

任意形態の開口部による直接昼光率の図式解法

比 嘉 俊 太 郎

Graphical Methods for the Determination of Direct Daylight Factors through the Windows of Different Shapes

Shuntaro HIGA

This paper reports some diagrams for computing the direct daylight factors which are attributable to those particular parts of the sky which are seen through the windows of different shapes. The luminance of the sky is so distributed that $L\theta=(1+2\sin\theta)L_z/3$, where $L\theta$ is the luminance, L_z is the luminance at zenith, and θ is the altitude of that part of sky where the luminance equals $L\theta$.

Daylight diagrams, which are two dimensional representation of the sky vault, take one of two basic shapes : (1) A circle, the radii of which represent an equally-spaced scale of azimuth and in which concentric circles represent a scale of angles of elevation whose spacing depends on whether the projection is orthographic, stereographic, or equidistant. (2) A rectangle, the abscissae of which represent a scale of azimuth, sometimes equally spaced and the ordinates of which represent a scale of angles of elevation.

1. はじめに

従来の採光設計においては、光源となる天空の輝度分布はその実態がきわめて複雑なものであるが、実用上の観点から、均一な天空輝度分布が考えられ、直射日光を除外した全天空照度を基準とする昼光率を考え、それを指標とした計算が一般の設計計算に採用されている。この採用の基礎となっている考えは下記のようなものである。

(1)昼間における明るさの変動を消去した昼光率は、天空光による明るさの程度を知るには有用な指標である。(2)採光によって室内照度を維持すべき一日中での時間のうち、最も不利なのは濃い曇天時であり、最低照度が確保できる。また、この場合の天空輝度はほとんど均一に見える。(3)前記(2)を念頭において、採光設計を行う場合、天空な均一な輝度分布と仮定する方が思想上、計算上簡便である。

しかしながら、全天空照度が最低となるのは、厳密には前述のような濃い曇天時とは限らず、統計的には他の天空状態の場合も少なくはない。また、曇天時の天空輝度分布は全天にわたって必ずしも均一ということはない。

昼光の有効利用のためには、あらゆる天空状態を考慮

して採光設計を行う必要があるが、本稿では、曇天時を対象として、直接昼光率の算定図を作成し、採光設計に役立てることとした。

曇天空の輝度分布を考慮した昼光率を計算する場合、従来と大幅な変化をきたすのは直接昼光率の部分と考えられる。間接昼光率も照明系への入力である直接昼光率の変化に伴う影響を当然受けるはずであるが、その計算方法は前者と別の系統をもっていると考えられるので、間接昼光率は切り離して取扱うことができる。直接昼光率の算定式は複雑であるので、その実用化のためには、図表化の方が利用上簡便である。ここでは、直接昼光率の図式解法について述べる。図式解法は複雑な光源形態に応用できる点で、数値解析による方法より勝っていると考えられる。

2. 直接昼光率の算定式

前述のように、これまで天空は一様な輝度分布をもつものとして取扱ってきたが、近来、Moon & Spencer¹⁾が曇天時の天空輝度分布は天頂部の輝度を L_z とし、高度 θ の天空部分の輝度を L_θ と書くことにすれば、 $L_\theta = L_z(1+2\sin\theta)/3$ で表わされるとし、国際照明委員会(CIE)²⁾もこれを採択している。この節では、このような輝

度分布をもつ場合のワルドラム図³⁾と立体角投射図⁴⁾について考える。天空輝度分布が一様と仮定される場合は、受照面の位置に制限はなかった。すなわち、受照面が水平面であっても、傾斜面であっても、それに従う光源の輪郭をワルドラム図や立体角投射図の上に描き重ねれば、立体角投射率(直接昼光率)の計算は同様にを行うことができた。しかし、天空輝度分布が一様でない、上述のことはもはや成り立たなくなり、受照面の位置に従って別々の算定図を考えねばならなくなる。

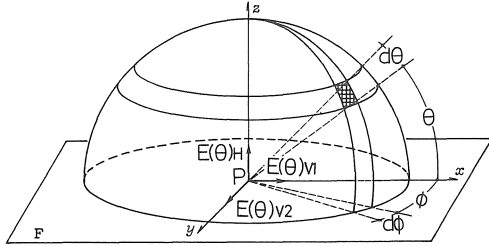


図 1

図 1 で受照面を水平面と考えて、CIE曇天空と同じ輝度分布をもつ光源面による P 点の水平面直接照度を $E(\theta)_H$ 、x 方向に垂直な鉛直面直接照度を $E(\theta)_{V1}$ 、y 方向に垂直な鉛直面直接照度を $E(\theta)_{V2}$ とすると、それらは図を参照して、次式のように書くことができる。

$$E(\theta)_H = \int_{\phi} d\phi \int_{\theta} L_{\theta} \sin\theta \cos\theta d\theta \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$E(\theta)_{V1} = \int_{\phi} \cos\phi d\phi \int_{\theta} L_{\theta} \cos^2\theta d\theta \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$E(\theta)_{V2} = \int_{\phi} \sin\phi d\phi \int_{\theta} L_{\theta} \cos^2\theta d\theta \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$L_{\theta} = L_z(1 + 2\sin\theta)/3 \quad \dots\dots\dots(4)$$

ϕ 、 θ が互いに独立の場合には、式(4)を式(1)~(3)に代入して、 θ の積分を遂行すると、下記の式(5)~(7)のようになる。

$$E(\theta)_H = \frac{L_z}{36} \int_{\phi_1}^{\phi_2} \left[8\sin^3\theta + 6\sin^2\theta - 3 \right]_{\theta_1}^{\theta_2} d\phi \quad \dots\dots(5)$$

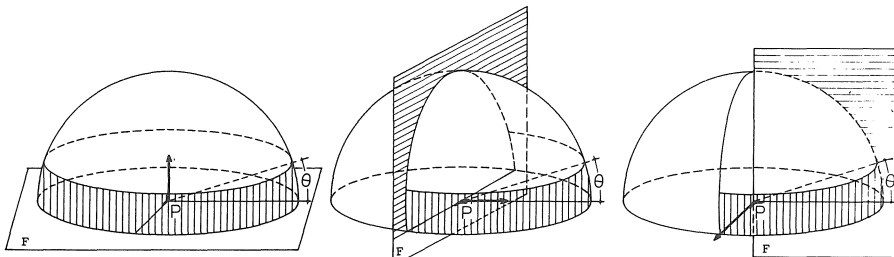
$$E(\theta)_{V1} = \frac{L_z}{36} \int_{\phi_1}^{\phi_2} \left[-8\cos^3\theta + 6\sin\theta\cos\theta + 6\theta \right]_{\theta_1}^{\theta_2} \cos\phi d\phi \quad \dots\dots(6)$$

$$E(\theta)_{V2} = \frac{L_z}{36} \int_{\phi_1}^{\phi_2} \left[-8\cos^3\theta + 6\sin\theta\cos\theta + 6\theta \right]_{\theta_1}^{\theta_2} \sin\phi d\phi \quad \dots\dots(7)$$

式(5)において、 $\theta_1 = 0$ 、 $\theta_2 = \pi/2$ ； $\phi_1 = 0$ 、 $\phi_2 = 2\pi$ とすると、全天空による水平面照度として次式の E_s が得られる。

$$E_s = 7\pi L_z/9 \quad \dots\dots\dots(8)$$

次に、図 2 のような斜線帯による直接照度を式(5)~(7)によって求めると下記のようなのである。



$$\begin{aligned} \theta_1 &= 0, \theta_2 = \theta \\ \phi_1 &= 0, \phi_2 = \phi \leq 2\pi \end{aligned}$$

〔(5)式〕

$$\begin{aligned} \theta_1 &= 0, \theta_2 = \theta \\ \phi_1 &= 0, \phi_2 = \phi \leq \pi \end{aligned}$$

〔(6)式〕

$$\begin{aligned} \theta_1 &= 0, \theta_2 = \theta \\ \phi_1 &= 0, \phi_2 = \phi \leq \pi/2 \end{aligned}$$

〔(7)式〕

図 2

$$E(\theta)_H = \frac{L_z}{36} [8\sin^3\theta + 6\sin^2\theta] \phi \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$E(\theta)_{V1} = \frac{L_z}{36} [8(1 - \cos^3\theta) + 6(\sin\theta\cos\theta + \theta)] \sin\phi \quad \dots\dots(10)$$

$$E(\theta)_{V2} = \frac{L_z}{36} [8(1 - \cos^3\theta) + 6(\sin\theta\cos\theta + \theta)] (1 - \cos\phi) \quad \dots\dots\dots(11)$$

式(8)の E_s に対する式(9)~(11)の各式の値を、CIE曇天空による直接昼光率(または立体角投射率)と呼ぶこととし、それらを $U(\theta)_H$ 、 $U(\theta)_{V1}$ 、 $U(\theta)_{V2}$ などと書き表わせば次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} U(\theta)_H &= (100/28\pi) \cdot X_H \cdot Y_H \\ X_H &= \phi, \quad Y_H = 8\sin^3\theta + 6\sin^2\theta \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$\left. \begin{aligned} U(\theta)_{V1} &= (100/28\pi) \cdot X_{V1} \cdot Y_V \\ X_{V1} &= \sin\phi, \quad Y_V = 8(1 - \cos^3\theta) + \\ &6(\sin\theta\cos\theta + \theta) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$\left. \begin{aligned} U(\theta)_{V2} &= (100/28\pi) \cdot X_{V2} \cdot Y_V \\ X_{V2} &= 1 - \cos\phi, \quad Y_V = 8(1 - \cos^3\theta) + \\ &6(\sin\theta\cos\theta + \theta) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(14)$$

上式から、 $X_H \cdot Y_H$ 、 $X_{V1} \cdot Y_V$ 、 $X_{V2} \cdot Y_V$ はそれぞれ、 $U(\theta)_H$ 、 $U(\theta)_{V1}$ 、 $U(\theta)_{V2}$ に比例する面積を意味すると考えることができる。

3. ワルドラム図

前述のことから、直交座標軸の x 軸上に $X(X_H, X_{V_1}$ または $X_{V_2})$ をとり、 y 軸上に X に対応する $Y(Y_H, Y_V)$ をとった平面分を考えると、その面積は $U(\theta)_H$, $U(\theta)_{V_1}$ または $U(\theta)_{V_2}$ に比例する。故に、この面上に X, Y を測度として光源の図形を描き、その面積を測れば直接昼光率に比例する数値が得られる。式(9)~(11)において、 $\theta = \pi/2$, $\phi = \pi/2$ とすると、光源は $1/4$ 天空に相当し、それらによる直接昼光率 $U(\theta)_{HS}$, $U(\theta)_{V1S}$, $U(\theta)_{V2S}$ はそれぞれ、

$$U(\theta)_{HS} = (100/28\pi)(14)(\pi/2) = 25\%$$

$$U(\theta)_{V1S} = U(\theta)_{V2S} = (100/28\pi)(8+3\pi) \approx 19.8\%$$

であり、この場合の X, Y を $X_{HS}, X_{V1S}, X_{V2S}; Y_{HS}, Y_{VS}$ とすると、

$X_{HS} = \pi/2, Y_{HS} = 14, X_{V1S} = X_{V2S} = 1, Y_{VS} = 8 + 3\pi$ であり、 X, Y の相対するものの積である長方形の面積が $U(\theta)_H = 25\%$, $U(\theta)_{V1S} = U(\theta)_{V2S} = 19.8\%$ に対応するものであるから、各図上の光源図形の面積をそれぞれ $A(\theta)_H, A(\theta)_{V1}, A(\theta)_{V2}$ とすると、 $U(\theta)_H, U(\theta)_{V1}, U(\theta)_{V2}$ は次式(15)~(17)によって与えられる。

$$U(\theta)_H = \{A(\theta)_H / X_{HS} \cdot Y_{HS}\} \cdot 25\% \dots\dots\dots(15)$$

$$U(\theta)_{V1} = \{A(\theta)_{V1} / X_{V1S} \cdot Y_{V1S}\} \cdot 19.8\% \dots\dots\dots(16)$$

$$U(\theta)_{V2} = \{A(\theta)_{V2} / X_{V2S} \cdot Y_{V2S}\} \cdot 19.8\% \dots\dots\dots(17)$$

$A(\theta)_H, A(\theta)_{V1}$ または $A(\theta)_{V2}$ を測るのに、プランメータを使用することを避けたい場合には、 X_{HS}, X_{V1S} または X_{V2S} を m 等分、 Y_{HS}, Y_{VS} を n 等分して図面上に等面積の $m \cdot n$ 個の柵目を作り、 $A(\theta)_H, A(\theta)_{V1}$ または $A(\theta)_{V2}$ に含まれる柵目の数 P_H, P_{V1} または P_{V2} を数えればよい。この場合には右記の式(18)~(20)によって直接昼光率が求められる。

$$U(\theta)_H = (P_H / m \cdot n) \cdot 25\% \dots\dots\dots(18)$$

$$U(\theta)_{V1} = (P_{V1} / m \cdot n) \cdot 19.8\% \dots\dots\dots(19)$$

$$U(\theta)_{V2} = (P_{V2} / m \cdot n) \cdot 19.8\% \dots\dots\dots(20)$$

$m = 25, n = 20$ とすると、1 柵に対応する直接昼光率は式(18)に対して 0.05% 、式(19), (20)に対しては約 0.04% である。

上記のように構成される直接昼光率計算図上に光源図形を描く場合には、既述のように $U(\theta)_H$ に関しては X_H, Y_H ; $U(\theta)_{V1}$ に関しては X_{V1}, Y_V ; $U(\theta)_{V2}$ に関しては X_{V2}, Y_V を測度とする。この場合、一般には Y に含まれる θ は ϕ の関数で示される。光源が水平な二辺をもつ鉛直長方形の場合は、鉛直辺は計算図上で $\phi =$ 一定の y 軸に平行な線分として描かれ、水平な辺はこれを含む直視高度 θ_0 の全直線の図形の一部となる。従って、種々の直視高度をもつ水平線の図形を書き入れておけば便利である。

図3を参照して、直線 $AB, A'B'$ 各部の高度 θ, θ' はそれぞれ次のように表わされる。

$$AB : \sin \theta = \frac{\sin \theta_0 \cos \phi}{\sqrt{\cos^2 \theta_0 + \cos^2 \phi \cdot \sin^2 \theta_0}}$$

$$A'B' : \sin \theta' = \frac{\sin \theta_0 \sin \phi}{\sqrt{\cos^2 \theta_0 + \sin^2 \phi \cdot \sin^2 \theta_0}}$$

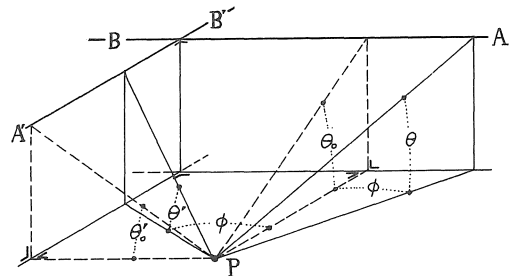


図3

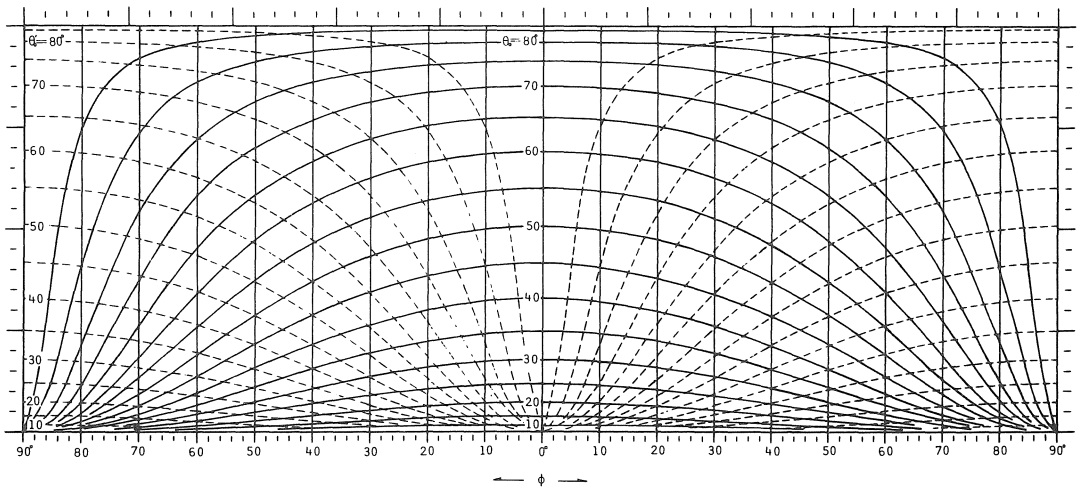


図4 水平面直接昼光率算定図 ($U(\theta)_H$)

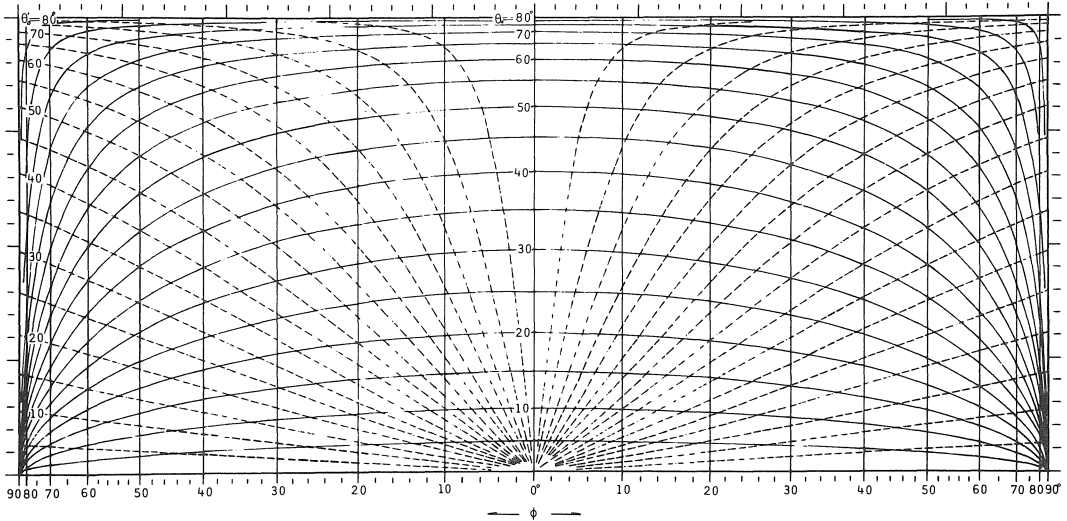


図 5 鉛直面直接昼光率算定図 ($U(\theta)v_1$)

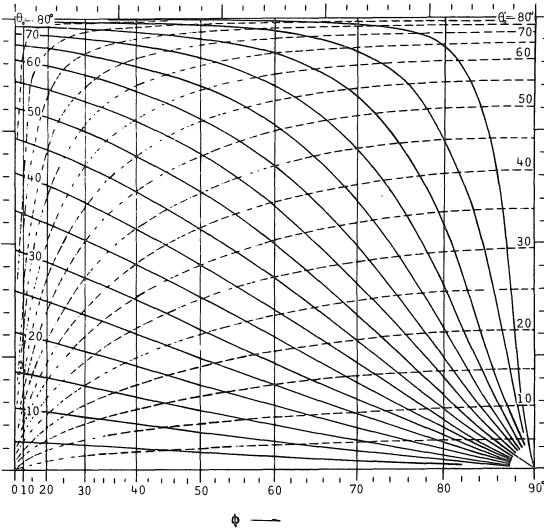


図 6 鉛直面直接昼光率算定図 ($U(\theta)v_2$)

これらを式(12)~(14)に代入することにより、 Y_H 、 Y_V を計算することができる。表1(a)、(b)は X_{v1} 、 X_{v2} とともに、上記のようにして求めた Y_H 、 Y_V の値を図3のABについて示したものである。A'B'の図形は $\phi = \pi/4$ に関してABの図形と対称であるから、その図形も表1を利用して描くことができる。

図4、図5、図6はそれぞれ $U(\theta)_H$ 、 $U(\theta)v_1$ 、 $U(\theta)v_2$ の計算図を示す。それらは表1を利用して図3のAB(実線)、A'B'(破線)を書き入れたもので、下辺に ϕ を示し、上辺に $m=25$ 、左右辺に $n=20$ の等分目盛を記入してある。従って、これらによって各図面上に柵目を作ると、1柵目は図4で0.05%、図5および図6で0.04%の直接昼光率に相当する。AB、A'B'直線に関する直視高度 θ 、

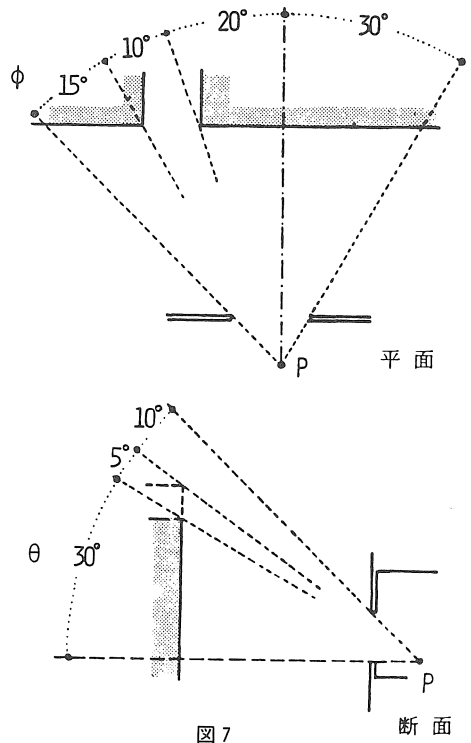


図 7

は各曲線に度数で注記してある。

図7に示すP点における直接昼光率を図4~図6を使用して求める。

図8(a)、(b)、(c)はそれぞれ図4、図5、図6に、図7のP点における開口部と障害物の図形を書き込み、直接昼光率を式(18)~(20)によって求めるための柵目を書き入れたものである。いずれも太線が開口部内に見える障害物

に相当する。これから開口部全体による直接昼光率はそれぞれ下記ようになる。

$$U(\theta)_H = 4.53 + 3.20 \approx 7.7\% \quad \dots\dots\dots \text{図 8(a)}$$

$$U(\theta)_{V1} = 9.82 + 7.13 \approx 17.0\% \quad \dots\dots\dots \text{図 8(b)}$$

$$U(\theta)_{V2} = 3.9\% \quad \dots\dots\dots \text{図 8(c)左}$$

$$U(\theta)_{V2} = 1.9\% \quad \dots\dots\dots \text{図 8(c)右}$$

障害物部分は仮りに天空部の1/10の輝度をもつとして計算すると、 $U(\theta)_H \approx 4.6\%$ 、 $U(\theta)_{V1} \approx 6.8\%$ 、 $U(\theta)_{V2} \approx 1.4\%$ (左)、 $U(\theta)_{V2} \approx 0.8\%$ (右)となる。

4. 直接昼光率算定図

式(12)~(14)において、 $X_H \cdot Y_H$ 、 $X_{V1} \cdot Y_V$ 、 $X_{V2} \cdot Y_V$ などが適当な数となるようにして、天空輝度が均一の場合の立体角投射図に相当する図を作成すれば、それと同様な取扱いによって直接昼光率 $U(\theta)_H$ 、 $U(\theta)_{V1}$ 、 $U(\theta)_{V2}$ を求めることができる。ここでは、 Y_H 、 Y_V を改めて、それぞれ $f_H(\theta_n)$ 、 $f_V(\theta_n)$ と書き表わすことにする。

$$f_H(\theta_n) = 8 \sin^3 \theta_n + 6 \sin^2 \theta_n$$

$$f_V(\theta_n) = -8 \cos^3 \theta_n + 6 \sin \theta_n \cos \theta_n + 6 \theta_n + 8$$

天球面を分割して各区画が受照点に等照度を生ずるようにするには、1/4天空を考えて、その割り方を方位 ϕ に関して対称に他の1/4天空へ延長して描けばよい。

1/4天空による直接照度は、式(9)~(11)において、 $\theta = \pi/2$ 、 $\phi = \pi/2$ として、

$$E(\theta)_H = \frac{7\pi}{36} \cdot L_z, \quad E(\theta)_{V1} = E(\theta)_{V2} = \frac{8+3\pi}{36} \cdot L_z$$

であるから、1/4天空による直接昼光率 $U(\theta)$ はそれぞれ下記のようになる。

$$U(\theta)_H = \left(\frac{7\pi}{36} \cdot L_z / \frac{28\pi}{36} \cdot L_z \right) \times 100 = 25\%$$

$$U(\theta)_{V1} = U(\theta)_{V2} = \left(\frac{8+3\pi}{36} \cdot L_z / \frac{28\pi}{36} \cdot L_z \right) \times 100 \approx 19.8\%$$

従って、同心円と半径とによって、等価な $x \cdot y$ 個に分割された各区画に対応する $U(\theta)_H$ の値は、 $U(\theta)_H$ の図に対しては $25/xy\%$ 、 $U(\theta)_{V1}$ 、 $U(\theta)_{V2}$ の図に対しては $19.8/xy\%$ である。

[1] 高度 θ に関する区画

高度 θ に関する区画は水平面の場合と鉛直面の場合と異なる。それは下記の2式の相違によるものである。

$$f_H(\theta_n) = 8 \sin^3 \theta_n + 6 \sin^2 \theta_n, \quad f_H(\pi/2) = 14 \quad \dots\dots(21)$$

$$f_V(\theta_n) = -8 \cos^3 \theta_n + 6 \sin \theta_n \cos \theta_n + 6 \theta_n + 8,$$

$$f_V(\pi/2) = 8 + 3\pi \quad \dots\dots\dots(22)$$

これらは各個に求める必要があるが、計算は同じ方法で処理することができる。従って、式(21)、(22)を一括して $f(\theta_n)$ と書くことにすれば、

$$f(\theta_1) - f(\theta_0) = f(\theta_2) - f(\theta_1) = \dots = f(\theta_n) - f(\theta_{n-1}) = \dots = \frac{1}{y} \cdot f(\theta_y)$$

を満足する θ_1 、 θ_2 、 \dots 、 θ_y を求めることになる。また、 $\theta_y = \pi/2$ である。従って、

$$f(\theta_n) = \frac{n}{y} f(\theta_y) = \frac{n}{y} f\left(\frac{\pi}{2}\right) \quad \dots\dots\dots(23)$$

であり、これを満足する θ_n が得られれば、天空を θ_n によって地平面に平行な y 個のゾーンに分割し、それに従って各区画線に対応する立体角投射図 (正射影図)、極射影図、その他を描くことができる。

式(23)から θ_n を求めることは、 $f_H(\theta_n)$ の場合は初等関数の範囲で処理が可能であるが、 $f_V(\theta_n)$ についてはそれは不可能である。

実際には、適当な近似値から出発して、下記のような Newton の逐次近似法によるのが便利である。

$$\left. \begin{aligned} \theta_{n(i)} &= \theta_{n(i-1)} + \Delta\theta_{n(i)} \\ \Delta\theta_{n(i)} &= \frac{-f(\theta_{n(i-1)})}{f'(\theta_{n(i-1)})} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(24)$$

実際に解くべき式の形は

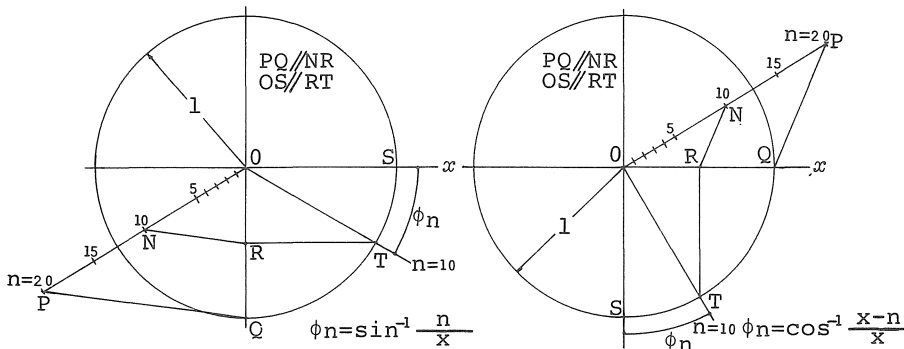


図9 ϕ_n の求め方

$$f_H(\theta_n) \text{ に関しては } 8 \sin^3 \theta + 6 \sin^2 \theta_n - \frac{n}{y} \cdot 14 = 0 \dots (25)$$

$$f_V(\theta_n) \text{ に関しては } -8 \cos^3 \theta_n + 6 \sin \theta_n \cos \theta_n +$$

$$6 \theta_n + 8 - \frac{n}{y} (8 + 3\pi) = 0 \dots (26)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots, y$$

である。これらに式(24)を適用するには、先ず第0近似値 $\theta_{n(0)}$ が必要である。この値 $\theta_{n(0)}$ は式(25)、(26)の右辺を

それぞれ $F(\theta_n)_H$ 、 $F(\theta_n)_V$ とおいて、 θ_n に対する $F(\theta_n)$ の値をプロットした曲線から推定するのがよい。この場合、 $\theta_{n(0)}$ の精度は式(25)、(26)が3次式で、 θ_n が $0 \sim \pi/2$ の間にあるから、数学的には3個の解が存在し、その中の1個が求めるものであるが、計算過程で他の分枝に入るような誤差がない限りあまり問題にならない。

〔2〕 方位 ϕ に関する区画

方位 ϕ に関する区画は $U(\theta)_H$ 、 $U(\theta)_V_1$ 、 $U(\theta)_V_2$ の各々

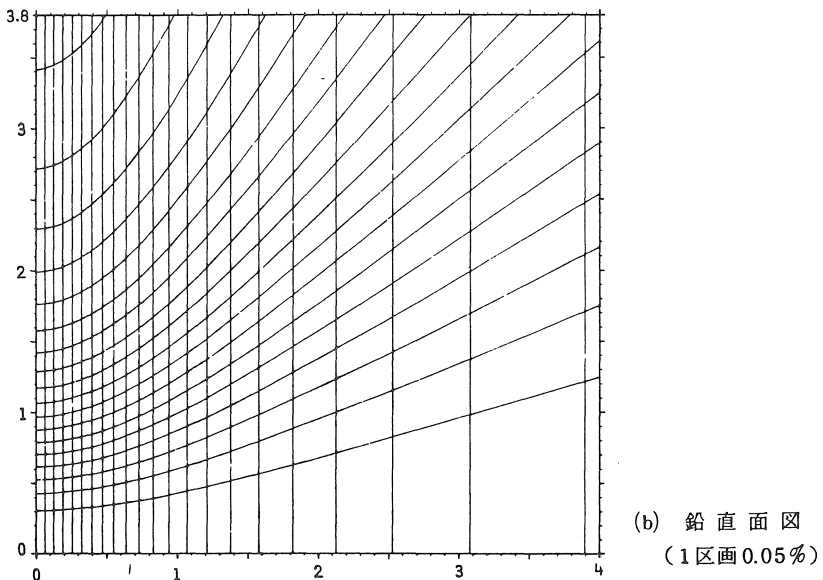
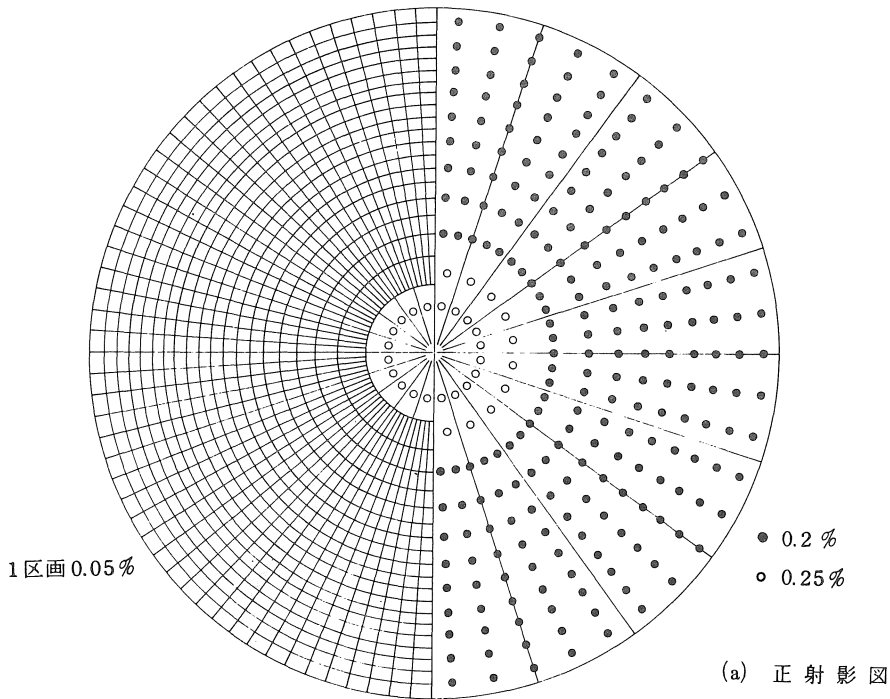


図10 水平面に対する直接昼光率 $U(\theta)_H$ 算定図表

の場合について相違する。式(12)~(14)から、

$$U(\theta)_H \text{ に関しては } \phi_n - \phi_{n-1} = \frac{1}{x} \cdot \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots(27)$$

$$U(\theta)_{V_1} \text{ に関しては } \sin \phi_n - \sin \phi_{n-1} = \frac{1}{x} \dots\dots\dots(28)$$

$$U(\theta)_{V_2} \text{ に関しては } \cos \phi_{n-1} - \cos \phi_n = \frac{1}{x} \dots\dots\dots(29)$$

であるから、具体的には下式を計算して、それぞれの $U(\theta)$ に対する ϕ_n を求める。

$$U(\theta)_H : \phi_n = \frac{n}{x} \cdot \frac{\pi}{2} \dots\dots\dots(30)$$

$$U(\theta)_{V_1} : \sin \phi_n = \frac{n}{x} \dots\dots\dots(31)$$

$$U(\theta)_{V_2} : \cos \phi_n = 1 - \frac{n}{x} \dots\dots\dots(32)$$

また、図9のように、図上で ϕ_n を求めることもできる。

図10(a)は式(25)において $y = 20$ とし、式(30)において $x = 25$ として描いた正射影図である。この場合、1区画は $25 / (25 \times 20) = 0.05\%$ である。作図の都合上、一番内側の区画は0.25%とした。同図(b)は天球面上の前述の区画を天球の中心を極として、天球に接する鉛直面上に射影したもので、図中に示されているスケールの1が天球の半径と等しいように作図してある。これは横軸 x 、縦軸 y として、

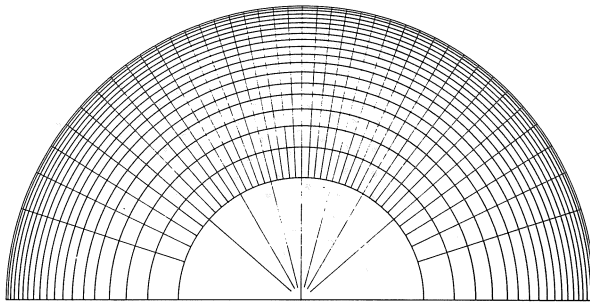
$$x = \tan \phi_j, \quad y = \tan \theta_i \cdot \sec \phi_i, \\ i, j = 1, 2, \dots, n$$

を用いて描くことができる。この図(b)の1区画も0.05%の直接昼光率に相当する。

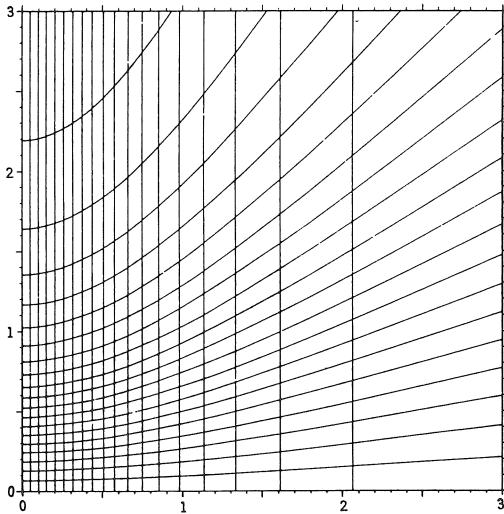
図11(a)は式(26)において $y = 20$ 、式(31)において $x = 20$ として描いた図であり、また、図12(a)は式(26)において $y = 20$ 、式(32)において $x = 20$ として描いた直接昼光率算定図(正射影図)である。これらの図の場合の1区画は $19.8 / (20 \times 20) \approx 0.05\%$ である。両図とも作図の都合で、1区画は外側は0.1%、内側は0.25%、中間の区画は0.05%の直接昼光率を与える。

図11(b)および図12(b)は、図10(b)と同様の図であり、図中のスケールの1が天球の半径によるように描いてある。これらの図の1区画は0.05%の直接昼光率に相当する。

図13は(a)に示すような厚さ20cmの壁にある円形窓によ

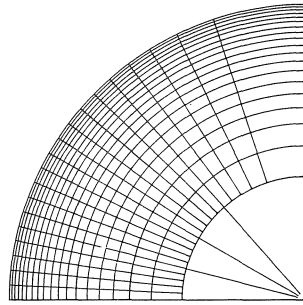


(a) 正射影図
(1区画0.05%, 外側0.1%,
内側0.25%)

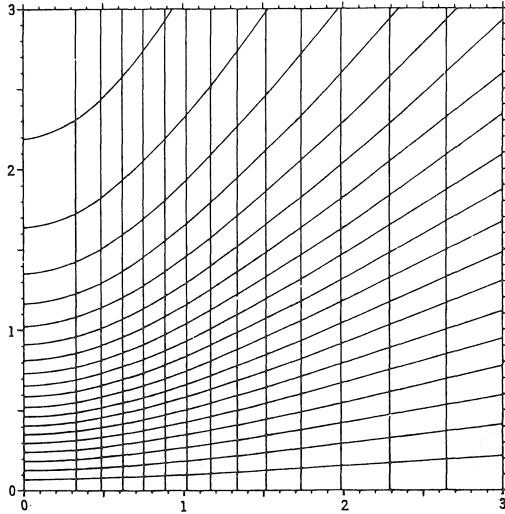


(b) 鉛直面図
(1区画0.05%)

図11 鉛直面に対する直接昼光率 $U(\theta)_{V_1}$ 算定図表



(a) 正射影図
(1区画0.05%, 外側0.1%,
内側0.25%)



(b) 鉛直面図
(1区画0.05%)

図12 鉛直面に対する直接昼光率 $U(\theta)_{v2}$ 算定図表

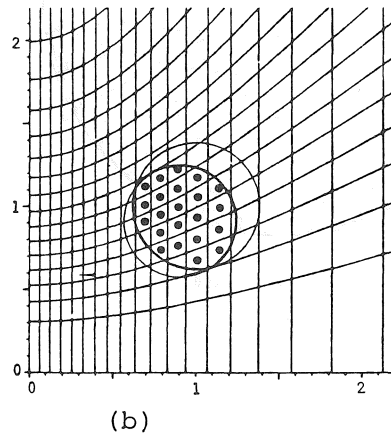
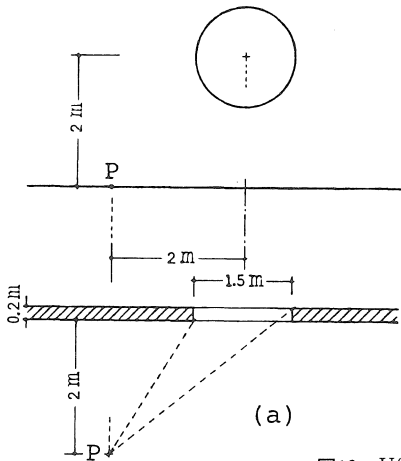


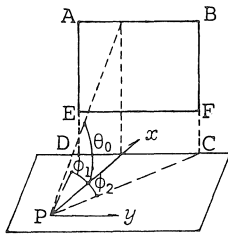
図13 $U(\theta)_H$ の計算例

るP点の直接昼光率を求める例で、同図(b)は $U(\theta)_H$ の算定図を示す。この場合は、

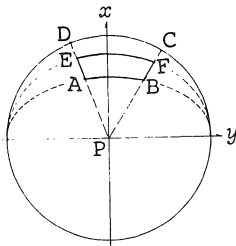
$$U(\theta)_H \approx 22 \times 0.05 = 1.1\%$$

となる。 $U(\theta)_{v1}$ 、 $U(\theta)_{v2}$ の場合も図11(b)、図12(b)を利用して全く同様に求めることができる。

図14のような長方形開口である場合には、上辺 AB および下辺 EF は楕円の一部となる。従って、種々の直視高度 θ_0 をもつ水平線と、種々の方位をも鉛直線の立体角投射図（これは単位球面上にそれらの直線を投射して得る球面上の形態の正投影象である）を描いておくと、ワル

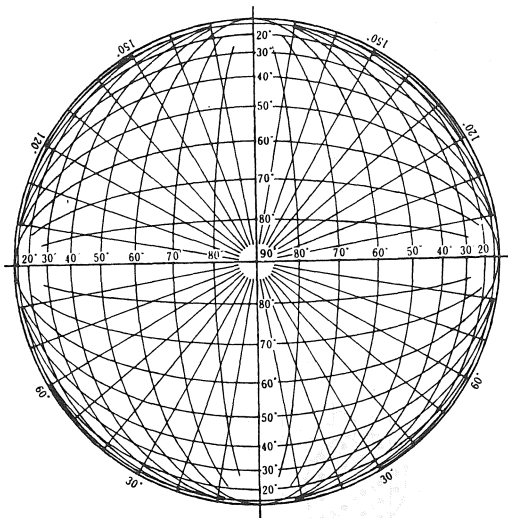


(a)



(b)

図14



水平線の正射影図

図15

ドラム図の場合と同様に作図の際に便利である。図15はそのような直線の射影図を示す。

5. 結 び

天空輝度分布が一様でない場合について、種々の形態の開口部による直接昼光率の算定方法に関して述べた。高精度の値を要求される場合には、算定式の数値解析による方法がよいが、複雑な形態を有する開口部に対しては図式解法が簡便であり、迅速に求めることができる。

一様な輝度天空の場合と異なり、CIE曇天空の場合には、受照面の位置によって別々の図表を作成しなければならないから、各々の受照面の位置に従って、ワルドラム図および立体角投射図に相当する計算図表の作成方法について述べた。また、それらの計算図表による直接昼光率の求め方について例示した。

参考文献

- 1) P. Moon, D. E. Spencer : Illumination from a Non-Uniform Sky, Illuminating Engineering, Vol.37, Dec. 1942.
- 2) Proceeding 13th Session CIE, Vol.2, 1955.
- 3) P. J. Waldram, J. M. Waldram : Window Design and the Measurement and Predetermination of Daylight Illumination, Illuminating Engineering, Vol.16, 1923.
- 4) 比嘉俊太郎：曇天空による室内照度に関する研究, 大阪大学学位論文, 1980.

(受理 昭和57年1月16日)