

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 5 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22500191

研究課題名（和文）画像の種類・劣化要因と視覚的に知覚できる劣化限界の関連性について

研究課題名（英文）Study on correlation between deterioration perception threshold and degradation factor/degree of images

研究代表者

田口 亮 (TAGUCHI AKIRA)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：40216825

研究成果の概要（和文）：ヒトは画像の種類（絵柄、劣化要因）の違いによって同じ PSNR（劣化度）である画像を異なった劣化度と感じる。本研究では、画像特徴（エッジ量）とヒトが劣化を感じる限界値（劣化知覚閾値 DPT）に相関性を見出した。すなわち、「絵柄の違い」は「エッジ量の違い」であることを明らかにした。「画像サイズ」に対しはその関係が不変であることを見出すことができた。さらに、脳波（事象関連電位）の波形特徴 P300 の潜時・ピーク値と呈示した画像の劣化度に相関性を見出した。

研究成果の概要（英文）：Human beings often cannot feel the same quality images which have same PSNR depend on the kind of images and the kind of deterioration factors. We first define the perceptible degradation limit PSNR which is called Deterioration Perception Threshold (DPT). And we show the Amount of Edge (AOE) which is a simple image feature is correlated with DPT. Next, we investigate the DPT of the same images which are reduced two times from its original size by using ideal half-band filter. The negative linear relation between DPT and AOE of reduced size images is exactly the same as that of original size images. Further, the quality of images can be evaluated by latency and peak height of P300 of the event related potentials (ERP)

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 22 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
平成 23 年度	600,000	180,000	780,000
平成 24 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：劣化知覚閾値、主観評価、事象関連電位、PSNR

1. 研究開始当初の背景

画像は圧縮符号化や伝送系での雑音やぼけの影響により劣化が加わる。符号化に際しては画質の保証のために、雑音やぼけでは復元を行った際の効果を明らかにするために、それぞれ画質評価を行う必要がある。

これまで最も用いられてきた客観評価値

は評価対象の原画像が表現し得る「最大信号振幅の 2 乗」と「原画像と評価を行う画像間の平均 2 乗誤差」との比をデシベル表示した PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) であった。

同じ PSNR 値を持つ画像であっても、劣化の種類の違いにより視覚的には同じ画質とは判断できない。さらに、画像の種類（詳細

部分が多い画像か否か等)が異なれば、同じ PSNR の画像を同じ画質の画像とは視覚的には判断できない。

現状では、PSNR 値は画質評価の参考にはなるが、視覚的な意味での絶対的な評価とは成り得ない。このような背景から、画像間の構造の類似も考慮した視覚特性に近い新しい客観評価量の提案が成されてきているが、主観評価との関係は不十分である。すなわち、主観評価との関わりが明確化された客観量を定義することで視覚的な判定と一致する評価量を与えることが必要である。さらに、主観評価をつかさどる脳からの信号である脳波による画像評価の可能性を探る必要がある。

2. 研究の目的

(1) 視覚的に画像劣化を感じる限界である劣化知覚閾値 (Deterioration Perception Threshold: DPT) を PSNR 値により定義し、画像の種類と DPT の関係を明らかにする (DPT の定義は本研究が初めてである)。DPT が各画像の PSNR 値の基準となることから、DPT を基準とした画質に関わる評価量を与えることで、画像の違いを超えて普遍性の高い画質の客観評価量が定義される。

(2) 脳波 (事象関連電位:ERP) を用いて画像の劣化度と脳波に相関性を見出す。そのことから脳波の波形特徴量から普遍的な画像評価指標を導く。

3. 研究の方法

(1) 画像の種類と劣化知覚閾値 (DPT)

① DPT の定義とその測定

本研究ではテスト画像として、サイズは 512×512 でビット長は 8 ビットである、boat, bridge, crowd, Lenna, plane, woman の 6 画像を使用した。図 1 に実験に使用したテスト画像を、図 2 に実験環境を示す。



(a) boat (b) bridge (c) crowd



(d) Lenna (e) plane (f) woman

図 1 主観テストに用いたテスト画像群

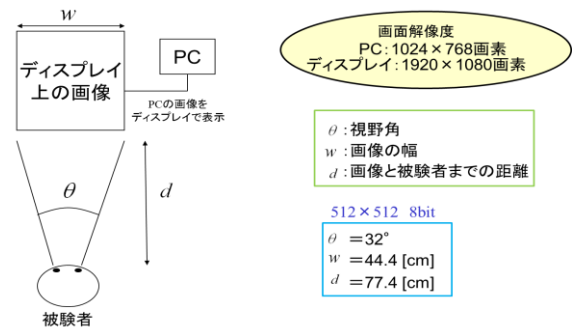


図 2 実験環境

512×512 の画像をディスプレイに表示すると $44.4 \text{ cm} \times 44.4 \text{ cm}$ となる。視野角を 32° に設定して、ディスプレイから被験者までの距離は 77.4 cm となる。

実験に用いる画像それぞれに対して分散の異なる白色性ガウス雑音を重畳させて、 21.0 dB , 24.0 dB , 26.5 dB , 28.1 dB , 30.1 dB , 32.1 dB , 36.1 dB の 7 種の画像を作成する。7 種の劣化画像に原画像を加えた 8 種類の画像を 8 枚ずつ (計 64 枚) 用意し、それらをランダムに並べる。画像とブランク (輝度値 128 の灰色画像) を 2 秒ずつ交互に呈示し、64 枚の画像が全て呈示されるまで続ける。被験者には呈示された画像に対して「劣化を感じたら ×」を「劣化を感じなかったら ○」を評価票に記入してもらう。

被験者は 20 歳代の男性 3 名で 4 回ずつ評価実験を行った。

② 画像のエッジ量と DPT の関連性の検討

(1)-①の実験から DPT を求め、その DPT と画像特徴との関係を検討するための方法を示す。画像特徴としてエッジ量に着目した。

エッジ量の算出は次の通りである。画像信号に対してソベルオペレータを適用し、エッジ強度を示す画像を作成する。その画像に対して閾値処理を行い 2 値のエッジ画像を得る。2 値画像から白の画素 (エッジに対応) の画像全体に占める割合 (%) を求め、エッジ量とする。このエッジ量と DPT の関連性について検討を行う。

③ DPT の画像サイズ (解像度) 依存性の検討

DPT とエッジ量との関係の画像サイズ (解像度) に対する依存性を調査する。

ここでは、図 1 で示す画像に対して理想低域通過型フィルタとダウンサンプリングによって画像サイズが 256×256 の 6 画像を得る。ディスプレイと被験者の距離は、1 画素あたりの視野角を統一するように設定する。よって、図 2 で示されている視野角を 16° となり、ディスプレイから被験者までの距離は 79 cm と算出される。DPT 測定実験の手続きは (1)-①と同様である。

④ DPT の画像平均階調値依存性の検討

図 1 の 6 画像はほぼ平均値が 128 (8 ビット

ト画像の中間値)であったが、画像の平均階調値が変化したときにDPTとエッジ量の関係が保たれるか否かを調査する。

画像の平均階調値を変化させる手段としては、ガンマ変換を用いる。ここでは、 $\gamma=0.4$ で平均階調値が高い(平均階調値180前後)6画像を作成し、 $\gamma=2.5$ で平均階調値が低い6画像(平均階調値50前後)を作成する。画像サイズは512×512であるから、実験環境・内容は(1)-①と同じとする。

(2) 脳波(事象関連電位:ERP)の波形特徴(P300)による画像劣化の定量化

●被験者と実験環境

オドボール課題によってERPを観測し、ERPのP300の波形特徴を調べる。P300の波形特徴は性別・年齢の影響を受ける。ここでは、22~24歳の7名の健康な男性を被験者とし、被験者の性別を揃えた。また、全ての実験は17時~20時の間に行い、測定時間帯のP300へ及ぼす影響も回避するようにした。

被験者には刺激視野に対する視野角を 16° とするために画像を表示する40インチディスプレイから2.24m離れた位置に座ってもらう。

脳波の計測は本科研費で購入したポリメイト AP216(株式会社デジテックス研究所開発製造、ティアック株式会社販売)を用いて行い、AD変換は16ビット、500Hzとした。計測位置はP300電位が良く出現するとされる頭頂の位置である国際10-20法におけるCzとした。なお、基準電極は左耳朶に接地電極は右耳朶に設置した。

実験に用いるテスト画像は図1で示されたLennaとbridgeである。bridgeは詳細部の多い画像であり、Lennaとの比較において、ヒトがガウス性雑音の影響を感じ難い画像である。

画像の劣化度の客観評価値であるPSNRは、8ビット画像においては、 $PSNR=10\log(255^2/\text{雑音分散})$ [dB]で定義される。本実験では劣化画像をPSNRが36.1dBから26.5dBの間で5種類作成した。このPSNR帯の劣化画像はヒトが劣化を感じる限界に近い画像である。

オドボール課題の1回の試行において60枚の画像を呈示する。高頻度刺激(原画像)を48枚、低頻度刺激(同じPSNR値の劣化画像)を12枚とした。低頻度刺激を高頻度刺激にランダムに混ぜ、画像を1枚ずつ1秒間呈示し、画像間には灰色単色のブランクを2秒挿入し60枚の画像を順に呈示する。被験者には呈示された画像が劣化していると判断したときに、手元のボタンを押すよう指示した。なお、眼球の動きを抑制するために、画像の中央に固視点を設けた。まばたきは画像間に設けた2秒のブランクの間に行ってもらおう。さらに、筋電位を抑制するため、リラ

ックスした姿勢を保持してもらう。

●ERP波形の取得と処理

ERPにおけるP300を観測することが目的であるから、ERP波形の観測は画像呈示から600ms行う。

測定されたERP波形は、バイアス変動の除去とP300の潜時・ピーク値を正確に保存し不要な高周波数成分を除去するために、DFT領域で1.67Hz以下と8Hz以上の周波数成分を除去した。

解析対象であるボタン押しを行った時のERP波形群に対して加算平均法を適用して背景脳波の除去を試みる。ここでは、適応相関フィルタ法により、時間方向での波形の合わせ込みを行い、さらに、相関値選択型加算平均法を適用する。相関値に対する閾値を0.2と設定した。

4. 研究成果

(1) 画像の種類と劣化知覚閾値(DPT)

① DPTの定義とその測定

被験者は20歳代の男性3名で4回ずつ評価実験を行った。6画像に対する実験結果を横軸が劣化画像のPSNR(dB)、縦軸が劣化を感じた割合、でプロットしその特性をシグモイド関数で近似する。その結果を図3に示す。そして、シグモイド関数近似曲線を用いて、劣化を感じた割合が0.5(50%)のときのPSNR値をDPTと定義する。

実験で用いた画像のDPTを表1に示す。bridgeなどの原画像に詳細部分が画像中に多く占めている画像はDPTが低くなっている。Lennaやwomanのような人物画は髪飾りや髪の毛の部分が詳細部分となるが、肌や背景部分等の平坦部分が比較的広いため、DPTが高くなっていると考えられる。このことから、原画像中に占める詳細部分の割合とDPTに関係があると考えられる。そこで、原画像中に占める詳細部分の割合をエッジ量と称し、エッジ量とDPTの関係について明らかにする(エッジ量の算出方法は(1)-②を参照のこと)。

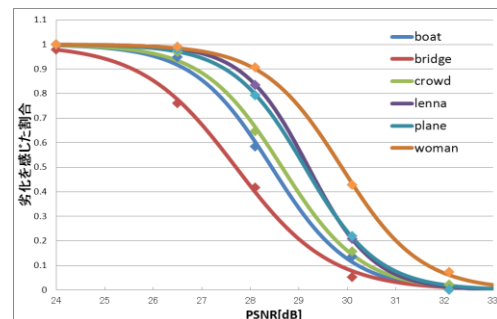


図3 6つのテスト画像に対する劣化度と劣化を感じた割合との関係

② 画像のエッジ量と DPT の関連性の検討

横軸をエッジ量 (%), 縦軸を DPT (dB) とし、実験に用いた 6 画像に対してプロットすると、いずれの画像もその関係はほぼ負の傾きの直線となることから、その特性を直線近似する。直線近似の精度から、エッジ量算出の際の閾値を 20 とした。

閾値が 20 の時の「エッジ量-DPT 特性」を図 4 に示す。図 4 よりエッジ量の増加に伴い DPT が直線的に小さくなることが確認できる。これにより、任意の画像を与えられたとき、その画像のエッジ量を調べることで主観実験を行わずに DPT を求めることができる。

表 1 6 つの画像に対する DPT

画像名	bridge	boat	crowd
DPT (dB)	27.7	28.4	28.6
画像名	plane	Lenna	woman
DPT (dB)	29.1	29.2	29.9

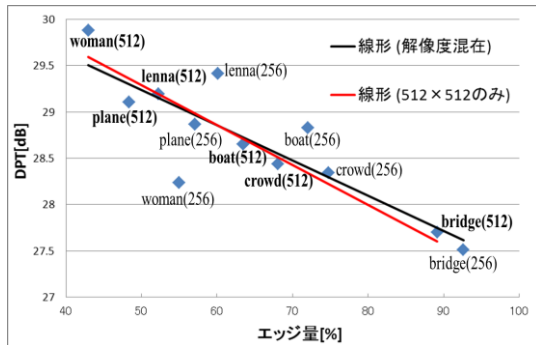


図 4 エッジ量と DPT との関係

③ DPT の画像サイズ (解像度) 依存性の検討

ここまでの検討で、画像のサイズ (解像度) が 512×512 のエッジ量と DPT の関係を求めた。そこで、画像サイズ (解像度) の変化がエッジ量と DPT と関係に影響するか否かを調査する。理想的に縮小 (解像度低下) させたサイズ 256×256 の画像に対して、一画素あたりの視野角を揃えた実験環境で実験を行い、エッジ量と DPT の関係を調べる。その結果を図 4 に示す。

図 4 から、サイズが 512×512 画像で導かれたエッジ量と DPT の関係と同じ関係が 256×256 サイズの画像からも導かれた。エッジ量と DPT の関係は画像の解像度に依存しないことが明らかにされた。

④ DPT の画像平均階調値依存性の検討

ガンマ変換による平均階調値を上げることにより画像のコントラスト低下が起こり、そのことで、加法雑音の認知が容易となり、PSNR 値に関わらず一定の DPT (31dB) を示した。

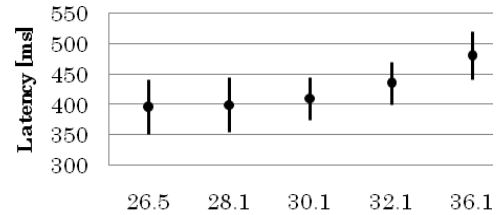
一方、平均階調値を下げた場合もコントラストの低下は起きるものの、PSNR 値と DPT との間の直線関係は保たれる。しかしながら、

この場合も関係式は変化する。

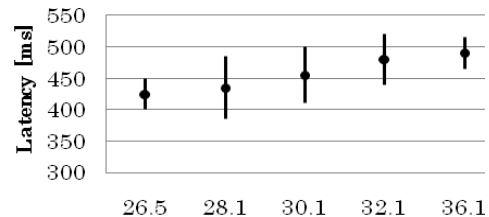
(2) 脳波 (事象関連電位 : ERP) の波形特徴 (P300) による画像劣化の定量化

① 画像の劣化度と P300 の潜時との関係

各劣化画像の各被験者におけるボタン押しを行った時に測定された ERP 波形群に対し処理を施し解析対象 ERP 波形を得る。その ERP 波形から P300 の潜時の平均値と標準偏差を求め、図 5 に示す。PSNR が高くなると潜時が長くなる傾向がある。



(a) Lenna



(b) bridge

図 5 P300 の潜時の平均値および標準偏差

Lenna に対しては 36.5dB の画像に対する潜時の平均値が 32.1dB の画像を除いた 3 画像に対する潜時の平均値と有意水準 5% ($p=0.05$) において差異があると判定される。一方、bridge に対しては 32.1dB と 36.1dB の潜時と 26.5dB の潜時に差異が認められる。

同一画像においては PSNR 値が大きいほど、劣化の識別が困難となり、課題の難度が高まることで P300 の潜時が長くなることが分かる。

② 画像の劣化度と P300 のピーク値との関係

次に、ERP 波形における P300 のピーク値の平均値および標準偏差を図 6 に示す。ここでも、画像の劣化度合いを PSNR 値で示した時に、PSNR 値が大きくなるとピーク値が小さくなる関係が見られる。すなわち、雑音の認知が困難になると P300 のピーク値が小さくなる事が分かる。

Lenna では、36.1dB における画像に対するピーク値の平均と 26.5dB, 28.1dB の画像に対するピーク値の平均との間に有意水準 5% において差異が認められる。bridge では

26.5dB における画像に対するピーク値と 36.1dB の画像に対するピーク値のみに差異が認められる。

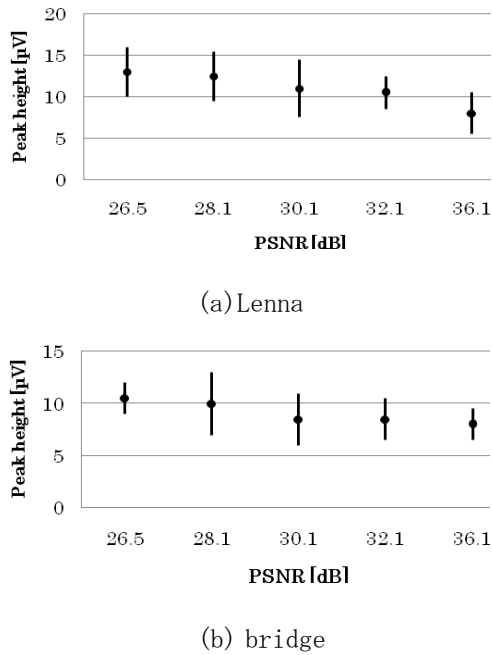


図6 P300 のピーク値の平均値と標準偏差

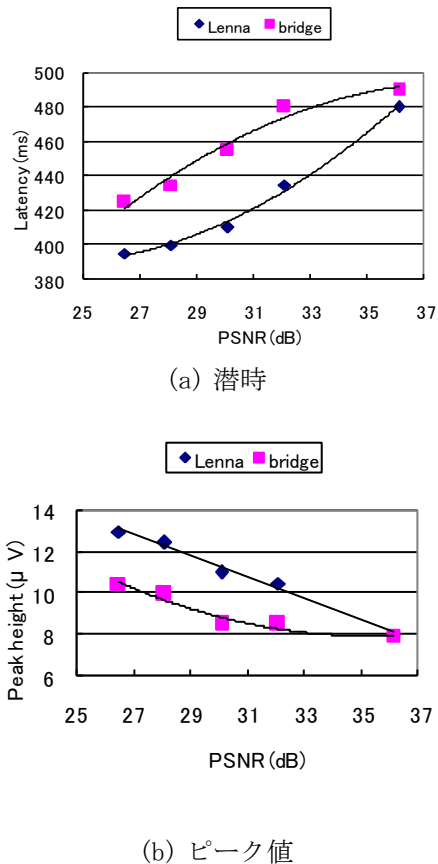


図7 PSNR 値と P300 波形特徴との関係

③画像の評価量としての P300 波形特徴

Lenna と bridge の各 PSNR 画像に対する P300 の潜時とピーク値との関係をプロットとしたものが図 7(a), (b)である。

図 7(a), (b)において同じ潜時もしくはピーク値をもつ Lenna と bridge の劣化画像をヒトは同程度の劣化画像と見なしていると考えられる。その考え方に基づけば、2 つの特性間の距離が Lenna と bridge の劣化に対する主観的な差異を PSNR 値で換算したものとなる。図 7(a), (b)において bridge の特性を共に 4dB~5dB 右にシフトさせることで Lenna の特性にほぼ重なることが分かる。すなわち、ヒトが劣化を感じる限界に近い PSNR 値帯においては同じ劣化度合いと判断できる Lenna と bridge の間には PSNR 値で 4dB~5dB の差異があることを示している。

以上から、ヒトの絶対的な劣化度合いの判定を P300 の潜時とピーク値から知ることが可能であり、その結果を用いることで、最もよく使われて客観評価量である PSNR 値の画像間の差異を補正することも可能と言える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① Akira Taguchi、The relationship between the characteristics of P300 waveform and the PSNR of observed test images、Proceedings of International technical Conferences on Circuits/ Systems, Computers and Communications、査読有、1 巻、2012、D-M2-02 1-4
DOI:なし
- ② 村平宏太、田口亮、ヒストグラム均等化に基づくカラー画像強調法、電子情報通信学会論文誌 A、査読有、J95-A 巻、2012、817-821
Online ISSN: 1881-0195
- ③ 村平宏太、川上昂、田口亮、コントラスト改善のためのヒストグラム平坦化に基づく適切な階調値変換関数導出法、電気学会論文誌 C、査読有、131 巻、2011、1786-1793
DOI: 10.1541/ieejciss.131.1786
- ④ Kota Murahira、Akira Taguchi、A Novel Contrast Enhancement Method Using Differential Gray-levels Histogram、Proc. ISPACS 2011、査読有、1 巻、1-5
DOI: 10.1109/ISPACS.2011.6146075
- ⑤ 田口亮、小野洋平、オドボール課題における P300 の波形特徴による画像の劣化度の判定、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、SIS2011-7 巻、31-34
ISSN 0913-5685

- ⑥ 田口亮、小野洋平、画像の劣化度と P300 との関連性についての検討、電子情報通信学会 2011 年総合大会講演論文集、査読無、基礎・境界巻、2011、296
ISSN 1349-1377
- ⑦ 桑原正史、田口亮、ガウス性雑音劣化画像に対する劣化知覚閾値の推定、電子情報通信学会 2011 年総合大会講演論文集、査読無、基礎・境界巻、2011、301
ISSN 1349-1377
- ⑧ 小野洋平、田口亮、画像の劣化度と P300 との関連性についての検討、2011 年電子情報通信学会総合大会 基礎・境界講演論文集、査読無、1 巻、2011、296
- ⑨ 桑原正史、田口亮、ガウス性雑音劣化画像に対する劣化知覚閾値の推定、2011 年電子情報通信学会総合大会 基礎・境界講演論文集、査読無、1 巻、2011、301
- ⑩ 川上昂、村平宏太、田口亮、画像の平均階調値保存を考慮した強調度が可変なヒストグラム平坦化、電気学会論文誌 C、査読有、130 巻、2010、1678-1679
- ⑪ 桑原正史、田口亮、ガウス性雑音劣化画像の劣化知覚閾値と画像エッジ量との相関性、電子情報通信学会技術研究報告、査読無、SIS2010-24 巻、2010、59-62
- ⑫ 桑原正史、田口亮、ガウス性雑音劣化画像の劣化知覚閾値と画像エッジ量との相関性、2010 年電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会講演論文集、査読無、1 巻、2010、171

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田口 亮 (TAGUCHI AKIRA)
東京都市大学・工学部・教授
研究者番号：40216825