

# 光の表記と単位

## 光の三要素：時間、空間、分光(スペクトラム)

光を測る時に必要とされるパラメータ。

## 放射量と測光量

光は量子性と波動性の二つの性質を持っており、量子的立場からはエネルギーがその単位であり、波動性を考えると波長が重要な要素である。放射量は光のエネルギーの時間・空間・分光により決定される量であるのに対し、測光量は可視光域での放射を基準に考える量である。すなわち国際単位系が一般に物理量を規定しているのに対し、測光量は物理的刺激に対して引き起こされる物理刺激量である。具体的には放射量を人間の目の分光感度特性(標準比視感度)で積分したものが測光量として定義される。

下記に放射量と測光量の比較を示す。

放射量	測光量
放射束(Radiant Flux (Power)): $W = J \cdot s^{-1}$ 光源が空間へ放射するパワー、空間へ放射の流れ。単位時間に通過する光子の量。 $e(\lambda)$	光束(Luminous Flux): $lm$ 放射束を標準比視感度特性 $V(\lambda)$ で重価積分したもの。 $= K_m \int V(\lambda) \cdot P(\lambda) d\lambda$ $K_m$ : 標準比視感度特性(Spectral luminous Efficiency) = $683 lm/W$
放射エネルギー(Radiant Energy): (J) 放射束と時間の積。 $Q_e = hc / \lambda$	光量: ( $lm \cdot s$ ) 光束の時間積 $Q_v = \int \Phi_v dt$
放射強度(Radiant Intensity): $W \cdot sr^{-1}$ 点光源から立体角 $d\Omega$ で発散する光の放射束と立体角の比。 $I_e = d\Phi_e / d\Omega$	光度(Luminance Intensity): $cd = lm/m^2$ 点光源から立体角 $d\Omega$ で発散する光の光束と立体角の比。 $I_v = d\Phi_v / d\Omega$
放射照度(Irradiance): $W \cdot m^{-2}$ 受光面に入射する放射束をその受光面の面積で割ったもの。 $E_e = d\Phi_e / dA$	照度(Illuminance): $lx$ 受光面に入射する光束をその受光面の面積で割ったもの。 $E_v = d\Phi_v / dA$
放射輝度(Radiance): $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$ 発光面をある観測点から立体視野角 $d\Omega$ で見たときの面積 $A$ から放射され、その点に入射する放射束。 $L_e = d\Phi_e / (A \cdot d\Omega \cdot \cos \theta) = dI_e / dA \cos \theta$ 観測点と発行面のなす角	輝度(Luminance): $cd \cdot m^{-2}$ または $nit$ 発光面をある観測点から立体視野角 $d\Omega$ で見たときの面積 $A$ から放射され、その点に入射する光束。 $L_v = d\Phi_v / (A \cdot d\Omega \cdot \cos \theta) = dI_v / dA \cos \theta$ 観測点と発行面のなす角
放射発散度(Radiant Exittance): $W \cdot m^{-2}$ 拡散反射面、拡散透過面が角度依存を持たない理想的(均等拡散面)のとき $M_e = \int L_e d\Omega = E_e$	光束発散度(Luminance Exittance): $lm \cdot m^{-2}$ 拡散反射面の反射率を $\rho$ 、拡散透過面の透過率を $\tau$ とすると $M_v = \rho E_v + \tau E_e = E_v$ 拡散反射面、拡散透過面が角度依存を持たない理想的(均等拡散面)のとき $L_v = M_v / \pi = E_v / \pi$

光関連の単位

単位;読み	説明
J:ジュール	エネルギー、仕事、熱量の単位; $J = N \cdot m = m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
W:ワット	仕事量、電力の単位; $W = J \cdot s^{-1} = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
cd:カンデラ	光度の単位;周波数 $540 \times 10^{12}$ Hz(波長555nm)の単色照射を放出し所定の方向の照射強度が $1/683 W \cdot sr^{-1}$ である光源のその方向における光度。
sr:ステラジアン	球の中心を頂点とし、その球の半径の長さを一辺とする正方形に等しい面積を球の表面上で切取る立体角。
lm:ルーメンス	光束の単位;1lm = 等方性の光度1cdの光源から1srの立体角内に放射される光束。
lx:ルクス	照度の単位;1m <sup>2</sup> の面を、1lmの光束で照らした時の照度。
sb:スチルブ	輝度の単位;1sb = 10 <sup>4</sup> cd·m <sup>-2</sup>
asb:アポスチルブ	輝度の単位;1asb = (1/ ) cd·m <sup>2</sup>
L:ランベルト	輝度の単位;1L = (10 <sup>4</sup> / ) cd·m <sup>2</sup>
fL:フットランブルト	輝度の単位;1fL = 3.426 cd·m <sup>2</sup>

## 光度・照度・輝度の関係

光度 $I$ の点光源から距離 $s$ だけ離れた点での照度 $E$ は

$$E = I/s^2$$

輝度の拡張：輝度は点光源面上で定義されるが、より一般的には拡散反射または拡散透過する面、すなわち2次光源についても同様に定義できる。

面上の点 $P$ 、それを含む面要素の面積を $dA$ 、考えている方向(観測方向)を $PQ$ 、その方向と面のなす法線のなす角を $\theta$ 、 $PQ$ を含む微小錐体の立体角を $d\Omega$ 、この錐体に含まれる光束を $d\Phi$  とすれば、輝度 $L$ は

$$L = d\Phi / (dA \cdot \cos \theta \cdot d\Omega)$$

である。ここで光源面では $I = d\Phi / d\Omega$  であるから

$$L = dI / (dA \cdot \cos \theta)$$

また、受光面上では $I = d\Phi / dA$

$$L = dE / (d\Omega \cdot \cos \theta)$$

である。

標準比視感度  $V(\lambda)$

[nm]	$V(\lambda)$	[nm]	$V(\lambda)$	[nm]	$V(\lambda)$
380	0.000 0	520	0.710	660	0.061
390	0.000 1	530	0.862	670	0.032
400	0.000 4	540	0.954	680	0.017
410	0.001 2	550	0.995	690	0.008 2
420	0.004 0	560	0.995	700	0.004 1
430	0.011 6	570	0.952	710	0.002 1
440	0.023	580	0.870	720	0.001 05
450	0.038	590	0.757	730	0.000 52
460	0.060	600	0.631	740	0.000 25
470	0.091	610	0.503	750	0.000 12
480	0.139	620	0.381	760	0.000 06
490	0.208	630	0.265	770	0.000 03
500	0.323	640	0.175	780	0.000 015
510	0.503	650	0.107		

物理量

光速	$c = 2.99792458 \times 10^8 (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
プランク定数	$h = 6.62606876 \times 10^{-34} (\text{J} \cdot \text{s})$

参考文献

- 「理科年表」、国立天文台編、丸善
- 「光の計測マニュアル」、(社)証明学会編、日本理工出版会
- 「光センシング工学」、宮尾 亘著、テレビジョン学会編

2001/4/2、TERL:YNT