

スポーツ選手の快適感昂揚のための フラクタル理論を用いた自己相似映像の生成とその評価

京都工芸繊維大学 森 本 一 成
(共同研究者) 同 櫛 勝 彦
同 佐 藤 哲 也
同 黒 川 隆 夫

Execution and Evaluation of Self-Similarity Images for Lifting Comfortable Feeling of Athlete

by

Kazunari Morimoto, Katsuhiko Kushi,
Tetsuya Sato, Takao Kurokawa
Kyoto Institute of Technology

ABSTRACT

The aim of this research is to examine how contribute a self-similarity picture to human comfortable sensation. We drew about 230 fractal pictures using the commercial software that can represent Mandelbrot set and Julia set. Forty students carried out subjective evaluation test by using 30 fractal pictures that were selected from our images on screen. Each picture was rated on 28 adjective pairs. The rating values indicated that self-similarity picture has a close relation to feeling of conformity. In order to examine the relationship fractal images between comfortable feeling, we made eight kinds of self-similarity images represented on screen of 100 inches. Brain waves of 5 subjects were measured during these images represented. The potential of α wave was calculated to compare the effects of self-similarity images and a scenery picture. Results showed that the potential of α wave varied in the subjects among self-similarity images. Furthermore, a favorite image was presented after the warming up, and brain waves were measured about five subjects. A landscape

figure was used as the comparison stimulus. Two subjects showed that the potential of α wave in the animated images was much higher than to see a stationary landscape figure.

要 旨

本研究の目的は自己相似映像が快適感の昂揚に寄与するかについて検討することである。まず、230種類のフラクタル画像を作成し、それらの中から30の画像を選択した。次に、これらのフラクタル画像から受ける印象の程度について28対の評価語による主観評価実験を40名の被験者について行った。その結果、フラクタルであることが快適感と関連することが示された。次に、自己相似映像として8種類の動画像を作成し、それぞれの動画像を提示したときの脳波 α 波を計測したところ、 α 波のポテンシャルの大きな動画像は、被験者により異なることがわかった。さらに、5名の被験者について、運動後に被験者の最も好みの動画像を提示し脳波 α 波を計測した。対照刺激としては風景画像を用いた。その結果、2名の被験者では静止風景画像を見るよりも動画像の方の α 波ポテンシャルは非常に高く、フラクタル動画像による快適感の昂揚が可能ながわかった。

1. まえがき

われわれは自然の環境に身をおくと爽快とか快適とかの感覚を容易に持つことができることを経験的に知っている。その理由について科学的な証明がなされたわけではないが、視覚情報の特徴から解明しようとする研究がある^{1,2)}。これらは自然環境を視覚情報の視点から、複雑に見えるものが、ある形の相似形の集合で成立しているという点に着眼している。筆者等もそうした相似形の集合体が快適感や美感などの感覚を呼び覚ますのではないかという点に関心の的がある。

自然に存在するものの多くがフラクタル (fractal)

であるということを、1975年にマンデルブローが指摘した。フラクタルとは自己相似性を有する複雑な図形の総称である。自己相似性とはある図形の任意の部分を拡大すると、もとの図形と等しくなる性質のことを指す。このことを考慮すると、フラクタル画像を使って快適感を昂揚させることが可能になるのではないかということが考えられる。

本研究の目的は、従来の静止フラクタル画像ではなく、フラクタル動画像による快適感の昂揚について検討することである。そのために、まず、100種類以上のフラクタル画像を作成し、その中から快適性に深く関わると思われる画像を選択し、それについて主観評価実験を行うことで、フラクタル画像が快適性に関わっているかを検討する。次に、数種類のフラクタル動画像を作成し、静止風景画を見たときと比較して、快適感がどの程度異なるかについて検討する。

2. フラクタル画像

2. 1 フラクタル理論

フラクタルとはある形が縮小しながら繰り返しあらわれる図形を指す。たとえば、木の枝が2つに分かれて、それぞれの先でまた2つに分かれて、さらに分かれて行くという形式のものがフラクタルである。木の枝だけでなく地形の凹凸や、ガラスの表面にできる氷の結晶などもフラクタルになっていることがわかっている。ペアノ (Peano) 曲線と呼ばれる図形もフラクタル図形である。これは最初の単純な曲線を半分に縮小し、向きを変えて4枚貼り合わせ、次に線で結ぶという操作をする。これを繰り返すとどんどん複雑になり無限に繰り返すことで正方形を埋め尽くすことになる。

さて、複素数の Z^2 とか $Z^3 + Z$ のような多項式や $Z / (Z^2 + 1)$ のような分数式を考えると、ジュリア集合やマンデルブロート集合といった非常に複雑なフラクタル図形ができる。フラクタル図形はマンデルブロート集合とジュリア集合に分けられる。

ジュリア集合の特殊な場合の図形にジーゲルディスクとエルマンリングがある。平面から平面への写像 $x_{n+1} = f(x_n)$ を考えた場合、 $n \rightarrow \infty$ において $|x_n| \rightarrow \infty$ にならないような初期値 $\{x_0\}$ の集合をジュリア集合と呼ぶ。非常に簡単な写像については、ジュリア集合がフラクタルになる例が知られている。ジュリア集合の中に特殊な図形が現れることがあり、それがジーゲルディスクとエルマンリングである。

以上のことから、本研究で用いるフラクタル画像を次の4つに分けて描画することにする。

○マンデルブロート集合

○ジュリア集合：ジーゲルディスクもエルマンリングも含まないジュリア集合

○ジーゲルディスク：ジーゲルディスクを含んだジュリア集合

○エルマンリング：エルマンリングを含んだジュリア集合

2. 2 フラクタル画像生成

フラクタル画像の生成には市販のソフトウェア (FractScope と SigWider) を用いた。FractScope で扱える式は10次までの多項式と分子、分母がそれぞれ10次までの有理式 (分数式) であり、ジュリア集合とマンデルブロート集合を描くことができる。画像は24ビットカラーの最小 1×1 ~ 最大 1000×1000 ピクセルである。フラクタル画像の色指定は画面に表示されるスライダーを操作して3原色のグラフを指定することで多色を一度に指定することができる。画像の拡大や縮小は倍率を指定して、拡大または縮小したい場所を指定する

だけでよい。また、マンデルブロート集合からのジュリア集合の描画はマンデルブロート集合の画面を指定するだけで、その点におけるジュリア集合を生成できる。

SigWider もマンデルブロート集合やジュリア集合などのフラクタル図形を描画できるので、これも併用して多彩な画像を生成することにした。

FractScope によるフラクタル画像の生成はすでに述べたように、10次までの多項式と分子、分母がそれぞれ10次までの有理式を扱えるので、画像は無数個の生成が可能であり、曲線で囲まれた部分の色の指定も無限の種類がある。このため、本研究の目的に適した画像生成のための基準を何にするかが問題となる。まず、フラクタル次元という尺度での分類を考えたが、同じ次元でもまったく異なる画像の生成は可能であり、しかも、多項式の変数に与える値のほんの小さな差による画像の変化が大きいこともあったので、画像の性質を数学的な定義で分類することはしなかった。つまり、次元という数値のみで画像を分別することは快適画像生成の尺度として適さないと考え、快適感に結びつくと思われる画像を造形系の学生らと確認しながら作成することにした。その結果、

マンデルブロート集合：約100種類

ジュリア集合：約80種類

ジーゲルディスク：24種類

エルマンリング：23種類

を作成した (一部は FractScope の HP に掲載のものを含む)。これらは20代若者の感性を反映した形状と彩色が施されており、芸術性の面からも高いものも含まれているが、本研究では、快適性の観点からこれらの画像を評価し、実験に用いる画像を選択することにした。

2. 3 フラクタル画像の選択

約230種類のフラクタル画像のどれが快適感の昂揚に強く関与するかはまったく分からない。単

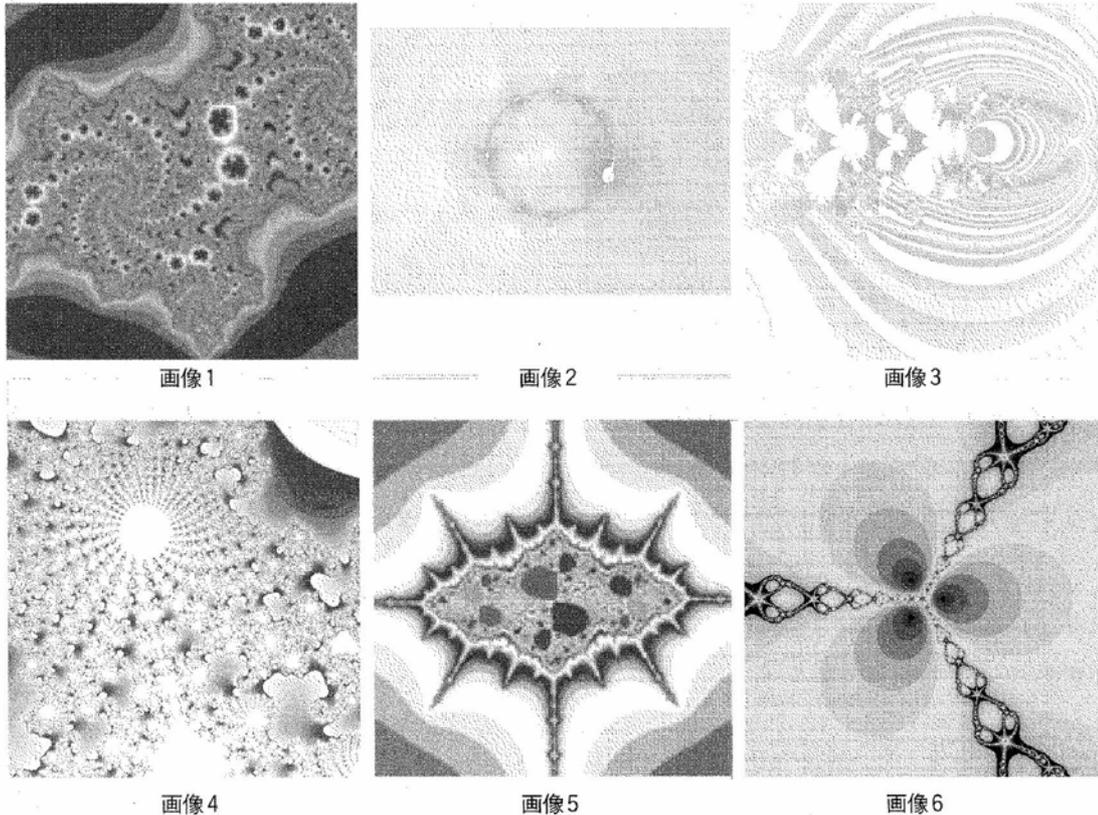


図1 フラクタル画像の例

に多項式の次元では分別できない。彩色の違いによっても画像から受ける印象は異なるため、快適性に強く関わる画像を選択する基準を定めることができなかつた。もちろん、何らかの選択基準を設けることはできるが、現時点ではその妥当性を証明することができない。したがって、画像の選択は専門家の感性に従うことにした。選択にあたってはフラクタル画像の製作者、造形工学科の教官ならびにヒューマンインタフェースの研究者の3人で協議した。その結果、主観評価実験に用いる画像として30種類を選択した。それらのうちの画像1～画像6の例を図1に示す。

3. フラクタル画像の評価実験

3. 1 フラクタル画像から受ける印象の評価
選択した30種類の画像から受ける印象について5段階尺度法による主観評価実験を行った。

3. 1. 1 実験方法と条件

評価に用いた評価語対（形容詞対）は次の28

項目である。力強い—弱い、きれい—汚い、面白い—陳腐な、気持ちいい—気持ち悪い、楽しい—つまらない、生き生きした—生気のない、安らかな—激しい、まとまった—ばらばらな、エレガントな—不格好な、落ち着いた—うわついた、活気のある—活気のない、賑やかな—静かな、人工的な—自然な、光沢のある—くすんだ、動的な—静的な、音が聞こえそう—音が聞こえそうにない、やさしい—こわい、かたい—やわらかい、夢心地のする—現実的な、快適な—不快な、さわやかな—うっとうしい、親しみやすい—とっつきにくい、なめらかな—粗い、古い—新しい、深みのある—表面的な、陽気な—陰気な、みずみずしい—乾いた、清潔な—不潔な。これらの形容詞対は、選択した画像から受ける印象を筆者らで自由記述により書き出したものと、従来の評価実験に用いられている形容詞対を参考にして決めた。

選択した画像30枚を光沢紙にカラー印刷したものを3セット用意し、各セットで画像の提示順

が異なるようにした。被験者にはそのうちの1セットを無作為に渡した。被験者は提示された画像1枚ごとに28項目の評価語について、印象の程度を評価用紙に記入した。

被験者は本学の学生40名であった。

3. 1. 2 実験結果と条件

各画像ごとに被験者40人の平均評価尺度値を求めた。すべての画像に対する印象の評価結果について記述するだけの紙面がないので、主に、次章の動画像の作成に関連する画像についての評価結果を示す。

画像1：柔らかく、夢心地のする画像であるが、うっとりしている感じがして気持ち悪いという評価がなされた。快適というよりも不快の感じがするという評価の方が高かった。配色がこの印象を強めたと考えるが、このように自己相似形による画像が必ずしも快適感を与えるとも限らないことがわかる。

画像2：主観評価のプロフィールを図2に示す。これからわかるように、この画像はきれい、気持ちいい、安らかな、落ち着いた、静かな、自然な、やさしい、やわらかい、快適な、さわやかなとい

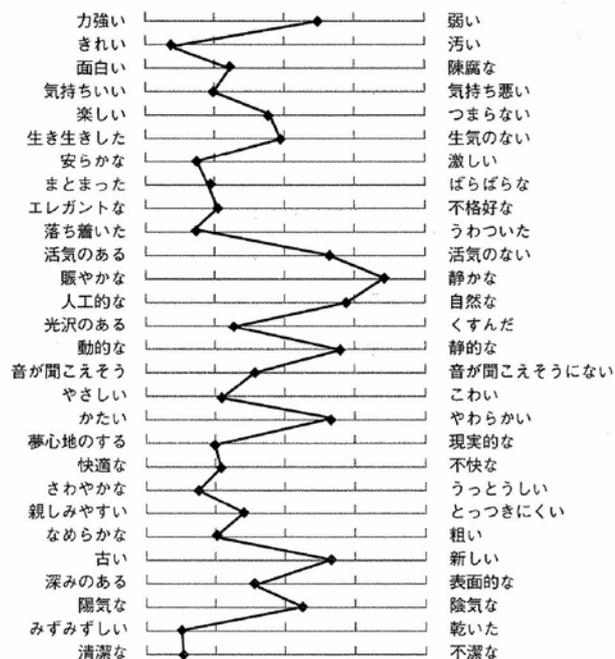


図2 画像2に対する主観評価プロフィール

った印象を与える。一方、弱い感じのすることがわかるが、快適感の印象は他の多くの画像と比較して強いことが示された。

画像3：快適性の評価値は高くなかったが、動的、にぎやか、やわらかい、陽気な、新しいという印象は強かった。

画像4：この画像も快適感の評価は高くなかったが、動的、活気のある、賑やかな印象が強く、なおかつ柔らかく、自然な印象も強かった。

画像7：深みがあり、陰気な印象が強く、夢心地のする画像であるが、こわい印象も強かった。

画像8：きれいで人工的な感じが強く、やわらかく新しい感じが強いが、表面的な印象を与える。夢心地はするものの快適感が強いとは言えなかった。

画像23：これは画像8の配色を変えた画像である。きれい、やさしい、表面的な印象は画像8と変わらないが、弱い感じや陽気さは少し低下し、さわやかで清潔な印象を与えている。

画像25：まとまりがあり、エレガントな印象を与えている。清潔でやさしい感じを与えるが、快適感が高いというわけではなかった。

画像26：これは画像4の色を変化させた画像であるが、きれいで、やわらかく、さわやかな印象が強く、快適な印象も与えている。

画像29：画像2の色を変えた画像である。静かで、自然で、やわらかく、やさしい印象を与える画像であるという評価が得られた。さわやかで、親しみやすく、快適な印象を与える画像と評価された。

画像30：動的で力強い画像であるが、くすんだ、恐く、うっとりしく、とっつきにくい印象の強い画像であると評価された。

快適感の評価尺度値のみを見ると、画像6, 11, 13, 14, 15, 16, 20, 25, 30において快適感の評価値が高かった。しかし、自己相似ということ以外でこれらに共通した画像構成要素を見つける

ことはできなかった。単に自己相似形を用いただけは快適感に結びつく画像を生成できないこともわかったことから、形のくり返し方や配色の影響が大きく関わっていると考えるのが自然であると考える。従って今後は、画像の構図、精細度、色、オブジェクトの種類などの要素と評価尺度値との関係についての詳しい検討を行う必要がある。

3. 2 フラクタル画像を用いた動画像の生成とその評価

3. 2. 1 動画像の生成

静止のフラクタル画像を動画像として表現するための方法としては形状、色ならびに位置に変化を与えることが考えられる。これら3つの要素を用いて、前章で用いた静止フラクタル画像に関する印象の程度を考慮し、次の8通りの動画像を生成した。

動画像1：基本的な模様として画像30の画像を用いた。図3に示すように、画像の中心に向かって風車のように模様が移動する表現を行った。

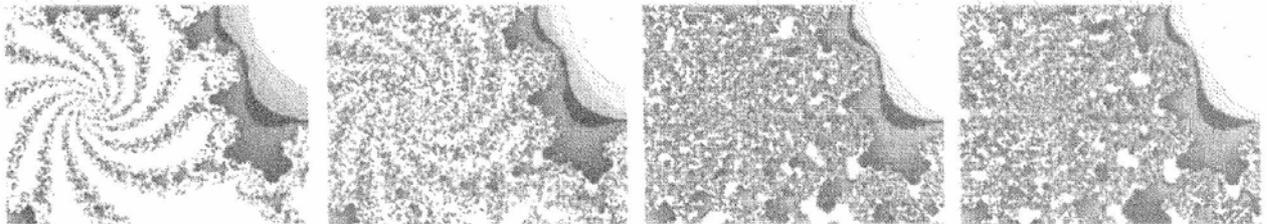


図3 動画像1の構成画像の一部

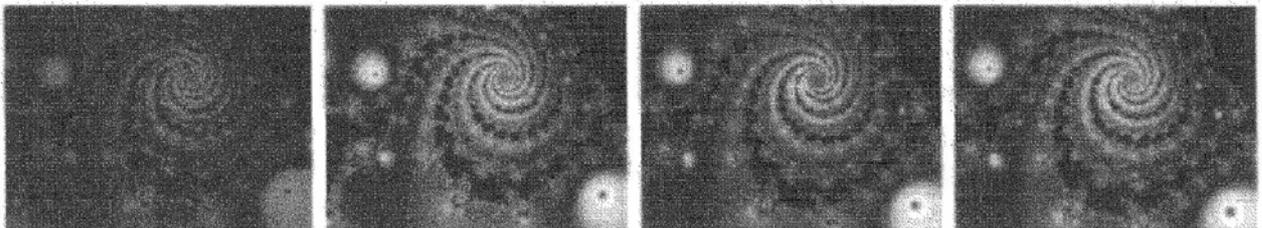


図4 動画像3の構成画像の一部

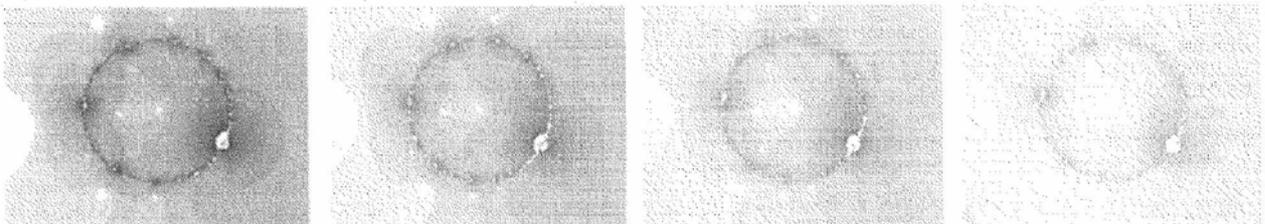


図5 動画像4の構成画像の一部

非常に細かな画像で白の部分が埋め尽くされるように画像が変化していく。この表現に要した画像は116枚であった。

動画像2：これは動画像1の色調を変えたものである。動画像1がグレーをベースにしたものであったが、動画像2は青の諧調を用いた。

動画像3：画像7を基本とした画像を用いた。図4に見られるように、回転画像を160枚作成し、徐々に明るくなりながら、渦を中心として回転する動画像を作成した。

動画像4：画像2の画像を用いて図5に示すように、青の部分がオレンジ色へ変化する画像を作成した。構成画像枚数は118枚であった。

動画像5：画像4を用いた。周辺から徐々に中心に向かうように42枚の画像で動画を生成した。(図6)

動画像6：図7に示す画像の色の位相を変えることで、動画に見えるようにした。48枚の画像を用いている。

動画像7：画像3を基本画像として、図8のように色調を変化させた。これには200種類の画像を使った。

動画像8：画像26を用いた。画像の中心を回転中心として、ゆるやかに回転させた。その一部を図9に示す。

これらの動画像はソフトウェア Director (Macromedia Inc.) を用いて作成した。動画像の速度が画像から受ける印象に影響するが、本実験では各画像ごとに実験者側で決めた速度を用いることにした。

3. 2. 2 実験方法と条件

作成した動画像を100インチの画面に提示し、表示画面までの視距離は約4mとした。図10に

被験者が脳波測定装置を装着して画面を見ている様子を示す。

実験の手順は次のようにして脳波を計測した³⁾。測定器はバイオパック (MP30, モンテシステム) であった。まず、被験者を椅子に座らせて1分間閉眼で安静にさせる。次に、8種類の画像をそれぞれ2分間づつ見せる。この時間帯の脳波 α 波を記録した。なお、各画像が提示されるまでは、閉眼で待つよう指示した。

5分間の休憩の後、被験者を椅子に座らせて1分間閉眼で安静にさせる。次に、30秒に1回のペースで踏み台昇降運動を3分行った後、被験者が8通りの中から選択した好みの動画像を見せた。このときの脳波 α 波を1分間計測した。なお、踏

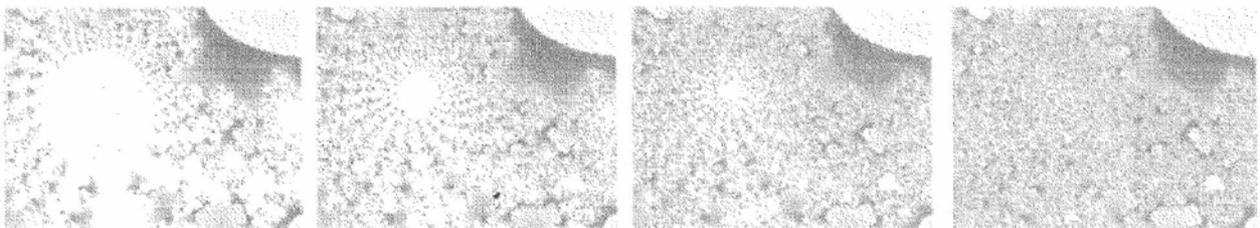


図6 動画像5の構成画像の一部

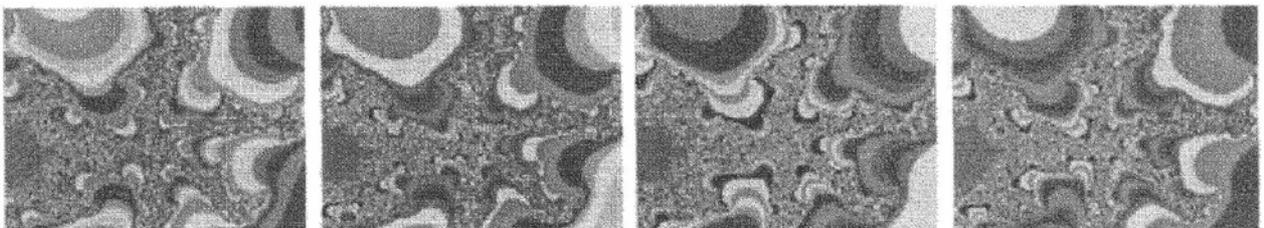


図7 動画像6の構成画像の一部



図8 動画像7の構成画像の一部

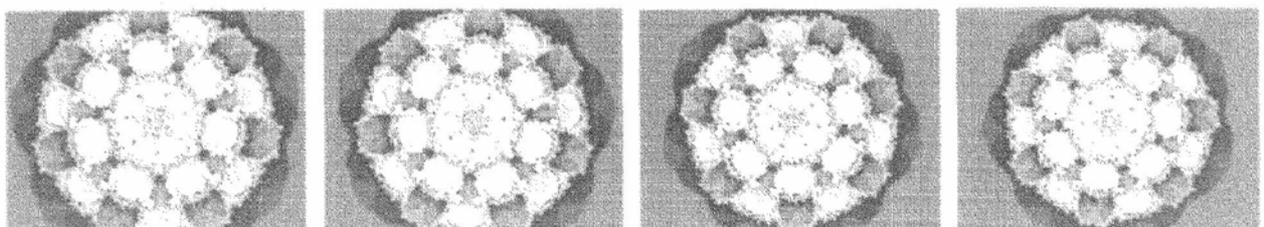


図9 動画像8の構成画像の一部

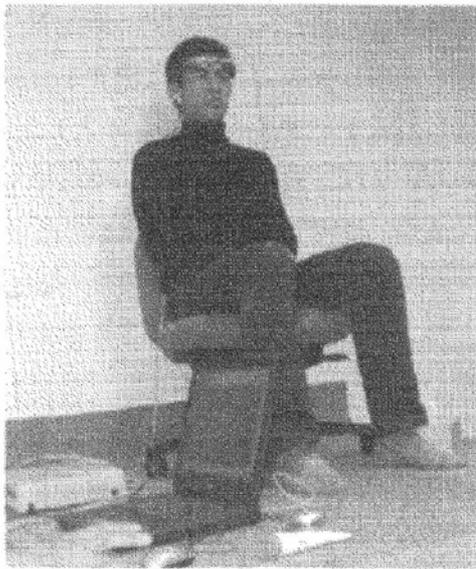


図10 被験者が動画像を見ている様子

み台昇降運動による疲労が大きく、ペースが保てなくなった被験者は、その時点で、運動をやめさせた（自己申告により、運動時の心拍数について聞き取り調査を行ない、危険のないように配慮した）。さらに、黄葉の風景写真（グレートスモーキー山脈国立公園，ユネスコ世界自然遺産）を見せて、脳波を1分間計測した。図11は被験者が風景画像を眺めている様子である。視距離はとくに限定せず、各自の見やすい距離で見るように指示した。



図11 風景画像を見ている様子

4. 結果

図12は脳波 α 波の積分値を被験者別に正規化したものである。比の値が1の部分を見れば、提示動画像の違いにより、積分値の最大となる画像は異なることがわかる。被験者5名に対して8種類の動画像を用いたのであるが、動画像1, 3, 4, 8の4種類の積分値が最も高かった。したがって、被験者に適した動画像があると考えられるのが自然である。不特定多数に対して快適感の昂揚に効果のある特定の動画像があるとしても、それを見つけることは、現時点では困難といえる。むしろ個人により快適性に深く関連する画像要素があると考えられる。

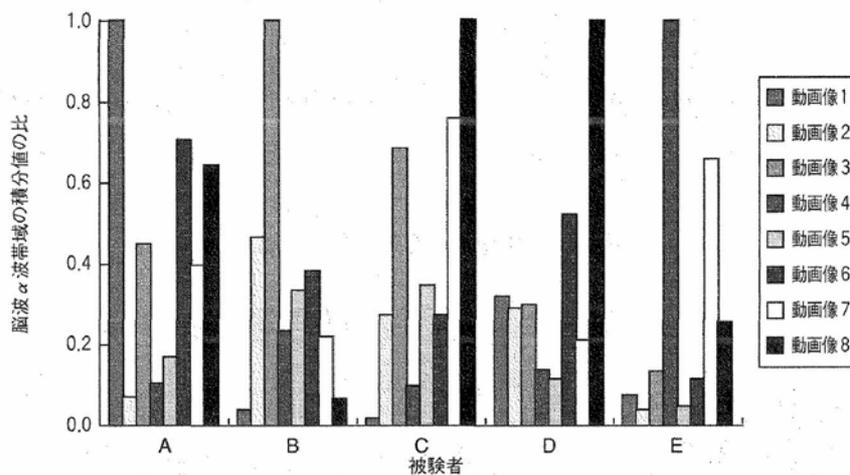


図12 脳波 α 波の積分値の比（被験者ごとに、各画像に対する脳波 α 波の積分値の最大値で正規化）

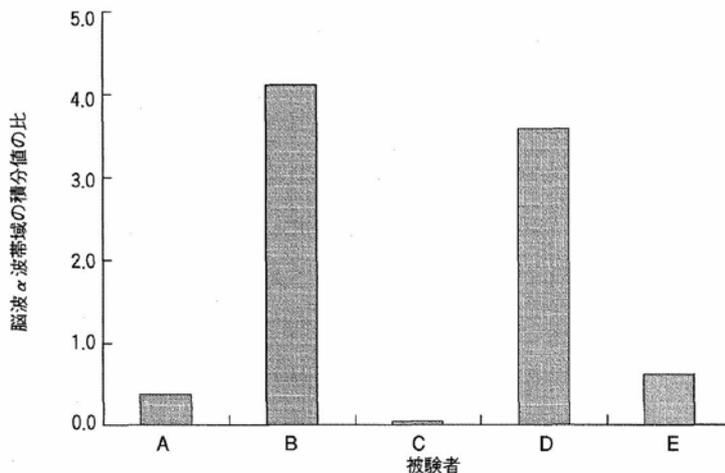


図13 脳波α波の積分値の比 (風景画像での脳波α波の積分値で正規化)

また、今回の実験で用意した動画の種類は少ないが、それにも関わらず、脳波α波の積分値の比が被験者により異なつたことを考えると、快適感を与える動画は被験者により異なる可能性があるということである。

次に、各被験者ごとの風景画像に対する脳波α波の積分値の比を図13に示す。比の値が1以上は被験者Bと被験者Dであった。被験者Aと被験者Eは風景画の場合に比べて約半分の効果しか見られなかった。さらに被験者Cでは積分値の比の値は非常に小さく、風景画像を見ているときの方が快適感への寄与が大きかったといえる。被験者に提示した風景画は精細な黄葉が映っており、フラクタルを形成していると思われる。したがって、画像に対する好みの影響が関わっている可能性はあるが、今回の実験では動画による快適感昂揚の効果が顕著に見られたのは2人だけであった。

以上のことを総合的に見ると、被験者により快適感を感じやすい動画は異なる。また、好みの動画であっても風景画像より快適感が生じやすいとは必ずしも言い切れないが、動画の描き方次第では、効果が出る可能性も否定できない。つまり、動画を生成する要素を今回は限定し、激しい動きを避けたため、かなり単調な動きの画像になっていたことが、効果の出現に影響があったの

ではないかと推測している。

5. 考 察

フラクタル画像を用いた動画を作成し、その快適感昂揚への効果に関する基礎的な実験を行った。フラクタル動画の生成においては一般的な手法である回転や移動などを用いた。動きの迫力感を出すために動画は100インチの大画面に提示したが、画質の悪さの方が被験者には気になったようである。今回のような動画による視覚情報の空間的な密度は提示ディスプレイの解像度に依存する。したがって、自然の持っている視覚情報が無限に近い空間密度を持っている点とは大きく異なる。また、時間的な解像度においても自然と生成画像との違いは大きい。映像情報はフレームあるいはフィールドという時間的に不連続な単位で表示される場合が多い。とくに、テレビの場合は飛び越し走査をしているため、この不連続性が倍になる。このように、人工の画像による情報提示は自然の空間密度や時間密度に比べると明らかに劣るメディアであるため、自然と同等の効果をもつ画像を生成するには、高精細度のディスプレイが必要となる。

また、今回は簡単な負担を与えた後の脳波を短い時間で測定したが、これは快適感が短時間で現

れるようにするにはどのような画像が必要かを見たかったからである。被験者は2名であったが、フラクタル動画像の快適感昂揚に対する効果の一端を説明することができた。

実験では大画面に動画像を提示したが、スポーツの現場では個人用のメガネ式ディスプレイによる画像提示が要求されよう。そこでメガネ式のディスプレイ(DataGlass, 島津製作所)を用いて、その可能性を見た。このメガネはシースルーが可能であり、装着をしていることに対する圧迫感や違和感が少ない。しかし、画像の解像度が600×800と低いことと、明るい場所でのコントラストが低いため、画像を鮮明に見ることができなかった。したがって、現時点ではシースルー式のメガネによる画像提示は効果が非常に少ないと考える。

6. まとめ

スポーツ選手の運動前後における快適感を昂揚させるための一手法として、フラクタル画像による動画の効果について検討した。

フラクタル画像が見る者にどのような印象を与えるかについて30枚の静止画像を用いて印象の評価実験を行い、動画像に適すると思われる画像を選択した。それらの画像の色の位相を変えたり回転や移動をさせることで8種類の動画像を作成

した。これを被験者に提示し、風景画像を見た時との違いについて脳波 α 波のポテンシャルを検討した。その結果、被験者により快適感を昂揚させる画像は異なり、また、動画像においては風景画像よりも高い効果を持つ場合が見られた。

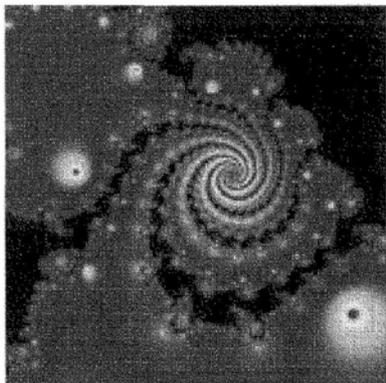
本研究はフラクタルという自己相似形による画像が自然界の風景に近いとの考えで行ったが、今回の実験で用いた動画像は、見る人の意志に関係なく画像が変化する状況を作り出しており、自然の風景を見るような視線の方向にある景色を見る状況とは異なるが、快適感の昂揚に少なからず影響を与えていることが確認できたと考える。

本研究ではフラクタル画像と快適感の関係に関する基礎的な実験を行ったが、十分な結論を得たとは言えない。今後は、フラクタル画像の精細度と快適感の関係など、画像のさまざまな特性について系統的な実験を行う予定である。

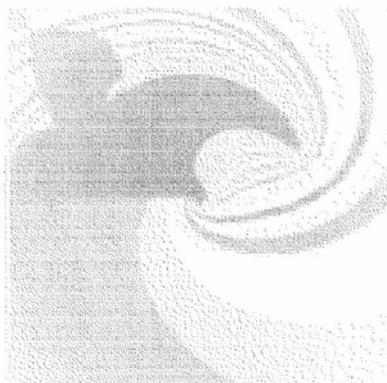
文 献

- 1) 前川ほか：メディア視覚像の精細度感性評価, 映像情報メディア学会誌, 55, 1186-1197 (2001)
- 2) 大橋ほか：脳波を指標とする映像情報の生体計測, テレビ誌, 50, 1921-1934 (1996)
- 3) 吉田：感性反応としての脳波の読取り方, デザイン学研究特集号, 10, 2, 29-38 (2002)

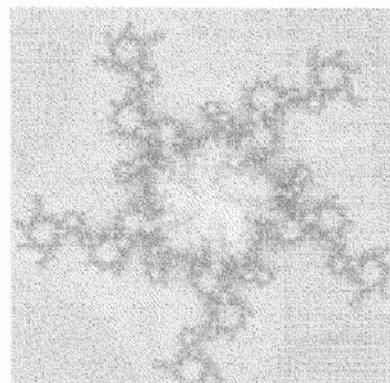
付録1



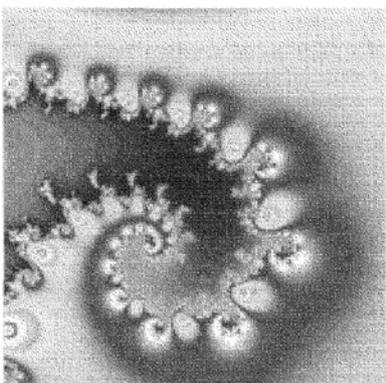
画像7



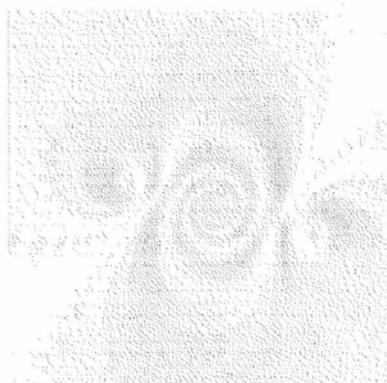
画像8



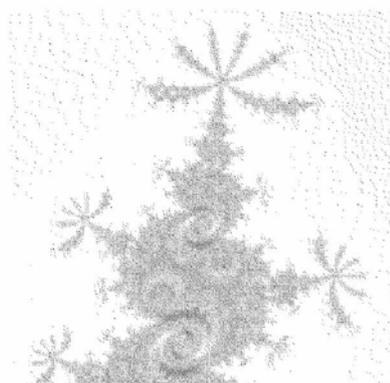
画像9



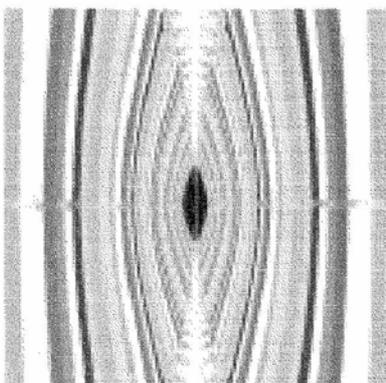
画像10



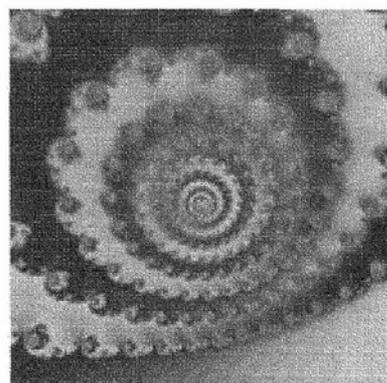
画像11



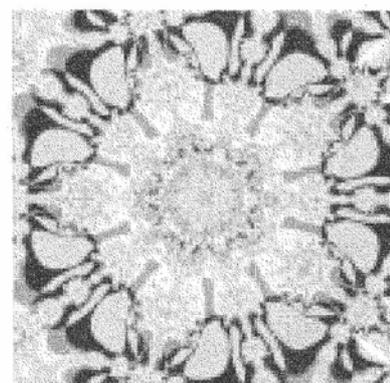
画像12



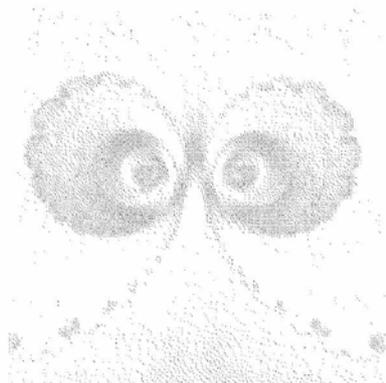
画像13



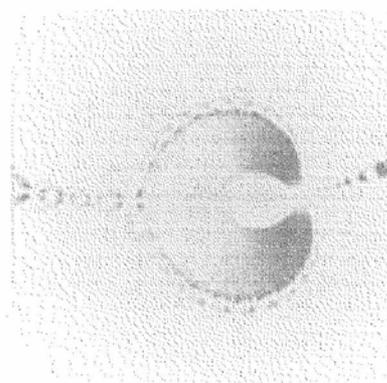
画像14



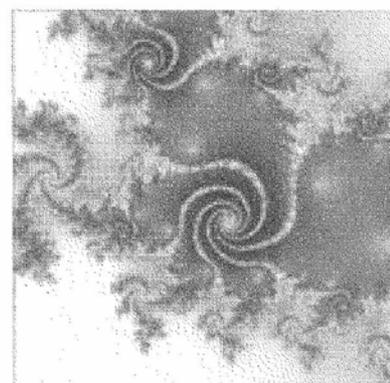
画像15



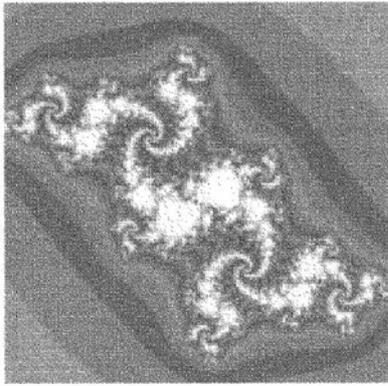
画像16



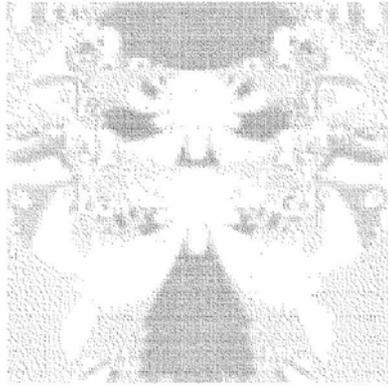
画像17



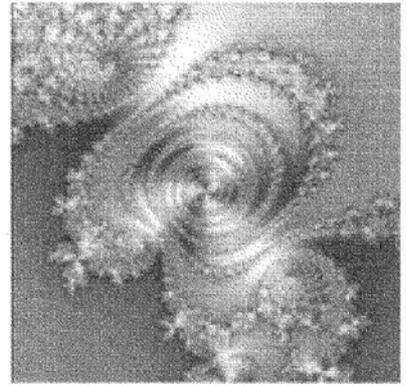
画像18



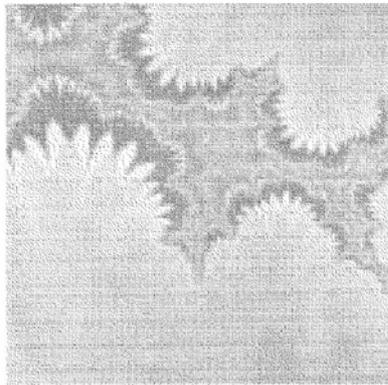
画像19



画像20



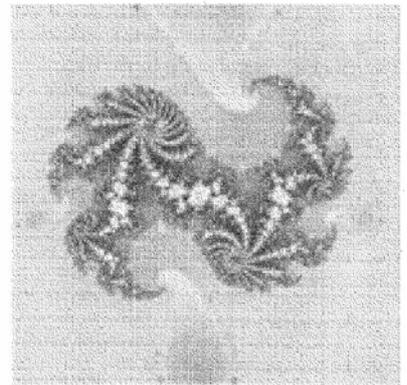
画像21



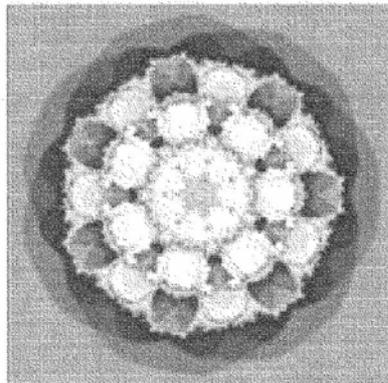
画像22



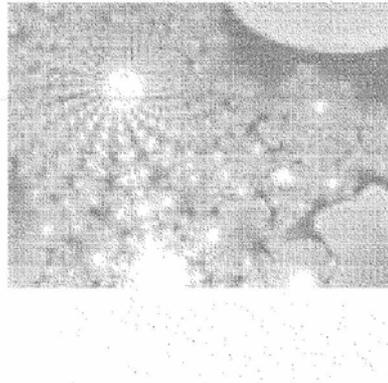
画像23



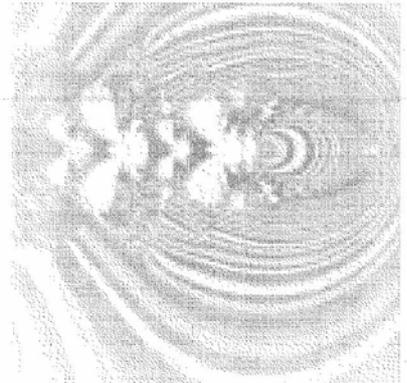
画像24



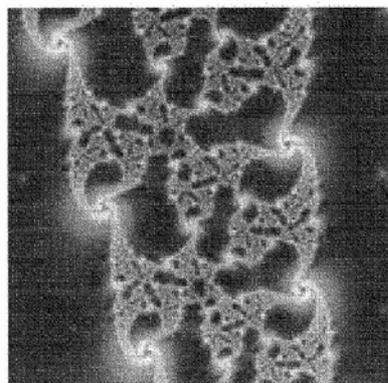
画像25



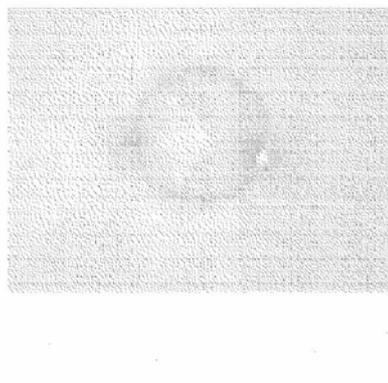
画像26



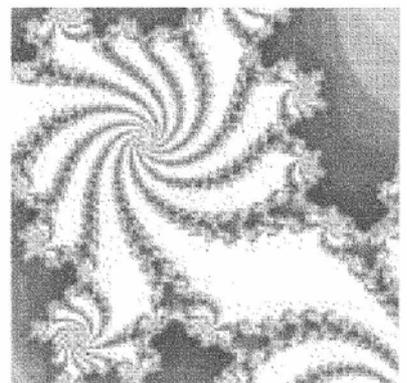
画像27



画像28

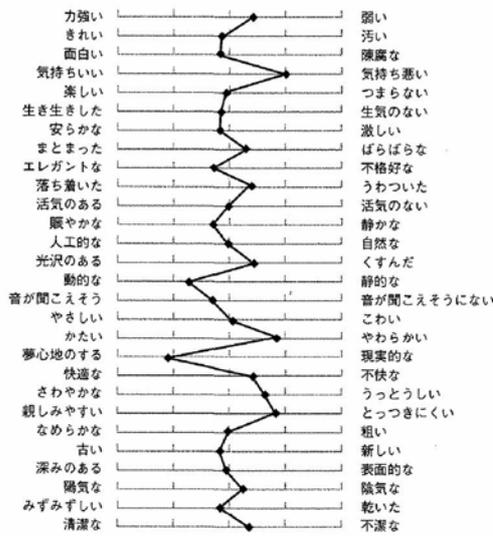


画像29

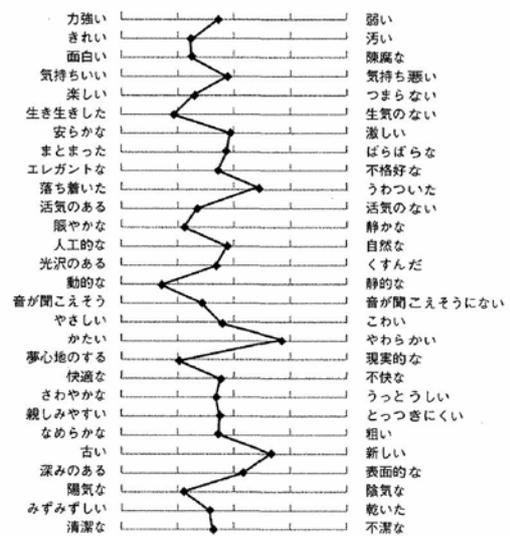


画像30

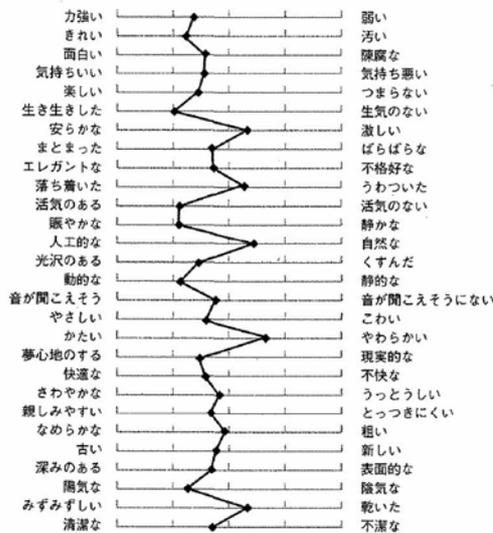
付録2



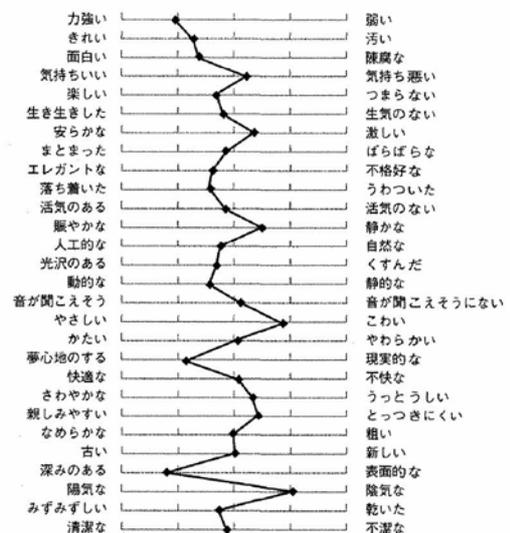
画像1



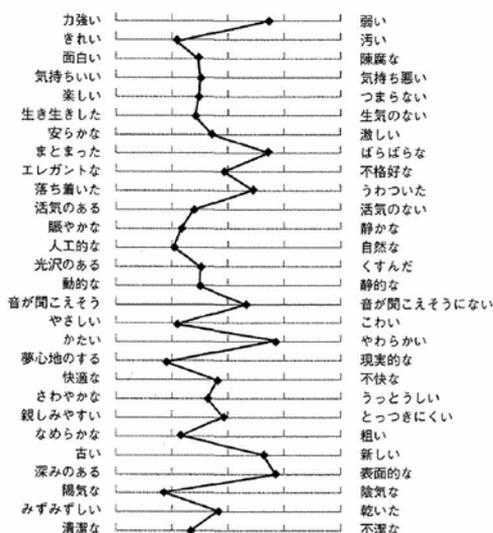
画像3



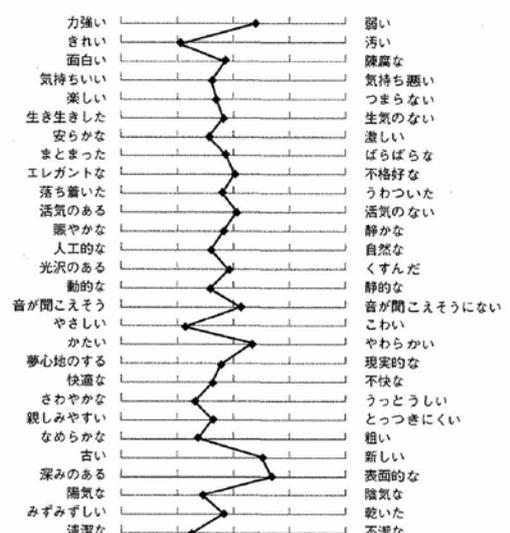
画像4



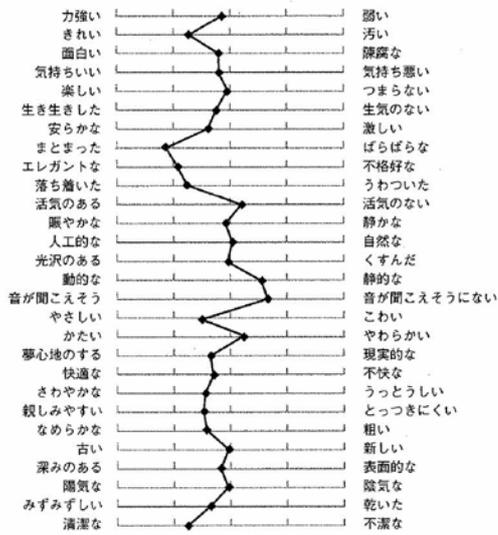
画像7



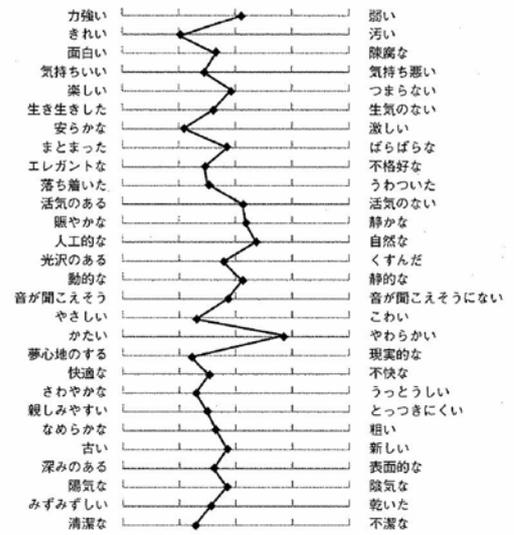
画像8



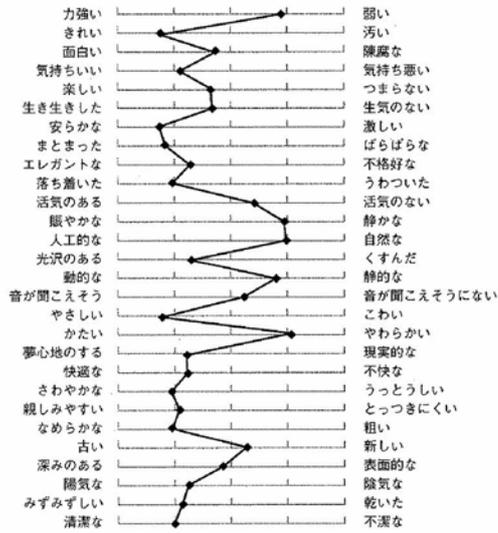
画像23



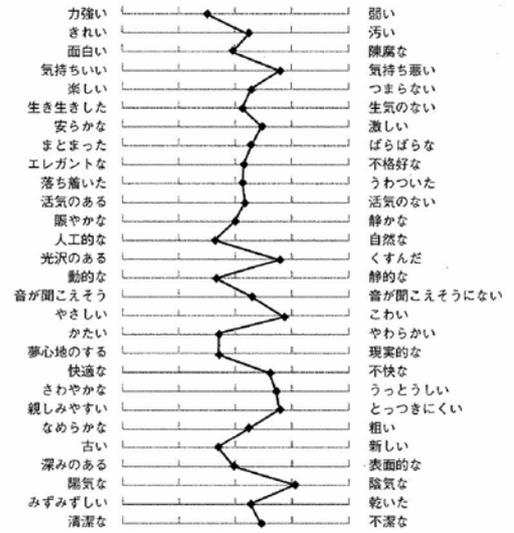
画像 25



画像 26



画像 29



画像 30