室内照明・採光系における測光量の特性解析と その等照度図

専門会員 飯塚 昌之* 専門会員 石野 幸三*

Characteristic Analysis on Photometric Quantities and Its Isolux Diagram in Interior Lighting and Daylighting Systems

Masayuki Iizuka (Fellow Member) Kozo Ishino (Fellow Member)

(Nagoya Institute of Technology)

ABSTRACT

The lighting and daylighting designs of a room often include a prediction of the average illuminance on the working plane, and the illuminance or luminance distribution on various surfaces. It is very difficult to obtain an analytical solution of various interior inter-reflection problems which is based on the Fredholm type integral equation.

In this paper, the authors have accomplished a program of FORTRAN IV for the numerical solution based on the photometric quantities by using the point-by-point method, the luminous flux transfer method and the superposition theorem in an idealized room. It is possible to predict the direct and total flux received by a rectangular surface, and the average illuminance, and the illuminance distribution by using this program, and moreover to predict an isolux diagram on the horizontal or vertical plane from the output of the digital computer such as the line printer or X-Y plotter.

1. ま え が き

昼間の作業室内では、昼光の特徴を生かし、さらに人工照明を併用することによって、窓周辺部にいる人の顔の見え方や、室内での快適なふんい気を与えるような照明採光計画をエネルギー事情を考慮して、総合的に行なうことが重要視されるようになってきた。作業室内での照明の量的および質的な改善は、作業者の勤労意欲を高めたり疲労を少なくして生産性の向上に寄与する。

一方、室内の使用目的に応じて、物の見え方、快適さ、美しさといった主観的で、感覚的な人間中心とした室内照明採光設計法¹⁾、ならびにその評価法²⁾の研究も必要である。

本論文では、PSALI 評価³⁾に必要な測光量に基づく基礎データ：昼間において、顔の見え方や快適な視環境を

成就するための特定な面上での照度とその分布、視野内での輝度バランスを改善し、グレアを減少させるための輝度を予測する一手段として、コンピュータ援助設計をとり入れ、等照度図に関する図形処理を行なっている。

特に、採光窓面が一様で等初期輝度を持つ場合と、CIE 標準曇天空の輝度分布の影響を仮定して、コンピュータの出力：ラインプリンタあるいはXYプロッタ上で、相対精度と絶対精度を考慮して図形処理した結果を示す。さらに、単純で理想化された室内併用照明系での、各面上の平均輝度、拡散平均照度についても検討する。

2. コンピュータによる図形処理と等照度図

一語あたりのビット数の少ないミニコン、あるいは小型電子計算機でも、数値計算結果としてのデジタル量をアナログ量に変換して、出力させる機能をそなえている。

一方、図形処理用の出力装置として、X-Yプロッタ

* 名古屋工業大学電気工学教室

あるいは CRT ディスプレイもあるが、装置自体が比較的高価であり、計算機システムとして利用できる人は現状ではまだ少ない。本論文では、次の事項を考慮して一般的な計算機出力：ラインプリンタで等照度図に関する図形処理⁴⁾を実行し、さらに X-Y プロッタによる出力結果との比較も行なう。

(1) 図形処理用の特別なプログラムを必要とせず、A 変換の機能を応用して、簡単な FORTRAN IV プログラムで実行できる。

(2) ラインプリンタ用紙の大きさ内で、比較的良好な精度が得られる。相対精度として図形の大きさ、すなわち、印字の個数を自由に選択できる。絶対精度として、特定面上での照度値範囲の指定、ならびに対応する文字や記号を簡単に変更できる。

図 1 直接等照度図処理のための流れ図

図 1 は人工照明、採光照明および併用照明系における直接等照度図を、ラインプリンタ上で印刷させるための簡単な流れ図である。入力データとしては、入力面の初期輝度、室の大きさ、人工照明として、天井面に仮定した複数の面光源、採光照明として、片側窓の大きさとその位置関係を示す数値が必要である。サブプログラム中で、面光源による水平面および鉛直面上の直接照度計算を次節で述べる公式を使用して逐点法により行なう。

3. 面光源による直接照度計算式

Bell⁵⁾ は面光源の輝度分布を、二次の余弦多項式で表示し、水平面上の直接照度計算式を二重積分法（変数変換法）により導いた。

面光源の輝度分布は次式による。

$$L(\theta) = L_0 + L_1 \cos \theta + L_2 \cos^2 \theta \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 L_0, L_1, L_2 ：面光源に対して法線方向の輝度

図 2 面光源と平行な受照面

図 2 は面光源の大きさ： $a \times b$ で高さ： h の場合、水平面上の直接照度を計算するための位置関係を示すものである。

(1) $L(\theta) = L_0$ (一定) で完全拡散性の場合

$$E = \frac{1}{2} L_0 \left[\frac{b}{\sqrt{h^2 + b^2}} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{h^2 + b^2}} + \frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} \right] \dots\dots\dots(2)$$

(2) $L(\theta) = L_1 \cos \theta$ の場合

$$E = \frac{1}{3} L_1 \left[\frac{hb}{h^2 + b^2} \sin \left(\tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{h^2 + b^2}} \right) + 2 \tan^{-1} \left\{ \tan \left(0.5 \tan^{-1} \frac{b}{h} \right) \cdot \tan \left(0.5 \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{h^2 + b^2}} \right) \right\} + \frac{ha}{h^2 + a^2} \sin \left(\tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} \right) + 2 \tan^{-1} \left\{ \tan \left(0.5 \tan^{-1} \frac{a}{h} \right) \cdot \tan \left(0.5 \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} \right) \right\} \right] \dots\dots\dots(3)$$

(3) $L(\theta) = L_2 \cos^2 \theta$ の場合

$$E = \frac{1}{4} L_2 \left[\frac{b}{\sqrt{h^2 + b^2}} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{h^2 + b^2}} + 0.5 \frac{h^2}{h^2 + b^2} \cdot \frac{b}{\sqrt{h^2 + b^2}} \left\{ \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{h^2 + b^2}} + 0.5 \sin \left(2 \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{h^2 + b^2}} \right) \right\} + \frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} + 0.5 \frac{h^2}{h^2 + a^2} \cdot \frac{a}{\sqrt{h^2 + a^2}} \left\{ \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} + 0.5 \sin \left(2 \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{h^2 + a^2}} \right) \right\} \right] \dots\dots\dots(4)$$

図 3 面光源と垂直な受照面

図 3 は面光源の大きさ: $a \times b$ で距離: d の場合, 水平面上の直接照度を計算するための位置関係を示すものである. 小島ら⁶⁾は長方形の鉛直採光面が, 天頂輝度 L_z の CIE 標準曇天空の輝度分布: $L(\theta) = L_z \cdot (1 + 2 \sin \theta)/3$ の影響を受ける場合について, 次式の計算式を導いた.

- (1) $L(\theta) = L_z$ (一定) で完全拡散性の場合

$$E = \frac{1}{2} L_z \left[\tan^{-1} \frac{b}{d} - \frac{d}{\sqrt{d^2 + a^2}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{d^2 + a^2}} \right] \quad \dots \dots \dots (5)$$

- (2) $L(\theta) = L_z \cdot (1 + 2 \sin \theta)/3$ の場合

$$E = \frac{L_z}{36} \left\{ 8 \left\{ \tan^{-1} \frac{ab}{d\sqrt{a^2 + b^2 + d^2}} - \frac{abd}{(a^2 + d^2)\sqrt{a^2 + b^2 + d^2}} \right\} + 6 \left\{ \tan^{-1} \frac{b}{d} - \frac{d}{\sqrt{d^2 + a^2}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{d^2 + a^2}} \right\} \right\} \quad \dots \dots \dots (6)$$

直接昼光率は次式により求められる.

$$D = \frac{E}{\left(\frac{7}{9\pi} \right) L_z} \times 100 (\%) \quad \dots \dots \dots (7)$$

(2)~(4)式では, 面光源の各辺: a と b をおのおの入れ換えても, 直接照度計算式への影響はないが, (5), (6)式では照度あるいは昼光率に影響を及ぼす. 上記の(2)式に基づく直接照度比: $[E/L_z]$ の数値は, CIE 法による室内照明計算⁷⁾において, 直接光束比: DR を計算するためにすでに利用されている光源から, ある大きさを有する受照面への入射光束の割合として定義する Y_i ($i=2 \sim 4$) の数値に一致する. これは理想化された照明系では, エネルギー (光束) 保存則に基づく相反定理が成り立つことによる.

人工照明におけるパネル光源, あるいは採光 (昼光) 照明における採光窓が, 完全拡散面であると仮定できる場合と, 非拡散性に関して床面あるいは作業面に及ぼす影響を比較検討するために等照度図を利用する.

幾何学的な条件を指定し, (2)式および(5)式で数値計算後アナログ量に変換し, ラインプリンタあるいはXYプロッタで直接等照度図を得る.

図 4(a), (b) は人工照明の場合, 室の大きさ: $h \times w \times l = 3 \times 12 \times 12$ (m³), 天井面にパネル光源 4 台でその大きさ: $A_p = 2 \times 2$ (m²), パネル光源の輝度分布: $L(\theta) = 1,000 \cdot \cos^n \theta$ (cd/m²) ($n=0, 1, 2$) を指定して, 床上 75 cm の所に仮定した作業面, および床面上の直接等照度図を比較したものである. 同図 (a), (b) のラインプリンタ法による等照度図に関しては, 特定位置上での照度値が $100 \cdot Np - 10 \leq E_{i,d}(x, y) \leq 100 \cdot Np + 10$ (lx) (Np : 正整数) の範囲内にあれば, 同一の文字を印字するよう

図 4 人工照明における作業面および床面上の直接等照度図
(a) 室の大きさ: $2.25 \times 12 \times 12$ (m³) (b) 室の大きさ: $3 \times 12 \times 12$ (m³)

* $L(\theta) = L_z$ (一定) の場合には, 分母を πL_z で置き換える.

プログラムを作っている。

ここでは, $90(\text{lx}) \leq A \leq 110(\text{lx})$, $190(\text{lx}) \leq B \leq 210(\text{lx})$ (lx)……に対応している。床面上の照度分布に対して, 作業面上の変化は大きいので, 同図(a)ではややデータ点を示す文字が離散的になる。同図の左上1/4部分は, XYプロットによる出力結果で, $L(\theta) = 1,000(\text{cd/m}^2)$ (一定)と仮定している。

XYプロットを利用する方法は, プログラムが少々複雑になり, 図形処理用の特別な命令文も必要となるが図形全体が小さくて, しかも精度のよい等照度線(コンター)が得られる。連続するデータ点間をなめらかにプロットするため, (1)3点を通る放物線近似ルーチン, 2三次多項式近似ルーチンなどを応用して, n 筆書きを実行する場合を点列フィッティング法という。

一方, 閉曲線と開曲線の組み合わせから構成される一般的な等照度図を得るために, 床面あるいは作業面を縦横の格子線で分割後, コンターを描図する手法を格子線分割法⁹⁾という。

図5は格子線分割法を採用して, 作業面および床面上の直接等照度図を描図したものである。図4の場合と同様な幾何学的な条件であるが, パネル光源の輝度分布は $L(\theta) = L_{op} = 1,000(\text{cd/m}^2)$ と指定してある。この等照度図は, 図4のおのおの上半分の部分に相当する。なお, 図5の上半分(上側)は格子線数: 15×15 (本), 下半分は 25×25 (本)の場合で, 一般的には格子線を増すことにより, 精度のよい等照度図が期待できるが, 計算時間や描図時間がそれだけ長くなる。

図6(a), (b)はラインプリンタ, およびXYプロットを使用して, 採光照明における作業面上の直接等照度図を予測したものである。同図(a)は(5)式により, 同図(b)は(6)式の計算式を使用しており, 作業面中央部で約100 lx, 採光面付近で約600 lxの照度差がある。採光照

図5 XYプロットによる直接等照度図

明の場合には, 採光面付近での照度変化が激しいので, ラインプリンタ法においては, 照度値に対応する文字が印刷されず, 等照度線(コンター)を明らかにすることはできない。

一方, XYプロット法では, 採光面付近でもかなり精度よく描図されている。なお, 1,000 lx 以上は 200 lx 間隔で等照度線を表示してあるので, ラインプリンタ上の最高値 $E_{\max}$ とおのおの 100 lx の照度差が生じている。

4. 併用照明系の特性解析

室内相互反射系に関する諸問題を, フレドホルム積分方程式に基づき解析解を求めることは, 一般的にかなり困難で不可能に近いこともある。よって, 理想化された完全拡散性の照明・採光系を n 個の有限面に分割し, 各面間の形態係数: F_{i-j} を利用し, 次式の光束伝達法⁹⁾により, 相互反射後の各面最終平均光束発散度の数値解を求めることが知られている。

図6 採光照明における作業面上の直接等照度図

(a) 採光面 $L_{win} = 3,000(\text{cd/m}^2)$ (b) 採光面 $L_{win}(\theta) = 3,000 \times (1 + 2 \sin \theta) / 3(\text{cd/m}^2)$

$$M_i = M_{oi} + \rho_i \sum_{j=1}^n F_{i-j} M_j \quad \dots\dots\dots(8)$$

($i=1, 2, \dots, n$)

$$F_{i-j} = F_{Ai-Aj}$$

$$= \frac{1}{A_i} \int_{Ai} \int_{Aj} \frac{\cos \theta_i \cdot \cos \theta_j}{\pi r^2} dA_i \cdot dA_j \quad \dots\dots\dots(9)$$

ここで、

M_{oi} 、 M_i ：面 A_i 上の初期および最終平均光束発散度

ρ_i ：面 A_i 上の平均反射率

F_{i-j} ：面 A_i と面 A_j 間の形態係数（固有光束分布係数）

(9) 式は面 A_i から出る光束のうち、面 A_j に直接入射する光束の割合、あるいは面 A_j が単位光束発散度のとき面 A_i 上の平均照度に相当する。閉曲面系においてエネルギー保存則より次式が成り立つ。

$$\sum_{j=1}^n F_{i-j} = 1 \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots\dots(10)$$

(8)～(9)式は照明系の特性解析ばかりでなく、熱放射伝達系問題にも広く利用されている。

4.1 各面上の平均輝度

天井面にパネル光源 k 個で、採光面 1 箇所と仮定すると、重ね合わせの理により近似的に各面上の平均輝度が計算できる。

(1) 面 A_i 上の直接平均輝度

$$L_{i,d} = \frac{\rho_i}{\pi} \left\{ \sum_{j=1}^k F_{i-pj} \cdot M_{opj} + F_{i-win} \cdot M_{owin} \right\} \quad \dots\dots\dots(11)$$

(2) 面 A_i 上の最終平均輝度

$$L_i = \frac{1}{\pi} \left\{ \sum_{j=1}^k [M_i/M_{opj}] \cdot M_{opj} + [M_i/M_{owin}] \cdot M_{owin} \right\} \quad \dots\dots\dots(12)$$

ここで、 $[M_i/M_{opj}]$ 、 $[M_i/M_{owin}]$ ：(8) 式によりおのおの独立に面分割数 $n=7$ と指定して計算するもので、 A_i 面上の最終平均光束発散度比を示し、 $[M_{i,j}/M_{oj}]$ を略記したもの。分母のサフィックス： p_j および win は、おのおの j 番目のパネル面と採光窓面を意味する。

4.2 各面上の平均照度と照度分布

各面上の平均照度と照度分布は、逐点法、光束伝達法、重ね合わせを応用することにより次式で計算する。

(1) 面 A_i 上の直接および最終平均照度

$$E_{i,d} = \sum_{j=1}^k F_{i-pj} \cdot M_{opj} + F_{i-win} \cdot M_{owin} \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$E_i = \frac{1}{\rho_i} \left\{ \sum_{j=1}^k [M_i/M_{opj}] \cdot M_{opj} + [M_i/M_{owin}] \cdot M_{owin} \right\} \quad \dots\dots\dots(14)$$

(2) 面 A_i 上の直接照度分布

立体角投射率： F_{di-j} と初期平均光束発散度： M_{oi} を利用するか、あるいは(2)および(3)の各計算式をそのまま使用する。

$$E_{i,d}(x, y) = \sum_{j=1}^k F_{di-pj} \cdot M_{opj} + F_{di-win} \cdot M_{owin} \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$F_{di-j} = F_{dAi-Aj} = \int_{Aj} \frac{\cos \theta_i \cdot \cos \theta_j}{\pi r^2} dA_j \quad \dots\dots\dots(16)$$

(16)式に基づき閉曲面系内、すなわち理想化された室内で面 A_i 上のある微小面 dA_i に着目し、他の有限面（たとえば、天井面 A_c 、壁面 A_w 、床面 A_f 、残りの面 A_j ）との立体角投射率に関する代数和として、(10) 式と同様に次式が成り立つ。

$$F_{di-c} + \sum_{m=1}^4 F_{di-wm} + F_{di-f} + F_{di-j} = 1 \quad \dots\dots\dots(17)$$

(3) 面 A_i 上の最終照度分布

一般的に、面 A_i 上での最終照度分布を予測計算する場合には、逐点法を応用し次式を利用する。

$$E_i(x, y) = \frac{1}{\rho_i} \left\{ \sum_{j=1}^k [M_i(x, y)/M_{opj}] \cdot M_{opj} + [M_i(x, y)/M_{owin}] \cdot M_{owin} \right\} \quad \dots\dots\dots(18)$$

ここで、

$$[M_i(x, y)/M_{oj}] = \rho_i [E_i(x, y)/M_{oj}]$$

$$= \rho_i \left\{ F_{di-c} \cdot [M_c/M_{oj}] + \sum_{m=1}^4 F_{di-wm} \cdot [M_{wm}/M_{oj}] + F_{di-f} \cdot [M_f/M_{oj}] + F_{di-j} \cdot [M_j/M_{oj}] \right\} \quad \dots\dots\dots(19)$$

(18)式の右辺の第1項：人工照明における照度分布、第2項：採光照明における照度分布で、(19)式による計算はかなりめんどろで複雑となる。よって室内での相互反射に基づく平均拡散（間接照度）とその分布¹⁰⁾は、場所や位置にあまり関係なく一様であるから、(18)式のかわりに次の近似式が利用できる。

$$E_i(x, y) = [E_{i,d}(x, y) + (E_i - E_{i,d})]^A + [E_{i,d}(x, y) + (E_i - E_{i,d})]^D \quad \dots\dots\dots(20)$$

20式中の $E_i - E_{i,d}$ は、おのおの人工照明および採光照明における拡散照度成分で、(13)と(14)式により計算する。(14)式を利用する場合、(8)式による光束伝達法の基礎式を解く必要がある。人工照明の場合、パネル光源の対称性を考慮して、面分割数 $n=7$ 、採光照明の場合にも独立に片側窓採光室を仮定し、面分割数 $n=7$ している。

室内各面上の照度および輝度を、おのおの (lx)；(cd/m²) のような測光量で特性解析をする場合には、上記の(8)～(20)各式において、初期平均光束発散度 M_{oi} (lm/m²)

あるいは初期平均輝度 L_{oi} (cd/m^2) をあらかじめ指定しなければならない。

5. 計算結果と考察

5.1 水平面上の等照度図

図 7 (a), (b) は併用照明系 (人工照明として, 天井面にパネル光源 4 台; 採光照明として, 特定の 1 壁面中に採光窓) の場合, 床面上 75 cm の所に位置する作業面上の最終, および直接等照度図をおのおの比較したものである。作業面上の最終等照度図を予測するにあたり, 相互反射に基づく拡散照度とその分布は, 床面あるいは作業面上で, 場所に関係なくほぼ一様になっているので,

図 7 併用照明系における作業面上の等照度図
(a) 室の大きさ: $2.25 \times 6 \times 6 (\text{m}^3)$
(b) 室の大きさ: $2.25 \times 12 \times 12 (\text{m}^3)$

図 20 式に示されているように, 拡散照度に直接照度分布を近似的に加えている。よって, 最終等照度図は, 照度変化に関係なく, すべて同一の記号「*」を使用し, おのおの拡散平均照度として, 540 lx, 390 lx を加えてある。

表 1 代表的な照明型式による床面, および作業面上の拡散平均照度 (lx)

初期輝度	$L_{op}=1,000 \text{ (cd/m}^2\text{)}; L_{owin}=3,000 \text{ (cd/m}^2\text{)}$									
室の大きさ	$3 \times 6 \times 6 \text{ (m}^3\text{)}$			$3 \times 9 \times 9 \text{ (m}^3\text{)}$			$3 \times 12 \times 12 \text{ (m}^3\text{)}$			
パネル面の大きさ*	$A_p=1 \times 1 \text{ (m}^2\text{/N)}$			$A_p=1.5 \times 1.5 \text{ (m}^2\text{/N)}$			$A_p=2 \times 2 \text{ (m}^2\text{/N)}$			
採光窓面の大きさ	$A_{win}=1.5 \times 4 \text{ (m}^2\text{)}$			$A_{win}=1.5 \times 6 \text{ (m}^2\text{)}$			$A_{win}=1.5 \times 8 \text{ (m}^2\text{)}$			
各面反射率	$\rho_p=\rho_{win}=0.3, \rho_c=0.7, \rho_{wi}=0.5 \text{ (} i=1 \sim 4 \text{)}$									
照明・採光型式	人工照明	採光照明	併用照明	人工照明	採光照明	併用照明	人工照明	採光照明	併用照明	
宋** 表面 反射率	$\rho_f=0.1$	60	390	450	50	300	350	50	250	300
	$\rho_f=0.3$	70	440	510	80	360	440	80	300	380
	$\rho_{wp}=0.26$	70	470	540						
	$\rho_{wp}=0.27$				70	380	450			
	$\rho_{wp}=0.28$							70	320	390

* 人工照明として, 天井面にパネル光源 4 台

** 床面上 75 cm の所に作業面, その有効反射率 $\rho_{eff}=\rho_{wp}$.

表 1 は, 人工照明, 採光照明および併用照明系に関して, (4)式の光束伝達法の基礎式と重ね合わせの理を応用することにより, 図 20 式中の E_i-E_{i-d} , すなわち相互反射に基づく照度増加分としての床面, および作業面上の拡散平均照度の計算結果である。なお, 床面反射率 $\rho_f=0.3$ で, 床面上 75 cm の所に作業面を仮定し, その有効反射率¹⁾: $\rho_{eff}=\rho_{wp}$ を考慮して特性解析を行っている。

表 2 は図 7 の併用照明系に関して, (11) 式を適用して, 各面上の平均輝度を予測したもので, 室内輝度バランスとしての PSALI 評価のために利用できる。床面反射率

表 2 併用照明系における各面平均輝度 (cd/m^2)

初期輝度		$L_{op}=1,000 \text{ (cd/m}^2\text{)}; L_{owin}=3,000 \text{ (cd/m}^2\text{)}$					
室の大きさ		$h \times w \times l=3 \times 6 \times 6 \text{ (m}^3\text{)}$			$h \times w \times l=3 \times 12 \times 12 \text{ (m}^3\text{)}$		
$A_p; A_{win}$		$A_p=1 \times 1 \text{ (m}^2\text{/N)};$ $A_{win}=1.5 \times 4 \text{ (m}^2\text{)}$			$A_p=2 \times 2 \text{ (m}^2\text{/N)};$ $A_{win}=1.5 \times 8 \text{ (m}^2\text{)}$		
ρ_i		$\rho_p=\rho_{win}=0.3, \rho_c=0.7, \rho_{wi}=0.5 \text{ (}i=1\sim4\text{)}$					
$\rho_f; \rho_{wp}^*$		$\rho_f=0.1$	$\rho_f=0.3$	$\overset{*}{\rho_{wp}}=0.26$	$\rho_f=0.1$	$\rho_f=0.3$	$\overset{*}{\rho_{wp}}=0.28$
直接平均輝度 (cd/m ²)	L_{p-D}	1,120	1,120	1,120	1,070	1,070	1,070
	L_{win-D}	3,020	3,020	3,020	3,020	3,020	3,020
	L_{c-D}	129	120	120	70	70	70
	L_{w1-D}	20	20	20	20	20	20
	L_{w2-D}	80	80	80	50	50	50
	L_{w3-D}	80	80	90	50	50	50
	L_{f-D}	20	20	60	20	20	60
最終平均輝度 (cd/m ²)	L_p	1,160	1,190	1,190	1,090	1,120	1,120
	L_{win}	3,050	3,070	3,070	3,040	3,060	3,050
	L_c	170	200	200	100	140	140
	L_{w1}	70	90	100	50	70	70
	L_{w2}	130	150	160	80	100	100
	L_{w3}	139	150	160	90	110	110
	L_f	30	110	110	30	90	90

* 床面上 75 cm の所に作業面を仮定し, その有効反射率に相当。

図 10 代表的な照明系における奥壁面上の等照度図

(a) 左側：人工照明 右側：併用照明系 (b) 左側：併用照明系における直接照度図
右側：作用照明系における最終(全)等照度図

図 11 併用照明系における側壁面上の直接等照度図

(a) 採光面 $L_{win} = 3,000$ (cd/m²)
(b) 採光面 $L_{win}(\theta) = 3,000 \times (1 + 2 \sin \theta) / 3$ (cd/m²)

ンタ法で得られた出力結果の一部分を省略してある。

5.2 鉛直面上の等照度図

図 10 (a), (b) は、採光窓面に平行な奥壁面上の等照度図である。同図 (a) の左側は、人工照明としてパネル光源 4 台だけによる直接等照度図で、右側は図 7 (a), (b) の右側の場合と同様な併用照明系の場合である。同図 (b) の左側は、同図 (a) の右側と全く対称的なものであり、同図 (b) の右側は、相互反射に基づく拡散照度の増加分約 340 lx を考慮して、最終等照度図を予測したものである。床面あるいは作業面上の照度変化はかなりの大きいに対し、奥壁面上では一様な照度分布となる。

図 11 (a), (b) は、併用照明系の場合で、採光窓面に垂直な側壁面上の直接照度図である。同図 (a) は採光面

が完全拡散性で、 $L(\theta) = 3,000$ (一定) (cd/m²) の場合であり、同図 (b) は CIE 標準曇天空の輝度分布： $L(\theta) = 3,000 \times (1 + 2 \sin \theta) / 3$ (cd/m²) の影響を受ける場合である。CIE 標準曇天空による側壁面上での照度低下は中央部分で約 100 lx、採光面付近の側壁上で約 300 lx 程度であり、図 8 (b) と同じような照度差になっている。

図 10 および図 11 の鉛直面上の等照度図に関して、室の高さ： $h = 3$ (m) に対して、間口あるいは奥行方向の 12 m を視覚的にも 4 倍になるよう印字の指定を行なっている。

コンピュータによる等照度図について

表 3 はコンピュータによる援助設計の手段として、ライン・プリンタや XY プロッタを使用して、等照度図

表 3 コンピュータによる図形処理と等照度図

手法	ライン・プリンタ法	点列フィッティング法	格子線分割法
特徴			
出力装置	ライン・プリンタ	XYプロッタ (CRTディスプレイ)	XYプロッタ CRTディスプレイ
プログラミング	簡 単	普 通	やや複雑
図形の精度	少々悪い	普 通	良好 (条件つき)
長 所	文字記号と照度値が対比濃淡図形可能 (二重打ち)	XYプロッタ用のファンクション・ルーチンが使用できる ex. FLINE, SMOOT	格子線(分割数)と照度間隔, 出力図形の大きさなど任意に変更できる。
短 所	等照度図が帯状になったり離散的になることがある。	等照度線 (コンター) 用のデータ作製に時間がかかる。	格子線上の等照度値を直線で結ぶため凹凸が生ずる場合がある。

の図形処理を実行した結果に基づき、その手法と特徴を比較してまとめたものである。ライン・プリンタ法による等照度図では、ある照度範囲と出力図形の大きさを指定しても、特に照度値が大きくその変化が急な場合には、文字や記号が離散的になる。

一方、XYプロッタによる点列フィッティング法と格子線分割法は、プログラミングはやや複雑になるが、一般的にはかなりよい等照度図が得られる。

採光面初期輝度について

屋外から室内に入射する昼光は、種々の状態を示す天空光、建物や大地からの反射光、太陽高度と方位角などによっても季節的、時間的な変動がある。さらに測定場所と測光法による影響もありうる。

本論文では、沖ら¹²⁾による自然光による窓面輝度の実測データ、Gobin¹³⁾による理論的な予測値、アメリカIES¹⁴⁾による資料を参照して、曇天時の採光面初期輝度は時間的な変動はなく、採光窓面積の大きな図9以外は $L_{win}=3,000$ (cd/m²) および天頂輝度: $L_z=3,000$ (cd/m²) 一様であるとみなして、室内併用照明系の特性解析を行なった。

6. 結 言

本論文では、階高に対して間口と奥行が長く、床面積の大きな理想化された作業室内に着目して、測光量に基づく室内照明・採光系の特性解析、ならびに等照度図作製を行なった。このコンピュータによる援助設計と予測計算手法は、種々の照明・採光系の室内条件の場合にも、データ部分を変更することで拡張して適用できる。現在、実測データと理論値との比較検討を行なっているので、改めて発表したい。

京大工学部建築系教室の松浦研究室に内地研究員として出張中、終始変わらないご指導、ご教示をいただきました松浦教授、電気系教室の大谷教授、阪口教授に厚くお礼申し上げます。東芝の黒沢博士および照明学会関西支部・PSALI委員会のかたがたからのご教示に対しまし

て感謝いたします。格子線分割法プログラム作製に努力した卒研小川君に謝意を表します。

特性計算と図形処理を実行するにあたり、京大および名大大型計算機センターを利用した。

参 考 文 献

- (1) 伊藤：建築雑誌 84 (昭44) 513
大谷：電学誌 92 (昭47) 986
岡田ら：照学誌 52 (昭43) 710
- (2) C. Cuttle et al : "CIE Proc." (1967) 67
乾ら：建築学会論文報告集, No. 192 (昭47) 49
金子ら：照学誌 57 (昭48) 545
- (3) D. Fischer : Journal of IES 2 (1973) 92
J. Jansen : Internat. Lighting Rev. 22 (1971) 24
真辺：照学誌 57 (昭48) 24
松浦ら：“昼間の合理的照明設計(新しいPSALI)”
照明普及会 (昭48)
- (4) G. A. Horton et al : Illum. Engng 53 (1958) 341
S. Bini et al : Lighting R. & T. 5 (1973) 95
R. Krossawa : Lux No. 68 (1972) 257
- (5) R. I. Bell : Lighting R. & T. 5 (1973) 99
- (6) 小島ら：建築学会論文報告集 No. 141 (昭42) 45
- (7) 高橋ら：照学誌 54 (昭45) 697
- (8) Simonett Bini et al : Lighting R. & T. 5 (1973) 95
秦野：名大大型 計算機 センター ニュース 4 (昭47) 228
飯塚ら：昭49 照学全国大会講演論文集 (昭49) 52
- (9) P. F. O'Brien et al : Illum. Engng 54 (1959) 177
- (10) 飯塚ら：照学誌 52 (昭43) 478
石野ら：建築学会論文報告集 No. 169 (昭45) 71
- (11) 飯塚ら：照学誌 50 (昭41) 550
- (12) 沖ら：建築学会講演梗概集 (関東) (昭45) 71,
東海支部研究報告集 No. 11 (昭48) 105
- (13) A. Gobin et al : Lux No. 64 (1971) 367
- (14) IES Publication : "IES Lighting Handbook (5tn)", 1972

(受付 1974 年 1 月 8 日)