

Title	高品位映像の評価 : 脳波を指標とする客観評価法
Author(s)	林, 秀彦; 國藤, 進; 宮原, 誠
Citation	映像情報メディア学会誌 : 映像情報メディア, 56(6): 954-962
Issue Date	2002-06-01
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/7810">http://hdl.handle.net/10119/7810</a>
Rights	Copyright (C) 2002 映像情報メディア学会. 林 秀彦、國藤 進、宮原 誠, 映像情報メディア学会誌 : 映像情報メディア, 56(6), 2002, 954-962. 本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
Description	

## 高品位映像の評価 — 脳波を指標とする客観評価法 —

## Assessment of High-Order Sensations in Extra-High-Quality Images Using Electroencephalography

学生会員 林 秀彦<sup>†</sup>, 國藤 進<sup>†</sup>, 正会員 宮原 誠<sup>††</sup>Hidehiko Hayashi<sup>†</sup>, Susumu Kunifuji<sup>†</sup> and Makoto Miyahara<sup>††</sup>

**Abstract** In the field of VR systems, the AR technology is a topic. And so, beyond the conventional understanding that “high resolution” is equal to “high quality” of images displayed on a CRT display, we are conducting basic research on technologies needed to develop an extra-high-quality imaging system, one that can convey high-order sensations, which convey deep artistic and emotional information. We designed an objective test for assessing extra-high-quality images that focuses more on high-order sensations than do subjective tests. An extra-high-quality imaging system is characterized by 4096 quantization levels for each R, G, and B. We assessed image quality by changing the quantization levels. The objective test was administered using electroencephalography (EEG). We found that the power of alpha-EEG was higher in images with a higher quantization level, meaning that EEG should create a good index for assessing the high-order sensations in extra-high-quality images.

キーワード：高忠実画像システム, 高度感性情報, 量子化ビット数, 主観評価法, 客観評価法, 脳波

## 1. はじめに

近年, 電子美術館・博物館では, 芸術的作品などのデジタルアーカイブ<sup>1)</sup>の研究が盛んである. その目的は種々あるが, 現状ではオリジナルに内在する深い表現が保存され, 再現されるにはかなりの問題があるといわれる<sup>2)</sup>. また一方, グループウェアの分野では, アウェアネスについての研究<sup>3)</sup>が盛んになってきた. その場の雰囲気, 臨場感といった深いアウェアネスをも伝達したい. 以上の目的の達成には高品位な映像の忠実な再生が望まれる. さらに, VR システムの分野では VR の新たな展開として複合現実感と呼ばれる技術が注目を集めており, そのなかでも AR (Augmented Reality)<sup>4)</sup> 技術の新たな形態の1つとして高品位な映像表現に対する期待が高まりつつある. 近年, 大容量の双方向通信方式も可能となり, 高品位な映像を再生するための周囲状況も可能性がでてきている. また, 医

療診断など多くの分野でも高忠実な画像を再現することは重要な研究領域となっている.

我々は, 芸術的作品などを鑑賞する者に感動をよびおこすような高度な情報(高度感性情報<sup>5)</sup>)を、電子的に歪みなくその鑑賞者に伝えることを目的として, その基礎研究とそれに基づいて高忠実画像システム<sup>6)</sup>の開発を行ってきた. 現在, 高度感性情報が伝達されるために重要な6つの物理要因・特性が宮原らにより発見, 改善され<sup>6)7)</sup>, それを実現したパイロットシステムができあがっている.

高忠実画像システムの開発において, 高品位映像の評価は心理物理学的に未発見の要因・特性を発見するための重要な役割を担っている. しかし, 評価装置が確定し, それを用いて映像を評価する場合に主観評価方法だけでは, その評価は曖昧になりやすく説得力に乏しい. 高品位映像の評価技術についての研究は, まだ始まったばかりであり, その確立は複合現実感などを含む新たな感性評価技術の基盤作りとして重要である. 本稿では, 高品位映像の客観評価法の一つとして自発脳波(以後, 単に脳波と呼ぶ)が利用できないかを検討した.

2. では従来の画質評価技術との比較から高品位映像の評価の特徴を記述する. 3. では本論文における高品位映像を定義し, 4. では高品位映像の表示に必要な高忠実画像システムについて説明する. 5. では評価映像の選定について記述し, 高品位映像と基準映像の間に定量的な差があることを差分電力により確認し, 高品位映像の性質を分析

2001年11月1日受付, 2002年2月4日再受付, 2002年3月7日採録  
<sup>†</sup>北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科  
 (〒923-1292 石川県能美郡辰口町旭台 1-1, TEL 0761-51-1699 (内線 1854))

<sup>††</sup>北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科  
 (〒923-1292 石川県能美郡辰口町旭台 1-1, TEL 0761-51-1230)  
<sup>†</sup>School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology  
 (Asahidai 1-1, Tatsunokuchi, Ishikawa 923-1292, Japan)  
<sup>††</sup>School of Information Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology  
 (Asahidai 1-1, Tatsunokuchi, Ishikawa 923-1292, Japan)

する試みとして、画像内の信号の位置依存性を示すために微分映像の差分処理による分析結果について記述する。6. では実験条件について詳述し、7. , 8. では主観評価実験、客観評価実験についてそれぞれ記述する。9. , 10. では各評価実験の結果を考察し、結果をまとめる。

## 2. 高品位映像の評価

映像の評価は目的に応じて適切に評価されることが望ましく、主観評価法と客観評価法に分けられる<sup>9)</sup>。さらに客観評価法は映像の物理要因を測定対象とした評価と人間の映像に対する生理反応を測定対象とした評価に分けられ、本稿では特に後者を客観評価法と呼ぶこととする。

主観評価法では、符号化映像や高精細映像などの劣化度や精細度の評価<sup>9)</sup>までは行われており、ITU-R 勧告にあるように評価技術がよく整備されている<sup>9)10)</sup>。しかし、高品位映像レベルでの評価技術の検討は始まったばかりである。高品位映像の場合、後の評価実験で示されるように、実在感、自然さといった評価語で代表される心理量変化が大きいいため、評価が曖昧になりやすく、高品位映像のニュアンスの違いを安定した評価値として得ることが難しい。しかも高品位映像を評価するための適切な評価語を決定することは難しく、亀田らは高度な芸術性を考慮した評価語の収集を行い、その評価語間の階層構造を解析的に明らかにする研究にチャレンジしている<sup>11)</sup>。

一方、客観評価法には、瞳孔面積、焦点調節、重心移動、脳波などを指標とした研究がこれまでに報告されている<sup>9)12)13)</sup>。大橋らは、脳波に着目してNTSC方式とHDTV方式の精細度の違いや、人工静止テクスチャの違いで $\alpha$ 帯域波発生量に違いが生じることを報告している<sup>13)15)</sup>。これらの研究は従来、脳波における $\alpha$ -blocking（開眼により $\alpha$ 波が減衰する現象）により視覚刺激の評価が困難とされていたが、それを克服し、映像情報メディアの客観評価法の可能性を示唆した目覚ましい進展であると考えられる。ただし、これらの報告はそれぞれの目的に応じて実験条件を設定しており、本論文の目的である高品位映像の評価には新たな実験条件の検討が必要である。

我々は高品位映像の客観評価法として脳波の変化が使えるのではないかと考え、脳波計測による評価方法を検討した。何故なら、人間の感覚器から入る刺激は中枢神経系を通して認識されるため<sup>9)</sup>、高品位映像から受ける人間の反応を計測するには、脳細胞に直接電極を挿入し、その反応を計測することが直接的である。しかし、生きた人間に直接電極を挿入し、その反応を計測するわけにはいかない。従って、脳内活動を外側から計測する表面電極法による脳波計測が有効と考えられる。このうち感性与最も関連する脳波は、8 から 13Hz の $\alpha$ 帯域波であると考えられている<sup>16)</sup>。大橋らによる可聴域上限を超える高周波成分を含む音を聴いているときの脳波計測を用いた評価実験での報告は、測定された $\alpha$ 波パワーが増大しているときは、心理的

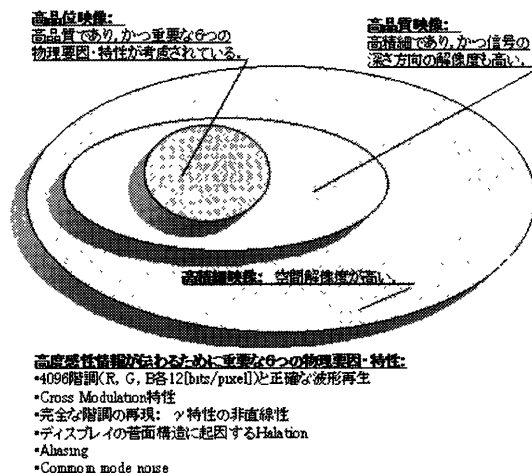


図 1 高品位映像。

Fig.1 Extra high quality image.

には現実感、臨場感を感じているときであることを示唆している<sup>17)18)</sup>。高品位映像を観測した場合、主観評価法では曖昧になりやすい実在感、自然さといった評価語で代表される心理量の変化があるとすると、それに関連して $\alpha$ 帯域波の変化量を観測できる可能性がある。以上の点を考慮して、高品位映像の評価方法を検討し、高品位映像の客観評価法として脳波計測による評価方法の有効性を示す。

## 3. 高品位映像

映像品質の評価において、高精細、高品質、高品位の映像分類は明瞭ではないため、本論文では高精細映像、高品質映像、高品位映像を図1の概念図で示し、次のように定義する。

高精細映像とは空間解像度が高い映像のことであり、NTSC方式の2倍のライン数をもつHDTV方式などがその代表とされている。

高品質映像とは高精細かつ信号の深さ方向(階調)の解像度も高い映像を意味しており、通常のRGB各8ビット量子化よりも高い量子化ビット数をもつ映像などを指す。

高品位映像とは高品質映像を満たし、さらに高度感性情報の伝達に重要な6つの物理要因・特性が考慮された映像である<sup>19)</sup>。従って本論文では、後述する高度感性情報の伝達を目的として開発された高忠実画像システムにより表示されるRGB各4096階調(12[bits/pixel])再現が保証された映像を高品位映像(Extra high quality image)として扱い、略して“Extra”と呼ぶこととする。一方、Extraとの比較映像(基準映像)は、量子化ビット数のみを変えた通常のRGB各256階調(8[bits/pixel])が再現される映像として、略して“Normal”と呼ぶこととする。

## 4. 高忠実画像システム

本稿では、高品位映像を表示する高忠実画像システムを次のように定義する。それは、RGB各4096階調の再

現が可能であり、入力非線形性を精密に補正した階調に歪のない画像システムである。そのパイロットシステムが宮原らにより開発されている。そのシステムは、4096階調の性能を発揮させるために、R, G, B 発光における Cross modulation 特性を検知限以下に抑えてあり、波形歪は 1/1000 以下におさえ込まれている。また、CRT ディスプレイの管面構造に起因する Halation, Aliasing の考慮、Common mode noise の抑制といった高度感性情報伝達に重要な物理要因・特性の改善すべき点が 6 つ発見され、これらを実現して 4096 階調 (R,G,B 各 12[bits/pixel]) 入力-出力系の階調特性が精密に補正されている。本研究において、高品位映像を表示するには、上記の特性が改善されたシステムが必要であった。詳しくは参考文献 6)7)20)21) を参照されたい。

これらの物理要因・特性が改良されている画像システムに、入力して目的である高品位映像の評価のために、多くの物理要因のうち、ただ 1 つ階調数のみの変化を与える。高品位映像における階調数は重要な物理要因の 1 つであり、階調数を変化させることは映像全体に影響を及ぼすと考えられるためである。階調数が重要な物理要因であるのは、RGB 信号が各 12[bits/pixel] の階調であれば、RGB 各 4096 階調の再現が可能であり、非線形量子化における HVC 均等色空間において色差 1 以内を満たすことが保証されているためである<sup>22)</sup>。なお、本研究で用いる画像は 21[inch] の CRT ディスプレイにより表示され、空間解像度は 1600[pixel] × 1200[line] の空間的な高解像度である。

## 5. 評価映像

### 5.1 評価映像の選定

高品位映像の評価を目的としているため、比較評価に用いる映像は心理的に高品位さを有する映像を選定する必要がある。しかしながら、高品位映像と映像内容の間の明確な関係をつけることは難しい。従って評価映像は映像の評価に関わるさまざまなジャンルの方（芸術家、印刷業者、学生、教官など）の専門的な知見により高品位という観点で選ばれた。例えば、図 2 は写真の専門家が撮影したカラーフィルムを原稿とし、特別に準備されたカラスキャナにより色分解して得られたデータをもとにして作製されており、金属の光沢感や果物の質感が再現された映像である<sup>24)</sup>。

映像の枚数は評価者が疲れを生じない枚数を目処に 4 枚とした。評価者 1 名につき、映像 1 枚の評価時間は 30 分程度かかり、1 回の実験で正確に映像を評価できるのは大体 2 時間程度であるため、本研究では 1 人あたり 2 時間 30 分（休息含む）の実験時間を設けた。評価中に評価者が疲れてしまうと評価が安定して行われない可能性があり、予備実験の結果を受けて評価映像枚数は 4 枚とした。映像の種類による評価への影響が予想されるため、映像の種類は上記条件を満たした上で異なる種類の映像を選定し、評価結



図 2 評価映像：“TRUMPET”。  
Fig.2 Test image: “TRUMPET”.

表 1 評価映像。  
Table 1 Test images.

画像名称	分類	内容
FACE	人物	女性のポートレート
TRUMPET	静物	輝くトランペット、ボトル、プレート、スプーン、果物
TABLE	近景	屋外でのテーブルの上にワイングラスと皿
MIROKU	国宝	第一級の国宝である弥勒菩薩像のモノクロ写真

果の解析は映像の種類ごとに行った。評価映像は表 1 に示した 4 枚を選んだ。

### 5.2 評価映像の性質

#### (1) 差分電力

Extra と Normal の間に定量的な差があることを確認するために、選定された評価映像 4 枚について、R,G,B ごとの差分電力  $\sigma_{\epsilon}^{(R)2}, \sigma_{\epsilon}^{(G)2}, \sigma_{\epsilon}^{(B)2}$  を求めた。全画素数:  $N=1600 \times 1200$  であり、階調数の異なる 2 枚の映像の画素値を RGB ごとにそれぞれ、 $x_i^{(R)}, x_i^{(G)}, x_i^{(B)}, y_i^{(R)}, y_i^{(G)}, y_i^{(B)}$  とすると、差分電力が式 (1), (2), (3) で定義される。なお Normal の階調数の最大値と最小値については Extra と等しくなるように正規化した。差分電力を表 2 示す。

$$\sigma_{\epsilon}^{(R)2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i^{(R)} - y_i^{(R)})^2 \quad (1)$$

$$\sigma_{\epsilon}^{(G)2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i^{(G)} - y_i^{(G)})^2 \quad (2)$$

$$\sigma_{\epsilon}^{(B)2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i^{(B)} - y_i^{(B)})^2 \quad (3)$$

評価映像 4 枚の R,G,B の差分電力「平均 ±SD(標準誤差)」は、 $21.9 \pm 1.1$  であった。映像ごとの差、RGB 間の差は共に小さく、差分電力が定量的に存在することが確認できた。

#### (2) 微分映像の差分処理

本実験では階調数の違いのみの画質と評価の関係を求め

表 2 差分電力.

Table 2 The power of difference signal.

	FACE	TRUMPET	TABLE	MIROKU
$\sigma_{\epsilon}^2(R)^2$	25.1	21.5	21.1	22.1
$\sigma_{\epsilon}^2(G)^2$	22.0	21.5	21.0	22.1
$\sigma_{\epsilon}^2(B)^2$	22.1	21.6	20.9	22.1

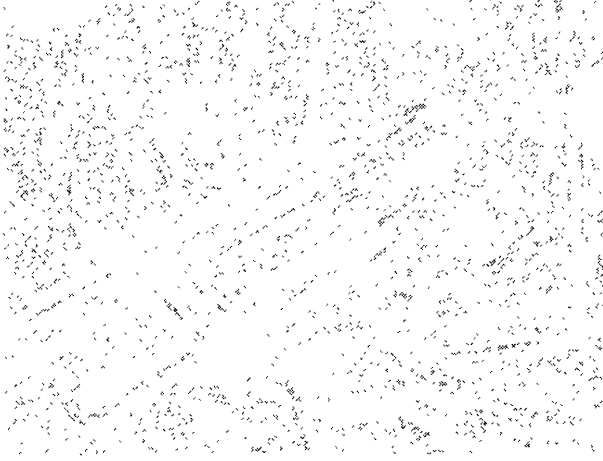


図 3 差分映像の差分処理結果 (映像 “TRUMPET”).

Fig.3 Difference signal processing of the differential images (“TRUMPET”).

るため、評価映像は空間的なひろがり歪みを生じない。しかし、いわゆるかがやき感などの画質は、画面内の位置依存性が著しく大きい<sup>25)</sup>。そこで、その性質を分析する試みとして、ExtraとNormalそれぞれの差分映像を求め、その信号差分を同時に表示する。(図3)

ここで、差分映像とはエッジ抽出処理に用いられる2次微分フィルタを適用した映像を指し、2次微分演算子は空間的な不連続性の検出を特徴としている。信号差分は、2枚の画像の差分を指し、差分電力の前処理と同様に正規化された各RGBの各画素に対して、差の絶対値を求め、黒を正として表示する。図3では、ExtraとNormalそれぞれに8方向の9×9ラプラシアンフィルタ<sup>26)</sup>(表3)を適用し、得られた2枚の差分映像に対して信号差分を求め、Rについて表示している。ExtraとNormalの微妙な濃淡値変化の差を表す黒い点の集合した領域が観測された。例えば、図3のトランペットのベル部分は、滑らかに微妙な階調変化をもつ領域であり、黒い点の集合が観測される濃淡値変化のある領域を表している。同様にG、Bについても、他の評価映像についても、位置に違いはあるが、滑らかに変化している領域が観測された。ただし、高品位映像の性質と評価の関係性の詳細な分析については、評価映像の特徴を抽出する最適なフィルタの検討や、体系的な評価映像の選定などの検討を必要とするため今後の課題とした。

## 6. 実験環境・条件の設定

ExtraとNormalの違いが評価へ与える影響を測定するために、実験心理学による手法<sup>27)</sup>を用いて実験環境・条

表 3 差分映像を求めるラプラシアンオペレータ (9×9, 8方向).

Table 3 Laplacian operator for differential image, 9×9, 8 direction.

0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0
1	1	1	-4	-4	-4	1	1	1
1	1	1	-4	-4	-4	1	1	1
1	1	1	-4	-4	-4	1	1	1
0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	0	0	0

件を設定した。実験心理学的手法は、 $\alpha$ 帯域波の変動特性と心理量変化の関係を検討する研究<sup>13)~15)17)18)</sup>において広く利用されている。本論文においても $\alpha$ 帯域波の変動特性が映像の品質の違いによる要因のほかには被験者の精神および肉体的条件の変動による影響が指摘されるため、同様に実験心理学的手法を用いた。

実験心理学においては測定したい要因以外の妨害となる他の要因はすべて除去する方針でコントロールされる必要がある。原理的に除去できない要因：時間効果、映像の種類などについては、その要因を恒常に保つか、またはランダムにするか、あるいは観測したい要因と同程度に大きな要因ならば観測したい要因に格上げする方法が用いられる。本実験において、コントロールが必要な要因は少なくとも、評価映像の種類、評価者の質、映像提示環境があり、評価映像の種類については5節で説明したので、評価者の質、映像提示環境について、それらの要因を抑制する条件設定について説明する。

### 6.1 評価者 (映像評価トレーニング)

評価者(被験者)は成人男子10名、成人女子2名、視力0.8から2.0、色覚正常の映像評価の非専門家である。ただし、評価者には映像評価トレーニングを8時間程度受けさせており、熟練者レベル<sup>10)</sup>の評価が可能であると考えられる。映像評価トレーニングは、評価語の意味を正しく理解し、安定した評価が行えることを目指し、映像を繰り返し観察し、評価語を用いて評価することが行われた。評価値の安定は、ほぼ同じ評価値が連続して5回程度得られることを目安とした。映像評価トレーニングにより、評価者は高品位映像を評価するための評価語の意味を理解し、評価者としての質(対象を正しく判断する能力と安定性)が向上したと考えられる。

### 6.2 映像提示環境

提示環境は表4のとおりである。黒レベルおよび白は、猪野らの報告による精密な $\gamma$ 補正の条件により上記の値に決定した<sup>28)</sup>。黒レベルは、輝度計(MINOLTA CA-100)での測定に精度を保証している0.20(cd/m<sup>2</sup>)以上の入力レベルとして560レベルで0.21(cd/m<sup>2</sup>)になるように調整した。なお、被験者には、実験に対する先入観を持たない程度に実験手順、所用時間、実験目的を教示して、実験目的の詳細や映像内容の説明は行なわなかった。その他、

表 4 観視条件.  
Table 4 Viewing conditions.

視距離	4H(H:画像高 31 cm)
室内照明	暗室
湿度	45%
温度	20℃
騒音度	52dB(A)
black	0.0092 cd/m <sup>2</sup> (12bit 信号の 256 レベル)(外挿計算による)
(black)	0.21 cd/m <sup>2</sup> (12bit 信号の 560 レベル)
white	81.0 cd/m <sup>2</sup> (12bit 信号の 4095 レベル)
white x	0.283
white y	0.298
評価者	成人男子 10 名, 成人女子 2 名

表 5 評価語.

Table 5 Assessment words.

1. 柔らかさ	2. まとまり	3. 単調さ
4. 明るさ	5. 鮮明さ	6. 連続性
7. 綿密さ	8. バランス	9. 奥行き感
10. 自然さ	11. 実在感	

表 6 評価尺度.

Table 6 Grading scale.

評点	(基準と比べて)
+3	良い
+2	やや良い
+1	僅かに良い
0	同じ
-1	僅かに悪い
-2	やや悪い
-3	悪い

各実験に依存する要因, 提示時間, 提示順序は各実験に対して次節以降で記述する.

## 7. 評価語による評価実験 (主観評価法)

Extra と Normal を比較する主観評価実験を行った. 主観評価実験の目的は Extra と Normal の違いによる心理量の変化を, 評価語を用いて明らかにすることである.

### 7.1 実験の方法

評価語は, 赤松らにより解析的に得られた高度感性情報評価のための 11 の評価語 (表 5)<sup>23)</sup> を用いた. 評価尺度は ITU-R 勧告<sup>29)</sup> の刺激比較法に準じて 7 段階比較連続尺度 (表 6) を用いた. 提示時間, 提示順序は 2 重刺激法により 3 秒間ずつの提示を 2 回行った. ただし, その後の判定時間は評価者の要求に応じて, 継時的に映像を提示した. 評価者, 観視条件, 評価映像については 3 節から 5 節に記述した条件設定で評価実験を実施した. 評価実験は各評価者とも 2 回行い, 得られた評価値の解析は各映像ごとに式 (4) で定義される平均評点 (Mean Opinion Score: MOS) を求めることにより行った.  $x_i^{(j)}$  は Extra と Normal の比較評価における評点である.  $i, j$  はそれぞれ評価者 12 人の各 2 試行による計 24 件のデータ数と, 評価語番号 (表 5) である. 図 4 では Normal を基準としたときの Extra の MOS を表している.

$$\begin{aligned}
 MOS &= \frac{1}{24} \left( \sum_{i=1}^{24} x_i^{(1)}, \dots, \sum_{i=1}^{24} x_i^{(11)} \right) \quad (4)
 \end{aligned}$$

### 7.2 主観評価結果

映像 “TRUMPET”, 映像 “MIROKU” における評価結果を図 4 に示す. 縦軸は MOS, 横軸は表 5 に記した評価語番号である. 評価結果は多くの評価語で 0 以上の値を示す傾向にあり, すべての映像でその傾向がみられた. 各評価語に対しても, 図 4 に示すように類似した傾向を示しており, どの評価語もそれほど大きな差は認められないが比較的抽象度の高い「実在感」などの評価語が上位を占める傾向にあった. 各評価語に対して MOS の映像平均を高い方から順に求めると, 柔らかさ (0.3223), 鮮明さ (0.280),

TRUMPET

MIROKU

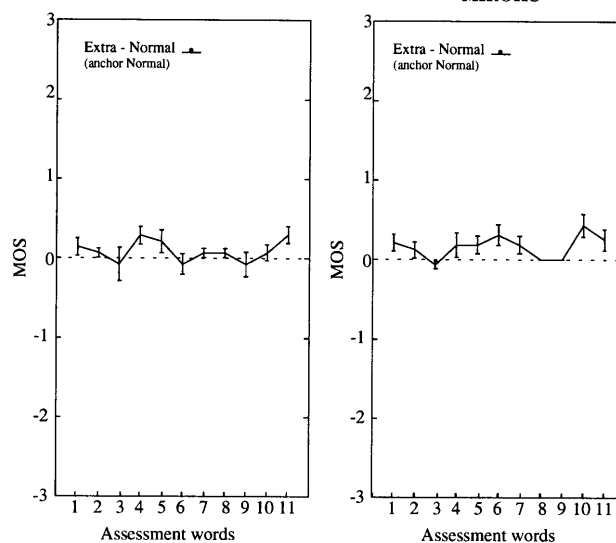


図 4 主観評価結果 (映像 “TRUMPET” と映像 “MIROKU”).

Fig.4 Mean Opinion Score by “TRUMPET” and “MIROKU”.

自然さ (0.2190), 実在感 (0.1653) の順序であった. また, 後述する客観評価法と比較するために, 映像ごとに各評価語の MOS の平均を求め, これを主観評価法の代表として主観評価値と呼ぶこととする. 主観評価値は高い順に MIROKU (0.178), FACE (0.172), TRUMPET (0.120), TABLE (0.088) の順序であった.

## 8. 脳波計測による評価実験 (客観評価法)

脳波測定実験の目的は Extra と Normal をそれぞれ鑑賞しているときの  $\alpha$  帯域波にどのような違いが生じるのかを明らかにし,  $\alpha$  帯域波を客観評価指標として導入を試みることである.

### 8.1 実験方法, 解析方法

映像の提示方法は映像 1 枚につき 100 秒間, インターバルを 25 秒間おいてランダムに 4 回提示して, これを 1 ブロックとした. 100 秒間のうち前半 50 秒間, 後半 50 秒間のどちらかに Normal を提示し, 残りの 50 秒間は Extra

を提示した。Extra と Normal のどちらが先であるかはランダムである。実験回数は 1 日 3 ブロック (休憩含む) を目安として計 12 回を連日で行い、毎日はじめの 1 ブロックは実験環境の慣れを考慮して予備的な計測とし、時間効果を考慮して 2 ブロックのうちランダムに選ばれた 1 つを解析対象としたため、1 名当り 4 日間で計 4 ブロックが解析対象とされた。上記の提示方法により、解析対象とした 100 秒間のうちの 50 秒ずつについての順序効果、時間効果は均等化、ランダム化されている。100 秒間連続して映像を提示したのは、Extra と Normal の違いである階調数の変化が脳波に与える影響以外の要因を極力抑えるためである。

解析対象としたデータは上記提示方法により得られた 100 秒間の提示を 1 件として、計 192 件である。一般に  $\alpha$  波は後頭部において振幅が大きく、出現頻度も高いことや<sup>30)</sup>、前頭部は瞬きによるアーチファクトが混入しやすいことから後頭部周辺の o1,o2,p3,p4 について解析を行った (図 5)。なお図 5 に示すように国際 10-20 法に基づき脳波電極を装着し、EOG,ECG も同時に計測した。測定器は ESA-16 (株) 脳機能研究所) を用いた。

解析は 100 秒間のデータを 50 秒ずつに分け、50 秒間データの最初の 10 秒間と最後の 5 秒間を除いた 35 秒間の脳波データについて周波数分析を行った。サンプリング周波数 400Hz の 2 秒間の脳波データに、まずハニング窓をかけ、その波形にフーリエ変換を行い、パワースペクトルを求めた。そして 50% (1 秒) オーバラップして、同様の操作を行い、後頭部周辺データ o1,o2,p3,p4 について 35 秒間の総和を求めた (図 6)。

客観評価指標として脳波を利用できるかを検証するため統計的に検定を行った。解析対象とした全実験データ 192 件について、Extra 観察時が Normal 観察時よりも  $\alpha$  帯域波が有意に増大しているかを対応のあるデータの片側 t 検定により検証した (図 7)。検定のため、各実験ごとの Extra 観察時と Normal 観察時の  $\alpha$  帯域 (8~13Hz) についてパワー積分値を求めた。求めた値は脳波の個体差、時間的変動を考慮して検定における分布の正規性を保つため、

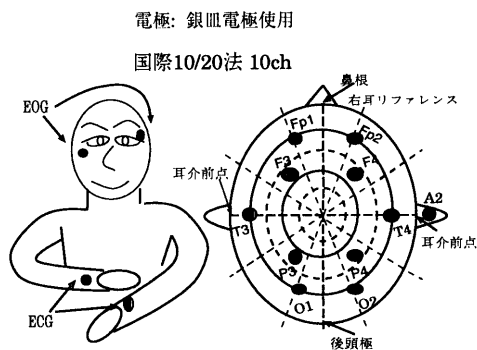


図 5 電極配置図.  
Fig.5 Arrangement plan of electrodes.

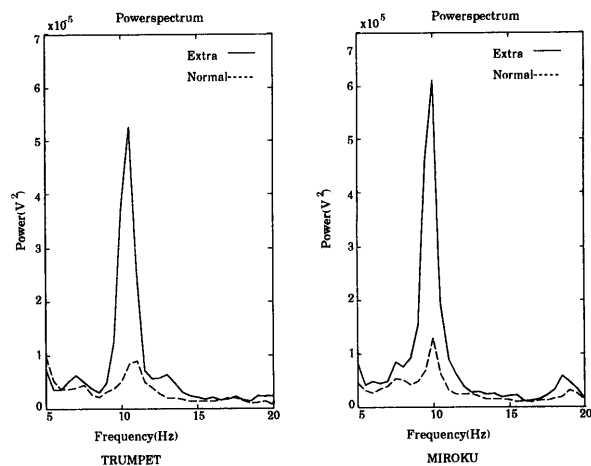


図 6 脳波解析結果 (Normal(⋯) と Extra(-)) : 映像 “TRUMPET”, 映像 “MIROKU” による被験者 C の場合.  
Fig.6 Difference of alpha-EEG caused by “TRUMPET” and “MIROKU” as compared with Normal(⋯) and Extra(-) in the case of subject C.

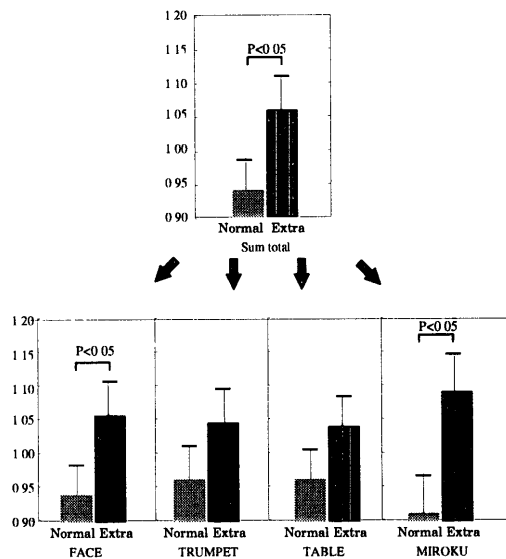


図 7 T 検定結果.  
Fig.7 T-test result.

各実験ごとに  $\alpha$  帯域のパワー平均値で正規化している。映像内容の影響を受ける可能性が予想されるため各映像ごとについても対応のあるデータの片側 t 検定を行った。そのため、各映像ごとについて Extra 観察時と Normal 観察時の  $\alpha$  帯域 (8~13Hz) パワー積分値の差の平均を求め、検定した (図 7)。そして、求めたこの値を客観評価法の代表として客観評価値と呼ぶこととし、主観評価法と客観評価法の関係を考察するために用いた。

### 8.2 客観評価結果

図 6 に実験により得られたパワースペクトルの例を示す。 $\alpha$  帯域である 8~13Hz において、Normal 観察時よりも Extra 観察時にパワーの増大が認められる。このような Extra 観察時の  $\alpha$  帯域波パワーが増大する傾向を有意水準 5% で検定した結果を図 7 に示した。その結果、解析対象とした 192 件すべてにおける検定では有意水準 5% で

有意であった。各映像（48件）ごとの検定については映像“MIROKU”，映像“FACE”において有意水準5%で有意であった。他の2枚については有意水準5%は満たしていないが、図7に示すようにExtra観察時のほうが $\alpha$ 帯域波パワーが高い傾向にあることが認められた。客観評価値は高い順にMIROKU (0.180), FACE (0.122), TRUMPET (0.088), TABLE (0.080)の順序であった。

## 9. 考察

高品位映像の物理要因・特性を明らかにする1つの試みとして、ExtraとNormalの階調の違いを微分映像の差分処理によって分析した。その分析結果による評価映像の性質と各評価方法との関係を考察するために、主観評価実験結果、客観評価実験結果をそれぞれ比較する。そして本稿で提案した客観評価法の有効性を検討するために、主観評価実験結果と客観評価実験結果の関係を考察する。

### 9.1 高品位映像と主観評価結果

高品位映像評価のための評価語を用いた主観評価実験において、4枚すべての映像でExtra観察時のほうがNormal観察時よりも評価値が高い値を示す傾向にあった。これは評価映像の性質として得られた滑らかな階調変化のある領域が主観評価に影響を及ぼしているのではないだろうか。なぜならExtraは、Normalよりも階調数が多いため、輪郭周辺では微細な濃淡値変化を表現し、「鮮鋭さ」や「柔らかさ」などの評価に大きく影響を与える可能性があるためである。また、物体表面の滑らかな階調の変化する面では微妙な階調変化が表現されるため、「自然さ」、「実在感」などにおいて高い評価を得るのではないかと考察されるためである。よって、高品位映像の性質と高度感性情報を代表する心理的印象との間の関係性については、いくつか対応がある可能性が示唆される。

### 9.2 高品位映像と客観評価結果

脳波の $\alpha$ 帯域波を指標とした客観評価実験においても、Extra観察時のほうがNormal観察時よりも $\alpha$ 帯域波パワーが高い傾向が観測され、全データの統計的検定による5%の有意水準で支持された。これは主観評価結果の場合と同様であり、微妙な階調変化が、物体表面の微細なテクスチャーなどをより自然に表現し、脳活性に大きく影響を及ぼしているのではないだろうか。近年、花澤らはマカクサル(V4野)において、テクスチャーの違いに反応を示す脳細胞を発見しており、脳科学の知見からも示唆される結果であろう<sup>31)</sup>。

映像ごとに検定した場合については、評価映像4枚のうち2枚については有意水準5%で有意となり、他の2枚については同様の傾向はあるが有意水準5%では有意ではなかった。これは映像内容が少なからず客観評価結果に影響を与えている可能性を示唆しているが、主観評価結果と客観評価結果が類似した関係にあれば、主観評価結果も同様に映像内容の影響を受けている可能性がある。そのため、

各映像ごとの主観評価結果と客観評価結果の関係を次に考察した。

### 9.3 主観評価結果と客観評価結果

各評価実験で得られた相関関係を明らかにするため主観評価値(X)と客観評価値(Y)のピアソン相関係数を求め、各映像ごとの評価値の目安として単純回帰直線を求めた。その結果、図8に示すように相関係数は0.8593であり、主観評価値と客観評価値は比較的高い相関関係にあることが明らかになった。また、映像“TABLE”，映像“TRUMPET”のように主観評価値が比較的低い映像については、客観評価値も比較的低い値を示しており、回帰直線にも近い値であることが図8により示された。これは映像内容が主観評価結果、客観評価結果ともに少なからず影響を与えている可能性があるため、客観評価結果の5%有意水準に満たない2枚の映像についても、同様に映像内容が影響を与えている可能性が示唆される。また同時に、図8は客観評価結果が主観評価結果を反映していることを意味しており客観評価法が有効であると考察される。

以上の考察により、主観評価値と客観評価値は共に基準映像観察時よりも高品位映像観察時の方が高い評点を示すという類似した傾向にあり、かつ客観評価法は主観評価法と比較的高い相関関係にあるため、本稿で提案した脳波を指標とした客観評価法が有効である可能性が示唆された。ただし、高品位映像の評価において主観評価法、客観評価法ともに高品位映像の選定は重要であることが示唆された。これは、高品位映像に限らず高精細映像についても指摘されている<sup>8)</sup>ため妥当な結果であると考察される。高品位映像の選定方法については、本実験では映像の評価枚数が4枚と制約されているため十分な検討は行えないが、評価方法の確立と平行して重要な課題であり、今後の課題とする。

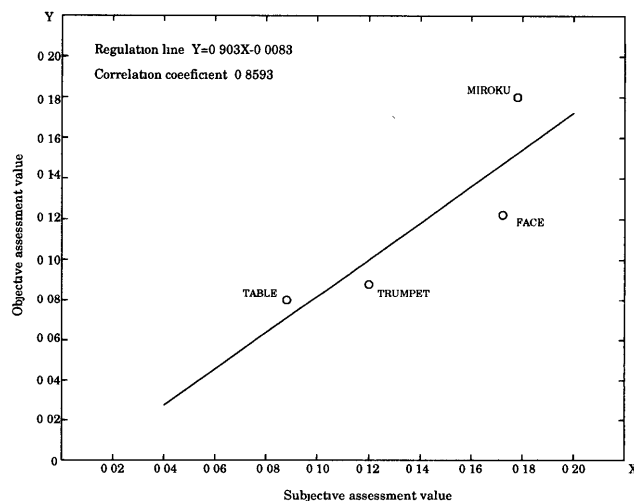


図8 主観評価法と客観評価法の関係。

Fig.8 Correlation between subjective method and objective method.



## 10. まとめ

本論文では、高忠実画像システムにより提示される R, G, B 各 4096 階調の再現が可能である高品位映像について脳波を指標とする客観評価法の開発を試みた。高品位映像と基準映像の間に定量的な差があることを差分電力により確かめ、同時に、変化位置を観察するために高品位映像と基準映像それぞれの微分映像を求め、差分処理により分析した。その結果、階調数の違いによる微妙な階調変化のある領域が観測された。

そして、脳波を指標とした客観評価法の有効性を検証するために、高品位映像の物理要因・特性が主観評価実験結果、客観評価実験結果に与える影響をそれぞれ比較し、主観評価実験結果と客観評価実験結果の関係を求めた。その結果、分析された評価映像の性質と各評価実験結果との間に対応がある可能性が示唆された。基準映像に対して高品位映像は主観評価法、客観評価法において共に高い評点を与える傾向にあることが示され、主観評価法と客観評価法は比較的高い相関関係にあることが示唆された。

以上により、本稿で提案した脳波計測による客観評価法が高品位映像の評価として有効である可能性が示唆された。ただし、本実験は評価映像枚数が 4 枚という制約における評価実験であるため、高品位映像の選定方法については今後さらなる深い検討が必要である。今後の課題として評価者、および映像の選定方法を体系的に検討する予定である。本稿で提案した客観評価法が、高品位映像を必要とする深いアウェアネスや複合現実感などを含む新たな感性評価技術の基礎的基盤として貢献することを期待したい。

脳波測定実験、主観評価実験のテスト画像を提供して下さった京都太秦廣隆寺、そして富士写真フィルムに深く感謝します。画像の読み込みにおいてご協力頂きました富士写真フィルム足柄研究所、および大日本印刷 C & I 総合企画開発本部津昌夫氏に深く感謝致します。

実験装置を整備設定して頂きました、JAIST 情報科学研究科宮原研究室白井英樹氏、数限りない有益なご助言を頂きました岩手県立大学ソフトウェア情報学部亀田昌志助教授に心より感謝致します。適切なお助言を頂きました JAIST 情報科学研究科石川智治助手、および JAIST 知識科学研究科國藤研究室皆月昭則氏に、深く感謝致します。被験者として、こころよくご協力して頂きました、JAIST 知識科学研究科の皆様にも深く感謝致します。

なお本研究は、日本学術振興会・未来開拓推進事業“未来映像音響創作と双方向臨場感通信を目的とした高品位 Audio-Visual System の研究”(JSPS-RFTF97P00601) プロジェクトの援助で行われた。

## 〔文 献〕

- 1) デジタルアーカイブ推進協議会: “デジタルアーカイブ”, 13, pp.9-10, (2000)

- 2) 宮原 誠, 小林 幸夫, 白井 英樹, 林 秀彦: “高品位電子映像による, 写真に記録された“カメラ前の像”再現の可能性”, 信学技報, IE98-82, pp.57-64, (1998)
- 3) 國藤 進: “ナレッジウェア: 臨場感を支援する新しいアウェアネス研究の動向と課題”, 人工知能学会研究会資料, SIG-FAI-9904-3, pp.13-18, (2000. 3)
- 4) R.T. Azuma: “A Survey of Augmented Reality”, Presence, Teleoperators and Virtual Environments, 6, 4, pp.355-385, (1997. 8)
- 5) 宮原 誠: “未来映像音響創作と双方向臨場感通信を目的とした高品位 Audio-Visual System の研究, 平成 9 年度日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業研究プロジェクト”, JSPS-RFTF97P00601, (1997. 4 ~ 2002. 3)
- 6) M.Miyahara, T.Ino, H.Shirai, S.Taniho and V.R.Algazi: “Important Factors to Convey High Order Sensation”, IEICE TRANS. Commun., E81-B, 11, pp.1966-1973, (1998)
- 7) 宮原誠, 大塚高司, 猪野高雄, 白井英樹: “CRT ディスプレイの R,G,B 間 Cross Modulation に起因する奥行き感の劣化”, 映像学誌, 52, 8, pp.1225-1231, (1998)
- 8) 館 剛司, 井合 知, 北脇 信彦: “高精細映像信号の品質評価試験用画像の選定法”, 信学論, J75-A, 10, pp.1569-1579, (1992. 10)
- 9) 大串 健悟, 中山 剛, 福田 忠彦: “画質と音質の評価技報”, テレビジョン学会編, (1991. 3)
- 10) 三橋 哲雄: “画質の主観評価技術”, 映像学誌, 53, 9, pp.1194-1198, (1999)
- 11) M. Kameda, H. Hayashi, S. Akamatsu, M. Miyahara: “Analysis of key assessment word for extra high quality images”, 6th International Conference on Information Systems Analysis, 5, pp.117-122, (2000. 7)
- 12) T. Takeda, T. Iida, Y. Fukui: “Dynamic Eye Accommodation Evoked by Apparent Distances”, Opt. & Vision Science, 67, 6, pp.450-455, (1990)
- 13) 大橋 力, 仁科 エミ, 不破本 義孝, 河合 徳枝, 田中 基寛, 前川 督雄: “脳波を指標とする映像情報の生体計測”, テレビ誌, 50, 12, pp.1921-1934, (1996)
- 14) 前川 督雄, 中津 良平, 仁科 エミ, 不破本 義孝, 大橋 力: “精細度のことなる静止画像の生理・心理評価”, ITE'97, 17-5, pp.210-211, (1997)
- 15) 前川 督雄, 橋本 秋彦, 浜田 洋, 仁科 エミ, 不破本 義孝, 大橋 力: “脳波を指標とする人工静止テクスチャの生理的評価法”, 映像学誌, 51, 8, pp.1291-1299, (1997)
- 16) 飯田 健夫: “感性の客観的計測とヒューマンインタフェース評価”, 映像学誌, 54, 12, pp.1712-1718, (2000 12)
- 17) 森本 雅子, 仁科 エミ, 不破本 義孝, 河合 徳枝, 八木 玲子, 大橋 力: “音の現実感と脳電位の過渡的変化”, 日本バーチャルリアリティ学会論文集, 3, 1, pp.21-28, (1998)
- 18) T.Oohashii, E.Nishina, M.Honda, Y.Yonekura, Y.Fuwamoto, N.Kawai, T.Maekawa, S.Nakamura, H.Fukuyama, H.Shibasaki: “Inaudible high-frequency sounds affect brain activity: hypersonic effect”, J.Neurophysiology, 83-6, 35, pp.48-58, (2000. 6)
- 19) 林 秀彦, 白井 英樹, 國藤 進, 宮原 誠: “高品位画像の画質評価 - 脳波を指標とする客観的評価法と主観的評価法による -”, 情報研報, bf 2000, 26, 2000-GW-35-5, pp. 25-30, (2000. 3)
- 20) H.Shirai, M.Miyahara, M.Kameda, S.Taniho and V.R.Algazi, “Degradation of the Reproduction of High Order Sensation Caused by Halation”, IS&T, San Jose, 3636-B30, (1999)
- 21) 猪野高雄, 宮原 誠: “画像の輪郭再現歪みに起因する高度感性情報: “奥行き感”の劣化”, 信学技報, EID-97-129, pp.75-80, (1998)
- 22) 甘 青, 小谷 一孔, 宮原 誠: “高品質カラー画像の処理に必要な量子化精度”, 信学論, J76-D-II, 9, pp.1902-1909, (1993. 9)
- 23) 赤松 繁, 亀田 昌志, 宮原 誠: “高度感性情報に着目した画像評価語の階層構造の解析”, 信学技報, IE98-81, pp.51-56, (1998. 11)
- 24) 高精細標準電子画像作成委員会: “高精細 XYZ · CIELAB · RGB 標準画像 (SHIPP)”, 画像電子学会, (1997)
- 25) 宮原 誠, 中川 匡弘, 向良 喜男, 羽山 均: “テレビ画像の高品質化に重要な物理要因 - つや (かがやき感)”, テレビ誌, 40, pp.1106-1112, (1986)
- 26) 谷口慶治 (編): “画像処理工学 - 基礎編 -”, 共立出版, pp.74, (1996)
- 27) 中島 義明: “実験心理学の基礎”, 誠信書房, (1992. 5)
- 28) 猪野 高雄, 宮原 誠: “CRT Display ガンマの精密な補正と奥行き感の改善”, 信学技報, EID97-127, pp.61-66, (1998)
- 29) Recommendation ITU-R BT 500-8: “Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures”, ITU (1998)
- 30) 大熊輝雄: “臨床脳波学 第 3 版”, 医学書院, pp.76, (1963)
- 31) A.Hanazawa, H.Komatsu: “Influence of the direction of elemental luminance gradients on the responses of V4 cells to textured surfaces”, J. Neuroscience, 21, 12, pp.4490-4497, (2001)



はやし ひでひこ  
**林 秀彦** 1975年生。1998年、弘前大学理学部卒業。2000年、北陸先端大情報科学研究科博士前期課程修了。現在、同大学知識科学研究科博士後期課程在学中。主として画質評価に関する研究に従事。学生会員。



くにたに すすむ  
**國藤 進** 1974年、東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年、(株)富士通国際情報社会科学研究所入所。この間1982年、ICOT 出向(4年間)。1992年、北陸先端大情報科学研究科教授。1998年、同大学知識科学研究科教授。発想支援システム、グループウェア、知識システムの研究に従事。博士(工学)。



みやはら まこと  
**宮原 誠** 1964年、東京工業大学工学部電子工学科卒業。1966年、同大学院修士課程修了。同年、NHKに入局。1968年、同研究所テレビ研究部。1978年、長岡技科大助教授。1987年、同大学教授。この間1983年、UC, Davis 客員教授(1年間)。1992年、北陸先端大情報科学研究科教授。1997年、学振未来開拓事業・未来映像・音響創造研究代表。工学博士。正会員。