研究論文：論文

配色パターン印象に関連する脳波成分の抽出

武田昌一*, 山本佐代子**, 細川弥生*, 田中美枝子**, 加藤修一*

*帝京平成大学大学院情報学研究科, **お茶の水女子大学大学院人間文化研究科

EXTRACTION OF EEG COMPONENTS THAT RELATE TO IMPRESSIONS OF COLOR PATTERN

Shoichi TAKEDA*, Sayoko YAMAMOTO**, Yayoi HOSOKAWA*, Mieko TANAKA**, and Shuichi KATO*

*Teikyo Heisei University, 2289-23 Uruido, Ichihara-shi, Chiba, 290-0193, Japan

**Ochanomizu University, 2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8610, Japan

Abstract: This paper describes experiments on extracting EEG components that relate to the impressions of color patterns using EEG measurements as well as psychological tests. EEGs of two female subjects were first measured while they gazed at color-pattern stimuli and the α -, β -, and θ -wave components were re-synthesized. The EEG-related parameters were then calculated from all the waveform components. The subjects' impressions of color patterns were quantified in terms of WARM-COOL and HARD-SOFT. Multiple regression analyses were conducted based on the EEG-related parameters and the regression coefficients were determined. These coefficients were used as predicted values of subjects' impressions and compared with the observed psychological quantities. The multiple correlation coefficients for WARM-COOL and HARD-SOFT ranged between 0.80 and 0.84 for the subject in her 20s and between 0.71 and 0.83 for the subject in her 50s. These results showed that some EEG components were highly correlated with psychological quantities.

Keywords: EEG, Color pattern, Multiple regression analysis

1. まえがき

音楽刺激下等の自発脳波から被験者の心的体験である感情を推定する試みが、武者らにより行われている[注1][注2]。また、感情の血流理論[注3]では、感情が身体反応に起因することが報告されている。ここで研究されている感情とは「怒り」「喜び」など強い心的体験である。しかし我々が意識する感覚刺激の多くは、そのように感情を喚起するような強い心的体験に至ることなく、「軽い印象を受ける」程度にとどまるものが多い。

本研究では「軽い印象を受ける」ということで、身近である光刺激、なかでも印象という心的体験を具体的に示しやすい色彩に着目した。

色彩についての関心の歴史は古く、原始的な文明にもとり着くであろう。それほど人々は、昔から色彩に対し強い関心を抱いていた。古代ギリシアから中世西欧社会を渡り、ダ・ヴィンチらによって色彩調和が論じられたのはルネッサンス期で、その後17世紀前後にニュートンを筆頭に、色彩学の科学研究が盛んになった。色彩調和論が本格的に研究されるようになったのは19世紀以降、20世紀に入りマンセルやオストワルトによって表色系（体系的な色見本）として実際に表わされてからといえる。色に対する印象は、この調和論の中でさらに人間の複雑な心理などが働いて得られるものであるといえよう。

ところで、色彩に対し人間が感じ分けることができる性質は、色み（色相）・あかるさ（明度）・あざやかさ（彩度）の3種類である。これらの要因がさまざまに絡みあい生まれる

無数の色彩は、人間にさまざまな印象を与える。印象とは喜怒哀楽といった人間の基本的感情よりもさらに抽象的であり、とらえがたいものであるのは事実である。

本研究では、これら色彩に対する印象の調査とその数量化、印象という心的体験を脳波という生理指標から捕らえることを試みた。また、得られた印象と脳波から、その比較検討を行った。

感性工学的応用として、本研究は服装や店頭ディスプレイでの見映えの評価に役立つと考える。すなわち、どのような配色が一瞬見たときに人目をひきつけたりするのかなどを印象と脳波の関係を調べることで、言語によるアンケート調査では差異がない場合でも、微妙な反応を得ることができ、より適切な製品選択の支援に役立つと考える。本研究は、その基礎研究と位置づけられる。

2. 実験方法

実験方法の概要を図1に示す。後で述べるように、脳波から得られる生理的パラメータの数は膨大である。そこで重回帰分析を行う前処理として、心理量の情報をより多く含むと考えられるパラメータを厳選するために特徴量の絞り込みを行った。その方法として、心理量（実測値）と脳波の特徴量との相関係数を計算し、相関係数がある閾値（ここでは実験的に0.3と定める）以上の特徴量のみを抽出した。

色彩の感情評価の中で最も大きな要素は評価性尺度（好き嫌い）であるといわれているが、まえがきでも述べたように、今回の実験では「感情」よりもむしろ「印象」に焦点を

図1. 実験方法の概要

当てることとした。

2.1. 色のイメージ空間

色のイメージを語るために様々な言葉が用いられ、またその様々なイメージを視覚的に表わそうという試みが行われている。それが2次元のグラフ上に色のイメージ空間を再現する試みである。そのイメージ空間を再現する2次元のグラフを、ここでは便宜上「色のイメージ空間」とよぶことにする。

色のイメージ空間として代表的なものに、1)色彩感覚データ&テスト[注4]、2)配色イメージチャート[注5]、3)カラーイメージスケール[注6]などがある。本実験ではx-y軸のイメージがつかみやすく形容する言葉が多いため、被験者が自分のイメージを最も表現しやすいであろうと思われる、3)のカラーイメージスケールを採用した。

2.2. 刺激

(1)カラーイメージスケール 日本カラーデザイン研究所により感性ワードが研究されている配色刺激を用いた。図2に日本カラーデザイン研究所によるカラーイメージスケールを示す[注6]。WARM-COOL, HARD-SOFTという2軸からなる平面内に点を示すことによって、単色や配色パターンに対して抱く印象をあらわすことができる。ただし、これは1枚の図面

に示す便宜上2次元になっているもので、WARM-COOL軸とHARD-SOFT軸はおおの独立のものであると考えられる。

図2には例として、「白」「黒」「クリーム」「紫」「赤」「ワイン」各色における一般的な印象を、カラーイメージスケール上の位置として記載した。

(2)配色パターン刺激 4色配色のカラーカード、31パターンを刺激として用いた。配色は、図3に示すように色A, B, C, Dを配置し、色A, B, C, Dそれぞれを変えて31パターン作成した。なお31パターンのカラーカードは、配色イメージチャート[注5]を参考にJISが定める標準の光Cのもとで等色(視覚的に同色になるように色を選び出すこと)を行って作成した。それぞれの配色は様々な形容詞で表されている。

大きさはA5である。配色の各色には日本色研事業(株)の新配色カード175bを使用した。

2.3. 被験者

被験者は10代女性1名と、50代女性1名の計2名とした。被験者を2名としたのは、1)配色に関する印象には個人差がある、2)配色パターン観賞時の印象は、同一配色を観賞しても、その時々被験者の状態により異なる可能性がある、と考え、まず特定個人の特性を重視した知見を得ることを目的

図2. カラーイメージスケール

図3. 配色パターン

としたためである。

そこで2名の被験者について、日時を変えて複数回実験(各6回)行うこととした。よって、印象の調査と脳波計測、色感テスト(2.4.で後述)は各被験者で6回ずつ、トータル12回行った。

2.4. 色感テスト

被験者に対して、脳波計をつけて行う実験の直前に、色感テスト[注4]を実施した。これは色感のレベルを計るペーパーテストである。色彩感覚は同一人物であっても常に一定とも限らないため、毎回の実験でテストを行った。

テストの結果、2名の被験者は全実験ごとのテストで、常に日本人の平均的な色感を有していることが認められた。

2.5. 脳波測定条件

印象を生理指標と対応付けるため、配色パターン刺激観賞時における脳波を測定した。脳波測定部位は国際10-20法にしたがって、16部位(Fp1, Fp2, F7, F3, F4, F8, T3, C3, C4, T4, T5, P3, P4, T6, O1, O2)とし、基準電極は右耳朶A2とした。被験者の開眼のタイミングを知るために、垂直方向の眼球運動も測定した。

測定に使用した脳波計は、(株)NF回路設計ブロック・(株)脳機能研究所製のESA-16である。ローパスフィルター60Hz、12dB/oct、ハイパスフィルター0.53Hz、6dB/oct、とし、50Hzハム除去フィルターを使用した。また、サンプリング周波数は200Hzとした。

2.6. 実験手続き

被験者には、実験に服の色の影響を与えぬよう、白衣を着用させた。被験者は脳波測定用電極を頭部に装着した後、シールドルーム内の白い模造紙を張った机に向かって着座した。被験者の回りの壁は白く、視界に機材等が入らないよう、白い模造紙を張ったついたてで被験者を囲んだ。第1回目の実験で被験者の眼前の机を、被験者が望む照度となるように蛍光灯で照らし照度を調節した。第2回目以降は第1回目の実験と同様に照度を設定した。

まず被験者は安静閉眼し、その間に実験者が被験者の眼前の机の上に第1番目の配色パターン刺激をおいた。その後実験者の合図により被験者は開眼し、30秒間配色パターン刺激を観賞した。被験者はあらかじめ、4色配色の配色パターン刺激の中で特定の色に集中しないように、4色が同時に目に入るような中心を視野の中心とするように指示された。

30秒経過後、実験者は被験者にカラーイメージスケールを手渡した。被験者は観賞した配色パターン刺激の印象をカラーイメージスケール上に点を記載することにより表現した。カラーイメージスケールの性質(WARM-COOL軸、HARD-SOFT軸、記載されている形容詞)について、被験者はあらかじめ説明を受けた。しかし被験者が印象を記載する際のこの性質の利用の仕方について、実験者は特に指示を出していなかった。形容詞の色との対応の判断も被験者自身が判断を行った。これは色彩学のテストではなく、印象を見るためのものなので、専門的な先入観による判断を行わないためである。

実験者は被験者が点を記載し終えた後、カラーイメージス

ケールと配色パターン刺激を回収した。その間被験者は、次の実験に備えて、残像の影響を及ぼさぬよう眼前の白い机を見つめて待った。

その後、実験者の合図により被験者は再び安静閉眼し、その間に実験者は被験者の眼前の机の上に第2番目の配色パターン刺激をおいた。

以後は第1番目の配色パターンと同様に行った。同様の手順で第31番目の配色パターン刺激までを繰り返した。

以上の実験を被験者1人につき、日を改めて6回繰り返した。

ただし、被験者が配色パターン刺激の印象に、提示する順番による差や相互関係を持たぬようにするため配色パターン刺激を1実験ごとにシャッフルし、被験者にはランダムに提示した。

3. 解析方法

3.1. 配色パターンに対する印象の検討

図4に、例として2種類の配色(C1:配色パターン刺激1、C2:配色パターン刺激11)に対する、2人の被験者の印象をカラーイメージスケール上に示す。図中の各点は6回の実験で、被験者自らがカラーイメージスケール上に記載した点の位置をそのままトレースしたものである。

図から、同一の配色に対する印象であっても、被験者により印象が異なることがわかる。また同一の被験者であっても、日時を変えた6回の実験において、同一の配色に対してまったく同じ印象を持っていないことがわかる。

しかしながら、同一配色が同一の被験者に与える印象は、カラーイメージスケール上である程度まとまった点の集まりを形成していた。つまり、同一の被験者において、同一の配色は比較的類似した印象を被験者に与えるものと考えられる。

3.2. 配色印象の数量化方法

次に、この印象のまとまりを脳波と比較検討するために、

図4. 配色パターン1と配色パターン11に対する2人の被験者の印象

数量化した。

まずカラーイメージスケールの WARM-COOL 軸、HARD-SOFT 軸を図4のように6×6に分割し、それぞれの軸の交点を原点0と定め、WARM-COOL 軸を x 軸、HARD-SOFT 軸を y 軸と見立てた2次元のグラフとした。被験者が記載したそれぞれの配色パターンの印象を示した点を $|x| < 3$, $|y| < 3$ の範囲で (x, y) の座標で読み取り、この x の値を x (WARM-COOL) の観測値、 y の値を y (HARD-SOFT) の観測値とした。

3.3. 脳波の解析方法

本実験では、後で述べるようにデータ数が膨大になるため、第1報として1・2回目で得たデータを解析した結果について報告する。

(1) まばたきの処理 本実験は視覚の実験であったため、被験者のまばたきの影響が避けられなかった。そこでまず、まばたきに対する処置を行った。

実験で被験者はまず安静閉眼しており、実験者の合図で開眼し、配色パターン刺激を見ることになる。開眼してからは配色パターン刺激に集中し、途中生理的にまばたきが起こる。このまばたきの間、被験者は一瞬だけ配色パターン刺激から目をそらすことになる。それは視覚からの連続的な情報が一瞬途切れ、それまでの印象にも一区切りがつくと考えた。よってまばたきを内観の区切りととらえ、印象に対する一区切りのサインとして利用することにした。

まばたきをサインとして使用したため、解析区間の時間は一定ではない。解析に必要な最低の時間はP300を参考にして0.3秒以上と定め、後はまばたきのサインにより切り分けた。よって被験者により解析時間は異なり、同一被験者においても異なった。10代女性被験者においては平均3～5秒で、50代女性は0.5～1秒であった。

(2) 解析区間 被験者が実験者の合図により安静閉眼から開眼し、提示された配色パターン刺激を見始めてから30秒間採取した脳波を、3つの解析区間に分けて切り出した。

なお、色彩に関してだけではなく、印象とは視野に入ってから比較的早くに決まるものなので、安静閉眼から開眼した瞬間から第1解析区間とすることにした。

解析区間は被験者が安静閉眼から目を開いた瞬間から第1まばたきまでを第1解析区間、第1まばたきを終えたところから第2まばたきまでを第2解析区間、第2まばたきを終えたところから第3まばたきまでを第3解析区間とした。

(3) 脳波の解析 配色パターン刺激1において、被験者が開眼した第1解析区間前512サンプル(2.56秒)を切り出し開始地点とした。そこから512サンプルずつ進めながら1024サンプル(5.12秒)の切り出しを行う。切り出した1024サンプルにハニング窓をかけてFFTを適用後、 α 波帯域(8～13Hz)を通過させるフィルタリングを行い、更に逆FFTを適用後、再合成をして α 波の波形を得た。

次に第2解析区間前512サンプルを切り出し開始地点とし、以下同様の作業を行って、第2解析区間・第3解析区間の α 波波形を得た。また同様にして、全ての解析区間の β 波(13～25Hz)、 θ 波(4～8Hz)の波形も得た。配色パターン刺激

2～31までにおいても同様に作業を行った。

被験者1名・1回の実験につき、 α 波・ β 波・ θ 波の波形をそれぞれ3区間×31パターン=93波形、合計279(93×3帯域)波形を得た。本実験での脳波の解析は被験者2名・各2回分なので、実験全体では279×4=1,116波形を得た。

全ての波形を取り出した後、それぞれの波形において16の電極ごとの①振幅の大きさの平均(peak-to-peak mean)と②その振幅の標準偏差(peak-to-peak stdev)、③振幅の、時間軸上で隣接する極値間(1周期)の時間の平均(period mean)と④その時間の標準偏差(period stdev)を求めた。

また全ての波形において、⑤それぞれの電極間の相関係数を求めた(correl 電極Ⅰ-電極Ⅱ)。電極Ⅰ-電極Ⅱの全ての組み合わせは ${}_{16}C_2$ の120通りである。

1つの波形につき120の数値を得た。全1,116波形なので実験全体では1,116×120=133,920の数値を得た。前述の16部位×①～④×1,116=71,424と合わせて実験全体で205,344の数値を得た。

3.4. 印象と脳波の比較

(1) 相関係数 1実験ごとに α 波、 β 波、 θ 波の3帯域にわけ、さらにその中で3つの解析区間ごとにシートを作成、3.2、3.3の手順でまとめた。

その後、被験者が実験でイメージを記入した配色パターン刺激1から配色パターン刺激31までにおける x (WARM-COOL)の観測値群と、脳波①～⑤の数値群との相関係数を求めた〈A〉。

同様にして、 y (HARD-SOFT)の観測値群と脳波①～⑤の数値群との相関係数を求めた〈B〉。

(2) 予測値 (1)で全ての相関係数を求めた後、相関が高いものを取り出す。そのうち、〈A〉において相関の高かったものを A_i ($i = 1, 2, \dots, n$; n はデータ数)、〈B〉において相関の高かったものを B_i ($i = 1, 2, \dots, n$)とした。また、 A_i , B_i は被験者ごとに分けて取り出した。それぞれを被験者1_A群、被験者2_A群、被験者1_B群、被験者2_B群というグループ名とする。本実験では、全体13,248個の相関係数を見渡し相対的に判断した結果、0.3以上を相関が高いと定めることにした。

その後、取り出した部位について4つのグループごとに重回帰分析を行い、回帰直線の切片 p と多項式の係数 c_i を導き出した。予測値は以下の式で表される。

$$x \text{ (WARM-COOL) 予測値} \\ = p + c_1 A_1 + c_2 A_2 + c_3 A_3 + \dots + c_n A_n \quad (1)$$

$$y \text{ (HARD-SOFT) 予測値} \\ = p + c_1 B_1 + c_2 B_2 + c_3 B_3 + \dots + c_n B_n \quad (2)$$

ここで、 c_1 , c_2 , ... とはそれぞれのグループ内で A_1 , A_2 , ... または B_1 , B_2 , ... に対応するものであり、上の2式において必ずしも同じ値ではない。同様に、切片 p もそのグループ内における切片を示しており、上の2式において必ずしも同じ

値ではない。

以上のようにして求めた予測値と観測値について比較検討を行った。

4. 結果と考察

4.1. 10代女性の予測値と観測値

図5に被験者1_A群の x (WARM-COOL)における予測値と観測値の関係を示すグラフ、図6に被験者1_B群の y (HARD-SOFT)における予測値と観測値を示すグラフを示す。被験者1は10代女性である。

重相関係数 R は図5で $R=0.835$ 、図6で $R=0.803$ であり、相関が高いといえる。図5の方がやや高い相関を示した。図5は x (WARM-COOL)、色彩の3属性でいうと色相と深いかかわりのある印象についての結果である。実験後の被験者からの回答でも、 x (WARM-COOL)については比較的印象を受けやすかったということであった。

一般的に WARM-COOL、つまりあたたかさつめたさを左右するのは赤み・青みである[注 7]。この被験者は色感レベルも標準を示しており、色相による赤み・青みで印象を受けてい

たとえられる。

図6は y (HARD-SOFT)、色彩の3属性でいうと第一次的には明度に規定されるが、彩度の影響も受ける。このことから明度と彩度の複合概念であるトーンにより印象を受けると考えられる。トーン概念は1次元的でない分複雑なので、トーンに対する印象をかたさやわからかさといった概念の軸上で示すのは容易ではない。それを示すように、図6の相関係数の値も図5に比べるとやや低くなっていた。

この相関係数の差は、印象の受け方（色相とトーンの印象の受けやすさ）の差と考える。

4.2. 50代女性の予測値と観測値

次に、図7に被験者2_A群の予測値と観測値の関係を示すグラフ、図8に被験者2_B群の予測値と観測値を示すグラフを示す。被験者2は50代女性である。

重相関係数 R は図7で $R=0.827$ 、図8で $R=0.714$ であり、10代女性被験者の結果と比べると低くなっていた。すなわち、図7では10代女性よりは低い値を示したが、高い相関を示していた。図8においては大幅に下がり、10代女性とはその相関係数の差が約0.1にもなっていた。

図7と図8において、図7の方が相関が高かったのは、10代女性と同じような理由、すなわち色彩とトーンに関する印象の受けやすさの相違と考える。しかし、図8はそれ以外の理由が考えられる。

50代女性については、まばたきが多く、常にまばたきを続けている状態を示した場合もあった。そのために解析区間の切り出しを行う上で、まばたきを解析区間のシグナルとして使うと、解析区間として十分な時間が取れないところも存在した。その場合は複数回まばたきを含む区間を解析区間として切り出している。

この被験者の場合、 y (HARD-SOFT) との相関が高かったものを取り出すとき、その数が x (WARM-COOL) との相関が高かったものや、10代女性の場合と比べ、極端に少なかった。このことから、予測値を求める前からもともと y (HARD-SOFT) に対する相関が全体に低かったことが理由としてあげられる。

4.3. x (WARM-COOL) と y (HARD-SOFT) の比較考察

x (WARM-COOL) と比較してみると、 y (HARD-SOFT) と脳波パラメータとの相関は前頭葉でやや目立つようである。

前頭葉は高いレベルでの精神的機能の連合野の中でも最高中枢といわれており、より複雑な思考や推論、意欲や抑制などをつかさどっている。

ところで y (HARD-SOFT) 軸はおもにトーンと密接な関係がある。トーンという概念は前述したとおり明度と彩度との複合概念であり、色相などと比べると1次元的なイメージは難しい。そのため、イメージはより複雑になると考えられる。この複雑なイメージはさらに、言語化された場合も色と結合しにくい形容詞などで表わされる可能性があると考ええる。また印象として表現しにくいことから、ただ単純に印象を受けるというだけでなく、配色パターン刺激提示後その印象を示すこともあり、その印象が自らにとってどのような印象であるのかを思考していることも考えられる。

また β 波帯域との関係であるが、 x (WARM-COOL) では比較的 β 波帯域での相関が高いのに対し、 y (HARD-SOFT) ではほとんどその関係が見えなくなる。

5. むすび

5.1. まとめ

配色パターン印象に関連する脳波成分を抽出することを試みた。

まず、被験者の配色パターン刺激における印象を2次元のグラフ上 (x 軸: WARM-COOL y 軸: HARD-SOFT) に表現し、その印象を (x, y) と数量化した。また脳波成分を解析し、その特徴量を求めた。

さらに重回帰分析を行って脳波情報から心理量の予測値を求め、(x, y) 観測値と比較検討を行った。その結果、予測値と観測値との相関係数は、50代女性では0.71~0.83、10代女性では0.80~0.84となり、高い相関で脳波成分に心理量が反映されていることが確認できた。

また印象と脳波との関連について検討を行い、あたたかさ一つめたさ (おもに色相に属する) に対しては印象を抱きや

すいことを示唆する結果が得られた。かたさーやわらかさについては、トーンという明度と彩度の複合概念に基づくため、複雑であいまいになりがちで印象をもちづらいのではないかと考えられる。

またあたたかさ一つめたさとかたさーやわらかさの印象を脳波の帯域別に検討すると β 波に大きな相違が見られたことから、印象の抱きやすさ、色彩に対する印象に関して、 β 波に関連があるものと推測された。

5.2. 今後の課題

本実験では被験者は2名であったが、解析区間を切り出す際に、やむを得ないまばたきの処置の差が生じた。このため、10代女性と同じように解析区間を切り出せるサンプルをさらに収集し、解析する必要がある。

ただし、本実験のとおり、1名の被験者につき複数回の実験を行うべきであると考ええる。なぜなら、当初の推測どおり、同一の被験者であっても配色パターン刺激に対して抱く印象は毎回異なっていたからである。よって複数回の調査を行うことにより、その被験者の抱く印象のある集合、または平均としてとらえることが必要であると思われる。

また今回は β 波にみられた、帯域による相関の高さの違いを、今後特に詳細に調べていきたい。

更に、色彩の印象のみではなく、感情評価、とりわけその中でもっとも大きな要素であるといわれている評価性尺度 (好きー嫌い) についても検討していきたい。

謝辞

貴重な議論をして頂いた帝京平成大学隈 久雄教授に深謝する。また、本研究の機会を与えてくださった元帝京平成大学教授武者利光博士に謝意を表したい。なお、本研究の一部は文部科学省ハイテク・リサーチ・センター補助金ならびに帝京平成大学学内特別研究費からの助成に基づくものである。

注

- 1) 武者利光:「こころ」を測る, 日経サイエンス, 4月号, pp. 20-29, 1996
- 2) T. Musha, Y. Terasaki, H. A. Haque, and G. Ivanitsky: Feature extraction from EEG associated with emotions, Art. Life Robotics, Vol. 1, pp. 15-19, 1997
- 3) R. B. Zajonc, S. Murphy, and M. Inglehart: Feeling and Facial Efference: Implication of the vascular theory of emotion, Psychological Review, 96, 1989
- 4) 近江源太郎: 色彩感覚, pp40-54, 日本色研事業株式会社, 1999
- 5) 南雲治嘉: 配色イメージチャート, pp2-5, グラフィック社, 2000
- 6) 小林重順: カラーイメージスケール, 日本カラーデザイン研究所, pp10-17, 講談社, 1990
- 7) 榎 究, 澤 知江: 室内の雰囲気評価に及ぼす色彩・照明・素材の複合効果, 日本建築学会計画系論文集, No. 516, pp. 15-22, 1999