囲が決められ、Bの周波数とAの周波数の関係は、計算精度に応じて設定される水平線の高さによって一意的に決まることから、具体的な N フィルタによる重み付けマトリックスは一つに決まることになる。そして検出波長を変化させながら計算を進める手順は、まず検出波長を決め、計算精度に対応した解像度で輝度分布画像を測定あるいは生成し、その画像にその計算精度より与えられたマトリックスを用いて重み付け加算を行うというものになり、そのマトリックスは検出波長によらず一種類でよい。

次に計算に必要なマトリックスを検討してみる。

表1の[B]欄には、計算精度を変化させることによって、計算対象とすべき周波数の範囲がどのように変化するかを示されている。そして必要解像度は、考慮すべき最高周波数によって、検出周波数の逆数(すなわち検出波長)に対する係数として[C]欄のように決まり、重み付け加算に必要なマトリックスの大きさは、考慮すべき最低周波数と解像度の関係から[D]欄のように決まる。ここで[C]欄に示された係数を解像度係数 α 、検出波長を L_0 とすると、具体的な必要解像度 (R) は、

$$R = \alpha \cdot L_0 \dots\dots\dots(4)$$

と表わされる。

マトリックスが大きくなると計算負荷が増大することを勘案すると、表1より、解像度係数 α の候補として0.3、0.35などが考えられ、それぞれのマトリックスの大きさは 7×7 、 5×5 となる。

加算するマトリックスは式(2)で示された関数を近似した値となるが、式(2)は積分することができ、下記のようになる。

$$\frac{1}{4} \sqrt{\pi} f_0 (y \cdot \exp(1 - f_0^2 \pi^2 y^2) \cdot \operatorname{erf}(f_0 \pi x) + x \cdot \exp(1 - f_0^2 \pi^2 x^2) \cdot \operatorname{erf}(f_0 \pi y)) \dots\dots\dots(5)$$

ここで $\operatorname{erf}(z)$ は誤差関数であり、 $\operatorname{erf}(z) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt$ と定義される。

この式(5)を用いて積分範囲を適切に設定することにより、ある解像度で輝度分布が測定された場合のマトリックスの値を求めることができる。

解像度係数 α を0.3および0.35として計算したマトリックスを表2、表3に示す。計算には Mathematica ver. 3を用い、小数点以下第5位で四捨五入した値を示している。

このマトリックスは、計算の簡便性から考えればできるだけ小さい方がよい。しかし表3では、 N フィルタの特徴であるメキシカンハット型の分布が表現されていない。一方表2では、その特徴はある程度保存されており、解像度係数 α を0.3とすることが適切であると判断される。

表2のマトリックスをもう少し厳密に考えてみると、式(2)を近

表1 計算精度とマトリックスの大きさ

Table 1 Calculation precision and the size of the matrix.

[A]欄	[B]欄		[C]欄	[D]欄
考慮する最低値	考慮すべき周波数の範囲($\times f_0$)		必要解像度(解像度係数) ($\times L_0$) [deg]	計算に必要な マトリックスの大きさ
	低周波 (cycle/deg)	高周波 (cycle/deg)		
0.01	0.0608	2.7638	0.1809	90.9643
0.05	0.1369	2.3966	0.2086	35.0125
0.1	0.1955	2.2113	0.2261	22.6214
0.2	0.2823	1.9986	0.2502	14.1606
0.3	0.3536	1.8545	0.2696	10.4879
0.4	0.4188	1.7385	0.2876	8.3031
0.5	0.4816	1.6366	0.3055	6.7960
0.6	0.5451	1.5416	0.3243	5.6566
0.7	0.6120	1.4482	0.3453	4.7331
0.8	0.6868	1.3507	0.3702	3.9334
0.9	0.7800	1.2377	0.4040	3.1737

f_0 : 検出周波数

L_0 : 検出波長 ($= 1/f_0$)

表2 重み付けマトリックス(解像度係数 $\alpha=0.3$)

Table 2 Weighting matrix(resolution coefficient $\alpha=0.3$).

0.0000	-0.0002	-0.0017	-0.0032	-0.0017	-0.0002	0.0000
-0.0002	-0.0063	-0.0353	-0.0563	-0.0353	-0.0063	-0.0002
-0.0017	-0.0353	-0.0655	0.0625	-0.0655	-0.0353	-0.0017
-0.0032	-0.0563	0.0625	0.5728	0.0625	-0.0563	-0.0032
-0.0017	-0.0353	-0.0655	0.0625	-0.0655	-0.0353	-0.0017
-0.0002	-0.0063	-0.0353	-0.0563	-0.0353	-0.0063	-0.0002
0.0000	-0.0002	-0.0017	-0.0032	-0.0017	-0.0002	0.0000

表3 重み付けマトリックス(解像度係数 $\alpha=0.35$)

Table 3 Weighting matrix(resolution coefficient $\alpha=0.35$).

-0.0016	-0.0194	-0.0402	-0.0194	-0.0016
-0.0194	-0.0953	0.0014	-0.0953	-0.0194
-0.0402	0.0014	0.7019	0.0014	-0.0402
-0.0194	-0.0953	0.0014	-0.0953	-0.0194
-0.0016	-0.0194	-0.0402	-0.0194	-0.0016

似しているための不都合が存在する。式(2)は無限大の範囲を積分をすると0となるが、表2のマトリックスの係数を足し合わせても0とはならず、これは原画像の平均値が出力に影響を与えるということを意味する。そこでマトリックスの合計を0とするための補正を加えるとすると、表2に示された値を合計し、0からの誤差の1/49をそれぞれの値から引けばよいが、その場合、1/49が割り切れないことから厳密に0とすることはできない。そこで本論文では、マトリックス係数の合計が厳密に0となることが必要と考え、表4のような重み付けマトリックスを提案することにした。その導出手続きは、マトリックスの中央を除く各係数から表2の合計の1/50を引き、中央の係数については合計の2/50を減じた。したがって、厳密には、マトリックス中央の値は表2の誤差の1/50だけ小さいことになる。このようにすれば、誤差はあるものの、

計算対象領域の平均値の影響は全くなくなる。

表4は計算の簡便性を考えた結果であり、より厳密な解析が必要な場合には、より大きなマトリックスを設定し、その係数を式(5)から導出すべきであろう。

6. 輝度の対比の検討例

次に実際の輝度分布画像を対象に、本論文で提案する「主要な輝度の対比」を実際に求め、輝度の対比の大きさを検討してみる。重み付けの計算には提案した表4のマトリックスを用いた。

図1(a), (b)のシーンを、数段階に露出を変えて撮影することにより、輝度分布画像を作成した。作成にはデジタルカメラ(SONY DSC D700)を用い、絞りを5.6で固定、シャッタースピードを1秒、1/8秒、1/60秒、1/500秒の4段階に変化させて撮影し、640×480の画像として取り込んだ。取り込まれた画像のRGB値から輝度への変換は、あらかじめ校正板を用いて作成した重回帰式を用いた。輝度の測定範囲は0.3 [cd/m²] ~ 3390 [cd/m²]、解像度は0.0375 [deg]である。

輝度の対比を検討するためには、検出波長を連続的に変化させてNフィルタによる重み付け加算を行う必要があるが、実際の分析では、ある解像度で予め測定した輝度分布画像を基に、その解像度を幾つかのドットを平均することにより徐々に落としつつ、それぞれの解像度ごとにNフィルタによる重み付け加算を行い、その解像度に対応した検出波長の輝度変化の強さ、すなわち輝度の対比を求めて行けばよい。ここでは0.0375 [deg]の解像度で測定された輝度分布画像を基に計算を進めたが、測定解像度そのままではノイズが含まれている可能性があるため、オリジナルの輝度分布画像の縦、横2ドットずつを平均したもの、すなわち解像度0.075 [deg]の輝度分布画像をもっとも高い解像度として分析し、その後表5に示すように、解像度を順次2倍に変化させて分析を行った。このような手続きで行った分析は、式(4)より、表5に示すような0.25 ~ 8 [deg]に検出波長を設定して、輝度の対比を検討したことになる。

ここではまず、輝度の対比の検討点を木彫りの人形の明度が高

表 4 修正重み付けマトリックス
Table 4 Corrected weighting matrix.

-0.000024	-0.000224	-0.001724	-0.003224	-0.001724	-0.000224	-0.000024
-0.000224	-0.006324	-0.035324	-0.056324	-0.035324	-0.006324	-0.000224
-0.001724	-0.035024	-0.065524	0.062476	-0.065524	-0.035024	-0.001724
-0.003224	-0.056324	0.062476	0.572752	0.062476	-0.056324	-0.003224
-0.001724	-0.035024	-0.065524	0.062476	-0.065524	-0.035024	-0.001724
-0.000224	-0.006324	-0.035324	-0.056324	-0.035324	-0.006324	-0.000224
-0.000024	-0.000224	-0.001724	-0.003224	-0.001724	-0.000224	-0.000024

表 5 平均したドット、解像度、検出波長の関係
Table 5 Relation of the averaged dots, resolution, and detection wavelength.

平均したドット数	2×2	4×4	8×8	16×16	32×32	64×64
解像度[deg]	0.075	0.15	0.3	0.6	0.12	0.24
検出波長[deg]	0.25	0.5	1	2	4	8

い顔の部分の中心付近に設定し、輝度の対比の検討を進めた。

明度の高い木彫りの人形の顔の部分は、作成した輝度分布画像では30～40ドット程度の大きさとなった。主要な輝度の対比は、既に述べたように、重み付けマトリックスの正の領域が対象領域と一致する付近の波長で検出されると考えられるので、

$(2/\pi) \cdot L_0 = (30 \sim 40) \times 0.0375$ [deg] (L_0 : 検出波長)
を満たすような検出波長で主要な輝度対比が検出されると考えられる。これより、検出波長が1.767～2.356 [deg] の付近で主要な輝度対比が検出されることがわかる。

表 6 に、輝度の対数で表現された輝度分布画像を使って N フィルタによる重み付け加算を行い、周辺と対象領域との輝度比を算出した結果を示す。表よりわかるように、背景に植栽がある(a)の輝度分布では、予想通り検出波長 2 [deg] で明確なピークがあり、最大値約3.46を取ることがわかる。一方、背景にポスターがある(b)の場合は全体的に値が低く、明確なピークを持たないが、検出波長 1 [deg] で最大値約1.35をとっている。

表 7 には、輝度分布を輝度の絶対値で表現し、同様の演算を行った結果を示す。この演算の場合、周辺輝度と対象輝度の差が抽出されるが、このままでは明るさと直接の対応関係を検討するには不十分である。一般に輝度差を背景輝度で割ったものが輝度対

表 6 輝度比の検討結果

Table 6 Study result of luminance ratio.

検出波長[deg]	0.25	0.5	1	2	4	8
(a)背景に植栽がある場合	1.073123	1.082147	1.38119	3.456742	2.294712	0.872108
(b)背景にポスターがある場合	1.111339	1.140651	1.354678	1.322833	0.90337	0.862093

比と定義され、この輝度対比と明視との関連は多くの研究で明らかになっている⁴⁾。しかしながら、現実の複雑な輝度分布考えると、これまで述べたように、背景輝度を客観的に決めることはできない。そこでここでは、演算を進める際に設定した計算精度によって定義される計算範囲、すなわち計算マトリックスの大きさの範囲における平均輝度を取り、この平均輝度によって、 N フィルタによる重み付け加算の結果得られた輝度差を割り、これを輝度対比として表現した。

表よりわかるように、背景に植栽がある(a)の場合の 2 [deg] を検出波長とした輝度対比が顕著に大きく、この輝度対比が対象領域の明るさ感を形作っていると考えられる。複雑な輝度分布を対象にした場合、従来のような定義では輝度対比を求めることができないことから、このような方法で輝度対比を検討することは有効であろう。

次に、対象領域の中心がずれている可能性を考え、検出波長 2 [deg]に対応する必要解像度で生成された輝度画像で、中心点を上下左右に1ドットずつ変化させて計算した結果が表 8 に示されている。表中座標 (0,0) に当たる部分が設定した中心点で計算した輝度対比である。表より、設定した中心点はほぼ適当な位置であったことがわかる。

表 7 輝度対比の検討結果

Table 7 Study result of luminance contrast.

(a)背景に植栽がある場合

検出波長[deg]	0.25	0.5	1	2	4	8
輝度差[cd/m ²]	1.936453	2.16485	7.285597	19.19894	9.703657	-3.550923
平均輝度[cd/m ²]	34.10969	32.35388	16.92982	8.15912	11.67811	19.08567
輝度対比	0.05677	0.06691	0.43034	2.35306	0.83093	-0.1861

(b)背景にポスターがある場合

検出波長[deg]	0.25	0.5	1	2	4	8
輝度差[cd/m ²]	3.304208	3.502756	6.4545265	6.64641	-3.18361	-4.965729
平均輝度[cd/m ²]	33.87926	31.14469	23.74192	26.95424	31.7726	30.74522
輝度対比	0.09753	0.11247	0.27186	0.24658	-0.1002	-0.1615

表 8 中心位置の検討結果 (輝度対比)
Table 8 Study result of center position
(luminance contrast).

	- 1	0	1
- 1	0.453701	1.197919	-0.22084
0	1.092154	2.353065	0.443706
1	0.501293	1.725847	0.253216

以上の計算の結果、木彫りの人形を対象領域として設定した場合の主要な輝度の対比は、

図 1 (a)の背景に植栽がある場合

輝度比 3.456742

輝度対比 2.35306

(ただし検出波長 2 [deg] の時)

図 1 (b)の背景にポスターがある場合

輝度比 1.354678

輝度対比 0.27186

(ただし検出波長 1 [deg] の時)

と定量化できた。

7. まとめ

照明設計の際、明るい部分と暗い部分の関係を適切に設計する事は重要であり、ある対象と周辺との輝度の対比は、その検討のための重要なツールである。しかし現実の複雑な輝度分布を対象にした場合、輝度の対比を定量的に表現することはこれまでできなかった。そこで本論文では、複雑な輝度分布であっても輝度の対比を定量化できる方法として、「検出波長を連続的に変化させて N フィルタによる重み付け加算を行い、その最大値をもって主要な輝度の対比として表現する」という方法を提案した。そしてこの方法を用いて、実際の輝度分布における輝度の対比の定量的な

検討を行い、その有効性を示した。

本稿では、輝度の対比が一つの量として確定できることに重点を置き、上記のような定量的指標を提案した。しかしながら、検出波長の変化につれて対比の量が変化する様子は、輝度の対比の何らかの特性を表しているとも考えられ、今後このような点に焦点を当てた検討も必要であると考えられる。

本研究を進めるに当たって、東芝ライテック(株)の鹿倉智明氏には、輝度分布を測定し重み付け加算を行う際、多くのご協力をいただいた。ここに記して深謝申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 中村芳樹, 乾正雄, 沢田敏実: 輝度分布の表現法に関する研究; 日本建築学会計画系論文報告集, [431], pp.17-24 (1992).
- (2) 中村芳樹, 乾正雄: 視環境の輝度分布特性に関する研究; 日本建築学会計画系論文報告集, [438], pp.1-8 (1992).
- (3) たとえば, 辻内順平編著: 応用画像解析, 共立出版(1981).
- (4) たとえば, 伊藤克三, 中根芳一, 岩永克美; 日本建築学会論文報告集号外, p.607 (1967).

(受付日2000年4月11日/採録日2000年6月1日)

中村 芳樹 (専門会員)

東京工業大学大学院総合理工学研究科

昭和31年11月4日生まれ。昭和61年3月東京工業大学大学院社会開発工学専攻修了。同年東京工業大学助手、平成5同大学助教授。工学博士。専門は視環境評価、環境心理学。日本建築学会、日本色彩学会、日本感性工学会、MERA 会員。