

## 視覚情報量の数理理論的考察

小林 富士男 尾関 孝史

福山大学 工学部 情報処理工学科

### 1. はじめに

急速な進歩を続けているデジタルメディアは、新しい文化、価値を創造し人間の知能やコミュニケーションにおいて、益々重要な役割を果たす時代になった。これからは幅広い視野でメディアを見直す必要がある。

ところで、対象物を見る際の照明は、暗いより明るい方が見やすく、視対象の情報量をより多く得ていると考えられる。眼が対象物を注視しているとき、どれだけの情報量を得ているか、また、照明条件や対象物が増減した場合、その情報量はどのように変化するかを定量的に算出することが必要である。本研究では、視対象から得られる視覚情報量を定量的に求める方法を確立することを目的とし、情報理論で確立された情報量の考え方を人間の視覚特性に適用し、指標の明度値から、視覚情報量を算定する方法を提案している。

### 2. 視覚特性

形態覚を左右する因子に視力があるが、空間の不均一性を見分ける能力であって、あらゆる形の認知の根本をなすものである。通常、最小分離閾は指標の分離した2点を識別できる最小視角の逆数で表される。2点が分離して見分けられる条件として網膜上で刺激を受ける2個の錐状体の間に、少なくとも1個以上の刺激を受けない錐状体が存在するものとする。この仮定に基づいて、指標2点の最小分離視角  $a$  [rad] から、錐状体の有効直径  $d$  [mm] を求めると、次式のようになる。

$$d = a\ell/2 \quad (1)$$

ただし、 $\ell$  は眼の結節点から網膜までの距離である。

### 3. 視細胞の有効数

2点分離閾は指標の照度が変われば変化し、錐状体の有効直径は指標の照度と定性的に逆比例の関係にあることを意味する。視力の明るさに対する依存性について、最小識別角  $a$  は次式で与えられる<sup>1)</sup>。

$$a = 118.3 \times 10^{-6} \left(0.412 + M^{1/3}\right)^3 / M \quad (2)$$

ここで、 $M$  は指標の光束発散度 [rlx] である。式(2)を式(1)に代入すれば、明るさに対する錐状体の有効直径  $d$  として次式が得られる。

$$d = 59.15 \times 10^{-6} \left(0.412 + M^{1/3}\right)^3 \ell / M \quad (3)$$

人間の眼の明所視における視野は、約 60 度の広がりをもっているが、このうち視対象の細部識別に寄与するのは、視角 2 度の範囲である。この注視視角を  $w$  とすれば、注視視野内に含まれる視細胞の有効数  $n$  は、近似的に次のように表される。

$$n = (w/a)^2 \quad (4)$$

式(4)に式(2)を代入すると、次の式のようになる。

$$n = \left[ wM / \left\{ 118.3 \times 10^{-6} \left(0.412 + M^{1/3}\right)^3 \right\} \right]^2 \quad (5)$$

$w$  は 2 度であるから上式にその値を代入すると、注視視野内の視細胞の有効数として、次式が得られる。

$$n = \left[ pM \times 10^6 / \left\{ 90 \times 118.3 \left(0.412 M^{1/3}\right)^3 \right\} \right]^2 \quad (6)$$

### 4. 最小識別明度対比

次に、人間の眼がどれだけの明るさの差を識別できるかを表す最小識別明度対比  $C$  を表すものとしては、次式がある<sup>1)</sup>。

$$C = 0.0123 \left(0.808 + M^{1/2}\right)^2 / M \quad (7)$$

$C$  の逆数は、 $M$  に順応している眼で識別し得る最大の明度差段階を表す。そこで識別可能な明度段階数  $K$  は、次の式のようになる。

$$K = M / \left\{ 0.0123 \left(0.808 + M^{1/2}\right)^2 \right\} \quad (8)$$

### 5. 静止画像の視覚情報量

ある事象の生起確率を  $p$ 、事象の起こりうる場合の数を  $m$  とすると、等確率事象では、 $p = 1/m$  であるから、その事象の情報量  $H$  は、

$$H = \log_2 m \quad [\text{bit}] \quad (9)$$

となる。一般に符号の種類を  $Z$ 、符号の長さを  $r$ 、長さ  $r$  なる符号の系列の起こり得る可能な数を  $Q$  とすれば、 $Q = Z^r$  であるから、この全系列の情報量  $H$  は、

$$H = r \log_2 Z \quad [\text{bit}] \quad (10)$$

となる。

さて、この情報理論を視覚系に適用すれば、中心視野で受容される情報量  $H$  は、次のようになる。

$$H = \left[ pM \times 10^6 / \left\{ 90 \times 118.3 \left( 0.412 + M^{1/3} \right)^3 \right\} \right]^2 \times \log_2 \left[ M / \left\{ 0.0123 \left( 0.808 + M^{1/2} \right)^2 \right\} \right] \quad [\text{bit}] \quad (11)$$

## 6. 動画の視覚情報量

人間がちらつきを感じなくなる臨界周波数  $f_c$  と明るさ  $B$  の間には、次式が成り立つ。

$$f_c = a \log_{10} B + b \quad (12)$$

ここで、 $a, b$  は定数、 $B$  は刺激光強度を表す。 $a, b$  に実験値を代入し、光束発散度  $M$  の関数として表示すれば、

$$f_c = 11.0 \log_{10} M + 21.6 \quad [\text{Hz}] \quad (13)$$

となる。式(13)の  $f_c$  を単位時間当たりに見分けられる変化量とみなせば、単位時間当たりの視覚情報量  $h$  として次式が得られる。

$$h = H \times f_c = \left[ pM \times 10^6 / \left\{ 90 \times 118.3 \left( 0.412 + M^{1/3} \right)^3 \right\} \right]^2 \times \log_2 \left[ M / \left\{ 0.0123 \left( 0.808 + M^{1/2} \right)^2 \right\} \right] \times \{ 11.0 \log_2 M + 21.6 \} \quad [\text{bit}] \quad (14)$$

## 7. カラー画像の視覚情報量

3原色の赤(R), 緑(G), 青(B)に対する眼の空間周波数特性は、互いに殆んど差がなく、無彩色の空間周波数特性に近い。各成分それぞれについて式(11)の関係が成立するとみなし、カラーの静止画像に対する視覚情報量  $H_c$  を求めると、次の式が得られる。

$$H_c = \left[ \sum_{k=1}^3 \left\{ pM_k \times 10^6 / \left\{ 90 \times 118.3 \left( 0.412 + M_k^{1/3} \right)^3 \right\} \right\} \right]^2 \times \log_2 \left[ \prod_{k=1}^3 \left\{ M_k / \left\{ 0.0123 \left( 0.808 + M_k^{1/2} \right)^2 \right\} \right\} \right] \quad [\text{bit}] \quad (15)$$

ただし、 $M_k, (k=1,2,3)$  はそれぞれ赤、緑、青に対する光速発散度である。同様にカラーの動画に対する視覚情報量  $h_c$  は、次の式で与えられる。

$$h_c = \left[ \sum_{k=1}^3 \left\{ pM_k \times 10^6 / \left\{ 90 \times 118.3 \left( 0.412 + M_k^{1/3} \right)^3 \right\} \right\} \right]^2 \times \log_2 \left[ \prod_{k=1}^3 \left\{ M_k / \left\{ 0.0123 \left( 0.808 + M_k^{1/2} \right)^2 \right\} \right\} \right] \times \left\{ 11.0 \log_{10} \left( \sum_{k=1}^3 M_k / 3 \right) + 21.6 \right\} \quad [\text{bit/s}] \quad (16)$$

## 8. 視覚情報量の算定

視覚の基本となるものは、網膜上へ結像した像の照度分布とそれに対応する視細胞の応答である。この議論を網膜上で行うよりも視対象面上で行うほうが便利であるから、以後、視対象面上で考える。眼球から視対象面上までの距離を  $L$  とし、網膜上で知覚できる最小距離を視対象面上に変換すると、次式によって表される。

$$D = dL/\ell \quad (17)$$

いま、画像の明度分布  $E(x, y)$  上に離散的な番地  $(x_i, y_j)$  を付ければ、座標  $(x_i, y_j)$  は視対象面上では  $(u_i, v_j)$  に変換され、 $E(x_i, y_j)$  は  $M(u_i, v_j)$  に対応する。ここで、この面上の眼の明度差識別段階を導入すれば、視対象面上で識別できる明度差の総数  $S$  は、次式のようになる。

$$S = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^n \left| T[M(u_{i+1}, v_j)] - T[M(u_i, v_j)] \right| + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n-1} \left| T[M(u_i, v_{j+1})] - T[M(u_i, v_j)] \right| \quad (18)$$

ただし、 $m, n$  は番地の最大を表す。また、 $T[M]$  は光束発散度から識別できる明度差段階数への変換を表し、次式で与えられる。

$$T[M] = M / \left\{ 0.0123 \left( 0.808 + M^{1/2} \right)^2 \right\} \quad (19)$$

そこで、網膜で受容される画像の視覚情報量  $H(g)$  として、次式が得られる。

$$H(g) = \log_2 S \quad [\text{bit}] \quad (20)$$

## 9. むすび

指標の明度値から視覚情報量を求める方法を提案した。本方法は、指標画像の評価、ディスプレイなどメディアの評価への応用が期待される。今後の課題としては、本方法の応用に関する研究を行うことであると考えている。

## 参考文献

- [1] P. Moon and D. E. Spencer: "Visual data applied to lighting design", J. Opt. Soc. Am., Vol.34, No.10, p.605-617 (1944-10).