1. はじめに

照明設計を支援するツールである照度計算 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)や座標などを設定した 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.

ここで照度計算を行う際,設定する室や光源 の条件を「入力」,計算結果である照度分布を 「出力」とする.既知の入力から未知の出力を 得るための過程を順問題解析と呼ぶならば,既 知の出力から未知の入力を得るための過程を 逆問題解析と呼ぶことができ,照明の分野にお いても現在までいくつかの研究が行われてい る¹⁾⁻⁵⁾.しかしながら,これらの研究から得ら れた成果をみると,実空間への適用が難しい限 られた条件での検討であったこと,結果の精度 があまり高くないこと,解法が複雑であること などの問題点があげられる.

そこで本研究では,照明設計の逆問題解析として照度分布を手がかりとした光源座標の予測^{4).5)}に着目し,簡易かつ精度の高い予測手順の確立を目的とすることとした.

本報告では基礎的な検討として,モンテカル 口法を用いた照度計算^{6,7)}を利用した光源座標 の予測手順を試みた.

2. 光源座標の予測手順

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^{6,7)}.その際,光源および反射配光におけ 日大生産工 内田 暁,大谷 義彦

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 反射が均等拡散性配光に従う場合,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 $\xi(0 \le \xi \le 1)$ との関係は式(1),(2)によって表す ことができる.

$$\theta = \sin^{-1} \sqrt{\xi} \tag{1}$$

$$=2\pi\xi\tag{2}$$

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.





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 て光源座標の予測を行う場合,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.

Fundamental examination on prediction procedure about position of light source using by Monte Carlo Method Akira UCHIDA and Yoshihiko OHTANI 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 在するものと考える⁴⁾.

なお,光源の座標を予測する際,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.

> 光源の形状は点であり、個数は1とする. 光源の発光部は室内面の何れかに設置されている.

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は検討に用いた模型室の概要である.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 S₁,天井面S₂,壁面S₃~S₆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⁷⁾. 光源(真値)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0%,30%,50%,70%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 た.照度計算に際し,室内面は単位面積(1×1) による面素分割を行った.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⁸⁾.

3.2 室内面に入射する粒子数の検討

結果の一例として,図3に真値の座標をパラ メータとした室内面番号に対する各室内面に 入射した粒子数の合計を示す.なお,(a)は室内 面の反射率が0%の場合,(b)は50%の場合で ある.

図 3(a),(b)より,全ての真値の座標について 天井面に入射した粒子数の合計が最大となる. 真値は天井面に設置されていることから,入射 した粒子数の合計が最大となる面を,光源が設 置されている面とみなしてよいこととなる.





3.3 光源座標の予測の試み

図4に,真値の座標を(X,Y) = (30,30)とした場 合の,天井面における相対粒子数分布を示す. (a)は室内面の反射率が0%の場合,(b)は50% の場合である.また,図中の×印は真値の座標 である.なお,相対値の基準は各反射率におけ る粒子数の最大値とした.

図 4(a),(b)より,真値の座標付近に粒子が最 も多く入射していることが示されている.そこ で,入射した粒子の数が最大となる面素の座標 を真値の座標と考えることとした.



(b) 室内面反射率:50 % 図 4 相対粒子数分布 (天井面:*Z*=60)

図5に,天井面における予測した光源座標で るところの,入射した粒子の数が最大となる座 標を示す.(a)は室内面の反射率が0%の場合, (b)は50%の場合である.なお,図中の×印は真 値の座標である.

図 5(a) ,(b)より ,全ての真値の座標について , 入射した粒子の数が最大となる面素の座標と 一致していないことが示されている .



次に,予測した光源座標の精度を定量的に検 討するために,式(4)に示すような予測した光源 の座標と真値の座標との距離 d(以後,距離 d と称する)を算出した.

$$d = \sqrt{(x_{\rm t} - x_{\rm p})^2 + (y_{\rm t} - y_{\rm p})^2}$$
(4)

ただし, x_t , y_t は真値のX座標ならびにY座標, x_p , y_p は入射した粒子の数が最大となる面素のX 座標ならびにY座標である.

図 6 に室内面反射率をパラメータとした真 値の座標に対する距離 *d* を示す.

図6より距離 d は 3.0 ~ 20.5 の範囲となる. 距離 d は ,真値の座標に対する予測した光源座 標の誤差と同じ意味を持つ.したがって,入射 した粒子の数が最大となる面素の座標を,真値 の座標とみなすことは難しいものと考えられ る.



図6 真値の座標に対する距離 d

図3,図5,図6より,試行した予測手順に より真値が設置されている面を特定すること は可能であるが,予測した座標については真値 の座標との誤差が無視できないことが明らか となった.これは,式(1),式(2)に示すように, 計算を行う過程において乱数を用いており,光 源の座標を特定する際の手がかりとなる相対 粒子数分布にバラツキが生じていることが原 因であると考えられる⁸⁾.

そこで,相対粒子数分布のバラッキを移動平 均法に基づいた空間フィルタリング^{8),9)}によっ て減少させることを試み,入射した粒子の数が 最大となる面素の座標と真値の座標とを再度 検討することとした.

図7に,フィルタリングを行った場合の,室 内面反射率をパラメータとした真値の座標に 対する距離dを示す.なお,フィルタリングは 注目する面素を含んだ5×5面素を対象として 行った^{8),9)}.

図7より,距離 dは 3.5~16.5 の範囲となっ

た.フィルタリグを行うことで距離 d は減少す るが,予測した座標と真値の座標とは完全に一 致しないことから,予測手順のさらなる改良が 必要となる.



4. おわりに

本報告では,照明設計の逆問題解法として, モンテカルロ法を用いた光源座標の予測手順 に関する基礎的な検討を行った.

その結果,試行した予測手順により照度分布 から光源が存在する面を特定することは可能 であるが,予測した光源の座標と真値の座標と の間に誤差が生じることも明らかとなった.

今後は,本報告で述べた予測手順をさらに改 良し,結果の精度を向上させる必要がある.

参考文献

- Takahashi, K., *et. al.*: Lighting Design in Interreflective Environments Using Hopfield Networks, J. Light & Vis. Env., 17–2, pp.9 ~ 15 (1993).
- (2) 土橋ほか:順・逆両問題アプローチを統合したインタラ クティブ照明設計システムの開発,画像電子学会誌, 27–4, pp.349~359 (1998).
- (3) 池本,磯村:室内の床面照度分布による光源の配光曲線の予測に関する基礎的な研究,照学誌,pp.83~90 (2005).
- (4) Morita, M., et. al.: A Fundamental Study of a Backward Emission Method to Detect an Unknown Light Source Position by Monte Carlo Simulation, J. Light & Vis. Env., 23–2, pp. 23 ~ 39 (1999).
- (5) 本田ほか:光センサとデータベースを用いた光源位置の 探知計算法に関する基礎的検討,照学誌,pp.486~491 (2000).
- (6) Tragenza, P. R. : The Monte Carlo Method in Lighting Calculations, Light, Res. Technol., 15–4, pp.163 ~ 170 (1983).
- (7) 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).
- (8) 大谷ほか:モンテカルロ法を用いた照度計算の検討について,照学誌,82-2,pp.105~111(1998).
- (9) 村上:画像処理工学入門,東京電機大学出版局,p. 62 (1996).