

仮想空間社会の実現に向けた表情データベースの構築および表情検出システムの開発

代表研究者 難波修史 広島大学 人間社会科学研究科 准教授

1 序論

新しい表情データベースの開発は、心理学、感情コンピューティング、認知科学など、多くの領域の進歩に役立つだろう。最近の研究では、虚偽検出(Lloyd et al., 2019) や、フリーなトーク (§ entürk et al., 2022), 集団での議論 (Girard et al., 2017), 自発的な涙 (Küster, Baker & Krumhuber, 2021), 痛み関連の表情 (Lucey et al., 2011; Fernandes-Magalhaes et al., 2022), 社会的スティグマ (Workman & Chatterjee, 2021) など、多くの状況や研究目的に適した表情データベースが提供されている。現在その中で最も注目されているものとして、感情状態の伝達 (系統的なサーベイについては Dawel et al., 2021 参照; レビューについては Krumhuber et al., 2017 参照; メタデータベースについては Workman & Chatterjee, 2021 参照) がある。これらに基づき、無数の応用研究が展開されている(レビューについては Li and Deng, 2020 および Ekundayo & Viriri, 2021 を参照)。本稿では、理研表情データベース (The RIKEN database) という新しい表情データベースを紹介する。このデータベースは、感情表出に関する個々の研究目的に応じて、複数の目的を達成する可能性を提供する。

新たな感情表情データベースの開発に向けて乗り越えるべき課題は三つ存在する。具体的には、複数の理論的な感情観を統合したデータベースの不在、個別化された文脈についての情報不足、多角・奥行き情報についての軽視、である。

新たなデータベースの開発に向けた課題

(1) 多くのデータベースは基本感情理論 (すなわち、6つの基本的な感情カテゴリ) に依存している (Calvo & Lundqvist, 2008; Chung et al., 2019; Ebner et al., 2010; Holland et al., 2019; Langner et al., 2010; LoBue & Thrasher, 2015; Van Der Schalk et al., 2011)。また、数は少ないが、基本感情理論で想定されるカテゴリの感情を直接喚起させることが期待できる場面で表出した表情を対象とする喚起ベースの手続き (自発表情: Mavadati et al., 2013; Sneddon et al., 2011; Zhang et al., 2014) で作成された表情データベースも存在する。しかし、他の理論に基づく表情データベースは不足している。構成主義的な感情理論では、感情状態を表現するために、感情価と覚醒度という2つのベクトルを用いる (Barrett & Russell, 1999)。この理論を適用したデータベースは、基本感情理論や簡略化された感情ラベルを適用したもの比べて、わずかにしか存在しない (AffectNet: Mollahosseini, Hasani & Mahoor, 2017; AFEW-VA: Kossaifi, Tzimiropoulos, Todorovic and Pantic, 2017)。そのうえ、これらのデータベースは観察者視線での評定がアノテーションとして用いられている (ただし、Stanford Emotional Narratives Dataset: Ong et al. 2019 も参照)。さらに、評価要素モデル (Component process model, CPM: Scherer, 2001) は、各評価次元での評価結果が感情のダイナミクスを逐次的に駆動すると仮定している。これに依拠する唯一の顔表情データベースは、Seuss ら (2019) によって開発された俳優データベースである (ただし、著者に直接表情データベースを公開するよう求めたが、2024年6月現在返事をもらえていない。おそらく筆頭著者が学術領域から産業領域に転向する過程で、論文で公的にアクセスできると記載してあるデータベースを未公開情報に変更したと考えられる)。感情に関する理論的な議論において、感情を定義する方法について多角的な科学的理論を採用することが哲学者によって提案されている (Scarantino, 2012)。ゆえに、さまざまな理論的背景を加味したデータベースは、研究目的や実践に応じて柔軟に活用できるであろう。

(2) 感情表情を知覚するためには、文脈情報が重要である (Barrett et al., 2019; Barrett, Mesquita & Gendron, 2011; Chen & Whitney, 2019)。Le Mau ら (2021) は、顔の動きから内的状態を推測する際の文脈情報の役割を強調している。同じ出来事でも人によって受け止め方は異なる。侮辱されると、ある人は怒りを感じるかもしれないが、別の人は軽蔑や恐怖を感じるかもしれない。文化的学習を含む個人の発達歴が、感情に関連する顔表情の動きに影響を与えることを考えると (Barrett, 2017; Griffiths,

1997), 顔表情のデータベースを拡張する際には, 個人に応じた文脈や条件を設定し, それらを詳細に記録として残しておく必要がある。

(3) 多くの表情データベースは, RGB 画像およびその映像を用いて作成されてきた (Calvo & Lundqvist, 2008; Chung et al., 2019; Dawel et al., 2021; Langner et al., 2010; LoBue & Thrasher, 2015; Tottenham et al., 2009; Van Der Schalk et al.)。その一方で, 多角的な視点を含むマルチアングルデータや, 深度情報を含む 3D 表情データベースは存在こそするものの, 数は限られている (Seuss et al., 2019; Cudeiro et al. 2019; Fujimura and Umemura, 2018; Ueda, Nunoi & Yoshikawa, 2019)。しかし, マルチアングルデータと深度情報には, 個々の研究実践においていくつかの利点がある。心理学者たちは, 顔の知覚を研究する上で, 顔の角度 (正面から見るか横顔から見るかなど) が重要であることを指摘してきた。Guo と Shaw (2015) は, 横顔は正面顔と比較して知覚強度が有意に低下することを示した。さらに, 多角度情報はコンピュータサイエンスでも注目されている。マルチアングルな複数の二次元画像から, 最先端のアルゴリズムによって 3D 表現を生成することができる (Mihajlovic, Bansal, Zollhoefer, Tang & Saito, 2022)。3D 表現と同様に, 3D の顔に動的な情報を付加する 4D 情報は, 顔知覚などの心理学研究において注目されている (Burt & Crewther, 2020)。例えば, Chelnokova と Laeng (2011) は, 3D の顔は 2D の顔よりもよく認識できることを示した。学者たちは, 顔表情データベースを使った科学を充実させるために, Kinect などのツールを使って深度情報を直接測定する新しいデータベースを開発している (例えば, Aly et al., 2015; Boccignone, Conte, Cuculo & Lanzarotti, 2017)。そのため, マルチアングルデータと深度情報の取得は, 感情コンピューティング分野でますます標準的になってきている (Cheng, Kotsia, Pantic & Zafeiriou, 2018; Li et al, 2022; Matuszewski et al, 2012; Seuss et al, 2019)。このような情報を測定したデータベースを構築することは, 心理学実験を行ったり, コンピュータサイエンスにおいて自動感情推定システムを開発したりする上で重要となる。

以上より本研究では, 個別化された文脈と複数の理論的な感情観を含む, 多角的な視点と深度情報を持つ新しい表情データベースを開発した。より具体的には, 感情価 (valence) と覚醒度 (arousal) に対応する 25 の個別事象と対応した顔データベースの作成を目指した (Russell, Weiss & Mendelsohn, 1989)。さらに, 参加者が用意した 25 のイベントから, 自由記述のラベリングデータ (Haidt & Keltner, 1999) と, 評価の次元に関連する評価値 (Scherr, 1997; Scherer et al, 2018) も参加者から取得した。本稿は, 開発したデータベースについて報告することが主な目的としているが, Facial Action Coding System (FACS: Ekman et al., 2002) と呼ばれる顔面運動を符号化するシステムを自動で展開する AI 技術を用いて, 映像から得られた表情のダイナミクスを定量化して抽出した。感情価/覚醒度/評価の次元と顔面運動の行動単位 (AUs/アクションユニット) との関係もあわせて分析した。顔面筋電図を記録した十分な心理生理学的研究から, 皺眉筋 (AU4 に関連) と大頬骨筋 (AU12 に関連) の活動が, それぞれ主観的な感情価とそれぞれ負の関連および正の関連があることがこれまでの先行研究で示されている (Bradley & Lang, 2000; Greenwald, Cook & Lang, 1989; Lang, Greenwald, Bradley & Hamm, 1993; Larsen, Norris & Cacioppo, 2003; Sato, Fujimura, Kochiyama & Suzuki, 2013; Sato, Kochiyama & Yoshikawa, 2020; Sato, Murata, Uraoka, Shibata, Yoshikawa & Furuta, 2021; Tan et al., 2012)。本データベースが従来の先行研究と一致した表情と感情の対応を有することの証拠として, 本研究で対象となる表情データベースにおいても, 従来の表情要素と感情価とのむすびつきが同様に見られると予測して, その関連を調べるための分析を行う。

2 方法

2-1 参加者

20 歳から 30 歳の日本人 48 名 (女性 22 名, 男性 26 名) (平均 23.33 歳, SD = 3.65) が参加した。表情データベース用の撮影を行う前に, 参加者全員から書面によるインフォームド・コンセント (目的, 方法, 表情データベース取得にあたる倫理的問題, データベースの撤回について, 個人情報の取り扱い, 参加の任意性等) を得た。インフォームド・コンセントには, 心理学実験や情報科学分野での表情運動推定システム開発などを含む学術的目的のために, 参加者の映像が公開されることに同意するかどうかについての記述も含まれていた。参加者には, 参加費とデータベース作成費として 13000 円が支払われた。実験手順および参加者に提出したプロトコルについて, 理化学研究所の倫理委員会 (プロトコル番号: Wako3

2020-21) からの承認を事前に得た。記録された表情は、効果量の母集団指数を推定するためではなく、顔データベースの作成に使用するために用意された。そのため、本データベースにおいて実験前の検定力分析は行わなかった。しかし、本研究で対象とする参加者の数は、俳優の表情を対象とした研究で用いられる一般的な数よりも多い (Scherr, Dieckmann, Unfried, Ellgring, & Mortillaro, 2021) ため、本研究が対象とした参加者数に基づく下記の統計結果には一定の妥当性が存在することが期待される。

2-2 手続き

参加者全員は、撮影セッションの1週間前に、生活の中で起こった5つの感情価 (非常に不快な感情、不快な感情、中立的な感情、快い感情、非常に快い感情) と5つの覚醒度 (非常に低い覚醒、低い覚醒、中間の覚醒、高い覚醒、非常に高い覚醒) の観点で、25の出来事を思い出し、書き留めるよう指示された。それにより、個人ごとに各状態と対応した感情的出来事を得た。イベントを収集するためのプラットフォームとして Qualtrics を活用した。参加者はまた、記述された各事象について、新規性 (予測可能: 「その事象は予測可能であった」, 親近性: 「その事象は一般的であった」), 目標の重要性 (「その事象はあなたにとって重要であった」), 対処可能性 (「適切な行動をとれば、その事象をコントロールし、回避することができた」) について、1 (強く同意しない) から5 (強く同意する) の評価チェックを行った。参加者はまた、各事象について考えられる感情ラベルを自由に記述するよう求められた。回答を要する感情価と覚醒度の組み合わせに依拠したイベントの順番はランダムにした。

撮影当日、参加者は改めて実験の説明を受け、撮影場所に移動した。図1 (A) ~ (B) に収録環境を示す。参加者は椅子に座り、顔の位置を固定した。撮影用ライト (AL-LED-SQA-W: 東芝製) を3台設置し、参加者の顔を右上, 左上, 下から照らし、顔をはっきりさせ、できるかぎり影を消した。その後、参加者にはマスクとメガネを外してもらった。10台の Kinect カメラ (RGB:1920×1080、Depth:640×576) を使って、顔の動きを記録する環境を整え、毎秒30フレームで参加者の顔の動きをビデオクリップとして記録した。左右の水平カメラの間隔は22.5°で、カメラは22.5°, 45°, 90°の間隔で配置した。このデータベースでは、67.5°に置かれたカメラは使用しなかった。理由として、複数のカメラを2台のデスクトップPCでコントロールしていたが、機器による負荷から、予期不能なエラーが生じたため、一部のカメラを間引いた。本研究では、SDKプログラムを使って、顔の動きを記録するためのプログラムを作成した。深度情報は、処理負荷の軽減と機器によるハードウェアによるエラーを避けるため、上1台、下2台、正面向き、左2台、右2台の計8台のカメラに限定した。また、刺激の応用可能性を拡張するために、背景としてグリーンカーペットを可能な限り用意した (図1 (B))。

各セグメンテーション、すなわち表情表出のタイミングは、スピーカーシステムから発せられるビーブ音 (オンセット: 880Hz, ピーク: 1174Hz, オフセット: 880Hz) で示し、参加者が時間経過に従って表情を作るよう統制された。モデルは、最初の1秒間は事前に説明された出来事に根ざした感情表現を行い、2秒間意図した感情表現を維持し、その後1秒間は中立の表情に戻すよう指示された。

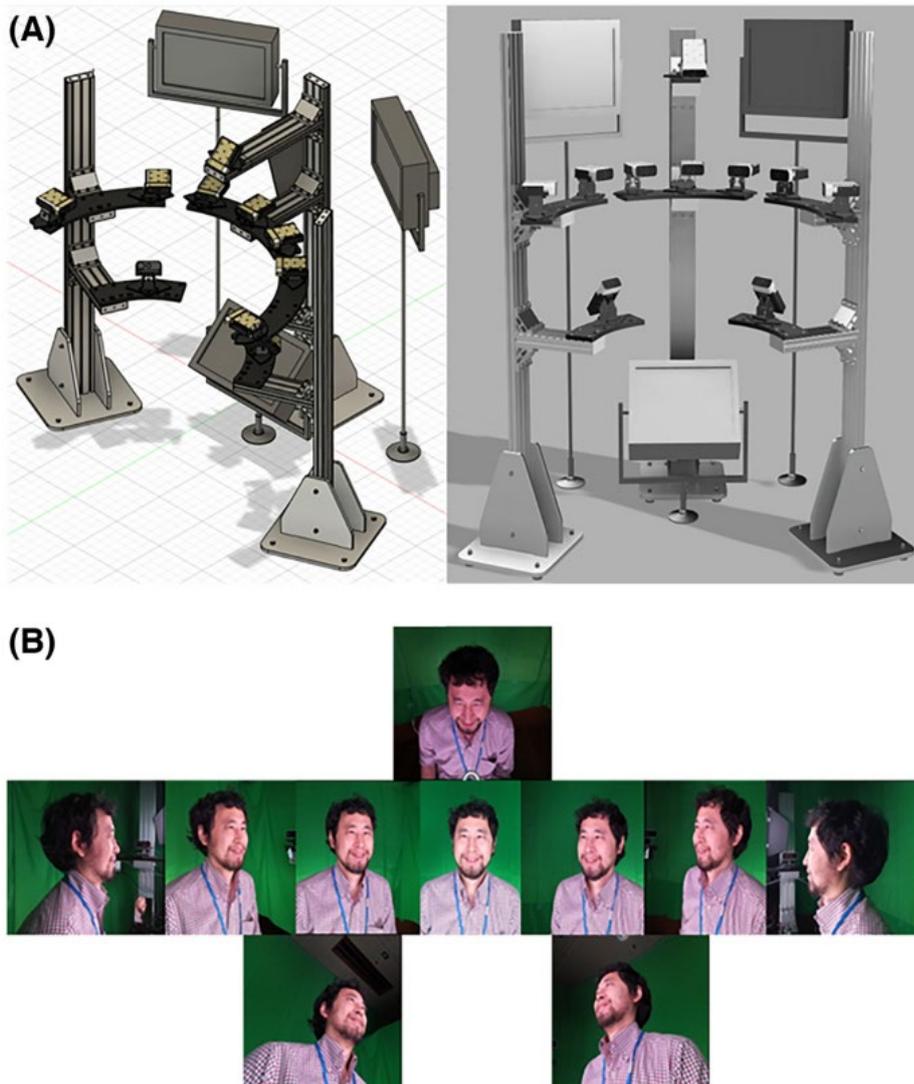


図1. (A) Autodesk Fusion 360により描写した撮影環境。3つの光源が、顔の前に置かれ、上下左右に配置されたカメラを用いて撮影が行われた。(B) 画像の例。刺激の加工ができるように、背景としてできる限り、グリーンカーペットを採用した。

2-3 解析方法

OpenFace (Baltrusaitis ら、2018) を用いて表情のパターンを評価するために17の顔の動きを抽出した。AU1 (内眉を上げる), AU2 (外眉を上げる), AU4 (眉を下げる), AU5 (上まぶたを上げる), AU6 (頬を上げる), AU7 (まぶたを引き締める), AU9 (鼻にしわを寄せる), AU10 (上唇を上げる), AU12 (口角を上げる), AU14 (えくぼを作る), AU15 (口角を下げる), AU17 (顎を上げる), AU20 (口唇を伸ばす), AU23 (口唇を引き締める), AU25 (唇を開く), AU26 (顎を下げる), AU45 (まばたき)。自動顔運動検出システムの中では、OpenFaceが比較的良好な性能を持っていた (Namba et al. 2021)。Namba, Sato and Yoshikawa (2021) によれば、OpenFaceは正面からの顔画像が最も精度が高い。そのため、本研究での報告にあたっては、正面からのカメラによる表情のみを対象とした。顔表情の組み合わせの強度は時間軸上、ピーク時点でビープ音が鳴った後に最大になると予想される手順の性質を考慮し、我々は主に中間となるフレーム (すなわち61フレーム目) に焦点を当てた。統計解析にはR (4.1.2, R Core Team, 2021) を使用した。tmパッケージとopenxlsxパッケージを使用して、各イベントのテキストマイニングを行った (Feinerer & Hornik, 2022; Feinerer, Hornik & Meyer, 2008; Schauburger & Walker, 2022)。さらに本研究で採用した評価次元間の相関をチェックするために、psychパッケージ (Revelle, 2022) を使用した。OpenFaceによって抽出されたデータの次元削減を行うために、nnTensorパッケージ (Tsuyuzaki, Ishii & Nikaido, 2022) を使用した。データの可視化には

tidyverse パッケージを使用した (Wickham et al, 2019)。上述したように、十分な心理生理学的証拠 (例えば, Greenwald ら、1989) に基づいて, lmerTest パッケージ (Kuznetsova, Brockhoff, & Christensen, 2017) を用いた階層的線形回帰モデリングによって、感情価と AU4/12 の関係を予測・分析した。結果は、有意水準を $p < 0.05$ として設定した。すべてのコードは Gakunin RDM (<https://dmsgrdm.riken.jp:5000/uphvb/>) で入手可能とした。この研究のデザインおよび分析は事前登録されていない。

3 結果

方法で示したように、1200 イベント (48 人の参加者 × 5 つの感情価 × 5 つの覚醒) を得た。すべての日本語イベントは、TEXT (<https://www.text-edit.com/english-page/>) を使って英語に翻訳され、逆翻訳された。表 1 にテキストマイニングで得られた各イベントの頻出英単語トップ 3 を示す。得られたデータベースにおいて、共通イベント (頻度 10 / 48 以上) と思われる単語は、感情価 4 * 覚醒度 4 のイベント (友人) と感情価 5 * 覚醒度 5 のイベント (大学入試合格) に出現した。特に後者は、この研究における対象年齢が比較的若い、大学生を主とした参加者に限定されているため、大学入試が感情的出来事として採用されていることを示している。

表 1. 各イベントの頻出英単語トップ 3

V1A1		V1A2		V1A3		V1A4		V1A5	
sleep, exam	4	sleep, wait	3	person	9	fail, bike	4	someone	5
bed, person	4	small, get ...	3	dislik*, got	4	find, time	3	person, hit	4
depress, bad ...	3	tired, want ...	2	parttime, job	4	bad, fell ...	3	fell, head ...	3
V2A1		V2A2		V2A3		V2A4		V2A5	
morning	7	day, rain	5	want	4	work	7	game	4
sleep	6	start, intend	3	dislik*, favorite	3	take	4	someone, make	3
day, wake ...	3	someth*, well ...	3	well, hours ...	3	custom, train ...	3	mistake, get ...	3
V3A1		V3A2		V3A3		V3A4		V3A5	
watch, class	4	train	5	day, lunch	4	take, time	4	news	5
take, time	4	ride, watch ...	4	meal, without ...	4	school, friend ...	4	day	4
space, sleep	3	bike, take ...	3	spend, time ...	3	room, make ...	3	time, watch ...	3
V4A1		V4A2		V4A3		V4A4		V4A5	
sleep	7	good	6	favorite, watch	5	friend	11	game	5
bed	5	watch	5	buy, new	3	favorite	6	friend	4
play, home	3	holiday, movie ...	4	good, job ...	3	game, make ...	4	favorite, time ...	3
V5A1		V5A2		V5A3		V5A4		V5A5	
sleep	7	message, won	4	friend	7	friend, favorite	7	exam, pass	16
work, hot	4	finish, work ...	4	favorite	6	play	6	entrance	13
holiday, coffee	4	tire, good ...	3	time, watch	5	watch	5	university	10

本研究で対象となる表情データは、一部のフレームについてはカメラの故障や参加者の問題で欠落していることがごくまれにあるが、感情イベントそれ自体は上記のようにすべてのデータが記録されている。表情データに関する使用可能なフレーム数は 142865 であった。ピークフレームのみを抽出した場合は 1190 枚で、男性で 6 枚、女性で 4 枚の欠落が確認された。最終的に、1190 点のデータが以降の分析として利用した。図 2 は、感情価と覚醒度に関連する個々のイベントの顔パターンを示している。目視で確認したところ、AU4 (眉を下げる) と AU7 (まぶたを引き締める) は、ネガティブイベント (V1-V2) の際に強く発現していた。ポジティブイベント (V4-V5) では、AU6 (頬を上げる)、AU7、AU10 (上唇を上げる)、AU12 (口角を引く)、AU14 (えくぼを作る) が誘発され、これらは強い笑顔の表情と考えられる。ニュートラルな事象 (V3) では、顔の動きの強度が相対的に低いことがわかる。さらに、ポジティブイベントでは、図 2 か

ら、覚醒度が高いほど、口を開ける動作 (AU25:唇を開く, AU26:顎を下げる) が多いことがわかる。また、ピーク強度フレームにおいて、推定された Action Unit と評価次元との相関を確認した (表 2)。AU12 (口角引き下げ: $r = 0.49$) のように、感情価と表情要素との相関に比べ、すべての表情要素と評価次元の組み合わせについては相関が比較的 low だった ($|r| < 0.25$)。階層的線形回帰モデルを用いて、感情価 / 覚醒度と AU の関係を検討した。その結果、予測と一致し、感情価は AU4 (眉を下げる) の強度と負の関連が見られ ($\beta = -0.11$, $t = 6.38$, $p < 0.001$)、AU12 (唇を引っ張る) の強度と正の ($\beta = 0.28$, $t = 12.64$, $p < 0.001$) 関連が有意に観測された。その上、覚醒値は AU12 の強度スコアを有意に予測した ($\beta = 0.10$, $t = 9.19$, $p < 0.001$)。さらに、simr パッケージ (Green & MacLeod, 2016) を用いた post-hoc 感度検定力分析により、今回のサンプルサイズ (すなわち、 $N = 1190$) は、有意水準 $\alpha = 0.05$ 、検出力 99% で階層的線形回帰モデルのすべての係数を検出するのに十分であることが示された。

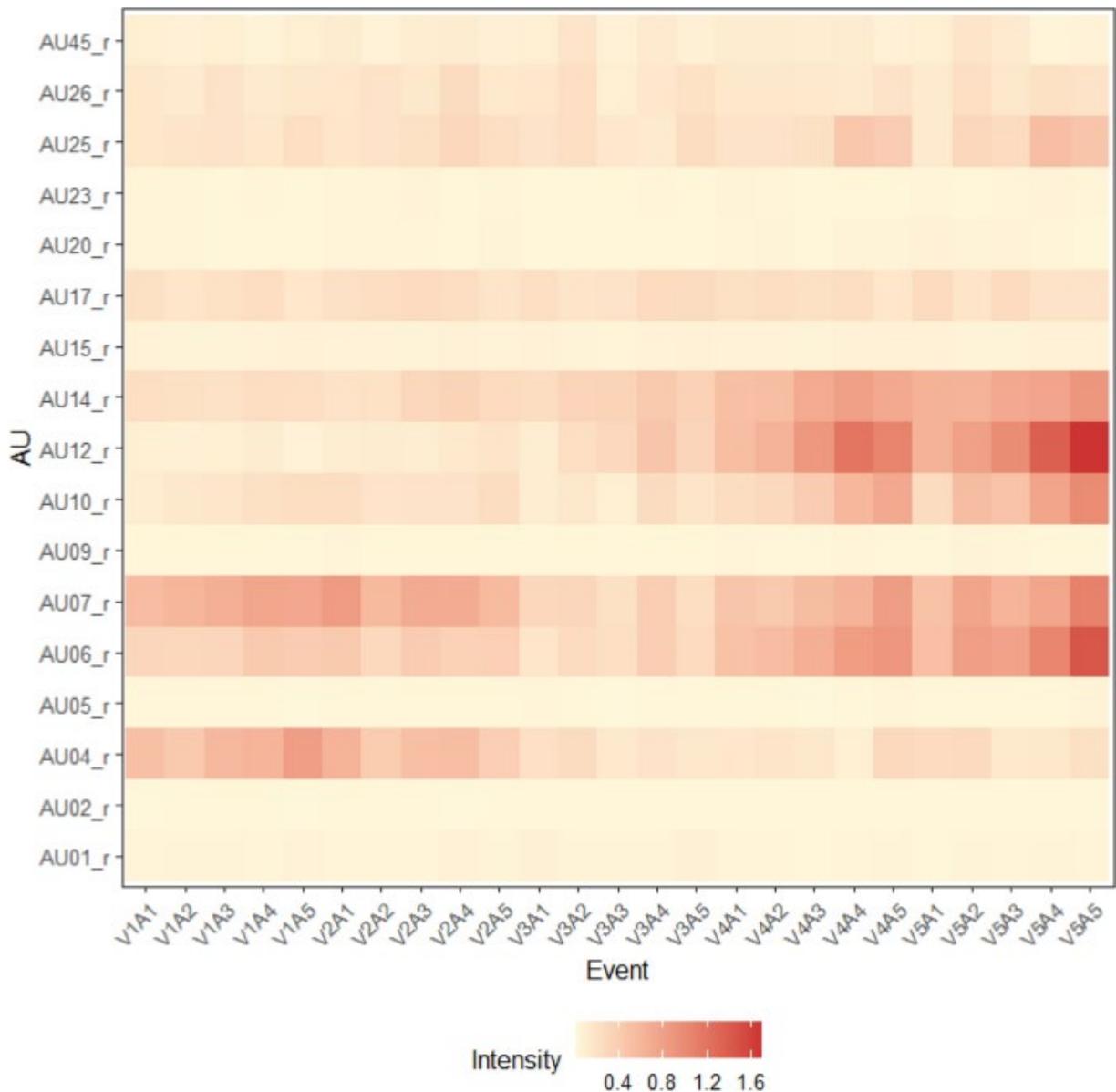


図 2. 各表情運動の強度。V は感情価を、A は覚醒度を意味する。

表 2. 表情要素と出来事に対する評価との相関

	Valence	Arousal	predict	Similarity	Important	Control
AU01_r	-0.03	0.02	-0.06	-0.02	0.02	-0.03
AU02_r	0.03	0.00	0.01	0.03	0.01	-0.02
AU04_r	-0.21	0.01	-0.06	-0.11	-0.02	0.06
AU05_r	0.02	0.01	-0.05	-0.02	0.07	-0.09
AU06_r	0.30	0.15	0.07	-0.12	0.21	0.03
AU07_r	0.01	0.08	-0.03	-0.07	0.08	0.04
AU09_r	0.06	-0.03	0.00	0.00	0.02	0.03
AU10_r	0.28	0.18	0.08	-0.09	0.19	0.01
AU12_r	0.49	0.18	0.11	-0.09	0.25	0.00
AU14_r	0.34	0.09	0.07	-0.07	0.16	-0.01
AU15_r	0.00	0.03	0.01	0.00	0.03	-0.03
AU17_r	0.02	-0.02	-0.01	-0.02	0.04	0.03
AU20_r	0.07	-0.03	0.03	0.00	0.04	0.06
AU23_r	0.02	-0.02	0.00	-0.01	0.08	0.03
AU25_r	0.13	0.14	-0.02	-0.08	0.11	0.02
AU26_r	0.02	0.02	-0.02	-0.06	0.01	0.01
AU45_r	0.03	-0.04	0.00	0.00	0.00	-0.05

さらに本研究で得られた表情データに対して非負行列因子分解を適用して次元を減らし、時空間特徴を抽出した (Lee and Seung, 1999)。このアプローチは、動的な表情パターンを識別することに適している (例えば, Delis, Panzeri, Pozzo & Berret, 2014; Perusquía-Hernández et al. 2021; Namba et al., 2022)。因数数は、因子を規定する複数の指標 (Brunet, Tamayo, Golub, & Mesirov, 2004; Kim and Park, 2007) を用いて決定した。因数数に関する情報は、Gakunin RDM (<https://dmsgrdm.riken.jp:5000/uphvb/>)でも確認および入手できる。

図 3 に非負行列因子分解を用いて抽出された AU の負荷量を示した 4 つの表情パターンを示す。図 3 において、数値の色は各因子スコアへの各表情要素の寄与を表す。独立成分に対する各 AU の相対的な寄与を目視することで、成分 1 をドゥシェンヌマーカ (眼輪筋周辺の収縮運動: AU6, 7), 成分 2 をまばたきやその他の顔の動き (AU1, 14, 17, 45), 成分 3 をしかめ眉 (AU4), 成分 4 を笑顔 (AU6, 10, 12, 14) と解釈した。これらの結果は、各顔の動きのピーク強度とも一致した (図 2)。

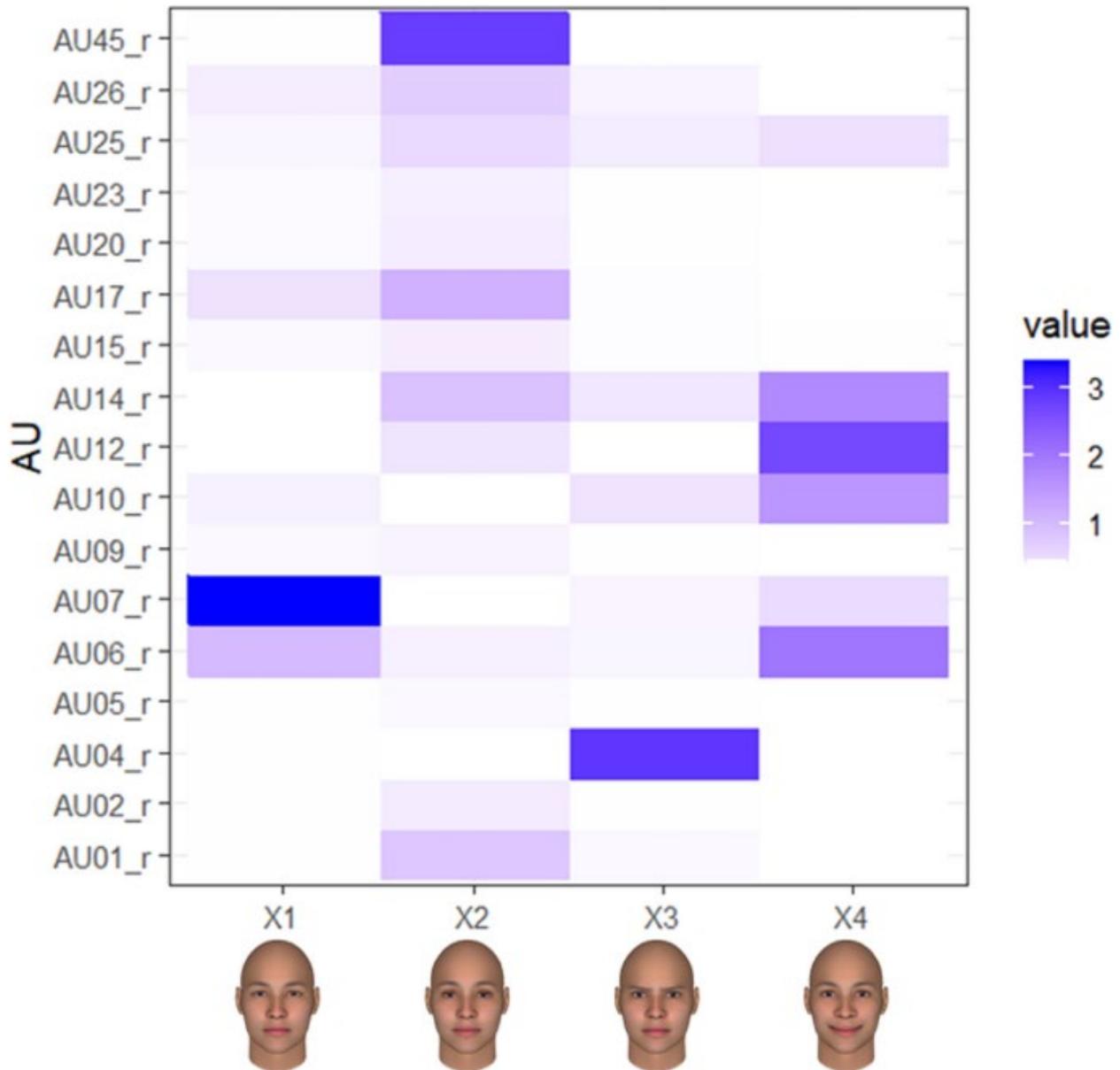


図 3. すべての出来事を対象とした表情の各要素に関する因子負荷量のヒートマップ。色が濃いほど、各表情運動の貢献度を示す。

図 4 は、感情価と覚醒度の各組み合わせについて、時間経過とともに表情パターンがどのように変化したかを示したものである。成分 1（ドゥシェンヌマーカー）の目で見える動きから確認できるのは、ネガティブなイベント（V1-V2）とポジティブなイベント（V4-V5）でより大きな動きを示したことである（例：V1A1 と V5A5）。この結果は、眼周辺の筋肉収縮がネガティブな感情とポジティブな感情の両方の表情で、系統的に生じるという知見と一致する（Mattson et al. 2013）。成分 2（まばたきやその他の顔面運動）は、意図的な顔面操作の表現に伴う緊張の緩和運動や、主要な感情表現とは無関係なノイズと解釈できる。なぜノイズと判断できるのかと言えば、ピーク持続時間（フレーム＝31～90）の後のオフセット持続時間（フレーム＝91～120）において、この動きが増加するためである。論理的には、この時間帯において表情要素が強くなることはおかしい、ゆえにこの運動はノイズと解釈できる。構成要素 3（しかめ眉）では、否定的なイベントにおける表情（V1～V2）が他のイベントにおける表情（V3～V5）よりも強い表情変化をもたらした。成分 4（笑顔）は、ポジティブなイベント（V4～V5）のときに、それ以外（V1～V3）よりも頻繁に発生した。まとめると、日本人参加者の意図的な表情のオフセットにおける時間帯においては、まばたきや眉

の内側やあごを上げるなどの顔の動きが（すなわち、成分2）特に顕著に見られた。さらに興味深いことに、笑顔はポジティブな感情価（成分4）、眉を下げることはネガティブな感情価（成分3）、眼周辺の表情筋収縮（成分1）は両方の感情価と対応することが明らかになった。

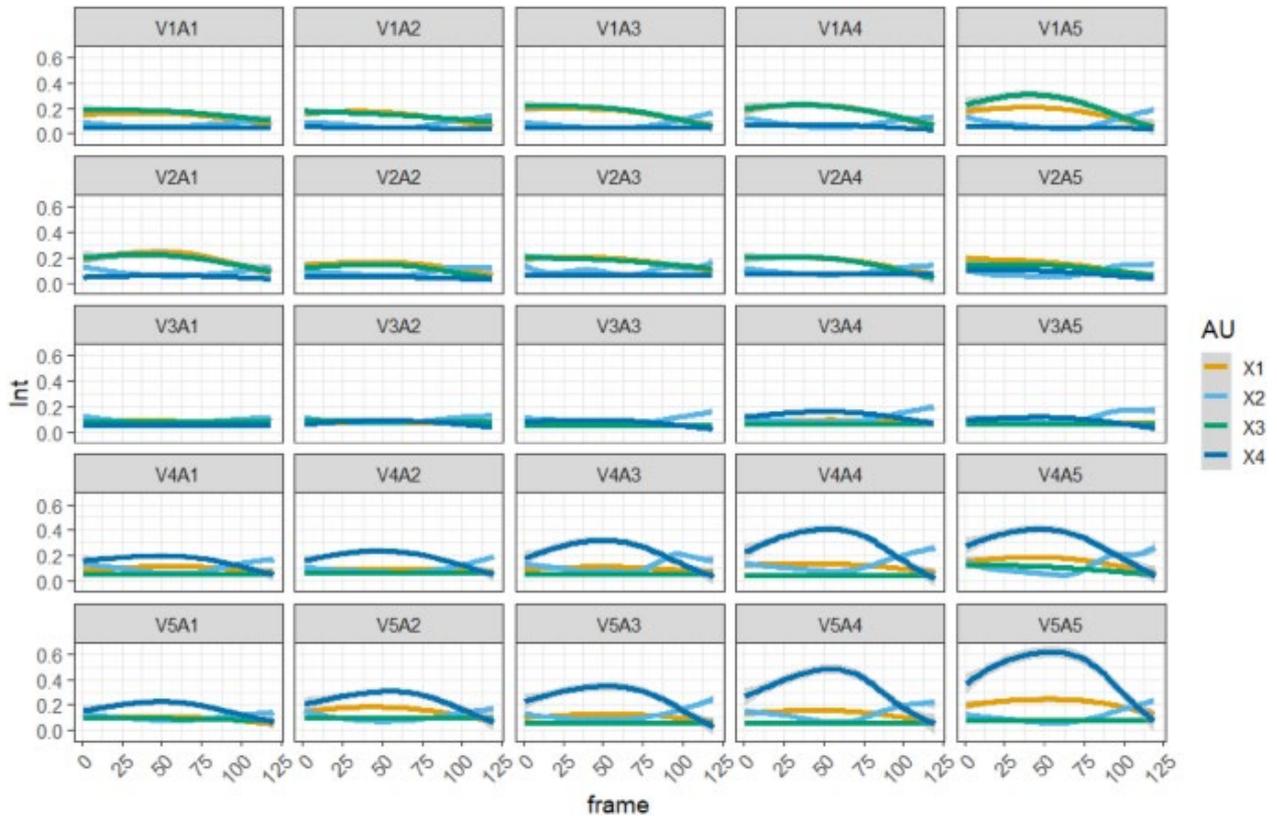


図 4. 出来事ごとの各表情パターンの時系列変化。

4 考察

本研究では、個別化された感情イベント、評価チェック、複数の角度情報と深度情報を持つ自由記述ラベルなどの表情表出者自身による評定値を含む新しい顔表情データベースを開発した。その結果、各イベントの単語はほとんど一致せず、データベースには感情イベントに含まれる単語には大きなばらつきがあることが示唆された。さまざまなイベントや個人の評価が含まれたデータベースは、学術的な目的で利用することができる。例えば、研究者は怒りというラベルが貼られた出来事の典型的な要素や、それを構成する評価要素といった問題を、本研究で開発されたデータベースをその検討の出発点として調査することができる。

正面から見た表情の分析によると、快と不快の感情価と関連する表情要素の動きが観察された。例えば、眉を下げることはネガティブ感情価に関係し、口角を上げることはポジティブ感情価に関係した。これらの結果は、感情価と顔面筋電気活動の間のコヒーレンスを調査した以前の知見（例えば、Greenwald et al., 1989）と一致する。ここで提供するデータベースに加え、現在、公認 FACS コーダーによる手動での顔動作コーディングを実施しており、今後そこで符号化したアノテーションデータを公開する予定である。近年、感情に関する論争（例えば、Cordaro, Fridlund, Keltner, Russell, Scarantino, 2015）の中で、顔の動きを抽出する取り組みが活発化し、発展している（Cohn et al., 2019 参照）。深度情報を含む手動の FACS アノテーションを含むデータベースの公開は、感情情報を自動で推定する情報科学技術における研究がさらに発展するための素地となり得る。

この研究は、感情に関する新しい顔表情のデータベースを提供する一方で、一定の限界がある。第一に、顔の動きや感情的な出来事の多様性を考えると、参加者の数が少なかった。図 1 のような環境を用いた今後の研究では、若年層のみだけでなく高齢者向けのデータベースをさらに作成し、日本人以外の文化や民族に

も広げていく予定である。第二に、深度や赤外線情報がどのように利用できるかについては依然、不明瞭なままである。RGB画像と比較して、これらの情報は照明による影響が小さい。このデータベースは、部屋の状況にロバストな顔の動きのセンシングシステムを開発するための重要な基盤となる。本研究で開発されたデータベースを用いて、スマートフォンなどのデバイスと組み合わせたAPIによる内部状態推定アルゴリズムを提供したいと考えている。さらに、この技術を活用して、意思疎通のできない人たちに迅速かつ適切に報告を伝えるソリューションを開発したい。

このデータベースは、表情表出者による感情イベント、ラベル、評価チェックの強度を含み、理化学研究所の表情データベースとして学術的に公開されている。このデータベースの特筆すべき特徴は以下の通りである。感情に関する複数の理論的見解（感情価・覚醒度、評価次元、自由記述による感情ラベル）が利用可能であること、感情出来事の種類の個人ごとに存在し豊富であること、そして10台のマルチアングルおよび深度カメラから撮影されているため特徴量としての情報が豊富であることである。

5 今後の展開

本研究により、個別化された感情イベント、評価チェック、表情表出者による出来事に対する自由記述ラベル、そして複数の角度と深度情報を含む新しい顔表情データベースを開発した。現状のデータベースでは越えられない複数の課題が未だに存在する。一つは、表情データベースに含まれる生態学的妥当性の低さである。表情に含まれる動的情報を統制するべく、RIKEN databaseでは、意図的な表情の表出タイミングを設定した。そのことは、表情の平均的な動的情報を抽出することができる方法論上の利点がある一方で、日常に出てくる表情とは乖離が生じる。そこで、引き続き、「回答が困難な質問に回答する際の表情」や「状況を取り繕うための表情」など、発話も含んだより自然な表情データを測定している。そのデータに関する一部は、すでに撮影および解析が済んでおり、Journal of International Social Robotics誌に投稿中であり、Round 1のRevisionの対応を終えたところである。引き続き、表情データベースを拡張していく路線で研究を進展させていきたいと考えている。

また、本研究のもう一つの目的である表情検出システムの開発も進展しているところである。実際、Scientific Reports誌に採択された論文については、OpenFaceと呼ばれる表情運動検出システムを採用している(Namba et al., 2021)が、その他にもAFARtoolbox(Ertugrul et al., 2019)、Pyfeat(Cheong et al., 2023)など既存の表情運動検出システムのパフォーマンスを随時比較し、本データベースおよびそこに紐づけられたFACSデータをテストデータとして用いて性能を評価している。さらに、Fine tuningを行うことで、成績がどのように変化するかを調べている(図5)。

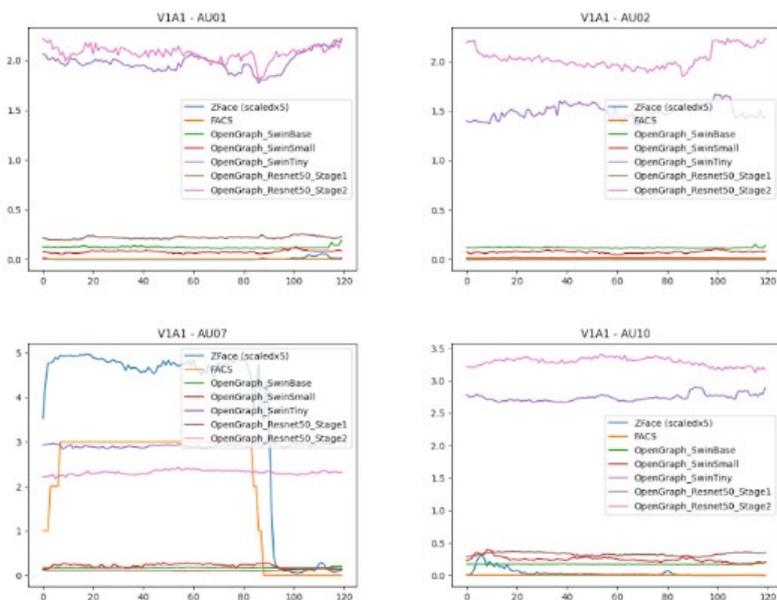


図5. 現在行っている表情運動検出システムに関する性能比較の結果。

【参考文献】

- Aly, S., Trubanova, A., Abbott, A. L., White, S. W., & Youssef, A. E. (2015). VT-KFER: A Kinect-based RGBD+ time dataset for spontaneous and non-spontaneous facial expression recognition. 2015 International Conference on Biometrics (ICB), 90-97. <https://doi.org/10.1109/ICB.2015.7139081>
- Baltrusaitis, T., Zadeh, A., Lim, Y. C., & Morency, L. P. (2018). Openface 2.0: Facial behavior analysis toolkit. 2018 13th IEEE international conference on automatic face & gesture recognition (FG 2018), 59-66. <https://doi.org/10.1109/FG.2018.00019>
- Barrett, L. F. (2017). How emotions are made: The secret life of the brain. Pan Macmillan, 448.
- Barrett, L. F., Adolphs, R., Marsella, S., Martinez, A. M., & Pollak, S. D. (2019). Emotional expressions reconsidered: Challenges to inferring emotion from human facial movements. *Psychological Science in the Public Interest*, 20(1), 1-68. <https://doi.org/10.1177/1529100619832930>
- Barrett, L. F., Mesquita, B., & Gendron, M. (2011). Context in emotion perception. *Current Directions in Psychological Science*, 20(5), 286-290. <https://doi.org/10.1177/0963721411422522>
- Barrett, L. F., & Russell, J. A. (1999). The structure of current affect: Controversies and emerging consensus. *Current Directions in Psychological Science*, 8(1), 10-14. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00003>
- Boccignone, G., Conte, D., Cuculo, V., & Lanzarotti, R. (2017). AMHUSE: A multimodal dataset for HUMour SEnsing. Proceedings of the 19th ACM International Conference on Multimodal Interaction, 438-445. <https://doi.org/10.1145/3136755.3136806>
- Bradley, M. M., & Lang, P. J. (2000). Affective reactions to acoustic stimuli. *Psychophysiology*, 37, 2042-215. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3720204>
- Brunet, J. P., Tamayo, P., Golub, T. R., & Mesirov, J. P. (2004). Metagenes and molecular pattern discovery using matrix factorization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(12), 4164-4169. <https://doi.org/10.1073/pnas.0308531101>
- Burt, A. L., & Crewther, D. P. (2020). The 4D space-time dimensions of facial perception. *Frontiers in Psychology*, 11, 1842. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01842>
- Calvo, M. G., & Lundqvist, D. (2008). Facial expressions of emotion (KDEF): Identification under different display-duration conditions. *Behavior Research Methods*, 40(1), 109-115. <https://doi.org/10.3758/BRM.40.1.109>
- Chelnokova, O., & Laeng, B. (2011). Three-dimensional information in face recognition: An eye-tracking study. *Journal of Vision*, 11(13), 27. <https://doi.org/10.1167/11.13.27>
- Chen, Z., & Whitney, D. (2019). Tracking the affective state of unseen persons. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(15), 7559-7564. <https://doi.org/10.1073/pnas.1812250116>
- Cheng, S., Kotsia, I., Pantic, M., & Zafeiriou, S. (2018). 4dfab: A large scale 4d database for facial expression analysis and biometric applications. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 5117-5126. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00537>
- Cheong, J. H., Jolly, E., Xie, T., Byrne, S., Kenney, M., & Chang, L. J. (2023). Py-feat: Python facial expression analysis toolbox. *Affective Science*, 4(4), 781-796.
- Chung, K. M., Kim, S. J., Jung, W. H., & Kim, V. Y. (2019). Development and validation of the Yonsei Face Database (Yface DB). *Frontiers in Psychology*, 10, 2626. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02626>
- Cohn, J. F., Ertugrul, I. O., Chu, W. S., Girard, J. M., Jeni, L. A., & Hammal, Z. (2019). Affective facial computing: Generalizability across domains. *Multimodal Behavior Analysis in the Wild*, 407-441. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814601-9.00026-2>

- Cordaro, D., Fridlund, A. J., Keltner, D., Russell, J. A., & Scarantino, A. (2015). Debate: Keltner and Cordaro vs. Fridlund vs. Russell. Retrieved from <http://emotionresearcher.com/the-great-expressions-debate/>
- Cudeiro, D., Bolkart, T., Laidlaw, C., Ranjan, A., & Black, M. J. (2019). Capture, learning, and synthesis of 3D speaking styles. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 10101-10111. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1905.03079>
- Dawel, A., Miller, E. J., Horsburgh, A., & Ford, P. (2021). A systematic survey of face stimuli used in psychological research 2000–2020. *Behavior Research Methods*, 1-13. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01705-3>
- Delis, I., Panzeri, S., Pozzo, T., & Berret, B. (2014). A unifying model of concurrent spatial and temporal modularity in muscle activity. *Journal of Neurophysiology*, 111(3), 675-693. <https://doi.org/10.1152/jn.00245.2013>
- Ebner, N., Riediger, M., & Lindenberger, U. (2010). FACES—A database of facial expressions in young, middle-aged, and older women and men: Development and validation. *Behavior Research Methods*, 42, 351-362. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.1.351>
- Ekundayo, O. S., & Viriri, S. (2021). Facial expression recognition: A review of trends and techniques. *IEEE Access*, 9, 136944-136973. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3113464>
- Ertugrul, I. O., Cohn, J. F., Jeni, L. A., Zhang, Z., Yin, L., & Ji, Q. (2019, May). Cross-domain au detection: Domains, learning approaches, and measures. In *2019 14th IEEE international conference on automatic face & gesture recognition (FG 2019)* (pp. 1-8). IEEE.
- Feinerer I., & Hornik, K. (2022). tm: Text Mining Package. R package version 0.7-10. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=tm>
- Feinerer, I., Hornik, K., & Meyer, D. (2008). Text mining infrastructure in R. *Journal of Statistical Software*, 25(5), 1-54. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i05>
- Fehr, B., & Russell, J. A. (1984). Concept of emotion viewed from a prototype perspective. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113(3), 464-486. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.113.3.464>
- Fernandes-Magalhaes, R., Carpio, A., Ferrera, D., Van Ryckeghem, D., Peláez, I., Barjola, P., De Lahoz, M. E., Martín-Buro, M. C., Hinojosa, J. A., Van Damme, S., Carretié, L., & Mercado, F. (2022). Pain E-motion Faces Database (PEMF): Pain-related micro-clips for emotion research. *Behavior Research Methods*, 1-14. <https://doi.org/10.3758/s13428-022-01992-4>
- Fujimura, T., & Umemura, H. (2018). Development and validation of a facial expression database based on the dimensional and categorical model of emotions. *Cognition and Emotion*, 32(8), 1663-1670. <https://doi.org/10.1080/02699931.2017.1419936>
- Girard, J. M., Chu, W. S., Jeni, L. A., & Cohn, J. F. (2017). Sayette group formation task (gft) spontaneous facial expression database. *2017 12th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2017)*, 581-588. <https://doi.org/10.1109/FG.2017.144>
- Green, P., & MacLeod, C. J. (2016). SIMR: An R package for power analysis of generalized linear mixed models by simulation. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(4), 493-498. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12504>
- Greenwald, M. K., Cook, E. W., & Lang, P. J. (1989). Affective judgment and psychophysiological response: Dimensional covariation in the evaluation of pictorial stimuli. *Journal of Psychophysiology*, 3, 51-64.
- Griffiths, P. E. (1997). *What emotions really are: The problem of Psychological categories*. University of Chicago Press, 293. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226308760.001.0001>
- Haidt, J., & Keltner, D. (1999). Culture and facial expression: Open-ended methods find more expressions and a gradient of recognition. *Cognition & Emotion*, 13(3), 225-266. <https://doi.org/10.1080/026999399379267>

- Holland, C. A. C., Ebner, N. C., Lin, T., & Samanez-Larkin, G. R. (2019). Emotion identification across adulthood using the Dynamic FACES database of emotional expressions in younger, middle aged, and older adults. *Cognition and Emotion*, 33, 245-257. <https://doi.org/10.1080/02699931.2018.1445981>
- Kim, H., & Park, H. (2007). Sparse non-negative matrix factorizations via alternating non-negativity-constrained least squares for microarray data analysis. *Bioinformatics*, 23(12), 1495-1502. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btm134>
- Kossaifi, J., Tzimiropoulos, G., Todorovic, S., & Pantic, M. (2017). AFEW-VA database for valence and arousal estimation in-the-wild. *Image and Vision Computing*, 65, 23-36. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2017.02.001>
- Krumhuber, E. G., Skora, L., Küster, D., & Fou, L. (2017). A review of dynamic datasets for facial expression research. *Emotion Review*, 9(3), 280-292. <https://doi.org/10.1177/1754073916670022>
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B., & Christensen, R. H. B. (2017). lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, 82(13), 1-26 <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>
- Küster, D., Baker, M., & Krumhuber, E. G. (2021). PDSTD-The Portsmouth Dynamic Spontaneous Tears Database. *Behavior Research Methods*, 1-15. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01752-w>
- Lang, P. J. (1994). The varieties of emotional experience: a meditation on James-Lange theory. *Psychological Review*, 101, 211-221. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.101.2.211>
- Lang, P. J., Greenwald, M. K., Bradley, M. M., & Hamm, A. O. (1993). Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions. *Psychophysiology*, 30(3), 261-273. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1993.tb03352.x>
- Langner, O., Dotsch, R., Bijlstra, G., Wigboldus, D. H. J., Hawk, S. T., & van Knippenberg, A. (2010). Presentation and validation of the Radboud Faces Database. *Cognition & Emotion*, 24, 1377-1388. <https://doi.org/10.1080/02699930903485076>
- Larsen, J. T., Norris, C. J., & Cacioppo, J. T. (2003). Effects of positive and negative affect on electromyographic activity over zygomaticus major and corrugator supercilii. *Psychophysiology*, 40, 776-785. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.00078>
- Le Mau, T., Hoemann, K., Lyons, S. H., Fugate, J., Brown, E. N., Gendron, M., & Barrett, L. F. (2021). Professional actors demonstrate variability, not stereotypical expressions, when portraying emotional states in photographs. *Nature Communications*, 12(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25352-6>
- Lee, D. D., & Seung, H. S. (1999). Learning the parts of objects by non-negative matrix factorization. *Nature*, 401(6755), 788-791. <https://doi.org/10.1038/44565>
- Li, X., Cheng, S., Li, Y., Behzad, M., Shen, J., Zafeiriou, S., Pantic, M., & Zhao, G. (2022). 4DME: A spontaneous 4d micro-expression dataset with multimodalities. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 1-18. <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2022.3182342>
- Li, S. & W. Deng, W. (2022). Deep facial expression recognition: A survey. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 13(3), 1195-1215. <https://doi.org/10.1109/TAFFC.2020.2981446>
- Lloyd, E. P., Deska, J. C., Hugenberg, K., McConnell, A. R., Humphrey, B. T., & Kunstman, J. W. (2019). Miami University deception detection database. *Behavior Research Methods*, 51(1), 429-439. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-1061-4>
- LoBue, V., & Thrasher, C. (2015). The child affective facial expression (CAFE) set: Validity and reliability from untrained adults. *Frontiers in Psychology*, 5, 1532. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01532>
- Lucey, P., Cohn, J. F., Prkachin, K. M., Solomon, P. E., & Matthews, I. (2011). Painful data: The UNBC-McMaster shoulder pain expression archive database. 2011 IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG), 57-64. <https://doi.org/10.1109/FG.2011.5771462>

- Mattson, W. I., Cohn, J. F., Mahoor, M. H., Gangi, D. N., & Messinger, D. S. (2013). Darwin's Duchenne: Eye constriction during infant joy and distress. *PLoS One*, 8(11), e80161. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080161>
- Matuszewski, B. J., Quan, W., Shark, L. K., McLoughlin, A. S., Lightbody, C. E., Emsley, H. C., & Watkins, C. L. (2012). Hi4D-ADSIP 3-D dynamic facial articulation database. *Image and Vision Computing*, 30(10), 713-727. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2012.02.002>
- Mavadati, S. M., Mahoor, M. H., Bartlett, K., Trinh, P., & Cohn, J. F. (2013). Disfa: A spontaneous facial action intensity database. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 4(2), 151-160. <https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2013.4>
- Mihajlovic, M., Bansal, A., Zollhoefer, M., Tang, S., & Saito, S. (2022). KeypointNeRF: Generalizing image-based volumetric avatars using relative spatial encoding of keypoints. *European Conference on Computer Vision*, 179-197. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19784-0_11
- Mollahosseini, A., Hasani, B., & Mahoor, M. H. (2017). Affectnet: A database for facial expression, valence, and arousal computing in the wild. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 10(1), 18-31. <https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2017.2740923>
- Namba, S., Nakamura, K., & Watanabe, K. (2022). The spatio-temporal features of perceived-as-genuine and deliberate expressions. *PLoS One*, 17(7), e0271047. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0271047>
- Namba, S., Sato, W., Osumi, M., & Shimokawa, K. (2021). Assessing automated facial action unit detection systems for analyzing cross-domain facial expression databases. *Sensors*, 21(12), 4222. <https://doi.org/10.3390/s21124222>
- Namba, S., Sato, W., & Yoshikawa, S. (2021). Viewpoint Robustness of Automated Facial Action Unit Detection Systems. *Applied Sciences*, 11(23), 11171. <https://doi.org/10.3390/app112311171>
- Ong, D. C., Wu, Z., Tan, Z. X., Reddan, M., Kahhale, I., Mattek, A., & Zaki, J. (2019). Modeling emotion in complex stories: the Stanford Emotional Narratives Dataset. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 12(3), 579-594. <https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2019.2955949>
- Perusquía-Hernández, M., Dollack, F., Tan, C. K., Namba, S., Ayabe-Kanamura, S., & Suzuki, K. (2021, December). Smile action unit detection from distal wearable electromyography and computer vision. 2021 16th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG 2021), 1-8. <https://doi.org/10.1109/FG52635.2021.9667047>
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <http://www.R-project.org/>.
- Revelle, W. (2022) psych: Procedures for Personality and Psychological Research. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=psych>.
- Russell, J. A., Weiss, A., & Mendelsohn, G. A. (1989). Affect grid: a single-item scale of pleasure and arousal. *Journal of Personality and Social Psychology*, 57(3), 493-502. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.57.3.493>
- Sato, W., Fujimura, T., Kochiyama, T., & Suzuki, N. (2013). Relationships among facial mimicry, emotional experience, and emotion recognition. *PLoS One*, 8, e57889. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057889>
- Sato, W., Kochiyama, T., & Yoshikawa, S. (2020). Physiological correlates of subjective emotional valence and arousal dynamics while viewing films. *Biological Psychology*, 157, 107974. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2020.107974>
- Sato, W., Murata, K., Uraoka, Y., Shibata, K., Yoshikawa, S., & Furuta, M. (2021). Emotional valence sensing using a wearable facial EMG device. *Scientific Reports*, 11, 5757. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85163-z>
- Scarantino, A. (2012). How to define emotions scientifically. *Emotion review*, 4(4), 358-368. <https://doi.org/10.1177/1754073912445810>

- Schauberger P., & Walker, A. (2022). openxlsx: Read, Write and Edit xlsx Files. R package version 4.2.5.1. Retrieved from <https://CRAN.R-project.org/package=openxlsx>
- Scherer, K. R. (1997) Profiles of emotion-antecedent appraisal: Testing theoretical predictions across cultures. *Cognition and Emotion*, 11(2), 113-150. <https://doi.org/10.1080/026999397379962>
- Scherer, K. R. (2001). Appraisal considered as a process of multi-level sequential checking. In K. R. Scherer, A. Schorr, & T. Johnstone (Eds.). *Appraisal processes in emotion: Theory, Methods, Research* (pp. 92–120). New York and Oxford: Oxford University Press.
- Scherer, K. R., Dieckmann, A., Unfried, M., Ellgring, H., & Mortillaro, M. (2021). Investigating appraisal-driven facial expression and inference in emotion communication. *Emotion*, 21(1), 73-95. <https://doi.org/10.1037/emo0000693>
- Scherer, K. R., Mortillaro, M., Rotondi, I., Sergi, I., & Trznadel, S. (2018). Appraisal-driven facial actions as building blocks for emotion inference. *Journal of Personality and Social Psychology*, 114(3), 358–379. <https://doi.org/10.1037/pspa0000107>
- Scherer, A. Schorr, & T. Johnstone (Eds.), *Appraisal processes in emotion: Theory, methods, research*. New York: Oxford University Press, 92–120.
- Şentürk, Y. D., Tavacioglu, E. E., Duymaz, İ., Sayim, B., & Alp, N. (2022). The Sabancı University Dynamic Face Database (SUDFace): Development and validation of an audiovisual stimulus set of recited and free speeches with neutral facial expressions. *Behavior Research Methods*, 1-22. <https://doi.org/10.3758/s13428-022-01951-z>
- Seuss, D., Dieckmann, A., Hassan, T., Garbas, J. U., Ellgring, J. H., Mortillaro, M., & Scherer, K. (2019, September). Emotion expression from different angles: A video database for facial expressions of actors shot by a camera array. 2019 8th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), 35-41. <https://doi.org/10.1109/ACII.2019.8925458>
- Sneddon, I., McRorie, M., McKeown, G., & Hanratty, J. (2011). The Belfast induced natural emotion database. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 3(1), 32-41. <https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2011.26>
- Tan, J. W., Walter, S., Scheck, A., David, H., Hoffmann, H., Kessler, H., & Traue, H. C. (2012). Repeatability of facial electromyography (EMG) activity over corrugator supercilii and zygomaticus major on differentiating various emotions. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 3, 3–10. <https://doi.org/10.1007/s12652-011-0084-9>
- Tottenham, N., Tanaka, J. W., Leon, A. C., McCarry, T., Nurse, M., Hare, T. A., Marcus, D. J., Westerlund, A., Casey, B. J., & Nelson, C. (2009). The NimStim set of facial expressions: Judgments from untrained research participants. *Psychiatry Research*, 168(3), 242-249. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2008.05.006>
- Tsuyuzaki K, Ishii M and Nikaido I. (2022). nnTensor: Non-Negative Tensor Decomposition. R package version 1.1.9. Retrieved from <https://github.com/rikenbit/nnTensor>
- Ueda, Y., Nunoi, M., & Yoshikawa, S. (2019). Development and validation of the Kokoro Research Center (KRC) facial expression database. *Psychologia*, 61(4), 221-240. <https://doi.org/10.2117/psysoc.2019-A009>
- Van Der Schalk, J., Hawk, S. T., Fischer, A. H., & Doosje, B. (2011). Moving faces, looking places: Validation of the Amsterdam Dynamic Facial Expression Set (ADFES). *Emotion*, 11(4), 907-920. <https://doi.org/10.1037/a0023853>
- Wickham H, Averick M, Bryan J, Chang W, McGowan LD, Francois R, Grolemond G, Hayes A, Henry L, Hester J, Kuhn M, Pedersen TL, Miller E, Bache SM, Muller K, Ooms J, Robinson D, Seidel DP, Spinu V, Takahashi K, Vaughan D, Wilke C, Woo K, Yutani H (2019). Welcome to the tidyverse. *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>
- Workman, C. I., & Chatterjee, A. (2021). The Face Image Meta-Database (fIMDb) & ChatLab Facial Anomaly Database (CFAD): Tools for research on face perception and social stigma. *Methods in Psychology*, 5, 100063. <https://doi.org/10.1016/j.metip.2021.100063>

Zhang, X., Yin, L., Cohn, J. F., Canavan, S., Reale, M., Horowitz, A., Liu, P., & Girard, J. M. (2014). Bp4d-spontaneous: A high-resolution spontaneous 3d dynamic facial expression database. *Image and Vision Computing*, 32(10), 692-706. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2014.06.002>

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Development of the RIKEN database for dynamic facial expressions with multiple angles.	Scientific Reports	2023/12/08