

4、〈日本学生科学賞静岡県審査委員会・県科学教育振興委員会賞〉

「道路照明灯からみる光害」

～旧浜松市内における光害について～

— 1 動機

私たち浜松北高地学部は、年数回天体観測を行っている。しかし、街の照明やネオンなどによって夜空が明るくなり、星が見えにくいことに気がついた。また、街でなくとも天の川が見えないことも判明した。明るすぎる照明の夜空への影響は中心部に止まるものではなかった。

光害とは、夜間照明設備から上方に放出される光（上方光束（図1））によって夜空が本来より明るくなり、人間や他の生物へ多様な弊害を引き起こすことである。その最も大きな原因と思われるものは、道路照明灯や商業用看板などのネオンである。

このように明かりによって星が見えにくくなる「光害」の被害を少なくする方法はないか、と考えて昭和60年から研究を始めた。それから21年にわたり、明るさの分布図を作るなどの作業を中心として研究を行ってきた。

そして今回、光害の主な原因と思われる道路照明灯に焦点をあて調査を開始した。その理由は、道路照明灯（写真1）は個数が多く、夜間点灯し続けるため光害の原因の中でも重要性が高いと考えたためである。そこで、道路照明灯1個につきどれだけの上方光束があるのかを求めた。それにより、旧浜松市内でどれほどの上方光束があるのかを求めた。

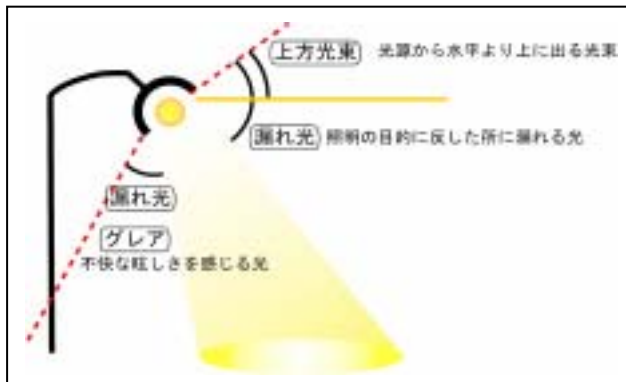


図1 光害の説明図



写真1 道路照明灯

— 2 研究内容

(1) 予備実験

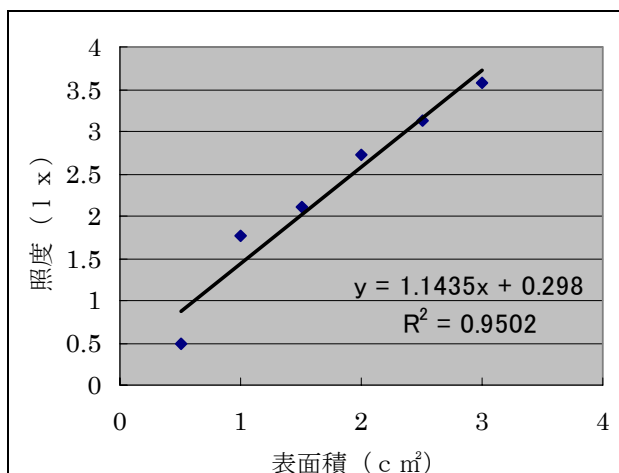
最初に予備実験として、ナトリウムランプの表面積と照度がどのような関係にあるのかを調べた（図2）。使用した実験器具は、照度計（写真2）、ナトリウムランプ（写真3）である。なお、照度計は以後同じものを使用している。方法として、ナトリウムランプをアルミホイルで包み、漏光孔を開け、漏光孔の面積を変えていき（写真4）、照度の計測を行った。そして、その結果をグラフにし、まとめた（グラフ1）。



写真2 照度計



写真3 ナトリウム灯



グラフ1 予備実験の結果



写真4 漏光孔

グラフより、表面積が大きくなるほど照度も大きくなるということが分かる。

(2) 本調査 I ～実測による上方光束の算出～

次に、ナトリウム灯の上方光束を実測によって求めた。照明の真下で 100%となる道路照明灯の見かけの表面積は、上方での論理的に光が届かない所との境でほぼ 0%になる。しかし、上方光束は実測によって求めることは不可能なので、実測可能な下部の地点ごとの照度と、その地点からの見かけの表面積を求め、グラフを作り、照度と表面積の関係を明らかにした上で、計算によって上方光束を求めることとした。実測方法は、まず光源に対して垂直な直線上で照明の真下から 0～10m で 2m ごとに離れた地点をとり、次に 0～10 m地点においてそれぞれ照度、道路照明灯までの直線距離（斜辺）を求める。ここで、照度は距離の二乗に反比例するので、

(実測距離)² × (平均照度) ÷ (補正距離)²
 の式から同じ距離（今回は 10m の距離に合わせた）で測った照度(補正照度)に変換する（図3）。

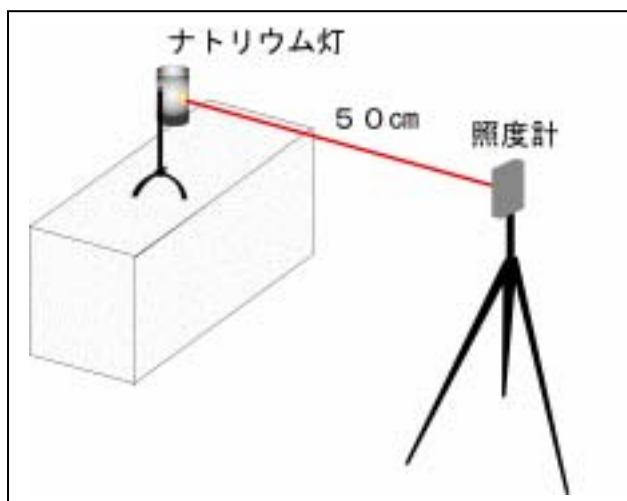


図2 予備実験の方法

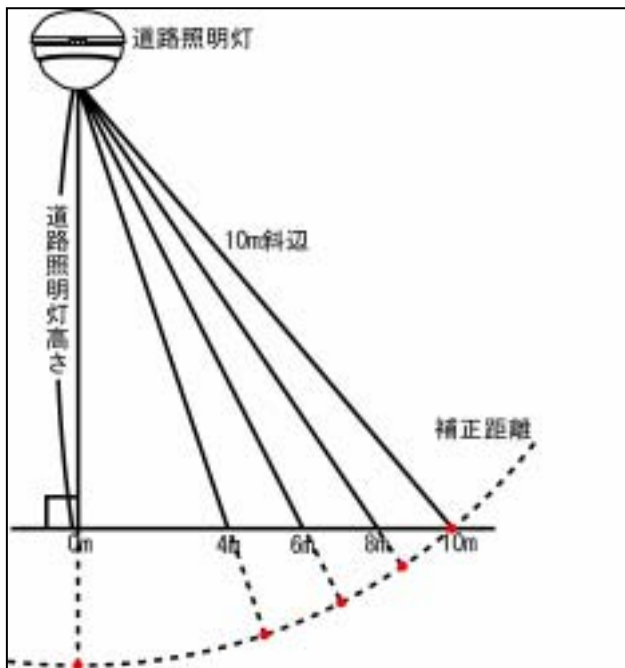
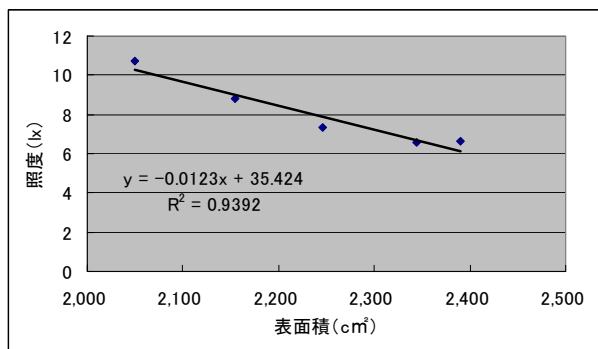


図3 補正照度

各地点から照度と見かけの表面積を計測し、ナトリウム灯の照度と表面積の関係を求める。グラフ2が照明灯の照度と表面積の関係を表したものである。



グラフ2 本調査 I の結果

この調査では表面積が増大するほど、照度は減少した。これにより、予備実験とは異なる結果が算出された。

原因は表面積を変える方法が予備実験と異なっていたため、照度計に入ってくる背景の明るさの影響が地点によって変化し、調査対象の照明の照度に誤差が生じてしまったと考えられる(図4)。よって道路照明灯において、実測値を基にして上方光束を求めることは不可能であることがわかったので、理論的に求めることにした。

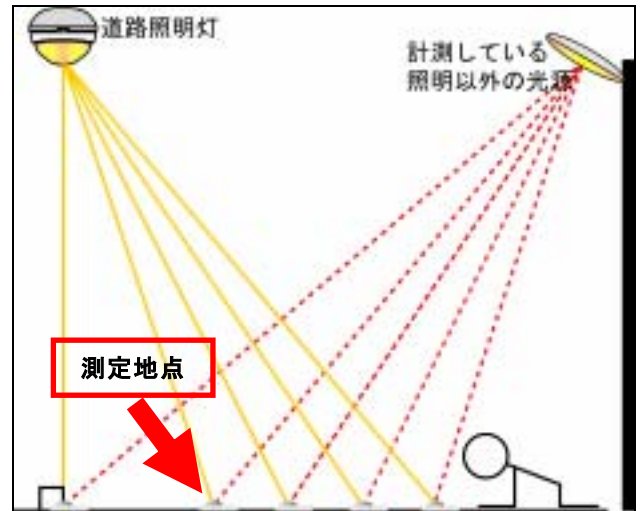


図4 計測誤差

(3) 本調査 II

～理論的に上方光束を表面積から求める～

照明の正面図と側面図より上方光束をそれぞれ別々に求め、最後に理論値を出す。照明の正面と側面から見たそれぞれの場合の2本の接線の交点から任意の半径の球、(ここでは計算を簡単にするため10mを半径とする球、正面から見たものを正面球図(図5)、側面から見たものを側面球図(図6)とする)をとり、理論的に光が届かない範囲の球における表面積(図7)を求めた。周りの光の影響が一番少ないと思われる照明器具の真下で照度を測り、その表面積と照度より上方へ漏れる上方光束を求めた。

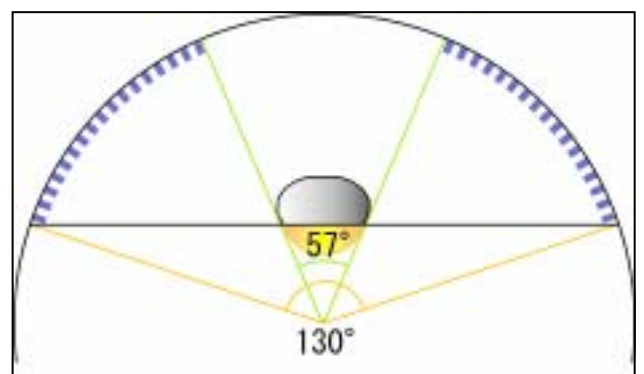


図5 正面球

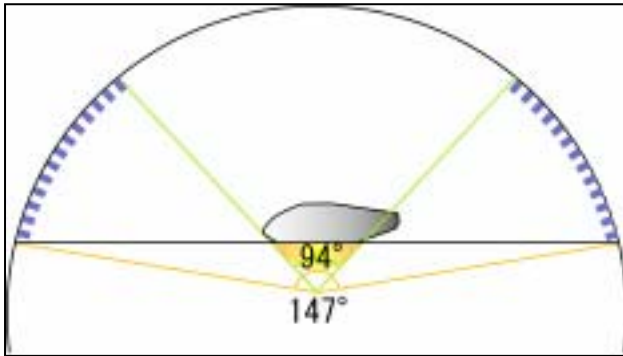


図6 側面球

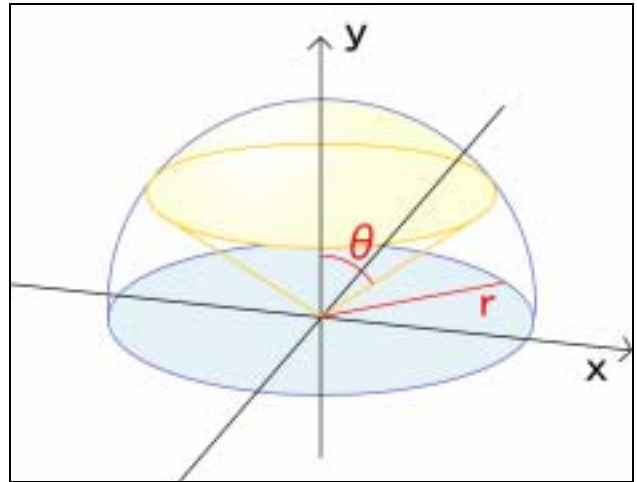


図8 積分図

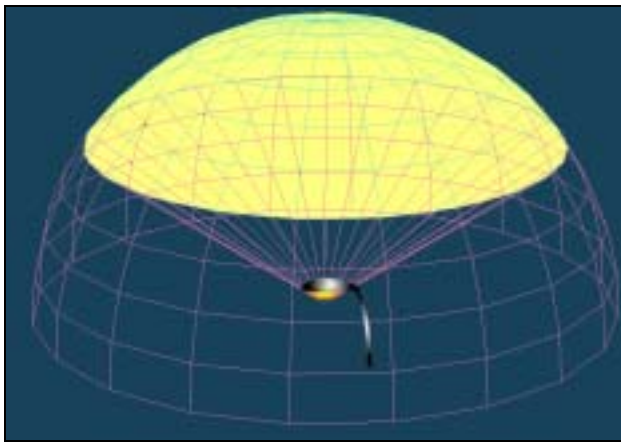


図7 照明灯の上方光束の図
(光の届かない範囲は黄色で、上方光束は透明な部分で示してある。)

図8より積分計算を行うと $2 \pi r^2(1-\alpha)$ (図9) であるため、 α に $\cos \theta$ つまり道路照明灯の上方光束の角度の半分の値を代入し、そこから α に光の届かない範囲の角度の半分の値を代入したものをひくと、正面から見た場合は 286.64m^2 側面から見た場合は 250.06m^2 となる。以上から上方光束の割合を求めると $19.9\% \sim 22.8\%$ となる。この値から道路照明灯の全光束を計算により求める。

$$\cos \theta = \alpha, x^2 + y^2 = r^2 \text{ と置く}$$

ここで

$$x^2 + y^2 = r^2 \text{ より } y = \sqrt{r^2 - x^2}$$

$$\text{よって } \frac{dy}{dx} = \frac{x}{\sqrt{r^2 - x^2}} = \frac{x}{y}$$

$$\begin{aligned} S &= 2 \pi \int_{\alpha r}^r y \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} \\ &= 2 \pi \int_{\alpha r}^r y \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \\ &= 2 \pi \int_{\alpha r}^r y \sqrt{1 + \frac{x^2}{y^2}} dx \\ &= 2 \pi \int_{\alpha r}^r \sqrt{x^2 + y^2} dx \\ &= 2 \pi \int_{\alpha r}^r \sqrt{r^2} dx \\ &= 2 \pi r \int_{\alpha r}^r 1 dx \\ &= 2 \pi r [x]_{\alpha r}^r \\ &= \underline{2 \pi r^2 (1 - \alpha)} \end{aligned}$$

図9 積分計算式

補正照度は、

$$\frac{(\text{実測距離})^2 \times (\text{平均照度})}{(\text{補正距離})^2}$$

で求めることが出来る。高さ 7.95m ・平均照度

46.03lx の道路照明灯を例にすると、

$$\begin{aligned}(\text{補正照度}) &= 7.95 \times 46.03 \div 10 \\ &= 63.2025 \times 46.03 \div 100 \\ &\doteq 29.08\end{aligned}$$

となる。

そしてこのようにして、様々な道路照明灯で補正照度を求め、平均を出すと、18.10 lx であることがわかった。平均の値より照明器具の上方光束を求める。正面から見た場合、

$$\begin{aligned}(\text{上方光束}) &= (\text{照度}) \times (\text{被照面積}) \times (\text{上方に漏れている割合}) \\ &= 18.10 \times 1180.496 \times 0.228 \\ &\doteq 4.87 \times 10^3\end{aligned}$$

となり、上方光束は $4.87 \times 10^3 \text{lm}$ となる。同様にして側面から見た場合は、

$$\begin{aligned}(\text{上方光束}) &= (\text{照度}) \times (\text{被照面積}) \times (\text{上方に漏れている割合}) \\ &= 18.10 \times 1056.831 \times 0.199 \\ &\doteq 3.81 \times 10^3\end{aligned}$$

となり、上方光束は $3.81 \times 10^3 \text{lm}$ となる。平均は $4.34 \times 10^3 \text{lm}$ である。

— 3 結論 —

市内の道路照明灯の数を問いあわせたところ、旧浜松市内全体の合計は約 14000 個であることがわかった。旧浜松市内の道路照明灯における上方光束は、

$$(\text{道路照明灯 1 個の上方光束}) \times (\text{旧浜松市内の道路照明灯器具数})$$

により求めることが出来る。ここから求めた結果、 $6.07 \times 10^7 \text{lm}$ であることが判明した。

ナトリウム灯の照明効率を 120lm/W とし、電力を求めると $5.06 \times 10^5 \text{W}$ となった。道路照明灯が点灯している時間を 12 時間と設定し、この値を代入すると、1 日当たりの消費電力は $6.07 \times 10^6 \text{Wh}$ となり、電気代に換算すると約 13 万 4000 円であることがわかった。さらに 1 日あたりの CO_2 の排出量は約 2300kg で、ガソリン約 990 リットルを燃焼させた時の CO_2 排出量と同等であることも判明した。なお計算は小川邦久氏の「電気代計算君」を参考にした。

— 参考文献 —

- 大学課程照明工学（新版）（1997）
社団法人照明学会
照明講座テキスト第 19 期（1998）
社団法人照明学会
光と風景の物理（2002）
佐藤文隆 岩波書店
照明ハンドブック第 2 版（2003）
社団法人照明学会