

近似的な方法で導出されたベクトル・スカラー比の予備的検討

○日大生産工 内田 暁

1. はじめに

対面によるコミュニケーションにおいて、人の顔の表情の見え方(モデリング)は重要である。このようなモデリングを考慮した照明設計に対して、空間照度の理論に基づいた半円筒面照度やベクトル・スカラー比といった指標が提案されている^{1)~4)}。

しかしながら、半円筒面照度は微小な半円筒面に入射した光束により定義されていることから、複数の光源で照明した場合に、これらの光源の照射方向によって半円筒面照度の値は同じでも見え方や印象が異なることが考えられる。一方でベクトル・スカラー比は、大きさを有する光源や複数の光源を使用した場合の研究成果から提案されており、光の方向の情報が含まれている⁵⁾。

また、空間照度を測定する場合、受光部を工夫した特殊な仕様の照度計が必要となる⁴⁾。このようなことから、六面照度計の考え方に基いて近似的に測定する方法があるが、本来の空間照度の値に対して誤差が生じる^{5)~9)}。

そこで本論では、近似的な方法で得られたベクトル・スカラー比について、多数回の試行による結果から基礎的な検討を行った。

2. 空間照度の概要

2.1 スカラー照度(平均球面照度)

図1に相互反射のない場合の、単一の点光源と受光点との幾何学的関係を示す。受光点で直交座標系の X 軸、 Y 軸、 Z 軸が交差する。

スカラー照度は平均球面照度とも呼ばれ、微小な球の表面積に対する入射光束により定義される¹⁰⁾。 a が微小な球の半径、 Φ が光源から放射される光束、 E_n が受光点の法線照度であるとき、スカラー照度 E_s は式(1)で求められる。

$$E_s = \frac{\Phi}{\lim_{a \rightarrow 0} (4\pi a^2)} = \frac{E_n}{4} \quad (1)$$

法線照度 E_n は逆二乗の法則から求められるが、光源と受光点との幾何学的な情報が必要となる¹¹⁾。そこで、図2に示す六面照度計の考え方に基いた、近似的にスカラー照度を求める方法が提案されている⁹⁾。すなわち、水平2方向($z+$, $z-$)また鉛直4方向($x+$, $x-$, $y+$, $y-$)にそれぞれ照度センサの受光部を向けた計6方向の

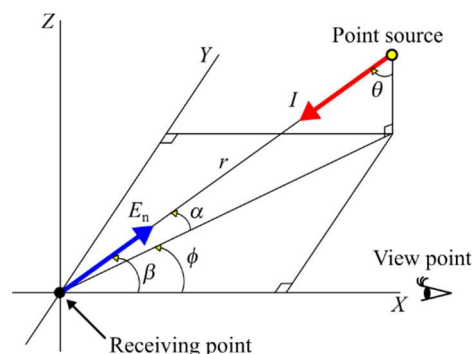


図1 点光源と受光点との幾何学的関係

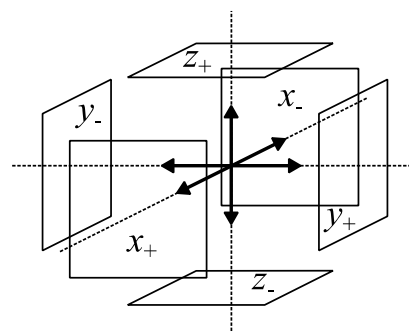


図2 六面照度計の概要

照度値(E_{x+} , E_{x-} , E_{y+} , E_{y-} , E_{z+} , E_{z-})の平均で算出するものであり、式(2)に示すとおりとなる。

$$E'_s = \frac{E_{x+} + E_{x-} + E_{y+} + E_{y-} + E_{z+} + E_{z-}}{6} \quad (2)$$

2.2 照明ベクトルの大きさ

図2において、水平2方向と鉛直4方向による照度センサの値の差を利用して、照明ベクトルの大きさ $|\vec{E}|$ は式(3)で求められる⁹⁾。ここで、 $\Delta E_x = E_{x+} - E_{x-}$, $\Delta E_y = E_{y+} - E_{y-}$, $\Delta E_z = E_{z+} - E_{z-}$ である。

$$|\vec{E}| = \sqrt{(\Delta E_x)^2 + (\Delta E_y)^2 + (\Delta E_z)^2} \quad (3)$$

2.3 ベクトル・スカラー比

ベクトル・スカラー比は、照明ベクトルの大きさとスカラー照度の比で定義される^{10), 12)}。すなわち、スカラー照度の近似値 E'_s を用いたベクトル・スカラー比(以後、ベクトル・スカラー比の近似値と称する)は、式(4)で求めることができる。

$$\text{Vector scalar ratio} = \frac{|\vec{E}|}{E_s} \quad (4)$$

なお、式(1)のスカラ照度の参考値を用いたベクトル・スカラ比の参考値は、0(無指向性の完全拡散光の場合)から4(平行光線のみの場合)の範囲となる^{10), 12)}。

3. 計算の設定

図1に示す法線照度 E_n 、鉛直角 θ 、水平角 ϕ の値が得られれば、スカラ照度の参考値 E_s や近似値 E'_s 、また照明ベクトルの大きさ $|\vec{E}|$ の値をそれぞれ計算することができる。具体的に、法線照度 E_n は受光点方向への光源からの光度 I 、光源と受光点との距離 r により逆二乗の法則で算出される。また E_{x+} 、 E_{x-} 、 E_{y+} 、 E_{y-} 、 E_{z+} 、 E_{z-} についても、 E_n の鉛直成分や水平成分により求めることができる¹¹⁾。

本研究では相互反射のない場面での単一の光源について、乱数を発生させて図1における多数の光度 I 、鉛直角 θ 、水平角 ϕ の組み合わせを設定した後、式(2)~(4)によりベクトル・スカラ比の近似値の計算を行った^{7)~9)}。計算にあたり光源の光度 I は0~1000 cd の範囲、光源と受光点との距離は1 m 一定とした。また、スカラ照度の対称性を勘案し、鉛直角 θ と水平角 ϕ は共に0~ $\pi/2$ rad の範囲とした。

4. 結果および検討

図3に鉛直角に対するベクトル・スカラ比の近似値を示す。なお、計算で使用した疑似乱数は周期や一様性を満足している Mersenne Twister であり、試行回数は1000回とした¹³⁾。

図3より、鉛直角の変化に対してベクトル・スカラ比の近似値は3.4~6.0の範囲となった。前述の通りベクトル・スカラ比の参考値は0~4の範囲であることから、近似値は高い値を見積もることを示す。

ベクトル・スカラ比の近似値と参考値が異なる理由として、スカラ照度の算出方法の違いが挙げられる(式(1)および式(2))。スカラ照度の参考値に対する近似値の誤差率の平均は9.9%であった。

5. おわりに

本論では、モデリング指標の1つであるベクトル・スカラ比について、近似的な計算により基礎的な検討を行った。その結果、ベクトル・スカラ比の近似値は参考値と比較して高い値を示す傾向にあることを確認した。

今後は複数の光源を使用した場合や、観察者の視線方向を勘案したベクトル・スカラ比に

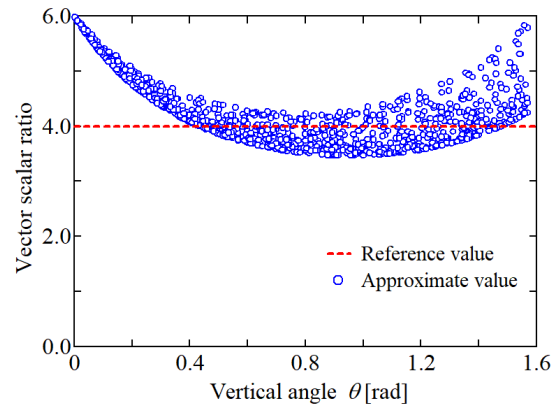


図3 鉛直角に対するベクトル・スカラ比

ついて、同様の検討を行う予定である²⁾。

本研究はJSPS 科研費(課題番号 25K15784)の助成を受けた。ここに記して感謝致します。

参考文献

- (1) Cuttle, C., *et.al.* : Beyond the working plane, Proceeding of the CIE Conference, Washington, P-67.12 (1967)
- (2) Cuttle, C. : Lighting patterns and the flow of light, Lighting Research and Technology, 3-3, pp. 171 ~ 189 (1971)
- (3) Cuttle, C. : Cubic illumination, Lighting Research and Technology, 29-1, pp. 1 ~ 14 (1997)
- (4) 川上 : 表情の識別と半円筒面照度の関係, 照明学会誌, 70-6, pp. 282 ~ 287 (1986)
- (5) 川上 : スポーツ照明の設計, 水平面照度は万全か?, 照明学会誌, 75-5, pp. 250 ~ 253 (1991)
- (6) 中村, 中西 : 視環境評価の指標の簡易測定法に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 181 ~ 182 (1981)
- (7) 内田 : 多数回の試行による近似的な方法で計算された半円筒面照度の検討, 日本大学生産工学部第 55 回学術講演会講演概要, pp. 317 ~ 318 (2022)
- (8) 内田 : 多数回の試行による近似的な方法で計算された複数の光源からの半円筒面照度の検討, 日本大学生産工学部第 56 回学術講演会講演概要, pp. 225 ~ 226 (2023)
- (9) 内田 : 仮想の照度センサを利用した半円筒面照度の近似計算について, 2024 年度(第 42 回)電気設備学会全国大会, pp. 437 ~ 438 (2024)
- (10) 佐々木ほか : 照明空間における照明ベクトルと光束密度, 照明学会誌, 63-7, pp. 379 ~ 386 (1979)
- (11) (一社)照明学会編 : 照明工学と環境デザイン, オーム社, pp. 123 ~ 124 (2024)
- (12) (一社)照明学会編 : 照明ハンドブック(第 3 版), オーム社, pp. 224 ~ 226 (2020)
- (13) Mersenne Twister Home Page : <http://www.math.sci.hiroshima-u.ac.jp/m-mat/MT/mt.html>