

## 表情空間における有効次元および大域次元と局所次元の推定 Estimation of effective global dimension and local dimensions of expression space

三平 大悟<sup>†</sup> 趙 晋輝<sup>†</sup>  
Daigo Mihira Jinhui Chao

### 1 序論

現在、表情認識技術の多くは言語カテゴリにより表情を分類する。しかし、言語ラベルでの分類が難しい曖昧な表情を記述することには限界があるため、連続化する表情に対する次元説が注目され、SD 法により得られる表情の心理空間に関する研究が多数行われている。しかし、このような心理空間は物理刺激と心理特性を結び付けることが難しいという問題点がある。近年、炭矢らは物理刺激としての表情画像空間に対して心理特性として弁別閾値を導入し、表情の心理物理空間を提案している [1]。一方、表情画像空間の次元が高いため表情多様体の次元確定が重要である。本論文では、表情空間の有効次元を JND 弁別閾値楕円 (以下、表情弁別閾値楕円と称する) の主軸長によって決定する方式を提案する。特に表情画像群の次元削減を行い、表情 JND 刺激閾値 (以下、表情弁別閾値と称する) を用いることで表情空間の計量として弁別閾値楕円を求め、計量行列より大域次元と局所次元の推定を行った。

### 2 表情空間の構築に関する従来研究

#### 2.1 心理空間と心理物理空間

従来表情研究において、次元説では SD 法などの手法を用いることで 2 次元もしくは 3 次元の心理空間上での表情の配置を求め、その空間の幾何学特性について考察が行われた [3]。しかし、従来の心理空間は物理刺激との対応が不明瞭であり、表情の定量表現としては不十分であることが指摘されている。その問題点を解消するために、心理物理空間の提案がされている [1]。

心理物理空間とは、画像の画素値などの物理刺激とその刺激における弁別閾による心理計量から構成される空間である。本研究では、物理刺激として表情画像の画素値からなる物理刺激空間を利用し、各画像における表情弁別閾値によって知覚特性を導入することで物理刺激と心理特性が対応づいた心理物理空間としての表情空間を獲得する。

#### 2.2 表情画像空間の構築

使用しているデータセットは Bosphorus Database [4][5][6] に含まれる BS002 と呼ばれるデータであり、表情弁別閾値の推定精度を高くするためにモーフィングで表情画像を増やしている。7 枚の基本表情によるそれぞれの組み合わせをモーフィングすることにより得た表情画像と、7 枚の基本表情と 21 種の AU (アクションユニット) 画像を組み合わせることでモーフィングすることによって得た表情画像、そして 21 種の AU の原画像の合計 16660 枚で構成される。これらのデータを主成分分析 (以下、PCA と称する) や非計量多次元尺度構成法 (以下、MDS と称する) の手法で 6 次元空間へ射影し、表

情画像空間を得る。ここで、表情画像は輪郭より外側は黒く塗りつぶされており、輪郭の近傍でガウシアンフィルタが適用されている。

本研究で使用している表情弁別閾値は、2017 年炭矢の研究で測定された基本 7 表情のデータである [1]。

#### 2.3 超楕円面の推定方法

RBF (Radial Basis Function) を用いて弁別閾値超楕円面の推定を行う。具体的に、 $a$  個の表情弁別閾値の  $n$  次元データに対して、 $n$  次元正規分布を用いて最尤推定を行い、超楕円面の方程式を推定する。

### 3 提案手法

次元説における表情の心理空間は主に MDS などによって得られた 2,3 次元部分空間である。一方、画像空間においては PCA, MDS による次元削減では心理計量が考慮されておらず、表情空間の次元が求められない。そこで、表情弁別閾値楕円の各軸の長さに注目し、表情知覚において特に貢献していると思われる方向にのみ注目して、表情空間の計量である表情弁別閾値楕円の主軸長による有効次元および大域次元と局所次元の推定方法を提案する。

#### 3.1 心理物理空間における有効次元の定義

$n$  次元物理刺激空間  $S$  の中で、ある基準値  $x \in S$  における JND 弁別閾値超楕円の主軸はその基準値における計量行列  $G(x)$  の固有ベクトルであり、固有値は主軸長 2 乗の逆数となる。 $\{u_i\}$  を接空間  $T_x S$  の固有座標とすると、 $x$  における JND 弁別閾値超楕円は以下の式のようになる。

$$dx^T G(x) dx = \sum_{i=1}^n \frac{u_i^2}{a_i^2} = 1$$

$i$  番目の主軸方向は、計量  $G(x)$  の  $i$  番目の固有ベクトル  $e_i$  であり、その長さを  $a_i$  とすると、 $\lambda_i = \frac{1}{a_i^2}$  となる。

主軸長は主軸方向の JND 弁別閾値であり、知覚感度に反比例するため主軸が短い方向の刺激は重要な方向となる。一方で、主軸が長い方向は知覚において無視できる方向であると考えられ、心理物理空間における有効次元は表情知覚に重要な方向の数として定義できる。

心理物理空間  $S$  の点  $x$  における有効次元を  $e$ 、 $\tau > 0$  を JND 弁別閾値の上界、すなわち知覚感度の最大許容量とすると、表情空間における有効次元は以下の式のように定義できる。

$$e := \#\{a_i \leq \tau, i = 1, \dots, n\}$$

#### 3.2 高次元計量行列による次元推定

表情画像空間の次元は大変高い。本研究ではリーマン計量を推定するために、まず PCA, MDS によって適切な部分空間まで次元削減を行い、その部分空間の中で、表情空間の有効次元を推定する。

<sup>†</sup> 中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻  
Dept. of Information and System Engineering, Graduate School of Science and Engineering, Chuo University

上記定義に基づき、次元削減された表情画像空間において、基準点における表情弁別超楕円面を推定してリーマン計量行列を求める。特に、計量行列の固有値を特異値の平方根として求め、その逆数すなわち軸の長さが短い次元を有意な次元として選択する。

特に、基本 7 表情の計量行列より求めた軸長で最も値が小さい軸長から 3 倍までを最大許容量とし、それより短い次元はすべて選択し、表情空間における大域次元と局所次元の推定を行う。

#### 4 実験結果

表情弁別閾値の測定実験で用いられた表情画像すべてに PCA 及び MDS を適用し、それぞれ 6 次元の表情画像空間を求めた。そして、表情弁別閾値より表情弁別閾値楕円を求め、楕円の軸長から表情毎の次元を推定した。それを 2 次元部分空間へ射影した結果は図 1 から 4 および表 1 で示す。ここで、楕円は 5 倍に拡大している。

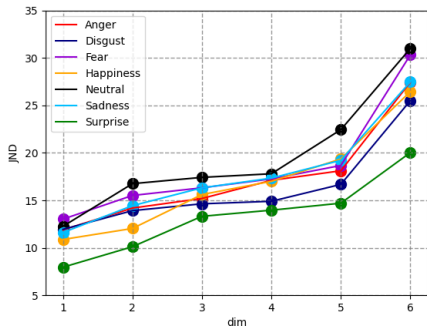


図 1 PCA で次元削減をした場合の各表情の軸長

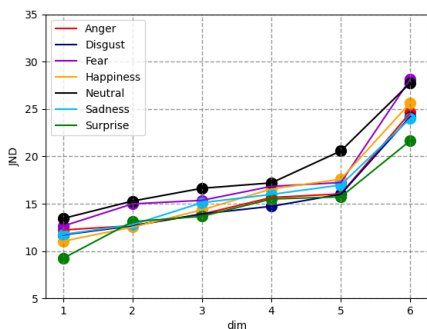


図 2 MDS で次元削減をした場合の各表情の軸長

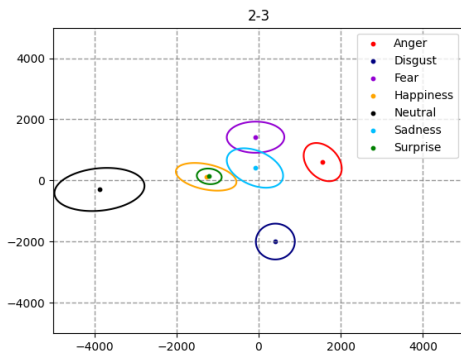


図 3 PCA で次元削減をした場合の 2-3 平面上の表情弁別閾値楕円の断面図

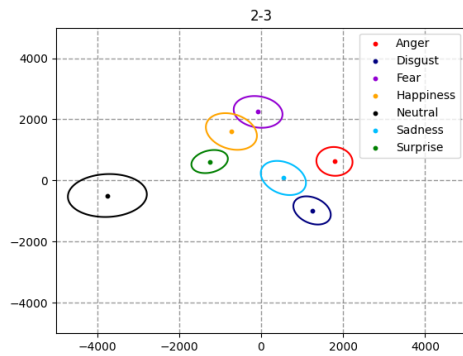


図 4 MDS で次元削減をした場合の 2-3 平面上の表情弁別閾値楕円の断面図

表 1 各表情の局所次元

	PCA	MDS
Anger	5	6
Disgust	5	6
Fear	5	5
Happiness	5	6
Neutral	5	5
Sadness	5	6
Surprise	6	6

#### 5 結論

本研究では、心理物理的手法を導入した表情空間での楕円推定と次元説の立場で大域次元と局所次元を推定することで、各表情の有効次元の推定を行った。各表情の軸長より、大域次元は 6 次元、局所次元は表情毎に異なることが分かった。また、Surprise と Happiness は最短軸長が小さくなる傾向、Fear と Neutral は最短軸長が大きくなる傾向が得られた。

一方で、次元削減数が小さいことからどの次元も表情知覚に貢献していると考えられ、より高次元の表情空間における次元推定が必要である。また、次元削減手法によって表情の軸長の分布に差異が見られるため、各手法の特徴の分析も今後の課題として挙げられる。

#### 参考文献

- [1] 炭矢 瑠奈, 田崎 元, Reiner Lenz, 趙 晋輝, “顔表情認知における弁別閾値を用いた表情空間の構築とその意義に関する考察”, HCG シンポ 2017, (C-4-2).
- [2] 神藤 真沙志, 趙 晋輝, “リーマン空間の有効次元の定義と高次元リーマン計量の推定法及び表情空間の次元推定”, 電子情報通信学会, ヒューマンコミュニケーション基礎研究会, ヒューマン情報処理研究会, 2020 年 5 月, 信学技報, HCS2020-2 HIP2020-2.
- [3] J. A. Russell and M. Bullock, “Multidimensional scaling of emotional facial expressions: Similarity from preschoolers to adults,” J. Personality Social Psychology, vol. 48, no. 5, pp. 1290-1298, (1985).
- [4] Savran, N. Alyüz, H. Dibeklioglu, O. Çeliktutan, B. Gökberk, B. Sankur, and L. Akarun, The First COST 2101 Workshop on Biometrics and Identity Management (BIOID 2008), Roskilde University, Denmark, 7-9 May 2008.
- [5] Savran, B. Sankur, M. T. Bilge, Pattern Recognition, Vol. 45, Issue 2, p767-782, Feb. 2012.
- [6] Savran, B. Sankur, M. T. Bilge, Image and Vision Computing, Vol. 30, Issue 10, p7774-784, Oct. 2012.