

# 单一光源位置の予測手順に関する基礎的検討 —2 値化処理で用いる閾値について—

日大生産工 ○内田 晓, 大谷 義彦

## 1. はじめに

照明設計で用いる照度計算では、対象となる室の寸法や反射率、また光源の種類(寸法および配光)や位置などを設定した後、被照面の照度分布を得ることができる。しかしながら、この過程とは逆に、希望する照度分布から室や光源の設定に関する情報を得ることができれば照明設計手法が拡張されることとなり、非常に有益であると考えられる。

そこで本研究では、室内面の照度分布を手がかりとした光源位置の予測に着目し、簡易かつ精度の高い予測手順の確立を目的としている。

著者らは、単一光源位置の予測手順に関する基礎的な検討として、モンテカルロ法を用いた照度計算<sup>1,2)</sup>を利用した方法を報告した<sup>3)</sup>。また、予測精度の向上を目指し、モンテカルロ法を用いた照度計算結果に2値化処理<sup>4)</sup>を組み合わせた方法も報告した<sup>5)</sup>。しかしながら、真値とした光源の位置によっては、結果の精度が向上しない場合が見受けられた。

そこで本報告では、結果の精度に2値化処理を行う際の閾値が関係すると考え、最適な閾値の決定方法について検討を行った結果を述べる。

## 2. 光源位置の予測手順

モンテカルロ法を用いた照度計算は、光源から放射される光束を多数の粒子の集合として取り扱い、各粒子の飛行軌跡を模擬するものである<sup>1,2)</sup>。その際、光源および反射配光における粒子の方向や、室内面における粒子の反射および吸収の判別は乱数により決定される。

計算方法を説明するための模型室の概要を

図1に示す。光源からの放射と室内面における反射が均等拡散配光に従う場合、粒子の飛行する方向を示す鉛直角 $\theta$ 、水平角 $\phi$ と、一様乱数 $\xi$ ( $0 \leq \xi \leq 1$ )との関係は式(1)、(2)によって表すことができる。

$$\theta = \sin^{-1} \sqrt{\xi} \quad (1)$$

$$\phi = 2\pi\xi \quad (2)$$

室内面の反射率を $\rho$ とした場合、一様乱数 $\xi$ による粒子の反射および吸収の判別は式(3)で表すことができる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{反射} : \xi \leq \rho \\ \text{吸収} : \xi > \rho \end{array} \right\} \quad (3)$$

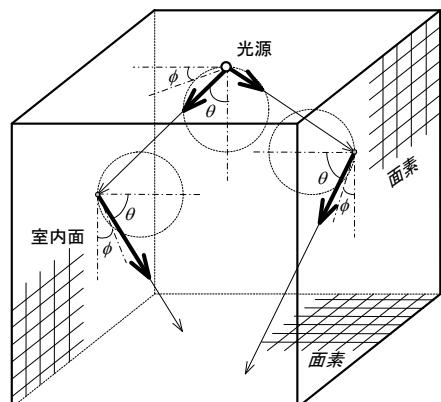


図1 粒子の軌跡

モンテカルロ法を用いた照度計算を利用して光源の位置の予測を行う場合、あらかじめ用意された希望する照度分布を粒子数の分布に置き換える。次に、粒子が格納されている面素を光源とみなし、式(1)、(2)を用いて室内面に粒子を放射させる。また、室内面に反射率が与えられている場合は、式(3)を用いて反射および吸収の判別を行う。

全ての粒子の放射が終了した後、室内面に入射した粒子の総数が最大となる面に光源が存

在すると考える。ここで、光源が存在すると考えた面において、入射した粒子数が最大となる面素を光源の位置と仮定することができるが、計算に乱数を用いているため、結果の精度が低下する場合がある<sup>3),5)</sup>。そこで、光源が存在する領域を抽出するために、画像処理手法の一つである2値化処理を用いる<sup>4)</sup>。

本研究に2値化処理を適用する場合、光源が存在すると考えた面において、式(4)より任意の面素の座標( $i, j$ )における粒子数  $p(i, j)$ と閾値  $k$ を比較し、0または1の2種類の値を割り当てる。すなわち、 $b(i, j)$ の値が0となる領域と、1となる領域の2種類に振り分けられる。

$$\begin{cases} p(i, j) < k \rightarrow b(i, j) = 0 \\ p(i, j) \geq k \rightarrow b(i, j) = 1 \end{cases} \quad (4)$$

粒子数が多く入射している領域に光源が存在していると仮定しているので、式(4)で得られた  $b(i, j) = 1$  の領域に光源が存在していると考えることができる。

2値化処理によって抽出された、光源が存在すると仮定した領域( $b(i, j) = 1$  の領域)について、式(5)より重心座標( $i_w, j_w$ )を計算し<sup>6)</sup>、得られた値を光源の位置と考える。

$$i_w = \frac{\sum_{i=i_s}^{i_e} i}{a}, \quad j_w = \frac{\sum_{j=j_s}^{j_e} j}{a} \quad (5)$$

ここで、 $i_1, j_1$ は  $b(i, j) = 1$  となった座標、 $i_s, i_e, j_s, j_e$ は、光源が存在すると仮定した面の先端座標と終端座標、 $a$ は  $b(i, j) = 1$  となる面素数の合計である。

なお、光源の位置を予測する際、真値と設定した光源(以後、真値と称する)を、以下の条件の下で取り扱うこととする。

- ① 光源の形状は点であり、個数は1とする。
- ② 光源の発光部は天井面に設置されている。
- ③ 光源の配光は均等拡散性である。

### 3. 結果と検討

#### 3.1 模型室の概要

図2に検討に用いた模型室の概要を示す。計

算において床面左手前隅を原点Oとし、XY平面が床面ならびに天井面と平行となるようなXYZ直角座標系を設定した。

模型室の寸法は、幅、奥行き、高さ共に60一定とした<sup>2)</sup>。真値となる光源は、天井面の  $(X, Y) = (5, 5), (10, 10), (15, 15), (20, 20), (25, 25), (30, 30)$  のいずれかに設置する。室内面の反射率は全ての面が50%とし、反射特性は均等拡散性である。

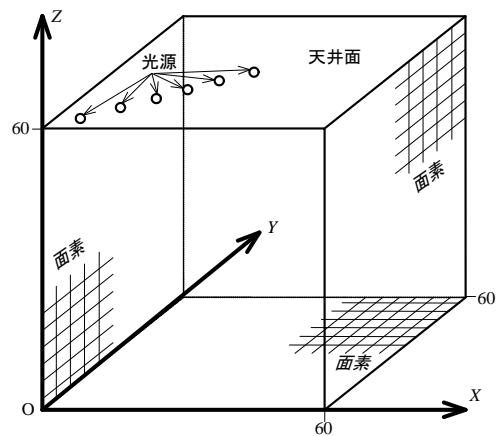


図2 模型室の概要

なお、あらかじめ希望する照度分布はモンテカルロ法を用いた照度計算より得ることとし、計算に際して室内面は  $60 \times 60$  の面素分割を行った。また、照度分布を作成する際、光源から放射される粒子数は5000万個とした<sup>2)</sup>。

#### 3.2 2値化処理に用いる閾値の決定方法

図3に、室内面に粒子を放射した結果の一例として、入射粒子数の合計が最大となった天井面における相対粒子数分布を示す。なお、真値の位置を  $(x_t, y_t) = (10, 10)$  とした場合である。図中の×印は真値の位置であり、相対値は粒子数の最大値により正規化した。また、図4に図3から作成した、相対粒子数に対する累積度数(ヒストグラム)を示す。

2値化処理を行う際、閾値は一般に累積度数のヒストグラムの特性(形状)から決定する<sup>2)</sup>。図4より、相対粒子数0.26にピークが1か所確認できるが、例えば代表的な閾値の決定方法

の一つであるモード法<sup>4)</sup>を利用する際に必要となる2か所のピーク, すなわちヒストグラムの谷が存在しない. そこで, ヒストグラムの特徴を利用した閾値の決定方法として, ヒストグラムの最大値(ピーク), ヒストグラムの平均値, さらに図4に示すようなヒストグラムとなる画像において, 対象物と背景とを良好に分離することができるとされる判別分析法<sup>7)</sup>を用いることとした.

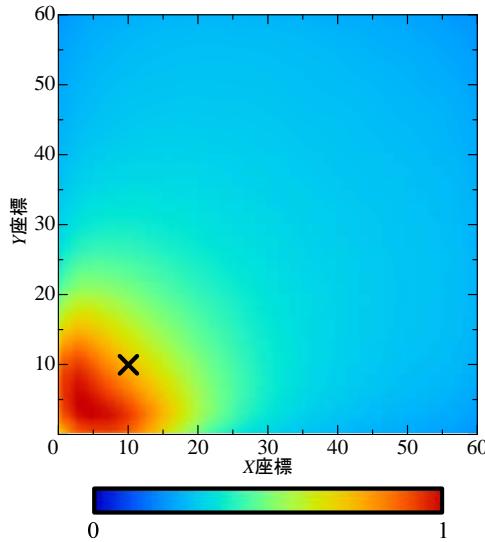


図3 相対粒子数分布(天井面)

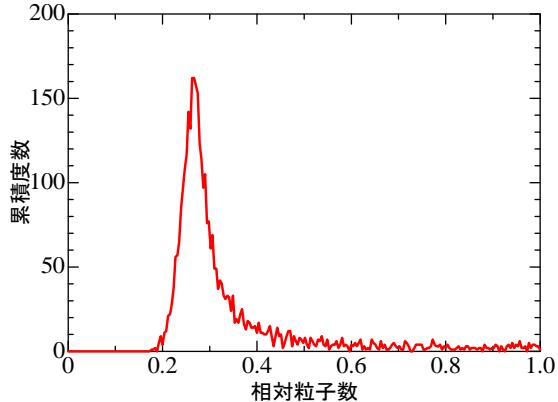
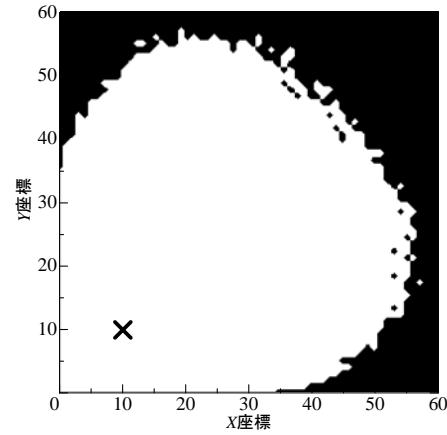


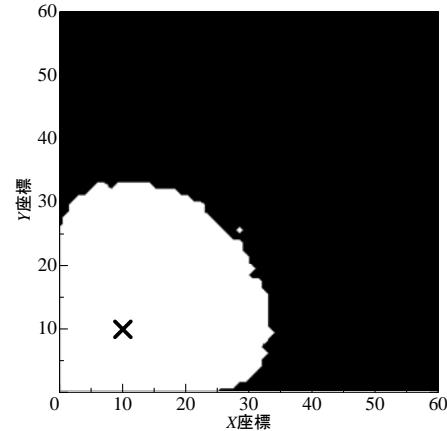
図4 相対粒子数に対する累積度数  
(ヒストグラム)

図5に, 図3に2値化処理を施した結果を示す. (a)は図4に示したヒストグラムの最大値を閾値とした場合, (b)は平均値を閾値とした場合, (c)は判別分析法を用いて閾値を算出した場合である. 図中の黒色の領域は, 式(4)において  $b(i, j) = 0$  となる光源が存在しないと考えた領

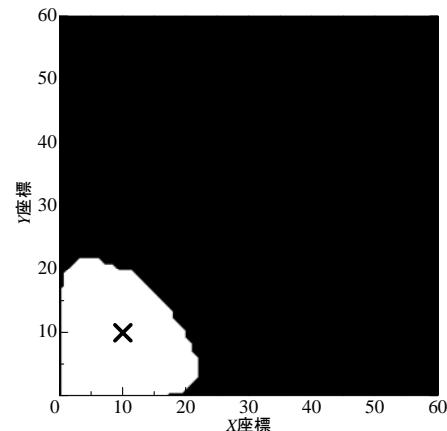
域, 白色の領域は  $b(i, j) = 1$  となる光源が存在すると考えた領域である. 2値化処理を適用した際の閾値は, (a)では 0.26, (b)では 0.34, (c)では 0.51 となった. また, 図中の×印は真値の位置である.



(a) ヒストグラムの最大値を閾値とした場合



(b) ヒストグラムの平均値を閾値とした場合



(c) 判別分析法を用いて閾値を算出した場合

図5 2値化処理結果

図6に、真値の位置と、図5の白色領域の重心座標を算出することにより予測した光源の位置との関係を示す。

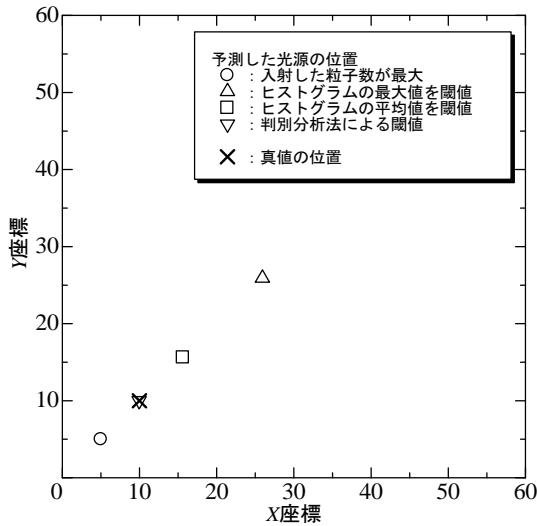


図6 真値の位置と予測した光源の位置  
(天井面)

図6より、入射した粒子数が最大となる面素を光源と考えた場合、またヒストグラムの最大値や平均値を閾値とした2値化処理を適用した場合で、予測した光源の位置は、真値の位置に一致しない。一方、判別分析法により閾値を決定した場合、予測した光源の位置は、真値の位置によく一致する。よって、閾値の変化は、予測した光源の位置の精度に影響を及ぼすことになる。

そこで、予測した光源の位置の精度を定量的に検討するために、真値の位置と予測した光源の位置との距離を算出した。

図7に、光源の予測方法をパラメータとした、真値の位置に対する、真値と予測した光源との距離を示す。

図7より、真値の位置が変化すると、真値と予測した光源との距離は、入射した粒子数が最大となる場合で3.5～14.5、ヒストグラムの最大値を閾値として2値化処理を適用した場合で0.5～27.5、平均値を閾値とした場合で0.5～11.5となる。一方、判別分析法を用いて閾値を決定した場合では0～3.5の範囲となる。

以上のことから、単一光源位置の予測を行うにあたり、光源が存在すると考えた面の粒子数分布に2値化処理を行う場合、閾値を判別分析法により決定すれば、精度の良い結果が求められることがわかった。

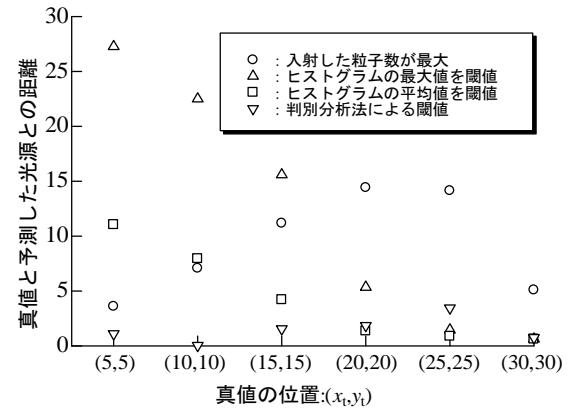


図7 真値と予測した光源との距離

#### 4. おわりに

本報告では、照明設計手法を拡張させるための、単一光源位置の予測手順に関して、2値化処理を用いる際の、最適な閾値の決定方法について検討を行った。

その結果、光源が存在する面の粒子数分布に対して、判別分析法により決定された閾値を用いて2値化処理を行うことで、光源の予測位置が精度良く求められることが明らかとなった。

今後は、本報告で述べた予測手順を用いて、様々な室内面の反射率の組み合わせた場合や、室内に遮光物体を設置した場合の、結果の精度について検討を行う予定である。

#### 参考文献

- (1) Tragenza, P. R. : The Monte Carlo Method in Lighting Calculations, Light. Res. Technol., 15-4, pp.163～170 (1983).
- (2) 大谷ほか：直方体模型室における影の特性について、電気設備学会誌, 17-8, pp.799～808 (1997).
- (3) 内田、大谷：モンテカルロ法を用いた光源座標の予測手順に関する基礎的検討、平成19年度(第40回)日本大学生産工学部学術講演会講演論文集, pp. 27～30 (2007).
- (4) 村上：画像処理工学入門、東京電機大学出版局, p. 62 (1996).
- (5) 内田、大谷：モンテカルロ法を用いた光源位置の予測手順に関する基礎的検討－2値化処理を用いた場合－、平成20年度(第41回)照明学会全国大会講演論文集, pp. 70～71 (2008).
- (6) 武田：基礎からの画像処理、工学社, p. 71 (1996).
- (7) 大津：判別および最小二乗基準に基づく自動閾値選定法、信学論, Vol. J63-D, No.42, pp.349～356 (1980).