

表情弁別閾値楕円の測定による表情空間の構築 Construction of subjective expression space using JND threshold ellipsoids in facial expressions

炭矢 瑠奈[†] Reiner Lenz[‡] 趙 晋輝[†]
Runa Sumiya Reiner Lenz Jinhui Chao

1. 序論

近年、表情認識に関する研究が注目を集めており、様々な表情認識システムが提案されている。しかし、主観空間の定義と構成については、未だに理論も方法も確立されていない。心理学における表情認識研究では、主観評価値からなる心理空間が利用されているが、心理空間では物理的刺激との対応を記述することは難しい。一方、工学における表情認識研究では、表情画像からなる画像空間を PCA などの手法によって低次元へ変換し、表情画像と基本表情 [2] の特徴ベクトル間のユークリッド距離差より 7 つの基本表情のカテゴリへ分類をおこなうもの、もしくは、笑顔などといった 1 つの表情の度合いや 4 から 7 表情程度の複数の表情の寄与率を結果として表すものである。カテゴリによる表情の定性的な記述は、表情認識結果を提示する手段としては優れているが、表情の連続的変化や言語によるラベル付けが難しい細やかな表情に対しては、7 つの表情の組み合わせによる表現には限界があると考えられる。また、心理学における心理空間とは逆に、画像空間は物理刺激空間であり、人間の主観知覚を記述するとは限らない。今まで著者らは、表情を連続的変化として扱う次元説の立場より、物理的刺激空間である表情画像の PCA 空間において、人間による微小表情の認識傾向について表情弁別閾値を実験により測定した。そして表情弁別楕円体の形状と分布を表情空間上で可視化を行った。その結果、表情画像空間はユークリッド空間ではなく歪んだ空間であり、したがって表情知覚の主観特性と一致しないことを明らかにした。本論文では、物理空間の歪みを表す表情弁別楕円を、表情の主観知覚を記述する尺度として物理空間に付加することで表情空間を定義することを提案し、表情空間は弁別楕円によって与えられる計量を持つリーマン空間として表現できることを示す。そして、カテゴリ分類のような定性的記述ではなく、表情空間上で表される定量的記述、また、表情空間の意義に関して検討する。

2. 表情空間の定義と考察

2.1 心理空間と画像空間及び表情空間

表情認識の代表的な学説には表情は基本表情などによるカテゴリによって離散的に記述されるという立場であるカテゴリ説と表情を心理空間上で連続的刺激として扱う次元説が存在している。多くの工学における表情認識研究はカテゴリ説の立場で表情を 7 つの基本表情の組み合わせで表現しており、また、次元説を否定するものもあるが、次元

[†] 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,
Graduate School of Science and Engineering, Chuo
University

[‡] Dept. Science and Technology, Linköping University

説とカテゴリ説は互いに矛盾するものではない [9]。今までの次元説の研究では、SD 法や Affect Grid 法などの主観評価を用いて 2 もしくは 3 次元の心理空間へ認知による表情の分布を描画し、考察を行うものである。しかし、得られた心理空間を暗黙的にユークリッド空間であると仮定し、それぞれの表情間の距離や配置に関して議論を行ってきたが、その暗黙的仮定に関して十分な議論を行っていない。また、心理評価実験によって得られた心理空間は、物理的刺激との対応関係を記述できないため、被験者が異なれば当然異なり、被験者が心理実験で見た表情データの演者が異なればまた得られる心理空間も異なるものになる。さらに、心理実験は被験者の心理状態に大きく依存するものであり、得られる心理空間は不安定であると考えられる。そこで、本研究では表情画像の画素値の差を用いて PCA によって一意に求めることができる表情画像空間を作成する。ただし、この段階における表情画像空間は主観評価を含まず、ただの物理刺激の特徴に伴った分布であり、その座標値や距離は、人間の表情知覚と異なる意味と尺度を表す。そのため、Russell の円環 [5] のような配置は得られない。しかし、物理刺激からなる表情空間上へ人間の知覚特性を表す計量である表情弁別閾値を描画することで、物理空間に主観的知覚の尺度を導入することが可能である。そして、同一空間を用いて複数の被験者の認知の比較を行うことができ [10][11]、さらにその表情空間に対してリーマン幾何の適用を行うことで、物理刺激と心理刺激が対応づいた表情空間の構築が初めて可能となる。弁別閾値を用いて主観的評価と物理刺激を対応づけた空間としては、色彩工学における均等色空間がよく知られている。色彩知覚における弁別閾値である MacAdam の楕円 [4] を用いて物理刺激である色空間に人間の色彩知覚尺度を与えることで、物理的色差と主観的色差が等しくなる均等色空間が構築できる [1][3][6]。ここで提案する表情空間も同様に定義して構築することができる。

2.2 表情空間の構築

弁別閾値とは、認知の感覚において何らかの変化を感じるために必要な変化量であり、表情弁別閾値楕円体とは、表情画像空間上のある表情と主観的に同程度の異なりを持つ表情の集合である。よって、表情空間上では、表情弁別閾値楕円体とは中心表情から等距離離れる点の集合であり、その距離を 1 とすれば単位球面となる。しかし、前述のとおり表情画像空間は物理刺激の分布であり、そしてその空間上で楕円体の形状で表情弁別閾値を得ている。したがって、表情画像空間を歪んだ心理空間として捉え、リーマン幾何によって記述することで、ユークリッド空間へ写像を行うことができる。 [1][6] リーマン空間の各点ごとの距離尺度或いは計量は、表情画像空間では表情弁別楕円によって与えられるため、表情弁別楕円は表情画像空間をリーマ

ン空間として一意に定義する。また、リーマン空間における 2 点間の距離は直線距離ではなく、測地線によってはじめて正確に測ることができる。リーマン幾何を用いることによって物理刺激と心理評価の対応づいた表情心理空間上で、正確な表情間の相互関係の解明や表情の座標値による定量表現など新たな応用が期待できると考えられる。

3. 表情弁別閾値の測定

3.1 表情弁別閾値

本研究では、言語によるラベル付けが難しい表情を扱うために、表情刺激として 7 基本表情と FACS によって定義される AU21 種の表情をモーフィングして得た表情画像を用いる。また、その過程の中で、目を閉じた顔の上に瞳が描画されるような、人の顔に見えない画像は排除した。古典的な弁別閾値の測定法として調整法や恒常法、極限法が広く知られている[8]が、本研究では調整法と恒常法を組み合わせ合わせた手法をとっている。標準刺激と比較刺激の 2 枚の表情画像の比較を行い、同じに見えるか異なって見えるか被験者に求めた。表情画像空間上で一つの標準刺激に対して 27 方向の弁別閾値を求め、27 点のデータを元にガウシアンフィッティングの手法で表情弁別楕円を推定する[11]。

3.2 実験結果

今まで著者らは表情弁別閾値を複数の被験者で測定を行い、可視化をすることで認知の比較を可能にした。さらに、弁別楕円推定の誤差を抑えるために測定手法を検討した。今までの実験結果はすべて基本表情近傍での表情弁別閾値の測定であったため、表情画像空間内部では表情弁別楕円体の測定は行っておらず、内部の構造に関しては不明瞭であった。そこで内部の表情弁別楕円体の数を増やすために追加実験を行い、15 個の楕円体を表情画像空間へ描画を行った。その結果を図 1, 2 へ示す。図 1 で重なって見える楕円は 3 次元においては重ならないことが図 2 より示される。これらの楕円は、向きと形状に明らかな規則性が存在するため、表情空間の内在幾何学の構造を表していると思われる。具体的には、ある特性を持つリーマン空間の特徴が表れている。表情画像空間の次元に関してはさらなる検証が必要であるが、表情画像空間は画像空間の部分多様体であり、被験者が実験で見る表情画像としての PCA による 1 から 3 までの主成分 (第 1, 2, 3 固有ベクトル) 部分空間におけるリーマン空間としての特徴を表していると考えられる。

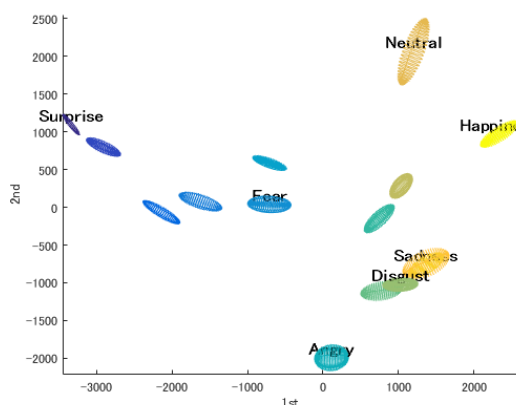


図 1 2次元表情弁別楕円

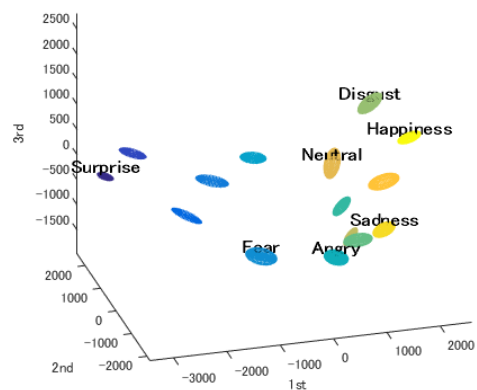


図 2 3次元表情弁別楕円

4. 結論

表情空間を物理刺激と主観評価が対応づいた主観空間としての定義と構築に関して検討した。さらに、表情弁別閾値の測定により、表情空間においてあるリーマン空間の特徴を示す結果を得た。今後は、実際に表情画像空間における測地線を導出し、表情空間を構築することで表情認知の幾何学的特性の解明を行う。

参考文献

- [1] Chao, J., Lenz, R., Matsumoto, D., & Nakamura, T. "Riemann geometry for color characterization and mapping." Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision. Vol. 2008. No. 1. Society for Imaging Science and Technology (2008).
- [2] Ekman P., Friesen W.V., Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement, Palo Alto: Consulting Psychologists Press (1978).
- [3] Gunter Wyszecki and Walter Stanley Stiles, Color science, vol. 8, Wiley New York (1982).
- [4] MacAdam David Lewis, "Visual sensitivities to color differences in daylight", Journal of the Optical Society of America, Vol. 32, No.5, pp.247-274 (1942).
- [5] Russell J.A., Bullock M., "Multidimensional scaling of emotional facial expressions: Similarity from preschoolers to adults", Journal of Personality and Social Psychology, Vol.48, No.5 (1985).
- [6] Satoshi Oshima, Rika Mochizuki, Reiner Lenz, and Jinhui Chao, "Modeling, measuring, and compensating color weak vision," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 25, no. 6, pp. 2587-2600 (2016).
- [7] Schlosberg H., "The description of facial expressions in terms of two dimensions", Journal of Experimental Psychology, Vol.44, No.4 (1952).
- [8] ゲンシャイダー, G. A., 宮岡徹(監訳), "心理物理学 - 方法・理論応用上巻", 北大路書房 (2003).
- [9] 炭矢 瑠奈, 田崎 元, 趙 晋輝, "表情空間における内在的幾何学に関する考察", 情報科学技術フォーラム公演論文集, Vol.15, No.3, pp.295-296 (2016).
- [10] 炭矢 瑠奈, 田崎 元, Reiner Lenz, 趙 晋輝, "表情弁別閾値に基づく表情空間の内在的幾何学に関する考察", HCG シンポジウム 2016 論文集, pp511-516 (2016).
- [11] 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の測定と表情空間に関する考察", 信学技報, vol. 116, no. 513, HIP2016-89, pp. 85-90 (2017).