

# 光に関する物理について

宮脇 透



# 1. 光に関する物理

# 光に関する物理

- ◇ 「光学」という分野で研究されている  
幾何光学、波動光学、量子光学などが有名
- ◇ 現代のCGにおいては、幾何光学を用いることが多い  
反射や屈折などを扱える  
いわゆるレイトレーシング

## 2. 光に関する物理量



# 光の物理量

- ◇ 物理ベースのレンダリングをする際には「光の物理量」が重要
- ◇ 2つの分野が存在する
  - ・ 放射分析学 (Radiometry)
  - ・ 測光学 (Photometry)
- ◇ 違いは「人が光を知覚する特性」を考慮しているかどうか  
「測光学」は上記特性を考慮する
- ◇ CGで扱うのは「放射分析学」

### 3. 放射分析学に関する用語説明

# 光子 (Photon)

## ◇光の基本単位

◇ 波長 $\lambda$ の光子のエネルギー $e_\lambda$ は下式で与えられる

$$e_\lambda = \frac{hc}{\lambda} [J]$$

ただし、 $h \approx 6.63 \cdot 10^{-34} [J \cdot s]$ はプランク定数

$c$ は光速 (真空中では $c = c_0 = 299,792,458 [m/s]$ )



# スペクトル放射エネルギー (Spectral Radiant Energy)

- ◇ 波長 $\lambda$ の光子が $n$ 個ある時のエネルギー
- ◇ 波長 $\lambda$ の光子が $n_\lambda$ 個ある時のスペクトル放射エネルギー $Q_\lambda$ は下式で与えられる

$$Q_\lambda = n_\lambda e_\lambda = n_\lambda \frac{hc}{\lambda} [J \cdot nm^{-1}]$$

# 放射エネルギー (Radiant Energy)

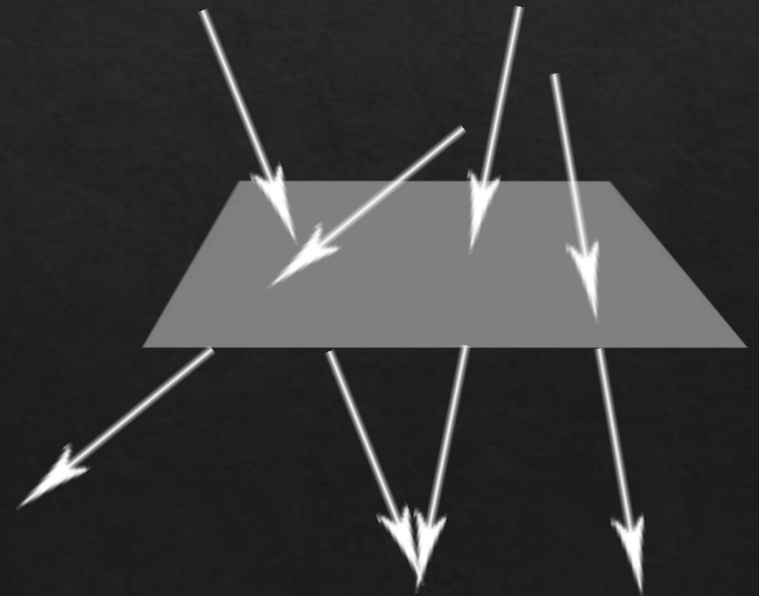
- ◇ すべての波長に渡ってスペクトル放射エネルギーを積分したもの
- ◇ 放射エネルギー $Q$ は下式で与えられる

$$Q = \int_0^{\infty} Q_{\lambda} d_{\lambda} [J]$$

# 放射束 (Radiant Flux)

- ◇ 単位時間あたりにある領域を通過する放射エネルギー  
つまり、放射エネルギーを時間で微分したもの  
放射束 $\Phi$ は下式で与えられる

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} [W]$$

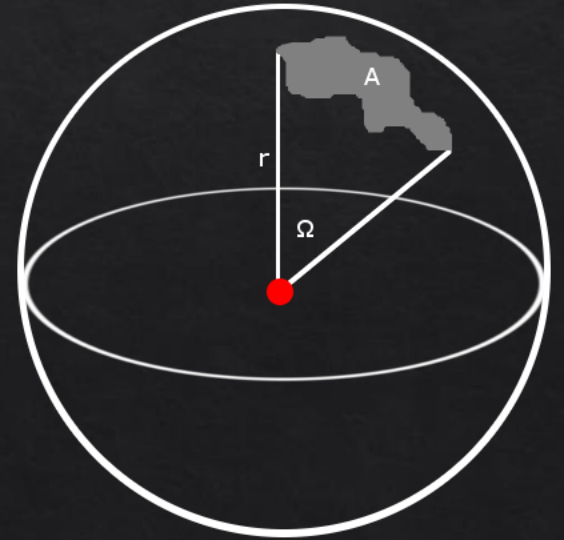


# 立体角 (Solid Angle)

- ◆ 平面角 ( $[rad]$ :ラジアン) の立体版
- ◆ ある半直線が空間を動いた時に囲む領域のことを表す
- ◆ 領域の面積を $A$ 、球の半径を $r$ とすると立体角 $\Omega$ は下式で与えられる

$$\Omega = \frac{A}{r^2} [sr]$$

$[sr]$ :ステラジアン

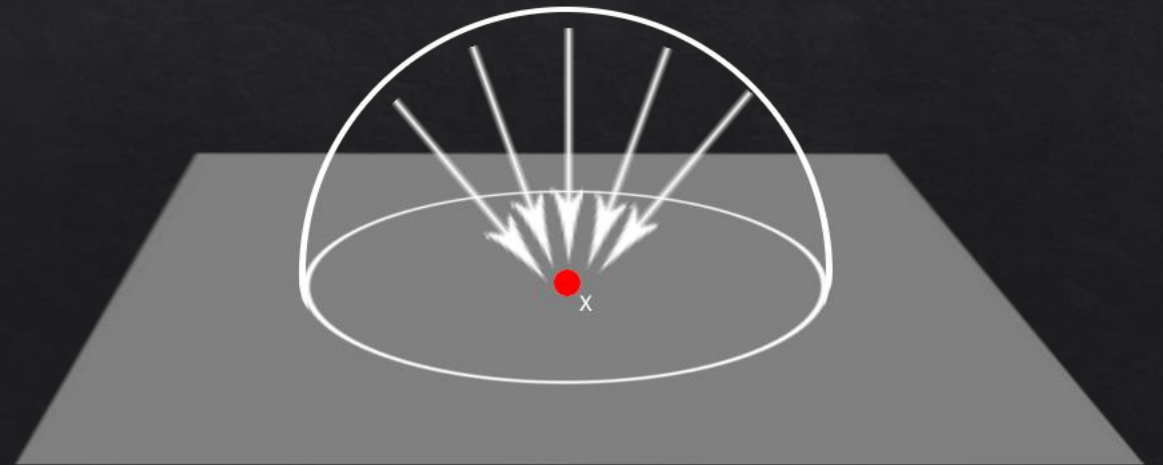




# 放射照度 (Irradiance)

- ◇ 単位面積あたりの放射束
- ◇ 放射束 $\Phi$ 、単位面積 $A$ とすると放射照度 $E(x)$ は下式で与えられる

$$E(x) = \frac{d\Phi}{dA} [W \cdot m^{-2}]$$





# 放射強度 (Radiant Intensity)

- ◇ 単位立体角あたりの放射束
- ◇ 放射束 $\Phi$ 、単位立体角 $\vec{\omega}$ とすると放射強度 $I(\vec{\omega})$ は下式で与えられる

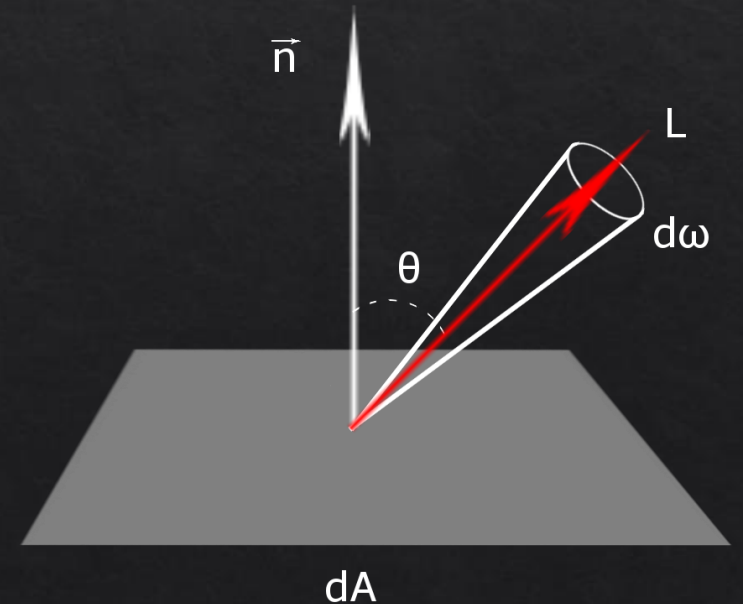
$$I(\vec{\omega}) = \frac{d\Phi}{d\vec{\omega}} [W \cdot sr^{-1}]$$

# 放射輝度 (Radiance)

- ◇ 単位立体角あたり、単位投影面積あたりの放射束
- ◇ 単位立体角 $d\vec{\omega}$ 、単位投影面積 $dA$ 、放射束 $\Phi$ とすると放射輝度 $L(x, \vec{\omega})$ は下式で与えられる

$$L(x, \vec{\omega}) = \frac{d^2\Phi}{\cos \theta \, dA \, d\vec{\omega}} [W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}]$$

- ◇ 重要
- ◇ この値を求めることでピクセルの色を決定できる



# 参考資料

- [1] Jensen H.W.(2002) 『フォトンマッピング-実写に迫るコンピュータグラフィックス』, オーム社.
- [2] 鈴木 健太郎(2015) 『Computer Graphics Gems JP 2015』, pp3-29, 株式会社ボーンデジタル.
- [3] h013 『物理ベースレンダラedupt解説』, <http://www.slideshare.net/h013/edupt-kaisetsu-22852235>.
- [4] 『memoRANDOM』, <http://rayspace.xyz/CG/>.