

表情計量に基づく個人間表情感覚の比較と変換
Comparison and Transformation of Facial Expression Perception
between Individuals based on Riemman metrics

神藤 真沙志[†]
Masashi Shinto

趙 晋輝[†]
Jinhui Chao

1. 序論

人と人とのコミュニケーションを図る上で表情を認知することは重要な役割を担っているといわれている。表情認知研究の主な説として、カテゴリ説と次元説の二つの説が存在する。カテゴリ説では、人種に関わらず認知できる普遍的な表情として、基本感情カテゴリに対応した離散的な表情カテゴリを設定している。例えば、Ekman(1992)は、怒り、驚き、恐れ、悲しみ、嫌悪、喜びの6つの感情を基本感情カテゴリとし、それらの感情に対応した6表情(怒り顔、驚き顔、恐れ顔、悲しみ顔、嫌悪顔、笑顔)を表情カテゴリとして提唱した[1]。一方で、次元説では感情を表す空間内に快-不快、覚醒-沈静といった数本の座標軸をとり、そこに基本感情などを配置して表情を記述する。代表例として、Russellの感情円環が挙げられる[2]。近年、炭矢らは、表情の物理刺激空間に表情 JND 刺激閾値(以下「表情弁別閾値」と称する)を測定することで表情空間のリーマン計量を定める方法を示した[3]。本論文では、表情弁別閾値楕円から得られるリーマン計量を定義した後、等長写像を利用した個人間の表情感覚を比較する手法を提案する。

2. 表情空間と表情計量

炭矢らは、表情の物理刺激空間に表情弁別閾値を測定することで、表情空間のリーマン計量を定める方法を示した。特に、心理物理空間としての表情空間はユークリッド空間ではなく、リーマン空間すなわち歪んだ空間であることを明らかにした。

3. 提案手法

この章では、Alice と Bob という二人の被験者を仮定し、表情感覚の違いを比較する手法を提案する。提案手法は次の5つのステップで構成される。

1. 表情画像空間の作成
2. Alice と Bob の無表情弁別閾値の測定
3. 無表情弁別閾値楕円の推定
4. 無表情弁別閾値楕円間の局所等長写像の導出
5. 個人間表情感覚の比較

なお、ステップ 1 ~ 3 においては炭矢らの手法を参考にした。

3.1 表情画像空間の作成

表情画像空間とは表情画像の分布を示した空間である。すべての表情画像に対して主成分分析を使用することによって作成される。

3.2 無表情弁別閾値の測定

被験者に、無表情以外の表情から無表情への連続画像を提示し、感情が読み取れなくなった地点を無表情弁別閾値と定義する。無表情以外の表情を n 個とすると、無表情弁別閾値は n 個得られる。無表情弁別閾値は後述する測定実験によって求められる。

3.3 無表情弁別閾値楕円の推定

測定実験によって求めた無表情弁別閾値に対応する表情画像空間上の点 $\{(x_i, y_i) | i = 1, 2, \dots, n\}$ を使用して、最小二乗法により楕円の当てはめを行う。楕円の方程式を次のように定義する。

$$x^2 + Axy + By^2 + Cx + Dy + E = 0 \quad (1)$$

(1)式の二乗和を最小にするようなA-Eを求めることで、楕円の方程式が得られる。

3.4 無表情弁別閾値楕円間の局所等長写像の導出

上記の章で求めた無表情弁別閾値楕円から表情画像空間におけるリーマン計量が求まる。楕円の長軸を a 、短軸を b 、回転角を θ としたとき、リーマン計量 G は

$$G = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{pmatrix}$$

$$g_{11} = \frac{a^2 \sin^2 \theta + b^2 \cos^2 \theta}{a^2 b^2}$$

$$g_{12} = \frac{2 \sin \theta \cos \theta (b^2 - a^2)}{a^2 b^2}$$

$$g_{22} = \frac{a^2 \cos^2 \theta + b^2 \sin^2 \theta}{a^2 b^2}$$

と与えられ、楕円は $X^T G X = 1$ と表せる。ここで、Alice の楕円を $X^T G_1 X = 1$ 、Bob の楕円を $Y^T G_2 Y = 1$ 、それぞれのリーマン計量を

$$G_1 = \begin{pmatrix} g_{11}^{(1)} & g_{12}^{(1)} \\ g_{12}^{(1)} & g_{22}^{(1)} \end{pmatrix} \quad G_2 = \begin{pmatrix} g_{11}^{(2)} & g_{12}^{(2)} \\ g_{12}^{(2)} & g_{22}^{(2)} \end{pmatrix}$$

とする。上記の計量によって定義されるリーマン距離を保存する。具体的には、Alice の楕円を Bob の楕円に移す等長写像を行列 M とすると、

$$Y = M X \quad (2)$$

と表すことができる。また、二人の楕円の式から

$$X^T G_1 X = Y^T G_2 Y = 1 \quad (3)$$

[†] 中央大学大学院理工学研究科情報工学専攻
Department of Information and Systems Engineering,
Faculty of Science and Engineering, Chuo University Graduate
School

が成り立つことにより, (2)(3)式から

$$G_1 = M^T G_2 M \quad (4)$$

が得られる.

$$M = \begin{pmatrix} M_1 & M_2 \\ M_3 & M_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{pmatrix} \quad (5)$$

と置くことで, (4),(5)式から

$$\begin{aligned} g_{11}^{(1)} &= g_{11}^{(2)} M_1^2 + 2g_{12}^{(2)} M_1 M_3 + g_{22}^{(2)} M_3^2 \\ g_{12}^{(1)} &= g_{11}^{(2)} M_1 M_2 + g_{12}^{(2)} (M_1 M_4 + M_2 M_3) + g_{22}^{(2)} M_3 M_4 \\ g_{22}^{(1)} &= g_{11}^{(2)} M_2^2 + 2g_{12}^{(2)} M_2 M_4 + g_{22}^{(2)} M_4^2 \\ 0 &= M_1 M_2 + M_3 M_4 \end{aligned}$$

と非線形連立方程式が得られる. この方程式を解くことで, Alice と Bob の表情弁別閾楕円間の等長写像 M が得られる. このような異なる被験者の表情弁別閾楕円を移し合う写像によって, 個人間の表情感覚の比較と変換が可能となる.

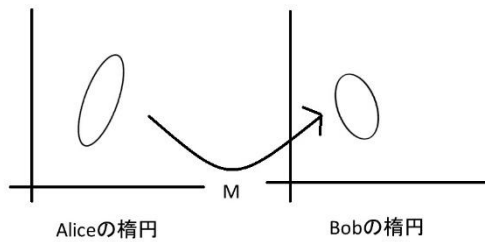


図1 等長写像 M

3.5 個人間表情感覚の比較

表情を見たときの主体的な感覚を表情感覚と定義する. Alice の楕円内と楕円外の任意の画像をそれぞれ1枚選択し, それらに対応した表情画像空間上の点を $P1 = (x_1, y_1)$, $P2 = (x_2, y_2)$ とする. 求めた等長写像 M を $P1, P2$ にそれぞれ適用し, 適用後の座標に一番近い画像を出力する. これにより Alice の表情感覚と Bob の表情感覚はどのような差があるか比較することが可能となる.

4. 表情弁別閾楕円測定実験

4.1 表情データベース

本研究において, 表情データベースは「A database of facial expressions in younger, middle-aged, and older women and men」を使用した[4]. このデータベースは, 無表情から5つの表情(怒り顔, 嫌悪顔, 恐れ顔, 笑顔, 悲しみ)へのモーフィングを動画化して提供している. 実験に用いた画像は, モーフィング動画をフレームごとに分割し画像を縮小して画素数を減らした後グレースケール化することで作成された.

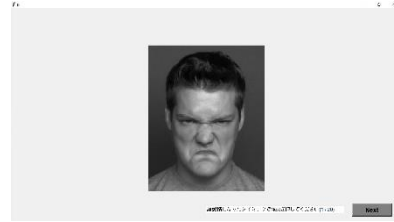


図2 測定実験画面

4.2 測定方法

測定は調整法によって行われた. 被験者が自ら表情を変化させ無感情になったと感じた地点を無表情弁別閾値として記録する. 図2は測定画面の一部である.

5. 実験結果

使用したすべての表情画像に主成分分析を適用することで, 表情画像空間を得た. その後, 測定実験によって得られた表情弁別閾値から表情弁別閾楕円を推定した. 二人の被験者に対して, 推定した楕円を図3に示す. その後, 表情弁別閾楕円間の等長写像 M を求め, 任意に選択した2枚の画像に適用することで表情感覚を比較した.

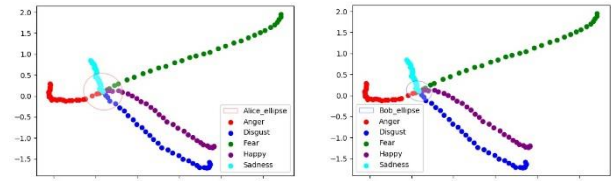


図3 二人の被験者の表情弁別閾楕円

6. 結論

本研究では, 表情弁別閾値の測定実験を行い, 表情弁別閾楕円を推定した. その後, 推定した楕円からリーマン計量を求め, 二人の表情弁別閾楕円間の等長写像を得た. 最後に, 等長写像を二枚の写真に適用することで, 個人間の表情感覚の違いを可視化した. 今後の課題として, 表情空間における, 表情弁別閾楕円の正確性の向上や, 表情画像空間の間の等長変換アルゴリズムの改善などが挙げられる.

謝辞

本研究の一部は, 総務省・SCOPE(181603006)の支援に基づいている.

参考文献

- [1] Ekman P., "An argument for basic emotions. Cognition & Emotion", vol. 6, no. 3-4, pp. 169-200, (1992).
- [2] 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).
- [3] Sumiya Runa, Reiner Lenz, Jinhui Chao, "Measurement of JND Thresholds and Riemannian Geometry in Facial Expression Space", HCI, (2018)
- [4] Ebner, N. C., Riediger, M., & Lindenberger, U. FACES—A database of facial expressions in young, middle-aged, and older women and men: Development and validation. Behavior Research Methods, 42, 351-362. doi:10.3758/BRM.42.1.351, (2010)