

画像の視覚情報量の算定

小林 富士男* 富田 将英**

Calculation of Visual Information for Image

Fujio KOBAYASHI* Masahide Tomita**

ABSTRACT

In this paper, the capacity of visual information on the image is calculated. The number of perceptible brightness levels and the number of minimum perceptible areas at photopic vision are obtained from the visual properties. These values correspond to the length and kind of the sign in the information theory. First, the capacity of visual information on image is calculated. Then, the amount of visual information digital color image is calculated. The calculation of visual information on digital color image is performed to actual digital color image, and the amount of visual information is presented quantitatively.

キーワード：画像情報，視覚特性，視覚情報量

Keywords: Image Information, Visual Properties, Visual Information

1. はじめに

視覚の問題として、人間が視覚対象物からどれほどの情報量を得ているかを計算する研究は古くからなされている。一般的に、小さな文字よりも大きな文字、単純な図形よりも複雑な図形、暗い画像よりも明るい画像を見るとき、より多くの情報を得られると考えられる。しかし、これらはすべて定性的な表現であり、問題を工学的に取り扱うためには定量的な表現が必要である^(1,2)。また、視標の明るさや観測者と視対象の距離などの観測条件は変化することが多く、視覚は観測条件に大きく影響を受けるため、この観測条件を一定に保つようコントロールして視覚実験を行い正確な値を得るのは困難である。

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手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と組み合わせ、画像の視覚情報量を画像の明度値から算定す

る方法を導出する。まず、今まで明らかにされている人間の視覚特性を導入し、次に情報理論における受信者が符号系列から受容する情報量の式と組み合わせて画像の視覚情報容量の式とする。この考え方を、視標面上で展開し、画像の持つ情報量、及び、画像の視覚情報量を計算する式を導出する。さらに、この式をデジタルカラー画像に適用し、画像の視覚情報量を計算している。

2. 視覚情報容量

2.1 情報量

通信伝送系において、すべての事象の生起確率が等確率である場合、事象の起こり得る場合の数を m とすると、ある事象が生起したとき受信者の受け取る情報量は、

$$H = \log_2 m$$

となる。生起する事象が K 種類の符号をもち、長さ n の

*情報処理工学科

**大学院電子情報工学専攻

符号系列を考えると、系列の起こり得る場合の数 m は、

$$m = K^n \quad (2)$$

となるので、全系列の情報量は⁽³⁾、

$$H = \log_2 m = n \log_2 K \quad [\text{bit}] \quad (3)$$

と表すことができる。

一方、画像の場合には、識別できる段階数を R 、識別できる画素数を N_p とすれば、画像の情報量 h_p は、

$$h_p = N_p \log_2 R \quad [\text{bit}] \quad (4)$$

となる。

2. 2 最小識別領域の数

人間の眼がどの程度まで細かい部分を分離して知覚できるかを表す基準として、視力が用いられる。視力は空間的な不均一性を見分ける能力であり、一般にはランドルト環を用いて測定される。視力 A は、2点を分離して知覚できる最小の視角 α の逆数として、次のように表される。

$$\alpha = \frac{\omega}{l} \quad [\text{radian}] \quad (5)$$

$$A = \frac{l}{\alpha} \quad (6)$$

ただし、 ω は2点間の距離、 l は指標と眼の結節点までの距離、 α はを分で表した値である。

ところで、2点を空間的に分離して知覚する最小の視角は、視対象の明るさによって変わる。明るさに対する最小識別視角 α は次のように表される⁽⁴⁾。

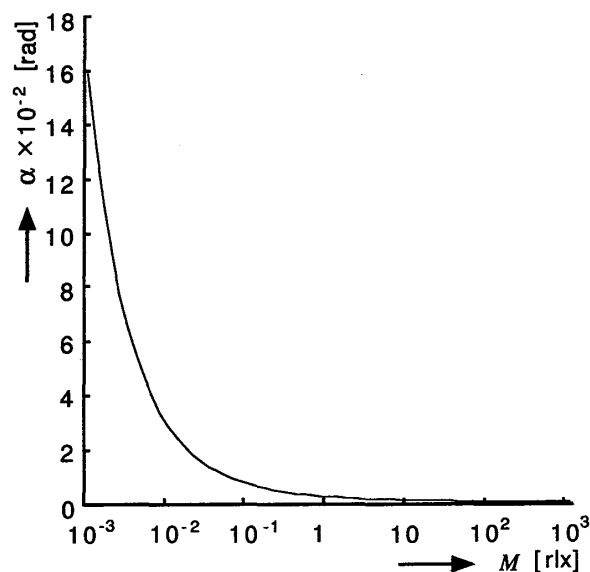


図1. 明るさに対する最小識別視角

Fig. 1 Minimum visual angle.

$$\alpha = \frac{118.3 \times 10^{-6}}{M} (0.412 + M^{1/3})^3 \quad [\text{radian}] \quad (7)$$

ただし、 M は光束発散度である。

図1は、式(7)から求めた明るさに対する最小識別視角である。

人間の眼の明所視における視野は、中心軸に対して上下左右に約60度の広がりを持っている。このうち視対象の細部の識別に寄与するのは、中心軸から1度の範囲内、すなわち視角にして2度の範囲であり、これを注視視角と言う。いま、図2のように注視視角を ω_0 [radian]とすると、眼から距離だけ離れた観測面での注視視野に含まれる面積は、直径 ω_0 の円となる。また、最小識別視角で規定される識別可能な最小面積を最小識別領域とすると、その面積は直径 α の円となる。このことから、注視視野に含まれる最小識別領域の数を n_α とすると、近似的に次のように表せる。

$$n_\alpha = \left(\frac{\omega_0}{\alpha} \right)^2 \quad (8)$$

式(8)に式(7)の α を代入すると、注視視野内の明るさに対する最小識別領域の数は、

$$n_\alpha = \left\{ \frac{\omega_0}{\frac{118.3 \times 10^{-6}}{M} (0.412 + M^{1/3})^3} \right\}^2 \quad (9)$$

と近似できる。 ω_0 は2度であるから、これを上式に代入すると、

$$n_\alpha = \left\{ \frac{\pi M \times 10^6}{90 \times 118.3 (0.412 + M^{1/3})^3} \right\}^2 \quad (10)$$

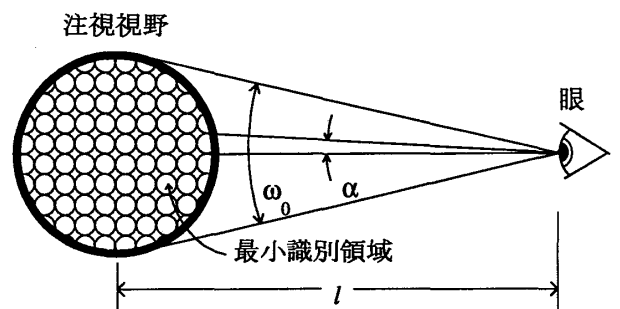


図2. 注視視野と最小識別領域

Fig. 2 Minimum perceptible area and the gaze view.

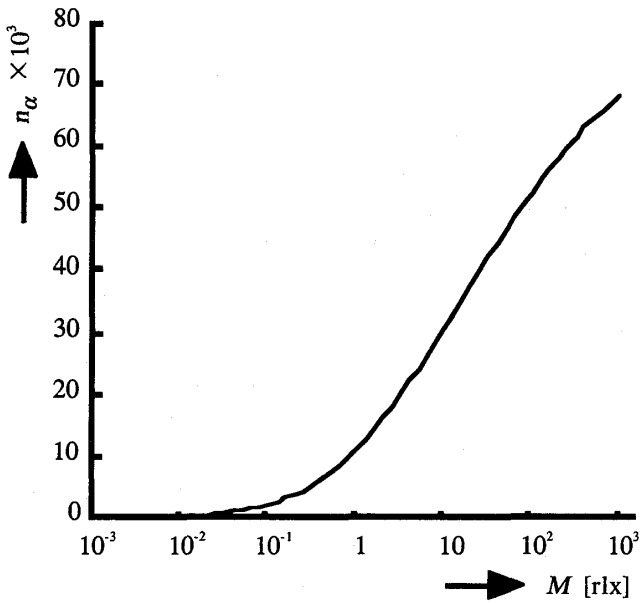


図3. 注視視野内の最小識別領域の数
Fig. 3 Number of perceptible areas.

となる。図3に式(10)から求めた最小識別領域の数のグラフを示す。

2.3 識別可能な色数

人間の眼がある明るさのもとで、どれだけの明るさの違いを識別できるかを表す尺度として、最小識別明

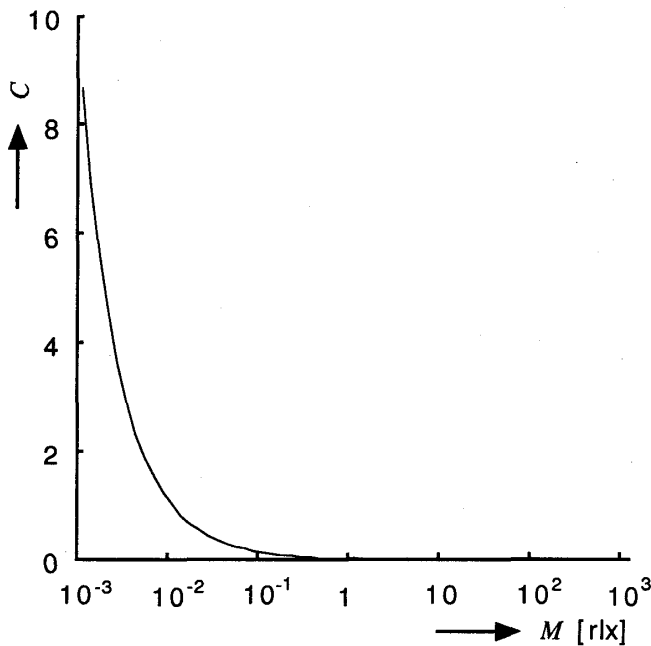


図4. 明るさに対する最小識別明度対比
Fig.4 Minimum perceptible contrast.

度対比Cは、

$$C = \frac{0.0123}{M} (0.808 + M^{1/2})^2 \tag{11}$$

と表される⁽⁴⁾。式(11)から求めた最小識別明度対比を図4に示す。識別可能な明度段階の数Nは、最小識別明度対比の値Cの逆数となるので、次の式のように表せる。

$$N = \frac{M}{0.0123(0.808 + M^{1/2})^2} \tag{12}$$

ところで、3原色である赤(R)、緑(G)、青(B)成分に対する眼の空間周波数特性は、互いにほとんど差がなく、明暗の値に近いため、各成分それぞれについて式(12)が成り立つと仮定すると、カラー画像に対する識別可能な総数N_cは、

$$N_c = \prod_{k=1}^3 \frac{M_k}{0.0123(0.808 + M_k^{1/2})^2} \tag{13}$$

となる。ただし、M_k (k=1, 2, 3)は赤、緑、青の各成分に対応する。式(13)から求めた、明るさに対する識別可能な色数を図5に示す。

2.4 視覚情報容量

いま、式(4)においてN_pをM_kに対するn_a、RをN_cとそれぞれ置けば、次の式が求まる。

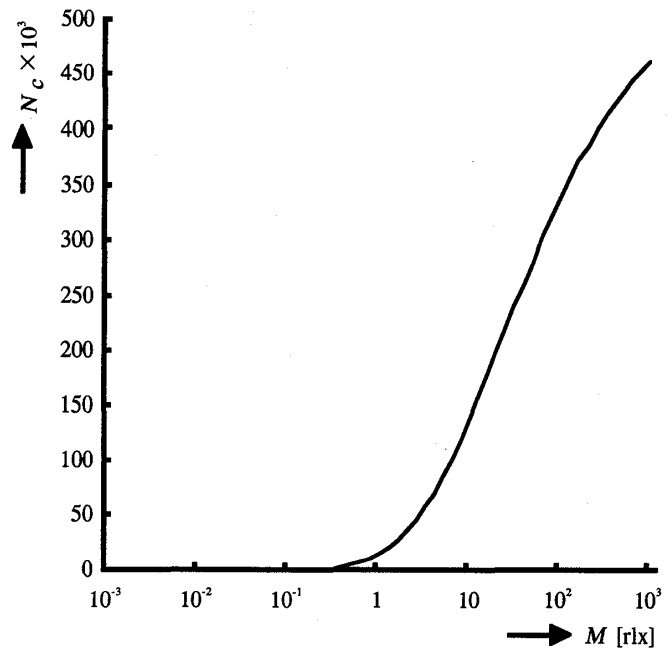


図5. 明るさに対する識別可能な色数
Fig. 5 Number of perceptible color levels.

$$H_e = \left[\sum_{k=1}^3 \left\{ \frac{\pi M_k \times 10^6}{90 \times 118.3 (0.412 + M_k^{1/3})^3} \right\}^2 \right] \log_2 \left\{ \prod_{k=1}^3 \frac{M_k}{0.0123 (0.808 + M_k^{1/2})^2} \right\} \quad [\text{bit}] \quad (14)$$

この式は、カラー画像に対する注視視野の視覚情報容量を与える式である。式(14)から求めた、明るさに対する視覚情報量は図6のようになる。

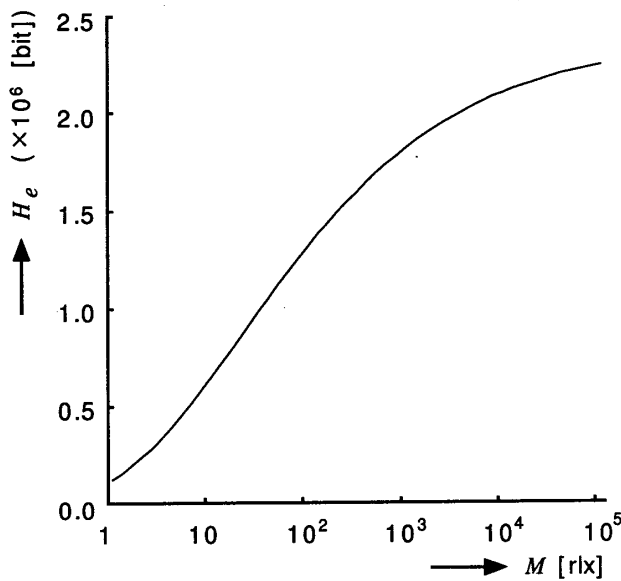


図6. 視覚情報容量

Fig.6 Capacity of visual information.

3. 画像の情報量

従来の通信系の情報理論に基づいた視覚情報量は、たとえば甲の画像と乙の画像を見た場合、いずれの画像がより多くの情報量を人間の眼に提供しているかを決定することはできない。また、同一画像でも照明条件を変えれば見え方が異なってくるが、そのときどれだけ視覚情報量に差が生じたかも決定することはできない。ここでは、日常経験する事実に基づいて視覚情報量を導入する。常識的に考えて複雑な画像と簡単な画像を比較した場合、複雑な画像の方がより多くの情報を持つというのは妥当であろう。印刷漢字の読みやすさの難易は、大きい文字、高いコントラストの文字、字画の少ない文字を近い距離から明るい状態で観察する方が、小さい文字、低いコントラストの文字、字画の

多い文字を遠い距離から暗い状態で観察するより容易である。また、長い文章の方が短い文章より多くの情報を含んでいるであろう。このような表現は、いずれも定性的なもので定量的な扱いがされていない。これらを定量化することは重要な意義をもつ。

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。従って、網膜上の照度分布とそれに対応する出力分布を上述の要求に適応するように定めればよい。いま、画像の明度分布 $Z_k(x, y)$ 上に離散的な番地 (x, y) を付け、隣接画像の明度差の絶対値を総和すれば、複雑な画像に対しては大きな値となる。その総和 S は次式で与えられる。

$$S = \sum_{k=1}^3 \left[\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^n \left\{ Z_k(x_{i+1}, y_j) - Z_k(x_i, y_j) \right\} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n-1} \left\{ Z_k(x_i, y_{j+1}) - Z_k(x_i, y_j) \right\} \right] \quad (15)$$

ここで、 n は画像明度値の番地の最大値である。ここで、2を底とする対数をとると次式が得られる。

$$H = \log_2 S \quad [\text{bit}] \quad (16)$$

この式は、画像の持つ情報量を表す式である。

4. 画像の視覚情報量

この議論を網膜面上で行うよりも視対象面上で行う方が便利であるから、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 とすると、網膜面上の知覚できる最小距離 δ は、視対象面上では次式によって変換される。

$$d = \frac{\delta L}{l} \quad (17)$$

また、座標 (x, y) は視対象面上では (u, v) に変換され、 $Z_k(x, y)$ は $M_k(u, v)$ に対応する。ここで、この面上の眼の明度差識別段階数を導入すれば、視対象面上での識別できる明度差の総数 S_p は、

$$S_p = \sum_{k=1}^3 \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^n T_k \left[\left| M_k(u_{i+1}, v_j) - M_k(u_i, v_j) \right| \right] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n-1} T_k \left[\left| M_k(u_i, v_{j+1}) - M_k(u_i, v_j) \right| \right] \right\} \quad (18)$$

となる。 $T_k[\]$ は光束発散度の差の絶対値から識別し得る明度差段階数への変換を表し、次式で与えられる。

$$T_k = \frac{M_k}{0.0123 (0.808 + M_k^{1/2})^2} \quad (19)$$

ここで、隣り合う画素間の明度値の差を式(4)における符号の種類と考え、その対数の総和をとって次式を得る。

$$H_p = \sum_{k=1}^3 \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^n \log_2 T_k \left[\left| M_k(u_{i+1}, v_j) - M_k(u_i, v_j) \right| \right] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n-1} \log_2 T_k \left[\left| M_k(u_i, v_{j+1}) - M_k(u_i, v_j) \right| \right] \right\} \text{ [bit]} \quad (20)$$

この式は、網膜で受容される画像の視覚情報量を表す式である。

5. 計算結果

本手法をデジタル画像に適用してコンピュータシミュレーションを行い、画像の視覚情報量を式(20)により算定した。計算に使用したデジタル画像は、PPM形表現色数16,777,216色のカラー画像で、サイズは256×256画素のものを4種類採用した。計算に使用したデジタル画像の原画像を図7に示す。画像(a)および画像(b)は、全体的に明度値の変化が頻繁で激しく、複雑な印象を受ける。これに対して画像(c)および画像(d)は画像中央部分では明度変化が見られる

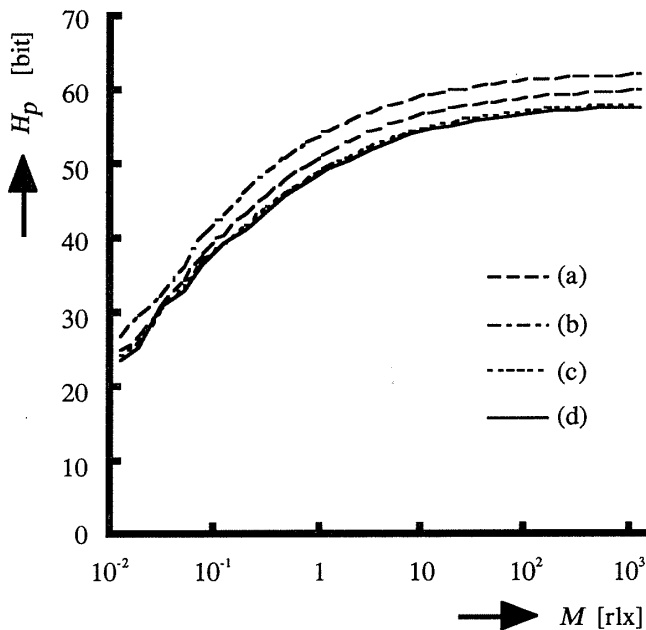
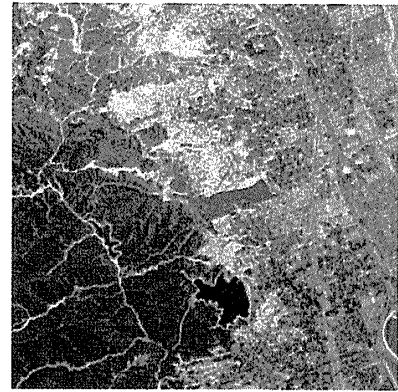


図7. カラー画像の視覚情報量

Fig. 7 Amount of visual information on color image.



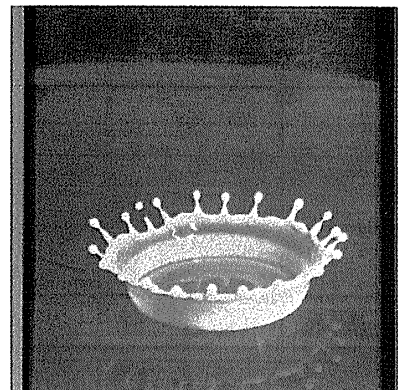
画像(a)



画像(b)



画像(c)



画像(d)

図8. 計算に使用した画像

Fig. 8 Original image.

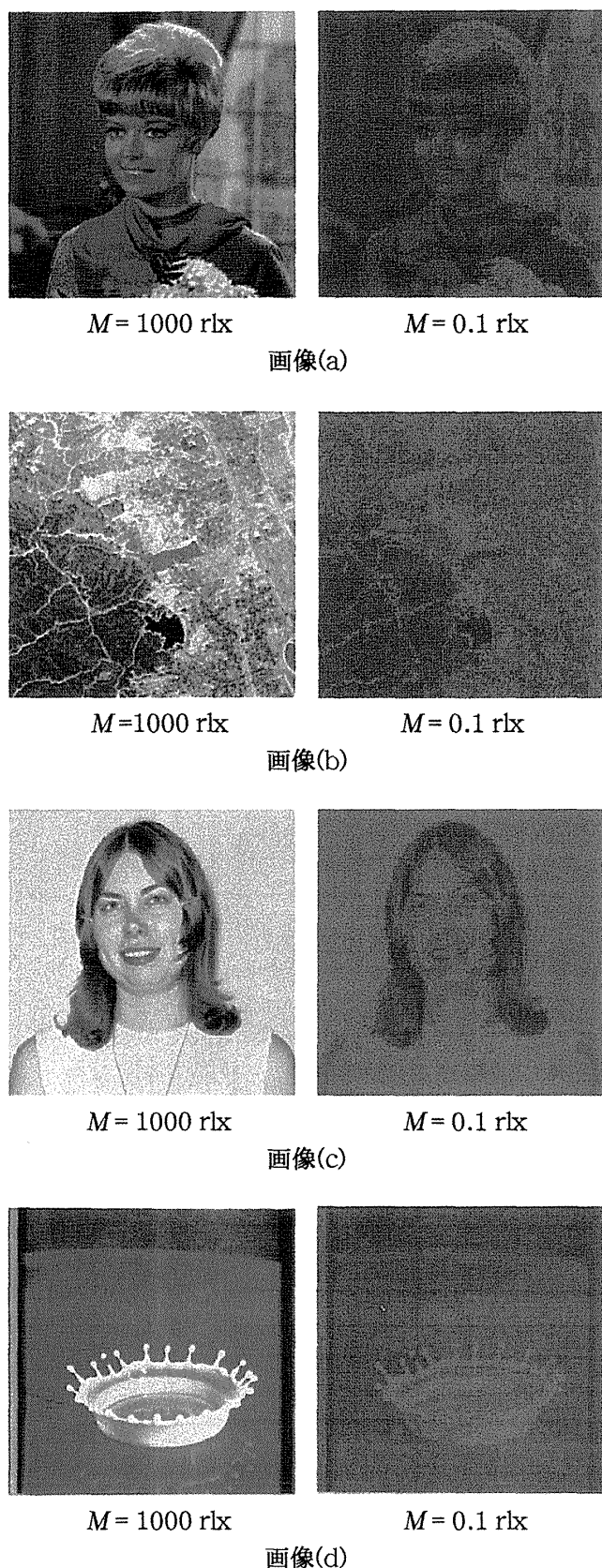


図9. 受容される画像

Fig. 9 Simulated perceived image.

が、周辺の背景に当たる部分ではほとんど明度変化がなく、画像(a)や画像(b)から比べると単純な画像であるといえる。

これらの画像に対し観測条件として観測距離を500mm、画像の高さを50mmと定めて、明るさが変化する場合の視覚情報量を求めた。図8にシミュレーションにより求めた視覚情報量のグラフを示す。グラフを見ると、視標の明るさが暗くなると視覚情報量の値が小さくなるのがわかる。また、一見して複雑な印象を受ける画像(a)および画像(b)よりも一見して単純に見える画像(c)および画像(d)の視覚情報量の値が全体的に低くなっており、視覚情報量の値の傾向が、人間の感覚とも大きく食い違っていないことがわかる。また、図9にコンピュータシミュレーションにより求めた、受容される画像を示した。視標の明るさが低くなることにより画像のコントラストと解像度が低下し、画質が悪くなって情報量が失われる様子がわかる。

6. むすび

人間の眼の視覚特性を利用し、画像の明度値から視標の視覚情報量を定量的に求める手法を提案した。また、本手法を用いてコンピュータシミュレーションを行い、観測条件が変化した場合のデジタルカラー画像の視覚情報量を求めた。計算の結果、観測条件が同一であれば、複雑な画像の視覚情報量は単純な画像の視覚情報量よりも大きな値となった。これらの傾向は視覚の経験則とも一致しており、本手法により画像の視覚情報量が表現されていることが確認できた。本手法は、視標画像の設計や画像の画質の評価、コンピュータディスプレイなどの画像メディアの画質の評価などの応用が期待できる。今後の課題として、本手法の動画像への拡張などを考えている。

参考文献

- (1) 小林富士男 他：「視覚情報量の情報論的考察」, 信学会1998年総合大会, D-11-29
- (2) 小林富士男 他：「カラー画像の視覚情報容量」, 信学会1999年総合大会, D-11-62
- (3) R.M.Fano : "Transmission of Information", M.I.T., (1963)
- (4) P.Moon and D.E.Spencer : "Visual data applied to lighting design", J.Opr.Soc.Am., Vol. 34, p.605 (1944)