

## 第3章の解説

### ■解説 3.1：色覚と奥行知覚

#### (1)色覚

現在は、色覚のメカニズムについては、以下に示すように、三色説と反対色を組み合わせた段階説に対応した視覚系の機構があると考えられている。

①三色説…ヤングーヘルムホルツ (Young-Helmholz) の三色説とも呼ばれ、網膜には3原色 (赤, 緑, 青紫) に対応する3種の受容器 (神経線維) があり, 3種の神経と接続し特定の信号のみを伝達するという反応の組み合わせで色覚が生じるとするものである。ただしこの説では、補色残像や色覚異常の説明ができない。

②反対色説…ヘリング (Hering) の反対色説とも呼ばれ、網膜には3種の光化学的物質 (赤・緑物質, 黄・青物質, 白・黒物質) があり, 光の波長に応じたこれらの物質の同化 (合成) や異化 (分解) という状態の組み合わせによって色覚が生じるとするものである。

③段階説…三色説と反対色説の不合理な面を補完するため、現象に応じた部分を組み合わせ、三色説的情報の反対色説的情報への変換という処理過程に階層性があるとする仮説の総称で、フォンクーリス (von Kries), ミュラー (Müller) らの説の他、錐体における3種類の感光物質 (第1段階) が、青/黄, 緑/赤, 明/暗という反対反応系の細胞に結合 (第2段階) することで興奮を引き起こし、網膜から中枢につながり (第3段階), 色覚を生じるとするハーヴィッチー・ジェムソン (Hurvich-Jameson) の反対過程説などがある。

#### (2)奥行知覚

空間内の注視対象の3次元的な広がりを知覚を奥行知覚という。2次元的な刺激 (網膜像) から3次元世界が構成され、視対象を3次元的に定位する。奥行き知覚には以下のような要因がある。

##### 1) 生得的要因

①調節…視対象を網膜に結像させるために水晶体の厚さを変化させ調整を行う機能で、約2 m以内の奥行知覚に寄与する。

②輻輳…注視対象を中心視するための両眼球同時の水平回転運動で、外向きの

運動を特に開散という。約6 m以内の奥行知覚に寄与する。

③運動視差…観察者の運動により生じる、視距離に応じた視対象の網膜像の運動速度の差を指す。

④両眼視差…両眼の視点が約6 cm 離れていることで生じる両眼の網膜上の像の差異のことで、3次元画像の多くはこれを利用している。

##### 2) 経験的要因

①網膜像の大きさ…網膜像が大きい視対象は前方に、小さい視対象は後方にあると知覚する。

②密度差・肌理 (きめ) の勾配…肌理の構成要素の密度の違いや変化の状態 (勾配) に応じて遠近感や傾斜面の知覚が生じる。

③重なり…視対象が重なった場合、他の一部を隠す視対象が前方に知覚される。

④陰影…陰影があることで立体感が生じ、下方の陰影は凸、上方の陰影は凹に知覚される。

⑤線遠近法…視点位置と遠方の消失点を想定した構図に奥行き感が生じる。透視図法はこれを応用している。

⑥大気遠近法…近方の視対象は明瞭に、遠方の視対象はぼんやりと知覚されることにより奥行き感が生じる。

##### (3) 光の効果

光の効果について以下のものがある。

①明るさの恒常性…照明光の光量の変化によらず、視対象の明るさについて一定の知覚を得ることのできる視覚系の能で、物体の明るさを、光の反射量ではなく反射率で判断していると捉えることができる。

②アブニーの法則…加法混色で得られた色光の輝度はもとの色光の輝度の和に等しいとするものである。

③スタイルズークロフォード効果…瞳孔の中心通過した光は明るく見え、瞳孔の周辺を通過した光は見えの明るさが暗くなる効果を指す。

■解説 3.2 : (3.7) 式の導出

視対象面上における微小立体角  $d\Omega$  は、

$$d\Omega = dS \cos \theta / r^2$$

となる。

$$\cos \theta = c / r$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + c^2}$$

$$dS = dx dy$$

として、(3.7) 式が導かれる。

$$\begin{aligned} \Omega_{ab} &= \int_0^a \int_0^b \frac{c}{(\sqrt{x^2 + y^2 + c^2})^3} dy dx \\ &= \int_0^a \int_0^b \frac{d(x/c) d(y/c)}{(\sqrt{1 + (x/c)^2 + (y/c)^2})^3} \\ &= \sin^{-1} \frac{(a/c)(b/c)}{\sqrt{1 + (a/c)^2} \sqrt{1 + (b/c)^2}} \end{aligned} \quad (3.7)$$

なお次式も成り立つ。

$$\Omega_{ab} = \tan^{-1} \frac{(a/c)(b/c)}{\sqrt{1 + (a/c)^2 + (b/c)^2}}$$

■解説 3.3 : (3.9) 式の導出

$$U_v = \int_s \frac{\cos \theta \cos i}{\pi r^2} dS$$

において、

$$\cos \theta = c / r$$

$$\cos i = y / r$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + c^2}$$

$$dS = dx dy$$

として、

$$\begin{aligned} U_v &= \int_0^a \int_0^b \frac{cy}{\pi (x^2 + y^2 + c^2)} dy dx \\ &= \frac{1}{2\pi} \left( \tan^{-1} \frac{a}{c} - \frac{c}{\sqrt{c^2 + b^2}} \tan^{-1} \frac{c}{\sqrt{c^2 + b^2}} \right) \end{aligned} \quad (3.9)$$

■解説 3.4 : (3.10) 式の導出

$$U_p = \int_s \frac{\cos \theta \cos i}{\pi r^2} dS$$

において、

$$\cos \theta = \cos i = c / r$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + c^2}$$

$$dS = dx dy$$

として、

$$\begin{aligned} U_p &= \int_0^a \int_0^b \frac{c}{\pi (x^2 + y^2 + c^2)} dy dx \\ &= \frac{1}{2\pi} \left( \frac{a}{\sqrt{c^2 + a^2}} \tan^{-1} \frac{b}{\sqrt{c^2 + a^2}} \right. \\ &= \left. + \frac{b}{\sqrt{c^2 + b^2}} \tan^{-1} \frac{a}{\sqrt{c^2 + b^2}} \right) \end{aligned} \quad (3.10)$$

■解説 3.5 : (3.20) 式の導出

反射面で考える。透過面でも同じである。面積  $dS$  [m<sup>2</sup>] の受照面の入射光束を  $dF$  [lm] とすると、(3.12) 式より、

$$dF = E dS$$

反射して発散する光束  $dF_r$  [lm] は、

$$dF_r = \rho dF = \rho E dS$$

よって、(3.14) 式より、次の(3.20)式が導かれる。

$$M = \frac{dF_r}{dS} = \rho E \quad (3.20)$$

なお、透過面でも同様である。

■解説 3.6 : (3.22) 式の導出

平行光線に垂直な微小面を  $dS_n$  [m<sup>2</sup>] とし、その面から  $i$  だけ傾き、 $dS_i$  [m<sup>2</sup>] への光束  $dF$  と同量の光束を受ける面を  $dS_i$  [m<sup>2</sup>] とすると (図 3.14 参照)、その面積は、

$$dS_i = dS_n / \cos i$$

$$\therefore dS_n = dS_i \cos i$$

照度  $E_n$ , 照度  $E_i$  は (3.12) 式より、

$$E_n = dF / dS_n$$

$$E_i = dF / dS_i$$

$$\therefore E_i dS_i = E_n dS_n$$

よって、

$$\therefore E_i = E_n \cos i \quad (3.22)$$

■解説 3.7 : (3.23) 式の導出

点光源を中心とする半径  $r$  [m] の球面上の面積  $dS$  [m<sup>2</sup>] の微小面を見こむ立体角を  $d\Omega$  [sr] とすると (図 3.15 参照)、

$$d\Omega = dS / r^2$$

微小面に入射する光束を  $dF$  [lm] とすると、(3.16) 式より、

$$dF = I d\Omega$$

$$\therefore dF = I (dS / r^2)$$

よって、(3.12) 式より

$$\therefore E = dF / dS = I / r^2 \quad (3.23)$$

■解説 3.8 : (3.25) 式の導出

均等拡散面では、(3.18) 式の輝度が一定値であることから、微小面  $dS$  [m<sup>2</sup>] とし、

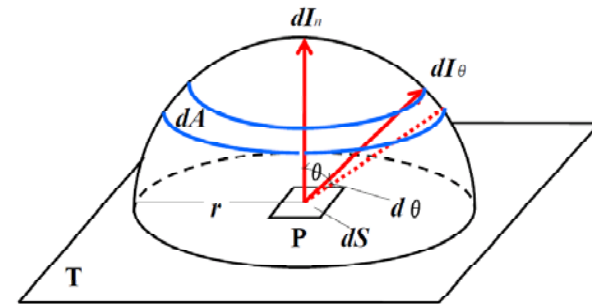
$$L = \frac{dI_\theta}{dS \cos \theta} = \frac{dI_n}{dS}$$

よって、 $dS$  を消去して、

$$dI_\theta = dI_n \cos \theta \quad (3.25)$$

■解説 3.9 : (3.26) 式の導出

微小面  $dS$  [m<sup>2</sup>] から発散する全光束  $dF$  [lm] は、 $dI_\theta$  を光の進む方向のすべての立体角  $2\pi$  について積分したもの (付図 3.1 を参照) なので、



付図 3.1 均等拡散面における輝度と光束発散度 / 宮田紀元他 : 新建築学大系 10, 環境物理, p.333, 図 6.14, より作成

$$dF = \int_{2\pi} dI_\theta d\Omega \quad (付 3.1)$$

ここで、角  $\theta$  と  $\theta + d\theta$  による微小幅の球帯の面積を  $dA$  とすると、

$$dA = 2\pi r \sin \theta r d\theta$$

$$\therefore d\Omega = dA / r^2 = 2\pi \sin \theta d\theta$$

また、(3.18) 式から、

$$dI_\theta = L dS \cos \theta$$

よって、(付 3.1) 式は、

$$dF = \int_0^{\pi/2} L dS \cos \theta \cdot 2\pi \sin \theta d\theta$$

$$\begin{aligned}
&= \pi L dS \int_0^{\pi/2} 2 \cos \theta \sin \theta d \theta \\
&= \pi L dS [\sin^2 \theta]_0^{\pi/2} \\
&= \pi L dS
\end{aligned}$$

$$\therefore M = dF / dS = \pi L \quad (3.26)$$

■解説 3.10 : (3.27) 式の導出

反射面で考える。(3.20) 式, (3.26) 式より,

$$M = \rho E = \pi L$$

よって,

$$L = (\rho / \pi) E \quad (3.27)$$

透過面でも同様である。