

# 視覚のマスク効果を考慮したカラー静止画像の画質劣化定量評価

～マスク効果の測定～

Image Quality Evaluation of Color Still Image Based on Visual Masking Effect (Measurement of Visual Masking Effect)

山本 敏嗣\*

Toshitsugu YAMAMOTO

## 要旨

画質劣化評価において、人間の視覚特性を考慮することが重要である。静止画像に対する評価手法として視覚特性の一つである空間周波数感度特性を考慮した手法が提案されている。我々は、これに加えてマスク効果の影響を考慮する必要があると考えた。マスク効果とは、画像自身と劣化成分の空間周波数の関係に応じて、画質劣化の知覚が抑制される現象を指す。従来の視覚野モデルに基づいたDalyの研究では、画像自身と劣化成分の空間周波数とその角度が近いときのみマスク効果が発生している。本研究では、画像自身と劣化成分の空間周波数およびその角度が異なる場合について、視覚実験を行った。実験の結果、周波数や角度によらずマスク効果が発生することを確認し、その数量モデルを構築した。

## Abstract

To establish better objective image quality evaluation, we need to take both frequency characteristics and masking effect into consideration beside the contrast sensitivity of human vision. Here, the masking effect indicates the phenomenon that the visibility of degradation (“maskee”) is reduced due to the presence of image component (“masker”). In prior art, Daly used it to evaluate visible differences of a set of images based on the visual cortex model. He supposes that the masking effect exists only in case that both orientation and frequency of image modulation are close together, which is different from our observations. Therefore we performed visual experiments to measure the masking effect directly on opponent color channels. As a result, we confirmed that some masking effect exists regardless of orientation and frequency while we established a quantitative model to predict the masking effect.

## 1 はじめに

画像圧縮などの画像処理後の画質劣化を評価する際、主観評価には多大な時間がかかるため、その自動化が望まれる。劣化のタイプを限定した画質評価方法について自動化、高精度化が進んでいる一方、劣化のタイプを限定しない手法については主観評価に頼る場合が多い。

近年、静止画像に対する評価手法としてS-CIELAB (spatial CIELAB)<sup>1</sup>が提案されている。これは人間の視覚特性の一つである空間周波数感度特性を考慮することにより、色分布を持った画像に対する評価を可能とするものである。さらに空間周波数感度特性に加えて、画像自身が持つ画像変調によるマスク効果も考慮に入れた客観評価方法として、DalyによるVDP (visible difference predictor)<sup>2</sup>がある。この場合のマスク効果とは、画像内容が存在することにより、その部分の劣化に対する知覚が抑制されることである。VDPではマスク効果をvisual cortexの機能モデルを用い、周波数空間において周波数、角度が近いときのみマスク効果が起こるとしている。内藤らは、Dalyの示す効果を利用して画質の定量評価方法を試みている<sup>3</sup>。

しかし、我々の経験上、周波数や角度が離れているときにも明らかにマスク効果があると感じられ、実感と合わない。そこで、マスク効果を考慮に入れた画質劣化評価の高精度化を目的として、実際にマスク効果を測定した。

## 2 マスク効果の測定

### 2.1 考え方

マスクする側、される側の画像同士の干渉や必要性の低い非線形部分を避けながら、簡便な手法にて定量的に測定する方法を目指し、以下の点を考慮した。

①マスクされる側の画像の振幅が大きい場合、非線形性が高まることを想定し、画像の振幅が小さいJND (just noticeable difference) 付近のみに着目する。

②マスクする側の変調強度振幅が大きいときの非線形性は測定する。

③マスクされる側はサイン波（縦縞）とし、マスクする側の変調は、マスクされる側の変調との干渉を避けるため、周波数は一定だが様々な方向と位相の波を含むノイズとした場合と、マスクされる側のサイン波と直交する波とした場合について測定する。

\* コニカミノルタテクノロジーセンター(株)  
システム技術研究所 イメージシステム開発室

④反対色応答の3刺激に分けて考え、互いの干渉は小さいとして無視する。

## 2.2 測定対象

以下の3パターンを測定した。

### (1) マスクする側の画像変調強度と相対感度の関係

Fig.1に示すように、 $10^{-x}$ に比例する変調強度振幅のサイン波（縦縞・マスクされる側）と $10^{-y}$ に比例する変調振幅のノイズを合成した画像を作成し、周波数の組み合わせを変え、縦縞・マスクされる側の画像が見えなくなる場所をたどった。

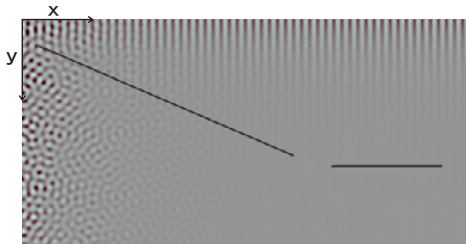


Fig.1 Pattern to find relationship between amplitude of masker (noise) and JND of maskee (sine wave).

### (2) マスクする側の画像がないときの相対感度

相対感度はFig.2のように振幅と周波数が変化する画像を作成し信号（縦縞）の見分けがつく限界の領域をたどった。

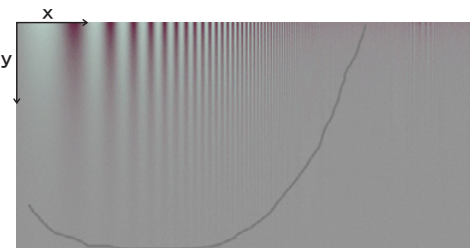


Fig.2 Pattern to find relationship between frequency and JND of maskee (sine wave) without masker.

### (3) マスクする側の周波数が一定のときの、マスクされる側の周波数と相対感度の関係

相対感度を、Fig.3のように振幅と周波数が変化する画像と周波数一定の成分からなるノイズとを重ね合わせた画像にて測定した。マスクされる側の画像（縦縞）の見分けがつく限界の領域をたどった。この実験をマスクする側の画像（ノイズ）の周波数を変えて行った。

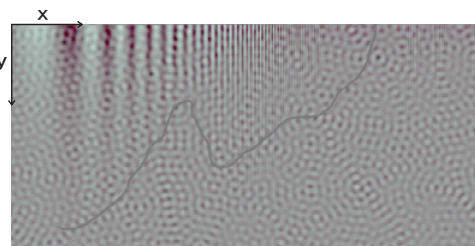


Fig.3 Pattern to find relationship between frequency and JND of maskee (sine wave) under constant frequency masker (noise wave).

なお、直交するサイン波同士のマスク効果の測定は、マスクする側の変調をノイズ画像からマスクされる側の変調（縦縞）と直交するサイン波（横縞）として行った。マスクする側、される側のバランスを取るため、マスクする側として用いたサイン波の振幅をノイズの場合の2倍の振幅として実験を行なった。

## 2.3 実験環境とパラメータ

テストパターンの表示には、ナナオ液晶カラーモニター FlexScan S2242W-H (1920×1200画素, 22インチ)を用いた。

変調の中心はsRGBの白色点(D65)を基準とするグレーとした。平均明度は変調範囲を広く取れるよう、やや明るめの明度60とした。

ディスプレイのsRGBモードを用い、反対色応答の強度に対応する色をsRGBに変換して表示した。なお机上の明るさは概ね900luxであった。観察距離1.5m、後頭部を壁に押し付けて距離を安定化した。なお被験者は著者を含めて3人である。

反対色応答には以下を使用した<sup>1)</sup>。

$$\begin{bmatrix} a \\ c1 \\ c2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.297 & 0.720 & -0.107 \\ -0.449 & 0.290 & -0.077 \\ 0.086 & -0.590 & 0.501 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

## 2.4 パターン生成

特定の周波数のみからなるノイズを用いた。実験に用いた特定の周波数のみを含むノイズの強度は、振幅の二乗和の平方根とした。ノイズはフーリエ変換(FT)を利用して作成した。まず周波数空間で周波数を指定し、振幅の二乗和が所定の値になるように、等しい振幅で、位相がランダムになるように値を指定し、逆FT変換をして変調画像を得た。

## 3 測定結果

### 3.1 近似モデルの設定

#### (1) マスクする側の画像変調強度と相対感度の関係

測定の結果、Fig.1で示すように、マスクする側の振幅が大きい領域では傾きが一定の直線、マスクする側の振幅が小さい領域では水平線になることが分かった。マスクされる側マスクする側、それぞれ異なるいくつかの周波数で同様の実験を行ったが、いずれも、水平部分傾斜部分の位置が異なるだけで、傾斜部分の傾きはほぼ同じだった。そこで、マスク効果を以下の式で近似した。

$$E = bR^a + c \quad (2)$$

$E$ はマスクされる側の画像JNDの強度振幅、 $R$ はマスクする側の画像の強度振幅、 $a$ は周波数によらない定数、 $b$ はマスクされる側マスクする側両方の周波数によって

決まる定数,  $c$  はマスクされる側の周波数によって決まる定数である。

この前提により, この実験は  $E, R$  が様々な周波数を取るときに定数  $a, b, c$  を求めることに帰着する。

マスクされる側の画像の振幅  $E$  と, マスクする側の画像の振幅  $R$  をそれぞれ以下のように設定し,  $a$  については, 直線の傾きから直接求めた。

$$\left. \begin{array}{l} \text{[輝度]} E = 0.2 \cdot 10^{-4y/1000}, R = 0.03 \cdot 10^{-4x/1000} \\ \text{[RG]} E = 0.03 \cdot 10^{-4y/1000}, R = 0.03 \cdot 10^{-2x/1000} \\ \text{[BY]} E = 0.14 \cdot 10^{-4y/1000}, R = 0.14 \cdot 10^{-2x/1000} \end{array} \right\} \quad (3)$$

(2) マスクする側の変調強度が0のときの相対感度定数  $c$  はマスクする側の強度振幅が0のときの相対感度を測定することによって得られる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{[輝度]} E = 0.2 \cdot 10^{-2y_0/1000} \\ \text{[RG]} E = 0.04 \cdot 10^{-2y_0/1000} \\ \text{[BY]} E = 0.014 \cdot 10^{-2y_0/1000} \end{array} \right\} \quad (4)$$

定数  $c$  はなぞって得られた  $y_0$  と, 式 (4) から以下のように得た。

$$\left. \begin{array}{l} \text{[輝度]} c = 0.2 \cdot 10^{-2y_0/1000} \\ \text{[RG]} c = 0.04 \cdot 10^{-2y_0/1000} \\ \text{[BY]} c = 0.014 \cdot 10^{-2y_0/1000} \end{array} \right\} \quad (5)$$

(3) マスクする側の周波数が一定のときの, マスクされる側の周波数と相対感度の関係

マスクする側の周波数とされる側の周波数近いところに強く, そのほかの周波数にも広く弱くマスク効果が観察された。

この実験から, 以下に示すように (1) 式における定数  $b$  が求められる。輝度成分については, マスクされる側の強度振幅  $E$  と, マスクする側の強度振幅  $R$  をそれぞれ以下のように設定した。

$$\left. \begin{array}{l} \text{[輝度]} E = 0.2 \cdot 10^{-2y/1000}, R = 0.05 \\ \text{[RG]} E = 0.04 \cdot 10^{-2y/1000}, R = 0.01 \\ \text{[BY]} E = 0.14 \cdot 10^{-2y/1000}, R = 0.035 \end{array} \right\} \quad (6)$$

なぞった線の  $y$  座標  $y_0$  から定数  $b$  は以下のように得られた。

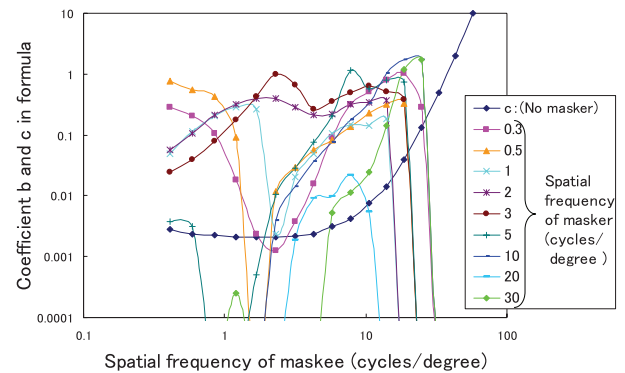
$$\left. \begin{array}{l} \text{[輝度]} b = 0.2 \cdot (10^{-2y/1000} - 10^{-2y_0/1000}) / 0.05^{2a} \\ \text{[RG]} b = 0.04 \cdot (10^{-2y/1000} - 10^{-2y_0/1000}) / 0.01^{2a} \\ \text{[BY]} b = 0.14 \cdot (10^{-2y/1000} - 10^{-2y_0/1000}) / 0.035^{2a} \end{array} \right\} \quad (7)$$

### 3.2 測定されたパラメータ

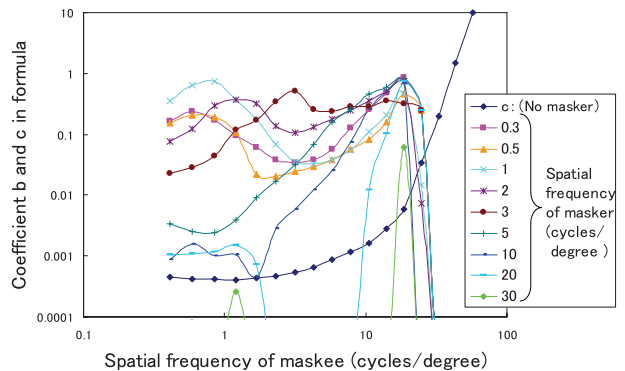
以上の前提から, マスク効果が, マスクする側の画像振幅の強度, マスクされる側の周波数を変数とする関数として求められるようにするため, 各パラメータをまとめた。

マスクする側の強度振幅が  $R$  のとき, マスクされる側の JND 強度  $E$  を (2) 式のように近似するパラメータ  $a, b, c$  がマスクされる側マスクする側の周波数を変数とするテーブルとして求めた。各色成分で  $a$  は定数で与え,  $b, c$  についてはグラフで示す。

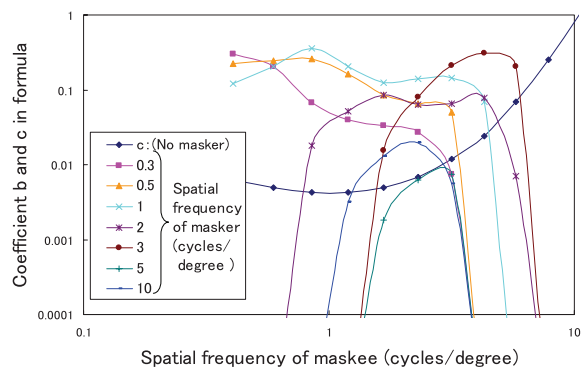
#### (1) マスクする側の変調がノイズの場合



(a) Achromatic channel ( $a=1.08$ )



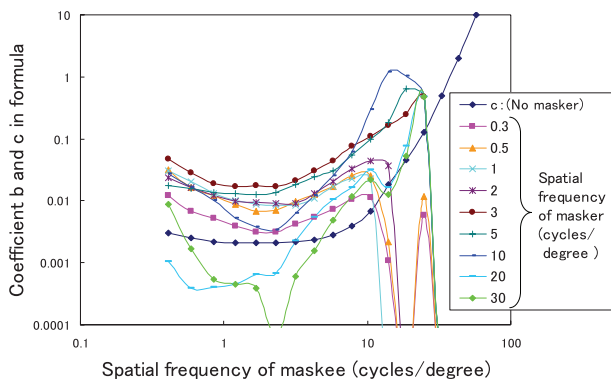
(b) R-G channel ( $a=0.83$ )



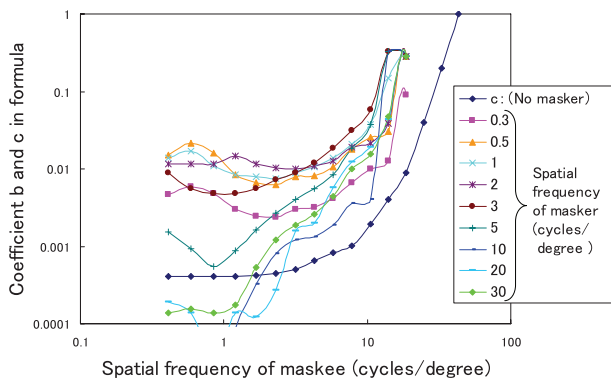
(c) B-Y channel ( $a=0.72$ )

Fig. 4 Distributions of coefficient  $a, b$  and  $c$  in formula (2) when masker is noise.

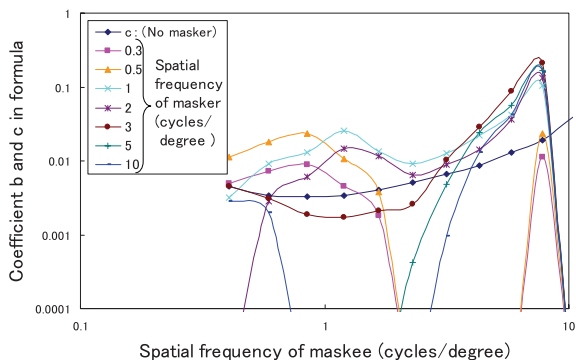
(2) マスクする側の変調がノイズの場合



(a) Achromatic channel ( $a=1.17$ )



(b) R-G channel ( $a=0.68$ )



(c) B-Y channel ( $a=0.76$ )

Fig. 5 Distributions of coefficient a, b and c in formula (2) when masker is sine wave.

#### 4 考察

定数 $b$ が部分的に0以下となって対数表記できていない部分があるが、マスク効果が少ない部分で誤差のため0以下になっているもので、微細な量であることもあり、実際に感度を推定する上では大きな問題にはならないと考える。

また、周波数が高い領域で、定数 $b$ が不規則な動きをしているが、これは、もともと、目の感度が低い領域であるための測定誤差がノイズとして乗っているためであ

り、もともと目の感度が低い領域なので評価に与える影響は小さいと考える。

Dalyが示した方向が近いとはどの範囲なのか、また、近い場合には近い周波数のみマスク効果が起こるのかそれとも全体に起こるマスク効果と混在するのか、残念ながら今回の実験では判らない。マスク効果の方向による依存性については、今後の課題としたい。

#### 5 おわりに

マスクする側の変調として、周波数が一定だが様々な方向、位相の波を含むノイズと、マスクされる波と直交する波とで視覚実験を行い、テーブルを用いた関数として定量的に計算できるようにした。また、今回の実験を通じて、以下のことが判った。

- ①直交するサイン波では、マスクされる側の幅広い範囲に対し概ね均等にマスク効果が見られる
- ②ノイズの場合には、均等に現れるマスク効果のほかに、マスクする側の周波数に近い波に対してより強いマスク効果が見られる
- ③方向が近い場合には、周波数に近い場合には少なくともマスクする側と近い周波数に対して強いマスク効果が現れ、角度が直交に近い場合には幅広い周波数に対して、弱いマスク効果が現れる。

これにより視覚特性を考慮した補正がより正確に行えるようになることが期待される。今後、ここで導出した関数を用いて、実際の画質評価に適用していきたい。

#### ●参考文献

- 1) I Garrett M. Johnson, Mark D. Fairchild: A Top Down Description of S-CIELAB and CIEDE2000, Color Research & Application Volume 28 Issue 6, pp.425-435, 2003
- 2) Scott Daly: The visible differences predictor: an algorithm for the assessment of image fidelity. Digital Images and Human Vision, The MIT Press, PP 179-206
- 3) Akiko Naito, Hideaki Haneishi: Image Quality Evaluation of Compressed Images Considering Characteristics of Human Visual System: ITE Technical Report Vol.32, No.34, PP.61~64, AIT2008-83(Jul. 2008) [in Japanese]

#### ●出典

本稿は日本画像学会“Imaging Conference JAPAN 2010”論文集からの転載である。本稿の著作権は日本画像学会が有する。