天井面ならびに側壁面点光源による空間照明ベクトルの決定と応用

専門会員 長 田 正 義 (徳島大学)

非会員 下 村 直 行 (徳島大学)

Determination and Application of Spatial Illumination Vector in Lighting Spaces with Single Point Sources on the Ceiling and a Side Wall

Masayoshi Nagata (Fellow Member), Naoyuki Shimomura (Non Member)

Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, The University of Tokushima

ABSTRACT

The three-dimensional nature of illumination processes has been paid little attention in comparison with measurements and predictions of illuminance distributions upon specified surfaces or planes. Nevertheless, this is an area worthy of notice, especially in daylighting designs where the distribution of the flow of light plays an important role in human vision.

This paper treats such three-dimensional light values as the spatial illumination vector and the vector flow, which are newly defined at the center of many unit minor spaces. These are formed by uniformly subdividing the lighting space using many imaginary transparent partitions. An application of Monte Carlo simulation (MCS) to the three-dimensional distributions of the spatial illumination vector is examined in a model lighting room with up to 64,000 subdivisions. These values are also confirmed experimentally by using a trial six-surface-illumination meter.

Two Methods of determining the spatial illumination vector in the lighting space with single light sources on the ceiling and a side wall are compared for numerical experimental values by MCS.

It is found that the spatial illumination vectors obtained by MCS coincide well with experimental ones obtained with the six-surface-illumination meter, and the two sets of numerical experimental values from these two methods agree well with each other to within a few percent. Furthermore, it is clearly found that obstructive screens have a significant effect on the flow of vectors, the distribution of which is greatly disturbed by such screens.

1. ま え が き

快適な視環境設計には2次元面上における光束密度分布を考慮するほか、照明空間全域で3次元的光束密度分布を的確に捕捉することが必要で、その簡潔な定量化手法の開発が望まれている^{1)~6)}。すでに、3次元的光学量を表わすものとして照明ベクトルが定義されているが、理論計算ならびに実測において、特に相互反射作用などを考慮する場合、その値を容易に算出できる実際的な手法は未開発といえる。問題は、大きさと方向をもつ3次元的光学量の照明ベクトルを可能な限り定義に忠実に則り、理論ならびに実験的に適用できる定量化手法を開発することに帰着する。著者らは、すでに、3次元的光学量を定量化する一手法として、多数の仮想単位立方体で室内空間を埋め尽くし、それら仮想単位立方体の6面を流入する光子束数の差が、近似的に照明ベクトルを表わしているとする定義を新たに行っている^{6)~16)}。この手法を用いて天井面に点光源を有する室内空間の空間照明ベク

トルを、モンテカルロシミュレーション(MCS)により求め、その値が、試作した6面照度計による実測値と比較的よく一致することを報告した^{10),13)}。

本研究は、天井面の点光源に加えて側壁面的一方にも点光源を設置したモデル室内空間を対象に、前報¹³⁾で定義した空間照明ベクトルのほか、これを修正した方法による数値実験値を算出したところ両方の値の間には大差がなく、かつ、試作6面照度計による実測値とも比較的よく一致することを確認した。一方、室内空間に遮光物体が存在する場合、その影響は、主として2次元面上の照度分布に与える影響として、従来、検討されてきた。しかし、本研究で新たに定義した空間照明ベクトル分布を遮光物体が存在する凹閉面室内空間¹⁷⁾に応用することにより、遮光物体による影響を室内空間のベクトルの流れ分布の変化として明確に把握できることが判明したので、その検討結果も併せて報告する。

2. 空間照明ベクトルの定義

照明ベクトルは厳密には空間の任意点にある無限小球面上の相対する2点で測定された照度の最大差が生ずる方向を方向とし、その最大差を絶対値とするものと定義されている^{1)~3)}。しかし、照

徳島大学工学部電気電子工学科
本論文の一部は第24回、25回、26回および27回照明学会全国大会で発表した。

明ベクトルを理論ならびに実測により厳密に算出することは簡単ではないので、実際的には Gershun や Cuttle ら²⁾の研究を基礎として次のように定義されている。すなわち、背中合わせにした二つの照度計(二面照度計)の出力差が最大になる受光面の方向(向きは照度の大きい方から小さい方へとる)をベクトルの方向とし、出力差を絶対値とするようなベクトルとしている。実際の照明空間全域において照明ベクトル分布を算出するとき、二面照度計を3次元的に回転させて、二受光面の出力差が最大となる水平角と鉛直角を定める必要があるが、これは簡単な作業ではない。さらに、照明ベクトルを理論的に捕捉するための予測計算においても、この操作は数学的に相当な困難を伴う^{7)~10)}。

一方、本研究では照明空間の3次元的な光束密度分布を決定する手法として、まず、透過率 $\tau=100\%$ の仮想区分板で、室内空間を多数の単位小空間に等分割した。次に、この単位小空間の平行し、相対する3組の2壁面への光子束の流入と流出の差が、それぞれ、XYZ直交座標系の3軸方向成分とする照明ベクトルを、近似的に表現していると仮定し、これを新たに単位小空間中心点の空間照明ベクトルと定義した^{7)~11)}。一方、実測には、この単位小空間と同一の大きさをもつ6面照度計を設置して、3組の2面照度計の照度差から同様に3軸方向成分を算出して空間照明ベクトルを決定する。したがって、室内空間の等分割数が多くなればなるほど、いわゆる照明ベクトルの定義による光学量により近い値が得られることになる。本手法は、空間照明ベクトルの予測計算値ならびに実測値の算出が、2面照度計による照明ベクトル値の決定と比較して非常に容易であり、また、単位小空間中心点で空間照明ベクトルの値を一義的に決定できる利点がある。

以下に、空間照明ベクトルの定量化手法を説明する。

2. 1 従来手法

XYZ直交座標系の原点Oを室内空間床面の一隅に一致させ、室内空間を透過率 $\tau=100\%$ の仮想区分板で等分割して得られた多数の単位小空間で構成されるモデル室内空間の概略を図1に示

す。ここでは一例として各辺を40等分しており、単位小空間は $40 \times 40 \times 40 = 64,000$ 個になる。任意の単位小空間の中心点で空間照明ベクトルを決定するために、照明空間内の任意の単位小空間 $S_{j,k,m}$ ($j,k,m=1 \sim 40$) に注目し、その周辺部分との境界面、すなわち、仮想6壁面を通じて流出入する光子束の模様を示したものが図中の拡大図である。面1,2が平行し相対する2壁面を構成し、X軸と直交している。同様に面3,4がY軸と、また、面5,6がZ軸と直交し、それぞれが平行し相対する2壁面を構成する。これら3組の2壁面を流出入する光子束を各壁面の内外2面で、それぞれ算出し、光子束の方向を加味して合計した値が空間照明ベクトルのX,Y,Zの3軸方向成分に比例するとした¹¹⁾。すなわち、拡大した単位小空間の一例、 $S_{j,k,m}$ の6壁面を通して流出入する光子束 $f(n,i(o))$ (i :流入, O :流出, $n=1 \sim 6$) から、空間照明ベクトルのX,Y,Zの3軸方向成分、それぞれ E_x, E_y, E_z を式(1)のように定義した^{(7),(9)}。

$$\left. \begin{aligned} E_x &= C(f_{1i} - f_{1o} + f_{2o} - f_{2i}) \\ E_y &= C(f_{3i} - f_{3o} + f_{4o} - f_{4i}) \\ E_z &= C(f_{5i} - f_{5o} + f_{6o} - f_{6i}) \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

ここで、Cは光子束数と単位小空間の壁面照度との関係を表わす定数で、単位は [lx/数]。

空間照明ベクトルEは E_x, E_y, E_z をを用いて式(2)で表わされる。

$$E = E_x i + E_y j + E_z k \dots\dots (2)$$

ここで、 i, j, k はそれぞれX,Y,Z軸方向の単位ベクトル。 E_x, E_y および E_z を合成して得られた空間照明ベクトルの一例を図2に示した。空間照明ベクトルの絶対値 $|E|$ は式(2)から式(3)で表される。

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

また、空間照明ベクトルの水平角 ϕ と鉛直角 θ は、その方向を図2のように測り、式(4)と式(5)で求められる¹³⁾。

図1 .64,000個の単位小空間で構成される照明空間と単位小空間 $S_{j,k,m}$ に流出入する光子束
Fig.1. Lighting space composed of 64,000 unit subdivisions and Photon bundles flowing into and out through fictitious six wall surfaces of unit space $S_{j,k,m}$

$$\phi = \tan^{-1}(E_y/E_x) \quad \dots\dots (4)$$

$$\theta = \sin^{-1} \frac{\sqrt{E_x^2 + E_y^2}}{\sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}} \dots\dots (5)$$

図2. 空間照明ベクトルの合成とその水平角 ϕ 、鉛直角 θ
 5 g.2. Composition of spatial illumination vector with horizontal angle ϕ and vertical angle θ

2. 2 6面照度計の原理に基づくもの

2.1節では、空間照明ベクトルのXYZ3軸方向成分を決定する場合、図1で示した単位小空間の3組の平行し、相対する2壁面の内外両面に流入する光子束数の相違が、それぞれ3軸方向成分に比例するとした。しかし、空間照明ベクトルを実測する試作6面照度計の6壁面は不透明な材料で製作されており、6壁面外面にのみ入射する光束による照度を計測しているの、予測計算においても6壁面内面から流出する光子束を無視する必要がある。従って、本手法では式(1)で f_{10} , f_{20} , f_{30} , f_{40} , f_{50} および f_{60} を零とした。空間照明ベクトルの3軸方向成分、 E'_x , E'_y , E'_z は式(1)から、式(6)で定義した。

$$\left. \begin{aligned} E'_x &= C(f_{11} - f_{21}) \\ E'_y &= C(f_{31} - f_{41}) \\ E'_z &= C(f_{51} - f_{61}) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots (6)$$

以上二種の定義に基づきMCSによって空間照明ベクトルを算出した。

3. 二手法による空間照明ベクトル

天井面中心点と一方の側壁面中心点に点光源を持つ、64等分割モデル室内空間の一例を図3に示す。室内空間は、透過率 $\tau = 100\%$ の仮想区分板によって一辺を4分割した事例で、 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 個の単位小空間で構成される。この単位小空間1個が $125(8,000/64=125)$ 個の8,000分割単位微小空間で構成される。空間照明ベクトルのMCS数値実験値と実測値との比較は、125個の8,000分割単位微小空間のうちで64分割単位小空間と中心点を共有する中心部の単位小空間において行った。すなわち、実験に用いたモデル室は一辺が1mの立方体室であり、これを8,000分割した単位微小空間の大きさが、一辺5cmの試作6面照度計の大きさと一致するようにしている。図4に、64分割単位小空間64個とその1個が8,000分割単位微小空間125個で構成される模様を、この室内空間において(3,3,4)位置にある64分割単位小空間の一例を用いて示している。二種の定義による空間照明ベクトルEの計算結果の一例を図4の表記法に基づく8例に対して、表1に示した。ここで、天井面ならびに側壁面点光源全光束は、それぞれ、50lmと仮定している。表1中の $|E|_{\max}$ は、それぞれの定義による空間照明ベクトルの最大値で、両方とも(4,4,2)単位小

空間で生じている。水平角 ϕ と鉛直角 θ の値も併せて示した。二種の定義に基づく空間照明ベクトルの相違は $|E|, \phi, \theta$ とも最大でも数%以内で、両者は残りの56個の単位小空間でもよく一致した。このように、二つ定義による空間照明ベクトルの計算値には大差のないことが分かったので、本文中のMCS数値実験値は全て2.2節の手法によるものを用いた。

図3. 直交2平面上に点光源をもつ64分割モデル室内空間
 Fig.3. Model lighting room having 64 unit subdivisions with single point sources on the ceiling and a side wall

図4. 64分割単位系における単位小空間(3,3,4)
 Fig.4. Schematic diagram of unit subspace(3,3,4) in 64 unit subdivision system

表1. 二種の定義による空間照明ベクトル(反射率 $\rho = 60\%$)
 Table 1. Spatial illumination vectors due to two definitions for two point sources($\rho = 60\%$)

単位小空間	2.1節の定義			2.2節の定義		
	$ E $ [%]	ϕ [deg]	θ [deg]	$ E $ [%]	ϕ [deg]	θ [deg]
(1,1,1)	11.0	214.8	124.8	11.3	216.8	122.8
(2,1,1)	14.0	216.0	128.9	13.6	217.2	134.0
(1,2,1)	10.8	196.8	126.8	11.6	196.6	123.8
(2,2,1)	14.1	192.3	129.1	13.7	187.7	130.3
(1,1,4)	15.7	218.6	84.3	16.6	214.6	80.3
(2,1,4)	23.8	234.1	89.4	24.5	236.5	89.4
(1,2,4)	20.8	201.0	94.2	22.3	195.7	92.5
(2,2,4)	73.7	220.3	117.8	74.0	219.2	118.7
(4,2,2)	$ E _{\max} = 198.1$ [lx]			$ E _{\max} = 197.9$ [lx]		

4 空間照明ベクトルの測定方法

一辺の長さ1 m, 64等分割したモデル立方体室内空間(図3)の天井面ならびに一方の側壁面中心部に、つや消し電球(100V, 100 W)の下半球部を室内に設置した。ただし、二つの白熱電球の水平配光曲線は円形ではないものの、鉛直配光曲線は比較的半円に近い形状をしているので、本研究では、これらを半球面状配光光源と仮定して使用した。

室内面の反射率については次の二種を検討した。室内空間を黒色ビロードで被った場合を反射率約4%と仮定した⁽¹³⁾。また、白色の模造紙を張り反射率約60%の室内空間を構成した⁽¹³⁾。空間照明ベクトルの測定に使用した試作6面照度計の受光部の概略図を図5に示す。一辺5 cmの黒色立方体の6面中央部に同一特性をもつデジタル照度計(T-1M)の受光器を6個取り付け、6面照度計を製作した。空間照明ベクトルの測定においては、まず、6面照度計の受光部を、64分割単位小空間の中心部を構成する8,000分割単位微小空間の位置と形状に一致させて設置した。次に、この受光部の6面中央部に設置された受光器の出力をデジタル照度計へ導き、6個の照度値に換算した。これら6個の測定値のうち相対する2面間の照度値の差を求め、この3組の照度値を、それぞれ、XYZ軸方向成分としてベクトル的に合成し空間照明ベクトルを決定した。

図5. 6面照度計の受光部
Fig. 5. Photodetector of six-surface-illumination meter

5. 空間照明ベクトルの実測値

5.1 室内面の反射率 $\rho = 4\%$

空間照明ベクトルの実測例として、16個の単位小空間からなる側壁面にもっとも近い $V_{x3}-V_{x4}$ 鉛直断面間小空間の空間照明ベクトル分布を図6(a)に示す。この実測値に対応するMCS数値実験値を2.2節の定義により求めその分布図を図6(b)に示した。両者の相違は大きいもので10数%, 平均して10%以内である。ここで、空間照明ベクトルを次のように表わした。図中の円の半径が単位小空間中心点で定義された空間照明ベクトルの大きさを、また、矢印の長さは空間照明ベクトルを側壁面の側方から見てY-Z平面に投影したものに对应する。図中の数値は空間照明ベクトルの最大値を100%に選んで、各々を相対値で示しており、 $V_{x3}-V_{x4}$ 鉛直断面間小空間における空間照明ベクトルの実測値の最大値は3,380lxである。この鉛直断面間小空間の中心点を囲む4単位小空間における空間照明ベクトルが特に大きく、70-100

%の範囲にある。しかし、これらの値の間に相違があるのは光源の配光が完全な半球面状配光でないことによる⁽¹³⁾。中心4個の単位小空間を除く周辺の単位小空間12個の空間照明ベクトルは、中心4個の値の約30%以下に減少している。この領域では光源との距離が増加して直射照度が減少することと、室内面反射率が完全に零でないためにわずかに存在する拡散照度の影響によるものと考えられる。また、中心点光源を囲む中心部の4単位小空間における空間照明ベクトルのうち下部2個の値が、上部2個の値と比較して10%程度大きくくなっている。上部2個の空間照明ベクトルには、下部2個のものよりも天井面光源の影響が大きく出ている結果と考えられる。

図6. $V_{x3}-V_{x4}$ 鉛直断面間小空間における空間照明ベクトル分布($\rho=4\%$), (a)実測値, (b)MCS値, L:点光源

Fig. 6. Spatial illumination vector's distribution in $V_{x3}-V_{x4}$ vertical minor space($\rho=4\%$), (a)Measured results (b)MCS's ones, L:point light source.

空間照明ベクトルの鉛直成分はこの鉛直小空間全域で中心点から、ほぼ、放射状に周囲の天井面、床面および側壁面に向かって分布しており、光源の配光特性からみて妥当なものになっている。

ここで、MCS数値実験結果の絶対値は次のように決定した。モデル室内空間において反射光の影響がもっとも少なく、ほぼ、点光源からの直射照度だけで空間照明ベクトルが構成される領域、すなわち、 $V_{x3}-V_{x4}$ 鉛直断面間小空間の中心部における4単位小空間の平均照度に対して、MCS数値実験値が実測値と等しくなるように式(1)の定数Cを選定した。これを基にして、各々の単位小空間の空間照明ベクトルを決定した。 $V_{x3}-V_{x4}$ 鉛直断面間小空間全域における空間照明ベクトルのMCS数値実験値と実測値は数10%程度の誤差率で近似しており、一方、鉛直角 θ は、室内中心点から放射状に分布していて実測値と比較的によく一致している。

5.2 室内面の反射率 $\rho = 60\%$

室内面の反射率を60%に選定した場合、5.1節と同様に $V_{x3}-V_{x4}$ 鉛直断面間小空間における空間照明ベクトルの実測値を図7(a)に示す。この実測値に対応するMCS数値実験値を図7(b)に示した。実測した空間照明ベクトルの最大値は3,475lxである。MCS数値実験値は同様に3,378lxとなり、最大値の生ずる比較的光源に近い単位小空間位置では反射率増加の影響は相対的に小さいものであった。 $V_{x3}-V_{x4}$ 鉛直断面間小空間の中心点近傍にある4単位小空間の空間照明ベクトルが、反射率 $\rho=4\%$ の事例と同様に周辺部の12単位小空間の値と比べて大きく80-100%の範囲にある。この領域では、室内面反射率の増加により拡散照度成分は増加するが、単位小空間6壁面へ流入する光子束は、ほぼ、均等に増加すると考えられるので、拡散照度の影響は少なく、直射

照度成分の影響が比較的大きく出て、結局、 $\rho = 4\%$ における空間照明ベクトルの絶対値との相違が5%程度におさまったものと考えられる。中心部の4単位小空間における空間照明ベクトル相互間の絶対値の相違は $\rho = 4\%$ の場合と比べると小さくなり、この領域における空間照明ベクトルの不揃いの度合いが小さくなり、光源配光の非対称性による影響が相対的に減少したためと考えられる¹³⁾。また、実測値とMCS数値実験値の相違は中心部では小さく、周辺部で比較的大きいがその相違は絶対値、水平角及び鉛直角とも約20%程度である。

図7. $V_{x3}-V_{x4}$ 鉛直断面間小空間における空間照明ベクトル分布 ($\rho=60\%$). (a)実測値, (b)MCS値, L:点光源
Fig.7. Spatial illumination vector's distribution in $V_{x3}-V_{x4}$ vertical minor space ($\rho=60\%$). (a) Measured results (b) MCS's ones, L: point light source.

5.3 $V_{y2}-V_{y3}$ 鉛直断面間小空間における分布

天井面ならびに側壁面上の二つの光源の影響が最もよく現れる領域、すなわち、 $V_{y2}-V_{y3}$ 鉛直断面間小空間 ($\rho=60\%$)における空間照明ベクトルの実測値とMCS数値実験値を図8(a), (b)に示す。天井面のみに点光源を有する場合の空間照明ベクトル分布¹³⁾と比較して、当然複雑化しており、前者では空間照明ベクトルが光源から放射状に壁面ならびに床面に向かっていているが¹⁵⁾、後者では前者のものに加えて両光源を結ぶ直線にそって相対する方向のものが存在している。両光源に最も近い4つの単位小空間における空間照明ベクトルの値が特に大きくなっている。それらのうち、側壁面光源に近いものが天井面光源に近いものよりも比較的大きくなっているのは、両光源の室内への放射光束の比(側壁面光源:天井面光源=1.1:1.0)に相違があるためである。しかし、一般的に空間照明ベクトルの大きさと鉛直角に関して、実測値とMCS数値実験値とは比較的良好一致していることがわかる。

図8. $V_{y2}-V_{y3}$ 鉛直断面間小空間における空間照明ベクトル分布 ($\rho=60\%$). (a)実測値, (b)MCS値, L:点光源
Fig.8. Spatial illumination vector's distribution in $V_{y2}-V_{y3}$ vertical minor space ($\rho=60\%$). (a) Measured results (b) MCS's ones, L: point light source.

図7と図8に示した空間照明ベクトルの分布図は、比較的光源に近い領域ではその値が大きく、逆に光源より遠ざかるほど値が小さくなり、特に、後者ではベクトルの大きさと方向が判然としなくなる。そこで図9(a), (b)は、空間照明ベクトル分布において鉛直角の方向を出来るだけ見易くするために図8(a), (b)の空間照明ベクトルの大小関係を無視し、全てのベクトルを同一長さで表わしたものを示した。ここで、この空間照明ベクトル分布を新たにベクトルの流れ分布と定義する。こうすることで室内空間全域で空間照明ベクトルの向きが非常に分かりやすくなっている。特徴的なことは、両光源を結ぶ直線上に相対する空間照明ベクトルが存在し、これを境に天井面の隅へ向かうものと側壁面ならびに床面方向に向かう2種類の空間照明ベクトルが明瞭に示されていることである。光源からの距離の増加に伴う空間照明ベクトルの減少を無視して、全単位小空間で同一長さで表わすことで照明空間全域におけるベクトルの流れ分布が明瞭に表現できることになる⁷⁾⁻¹⁰⁾。以上のように、ベクトルの流れ分布を用いることにより、照明空間全域の空間照明ベクトルの方向を明確にすることが可能となり、視環境の3次元的な検討に寄与するものと考えられる。

図9. $V_{y2}-V_{y3}$ 鉛直断面間小空間におけるベクトルの流れ図 ($\rho=60\%$). (a)実測値, (b)MCS値, L:点光源
Fig.9. Distribution of vector flow in $V_{y2}-V_{y3}$ vertical minor space ($\rho=60\%$). (a) Measured results (b) MCS's ones, L: point light source.

6. 空間照明ベクトルの凹閉面室内空間⁽¹⁷⁾への応用

一般に、照明空間における照明ベクトル分布が光の流れ分布を表すとされており、昼光照明においては視環境評価の重要な要因であることが認識されている^{2)-4), 12), 13)}。本研究では、前述したように室内空間における光束密度分布の大きさとその方向を簡潔に把握する方法として、空間照明ベクトルを定義した。ここで、空間照明ベクトルの方向に特に注目し、ベクトルの大きさを全ての単位小空間において同一長さで表わし、これをベクトルの流れ分布と定義したが、室内空間の分割数が増加すると、結果的に一層詳細な空間照明ベクトルやベクトルの流れ分布を表現できることになる。室内空間の分割数を増加した一例として図1に示した中空室内空間の天井面と側壁面に点光源を設置し、室内空間の分割数を64,000($=40 \times 40 \times 40$)に選んだ室内構成を図10に示す。空間照明ベクトル分布の一例として、 $V_{y22}-V_{y23}$ 鉛直断面間小空間におけるものを図11(a)に示した。ここで室内壁面の反射率を $\rho=60\%$ と仮定している。空間照明ベクトルは一般に光源に近く、直射照度成分の割合が増加すると大きくなり、逆に光源から遠ざかると小さくなり、かつ、分割数の増加によって詳細な分布が得られるが、一方、その大きさと方向が判別し難くなる。そこで、前述したベクトルの流れ分布を $V_{y22}-V_{y23}$ 鉛直断面間小空間において表したものが図11(b)である。同一点光源が対称的に天井面と側

壁面にあり、二つの点光源からの光束が室内面に入射しているの
で、点O ($X=0, Z=0$)と点P ($X=40, Z=40$)を結ぶ仮想直線に関し
て対称的なベクトルの流れ分布になっている。

図10. 直交2平面上点光源をもつ64,000分割室内照明空間
Fig.10. Model lighting room having 64,000 unit subdivisions with single point sources on the ceiling and a side wall

図11. 中空室内空間の空間照明ベクトル分布とベクトルの
流れ分布 ($V_{Y22}-V_{Y23}$ 鉛直断面間小空間), L:点光源
Fig.11. Distribution of spatial illumination vector and vector flow in an empty lighting room ($V_{Y22}-V_{Y23}$ vertical minor space), L: point light source.

次に、室内空間に設置した遮光物体が空間照明ベクトル分布に
どのような影響を及ぼすかを検討するために、この中空室内空間
に図12に示すような3枚の遮光板を挿入した場合の事例を図13に
示した。遮光板の存在が、中空室内空間の対称的なベクトルの流
れ分布図11(b)を大きく変化させている。特に、3枚の遮光板が存
在する領域でベクトルの流れ分布の変化が著しい。また、3枚の
遮光板で囲まれた床面近くの単位小空間においては、ベクトルの
流れ方向はほとんど鉛直になっており、側壁面点光源の効果が3
枚の遮光板によって除かれている。遮光板にさらに近接した領域
のベクトルの流れ特性は、遮光板間の中間領域における鉛直方向
から遮光板へ向かう水平角度成分が増大したものに変化してい
る。この事例では、遮光板の反射率を室内面と同一の60%に選定
しているので、ベクトルの流れ角度は、中空室内空間における側
壁面近傍のベクトルの流れ角度と、ほぼ、同様な値を示したもの
と考えられる。

このように3次元的光学量である空間照明ベクトル分布が照
度分布特性に加えて利用できると、照明空間における視環境評価
が一層明確にできることになる。特に、室内空間内部に衝突のよ
うな遮光体が存在し、複雑な影が出現して床面上の照度分布が非

常に複雑になる場合でも、ベクトルの流れ分布を参考にして遮光
体の影響を3次元的にも適確に評価できると考えている。

図12. 3枚の遮光板をもつ室内照明空間の概略図
Fig.12. Schematic diagram of lighting room with three screens

図13. 3枚の遮光板をもつ室内照明空間の空間照明ベクトルと光の流れ分布
($V_{Y22}-V_{Y23}$ 鉛直断面間小空間), L:点光源
Fig.13. Distributions of spatial illumination vector and Vector flow in concave lighting room with three screens ($V_{Y22}-V_{Y23}$ vertical minor space), L: point light source.

7. まとめ

天井面ならびに側壁面に点光源を設置したモデル室内空間にお
いて空間照明ベクトルのMC S数値実験値と試作6面照度計によ
る実測値との比較結果から、明らかになった主な事項は次のとおり
である。

- (1) 透過率 $\tau=100\%$ の仮想区分板によって室内空間を多数の仮
想単位小空間に分割し、この単位小空間の3組の平行し、相対す
る2面を流出入する光子束数の相違を基に、単位小空間中心点で
空間照明ベクトルをMC Sにより新たに定義できた。
- (2) 空間照明ベクトルを決定する二種の定義に基づく数値実験値
の相違は数%以内であった。
- (3) 試作6面照度計による空間照明ベクトルの実測値とMC S数
値実験値は数10%程度の誤差率で近似していることが分かった。
- (4) 空間照明ベクトル分布は、各单位小空間でベクトルの大き
さを同一にとってベクトルの流れ分布に変換できるが、これを用
いて室内空間に存在する遮光板の影響を3次元的に検討すること
ができる。

今後は、6面照度計による測定精度の向上とモデル室内空間の
構造、光源および室内面反射率などの実験条件を改善して、より
実際の空間照明ベクトル分布の測定を継続する予定である。

なお、数値実験には徳島大学計算機センターのFACOM、M-

760を使用した, 図13などの数値実験に要した時間は数10分 (CPU time)であった。

最後に空間照明ベクトルの測定方法や実験結果について様々なご討論とご教示を賜った足利工業大学沖充人教授, 日本大学松浦正博教授および摂南大学野口透教授に衷心より謝意を表する。また, 実験その他で協力を得た大学院学生松田圭輔(現鹿島建設KK), 中島健夫(現京セラKK)および当時本学卒業研究生の諸君にも感謝いたします。

参 考 文 献

- (1) A. Gershun: "The light field" (translated by P. Moon and G. Timoshenko), J. Math. Phys., 18, p. 51, 1939.
- (2) C. Cuttle & W. B. Valentine, et al.: Beyond the working plane, Proc. CIE Conf. Washington, 12, P. 67, 1967.
- (3) J. A. Lynes & W. Burt, et al.: The Flow of light into Buildings, Trans. Illum. Engng. Soc., London, 31, 3, p. 65, 1966.
- (4) 佐々木, 金子ほか: 照明空間における照明ベクトルと光束密度, 照学誌, 63, 7, p. 379, 昭54.
- (5) 中村, 沖ほか: 新しく試作した六面照度計と測定例, 日本建築学会, 4241, p. 481, 昭62.
- (6) 長田: モンテカルロシミュレーションによる無限長室内空間の照度分布計算, 照学誌, Vol. 71, No. 6, pp. 349-354, 1987.
- (7) M. Nagata: Monte Carlo simulation of illuminance distribution and luminous flux density in interior space evenly divided by many transparent partitions, Proc. CIE Conf. 22nd session, Division 3, Melbourne, p. 63, 1991.
- (8) 長田ほか: 1000分割した室内空間の照度分布, 光束ベクトル, 光の流れ及び空間光束密度のモンテカルロシミュレーション, 第24回照明学会創立75周年記念全国大会, 69, p. 101, (平3)
- (9) 長田ほか: モンテカルロシミュレーションによる照明空間の光束ベクトルと光の流れの決定, 電学論, Vol. 112A, No. 1, p. 70, 1992.
- (10) 長田ほか: 試作した6面照度計による照明ベクトルの実測, 第10回電気設備学会研究発表会, E-1, p. 127, (平4)
- (11) 長田: 多数の遮光板を持つ室内空間の照度分布と光束保存性のモンテカルロシミュレーション, 電学論, Vol. 111A, No. 3, pp. 243-244, 1991.
- (12) 長田ほか: 64000分割した室内空間の光束ベクトルとモデリング効果指数分布のMCS, 第10回電気設備学会研究発表会, E-2, p. 129, (平4)
- (13) 長田: 空間照明ベクトル分布の決定に関する一考察, 電気設備学会誌, Vol. 14, No. 6, pp. 555-563, 1993.
- (14) M. Nagata et al.: Monte Carlo simulation of luminous flux vector, flow of light and modelling effect in an interior having 64,000 subdivided ones, Proc. Lux Europa, Vol. 2, pp. 913-916, Edinburgh, 1993.

- (15) 長田: MCSによる室内空間における光束保存則の検討, 照学誌, Vol. 77, No. 6, pp. 99-101, 1993.
- (16) M. Nagata et al.: Monte Carlo simulation of spatial illumination vector and flow of light in a model room with 64,000 subdivisions, Proc. CIBSE National Lighting Conf. pp. 111-118, Cambridge, 1994.
- (17) 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, Vol. 72, No. 10, pp. 596-601, 1988.

付 録

空間照明ベクトルと照明ベクトルとの相違

従来, 照明ベクトルの実測には定義に基づいて照明ベクトル測定器が使用されている。その定義は, 本文中でも述べたように空間の任意点に設置した無限小2面照度計を水平ならびに鉛直方向に回転させ, 二面照度値の最大差が生ずる方向を方向とし, その値を照明ベクトルの大きさとしている。一方, 本文で定義した空間照明ベクトルは, 同一点に立方体形状の仮想受光器と6面照度計を直交座標系に沿って設置し, X, Y, Z, 3軸方向と直交する2面上の照度差を(1)式とそれを補正した(6)式により, それぞれ3組求め3軸方向成分としている。これら三つの値をベクトル的に合成したものを空間照明ベクトルと定義している。単位小空間の大きさを無限小にした場合, 照明ベクトルと, ほぼ, 等しくなると思われるが, 現段階の室内分割数では両者を区別しておく必要がある。従って, 照明ベクトルとは異なっていると考えている。

(受付日1994年7月7日/採録日1994年10月6日)

ながた まさよし
長田 正義 (専門会員)

徳島大学工学部電気電子工学科

1936年9月5日生。1966年3月徳島大学院工学研究科終了。同年同大学工学部助手, 1968年11月同工業短期大学部講師, 1971年11月同助教授, 1979年4月同教授, 1993年10月同大学工学部教授, 現在に至る。工学博士。主として, MCSによる室内照明設計に従事。電気学会, 放電研究グループ, IEEE, 火災学会, 電気設備学会各会員。

しもむら なおゆき
下村 直行 (非会員)

徳島大学工学部電気電子工学科

1964年9月28日生。1989年熊本大学大学院修士課程終了。1990年同工学研究科博士課程中退。同年徳島大学工学部電気電子工学科助手, 現在に至る。この間, 主としてパルスパワーおよび高電圧の研究に従事。日本物理学会会員。