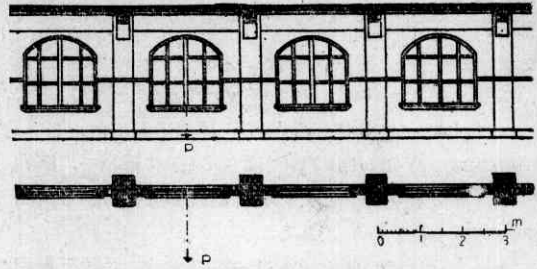


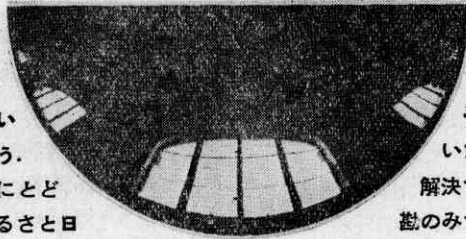
總 合 成 果

立 体 角
投 射 カ メ ラ

渡 辺 要 (建築)



冬は陽光降りそそぎ、夏は冷涼の日蔭を樂しめる小廣場が、都心の高層建築の立並ぶ一角に能率よく配置されたら、都市生活はいちぢるしく健康なものになるだろう。また住居の設計は、平面計畫の域にとどめなくて、最小の費用で快適な明るさと日

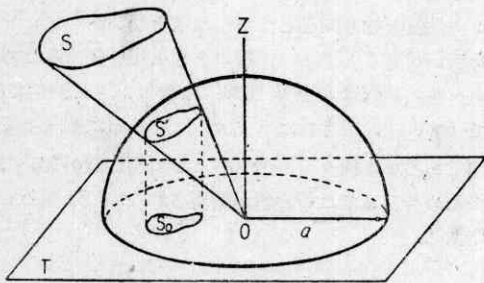


照を保證するところまで進めたいものである。このカメラの考案は、面倒な立體角投射理論を手軽に現實の問題に適用する途を開いた。日照、日射、晝光照明の問題を解決するものは、もはや天才的設計師の藪のみてはない。

立體角投射の法則は建築における採光照明、機械工学における汽罐の傳熱、窯業における爐の問題等の考察に適用されるが、筆者は建築における (i) 日照、日射 (ii) 晝光照明および晝光率、(iii) 輻射熱に関する問題等を對象として、これらの諸問題の研究に資するために、3種類のカメラを考案した。これを「立體角投射カメラ」と名付け、さらに型式によつてこれを AI 型・AII 型および B 型と呼ぶことにしたが、以下このカメラの理論と設計と應用について述べてみよう。

1: 立體角投射の法則

この法則は周知のものであるが、順序として一應説明する。第 1 圖において光源面 S を等輝度完全擴散面光源とし、次に被照平面 (照される面) T 上の一 O 点を中心として半径 a の球面を考え、O を頂點とし面 S を底とする錐體が球面によつて切られる面を S' とし、T 平面上における S' の正射影を S₀ とする。そうすると面 S



第 1 圖

による O 點の照度 E は下式で表わされる。ただし B は光源面 dS の輝度である。

$$E = BS_0/a^2 \dots \dots \dots (1)$$

つきに至天空による O 點の照度 E₀ は、S₀=πa² であるから

$E_0 = \pi B \dots \dots \dots (2)$
となる。したがつて E/E₀ の値を % で表わせば下式がえられる。

$$U_d = \varphi = E/E_0 \cdot 100 = S_0/(\pi a^2) \cdot 100 [\%] \dots (3)$$

(3) 式における U_d が O 點の直接晝光率である。

以上が立體角投射の法則による E 及び U_d の求め方である。輻射熱の問題を取扱うときに使われる形態係數 (あるいは角關係ともいう) と呼ばれるものは、上式の φ のことである。要するにある點の照度、晝光率、輻射受熱量などを求めるには S₀ の面積を求めればよい。また後で述べるように日當りの問題を解くには S₀ の面積は不必要であつて、その形がわかればよいのである。

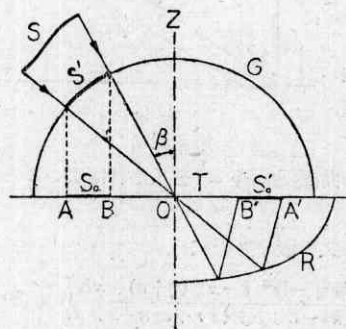
2-1: AI 型カメラの理論

第 2 圖において半径 a の半球面を G とし、被照面 T は O 點にピンホールのある薄い不透明板とする。被寫體

S から O 點に入射した光が、T 平面に對して被寫體と反對側にある曲面反射鏡 R に當り、正反射して T 平面上に投影した S の像を S' とする。S₀ は立體角投射の法則による T 平面上の被寫體 S の投影像であるから

$$S_0 = S' \dots \dots \dots (4)$$

であるとすれば、S' の像を求めると (3) 式の U_d を算出することができる。したがつてこの條件を満足するよ



第 2 圖

うな反射鏡 R の形を求めればよい。ところが次の微分方程式

$$\frac{dy}{dx} = \frac{xy(a^2 - ar)}{x^2(a^2 - 2ar) + ar^2 + ar\sqrt{r^4 + x^2(a^2 - 2ar)}} \dots (5)$$

ただし $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, $a =$ 半球の半径

の解曲線を、 Y 軸 (第2圖では OZ 軸に重ねて、原点を O とする) を軸として 180° 廻轉して得られる曲面が求める反射面 (R) である。

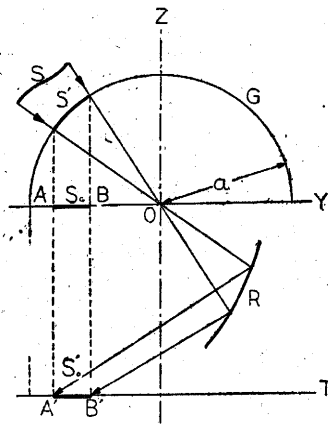
したがって原点 O にピンホールをあげ、この反射面により T 平面上に得られる畫像が S_0' (すなわち S_0) である。この場合すなわち AI 型カメラでは S' が $\frac{1}{2}$ 天空の場合に最大畫像が得られて、 S_0' は a を半径とする半圓形をなすわけである。

2.2: AII 型カメラの理論

AI 型カメラと全然同一の理論に立脚したものであるが、異なる點は AII 型は完全な圓 (全圓) に寫るようにした點である。そのために (5) 式の解曲線を Y 軸 (第2圖では OZ 軸) を軸として 360° 廻轉してできる曲面を反射面とした。したがって、このカメラで撮影すれば全天空にある被寫體を一度にキャッチすることができる。

2.3: B 型カメラの理論

第3圖において O 點を中心とし半径 a なる半球面 G を描き、 O を通る平面を Y とする。被寫體 S から O 點のピンホールを通つて入射した光が曲面反射鏡 R に當り、正反射して Y 平面に平行な T 平面上に投影したときの S の像を S_0' とする。 $S_0 = S_0'$ となるようにすれば畫像 S_0' を求めると O 點の U_d の値を求めることができる理である。したがって



第3圖

この条件を満足する曲面反射鏡 R を求めればよいことになる。

その結果を示すと次の微分方程式

$$\frac{dy}{dr} = \frac{\sqrt{K} [xar + kr^2] - [r^3(k-x)(r+a) + xK]}{y[r^2(k^2 - 2kx - a^2) + y^2(2r+a)a - 2r^2a]} \dots (6)$$

但し $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, $a =$ 半球の半径

$$K = r^4 + r^2(k-2x)k + y^2(a+2r)a$$

$$k = Y, T \text{ 2 平行線間の距離}$$

の解曲線 R (第3圖) を、 OZ 軸を軸として 180° 廻轉

して得られる曲面が、求める反射曲面である。この曲面によつて得られる S_0' の最大な畫像は、半径 a の半圓形であつて、 S' が $\frac{1}{2}$ 天空の場合である。

$a=1, k=1.5$ として x, y の値を數値積分法によつて解くと、曲面の形は AI 型及び AII 型では底の浅い碗型となり、B 型では逆立した徳利型となる。上述の2つの微分方程式の解曲線は、數値積分を行う際の始めの條件によつてその曲線形が異なるから、カメラの製作上都合のよい形をえらばねばならない。

3.1: カメラの考案

立體角投射カメラの設計・製作に當つて考えなければならない事は、(i) カメラの取扱いや撮影操作が不便でないこと、(ii) 精度の高いこと、等が擧げられる。筆者はこれらの諸条件をなるべく満足するようにした。でき上つた3種のカメラはいずれもピンホールカメラである。

AI 型はできるだけ畫像が大きく且正確となるようにしたものであつて、このカメラによる最大畫像は半径 100 mm の半圓である。これによつて $\frac{1}{2}$ 天空内にあるすべての被寫體を撮影することができる。これにはハツ切乾板を使用する。AII 型は畫像の大きさは半径 50 mm の全圓である。すなわち全天空が一度に撮影できる。これにはキャビネ型フィルムを使用する。B 型の最大畫像の大きさは半径 78 mm の半圓であつて、撮影範圍 (すなわち寫角) は AI 型とほとんど同じである。キャビネ型フィルムまたは乾板を使用する。

3.2: カメラに対する筆者の希望

上記のカメラはいわば試作品であつて、これを隨所に持運んで被寫體をキャッチするには少し嵩張る。またピンホールカメラであるから、明るさは普通のカメラに比べて著しく暗い (詳細は後述する) からスナップには不向きである。もつともスナップがきかない事はこのカメラの性質上餘り問題とするには當らないが、ピント硝子を覗いて見るときと、撮影のときと使い分けるためピンホールの口径は大小2種類位は欲しい。大きさはせめて 6×6 版、できればライカ版とする事は筆者年來の希望であるが、種々の事情 (主として製作費がないため) のため今日までこの希望が實現されないのは極めて遺憾である。

3.3. AI 型カメラの設計とその性能

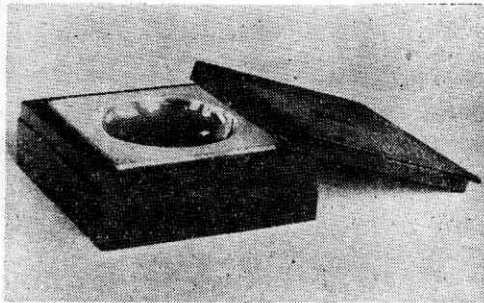
前に述べた方針にしたがつて設計試作した AI 型カメラの斷面圖を口繪寫眞③に示す。同④はその外觀である。ボディは全部金屬板製。O は直径約 0.6 mm のピンホール。R はニッケルメッキの反射曲面鏡。D は寫眞乾板 (またはピントガラス)、F は取枠に相當する。O から入

射した光は R において正反射して乾板 D に像を結ぶ。
 水平寫角約 180° 、垂直寫角約 79° 、畫像は半徑 100mm の半圓。焦點距離 $f'=120\sim 135$ mm。明るさ $F=210$ 。

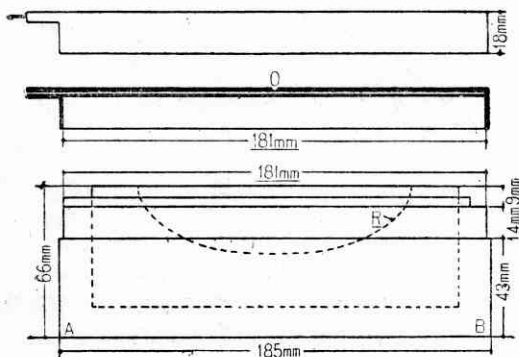
3-4: AII 型カメラの設計とその性能

AII 型は AI 型の變形である。AI 型は前記のとおり水平寫角が 180° であるから、全天空を 1 回で撮影することはできない。つまり 2 回の撮影を行わねばならぬ。さらに撮影操作上にも多少不便な點を發見したので、B 型を設計したが、B 型には反射曲面製作上に難點がありまた寫角は AI 型とほとんど同じであるのでさらに AII 型を製作した。このカメラの反射曲面は AI 型と全く同じであるから、AII 型と呼ぶことにした。

AII 型もピンホールカメラであつて、ピンホールの直徑は約 0.3 mm、カメラ全體の大きさは縦横各約 185mm、高さ約 70 mm であつて、第 4~5 圖に示すごときものである。第 5 圖の上圖は取枠兼カメラの蓋、中圖はその断面、下圖は反射曲面鏡である。



第 4 圖 AII 型カメラの外観



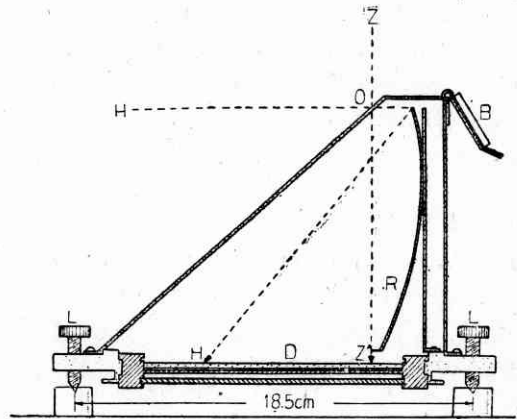
第 5 圖 AII 型カメラの構造

反射曲面鏡はレンズ用硝子塊を碗型に加工して所定の凹曲面 R とし、これに銀メッキをほどこす。取枠は全部薄鋼板製で、その上面には第 5 圖に示すごとくピンホール O をあける。この上面の板はなるべく薄く且つ完全平面であることが望ましいので、厚さ約 $\frac{1}{2}$ mm の薄鋼板を用いた。取枠にはキャビネ型カットフィルムを納める。なおこのフィルムの代りに感光エマルジョンの薄膜のみを使用する方法もある。

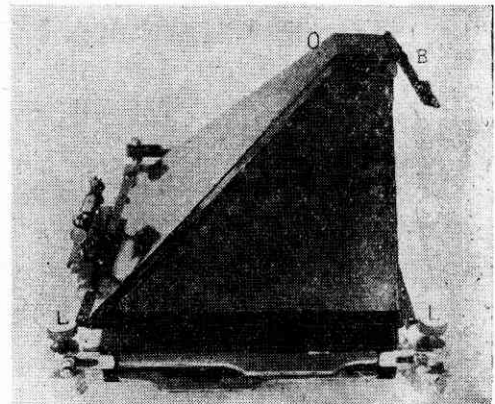
水平寫角 360° 、垂直寫角約 80° 、畫像は半徑 50 mm の全圓。焦點距離 $f'=60\sim 85$ mm。明るさ $F=230$ 。寫角が大きく全天空を一度に撮影できることは AII 型の特長である。

3-5: B 型カメラの設計とその性能

第 6 圖に B 型の断面圖、第 7 圖に外観を示す。ボデ



第 6 圖 B 型カメラの構造



第 7 圖 B 型カメラの外観

イ、取枠等すべて全金屬製である。O は直徑約 0.6mm のピンホール。R は反射曲面鏡、D は寫眞乾板 (又はフィルムバック) L は水平ネジ (3 個)、B はピンホールを保護する蓋である。水平方向 (HO) からピンホールに入射した光は反射曲面鏡 R で正反射し、感光板 D 上の點 H' に像を結ぶ。同様にして天頂方向 (ZO) から入射した光は Z' に結像する。R は金屬製で銀メッキが施してある。

水平寫角約 180° 、垂直寫角 90° 。畫像は半徑 78 mm の半圓。焦點距離 $f'=150\sim 170$ mm。明るさ $F=260$ 。AI 型カメラ同様に $\frac{1}{2}$ 天空内にあるすべての被寫體を一度に撮影することができる。

4: 3種のカメラの性能を生かした使い方

上に述べたように3種のカメラはそれぞれ多少その性能が異なるから、その特徴を生かして使うのがよい。被寫體とカメラとの幾何學的關係位置（普通カメラでいえばレンズの寫角とかアオリの利かし方に相當する）によつて適當なものを選定して使うことが望ましい。

AI型は被寫體の仰角が餘り小さくない場合(約12°以上)に適當である。

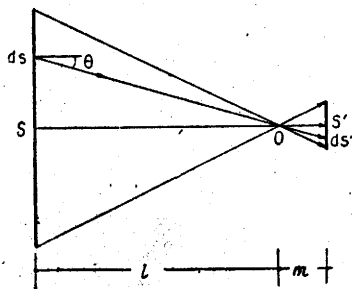
AII型は仰角についてはAI型と同様であるが、1回の撮影で全天空の被寫體をキャッチしたいときに用いる。

B型は仰角の小さい被寫體を撮影する場合に好都合である。

5: ピンホールについて

ピンホールカメラは畫像の切れ込み(鮮鋭度)とその明るさの點では通常のレンズ系カメラに劣るが、映像に歪がなく、また定焦點となつてゐるから、立體角投射カメラの設計とその使用目的からはかえつて好都合である。

そこで鮮鋭像を得るにはなるべくピンホールの口径の小さいことが望ましいが、ある限度以上に小さくすると映像が非常に暗くなる。ピンホールの孔の大きさと明るさとの關係は、第8圖において、ピンホールOの面積をa、被寫體はピンホールから距離lにあつて面積S、カメラ方向の輝度をBとすると、ピンホール内に射入する光は



第8圖

$(B \times S \times a) / l^2$ に比例する。したがつて畫像面積を

$$BSa' / (l^2 S') \dots \dots \dots (7)$$

に比例する。ピンホールから結像面までの距離をmとすると、結像面と被寫體とが平行なときは

$$S / S' = l^2 / m^2$$

であるから、この場合の像の明るさは

$$BSa / (l^2 S') = Ba / m^2 \dots \dots \dots (8)$$

に比例する、しかるに上式の a/m^2 はそれぞれのカメラによつて一定値となつてゐるから、一定のカメラでは、像の明るさは被寫體の輝度に比例するわけである。すなわちピンホールカメラでは光の變質がなく、また畫像の明暗の調子は被寫體のそれと同じ關係を保つ。いまピンホールの半徑をr、直徑をdとすれば

$$a / m^2 = \pi(r/m)^2 = \pi/4 \cdot (d/m)^2 \dots \dots \dots (9)$$

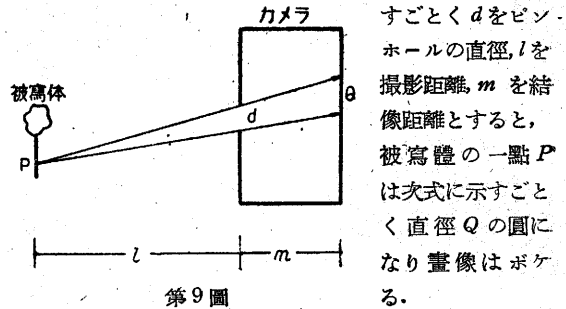
となるから、像の明るさはaに比例し、 m^2 に逆比例する。この値はピンホールカメラの明るさの程度を示すのに都合がよい。

しかし撮影角度が大きくなると畫面の周圍部分の明るさは

$$B \cdot dS \cdot \cos^2 \theta \cdot a / (l^2 dS') \dots \dots \dots (10)$$

に比例して暗くなる。(第9圖参照)

次に畫像の鮮鋭度について考えてみよう。第9圖に示



第9圖

$$Q' = d(l+m) / l \dots \dots \dots (11)$$

被寫體が相當に遠距離にあると、Q'はピンホールの形にほとんど等しくなる。したがつてこのボケを小さくして、しかも鮮鋭像を得るには、ピンホールの口径を小さくすればよいが、ある限度以下になると光の廻折作用のためにかえつて畫像の鮮鋭度が劣つてくる。その實用的直徑d(mm)は下式で求めたものが適當であるといわれている。ただしf'は焦點距離(mm)、Fは300mm程度の場合である。1)

$$d = f' / F \dots \dots \dots (12)$$

AI型およびB型カメラでは、f'≒120~170mm程度であるから、(12)式によつてdを求めると第1表のようになる。故にこの2種のカメラではd≒0.6mmとしたのである。

第1表 ピンホールの適當な直徑(d)

| F | f'=120 mm | f'=150 mm | f'=170 mm |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| 280 | 0.43 | 0.54 | 0.61 |
| 300 | 0.40 | 0.50 | 0.56 |
| 320 | 0.38 | 0.47 | 0.53 |

AII型ではf'≒60~85mmであるから、第2表の計算値を参考にして、この場合にはd=0.3mmとした。

第2表 ピンホールの適當な直徑(d)

| F | f'=60 mm | f'=70 mm | f'=80 mm | f'=85 mm |
|-----|----------|----------|----------|----------|
| 280 | 0.21 | 0.25 | 0.29 | 0.30 |
| 300 | 0.20 | 0.23 | 0.27 | 0.28 |
| 320 | 0.19 | 0.22 | 0.25 | 0.27 |

1) L. Rayleighによれば、波長(λ)、焦點距離(f'),ピンホールの半徑(r)のとき最鮮鋭像が得られる條件は $r = 0.95 \sqrt{f' \cdot \lambda}$ である、AI型カメラのf'=120~135mmであるから、λ=4,000~4,500 Åとすればr≒0.22mmとなる。

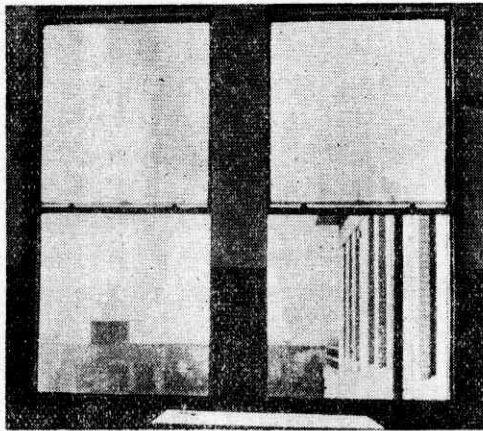
筆者はこの程度のもので実際に撮影してみても可成り鮮鋭な畫像を得ることを確めた。なおこの場合のレンズの明るさは $F=200\sim 250$ 程度であるから、ピント硝子を覗いて映像を見るときには、もつと口径の大きいペンホールと交換すると便利である。

6: 反射曲面鏡の仕上げとカメラの附屬設備

反射曲面鏡の表面は、通常の反射鏡と同様に銀メッキならばよいが、仕上げが不完全だと早く酸化して反射率が悪くなるから注意を要する。ニッケルメッキをしてよく磨けば十分に役立つことも確めた。これならば長持ちする。またカメラの附屬設備として傾斜計・水準器・磁石が必要である。これでカメラを任意の傾斜と方位に据付けることができる。

7: 應用例

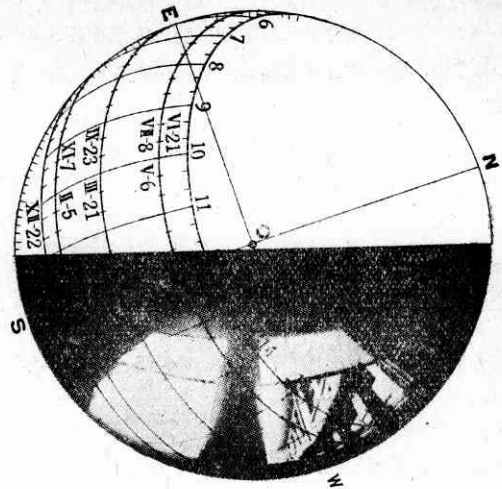
【例 1】日照への應用：第 10 圖は西向の室の窓際(壁面の方位が約 $S 18^\circ W$)にある机(高さ 82 cm)と



第 10 圖

窓とその外景を、普通のカメラ(この場合はスーパーシックス)で撮影したものである。いま第 10 圖の机上(床上 82 cm、窓中心線上壁面から 1 m の距離)に立置角投射カメラを水平に置いて撮影すると、第 11 圖の様になる。圖中の曲線群は東京における太陽の日週軌道曲線であつて、一年中の代表日として立春・春分・立夏・夏至・立秋・秋分・立冬・冬至の 8 日を取つて記入したものである。

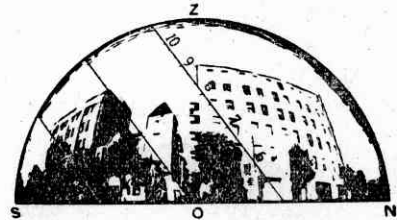
これらの曲線のうちで第 11 圖の畫面の空の畫像内にある部分が、撮影點が日照を受ける(日が當る)時間を示す。たとえば VI 月 21 日(夏至)には終日日照がなく、春秋分の日(III 月 21 日、IX 月 23 日)には初射時刻 13 h 38 m から終射時刻 14 h 50 m まで日照があり、その日照時間は 1 時間 12 分であることがわかる。
[AI 型カメラによる]



第 11 圖

【例 2】日照への應用：第 12 圖では南北に走る街路の向側に建ち並んだ建物が造る複雑なスカイラインが、

街路ニ於ケル日照時間



南北ニ走る街路、西側歩道、日照
 夏至…初射時刻 8^h15^m (真太陽時)…日照時間 7.5 時間
 春秋分…初射時刻 9^h30^m (真太陽時)…日照時間 5 時間
 冬至…初射時刻 10^h (真太陽時)…日照時間 4 時間

第 12 圖

いま考えている場所の日當りに及ぼす影響を知るために AI 型カメラを鉛直(感光板が鉛直となる意)に置いて寫した寫眞である。圖中の 3 本の直線は、右から夏至・春秋分・冬至の太陽の日週軌道を示すものであつて、夏至には直射日光の初射時刻は 8 h 15 m、春秋分には 9 h 30 m、冬至には 10 h であることなどがわかる。

【例 3】日射への應用：ある場所で受ける一日間とか夏季・冬季間の日射量が幾許であるかを求めるには、まず上例と同様にしてその場所にカメラを置いて寫眞をとりこれによつて所定の日々の初射及び終射時刻を求め、次に豫め作製してあるその日の終日の日射グラフ中に初射と終射時刻を記入してその日照時間中の受熱量を計算する。したがつて日射への應用は結局は初射と終射時刻をカメラによつて知るだけのことであるからこれ以上説明する必要はあるまい。

【例 4】畫光率への應用：室内のある場所が明るいか暗いかは、その場所の畫光率の多寡による。畫光率の定義は (3) 式に示してあるが、畫光照明設計においては

(3) 式の U_d が適当な値になる様に窓の大きさを設計せねばならない。第3表は晝光による必要照度と晝光率の値である。

第3表 晝光照度と晝光率 (ただし全天空による晝光照度 $E_0=5,000 lx$ とする)

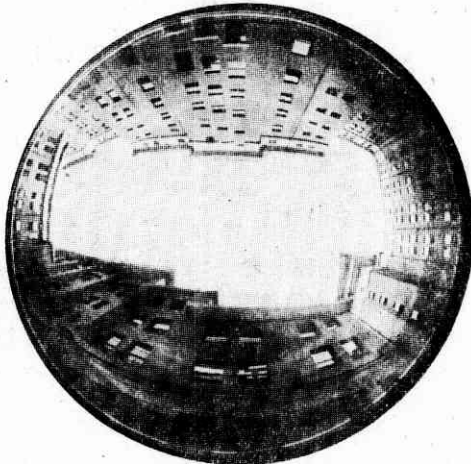
| 説 明 | 照度 (lx) | 晝光率 (%) |
|------------------------|-------------|---------|
| 細字は読みやすく、暗く感ずる (最低限度)。 | 10~20 | 0.2~0.4 |
| 細字は読める。普通の執務に差支えない。 | 60~75 | 1.2~1.5 |
| 普通の執務に適當。 | 150~250 | 3.0~5.0 |
| 精密作業に必要な値。 | 500 以上 | 10.0 以上 |

まずこれだけの前置きをして、晝光率への適用例を示そう (カット参照)。5個の窓をもつ室の P 點にカメラを置いて撮影したものであつて、窓面積をプラメーターで測ると、5個の窓面積の合計 $S_0=23.4cm^2$ となる。故に (3) 式から

$$U_d = \frac{S_0}{\pi a^2} \times 100 = \frac{23.4}{\pi \times 10^2} \times 100 = 7.45 \%$$

となる。[AI 型カメラによる]。

したがつていま天空輝度 $B=0.3 c/cm^2$ とすれば P 點



第13圖

の照度は

$$E = 0.3 \times \pi \times 10^4 \times 0.0745 = 702 lx$$

であることがわかる。

【例5】晝光率への應用：第13圖は或る建物の中庭の所定の位置にAII型カメラを水平に置いて撮影したものの。この天空部の面積 S_0 を測ると、その場所の晝光率が求められる。この場合は $S_0=75.7cm^2$ であつて、 $U_d=24.1\%$ 。いま天空輝度 $B=0.3 c/cm^2$ 、中庭壁面の平均反射率 $\rho=0.2$ とすればこの場合の晝光率は

$$\begin{aligned} \bar{U}_d &= 24.1 + (100 - 24.1) \times 0.2 \\ &= 24.1 + 15.18 = 39.28 \% \end{aligned}$$

晝光照度は

$$E = 0.3 \times \pi \times 10^4 \times 0.3928 \approx 3,700 lx$$

【例6】晝光率への應用：表紙寫眞は前例と同様に中庭のある場所の晝光率を求めるため、AI型カメラを2回使用して撮影したものの。空の部分の面積 $S_0=98.8cm^2$ 、故に $U_d=31.41\%$ となる。

【例7】輻射受熱への應用：完全擴散性の兩物體 F_1, F_2 の表面の絶対温度をそれぞれ T_1, T_2 とし、輻射常數を C_1, C_2 とすれば、輻射面 F_1 から受熱面 F_2 上の一點が受ける輻射エネルギーは

$$Q = \varphi \cdot C_{12} [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] dF_2$$

但し $C_{12} = C_1 C_2 / C_b$ である、ここに C_b は完全黒體の輻射常數とする。したがつて上例の方法によつて S_0 を求めると、(3) 式から φ がわかるから、結局 Q が求められる。これは汽罐燃燒室内における火床と受熱點との問題を解く場合とか、建築では前面の家が火事で燃燒するときに受ける輻射熱量を計算して、延燒の危険度を豫測する場合などに適用される。筆者は東京、川崎、名古屋、廣島等における火災實驗の際の輻射受熱について、立體角投射法則とこのカメラを使用したか、その詳細は省略する。(1950.2.28)

文 献

- 渡邊 要：立體角投射寫眞機の考案とその應用 (第5報)、建築學會大會論文集、昭和16年4月。
- 渡邊 要：建築計畫の研究、第1輯 (晝光照明)、昭和24年刊、富士出版株式會社發行。

次 號 雜 告 1950・6月號

| | | |
|-----|-----------------|---------------|
| 論 說 | 資源・生活水準・研究..... | 安藝 皎一 |
| 調 査 | 工業分析法の進歩..... | 武藤 義一 |
| | 硫化鐵の焙燒法..... | 東畑平一郎 |
| | 化學工業原料の研究 その2 | |
| 研 究 | 防振材..... | 西村源六郎 古川 浩 |

| | |
|--------------------------|----------------|
| 電解還元による現像液の調製..... | 菊池 眞一 本多 健一 |
| 帯域濾波器の設計圖表..... | 高木 昇 尾上 守夫 |
| 講 座 微分解析機 I | 渡邊 勝 三井田純一 |
| その他 實驗ノート、技術史ノート、速報、隨筆など | |