

単一光源位置の予測手順に関する基礎的検討
－遮光物体を設置した場合について－

日大生産工 ○内田 暁, 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として, モンテカルロ法を用いた照度計算^{1),2)}と, 画像処理手法の一つである2値化処理³⁾を組み合わせた方法を提案している^{4),5)}. しかしながら, 検討の対象としたモデルは空洞であり^{3),4)}, 実際の室内は机や衝立などの什器, また作業者などの遮光物体が存在する²⁾.

そこで本報告では, 提案した予測手順ならびに方法^{4),5)}を, 室内に遮光物体(遮光球)を設置した場合に適用し, 光源の位置の予測精度への影響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³⁾. 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 θ , 水平角 ϕ 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 ρ とした場合, 一様乱数 ξ 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.

$$\begin{cases} \text{反射} : \xi \leq \rho \\ \text{吸収} : \xi > \rho \end{cases} \quad (3)$$

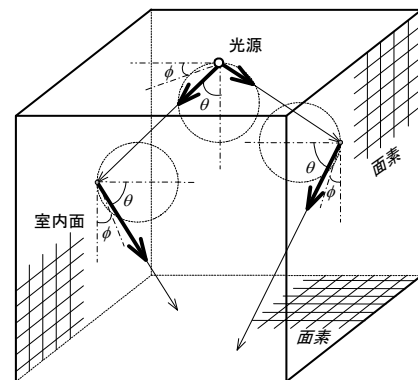


図1 模型室内における粒子の軌跡

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すべての室内面の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, 光源が存在する面を特定する. 次に, 光源が存在する領域を抽出するために, 入射した粒子の分布に画像

処理手法の一つである 2 値化処理³⁾を適用する。

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 種類に分離できる。

$$\left. \begin{aligned} p(i, j) < k &\rightarrow b(i, j) = 0 \\ p(i, j) \geq k &\rightarrow b(i, j) = 1 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

粒子数が多く入射している領域に光源が存在す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す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)について重心座標を計算し⁶⁾、得られた値を光源の位置と考える。

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。また、室内面は床面 S_1 、天井面 S_2 、壁面 $S_3 \sim S_6$ の計 6 面で構成されている。

模型室の寸法は、幅、奥行き、高さ共に 60 一定とした²⁾。真値となる光源は、天井面の中心 $(X, Y) = (5, 5), (10, 10), (15, 15), (20, 20), (25, 25), (30, 30)$ のいずれかに設置した。室内面の反射率は全ての面が 0 %, 30 %, 50 %, 70 % とし、反射特性は均等拡散性である。

また、床面に影を生じさせるため、半径が 10、反射率が 0 % の遮光球を、中心座標が (X, Y, Z)

$= (30, 30, 30)$ の位置に設置した。

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 60×60 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²⁾。

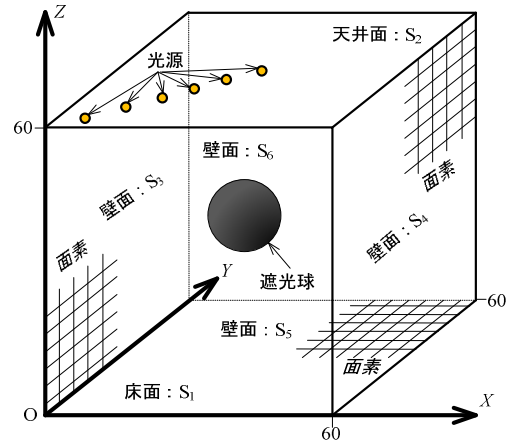


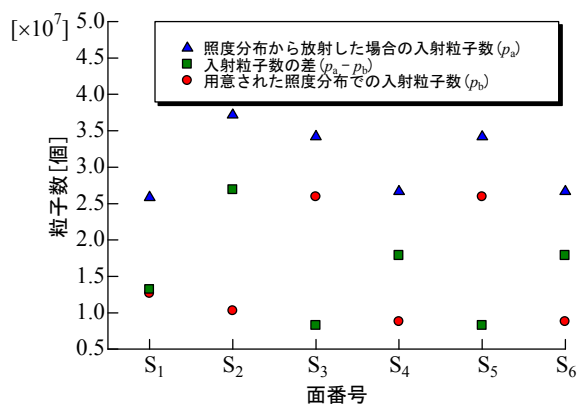
図 2 模型室の概要

3.2 室内面に入射する粒子数の検討

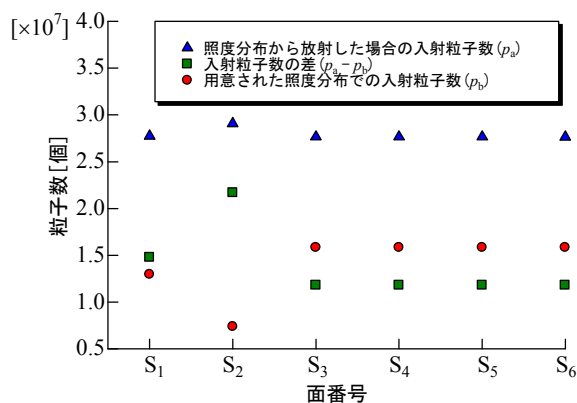
結果の一例として、室内面の反射率が 50 % の場合の、図 3 に面番号に対する入射粒子数特性を示す。なお、(a)は真値の位置が $(X, Y) = (10, 10)$ の場合、(b)は $(X, Y) = (30, 30)$ の場合である。

図 3(a), (b)ともに、あらかじめ用意された照度分布における入射粒子数(以後、 p_b と称する)は、光源が設置されている天井面 S_2 が最小となる。一方、照度分布を光源とみなして放射した場合の入射粒子数(以後、 p_a と称する)は、床面 S_1 が最大となる。また p_a と p_b の差、すなわち入射粒子数の差⁵⁾を計算したところ、光源が設置されている天井面 S_2 が最大となった。なお、検討を行ったすべての真値の位置ならびに室内面の反射率の場合について、同様の特性が得られることを確認している。

以上のことから、天井面に光源が設置されている場合は、照度分布を光源とみなして放射した場合の入射粒子数、または入射粒子数の差を利用することで、光源が設置されている面を見出せると考えられる。



(a) 真値の位置 : $(X, Y) = (10, 10)$



(b) 真値の位置 : $(X, Y) = (30, 30)$

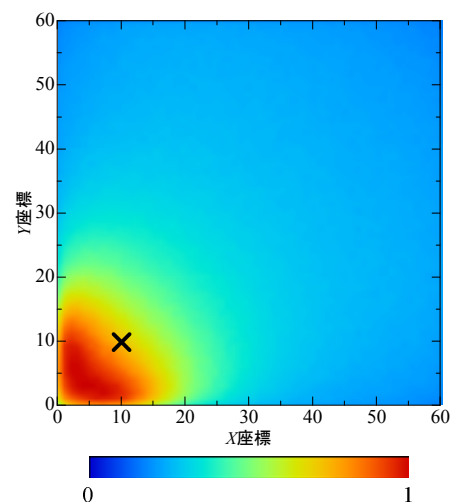
図3 室内面に入射した粒子数
(室内面の反射率 : 50 %)

3.3 光源位置の予測の検討

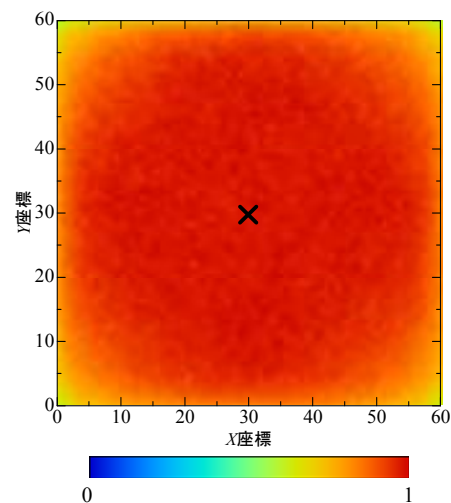
図4に, 室内面に粒子を放射した結果の一例として, 室内面の反射率が50%の場合の, 入射粒子数の合計が最大となった天井面における相対粒子数分布を示す. なお, (a)は真値の位置が $(X, Y) = (10, 10)$ の場合, (b)は $(X, Y) = (30, 30)$ の場合である. 図中の×印は真値の位置であり, 相対値は粒子数の最大値により正規化した.

また, 図5に図4(a)から作成した, 相対粒子数に対する累積度数分布(ヒストグラム)を示す. 2値化処理の閾値は, 図5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を用いて決定した⁷⁾. 判別分析法は, 入射した粒子の分布から作成した粒子数の累積度数分布において, 光源が存在しない領域と考えたクラス1と, 光源が存在する領域と考え

たクラス2における, クラス内分散 σ_w^2 とクラス間分散 σ_b^2 の比, すなわち σ_w^2/σ_b^2 が最小となるように閾値 k を決定する方法である.



(a) 真値の位置 : $(X, Y) = (10, 10)$



(b) 真値の位置 : $(X, Y) = (30, 30)$

図4 天井面の相対粒子数分布
(室内面の反射率 : 50 %)

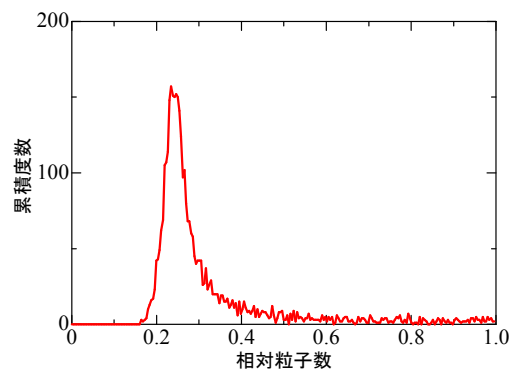
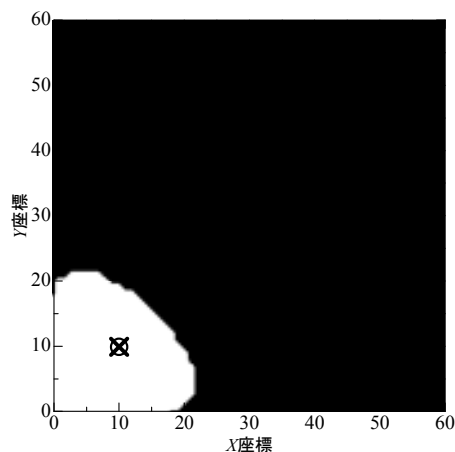
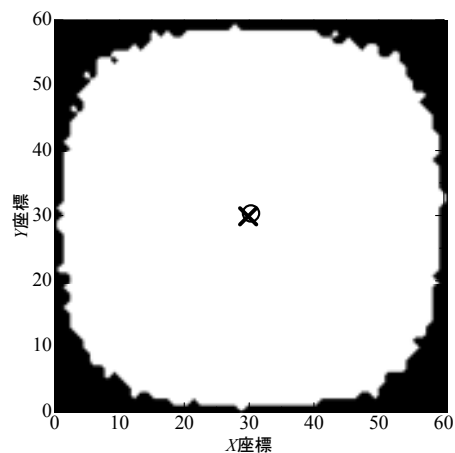


図5 相対粒子数に対する累積度数分布
(真値の位置 : $(X, Y) = (10, 10)$,
室内面の反射率 : 50 %)

図 6 に、図 4(a), (b)の相対粒子数分布にそれぞれに 2 値化処理を適用した結果を示す。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。なお、2つの領域を分離するための閾値は、図 6(a)で 0.49, (b)で 0.87 となった。また、図中の×印は真値の位置である。



(a) 真値の位置 : $(X, Y) = (10, 10)$



(b) 真値の位置 : $(X, Y) = (30, 30)$

図 6 相対粒子数分布の 2 値化処理結果
(室内面の反射率 : 50 %)

図 6 より、2 値化処理を適用することで、光源が存在する領域と存在しない領域に分離できていることがわかる。また、光源が存在する白色の領域について重心座標を求めたところ、図中の○印となり、真値に近い位置であることが確認できる。

図 7 に、室内面の反射率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、今回検討した条件において、真値と予測した光源との距離は 3.5 未満となり、光源の位置を精度良く予測できているものと考えられる。

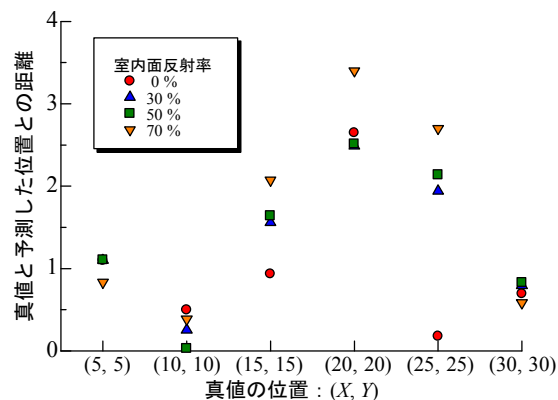


図 7 真値と予測した光源との距離

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、室内に遮光物体(遮光球)を設置した場合の予測精度について検討を行った。

その結果、光源が存在する面については、入射した粒子数の特性から、また光源の位置については、判別分析法による 2 値化処理ならびに重心座標からそれぞれ精度良く予測できることを確認した。

今後は、遮光球の大きさの変化が、予測精度に及ぼす影響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) 村上: 画像処理工学入門, 東京電機大学出版局, p. 62 (1996).
- (4) 内田, 大谷: 単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—, 平成 20 年度(第 41 回)日本大学生産工学部学術講演会講演論文集, pp. 27 ~ 30 (2008).
- (5) 内田, 大谷: 単一光源を用いた光源位置の予測手順に関する基礎的検討—反射率の組み合わせの影響—, 平成 21 年度(第 42 回)照明学会全国大会講演論文集, pp. 79 ~ 80 (2009).
- (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).