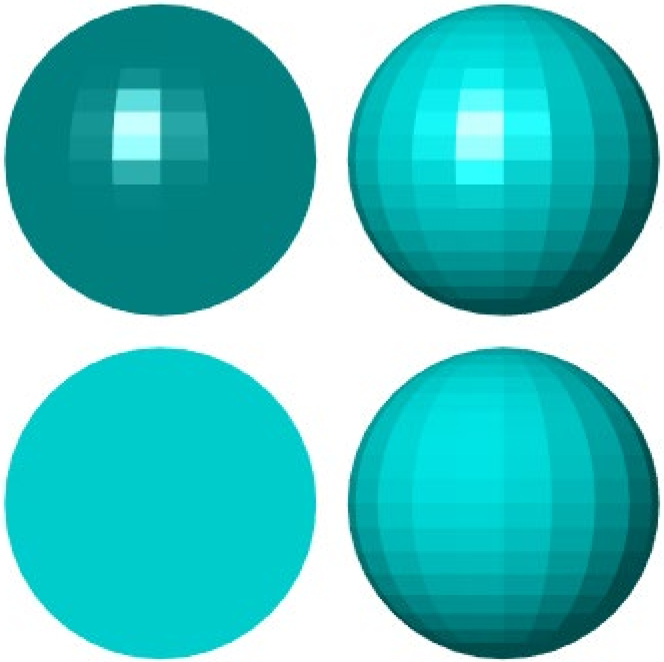
# コンピュータグラフィックス(R)

## 第11回：色と光のモデル (1)

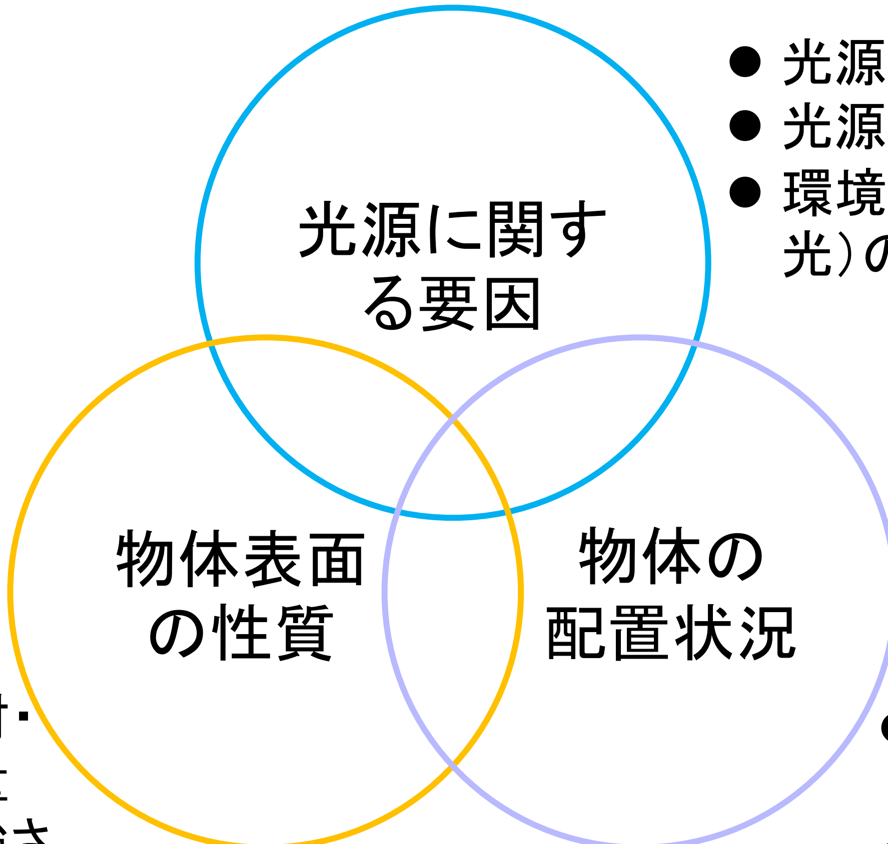
# 考えてみよう

問　物体表面の色と明るさは何で決まるだろうか.



# 考えてみよう

答　主な要因は以下の3つ.




- 光源光の色・強さ
- 光源の形状
- 環境光（壁などからの反射光）の色，強さ，配置

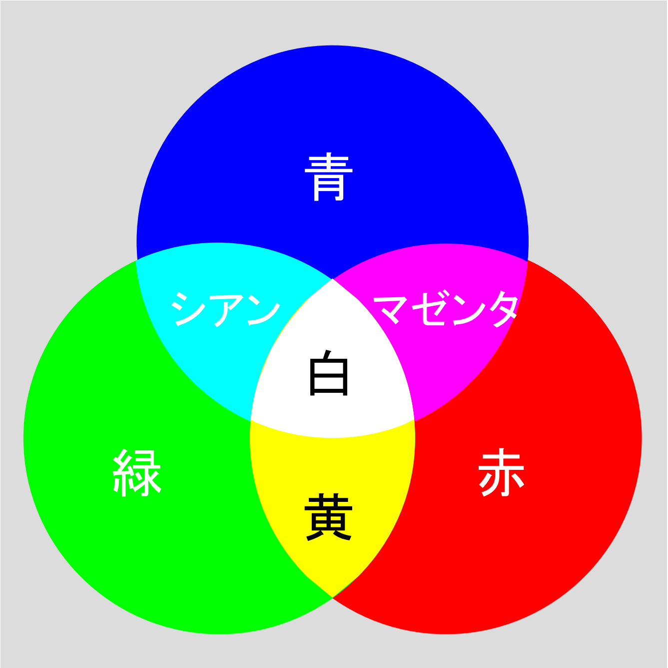
- 光の反射・吸収の量
- 光沢の強さ

- 光線に対する面の傾き
- 光源に対する面の表裏

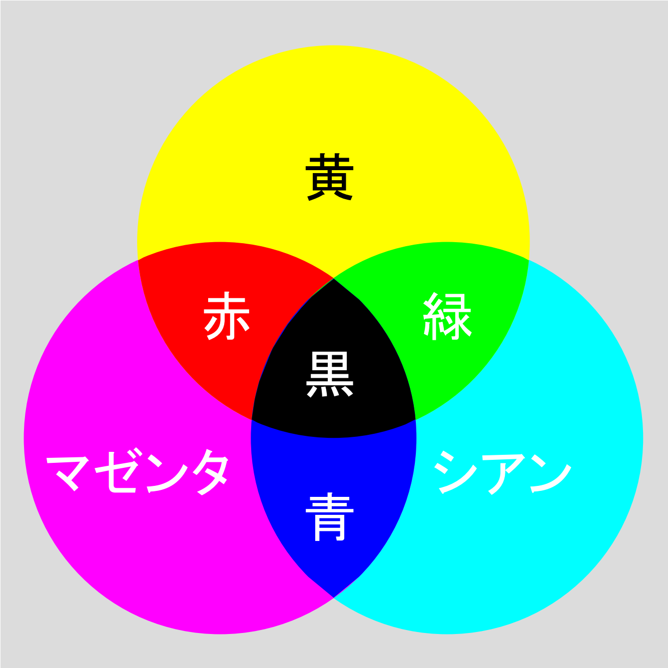
# 色の表現 (p.245-246)

光の三原色　R(赤), G(緑), B(青)　では，色を混ぜるごとに明るさが増して白に近づく（加法混色）.

色の三原色　C(シアン), M(マゼンタ), Y(イエロー) では，色を混ぜるごとに明るさが減少して黒に近づく（減法混色）.




加法混色




減法混色

# 色の表現 (p.245-246)

加法混色の特徴

- テレビ，ディスプレイ，劇場用カラースポットライトで利用される.
- ディジタル画像では通常，R, G, B 各8ビット(0~255の整数）で表現される（$256^3$=16,777,216 色）

減法混色の特徴

- 透明水彩絵の具の重ね塗り，カラー印刷，色セロファンの重ね合わせでは混色により明るさが減少して黒に近づく.
- 印刷では三原色に黒を加えた4色の組み合わせが一般的.

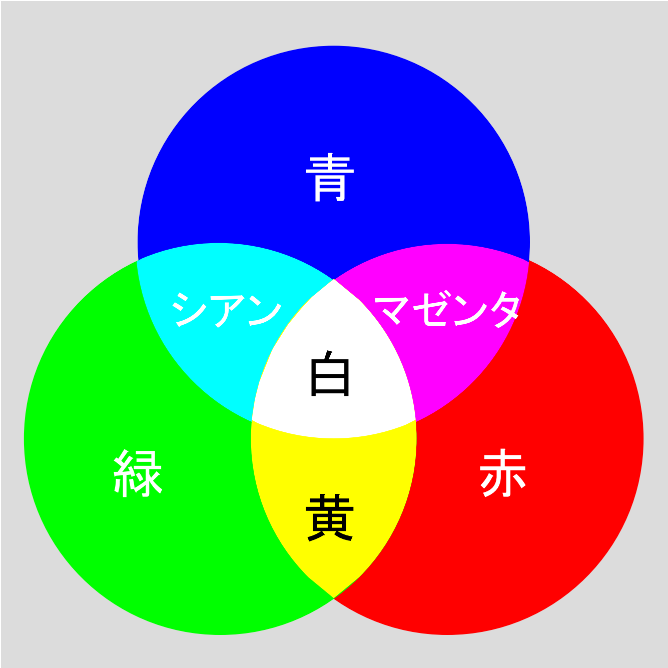
# 色の表現 (p.245-246)

RGB（それぞれ0~1の値）の
混合による色の作成

赤(R): (R,G,B)=(1,0,0)
緑(G): (R,G,B)=(0,1,0)
青(B): (R,G,B)=(0,0,1)

シアン(C): (R,G,B)=(0,1,1)
マゼンタ(M): (R,G,B)=(1,0,1)
黄(Y): (R,G,B)=(1,1,0)

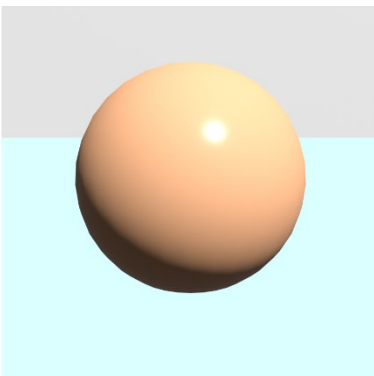
白(W): (R,G,B)=(1,1,1)
黒(B): (R,G,B)=(0,0,0)



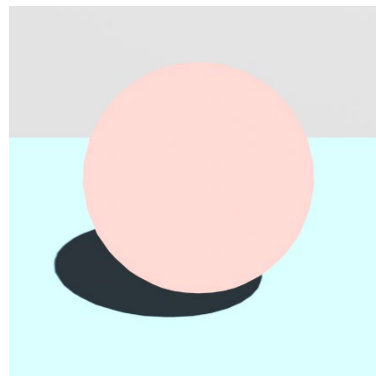

光の三原色

# シェーディングの基礎と概要 (p.138-)

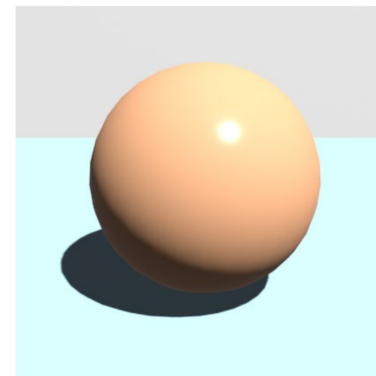
光源によって照らされた物体の明るさ
- 場所により明るさが異なる
- 「光の照射方向」と「面の向き」により明るさが決まる


シェーディングのみ

+


影付けのみ

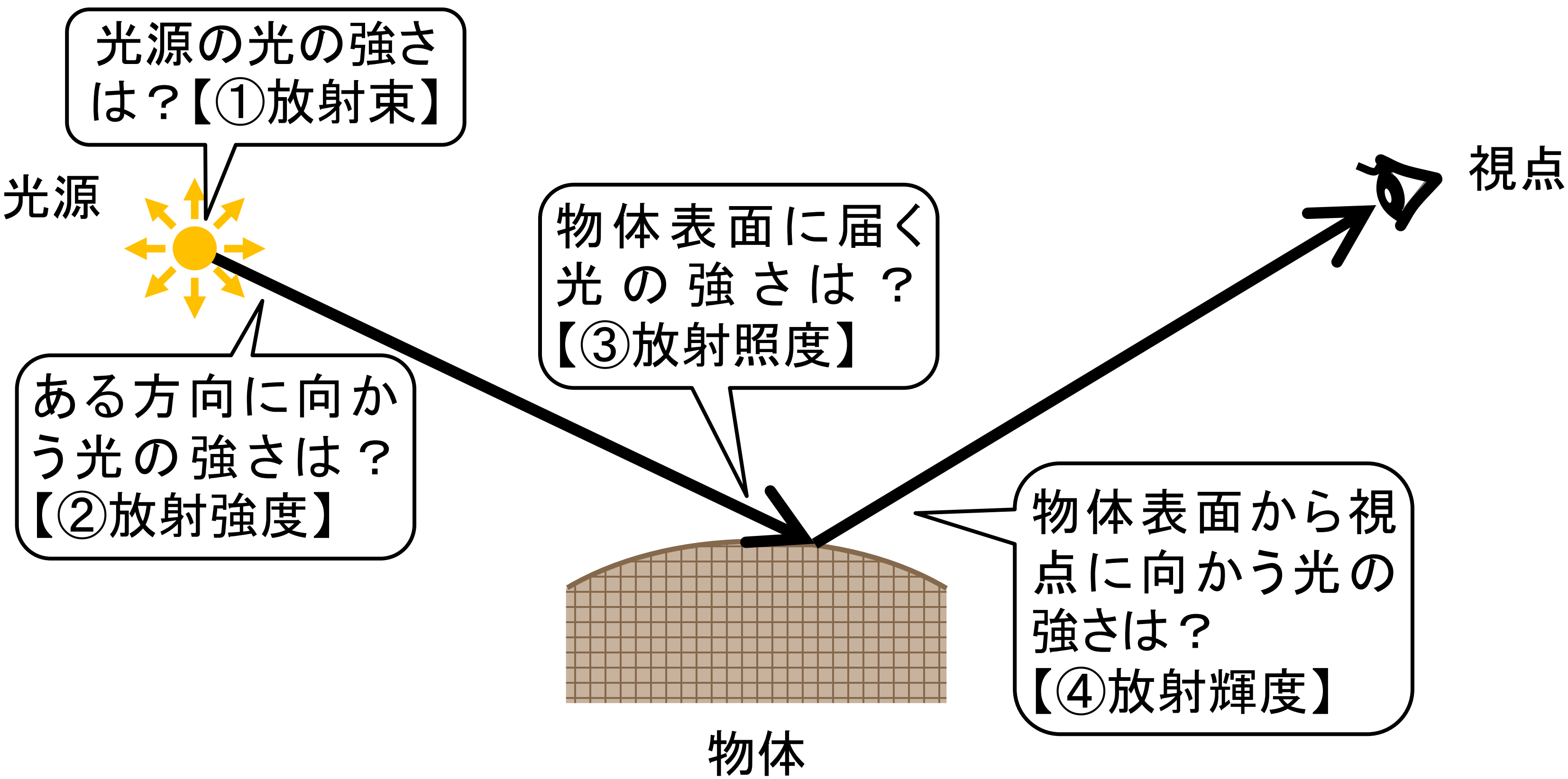
=


シェーディングと影付け

**シェーディング**:光の当たり具合によって濃淡が変化する部分の明るさを計算して表示する処理
**影付け**:他の物体や面によって光が遮られた領域

# 光源・物体・視点の関係 (p.139-)

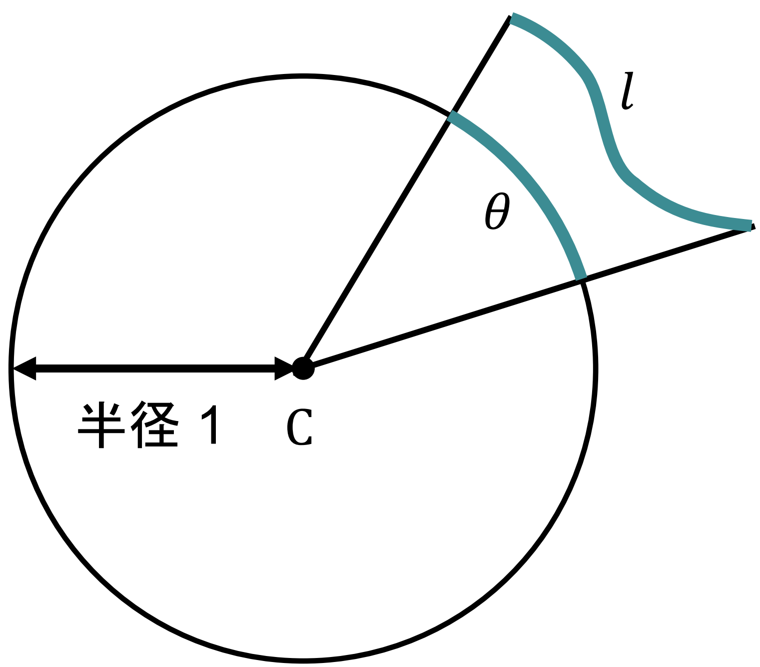
## 光源・物体・視点の関係

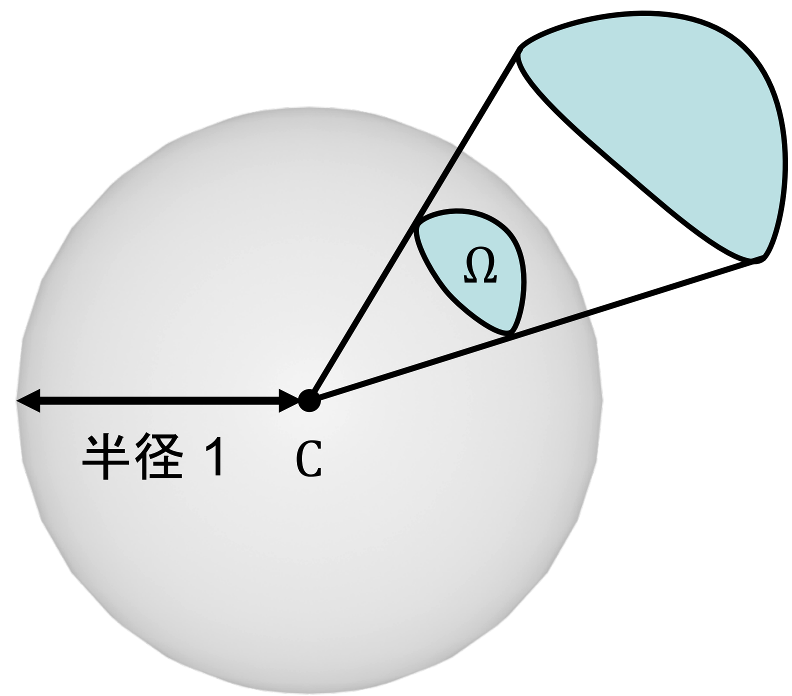


# 準備：立体角 (p.139)

角度（ラジアン）
ある長さ $l$ を，半径 1 の円の中心 C に向かって投影したときの投影長さ $\theta$ [ラジアン]

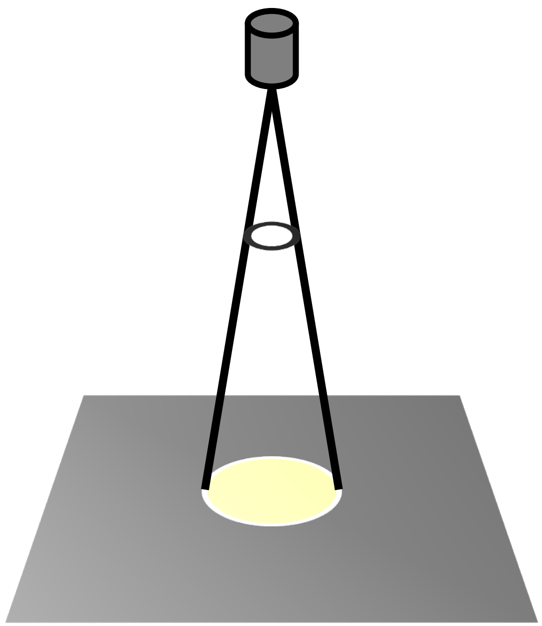
立体角（ステラジアン sr）
ある領域を，半径 1 の球の中心 C に向かって投影したときの投影面積 $\Omega$ [sr]



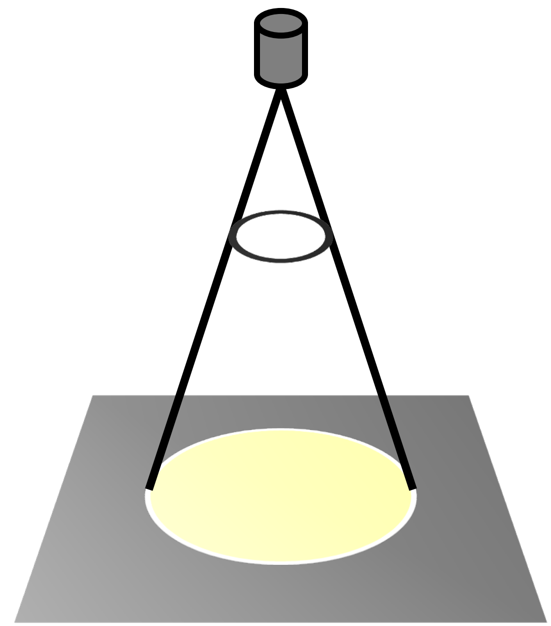



# 準備：立体角 (p.139)

準備：立体角
スポットライトの広さと立体角の関係



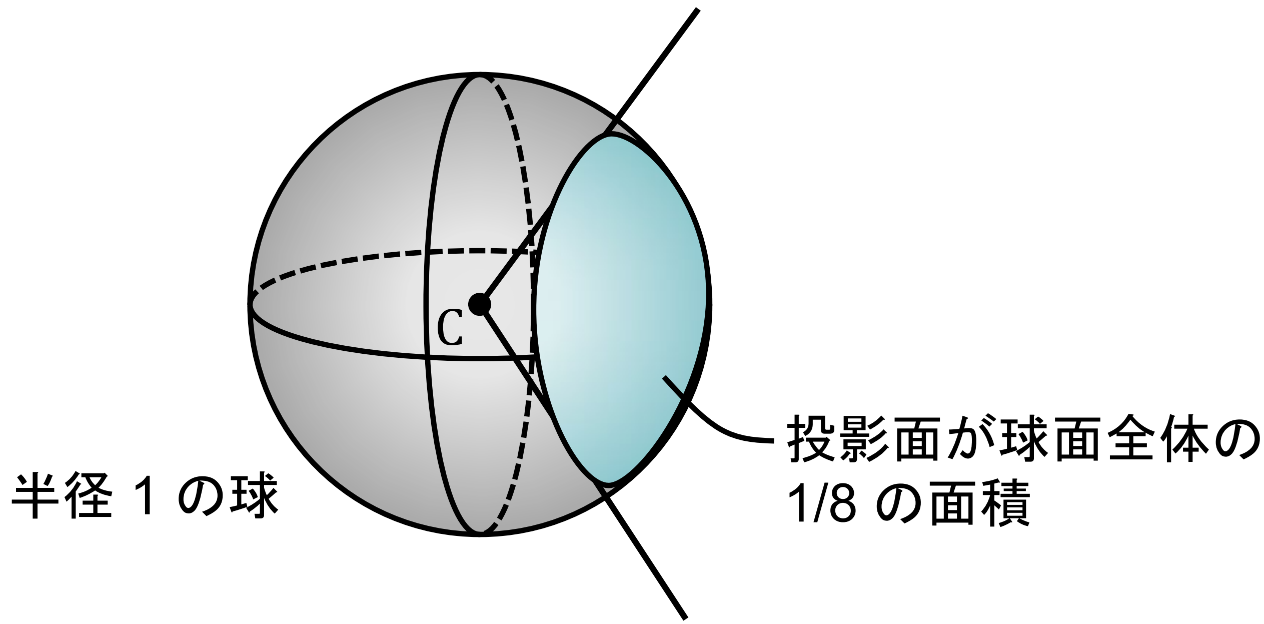
狭いスポットライト
立体角が小さい！



広いスポットライト
立体角が大きい！

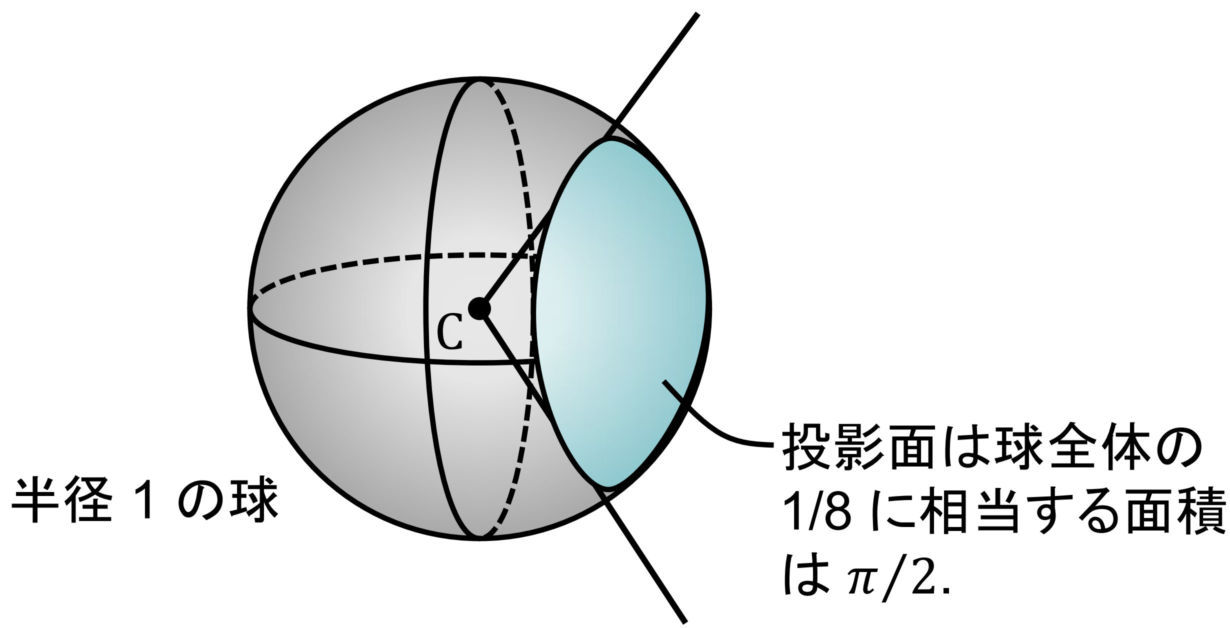
# 準備:立体角 (p.139)

問　ある面積を，半径１の球体に投影したところ，球全体の1/8 の面積になった．この球の中心から見たときの立体角を求めよ．



# 準備：立体角 (p.139)

答　半径1の球の面積は $4\pi$ であるから，その 1/8 は $\pi/2$ である．したがって，立体角は $\pi/2$.



# 準備:立体角 (p.139)

問　立体角の最大値と最小値を求めよ.

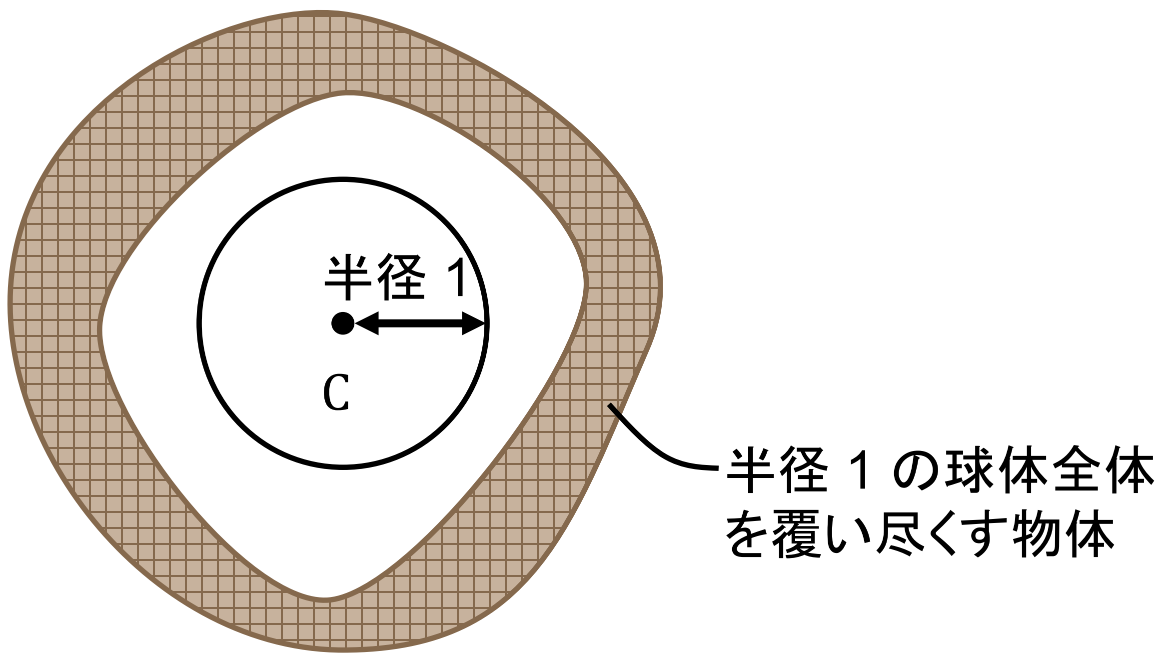
# 準備：立体角 (p.139)

答

（最小値）半径 1 の球面上の面積の最小値は 0 だから，立体角の最小値は 0.

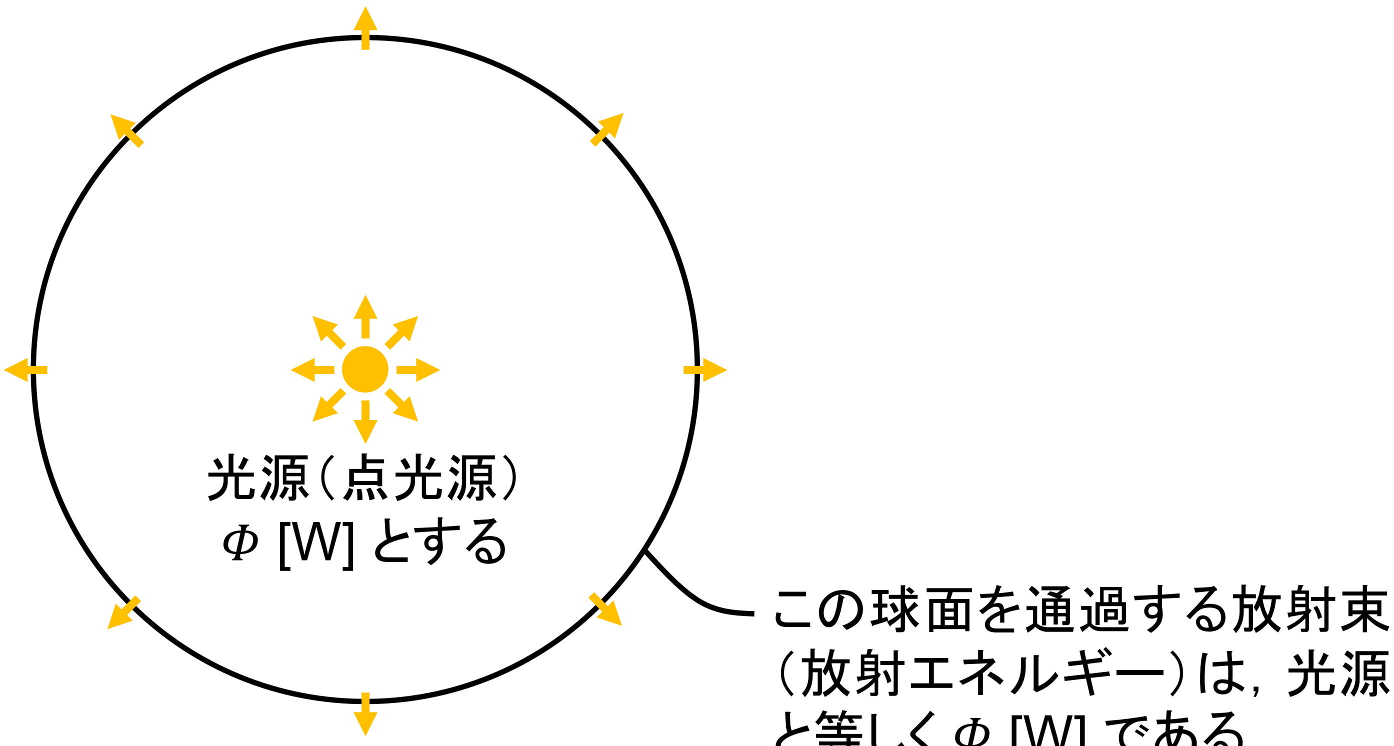
（最大値）球を覆い尽くす物体は球面全体に投影される．球面の面積は $4\pi$ だから，立体角の最大値は $4\pi$.

$$\therefore 0 \leq \Omega \leq 4\pi$$



# 光源・物体・視点の関係① 放射束 (p.139)

① 放射束
- 光の強さ(エネルギー)を表す量.
- ある面を単位時間に通過する放射エネルギー量
- 単位は [W] (ワット)



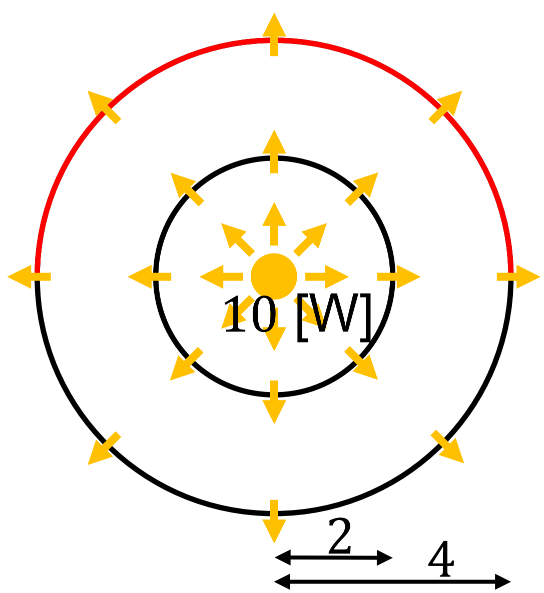
# 光源･物体･視点の関係① 放射束 (p.139)

問　球状に一様に広がる 10 [W] の点光源を考える.

(1) 光源を中心とする半径 $2$ の球面を通過する放射束 $\Phi_1$ を求めよ.

(2) 光源を中心とする半径 $4$ の球面を通過する放射束 $\Phi_2$ を求めよ.

(3) 光源を中心とする半径 $4$ の球面の上半球を通過する放射束 $\Phi_3$ を求めよ.



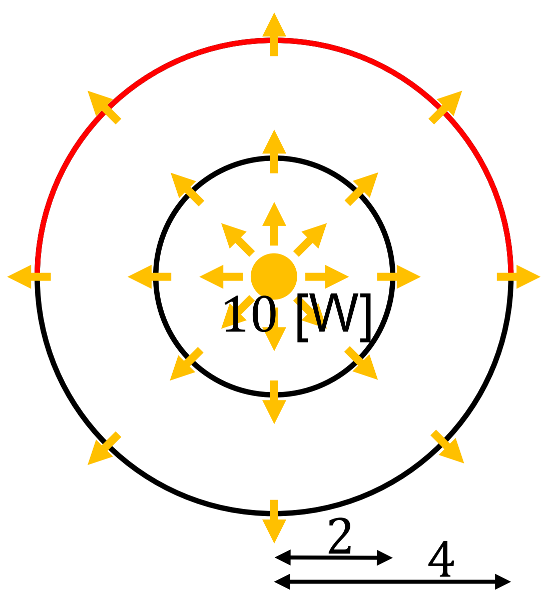
# 光源･物体･視点の関係① 放射束 (p.139)

答

(1) 光源の光はすべてこの球面を通るから，放射束は $\Phi_1 = 10$ [W].

(2) 光源の光はすべてこの球面を通るから，放射束は $\Phi_2 = 10$ [W].

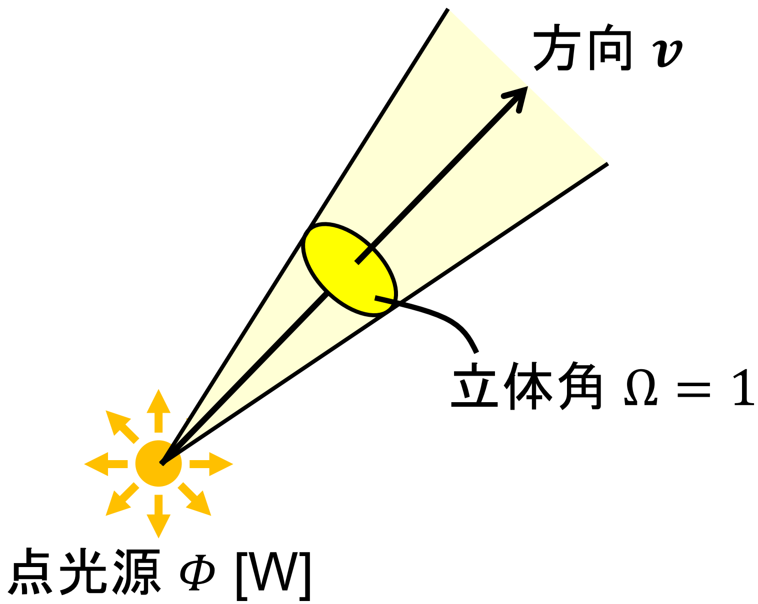
(3) 光源の光のうち半分がこの球面を通るから，放射束は $\Phi_3 = 5$ [W].



# 光源・物体・視点の関係② 放射強度 (p.139)

② 放射強度

- ある方向への光の強さを表す量.
- 点光源のある方向への放射強度は，単位立体角内に放射される放射束.
- 単位は [W/sr]（ワット毎ステラジアン）



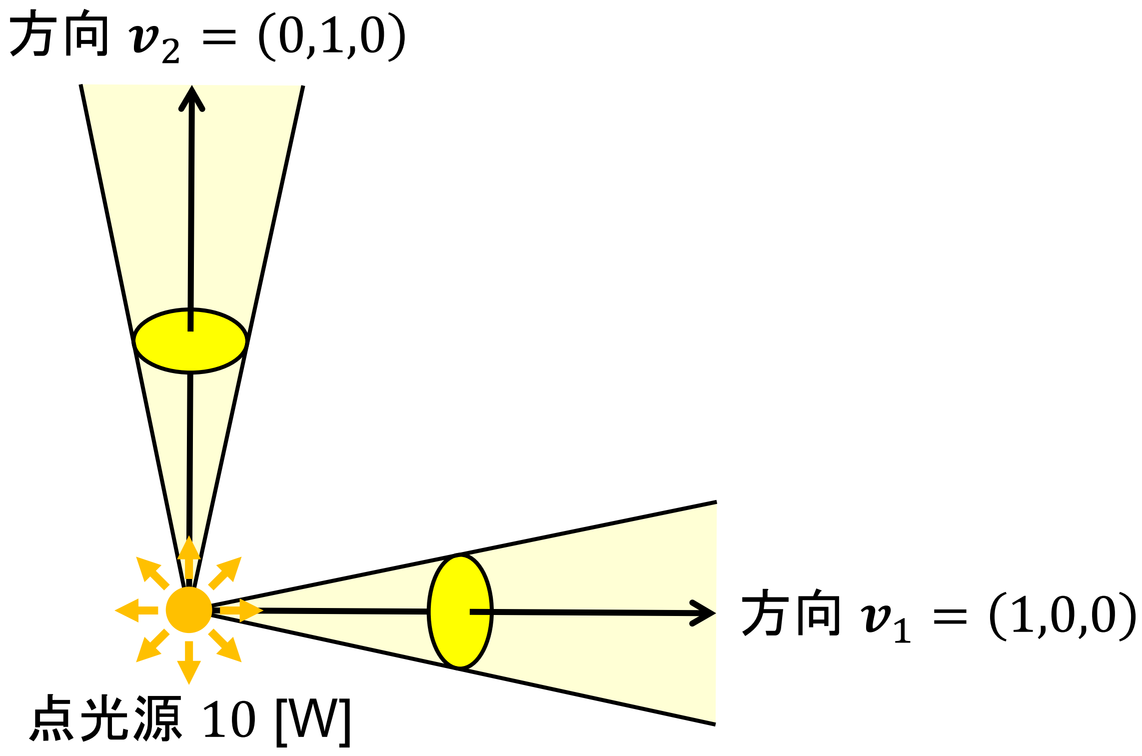

この方向への放射強度は，この方向の単位立体角内に放射される放射束である.

# 光源･物体･視点の関係② 放射強度 (p.139)

問　球状に一様に広がる 10 [W] の点光源を考える.

(1) 方向 $\boldsymbol{v}_1 = (1,0,0)$ の放射強度 $I_1$ を求めよ.

(2) 方向 $\boldsymbol{v}_2 = (0,1,0)$ の放射強度 $I_2$ を求めよ.

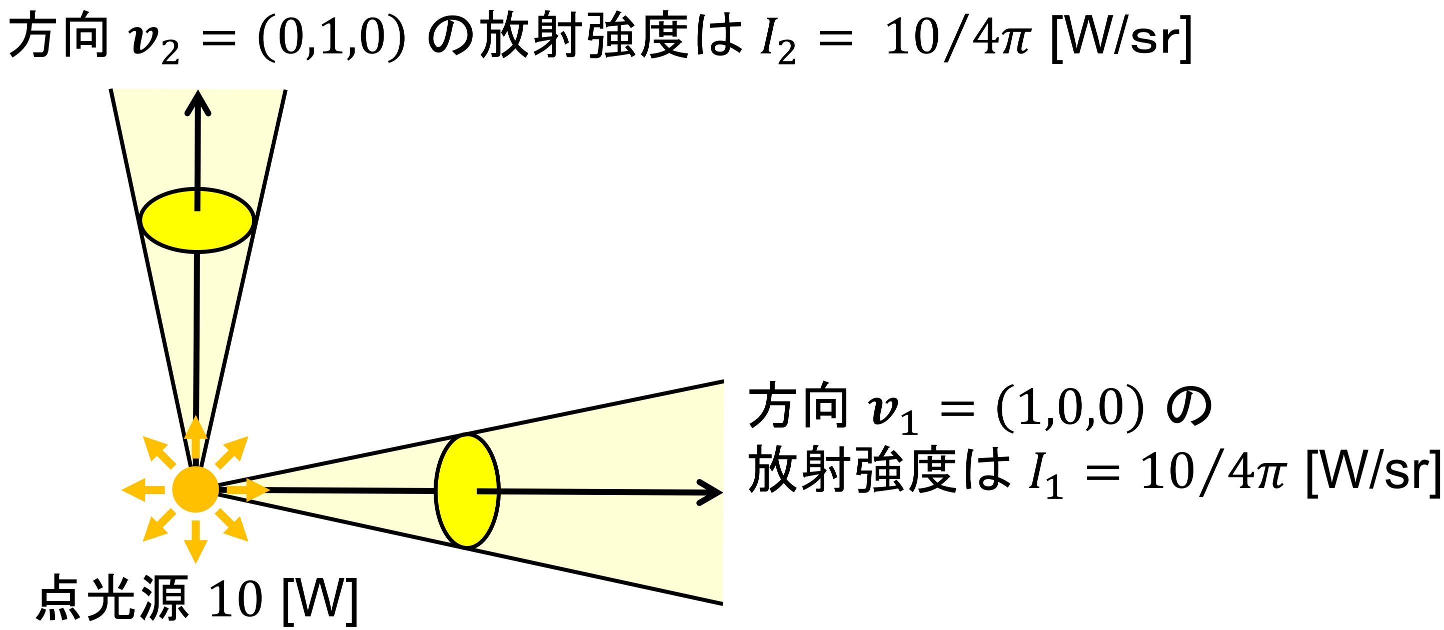


# 光源･物体･視点の関係② 放射強度 (p.139)

答

(1) 一様な点光源だから，半径 1 の球面を通る放射束 10 [W] を，立体角 $4\pi$ で割ればよい．方向 $\boldsymbol{v}_1 = (1,0,0)$ の放射強度は $I_1 = 10/4\pi$ [W/sr].

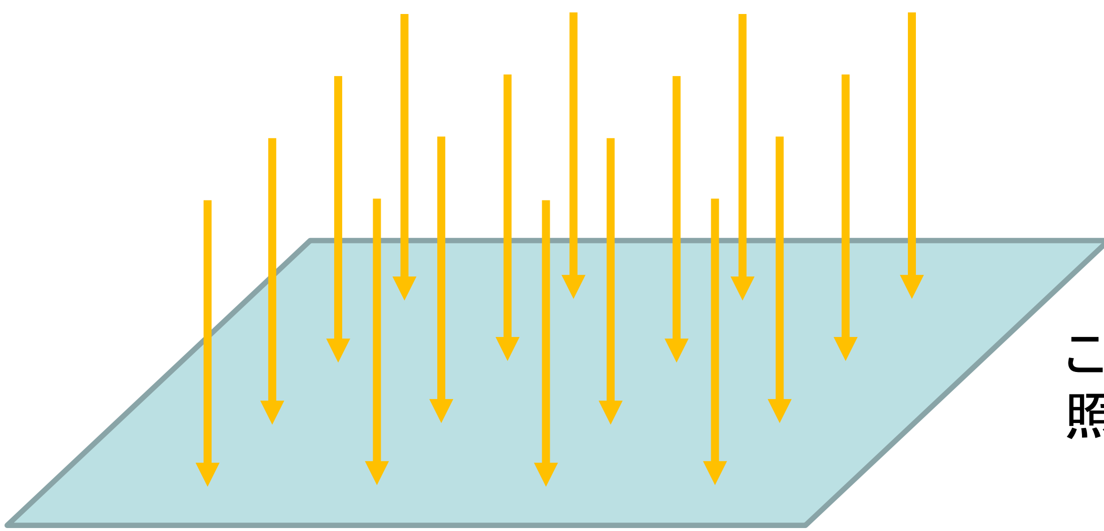
(2) この問題では放射束は一定だから，(1) と同じく，放射強度は $I_2 = 10/4\pi$ [W/sr].



# 光源･物体･視点の関係③ 放射照度 (p.139)

③ 放射照度
- 単位体積あたりに入射する放射束
- 単位は [W/m$^2$]（ワット毎平方メートル）

放射束 $\Phi$ [W]



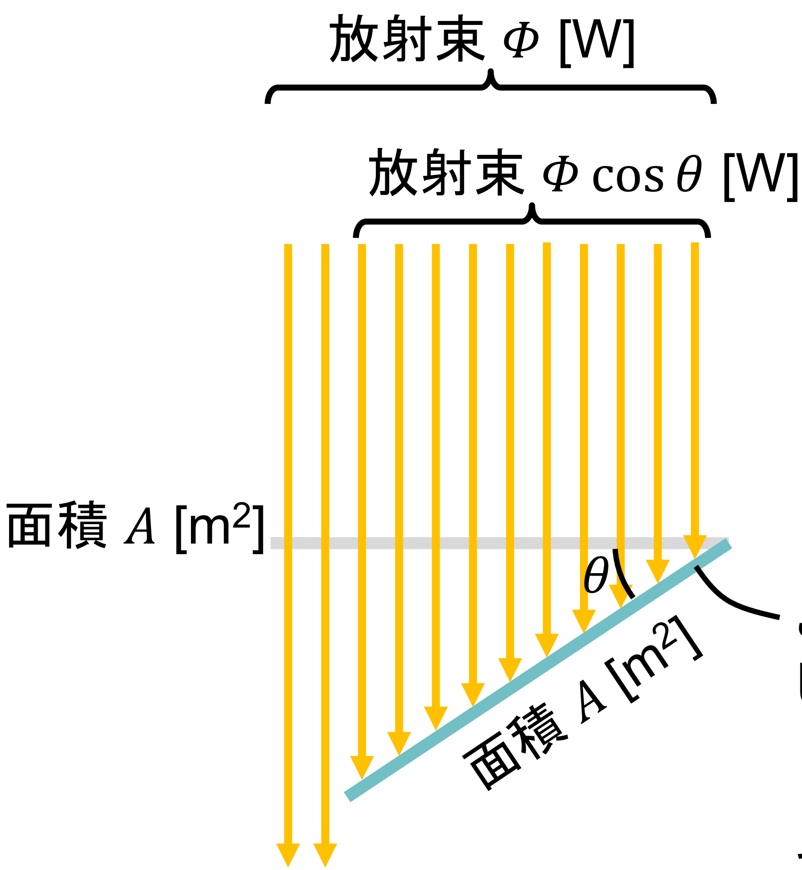
面積 $A$ [m$^2$]

この面に入射する光の放射照度は $E = \Phi / A$ [W/m$^2$]

# 光源・物体・視点の関係③ 放射照度 (p.139)

③ 放射照度

斜めに入射すると放射照度は弱くなる.




この面に入射する放射束は $\Phi\cos\theta$.

したがって放射照度は

$$E = \frac{\Phi\cos\theta}{A}\ [\mathrm{W/m^2}]$$

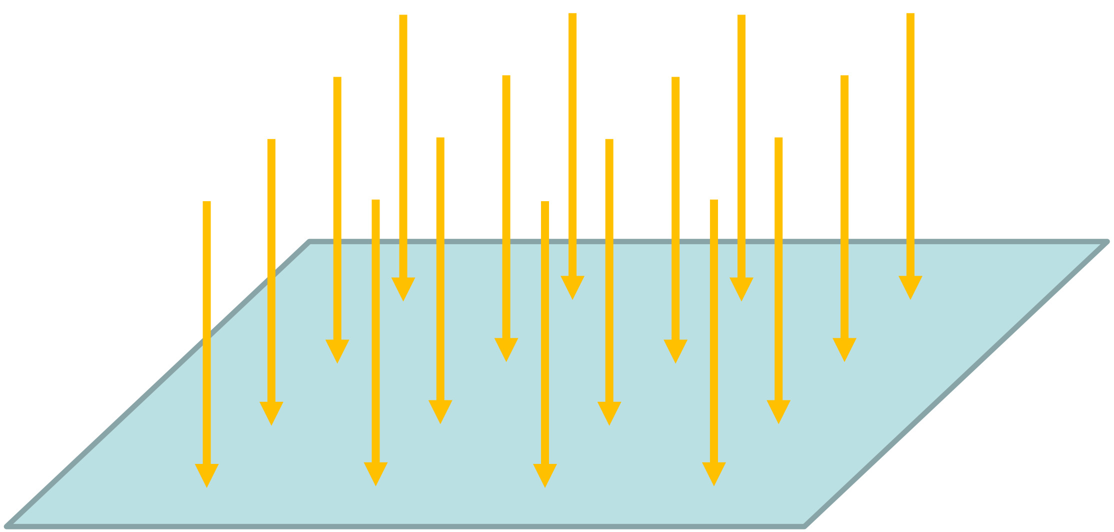
である.

# 光源・物体・視点の関係③ 放射照度 (p.139)

問　水平に置かれた面積 $A = 5$ [m$^2$] の四角形に，鉛直上方向から $\Phi = 10$ [W] の放射束が一様に入射している.

(1) この面に入射する光の放射照度 $E$ を求めよ.

(2) この面を $\theta = 60°$ 傾けたとき，この面に入射する光の放射照度 $E'$ を求めよ.



# 光源･物体･視点の関係③ 放射照度 (p.139)

答

(1) $E = \Phi / A = 10/5 = 2$ [W/m²]

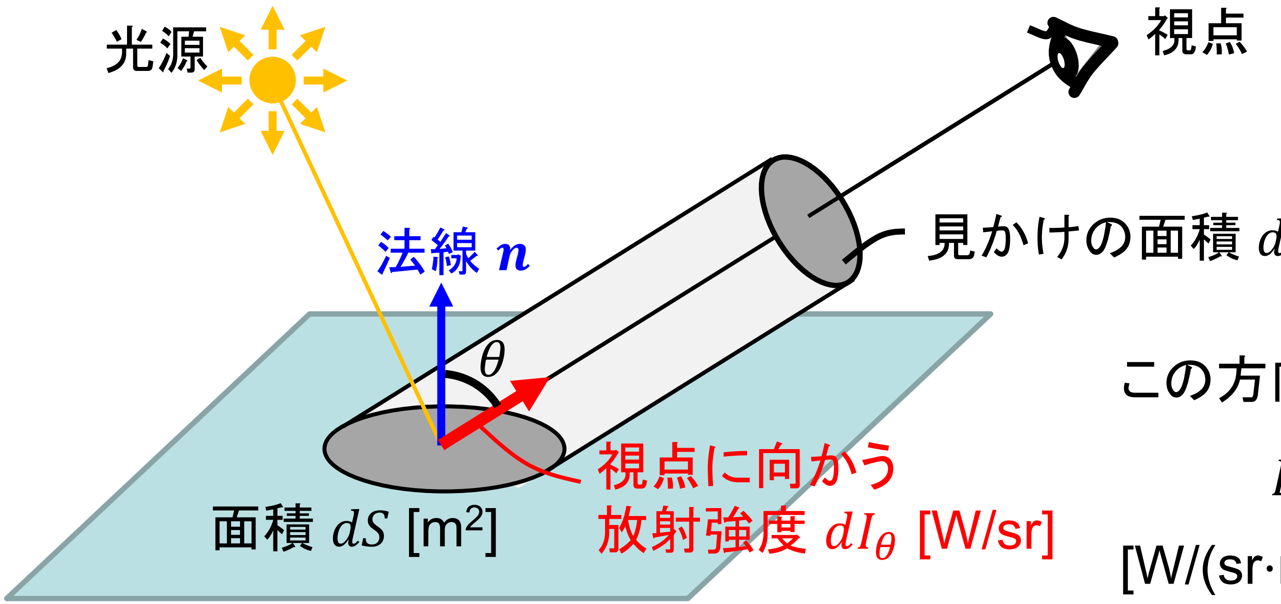
(2) $E' = \Phi \cos\theta / A = (10 \cdot \cos 60°)/5 = 1$ [W/m²]

（発展）

# 光源・物体・視点の関係④ 放射輝度 (p.140)

④ 放射輝度

- 物体表面はあらゆる方向に光を出している（反射・発光）.
- 放射輝度は，視点に向かう放射強度を見かけの面積で割ったものである.
- 単位は [W/(sr·m²)] である.




この方向の放射輝度 $L_\theta$ は

$$L_\theta = \frac{dI_\theta}{dS'} = \frac{dI_\theta}{dS\cos\theta}$$

[W/(sr·m²)] である.

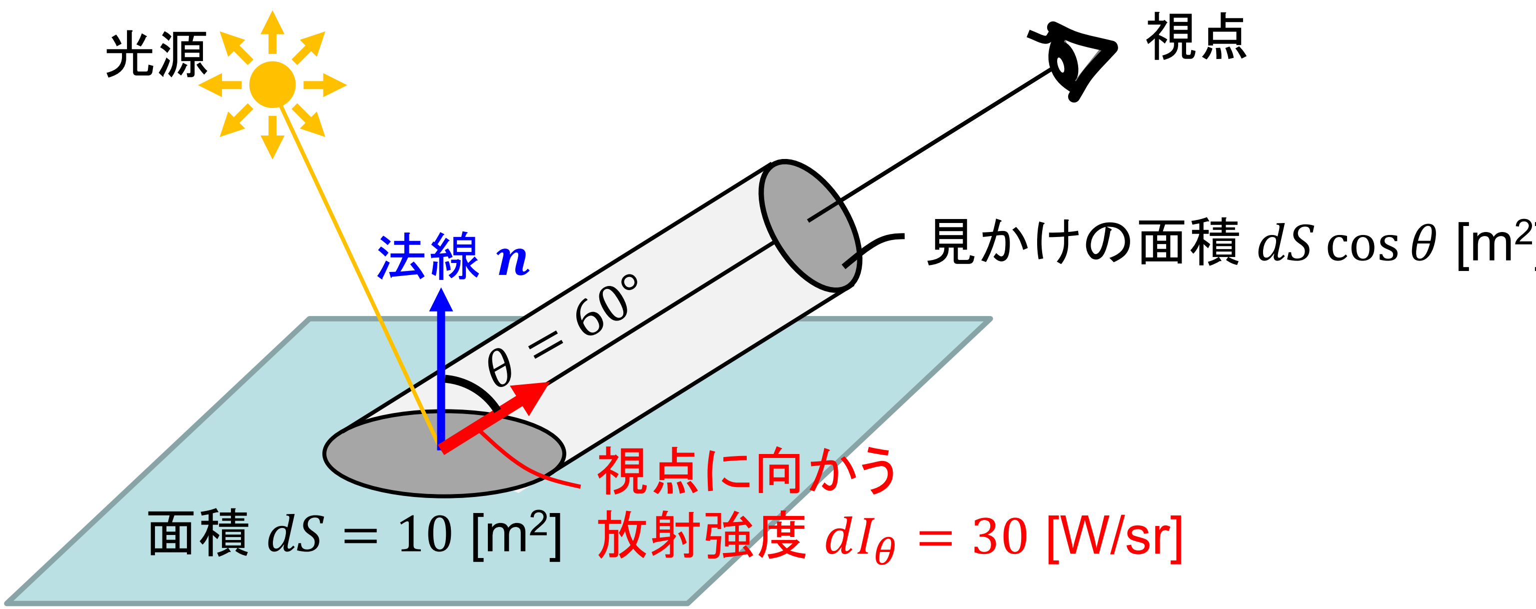
（発展）

# 光源･物体･視点の関係④ 放射輝度 (p.140)

問　面積 $dS = 10$ [m$^2$] の領域から視点に向かって放射強度 $dI_\theta = 30$ [W/sr] の光が出ている．なお，視線と法線の角度は $\theta = 60°$ である．

(1) $dS$ を視点から見たときの見かけの面積を求めよ．

(2) 視点方向の放射輝度 $L_\theta$ を求めよ．



（発展）

# 光源・物体・視点の関係④ 放射輝度 (p.140)

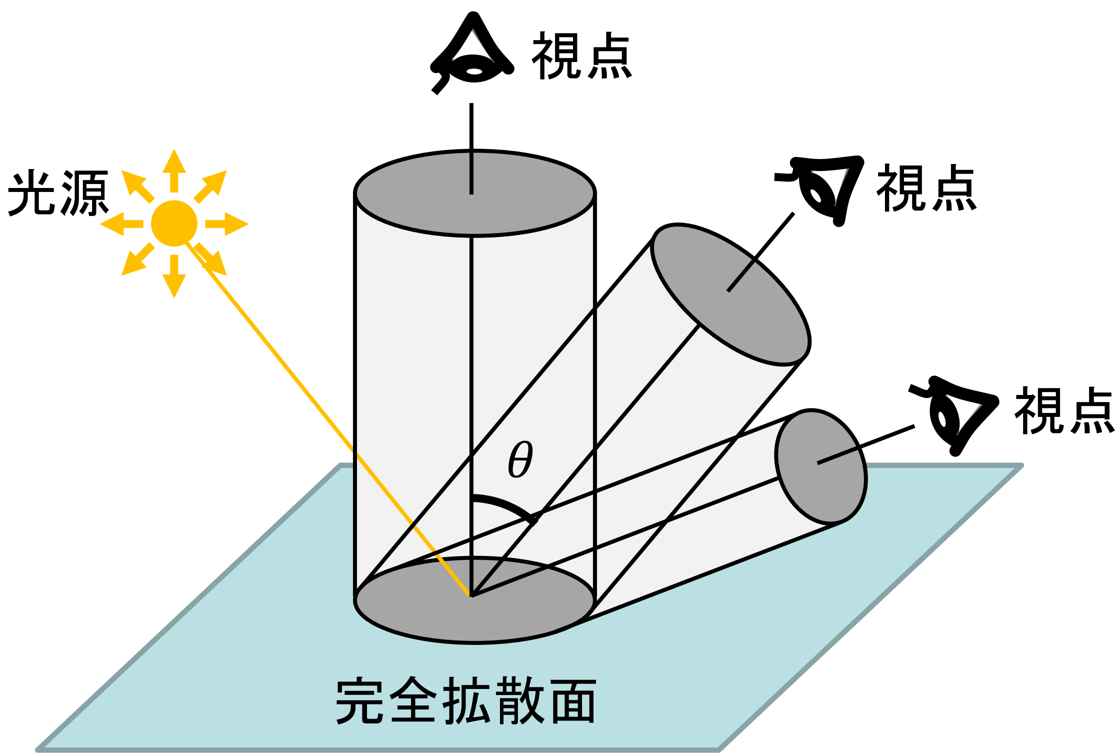
答

(1) 見かけの面積 $dS\cos\theta = 10 \cdot \cos 60° = 5$ [$m^2$]

(2) 放射輝度 $L_\theta = dI_\theta/(dS\cos\theta) = 30/5 = 6$ [$W/(sr \cdot m^2)$]

# 光源･物体･視点の関係④ 放射輝度 (p.140)

どの方向から見ても放射輝度の等しい表面を完全拡散面という.




放射輝度 $L_\theta$ [W/(sr·m$^2$)] が $\theta$ によらず一定.
つまり, どの方向から見ても同じ明るさに見える.