タスク・アンビエント照明における影の特性についての基礎的検討

正会員 内 田 暁 (日本大学) 専門会員 大 谷 義 彦 (日本大学)

Fundamental Study on Shadow Characteristics under Task Ambient Lighting

Member Akira Uchida (Nihon University) and

Fellow Member Yoshihiko Ohtani (Nihon University)

ABSTRACT

Shadow is something we experience in our daily lives and a significant obstacle to our work. So shadow has been considered one of the important factors in lighting design.

In this paper, the illuminance distributions on a desk as the working plane when Task Ambient Lighting, which is one type of office lighting systems, and a globe as a shadow caster are set up in a model room containing fixtures are obtained by the Monte Carlo method and the characteristics of the shadow are examined.

First, in order to carry out the illuminance calculation by the Monte Carlo method in the case of a light source with a non-uniform diffuse distribution, the relationship between the cumulative luminous flux and uniform random numbers was found by the use of division mensuration.

Next, some experiments were made under the same conditions as the calculations. Comparing the experimental results with the calculated results, difference between them, confirms that the above method is suitable.

Then, we obtained and examined the shadow characteristics on the surface of the desk when the position of the shadow caster was changed.

As a result, we found that Task Ambient Light makes a weaker shadow than one of Task light or Ambient light, and variations in the shadow area by Task Ambient Light are similar to those by Task light.

KEYWORDS : Task Ambient Lighting, Monte Carlo method, illuminance calculation, shadow

1. 緒言

快適な視環境を有するオフィス照明を提供するためには、照明計画の段階で、使用する照明器具、および照明方式の選択など、種々の要因についての綿密な検討が必要である。

一方で、日常作業を行う場所において作業面上に生じる影は邪魔なものであり、作業などを行う妨げとなることが少なくない。よって影の問題は、快適な照明環境を実現する上で照明設計を行う際にあらかじめ考慮すべき重要な要素と考えられている¹⁾。近年、これらの影を生じさせる遮光物体や、什器を考慮した照度計算法が多数報告されている^{2)~4)}。特に、オフィス照明方式の一つであるタスク・アンビエント照明方式⁵⁾⁶⁾を用いた場合、作業状況や目的に合わせて複数の光源を使用し、また雑音の遮断、準個室化などの理由からローパーティションを採用する場合が多いという傾向があり、机上面を作業面としたとき、机上面の照度分布、また影の生じる個所が複雑になると考えられる。

そこで、タスク・アンビエント照明方式において机上面を作業

面とした場合、影を考慮した照明設計を行う際に一助となるような基礎的なデータを求めることを目的とし、机上面に生じる影の中の照度計算について取り扱うこととした⁷⁾。本論では、人間の頭部を仮想した遮光球をモデルルーム内の任意の位置に設置した場合の机上面における照度分布を、非均等拡散性光源に適用したモンテカルロ法を用いた計算から求めることを試み、計算精度を確かめるとともに、二三の計算結果例により2次元の測光量を用いた影の状態を示して検討を加えた。

2. モンテカルロ法を用いた照度計算

モンテカルロ法は、決定論的な問題を確率の問題に変換し、乱数を用いて近似的な解を得るものである⁸⁾。

モンテカルロ法を用いた照度計算⁹⁾¹⁰⁾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。その際、乱数が光源から放射される粒子や、反射する粒子の方向と関係づけられる。すなわち、光源および反射配光を乱数により模擬している。また、室内面における反射・吸収判別も乱数により決定される。

本論文の一部は平成9年度照明学会第30回全国大会で内田暁が講演した。

2.1 均等拡散光源への適用

図1に矩形室内の天井面に設置した点光源から放射された粒子の飛行軌跡の模擬を示す。光源からの放射と壁面における反射が均等拡散配光の場合、任意な一方向を示す鉛直角 θ 、水平角 ϕ と一様乱数 ξ ($0 \leq \xi \leq 1$) との関係は式(1)、式(2)によって表すことができる⁹⁾¹⁰⁾。

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

$$\phi = 2\pi\xi \quad \text{.....(2)}$$

2.2 非均等拡散性光源への適用

光源の配光は、必ずしも均等拡散性であるとは限らない。非均等拡散性光源を近似的に数式化する場合、 I_θ をその配光の鉛直角 θ 方向の光度、 I_0 を法線方向の光度とすると式(3)に示す余弦の多項式が使用されている¹¹⁾。

$$I_\theta = I_0 (a \cos \theta + b \cos^2 \theta) \quad \text{.....(3)}$$

ただし、 $a + b = 1$

このように非均等拡散性光源の場合、次数の高い三角関数で示されるため、鉛直角 θ を乱数で求める式を導けない場合がある。

そこで、鉛直角方向の光度が式(3)によって重み付けされることに着目し、図2に示すように確率密度関数を区分求積により求めることとする。

軸対称配光光源の場合、全光束 Φ は、

$$\Phi = 2\pi \int_0^\pi I_\theta \sin \theta d\theta \quad \text{.....(4)}$$

により求めることができる¹²⁾が、 I_θ の値が θ に対してその変化が

図1 粒子の軌跡と面素の説明

Fig.1 Explanation about the locus of the particle, and the element.

図2 区分求積法による鉛直角に対する確率密度

Fig.2 The probability density corresponding to the vertical angle in the case of using the division mensuration.

緩慢であれば、

$$\Phi = 2\pi \sum_{\theta=0}^{\pi} I_\theta \sin \theta d\theta \quad \text{.....(5)}$$

として求めることができる。ここで、 $2\pi \sin \theta d\theta$ は、 $d\theta$ を幅とする球帯 $d\theta_n$ の立体角 $d\omega$ に相当するものである。

いま光源の配光分布の最大鉛直角 $\theta_{\max}$ を k 等分し、それぞれの鉛直角 θ_n の光度が I_n 、球帯の立体角が $d\omega_n$ で与えられたとき(ただし、 $n = 1, 2, \dots, k$)の累積光束を求める式を確率密度関数 P_θ と考えて、鉛直角 θ_n までの累積光束を一様乱数 ξ_n ($0 \leq \xi \leq 1$) と対応させると、

$$P_\theta = P_0 \sum_{n=1}^k I_n d\omega = \xi_n \quad \text{.....(6)}$$

となる。ここで P_0 は、

$$P_0 = \sum_{n=1}^k I_n d\omega = 1 \quad \text{.....(7)}$$

により正規化して定めるものとする。

これにより、非均等拡散性配光を模擬することができる。

2.3 室内面における反射および吸収判別

室内面での粒子の反射・吸収判別は、室内面反射率を ρ とした場合、一様乱数 ξ を用いて式(8)で表すことができる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{反射: } \rho \geq \xi \\ \text{吸収: } \rho < \xi \end{array} \right\} \quad \text{.....(8)}$$

2.4 照度値への変換

照度 E は、室内面を細分割して得た各面素に入射する粒子数に比例するものとして取り扱うことができ、式(9)で求められる。

$$E = \frac{\Phi}{N_0} \frac{N}{A} \quad \text{.....(9)}$$

ただし、

Φ : 光源の全光束、 N : 各面素への入射粒子数、 N_0 : 光源の全放射粒子数、 A : 一面素の面積

3. 照度計算法の検討

モンテカルロ法を用いた照度計算が有効であるかどうかを確かめるために、計算時に近い条件に設定した実験を行い、計算値と実験値との比較により計算法の検討を行った。

3.1 モデルルームの設定

図3に照度測定実験に使用したモデルルームの概要を示す。床面の左手前隅を原点 O とし、 XY 平面が床面と天井面に平行となるような 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。

モデルルームの寸法は、間口・奥行き・高さがともに140 [cm] である。天井面には、アンビエント光源である一辺が10 [cm] の正方形光源を、光源の中心が天井面中央と一致するように取り付けけた。

このモデルルーム内部に、図4に示すような幅50 [cm]、奥行き40 [cm]、高さが40 [cm] のL型状机に、幅50 [cm]、高さが40 [cm] のパーティションを取り付け、さらにL型状機の机上面から高さ40 [cm] の位置に、タスク光源である発光部が幅12 [cm]、奥行き6 [cm] の矩形光源を机上面と平行となるように取り付けたものを、机上面の中心がモデルルーム床面中央と一致するように設置した。

タスク光源、アンビエント光源共に、発光面を輝度むらのないようにするため、拡散性の良好な紙を内側に貼付した光源箱に9 [W] のコンパクト蛍光灯(M社製 FPL9EX-N)を納めてあ

り、発光面には厚さ3.0 [mm] の乳白色アクリル板（三菱レイヨン製 type #430）を用いた。

モデルルームの室内面、またモデルルーム内の L 形状机、パーティションには、反射率53.0 [%] の拡散性の良好な紙を貼付した。

机上面に影を生じさせるための遮光球は、半径2.5 [cm] の球体の表面に拡散性黒色塗料を施したものであり、これを机上面の任意の位置に設置できるようにした。なお、計算時には反射率 0 [%] として取り扱った。

照度測定は、図 5 に示すように机上面 Y = 60, 70, 80 上の各10点、計30点で行った。実験に使用した受光器は、シリコンフォトダイオードと電流電圧変換回路とを集積化した外径1.0 [cm] のオプティカルディテクタ (Bell & Howell 社製 type 529-2-5) である。図 6 に受光器の照度－電圧特性を、また図 7 に入射角度特性を示す。受光器の照度－電圧特性は、測定点から最小二乗法により特性式を求めた結果、照度が 0 ～1000 [lx] の範囲では測定点との誤差率が±3.0 [%] 以内であったので、照度と電圧の直線性

図 5 机上面における測定および計算点
Fig. 5 The measured and the calculated points on the surface of the desk.

図 3 モデルルームの概要
Fig. 3 The schematic of the model room.

図 6 受光器の照度－電圧特性
Fig. 6 Illuminance-voltage characteristic of the detector.

図 4 L 形状机、パーティションおよびタスク光源の概要
Fig. 4 The schematic of the L shaped desk, the partition and the task light.

図7 受光器の入射角一感度特性
Fig. 7 Incident angle-sensitivity characteristic of the detector.

(a) 遮光球を設置しない場合
(a) Without the shadow caster,

(b) (70, 70, 57.5) に遮光球を設置した場合
(b) With the shadow caster located at coordinates (70, 70, 57.5).

図8 タスク光源とアンビエント光源の配光分布曲線
Fig. 8 The luminance intensity distribution curves of the Task light source and the Ambient light source.

表1 配光曲線に対する近似式の係数

Table 1 The coefficients of the approximation formula for the luminous intensity distribution curves.

	a	b
タスク光源	1.4	-0.4
アンビエント光源	0.7	0.3

が認められた。また、入射角度特性においては、理論値 $\cos \theta$ との誤差率が $\theta \leq 60^\circ$ で1.0[%]以内であったので、実験遂行には差し支えないものとした。

3.2 光源の配光

図8は光源の配光分布特性であり、○、△はそれぞれタスク光源、アンビエント光源の測定値、実線は理想的な拡散配光の $\cos \theta$ である。図8より明らかなように、両光源ともに拡散性が損なわれているため、式(3)に示す余弦の多項式で近似した。この式に最小二乗法を適用させ、算出した係数 a 、 b の結果を表1に示す。実験値と近似式の最大誤差は、タスク光源の場合-0.05、アンビエント光源の場合-0.04であり、よく一致していることが認められ

た。両光源の光束発散度は、タスク光源が2701 [lm/m²]、アンビエント光源が3782 [lm/m²] である。なお計算においては、光源の配光は軸対称の非均等拡散性配光であるとし前述2.2節の手法を適用し、室内面などの反射配光には軸対称の均等拡散性配光とし前述2.1節の手法を適用した。

3.3 実験値と計算値との比較検討

実験値と計算値との比較の一例として、図9に机上面の照度分布を示す。図9(a)は遮光球を設置しない場合、図9(b)は机上面中央から高さ17.5 [cm] の位置、すなわち $(X_g, Y_g, Z_g) = (70, 70, 57.5)$ に遮光球を設置した場合である。図中の○、□、△は $Y = 60, 70, 80$ 上の実験値、実線はそれぞれに対する計算値である。

図10(a), (b)は、それぞれに対する誤差率特性である。どの測定点においても誤差率は ± 2 [%] 以下であり、平均誤差率は、遮光球を設置しない場合で1.04 [%]、遮光球を設置した場合で1.32 [%] であった。

以上の結果から、実験値と計算値はよく一致しているといえるので、本照度計算法は有効であると考え、以後モンテカルロ法を用いた照度計算による解析を進めることとした。

(a) 遮光球を設置しない場合
(a) Without the shadow caster,

(b) (70, 70, 57.5) に遮光球を設置した場合
(b) With the shadow caster located at coordinates (70, 70, 57.5).

図10 誤差率曲線
Fig.10 The error rate curves.

図11 (70, 70, 57.5) に遮光球を設置した場合の影の深さ曲線
Fig.11 The shadow factor distribution curves when the shadow caster is set at coordinates (70, 70, 57.5).

4. 作業面上に生じる影の特性予測

視環境における影の特性は、作業面上の照度分布を含め、遮光物体から作業面までの空間に作られる本影と半影の効果などを、本質的に3次元の測光量により行った方がよいと思われるが¹³⁾、本論では研究の第一段階として4.1節に述べる2次元の測光量よ

(a) タスク照明のみの場合
(a) In the case of the only Task light,

(b) アンビエント照明のみの場合
(b) In the case of the only Ambient light,

(c) タスク・アンビエント照明の場合
(c) In the case of Task Ambient light.

図12 (70, 70, 57.5) に遮光球を設置した場合の等しい影の深さ曲線
Fig.12 The iso-shadow factor contours when the shadow caster is set at coordinates (70, 70, 57.5).

り得られる「影の深さ」¹⁴⁾により検討することとした。

4.1 影の深さの定義

「影の深さ」は、「影によって失われた照度と、影の無いときの照度の比」で定義される。すなわち、影の深さを S とし、影の中の照度を E_s 、同じ点で影の無いときの照度を E_0 とすると、

$$S = \frac{E_0 - E_s}{E_0} \dots\dots\dots (10)$$

で与えられる。したがって、本影の場合では $S=1.0$ 、半影で $1.0 > S > 0.0$ 、そして影の全く生じていない範囲で $S=0.0$ となる。

影の深さを表す一例として、図9(a)の影のないときの照度曲線と図9(b)の影のあるときの照度曲線より求めた影の深さ曲線を図11に示す。このような「影の深さ」によれば、影の生じているところと、生じていないところの区別が明確であり、また生じている影に対して定量的な検討が可能であることがわかる。

本論では机上面に生じる影の特性として、影の深さの最大値、

ならびに影の深さ $S=0.1$ を越える範囲に注目し、検討を行うこととした。影の範囲として $S=0.1$ を目安にしたのは、P. Moon が述べた「もし影を避け得ない場合でも、照度の変化は10%以下を限度とすべきである」との言葉¹⁵⁾に基づいたからである。

図12は、タスク・アンビエント光源の下に遮光球を $(X_g, Y_g, Z_g)=(70, 70, 57.5)$ に設定した場合の、机上面における等しい影の深さ曲線である。(a)はタスク照明（以下、T 照明と称する）の場合、(b)はアンビエント照明（以下、A 照明と称する）の場合、そして(c)はタスク・アンビエント照明（以下、T&A 照明と称する）の場合を、それぞれ示している。このような曲線から、前述の「影の深さの最大値」ならびに「影の深さ0.1以上の面積」を読み取り、検討を行った。なお、図12(c)に示すように影の深さ0.1以上の区域が二ヶ所ある場合はそれらの合計をとることとし、また影の深さ0.1以上の区域が机上面から外れている部分については無視することとした。

今回は、遮光球の位置 (X_g, Y_g, Z_g) の変化に対する影の特性に注目して検討を加えたものであり、それらの結果については、次節以下に述べる。

なお、モデルルームの設定は、特に断らない限り、3.1節に示した通りとしている。

(a)影の深さの最大値の変化
(a) The variations of the maximum values of the shadow factor,

(b)影の深さ0.1に囲まれた面積の変化
(b) The variations of the areas surrounded by the contour 0.1 of the iso-shadow factor.

図13 遮光球の高さ (Z 座標) に対する影の深さ特性
Fig.13 The characteristics of the shadow factor when the height (Z coordinates) of the shadow factor varies.

4.2 遮光球の高さ (Z 座標) を変化させた場合

図13は、遮光球を $(X_g, Y_g)=(70, 70)$ に一定として、高さを $Z_g=47.5$ から 67.5 まで 5.0 間隔で変化させた場合の、(a)が影の深さの最大値の変化、(b)が影の深さ0.1に囲まれた面積（以下、影の面積と称する）の変化である。それぞれについて T 照明 (●), A 照明 (■) そして T&A 照明 (▲) をパラメータとして表している。

A 照明に注目すると、遮光球の高さの変化に対して影の深さの最大値は約0.76とほとんど一定である。また、影の面積は比較的小さく、その変化としても約30から70という程度である。影の深さの最大値が大きく、影の面積が小さいのは、机上面から遮光球までの高さが、アンビエント光源までの高さに比べて少ないからであり、また影の深さの最大値と影の面積の変化が少ないのは、遮光球の高さの変化分がアンビエント光源までの高さに比べて少ないからと考えられる。

T 照明においては、遮光球の高さが $Z_g=47.5$ と低い場合、影の深さの最大値が0.92と大きく、 $Z_g=67.5$ では0.03と大きく減少している。また、影の面積については、 $Z_g=47.5$ から 57.5 になると 57 から 179 と急激に増加しているが、その後は逆に急激な減少を示している。この影の面積の減少は、影の生じている範囲が机上面から外れてくること大きな原因であり、もしも無限の机上面を想定するならば、影の面積はそのまま増大することになる。また、影の深さの最大値が $Z_g=62.5$ 以上で大きく減少しているのも、これと同じ理由によるものである。

T&A 照明では、影の深さの最大値の変化は T 照明と同じような傾向を示しており、 $Z_g=67.5$ を除けば、影の深さとして0.11から0.25少なくなっている。これにより、タスク光源とアンビエント光源の両者が存在することで、お互いに影を薄めあっている様子がわかる。また、影の面積の変化については、T 照明とほとんど一致しており、影の生じる範囲はタスク光源による影響が強いことを示している。

4.3 遮光球の X 座標を変化させた場合

図14は、遮光球を $(Y_g, Z_g)=(70, 57.5)$ に一定として、X 座標を $X_g=50$ から 70 まで 5 間隔で変化させた場合の、(a)が影の深さの最大値の変化、(b)が影の面積の変化である。4.2節と同様に、T 照明 (●), A 照明 (■) そして T&A 照明 (▲) をパラメータとして表している。なお、 $X_g=70$ から 90 までの範囲は、 $X_g=70$ に対して対称となるため省略した。

A 照明については、影の深さの最大値は約0.75、影の面積は約50とほぼ一定であり、X 座標の変化が、それぞれの値に影響を及ぼさないことを示している。また、このように影の深さの最大値が比較的大きく、影の面積が少ないのは、4.2節と同様に、光源の高さに比べて遮光球の高さが低いからである。なお、 $X_g=50$ における影の面積がやや減少しているのは、影の生じている範囲が机上面から外れたためである。

次に T 照明においては、 X_g が 50 から 60 に変化すると、影の深さの最大値、影の面積共に増加しており、 $X_g=60$ 以上で一定値を示している。ただし、これらの特性は、 $X_g=60$ から 70 において約 $10\sim 20\%$ 、 $X_g=55$ では約 50% 影の範囲が机上面から外れており、 $X_g=50$ では全く影の範囲を持たないという状況を含んでのものである。

T&A 照明では、影の深さの最大値は、 $X_g=50$ を除けば、T 照明より影の深さで0.24から0.30少ない値で同じような傾向で変化している。また、影の面積では、T 照明の場合とほぼ同一の特性

(a)影の深さの最大値の変化

(a) The variations of the maximum values of the shadow factor,

(b)影の深さ0.1に囲まれた面積の変化

(b) The variations of the areas surrounded by the contour 0.1 of the iso-shadow factor.

図14 遮光球のX座標に対する影の深さ特性

Fig.14 The characteristics of the shadow factor when X coordinates of the shadow factor varies.

(a)影の深さの最大値の変化

(a) The variations of the maximum values of the shadow factor,

(b)影の深さ0.1に囲まれた面積の変化

(b) The variations of the areas surrounded by the contour 0.1 of the iso-shadow factor.

図15 遮光球のY座標に対する影の深さ特性

Fig.15 The characteristics of the shadow factor when Y coordinates of the shadow factor varies.

を示していることがわかる。

4.4 遮光球のY座標を変化させた場合

図15は、遮光球を $(X_g, Z_g) = (70, 57.5)$ に一定として、Y座標を $Y_g = 55$ から 85 まで 5 間隔で変化させた場合の、(a)が影の深さの最大値の変化、(b)が影の面積の変化である。これまでと同じく、T照明 (●)、A照明 (■) そして T&A照明 (▲) をパラメータとして表している。

図15(a)、(b)を4.4節で示した図14(a)、(b)とそれぞれ比較すると、大変よく似た傾向が示されており、タスク光源を中心としたほぼ対称な特性であることがわかる。両図においての共通のデータは、遮光球を $(X_g, Y_g, Z_g) = (70, 70, 57.5)$ に設置したものとなるが、これは図14では最も光源中心に近づいた場合である。図15では、さらに光源直下に向けて遮光球を移動させているが、T光源とT&A光源では光源に近いほど、影の深さの最大値は大きく、影の面積は小さくなっていることがわかる。A光源については、これまでと同じくほぼ一定値を示している。なお、Y軸方向においても、 $Y_g = 70$ 以下では影の範囲が机上面から外れており、 $X_g = 60$ 以下では全く影の範囲をもっていない。

5. 結言

オフィス照明方式の一つであるタスク・アンビエント照明において、机上面に生じる影に着目し、モンテカルロ法を用いた照度計算から机上面の影の中の照度分布を求めることを試み、さらに「影の深さ」を用いて机上面の影の特性を求めて、二三の検討を行ったところ、以下のような結果が得られた。

- (1) タスク光源とアンビエント光源を非均等拡散光源として取り扱うために、両光源の配光を余弦の多項式で近似したが、積分の適用が困難であるので、区分求積法を用いて確立密度関数を求めて累積光束と一様乱数との対応を行うことで、モンテカルロ法による照度計算を可能なものとした。
- (2) モデルルーム内にタスクとアンビエントの両光源、什器そして遮光球を設置した場合を考えて、同一条件とした実験と計算を行い比較した結果、平均誤差率は1.5[%]以内であったので、このモンテカルロ法による照度計算は十分に有効であることが確かめられた。
- (3) 計算結果の一例として(2)と同様な設定において、遮光球の位置 (X, Y, Z の各座標) を変えた場合の机上面における影の特性、すなわち影の深さの最大値ならびに影の面積を求めた。

その結果を列挙すると、

- ① アンビエント照明の場合：影の深さの最大値は、遮光球の X, Y, Z 座標の変化に対して0.75~0.77とほとんど一定である。影の面積は、 Z 座標が大きくなると30~70とやや増加するが、 X, Y 座標に対しては、約50で変化が小さい。
- ② タスク照明の場合：影の深さの最大値は、遮光球の Z 座標が大きくなると減少し、 X, Y 座標が大きくなると増加する。その範囲は0.03~0.92と広いものである。影の面積は、 Z 座標では $Z_g=57.5$ において約179とピーク値を表しているが、 X, Y 座標は大きくなるほど増加の傾向にあり、最大で約183である。ただし、これらの結果には、遮光球の位置が高かったり、机上面の端部に近い場合、影の生じている範囲が机上面から外れてしまうことが含まれている。
- ③ タスク・アンビエント照明の場合：影の深さの最大値では、 X, Y, Z 座標の変化に対して、ごく一部を除き、タスク照明の場合より0.12~0.30の範囲で少ない値をとりながら推移している。このことにより、タスク光源とアンビエント光源の両者が存在することで、お互いに影を薄めあっている様子がわかる。また、影の面積については、いずれの場合もタスク照明とほとんど一致していることから、影の生じる範囲はタスク光源による影響が強いことを示している。

今後はこれらの結果を踏まえてさらに検討を重ね、よりよいタスク・アンビエント照明の条件を見出していきたいと考えている。

最後に、本研究は平成7年度(財)照明学会「研究・教育助成金(奨励研究)」によるものである。記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) P. Moon, and D. E. Spencer: "Lighting design", Addison-Wesley Press, pp.306~326 (1948).
- (2) 大谷, 増子, 山家: 「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) 大谷, 藤原: 「水平直線光源下に置いた遮光球による影の特性」, 照学誌, 70-6, pp.249~254 (1986).
- (4) 池本, 磯村: 「什器を有する室内の照度計算法について」, 照学誌, 78-10, pp.504~510 (1994).
- (5) 斎藤ほか: 「タスク・アンビエント照明システム研究調査委員会報告書」, pp.3~5 (1995).
- (6) 松島, 田淵: 「タスク・アンビエント照明の基本的な考え方」, 松下電工技報, 第47号, pp.52~56 (1994).
- (7) 内田, 大谷: 「タスク・アンビエント照明における影の中の照度計算についての検討」, 照学誌, 81-5, pp.449~452 (1997).
- (8) 津田: 「モンテカルロ法とシミュレーション—電子計算機の確立論的応用—」, 培風館, pp.1~5 (1977).
- (9) 長田: 「モンテカルロシミュレーションによる凹閉面室内空間の照度分布計算」, 照学誌, 72-10, pp.163~170 (1983).
- (10) P. R. Tregenza: "The Monte Carlo method in lighting calculations", Light. Res. Technol., 15-4, pp.163~170 (1983).
- (11) 藤原, 北村: 「照明・電熱」, 電気書院, pp.137~138 (1963).
- (12) 社団法人照明学会編: 「大学課程 照明工学 (新版)」, オーム社, p81 (1997).
- (13) 長田: 「空間照度ベクトル分布の決定に関する一考察」, 電気設備学会誌, 13-6, pp.555~563 (1993).
- (14) K. Norden: "Shadow and Diffusion in Illuminating Engineering", Sir Isaac Sons, Ltd., London, pp.3~5 (1948).
- (15) P. Moon: "Scientific Basis of Illuminating Engineering", Dover Publications, Inc., New York, pp.507~514 (1936).

(受付日1998年3月30日/採録日1998年6月4日)

うちだ あきら
内田 暁 (正会員)

日本大学生産工学部電気工学科

おおたに よしひこ
大谷 義彦 (専門会員)

日本大学生産工学部電気工学科

昭和15年3月26日生まれ。昭和37年3月日本大学経営工学科電気工学専攻卒業。昭和37年4月同勤務。現在日本大学教授。工学博士。影の中の照度計算、画像処理装置による照明の評価などの研究に従事。電気学会、日本建築学会、電気設備学会会員。日本照明委員会副会長。