

第7回 視覚／照度と輝度 (教科書 pp. 8~13)

◎ 光環境の分野の全体像

└ 【1】 光環境の捉え方と評価→様々な指標 (基本のお話, 物理的なお話)

|

└ 【2】 よりよい光環境のつくり方—^{光源でわけ}ける—┬—昼光照明

|

┬—人工照明

|

+ 照明計画

| ↑ 可視光線を全体で捉える

| ↓ 可視光線を波長別に捉える

|

└ 【3】 色環境

補足 「光・音」環境と「熱・空気」環境の違い

	進み方	ヒトの感覚が入るか?
光・音	まっすぐに進む (直線的 (二次元的) な動き)	ヒトの感覚を考慮する 例) 眼で見て初めて「光環境」になる
熱・空気	まっすぐには進まない (三次元的な変化)	物理的 ヒトがいなくても変わらず 例) 25℃はヒトがいてもいなくても 25℃

補足 可視光線: 教科書 p. 9 の図を参照

おおよそ 650nm~780nm の波長を反射する物体が,

「赤色」の物体として, ヒトの眼に見える

注) 1nm (ナノメートル) = 0.000001mm = 10⁻⁹m

参考) 赤外線, 可視光線, 長波, 短波などについては, 前期配当の「建築環境工学 I」の第13回目「(熱エネルギーとしての) 日射」(07月11日配布)の配付資料 (p. 119, p. 128) も参照のこと

0 今日の内容

- 1 ヒトの感覚（視覚）と光環境
- 2 「光」をどのように数字で捉えるか？ **重要** 光環境の「ヤマ場」

- 補足1** 立体での角度の表現（立体角）
- 補足2** 照度と光度の関係（逆二乗の法則）
- 補足3** 輝度対比

1 ヒトの感覚（視覚）と光環境

(1) 目の仕組み：教科書 p.8 の上の図を参照

注) 「盲点」あり（インターネットで「盲点, 実験」などで検索して体験してみよう）

(2) 明視（設計）：ものがはっきりよく見えるか、そうではないか？

- ・明るさ：視対象が明るい
- ・対比：視対象と背景の対比（特に輝度対比）が大きい
- ・色：視対象の輝度が同じでも、色相や彩度が違えば区別が可能
- ・大きさ：視対象の視角が大きい（網膜の上に投影される像が大きい）
- ・時間（動き）：視対象の動きが遅い（視対象を見る時間が長い）

→照明計画の際には、一般的には明視を目指す

明視設計⇔雰囲気設計

注1) 輝度は、今日の授業の内容を参照。色相や彩度は、第9回の授業の内容を参照。

注2) 教科書 p.8 では、明視に影響与える5つの条件として、「明るさ」、「対比」、「色」、「大きさ」、「時間（動き）」の5つを挙げている。条件を4つとする際には「時間（動き）」を除く、としているが、「色」を除く場合もあるので注意する。

(3) 反応性：明順応と暗順応

→光環境が変化するとき、素早く反応するか（環境の変化への対応）

(4) 目が感じる光：比視感度（教科書 p.9 の下の方を参照）

ヒトの眼は青や緑を明るく感じる

注) ヒトの眼（センサ）による違い

(3) 光束を出す側 (=光源) での「光」を数字で捉える (難しめ)

◎どのくらいの量の光 (のエネルギー) が出ているか? (「受ける側」でも量の話は出てきた)

①点光源のとき: 光束 [lm] (基本の物理量)

②面光源のとき: 光束発散度 [lm/m^2]

→ $1m^2$ あたりで何本の矢を出すのか? どのくらいの光束を出すのか?

※ (光環境では) 「度」は主に「〇〇〇あたり」を考えるとときに使う

ところが, **重要!!**

「光束を出す側」を考える場合は量だけではなく,

①光を出す **方向** と

②光を出す **密度** も考える必要がある

(4) 光源が発する光束の密度: 照明器具は見る方向によってまぶしさが違うことを思い出そう

(出す光束 (光のエネルギー) の量は同じなのに・・・)

※点はどこから見ても面積は同じ (≒面積ゼロ) ⇔面は見る方向で面積が変わる

点 光 源	光束 (光のエネルギー) の「広がり具合」を示すために立体角 [sr] (ステラジアン) を使う	[lm/sr] 1srあたりに何 lm 出しているか?	広がり考えた光束の出し方 光度 点光源が 1sr あたりに何本の矢を出しているか? [Cd] (カンデラ) 特別な単位を使う (2文字だけですませる)
	光束 (光のエネルギー) の「広がり具合」を示すために立体角 [sr] (ステラジアン) を使う	[$lm/m^2/sr$] 1sr あたりに何 lm/m^2 出しているか?	広がり考えた光束の出し方 輝度 面光源が 1sr あたりに ($1m^2$ あたり) 何本の矢を出しているか? [Cd/m^2] 特に人間が眼で見たときのまぶしさに関係 プリント p. 77 の輝度対比も参照

【注】 詳しい解説】 -----

教室の蛍光灯を見上げるとき、斜めに見た方が見かけの面積は小さくなるのに、輝度は大きくなるのか。もしくは、輝度の「見かけの面積」がよくわからない。

という点をどのように考えるか？

まず、見かけの面積の考え方については前期の建築環境工学 I の 13 回目のプリント p. 116 を確認して欲しい。「窓が受ける日射エネルギー（熱エネルギー）と太陽の位置の変化との関係」についての説明であった。

教室の蛍光灯を見上げる時には、斜めに見ると、まずは距離が遠くなるので目に届く光束が少なくなる（プリント p. 74 の **補足 2** も参照）。なおかつ、光束を出す方向を考えれば斜めに見る方向にやってくる光束は、まっすぐ下から見る方向にやってくる光束に比べて少なくなる。

教科書 p. 23 の「②照明器具の配光」の図を見れば、真下には沢山の光束が届くが、横や斜めにはあまり多くの光束が届かないことがわかる。

もしくは、方向性のより強い LED の事例を考えればよい。LED の場合は、まっすぐに見るときとほんのちょっとずれて斜めに見るときのまぶしさに相当の違いがある（この場合は、見かけの面積はほとんど同じ）。

ということから、面積の問題もあるが、実際には、それよりも光束の量が減ると考えた方が理解しやすい。

さらに、もう一步深めて考えよう。

私達が使っている教科書『図説やさしい建築環境』も含めて各種の教科書などでは輝度の説明のところにも「光度」が出てきて混乱してしまう。

やや専門的になるが、本来は、やはり光度は点光源を対象としているが、「輝度の定義における光度は面を想定している。そのため微小部分という概念を導入することにより、点と面の見方を両立させ、光度と輝度の定義上での整合性を保っている」とのことである。『新建築学 9 建築光環境・視環境』（平手小太郎，数理工学社，2011）の p. 41 頁に書かれているので詳細は参照。

この辺りが輝度の理解を難しくしていると考えられる。私達が使っている教科書『図説やさしい建築環境』でも、最初は他の多くの教科書にならって 11 頁のような図を描いた。しかし、前述のようになかなか無理をして辻褄を合わせているので、やはり、前のページ（プリント p. 71）で示した表のように、

点光源：光束→光度

面光源：光束発散度→輝度

と理解しておく方が整理が簡単である。

補足1 立体での角度の表現 (立体角)

復習 平面の角度 (平面角) を考える時

弧度 (こど, 平面角): 半径 1 の円を考えたときの円弧上の部分長さ。単位は, ラジアン [rad]。

$$[\text{弧度}] = [\text{円弧上のある部分の長さ}] / [\text{半径}] \quad \theta = \frac{l}{r}$$

→ $180^\circ = \pi \text{ rad}$, $360^\circ = 2\pi \text{ rad}$, $90^\circ = 1/2\pi \text{ rad}$

(円周は $2\pi r$, $r=1$ のとき $2\pi \times 1 = 360^\circ$ なので $\pi=180^\circ$ と考えてもよいかもしれない。

$2r$ は直径なので, 円周は, 直径 $\times \pi$ (直径 \times 円周率)。

→→ 円弧が長いと角度も大きい, 円弧が短いと角度も小さい

⇒ 立体での角度は「立体角」を使う

単位は, ステラジアン [sr] → 全球の場合: $4\pi \text{ sr}$, 半球の場合: $2\pi \text{ sr}$

→→ 立体角が小さいと球の上での表面積が小さい, 立体角が大きいと球の上での表面積が大きい
半球: $2\pi \text{ sr}$, 全球: $4\pi \text{ sr}$

[考えてみよう]

傘を大きく開くと傘の面積も大きく濡れにくい
一方, 小さく開くと頭の上の傘の面積も小さく濡れやすい

(5) 光束を出す側と光束を受ける側との関係

照度と輝度を考えてみよう (難しめ)

①点光源の時 (いつでも成り立つ) → 下記の補足2を参照

補足2 照度と光度の関係 (照度の逆2乗の法則) 教科書 p. 13

高校の物理で電磁気を学んだときのことを思い出す

[点光源による直接照度]

$$= [(でてくる光のエネルギーの広がりを考えて) 光度] / [点光源からの距離]^2$$

参考) 球面の表面積: $4\pi r^2$

半径が2倍になると, $4\pi \cdot (2r)^2 = 2^2 \cdot 4\pi r^2$ なので,

表面積は4倍になる

※球面の表面積は, 半径の2乗に比例

【注】 詳しい解説 -----

照度の単位は, $[lx] = [lm/m^2]$
 一方, 光度の単位は, $[cd] = [lm/sr]$ で
 上の式では, 光度を距離の二乗で割るので $[lm/sr/m^2]$ になってしまい, 単位が揃わない。
 という点をどう考えるか?

平面角(ラジアン)は弧の長さを半径で割っているので, (別の表現をすれば) $[m/m]$ が(組立)単位。

立体角(ステラジアン)は球面上の面積を半径の二乗で割っているので, (別の表現をすれば) $[m^2/m^2]$ が(組立)単位。

とすると, $[lm/sr/m^2]$ は, $[lm/m^2/m^2/m^2]$ と書けるので, $[lm/m^2]$ と同じと考えればよい。

もしくは, 光度は点光源に対してのものなので, 照度と光度の関係を考える際の立体角は限りなく0に近くなるので, 考えなくてもよい, と考えてもよいかもしれない。

正確には, 微分積分で出てくる微小面積 dS や微小立体角 $d\Omega$ などを使って点光源と照度の式を導くことになるが, 微分積分が出てくるので, ここでは省略する。

式の誘導や考え方の詳細が知りたい人は, 前述の『新建築学9 建築光環境・視環境』(平手小太郎, 数理工学社, 2011)の44頁とその解説が載っているサイエンス社のサポートページ <https://www.saiensu.co.jp/search/?isbn=978-4-901683-78-4&y=2011#support> を参照。

【注】 詳しい解説 -----

教科書 p.13 の点光源による照度の式で, $\cos\theta$ がでてくるのは, なぜか。
 をどう考えるか?

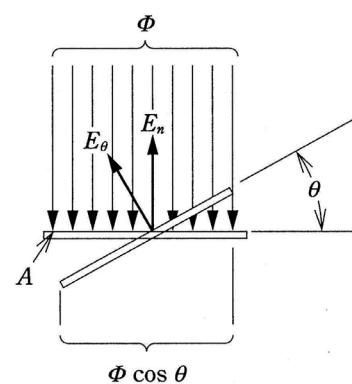
右図を考える時, 面積 A の平面に対して垂直に光束 Φ が入射しているとすれば, この面上の照度は次のように表せる。

$$E_n = \frac{\Phi}{A}$$

次に, この面を角度 θ だけ傾けたとすると, この面に入射する光束は $\Phi \cdot \cos\theta$ となるので, 傾いた面上の照度は

$$E_\theta = \frac{\Phi \cdot \cos\theta}{A} = E_n \cdot \cos\theta$$

となる。つまり, ある面の照度は光の入射角(面の法線と入射光の方向とのなす角度)の余弦に比例するので, 「入射角余弦の法則」や「照度の余弦法則」などという。



なお、「入射角余弦の法則」や「照度の余弦法則」と照度の逆 2 乗法則 (プリント p. 74 で説明したもの) を合わせたものが下記の式である。

$$E = \frac{i}{r^2} \cdot \cos\theta$$

前述の教科書『建築光環境・視環境』の 44 頁にも掲載されている。

②面光源の時 (特別な時だけ関係あり)

どうやら反射率を考えれば関係ができそう

また、輝度は広がり考えた光束の出し方なので、輝度 = 光束発散度 / 立体角 であった。

というわけで、特別な場合 (均等拡散面のときのみ) には、

$$[\text{照度}] \times [\text{反射率}] = [\text{光束発散度}] = [\text{輝度}] \times [\text{立体角}]$$

という関係が成り立ちそう。

結局、照度と輝度には、次のような関係がある。

$$[\text{均等拡散面上のある点の輝度}] = [\text{照度}] \times [\text{反射率}] \div \pi \quad \langle 3 \rangle$$

ただし、

均等拡散面：全ての方向からの輝度が同じ、理想的な面。例として、酸化マグネシウムを塗った白い面。月もほぼ均等拡散面に近い。さらに、反射率や透過率が 1 の理想的な面を完全 (均等) 拡散面という。

(6) 光束を出す側のまとめ **重要！！(今日のまとめ)** 2つの視点で考える！

→丸暗記ではなく、理解したい

※光束を受ける側の指標は照度 [lx] のみ (本当は [lm/m²] だけど特別な単位を用いる)

	①光束の量 どのくらいの光のエネルギーが出ているか？	②光束の広がり, 効率, 割合) 光のエネルギーはどのくらい広がっているか？どの密度で出ているか？ (どのくらいのまとまりで？)	光束を受ける側 (照度) との関係
点光源	基本の物理量 光束 [lm]	光度 [lm/sr] ⇒ [Cd] (カンデラ) 1sr あたりの光束は？	いつも成り立つ (特別な時だけではなく) [照度] = [光度] / [距離] ²
面光源	光束発散度 [lm/m ²] 1 m ² あたりの光束は？ ほかに、 反射光束発散度 透過光束発散度もあり	輝度 [lm/m ² /sr] ⇒ [Cd/m ²] 1sr あたりの光束発散度は？	特別な時のみ (均等拡散面のみ) [均等拡散面上のある点の輝度] = [照度] × [反射率] ÷ π

補足3 輝度対比：明るさの対比に関する指標

視対象より周囲の輝度が低い場合には視力がそれほど低下しないが、高い場合には著しく低下する。なお、この場合の視力はその時々視力のことで、「何らかの影響で視力が悪くなる」という話とはまた別。

$$C = \frac{L_b - L_d}{L_b} \quad (L_b > L_d) \tag{4}$$

ここで、

C : 輝度対比 [N. D.]

L_b : 明るい方の面の輝度 [lm/ (m² · sr)] もしくは [cd/m²]

L_d : 暗い方の面の輝度 [lm/ (m² · sr)] もしくは [cd/m²]

【参考文献】(順に、タイトル, 編著者名, 出版社, 発行年月, 価格, ISBN。[]) 内は熊本県立大学図書館所蔵情報)

[1]『大学課程 照明工学 (新版)』(照明学会編, オーム社, 1997年1月, ¥2,800+税, ISBN:4-274-13080-0) [和書(2F), 545||Sh 96, 0000308267]

→改訂版あり『照明工学』(照明学会編, オーム社, 2012年9月, ¥2,700+税, ISBN:978-4-274-21261-1) [和書(2F), 545||Sh 96, 0000352919]

建築環境工学 II (第 7 回目) [金曜日・08:40~10:10・中講義室 2]

2023. 11. 17
環境共生学部・居住環境学専攻
辻原万規彦

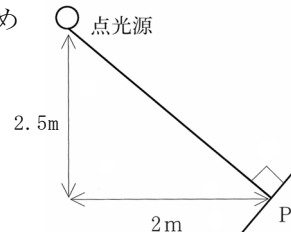
復習プリント

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

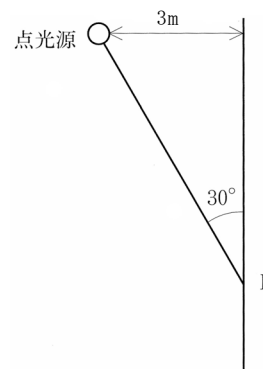
今日の講義の内容を、自分なりに、整理してください。まとめてください。

学年：_____ 学籍番号：_____ 名前：_____

- 1) 右図のような配光が一様な点光源による点 P における照度を求めよ。ただし、光度 $I=1,000$ [cd] とする。



- 2) 右図のような配光が一様な点光源による点 P における照度を求めよ。ただし、光度 $I=1,000$ [cd] とする。



- 3) 点光源から 2 [m] での照度 E_2 が 750 [lx] のとき、1 [m], 3 [m] の位置での照度 E_1 , E_3 を求めよ。

