

JPEG 圧縮における画質劣化の視覚的パラメタ

黒 田 正治郎

抄録

JPEG 圧縮は、静止画の情報量を低減できる圧縮技術である。しかし、圧縮率を上げるとブロックノイズが目立つようになり、同時に画質の低下が感じられるようになる。そこで、圧縮率の異なる JPEG 画像の画質を比較し、JPEG 圧縮の限界を示す特徴的な量を考察する。

キーワード

JPEG 圧縮、画質劣化、視覚的パラメタ

Estimating Visually Parameters of the Picture Deterioration in the JPEG Compression

Kuroda, Shoziro

Abstract

JPEG is the compression technique that can reduce the amount of information of still images. However, as the compression ratio is raised higher, the amount of block noise increased and picture quality deteriorates significantly. Therefore, in this paper, characteristic quantity that indicates the limit of the JPEG compression on visual cognition is estimated.

Key Words

JPEG-compression, picture deterioration, visually parameters

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 実験
- § 3. 結果
- § 4. 問題点と課題

§ 1. はじめに

JPEG(Joint Photographic Experts Group) 圧縮¹⁾は、不可逆ではあるが、静止画像の情報量を1/10程度にまで低減できる圧縮技術であり、拡大印刷をしない場合や小型のモニター上で閲覧する場合には、圧縮による画像の劣化を知覚しにくい優れた方法である。そのため、静止画像の情報量を減らすという意味では、画質の劣化や視覚的な違和感を感じるまでの高圧縮が効果的であるが、高圧縮処理ではブロックノイズが目立ち色感も悪くなるという欠点もある。

そこで JPEG画像における圧縮率の視覚的効果を調べ、圧縮限界を示す指標を検討する。

§ 2. 実 験

1) サンプル画像作成

JPEG 圧縮による画質の視覚的変化を目視により調べるには、非圧縮の BMP原画像と圧縮された JPEG 画像を同時に見て画質の差異を確認する必要がある。そこで、モニター上に表示する画像として、同一視野に原画像と JPEG画像を横並べにした SXGAサイズ(1,280×1,024)の目視テスト用画像を作成した。

JPEG圧縮には、BMP原画像や JPEG画像から指定した圧縮率の JPEG画像を作成できる IGA氏制作の「iJPEGComp」²⁾を使用し、BMP原画像から12種類の圧縮率の異なる JPEG画像を作成した。一般的に使用されている JPEGでの圧縮率は10%~20%程度であることから、今回の実験での圧縮率を、原画像に対して1%~40%程度とした。なお、原画像のサイズは548×382であり、目視テスト用画像への加工には、Microsoft社の「PAINT」を使用した。

2) サンプリング

目視テストには、実験に協力していただける18歳~22歳の学生さんから、無作為抽出を行い、男：15人、女：20人の被験者を得た。

3) 実験方法

目視テストは、圧縮率の異なる12種類の目視テスト用画像と同一の非圧縮 BMP原画像2枚を横並びに配置した標準画像1種類の計13種類をそれぞれ5秒間モニターに表示し、原画像と JPEG画像に差を感じるかを回答用紙に Yes/Noで答えてもらった。目視テスト用画像は、圧縮率の順ではなく、ランダムに各3回表示するように表示用アプリケーションを作成した。閲覧には、補助的に Microsoft社の「Windows Picture and Fax Viewer」を使用した。

4) 使用システム

今回の実験で使用した PCの主な仕様は、CPU：CoreDuo2(2GHz)、OS：WindowsXP(SP2)であり、液晶モニターは標準的性能の SXGAサイズのものを使用した。

5) 開発言語と解析システム

画像閲覧(JpegViewer)、スペクトル解析(RGB-HSV SpectrumAnalyser)、データ分析(JpegNumericalAnalyser)など解析システム用のアプリケーションは、Visual BASIC(Ver.6.0)と Excelにより作成した^{3)~5)}。

§ 3. 結 果

1) JPEG画像における圧縮率と情報量との関連性

JPEGによる圧縮率が視覚に及ぼす影響と目視による圧縮率限界を調べるために、圧縮率の異なる12種類の JPEG画像を「iJPEGComp」を用い作成した。以降、BMP非圧縮画像を原画像、JPEGによる圧縮画像を JPEG画像とする。また、圧縮率は原画像の情報量を1とした場合の比率であり、圧縮率5%は、原画像の情報量を5%にまで縮小しているとする。

図1は、今回作成した JPEG画像の圧縮率と圧縮後の画像の情報量を示したものである。

図1に示すように、「iJPEGComp」による圧

縮において、圧縮率と圧縮の画像の情報量には画像情報量 (KB) = 614 · 圧縮率となる線形関係があることから、大きさの異なる原画像に対しても同一条件で圧縮実験が行えると思われる。そこで、今回の実験では、圧縮率を視覚に及ぼす影響を調べるための変数とした。

2) 目視テストの集計結果

同一の原画像 2 枚で構成される標準画像に対し、3 回とも画像の差はないと判定した被験者を被験者グループ 1 とした。さらに、目視テストの精度を上げるために、被験者グループ 1 に対して、圧縮率の異なる 12 種類の目視テスト用画像をランダムに 3 回ずつ表示し、その結果が 3 回とも同一の反応 (差あり or 差なし) を示した被験者を抽出し、目視による正しい識別ができる被験者グループ 2 とした。

目視テストの結果、上記 2 つの条件を満足した被験者グループ 2 は、男：10 人 女：11 人であったが、今回の実験では、JPEG 圧縮における画質劣化の視覚的パラメタを抽出することが目的であるため、年齢差や性別による比較は行わなかった。

被験者グループ 2 による目視テストの結果は図 2 である。横軸は圧縮率、縦軸は全サンプル中で同一視の判定が下されたサンプルの同一視比率である。原画像と JPEG 画像の比較において、圧

縮率 1.5% 以下では同一視の判定が 0% であり、被験者全員が原画像と JPEG 画像に差異を見だし、異なる画像として認識している結果となった。同一画像と判定されたテスト画像の平均同一視率は 40% であり、その時の圧縮率は 3.6% となった。さらに、3.6% 以下への圧縮では、同一視の比率が減少し差異を感じる被験者が増加することから、違和感なく見ることができる圧縮率は、原画像の 3% 程度といえそうである。

また、目視テスト後の評として、高圧縮率のサンプルでは「にじみが多い」「シャープさに欠ける」「ブロックノイズが目立つ」「暗くなる」などが多かった。

3) JPEG 画像における圧縮率の色変化に及ぼす効果

目視テストの結果において、高圧縮では減色が起こり「シャープさに欠ける」などの評価が出たことを考慮し、原画像と JPEG 画像の座標 (i, j) の画素 (以降 Pixel) の色情報 A(i, j) を抽出し、それぞれの色数 n_B 、 n_J から色数の変化率 $\Delta n = n_J / n_B$ を図 3 に示した。添え字の B は原画像、J は JPEG 画像を示す。

色情報 A(i, j) において、

$$\begin{aligned} 0 \leq i \leq \text{ScaleHeight} \\ 0 \leq j \leq \text{ScaleWidth} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(1)$$

図 3 において、実験に使用した原画像の色数は

図 1 JPEG 画像の情報量

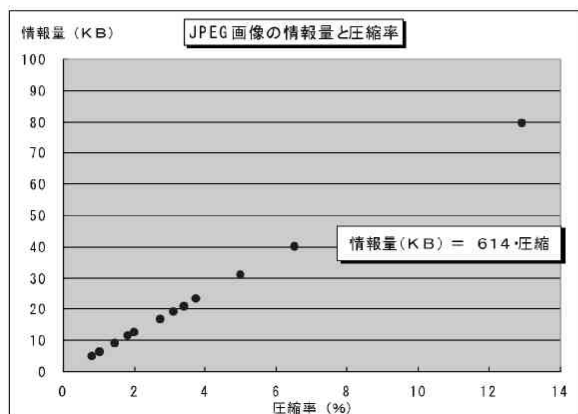
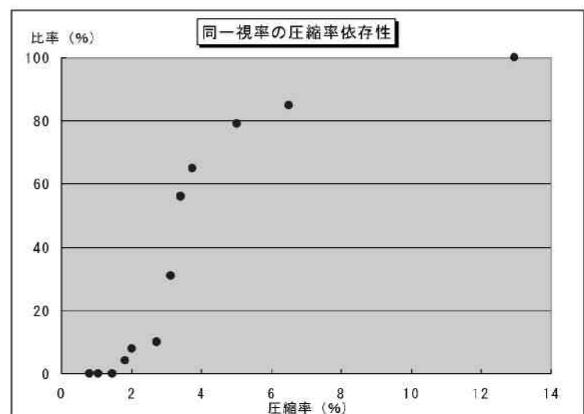


図 2 目視テストにおける同一視の圧縮率依存性



約20.9万色であり、圧縮率1%ではやや減少する傾向があるものの、原画像に比べ約0.1%の減色であった。しかし、圧縮率により変動が大きな領域があり一定の傾向は見だしにくく、また原画像の色数が、原画像の撮影条件や撮影対象により大きく異なるため、JPEG圧縮の限界を示す一般的な指標と言い難い結果になった。

次に、圧縮により変化した Pixel 数を調べるために、原画像と JPEG 画像の同じ位置にある色情報 $A(i, j)$ を抽出し、同値であるかを調べ同値の Pixel 数の比率 Δ_p を求めた。

図4は、原画像をもとにした圧縮率に対する JPEG 画像の色情報の変化率を示したもので、圧縮率5%前後までは圧縮による色変化率は緩やかに増加する傾向が認められた。さらに、4%以下への高圧縮画像になると急激に色変化が起こり、

図3 圧縮による色数の変化

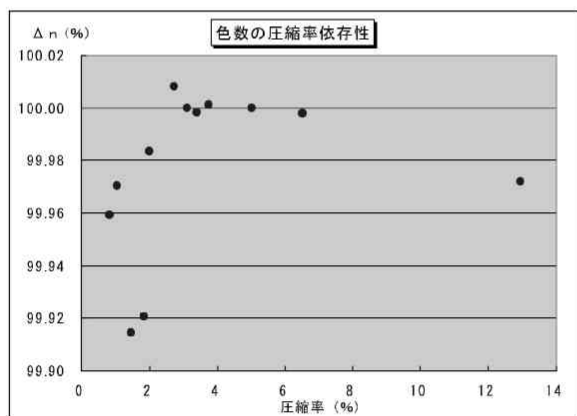
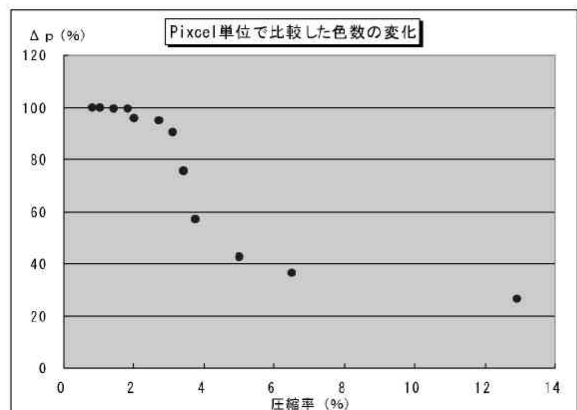


図4 原画像と JPEG 画像における同位置 Pixel の色変化の割合



圧縮率1%では、ほぼ100%の Pixel が原画像とは異なる色に変化していた。

目視テストの結果からも、減色が顕著になる3~4%程度が圧縮率の限界と判断できるため、圧縮限界を与える1つの量として、色情報の変化率が考えられる。

しかし、減色効果を算出するには原画像との比較が必要となるので、圧縮画像単体で算出できる圧縮限界を示す指標を検討した。

4) 色情報の RGB 分解と圧縮率効果

原画像および JPEG 画像の色情報 $A(i, j)$ は、R(Red), G(Green), B(Blue) を3要素とした RGB 形式で表すことができる。

$$A(i, j) = F(R, G, B) \quad \dots\dots(2)$$

$$(0 \leq R, G, B \leq 255)$$

また、R, G, B の3要素は、各画素の色情報 $A(i, j)$ から次の演算により演算することができる。ここで $R(i, j)$ は、画像の座標 (i, j) における Pixel のR要素を示す。

$$R(i, j) = A(i, j) \text{ And } \&HFF\&$$

$$G(i, j) = (A(i, j) \text{ And } \&HFF00\&) \text{ ¥ } \&H100$$

$$B(i, j) = (A(i, j) \text{ And } \&HFF0000\&) \text{ ¥ } \&H10000$$

$$\dots\dots(3)$$

そこで、(3)式を用いて得られた RGB各要素から、(4)式により RGB要素の和である σ_R , σ_G , σ_B を算出し圧縮率依存性を調べ図5に示した。なお、 Σ は式(1)の領域における加算を示している。

$$\sigma_R = \Sigma R(i, j)$$

$$\sigma_G = \Sigma G(i, j)$$

$$\sigma_B = \Sigma B(i, j) \quad \dots\dots\dots(4)$$

この結果から、今回のサンプルでは、RおよびG要素が多くB要素が少ない画像であること、また圧縮率1%程度までは、顕著な色成分の変化は認められないことから、RGB要素は圧縮限界を示

す指標として適していないことが分かった。

そこで、原画像の色成分の影響を少なくするために、(5)式で示すように各 RGB要素の原画像に対する相対値 ΔR 、 ΔG 、 ΔB を調べた。

$$\begin{aligned} \Delta R &= (\Sigma R_B(i, j) - \Sigma R_J(i, j)) / \Sigma R_B(i, j) \\ \Delta G &= (\Sigma G_B(i, j) - \Sigma G_J(i, j)) / \Sigma G_B(i, j) \\ \Delta B &= (\Sigma B_B(i, j) - \Sigma B_J(i, j)) / \Sigma B_B(i, j) \\ &\dots\dots(5) \end{aligned}$$

図 6 において、圧縮率 4 %程度までは RGB 各要素の色成分依存性は少なく、相対的变化はほぼ 0 であった。さらに 4 %以下への高圧縮率になると、RGB要素の変化の方向性が定まらない増減が観測されたことから、RGB要素の相対値を圧縮限界の指標としては利用しにくい。

5) RGB スペクトルにおける微分量の絶対値和と圧縮率の関連

RGB要素の圧縮による変化を詳細に調べるために、各画素の色情報A(i, j)から分離したRGB要素をもとに、3種類のRGBスペクトルを演算処理により算出した。なお、分解能は8ビットとした。

図 7 は、8ビットの分解能で処理をした後に、RGBスペクトルの最大度数で各スペクトルを規格化したものである。圧縮が高くなると特定の色成分が増加し、スペクトルの連続性が乱れる傾向が認められた。この変化を数量化するために、各RGBスペクトルにおける微分量の絶対値和 δR 、 δG 、 δB を試算した。ここで $dR(k)$ 、 $dG(k)$ 、 $dB(k)$ は、各RGBスペクトルにおける k 番目成

図 5 RGB 要素和の圧縮率依存性

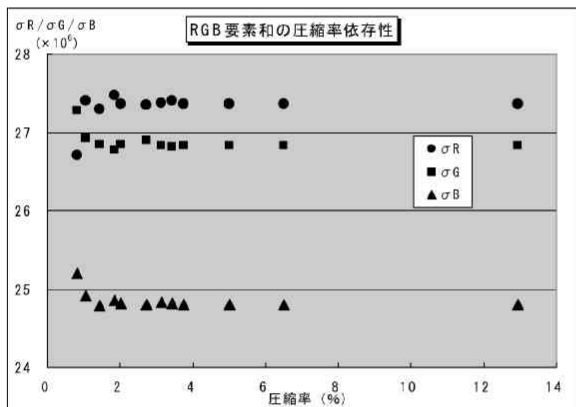


図 6 RGB 要素の相対的变化

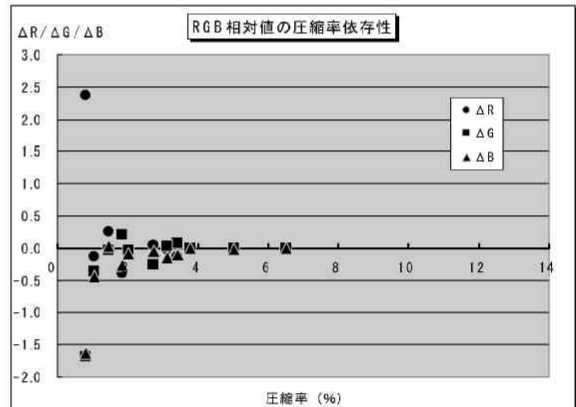
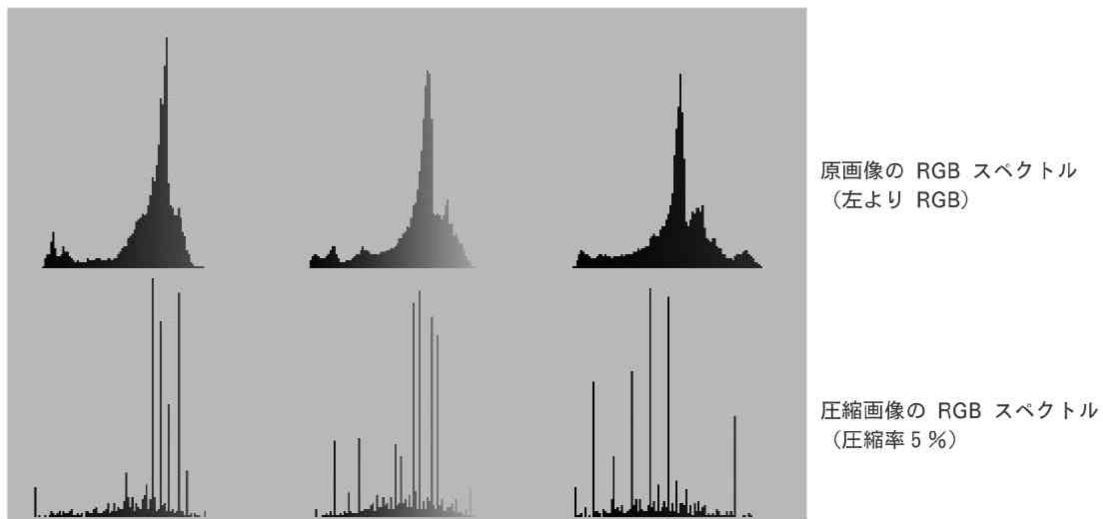


図 7 RGB スペクトル



分の微分量であり、Abs は絶対値を表す。

$$\begin{aligned} \delta R &= \sum \text{Abs}(dR(k)) \\ \delta G &= \sum \text{Abs}(dG(k)) \\ \delta B &= \sum \text{Abs}(dB(k)) \quad (0 \leq k \leq 255) \dots (6) \end{aligned}$$

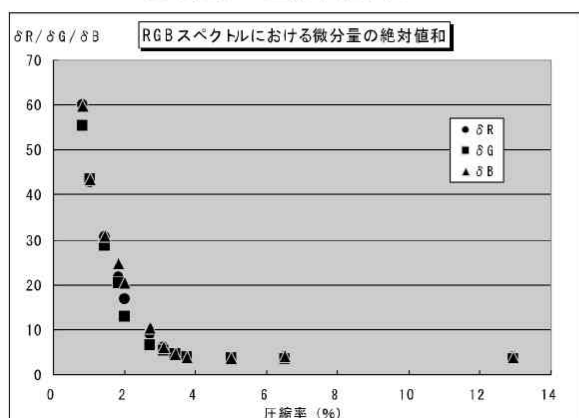
その結果、図8に示すように圧縮率3%前後から RGB要素に依存しない増加が認められた。これにより、RGBスペクトルにおける微分量の絶対値和が目視テストの結果に対応した圧縮率に対する視覚限界を示す指標の1つと判断できる。また、ダイナミックレンジは、ほぼ1桁であった。

6) HSV への変換、圧縮率と HSV の変化量

目視テストの結果、高圧縮の画像ほど JPEG 画像の明度が低下し暗くなる傾向を見いだした。この現象を数量化するために、色成分の影響が少なく、かつ色相や明暗の変化が顕著に現れる HSV要素(色相: Hue、彩度: Saturation、明度: Value)を(7)式により算出した。なお、各Pixelの色情報を RGB分解した後の座標 (i, j) における R, G, B の最大値、最小値をそれぞれ、max、min とした。

$$\begin{aligned} V(i, j) &= \max(\max=0 \text{ の場合, } H=0, S=0) \\ S(i, j) &= 255 \times \frac{\max - \min}{\max} \\ H(i, j) &= 60 \times \left(\frac{B(i, j) - G(i, j)}{\max - \min} \right) \quad (R \text{ が max の場合}) \end{aligned}$$

図8 RGB スペクトルにおける微分量の絶対値和の圧縮率依存性



$$\begin{aligned} H(i, j) &= 60 \times \left(2 + \frac{R(i, j) - B(i, j)}{\max - \min} \right) \quad (G \text{ が max の場合}) \\ H(i, j) &= 60 \times \left(4 + \frac{G(i, j) - R(i, j)}{\max - \min} \right) \quad (B \text{ が max の場合}) \end{aligned} \dots (7)$$

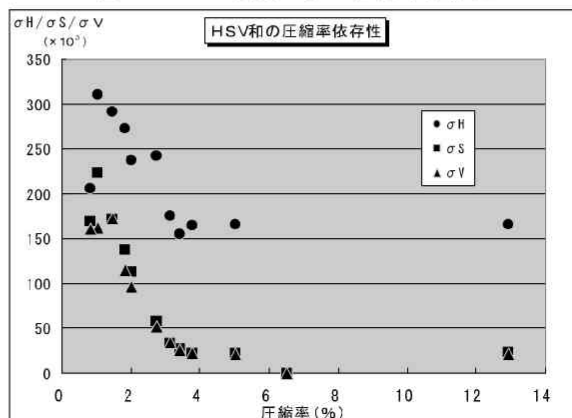
さらに、HSV 要素の和 $\sigma H, \sigma S, \sigma V$ を(8)式により算出し、その変化を図9に示した。

$$\begin{aligned} \sigma H &= \sum H(i, j) \\ \sigma S &= \sum S(i, j) \\ \sigma V &= \sum V(i, j) \dots (8) \end{aligned}$$

圧縮率3~4%までは $\sigma H, \sigma S, \sigma V$ はほぼ一定であり、高圧縮側で増加の傾向を示した。RGB要素に比べ HSV要素はダイナミックレンジが狭く、高圧縮時において変化の方向が一定でない結果となった。しかし、圧縮率3%程度から増加に転じる傾向は、目視テストの結果に対応していることから、HSV要素の和は圧縮限界の指標となりえると思われる。

さらに、原画像の持つ色成分依存性を減少させ、より詳しい圧縮の効果を調べるために、HSV各要素の原画像に対する相対値を(9)式により算出した。添え字のB、Jは、それぞれ原画像と JPEG 画像を示す。

図9 HSV 要素の和の圧縮率依存性



$$\begin{aligned} \Delta H &= (\Sigma H_B(i, j) - \Sigma H_J(i, j)) / \Sigma H_B(i, j) \\ \Delta S &= (\Sigma S_B(i, j) - \Sigma S_J(i, j)) / \Sigma S_B(i, j) \\ \Delta V &= (\Sigma V_B(i, j) - \Sigma V_J(i, j)) / \Sigma V_B(i, j) \\ &\dots\dots(9) \end{aligned}$$

図10に示したとおり、圧縮率4%までのHSV要素の相対値は、HSV要素依存性も少なくなくほぼ0%であった。また、圧縮率3%程度から増加に転じることから、HSV要素の相対値も圧縮限界の指標と考えられる。

図11は、(7)式により8ビット演算処理して得たHSVスペクトルである。RGBスペクトルと同様、圧縮が高くなると特定の成分が増加し、スペクトルの連続性が乱れる傾向が認められた。

この変化を数量化するために、HSVスペクトルにおける微分量の絶対値和 δH 、 δS 、 δV を算出し図12に示した。ここで $dH(m)$ 、 $dS(n)$ 、 $dV(n)$ は、各 HSVスペクトルにおける j および k 番号成分の微分量であり、Abs は絶対値を表す。

$$\begin{aligned} \delta H &= \Sigma \text{Abs}(dH(m)) \\ \delta S &= \Sigma \text{Abs}(dS(n)) \\ \delta V &= \Sigma \text{Abs}(dV(n)) \\ &(0 \leq m \leq 355, 0 \leq n \leq 255) \dots\dots(10) \end{aligned}$$

HSVスペクトルの微分量の絶対値和は、H要素がSおよびV要素に比べ大きいものの、圧縮率4%までの変化はほぼ0%であった。また、図10と

図10 HSV スペクトルにおける相対値の圧縮率依存性

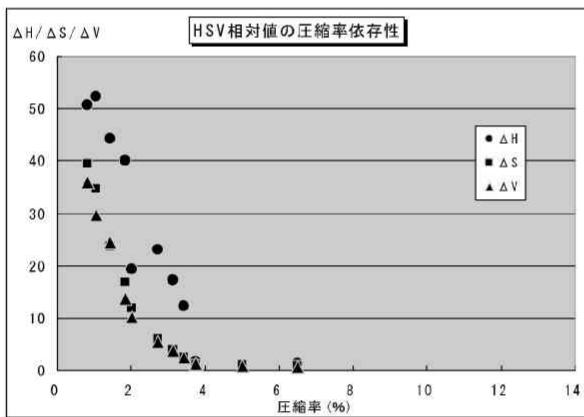


図12 HSV スペクトルにおける微分量の絶対値和の圧縮率依存性

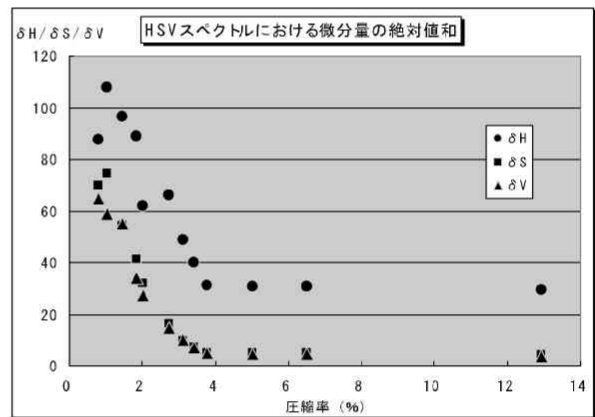
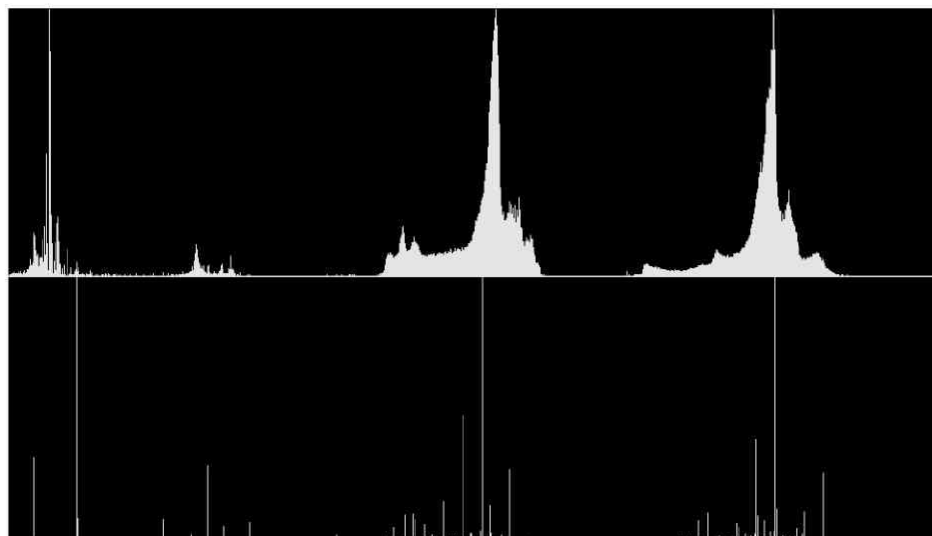


図11 HSV スペクトル



原画像の HSV スペクトル
(左より HSV)

圧縮画像の HSV スペクトル
(圧縮率 5%)

同様、圧縮率3%くらいから増加に転じることから、HSV要素の微分量の絶対値和も圧縮限界の指標となりうると考えられる。

§ 4. 問題点と課題

今回の実験で、JPEG圧縮による視覚限界を示す特徴的な量として、JPEG圧縮により変化するPixelの色数やRGBスペクトルおよびHSVスペクトルにおける相対値や微分量和を見いだした。

JPEG圧縮の原理上、高圧縮をかけると減色されることや、圧縮に対する感度やダイナミックレンジなどの問題は残るが、簡便に算出できる量や少し複雑な処理を必要とするものなども含め、今後は被験者数を増やした目視実験の実施とともに、

色相の異なる画像や特定の色相が強い画像、アニメなど256色の画像などに対して、JPEG圧縮による視覚における圧縮限界を調べ、今回得られた結果の精度を上げ、最適な指標を決定していく予定である。

参考文献

- (1) 谷尻豊寿、『画像処理入門』、技術評論社、1996、pp. 13-136
- (2) IGA、「iJPEGComp」、〈<http://hp.vector.co.jp/authors/VA021891/>〉 (20080120)
- (3) 山住富也、『Visual BASIC 6.0 実践入門』、技術評論社、1998、pp. 216-307
- (4) 金藤 仁、『自動計測のための Visual BASIC 6.0』、技術評論社、2002、pp. 93-106、pp. 203-269
- (5) 河西朝雄、『Visual BASIC for Windows』、ナツメ社、1994、pp. 182-286