

博士論文

表情の定量化による自閉スペクトラム症の特徴抽出

大 和 田 啓 峰

表情の定量化による自閉スペクトラム症の特徴抽出

東京大学大学院医学系研究科脳神経医学専攻

こころの発達医学分野

指導教員 金生 由紀子

申請者 大和田 啓峰

目次

| | |
|--|----|
| 略語一覧 | 7 |
| 0. 要旨 | 9 |
| 1. 序文 | 10 |
| 1.1. 自閉スペクトラム症の概要 | 10 |
| 1.1.1. ASDにおける社会的コミュニケーション障害 | 11 |
| 1.1.2. ASDの診断および症状の評価ツール | 12 |
| 1.1.3. ASDに対する治療の現状 | 15 |
| 1.2. ASD者の表情研究の背景 | 17 |
| 1.2.1. 表情研究の背景 | 19 |
| 1.2.2. コンピュータによる表情定量解析の技術的背景 | 20 |
| 1.2.3. 精神疾患における表情表出に関する研究の背景 | 21 |
| 1.2.4. ASD者の表情表出に関する先行研究 | 21 |
| 1.3. 本研究の目的と仮説検証の手順 | 24 |
| 1.3.1. 表情観察用場面の決定 | 25 |
| 1.3.2. 得られた表情データの俯瞰と表情指標の探索 | 26 |
| 1.3.3. ASD者に特徴的な表情傾向の分析 | 26 |
| 1.3.4. 表情指標と社会的相互性障害の指標との関連についての分析 | 26 |

| | | |
|--------|--|----|
| 1.3.5. | 表情指標と臨床指標・背景情報の関連についての分析 | 27 |
| 2. | 方法 | 28 |
| 2.1. | 対象 | 28 |
| 2.2. | 臨床評価 | 30 |
| 2.3. | ADOS の施行 | 31 |
| 2.4. | 表情解析用の動画の取得 | 32 |
| 2.4.1. | ADOS 課題中の動画記録方法 | 34 |
| 2.4.2. | 記録された動画の編集方法 | 34 |
| 2.5. | 表情強度値、顔面回転角の時系列データ取得 | 35 |
| 2.5.1. | 表情推定に關与するソフトウェアの設定 | 38 |
| 2.5.2. | 表情解析過程のモニタリング | 41 |
| 2.5.3. | 表情解析用ソフトウェア「FaceReader」の妥当性と先行研究 | 41 |
| 2.6. | 表情解析を行う場面の決定 | 43 |
| 2.6.1. | 「構造化の度合い」と「反復可能性」の定性的評価 | 44 |
| 2.6.2. | 「実現可能性」の定量的評価 | 45 |
| 2.7. | 表情データの評価・処理と統計解析 | 48 |
| 2.7.1. | 各種類の EI 値の分布についての評価 | 49 |
| 2.7.2. | 各感情表情の EI 値同士の関連についての検証 | 49 |
| 2.7.3. | 無表情と感情表情の相補性についての検証 | 50 |

| | | |
|--------|---------------------------------------|----|
| 2.7.4. | 被験者間の表情傾向の違いを反映する感情表情成分の探索 | 51 |
| 2.7.5. | 場面における被験者の表情を代表する EI 値の決定方法 | 52 |
| 2.7.6. | 各種類の EI 値の時系列データにおける代表値の選択 | 53 |
| 2.7.7. | 分布の形状を表す統計量の組の中での相関の評価 | 56 |
| 2.8. | ASD 群と TD 群の比較 | 56 |
| 2.9. | 群間差を示した表情指標と社会性相互性障害の指標との相関解析 | 57 |
| 2.10. | 群間差を示した表情指標と他の臨床指標・被験者背景情報の相関解析 | 57 |
| 3. | 結果 | 59 |
| 3.1. | 被験者背景情報 | 59 |
| 3.2. | 表情解析用場面の決定 | 60 |
| 3.2.1. | 「構造化の度合い」と「反復可能性」の定性的評価による選抜 | 60 |
| 3.2.2. | 「実現可能性」の定量的評価による選抜 | 62 |
| 3.3. | 採用された表情解析用場面で得られた表情データの評価 | 64 |
| 3.3.1. | 各表情の EI 値のデータ分布 | 72 |
| 3.3.2. | 各感情表情の EI 値の相関関係 | 75 |
| 3.3.3. | 無表情と感情表情の相補性 | 77 |
| 3.3.4. | 感情表情の EI 値に対する主成分分析 | 80 |
| 3.3.5. | 課題場面における被験者の EI 値の時系列データにおける代表値の計算 | |

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.3.6. | Mean と SD、Mode と LogP における相関関係 | 82 |
| 3.3.7. | Mode と Mean、LogP と SD における相関関係 | 85 |
| 3.4. | 表情指標の ASD/TD 群間比較 | 89 |
| 3.4.1. | 本解析の結果（表情強度値の代表値として Mode/LogP を使用） | 89 |
| 3.4.2. | 副次的解析の結果（表情強度値の代表値として Mean/SD を使用） | 94 |
| 3.5. | 表情指標と ADOS 相互的対人関係領域の相関解析 | 98 |
| 3.5.1. | 主要な解析の結果（表情強度値の代表値として Mode/LogP を使用） | 99 |
| 3.5.2. | 副次的解析の結果（表情強度値の代表値として Mean/SD を使用） | 100 |
| 3.6. | 表情指標と他の臨床指標・被験者背景情報との相関解析 | 101 |
| 3.6.1. | 主要な解析の結果（表情強度値の代表値として Mode/LogP を使用） .. | 102 |
| 3.6.2. | 副次的解析の結果（表情強度値の代表値として Mean/SD を使用） | 105 |
| 4. | 考察 | 107 |
| 4.1. | 本研究における新たな発見 | 107 |
| 4.2. | ASD 群と TD 群比較結果の考察 | 107 |
| 4.2.1. | 被験者背景情報と臨床指標における群間差の考察 | 107 |
| 4.2.2. | 無表情の群間差についての考察 | 108 |
| 4.2.3. | 喜びの表情指標の群間差についての考察 | 109 |
| 4.3. | 表情指標と社会的相互性障害の指標との相関結果についての考察 | 111 |
| 4.3.1. | 無表情の表情指標と社会的相互性障害の指標との相関について | 111 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 4.3.2. | 喜びの表情指標と社会的相互性障害の指標との相関について | 112 |
| 4.4. | 表情指標と他の臨床指標／患者背景情報との相関についての考察 | 113 |
| 4.5. | 本研究における方法論的制約 | 114 |
| 4.6. | 結論 | 117 |
| 5. | 引用文献 | 118 |
| 6. | 謝辞 | 148 |
| 7. | 資料 | 149 |
| 資料 1 | 広汎性発達障害の診断基準 (DSM-IV) | 149 |
| | <299.00 自閉性障害> | 149 |
| | <299.80 アスペルガー障害> | 150 |
| | <299.80 特定不能の広汎性発達障害 (非定型自閉症を含む) > | 150 |
| 資料 2 | 自閉スペクトラム症／自閉症スペクトラム障害の診断基準 (DSM-5) | 151 |
| 資料 3 | 基本感情表情に対応する活動単位 (Action Unit: AU) の組み合わせ | 154 |
| 資料 4 | FaceReader の顔認識および表情推定機能についての説明 | 155 |
| 資料 5 | 研究同意書説明文 (患者向け) | 157 |
| 資料 6 | 研究同意書説明文 (健常者向け) | 159 |
| 資料 7 | FaceReader における設定についての説明 | 161 |

略語一覧（本文出現順）

| 略語 | 英語 | 日本語 |
|-----------|--|---|
| ASD | Autism spectrum disorder | 自閉スペクトラム症 |
| DSM | Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders | 精神障害の診断と統計の手引き |
| DSM-III | DSM 3rd edition | DSM 第3版 |
| DSM-III-R | DSM-III-Revision | DSM 第3版改訂版 |
| DSM-IV | DSM 4th edition | DSM 第4版 |
| DSM-IV-TR | DSM-IV text revision | DSM 第4版改訂版 |
| DSM-5 | DSM 5th edition | DSM 第5版 |
| ADOS | Autism Diagnostic Observation Schedule | 自閉症診断観察検査 |
| ADI-R | Autism Diagnostic Interview-Revised | 自閉症診断面接 |
| CARS | Childhood autism rating scale | 小児自閉症評定尺度 |
| RF-RLRS | Ritvo-Freeman Real-life Rating Scale | |
| SRS | Social Responsiveness Scale | 対人応答性尺度 |
| AQ | Autism Spectrum Quotient | 自閉症スペクトラム指数 |
| Y-BOCS | Yale-Brown Obsessive Compulsive Scale | エール・ブラウン強迫観念・強迫行為尺度 |
| RBS | Repetitive Behavior Scale | 反復的行動尺度 |
| ABA | Applied behavior analysis | 応用行動分析 |
| EIBI | Early intensive behavioral intervention | 早期集中行動介入 |
| ESDM | Early Start Denver Model | 早期支援デンバーモデル |
| TEACCH | Treatment and Education of Autistic and related Communication-handicapped Children | 自閉症および関連するコミュニケーション障がいをもつ子どもたちのための治療と教育 |
| PECS | Picture Exchange Communication System | 絵カード交換式コミュニケーションシステム |
| FDA | The US Food and Drug Administration | アメリカ食品医薬品局 |
| TD | Typical development | 定型発達 |
| FACS | Facial Action Coding System | 顔面動作符号化システム |
| AU | Action Unit | 活動単位 |

| | | |
|------------|--|------------------------------|
| EMG | Electromyography | 筋電図 |
| CERT | Computer emotion recognition toolbox | |
| SES | Socioeconomic status | 社会経済状況 |
| IQ | Intelligence quotients | 知能指数 |
| SCID-I/NP | Structured Clinical Interview for DSM-IV-TR axis I Disorders Non-patient Edition | DSM-IV-TR のための構造化面接 非患者用版 |
| WHOQOL | World Health Organization Quality-of-Life questionnaire | 世界保健機関 QOL 尺度 |
| GAF | Global Assessment of Functioning | 機能の全体的評定尺度 |
| STAI-state | State and Trait Anxiety Inventory state anxiety | 状態・特性不安検査の状態不安 |
| CESD | Center for Epidemiologic Studies Depression Scale | うつ病自己評価尺度 |
| WAIS-R | Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised | ウェクスラー成人知能検査 |
| JART | Japanese Adult Reading Test | 日本語版知的機能の簡易評価 |
| EI | Expression intensity | 表情強度 |
| SD | Standard deviation | 標準偏差 |
| FDR | False discovery rate | |
| ANOVA | Analysis of Variance | 分散分析 |
| ANCOVA | Analysis of Covariance | 共分散分析 |
| <i>df</i> | Degrees of freedom | 自由度 |
| <i>SS</i> | Sum of Squares | 平方和 |

0. 要旨

自閉スペクトラム症の中核症状の変化を捕捉できる客観的な評価指標は、治療の効果判定や開発において必須であるにも関わらず、未だ確立されていない。本研究は、社会的相互性と関連する表情表出に着目し、中核症状を反映する表情指標の探索と検証を行った。高機能自閉スペクトラム症成人男性 18 名と定型発達成人男性 17 名に対し、対人的相互反応を要求される場面での表情をコンピュータにより定量解析した。その結果、自閉スペクトラム症者において、定型発達者より表情表出が乏しいことと、その乏しさが社会的相互性障害の重症度と関連することを見出し、表情定量解析で得られる表情指標が中核症状の代用マーカーとして有用である可能性を示した。

1. 序文

1.1. 自閉スペクトラム症の概要

自閉スペクトラム症（Autism Spectrum Disorder、以下 ASD）は、社会的コミュニケーションや対人的相互反応の困難と反復的な行動・興味・活動様式を中核症状とする神経発達を背景とした障害である。発達段階や年齢・支援介入などによりその臨床像が変化しうるものの、中核症状は生涯に渡り持続するものである^[1]。^[2] 診断には米国精神医学会による「精神障害の診断と統計の手引き」（Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders、以下 DSM）が操作的診断基準として広く用いられるが、最初に記載された DSM 第 3 版（DSM 3rd edition: DSM-III）およびその改訂版（DSM-III-Revision: DSM-III-R）での「小児自閉症」や「自閉性障害」から、DSM 第 4 版（DSM 4th edition: DSM-IV）およびその改訂版（DSM-IV text revision、以下 DSM-IV-TR）^[3]、^[4]での「広汎性発達障害」を経て（資料 1）、現在の DSM 第 5 版（DSM 5th edition、以下 DSM-5）までに概念の広がりとともに診断名が変遷してきた。ASD は最新の DSM-5 による診断であり、それまでの診断が古典的な自閉症を中心としたスペクトラムとして統合されたものである^[1]、^[2]（資料 2）。人種を問わず罹患率は約 1～2%と推定され、男性が女性よりも 4～5 倍高い罹患率を有する。近年は更に罹患率が高まる傾向にあり、それが障害に対する認知の広がりや診断技術の向上、早期診断の増加などによるものか、頻度の真の増加によるものかは不明である。当事者の 70%以上が他の発達障害や精神疾

患を合併し、同年齢の非当事者と比較して死亡率が 2.8 倍高く^[5]、成人例の 58-78%で自立生活や教育・雇用・人間関係において困難があり生活や就労の面で社会的満足が満たされないなど、社会的・経済的損失の大きい障害である^[6]。発症に関しては、多くの危険因子が同定されてはいるものの、いずれも病態形成を必要十分に説明しうるものではなく、多彩な遺伝環境要因が関与する遺伝的・社会的な異質性を含む症候群であると考えられている^{[6],[7]}。

1.1.1. ASD における社会的コミュニケーション障害

ASD における社会的コミュニケーション障害に関しては、言語的な要素（言葉の遅れ、会話理解の乏しさ、反響言語、格式張った過度に字義どおりの言語など）に加え、DSM-5 の項目 A (2) 「対人的相互反応で非言語的コミュニケーション行動を用いることの欠陥」(資料 2) で挙げられているような非言語的な要素にも特徴が見られ、診断上でも評価の重きが置かれている。ASD に特徴的な対人的相互反応における非言語コミュニケーション障害には、指差し・視線・身振り・顔の表情・身体の向き・発語の抑揚や韻律などを使用することが欠如・減少する、もしくは、特殊あるいは不自然な方法で使用されることが含まれる。これらの障害は特に社会的相互作用を要求される場面において目立つ場合が多く、流暢な会話が可能な成人例であっても、相手の反応や会話と協調させてそれらの非言語コミュニケーションを統合することの不自然さ（表情や身体言語が奇妙・乏しい・大

げさである、など) として見られることが多い^{[11],[12]}。

これらの ASD における社会的コミュニケーション障害に関する認知心理学的背景として、心の理論、すなわち、自己や他者の心理状態を理解することの欠如に加え^[8]、発達段階早期から社会的相互作用（共同注視や模倣遊びなど）や社会的知覚（アイコンタクト、感情認知、運動と知覚の相互作用、社会的志向性、バイオロジカルモーション処理、表情処理など）の障害や^[9]、社会的文脈における自身の立場を理解することや自身を手がかりとして社会を理解することなどの自己参照における異常などが知られている^[10]。また、これら ASD における社会的コミュニケーション障害に関連する神経基盤としては、社会脳（社会的知覚／認知を必要とする心理課題を行う際に賦活される脳領域）である内側前頭前野皮質、上側頭溝、側頭頭頂溝、側頭頭頂接合部、扁桃体、紡錘状回などの活動低下や^[9]、^[11]、ミラーニューロンシステム（自身の動作だけでなく他者の同じ動作を観察した際にも賦活される脳領域）の障害などが示されている^[12]。

1.1.2. ASD の診断および症状の評価ツール

ASD の診断のための評価ツールとしては、当事者に対する面接、親や養育者に対する面接、学校や職場での行動の情報収集、認知能力評価などの様々な方式のものが存在し、医療面接に加えてこれらを総合して用いることで診断の一助となる^[6]。自閉症診断観察検査（Autism Diagnostic Observation Schedule、以下 ADOS）

^[13]は社会的コミュニケーション能力と反復的な行動・興味・活動様式を観察しながら評価することに特化した半構造化された診断面接であり、暦年齢 12 ヶ月以上の者を対象とし、5 つのモジュールから被験者の言語水準や暦年齢に合ったものを選択して約 40-60 分かけて行われる。自閉症診断面接 (Autism Diagnostic Interview-Revised、以下 ADI-R) ^[14]は養育者に対して行われる構造化された診断面接であり、精神年齢 2 歳以上の者が評価対象となり、93 項目の質問が約 1.5-3 時間かけて行われる。以上の 2 つが診断ツールのゴールドスタンダードであり、いずれも施行者には一定の訓練と習熟が求められる。また、小児に対する診断ツールとしては小児自閉症評定尺度 (Childhood autism rating scale、以下 CARS) ^[15]もあり、暦年齢 2 歳以上の児を対象に、本人の観察や家族からの聞き取りから、20-30 分かけて 15 項目について評定を行うものである^[6]。これらの診断ツールは ASD の中核症状を評価する上での信頼性・妥当性を獲得してはいるが、治療介入に対する ASD の中核症状の経時変化を繰り返して評価する目的では作られておらず^[6]、現に、短期評価に不向きな質問 (例:「仕事をしていますか? / 学校に通っていますか?」「現在は、どこに住んでいますか?」「友達はいますか?」) がいくつか含まれている。また、施行そのものに相当な時間を要することで被面接者への負担が少なくないことも、短期間で反復して施行する上で不利である。このような反復試行に不向きな点が知られているにもかかわらず、ADOS や CARS は実際にはいくつかの先行研究で ASD への治療介入の効果判定に用いられている

が^{[17]-[20]}、これらの診断ツールが ASD の中核症状を観察するための場面の枠組みとなることで症状評価での再現性が確保されると期待できるためであると考えられる。

ASD に関連する症状を評価するツールとしては、以下のものも挙げられる^{[6], [16]}。包括的に症状を評価するツールとしては、介入効果を評価する目的で 47 項目の行動を観察して評定する Ritvo-Freeman Real-life Rating Scale (RF-RLRS)^[21]や、社会機能の障害に焦点を当てた 65 項目を養育者・教師もしくは本人が評定する対人応答性尺度 (Social Responsiveness Scale: SRS)^[22]がある。これらは薬物を用いた介入試験の先行研究でも介入効果の評価に用いられてはいるが、信頼性・妥当性・感度について十分とは言えず、いずれも効果判定用の指標として確立していない。また、ASD の症状に関連した 50 項目について本人 (小児例では養育者) が評価する自閉症スペクトラム指数 (Autism Spectrum Quotient、以下 AQ)^{[23]-[25]}があるが、症状の変化を客観的に評価することには適していない。ASD の反復的な行動・興味・活動様式に対する評価ツールとして、10 項目の強迫症状について面接者が評価するエール・ブラウン強迫観念・強迫行為尺度 (Yale-Brown Obsessive Compulsive Scale: Y-BOCS)^{[26], [27]}や、反復的行動に関する 43 項目を養育者または教師が評価する反復的行動尺度 (Repetitive Behavior Scale: RBS)^[28]が用いられることもあるが、これらは社会的コミュニケーションについて評価の対象とはしていない。

したがって、上記のように ASD に関連した症状を評価するツールは数多く存在するが、中核症状、特に、社会的コミュニケーションの変化を追跡しながら客観的に反復して評価できる方法として確立されたものがないのが現状だと言える [16]。

1.1.3. ASD に対する治療の現状

ASD の病態には生物学的背景の関与が強いと考えられているものの、その本態に直接働きかける治療は未だ確立されていない。現状としては、行動療法や療育などの心理社会的介入がより有効とされており、薬物療法は主に対症療法として補助的な位置づけとされている [6]。

ASD に対する心理社会的介入の手法としては、主に小児に対して応用行動分析 (Applied behavior analysis: ABA、治療者が被治療者に加わる刺激を操作することで、被治療者が適切な行動を獲得することを支援する手法) に基づいて行われる早期集中行動介入 (Early intensive behavioral intervention: EIBI、通常 5 歳未満の児に対して行動の学習を促す目的で成人と一対一のセッションを 20-40 時間/週・1-4 年間かけて行う療育) や早期支援デンバーモデル (Early Start Denver Model: ESDM、通常 5 歳未満の児に対して社会性に重点を置いた発達全般を促進する目的で行う早期療育) などの方法が主流である。他にも、認知特性に合わせた環境調整を行うことによって適応を高めて異常行動の予防や軽減を図る方法

(Treatment and Education of Autistic and related Communication-handicapped Children: TEACCH) や 絵カード交換式コミュニケーションシステム (Picture Exchange Communication System: PECS、言葉を使わない児を対象にした絵や記号を用いた自発的なコミュニケーションを促す方法) などの特定の認知行動領域に働きかける手法が挙げられる^[6]。しかし、いずれの心理社会的介入法も長期治療効果についてのエビデンスは必ずしも十分とは言えず^{[6], [29], [30]}、その理由としては、ランダム化比較試験が少ないなどの研究デザインや方法論的な課題に加えて^[30]、多くの先行研究が治療効果の評価手段として臨床指標や行動指標に頼ってきたこと、言い換えれば、ASD の中核症状に対する治療効果に適した評価指標が未だ見出されていないことも大きな問題であるとされている^[16]。

ASD に対する薬物療法は、現在アメリカ食品医薬品局 (The US Food and Drug Administration: FDA) で承認されているドーパミン D2/セロトニン 2A 受容体拮抗薬であるリスペリドンとアリピプラゾールを含め、合併する精神症状(攻撃性、易刺激性、強迫症状、不眠など) への効果は期待できても中核症状への効果は認められない^{[6], [7], [31], [32]}。したがって、ASD の中核症状に対する治療薬として確立・承認されたものはまだ存在しないが^[33]、研究段階として ASD の中核症状を和らげる効果を期待される候補物質はいくつかあり^[32]、その一つであるオキシトシンのように ASD の社会的コミュニケーション障害の神経基盤となる社会脳領域における報酬系・意欲・学習などの回路に作用する可能性が示されているものも存

在する^{[34],[35]}。しかし、どの候補物質についても臨床上の治療効果が証明される段階には至っておらず、そのエビデンスの構築が難しい理由の一つとして、ASDの中核症状の経時変化を十分に検出・追跡できるような、信頼性・妥当性・客観性を有する指標が未だ確立されていないことが指摘されている^{[7],[16],[35]}。

したがって、ASDに対する心理社会的介入においても、新たな薬物療法の開発においても、治療効果に関するエビデンスの構築のためにはASDの中核症状の変化を経時的に正確に評価できる客観的指標が求められており、その開発は喫緊の課題であると言える。

1.2. ASD者の表情研究の背景

ASD者における顔認知処理に関しては、対人的相互反応との関連から検討された研究の数は比較的多く見られる。神経心理学的課題を用いた検討では、定型発達 (typical development、以下 TD) 者と比較した人物認知に関する量的障害 (顔を正確に想起することや目を弁別することの困難さ) と質的障害 (顔の部品に対する知覚の低下) や表情認知の障害 (表情の標識や整合に関する困難さ) が知られている^{[36],[37]}。また、脳機能画像を用いた検討でも、それらの神経基盤として紡錘状回・扁桃体・帯状回・楔前部などが関連することが示唆されている^{[37],[38]}。

ASD者の表情認知に関する先行研究に比べて、表情表出に関する先行研究は比較的少ない。実際に、ASD者には対人的相互反応における表情表出の「不自然さ」

が見られることが臨床的にはよく知られているものの、その表情表出の特徴についての知見は整理されているとは言い難い。Begeerらは、ASD児における感情発達の特徴として、乳児期にはTD児と同等であり、知的障害を伴うASD児が年齢とともに自発性や社会的指向性が低下する傾向があるのに対し、高機能ASD児ではその差が見られづらいと述べる一方で、自然環境とは異なる実験環境による知見である可能性も指摘している^[39]。実際に、対人場面におけるASD者の表情表出に関する先行研究からは、ASD者のポジティブな表情の少なさ^{[40]-[44]}、ネガティブな表情の少なさ^[45]あるいは多さ^[44]、ポジティブな表情の弱さ^{[46], [47]}、ネガティブな表情の強さ^[46]、表情の平坦さや表出性の乏しさ^{[48], [49]}、不適切もしくは異質な表情表出^{[42], [50], [51]}、顔面運動の少なさ^[52]、表情表出反応の遅さ^[53]、介入による表情表出の改善^[54]などが示されてきた。また、ASD者の模倣もしくは特定の表情誘発刺激に対する反応としての表情表出に関する先行研究からは、不適切もしくは異質な表情表出^{[55]-[64]}、自発的な表情模倣の少なさ^{[65]-[68]}、表情の平坦さや表出性の乏しさ^{[69], [70]}、随意的な表情模倣の拙さ^{[63], [71]}、TDよりも正確な表情表出^{[56], [72]}、介入による表情表出の改善^{[73], [74]}、表情表出反応の遅さ^{[75], [76]}、刺激に対する顔面運動の反応の強さ^[77]などが示されてきた。

以上のように、これらの先行研究から得られた知見が断片的に見える理由の一つに、表情を包括的に評価した研究^{[44], [55]-[57], [60]-[62], [64], [69]}が少ないことが考えられる。さらにもう一つの理由として、表情表出と社会的コミュニケーション障害

などの行動指標との関連を検討した研究^{[53], [55], [65], [69], [78]}が少ないことも挙げられ、中核症状との関連を明確に示した研究は検索の限り確認できなかった。このような背景を踏まえると、対人場面における ASD 者の表情表出に対して包括的な表情の評価を行うことによってその特徴および社会的コミュニケーション障害との関連を明確にすることは、ASD の臨床像や病態についての理解を深めることにつながるだけでなく、表情の特徴をその代用マーカーとして利用できる可能性を探索することにもつながるため、臨床的にも研究的にも意義が大きいと考えられる。

1.2.1. 表情研究の背景

表情は全人類で共通の構造である顔面筋によって形成され、同じ状況で類似した形で現れることから、行動表現型としての役割を果たすと考えられている^{[79], [80]}。また、表情と感情の結びつきは普遍的なものであり、それにより感情の認識・推定が可能であることから^[81]、表情の表出と理解は他者とのコミュニケーションを取る重要な手段として、主に心理学や行動科学の分野で研究の対象とされてきた。表情の分類に関しては Ekman により定義された基本 6 感情（喜び：Happy、悲しみ：Sad、怒り：Angry、嫌悪：Disgusted、驚き：Surprised、恐れ：Scared/Fear）に対応した 6 種類の感情表情に無表情（Neutral）を加えた 7 種類の表情を扱うことが一般的である^[81]。また、表情の記載には、顔面動作符号化システム（Facial Action Coding System、以下 FACS）が広く用いられている^[81]。これは、表情を包括的か

つ客観的に記述するために、その表情を構成する活動単位（Action Unit: AU、可視的な顔面動作について定義された 44 個の最小単位）の組み合わせとそれぞれの AU の活動強度（5 段階）を表記する手法である。また、基本 6 感情に対応する表情も特定の AU の組み合わせにより定義されているため^[81]（資料 3）、特定の感情表情を厳密に表現することや、ある表情がどの感情表情に当てはまるかを分類することにも役立つ手法である。

1.2.2. コンピュータによる表情定量解析の技術的背景

人工知能による表情認知の研究分野でも FACS は機械学習のための特徴量として有用であり、その発展に役立った。しかし、近年はニューラルネットワークにより学習を得た人工知能が高い精度で顔特徴点を認識できるようになり、FACS を用いずに顔特徴点から直接表情認識を行うことも可能となった^[82]。したがって、かつては FACS に習熟した者が静止画像上の表情を視覚的に評価して用手的に表情を符号化していたものが、現在では上記の技術的背景から開発された表情解析用ソフトウェアにより動画上の顔面を追跡しながら自動で表情定量解析を行うことが可能となり、表情解析の利用可能性が高まってきている。後述する本研究で用いた FaceReader もこのような背景で開発された表情解析用のソフトウェアの一つであり、市販品として入手可能である^[83]（資料 4）。

1.2.3. 精神疾患における表情表出に関する研究の背景

表情表出は精神病理的な背景により影響を受けることが知られており^{[84], [85]}、精神疾患患者の表情表出に対する臨床的な関心はもとより高い。しかし、実際に明確な知見が得られた疾患は少なく、統合失調症で感情表情の表出が減弱すること^[84]、うつ病で特にポジティブな感情刺激への感情反応性が減弱していること^[85]、摂食障害で感情刺激全般に対して表情表出が乏しいこと^[86]、などが知られるのみである。表情評価の方法としては、筋電図（electromyography: EMG）^{[58], [59], [67], [68], [74]–[78], [87]–[96]}や表情符号化システム（FACS など）^{[47], [52], [65], [70], [72], [91], [97]–[99], [99]–[116]}による標準的なものが多いが、少ないながら顔面運動自動計測装置^{[60], [61], [117], [118]}やコンピュータを用いた表情定量解析^{[62], [69], [73], [119]–[123]}によるものもある。

1.2.4. ASD 者の表情表出に関する先行研究

ASD 者の表情表出における特徴を評価した先行研究に関しては、表情の評価方法と表情を観察する場面設定においても様々で一貫していなかったという背景がみられる。表情の評価方法に関しては、従来の評価者の観察による分類や頻度の計測に基づいたものが多くを占める中で^{[40]–[46], [48]–[51], [53]–[57], [63], [64], [66], [71], [124]–[126]}、FACS など確立された符号化システムを用いて用手的に評価が行われたものもあった^{[47], [52], [65], [70], [72], [115], [116]}。また、これらの用手的・観察的な評価方法に加え、より客観的な計測手段として、EMG^{[58], [59], [67], [68], [74]–[78], [96]}や顔面運動検出装置^[60]、

[61]. [117]を用いて特定の表情を検出・追跡したのも用いられるようになった。

さらに近年、表情を自動計測することが可能となり、表情解析用ソフトウェアを用いて ASD 者の表情を包括的に捉えようとする研究も報告されつつある [62]. [69]. [73]。Gordon らは 17 名の小児 ASD 群と 17 名の TD 群に対し、FaceMaze（迷路中の障害物を特定の表情を示すことにより乗り越えながら得点するパックマンのようなテレビゲーム）中の被験者の表情（喜び、怒り、驚き）を computer emotion recognition toolbox (CERT)により分類してフィードバックすることにより表情表出（喜び、怒り）の改善の有無について検討し、ゲーム後の ASD 群で 46 名が評価した表情の質が TD 群と差がない程度まで改善したことを示した [73]。Trevisan らは 17 名の小児 ASD 群と 17 名の TD 群に対し、各種の情動を惹起するような動画を視聴している間の表情（ポジティブ、ネガティブ、無表情）を FACET (iMotions A/S, Copenhagen, Denmark) を用いて定量的に捉え、無表情は TD 群よりも ASD 群で無表情が目立つものの、全体として無感情症状と関連し、AQ で評価した自閉傾向との関連は認めなかったとしている [69]。Borsos らは 13 名の高機能小児 ASD 群と 13 名の TD 群に対し、心理課題および面接中の表情（7 種類）を FaceReader（本研究でも採用した表情解析用ソフトウェアであり詳細は後述）を用いて定量的に捉え、ASD 群で驚きと恐れ表情強度の平均と変化速度が対照群よりも高いことを示したが、行動指標との関連の検討についてはデータの質（観察場面における表情解析の成功割合）が低いほど ASD 関連症状が高いと述べるにとどまっ

ている^[62]。

表情観察のための環境設定についても、多くの研究においては特定の実験環境や様々な表情誘発課題を用いて検討を行っており^{[55]-[78], [96], [116], [117]}、対人場面における検討はそれよりも少ない^{[40]-[54], [115], [124]-[126]}。上記の EMG や顔面運動検出装置や表情定量解析、表情解析用ソフトウェアを用いて表情を客観的に計測した計測した研究に限って言えば、対人場面における表情を検討した研究は、検索の限りでは見出だせなかった。前述のように、これらの先行研究により、ASD 者の表情の特徴が断片的には示されてきた一方で、表情を誘発する方法などを含む実験環境の設定が一貫しなかったことや包括的・客観的に表情を捉える手法があまり用いられてこなかったことが、対人場面における ASD 者の表情表出の特徴を十分に捉えづらい原因となった可能性はある。また、そもそも表情を誘発する課題を用いること自体が、表情表出の傾向にバイアスを生じたり、自然な対人的相互反応や自発的な表情表出の観察を難しくしたりすることで、表情表出と社会的相互性の関連を解明する妨げとなっていた可能性がある。

したがって、社会性と関連した ASD 者の表情表出の特徴を正確に探索するためには、包括的かつ客観的・定量的に表情を評価できる手法を用いることに加え、対人的相互反応における表情表出が観察可能であるような場面設定が望まれる。そのような手法と場面設定であれば、表情を誘発する課題に依存しないような自然に近い形で、社会的相互性障害と関連するような直接的な表情表出の特徴を探

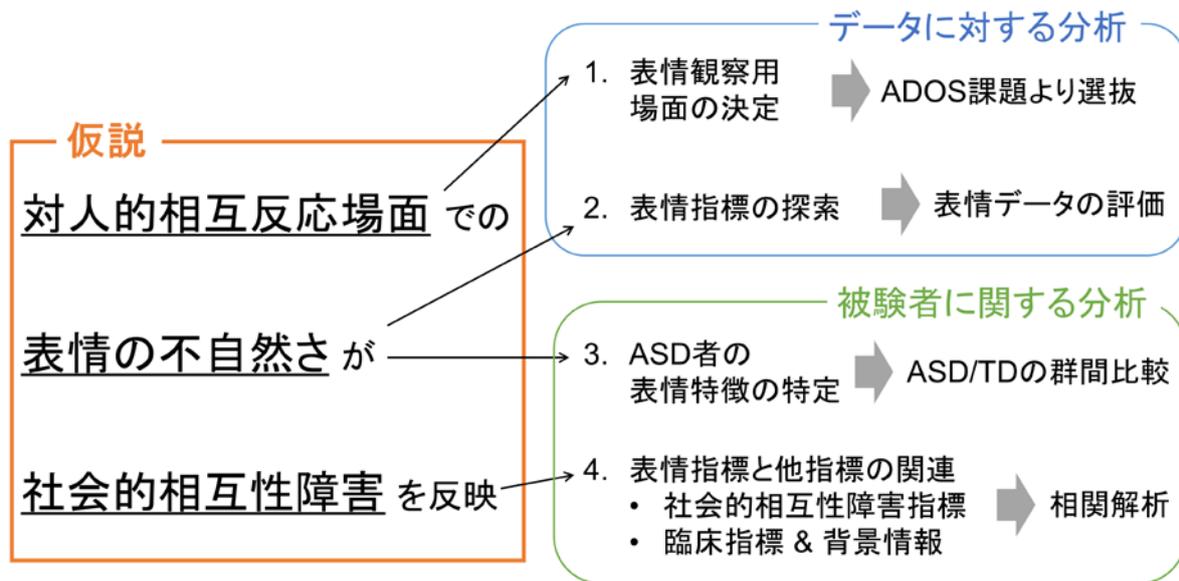
索できると期待される。

1.3. 本研究の目的と仮説検証の手順

表情は社会的コミュニケーションの手段として重要であるため、対人場面における ASD 者の表情表出の特徴、すなわち、TD 者と比較して見出されるような特定の感情表情の多寡あるいは全般的な表情表出性の乏しさについて、表情を包括的かつ定量的に評価できる手法を用いて捉えることができれば、社会的コミュニケーション障害の一面として参照できる可能性がある。また、特定の表情を誘発する課題に依存しない方法で表情指標が得られれば、ASD 者の表情表出の特徴をより直接的に捉えることが可能となるだけでなく、症状の経時的変化や治療介入に対する変化を客観的に評価できるような汎用性のある手段としても期待できる。

よって本研究では、対人的相互反応場面において TD 者との違いとして見られるような ASD 者の表情表出の特徴が社会的コミュニケーション、特に、社会的相互性障害の重症度を反映するという仮説を立てて検証した。ここで、包括的かつ定量的な探索を可能にするため、表情を特定の感情表情に分類するような従来の表情評価方法とは異なるアプローチとして、表情に含まれる全ての感情要素を計測・追跡することが可能な手法であるコンピュータによる表情定量解析を用いた。仮説検証に関しては、以下の段階を順次進めることにより行った（図 1）。

図 1 仮説検証の手順



1.3.1. 表情観察用場面の決定

対人的相互反応における表情の観察のための標準的な場面設定は、未だ確立されていない。よって、本研究では、すでに ASD の診断ツールのゴールドスタンダードとして確立された半構造化面接である ADOS の課題の中から選抜することにより、表情解析用の場面を決定した。いずれの ADOS の課題も表情に注意を向けるような教示は含んでおらず、被験者は通常自身の表情を意識せずに課題に参加するため、対人的相互反応における自発的な表情表出を観察するには適していると考えられた。したがって、課題の選抜に当たっては、被験者の反応における再現性や一貫性が期待できるかどうかや、コンピュータによる表情定量解析の適用可能性を重視した。

1.3.2. 得られた表情データの俯瞰と表情指標の探索

精神疾患に対して類似した手法により表情定量解析を行った研究はごく限られるため^{[62], [69], [73], [119]-[123]}、精神疾患患者における表情データの特徴や性質に関する知見は乏しく、よって、標準的な表情指標も存在しない。このため、本研究では、群間比較に先立ち、まずは得られた表情データ分布を概観し、その特徴や性質について分析と考察を行った。また、得られた表情データから計算される統計量の中から、ある場面における被験者の表情を代表する表情指標となりうるものを探索した。

1.3.3. ASD 者に特徴的な表情傾向の分析

上記により選択された観察場面と各表情要素に対応する表情指標の中から、ASD 者の特徴を示す表情指標と、それを捉えられる観察場面を、対照となる TD 者のものと比較することにより特定した。

1.3.4. 表情指標と社会的相互性障害の指標との関連についての分析

TD 者との比較で特定された ASD 者の特徴を示す表情指標について、社会的相互性障害の指標として確立されている ADOS の相互的対人関係領域点数との相関を分析することにより、特定された表情指標が ASD における社会的相互性障害の重症度を反映しうるかどうかを検証した。

1.3.5. 表情指標と臨床指標・背景情報の関連についての分析

TD 者との比較で特定された ASD 者の特徴を示す表情指標について、ADOS の相互的対人関係領域点数以外の臨床症状の重症度を表す指標との相関を分析し、特定された表情指標が臨床症状により影響されている可能性について検証した。

また、その表情指標と被験者背景情報との相関を分析し、交絡因子が存在するかどうかを検証した。

2. 方法

2.1. 対象

合計 35 名の日本語を母国語とする被験者を対象とした。成人男性 ASD 者 18 名と、年齢・性別・知能・両親の社会経済状況 (socioeconomic status、以下 SES) を統制した成人男性 TD 者 17 名である。

ASD 群は「自閉症スペクトラム障害当事者の社会行動障害へのオキシトシン経鼻連続投与による治療効果の予備的検討」(試験期間:2012 年 3 月～2013 年 4 月、責任医師：山末英典、試験登録：<http://www.umin.ac.jp/ctr/index-j.htm> UMIN000007122) へ参加した 20 名のうち、試験を完了できた 18 名を対象とし、すでに臨床試験で得られたデータを用いた^[19]。これらの被験者は、東京大学医学部附属病院精神神経科外来通院中の患者のうち、熟練した精神科医 (H.Y.) により 2 ヶ月以上の観察を経て、当時の診断基準である DSM-IV-TR)^{[3], [4]} (資料 1) に厳密に基づいて自閉性障害、アスペルガー障害、特定不能の広汎性発達障害のいずれかと診断された者 (これらの診断基準を満たすものは、自動的に DSM-5 における ASD の診断が下される^{[1], [2]}:資料 1) の中からリクルートされた。加えて、研究用評価資格を有する精神科医 (H.K.) が ADI-R^[14]を施行し、研究用評価資格を有する心理士 (M.K.) が ADOS^[13]を施行し、いずれかで診断閾値を超えることが確認された。選択基準は、ASD の診断、男性、18 歳以上 55 歳未満、全検査知能指数 (intelligence quotients、以下 IQ) が 80 以上であり、除外基準は、てんかん

発作、5分以上の意識消失または認知機能障害を伴う頭部外傷、精神症状が不安定である場合、物質使用障害または依存のある場合、とした。なお、被験者の内1名は、併発したうつ病のために選択的セロトニン再取り込み阻害薬を内服していたが、うつ病は寛解しており、表情への影響は強くないと判断し、対象に含めた。

TD群は、2015年3月～4月の間に新たに募集した者を対象とし、新たにデータを収集した。募集に際しては、病院スタッフや大学生、その知人や関係者で、実験参加に積極的な同意が得られた者とし、参加の呼びかけに当たっては強制性が排されるよう十分に配慮を行った。十分に臨床経験を有する2名の精神科医（H.Y.とK.O.）によりスクリーニングを行い、精神疾患の現存や既往がないことと第一度近親者に精神病家族歴を有するものがないことをDSM-IV-TRのための構造化面接非患者用版（Structured Clinical Interview for DSM-IV-TR axis I Disorders Non-patient Edition: SCID-I/NP）^[127]を用いて評価した。19名が研究参加し、うち2名が除外基準に該当し（ASDの現存、不安障害の既往）、最終的に参加基準を満たし除外基準に該当しない17名について解析対象とした。

本研究においては、東京大学医学部倫理委員会が承認し、すべての被験者から事前にヘルシンキ宣言に基づいた趣旨説明が行われ、十分な同意能力および理解が得られたことが確認された上で、書面による同意を得た（受付番号10245「行動観察の定量化・客観化による研究」）（資料5、資料6）。

2.2. 臨床評価

ASD 群・TD 群ともに本人と両親の SES^[128]、世界保健機関 QOL 尺度（World Health Organization Quality-of-Life questionnaire、以下 WHOQOL）の合計得点^[129]、機能の全体的評定尺度（Global Assessment of Functioning、以下 GAF）^[130]、AQ の合計得点^[23]、状態・特性不安検査の状態不安（State and Trait Anxiety Inventory state anxiety、以下 STAI-state）^[131]、うつ病自己評価尺度（Center for Epidemiologic Studies Depression Scale、以下 CESD）^[132]が評価された。また、面接では、身長、体重、現病歴、既往歴、家族歴、教育歴、職歴などについてチェックシートを用いて確認された。

ASD 群の知能に関しては、ウェクスラー成人知能検査全項目版（Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised、以下 WAIS-R）^[133]による全検査／言語性／動作性 IQ を評価した。なお、TD 群に対しては日本語版知的機能の簡易評価 25 項目版（Japanese Adult Reading Test、以下 JART）^{[134]-[136]}により言語性 IQ を推定したが、JART25 項目版から得られる予測言語性 IQ に関しては、回帰式決定係数 0.799 と十分な予測妥当性が得られることが知られている^[136]。なお、ASD はしばしば WAIS-R などの下位項目の中で知能の不均衡を認めることがよく知られているため言語性 IQ の評価方法として JART は適していないと考え、WAIS-R の言語性 IQ を用いた。

ASD 群に関しては、さらに行動指標として、ADI-R^[14]による下位項目評点（相互的対人関係の質的異常、意思伝達の質的異常、限定的・反復的・常同的行動様

式)、ADOS^[13]による下位項目評点(相互的対人関係、意思伝達、常同行動と限局された興味)も行われた。

2.3. ADOS の施行

ADOS モジュール 4 (流暢に話すレベル、青年・成人向け)^[13]は 15 種類の半構造化された課題を含む(構成課題、本のストーリーの説明、絵の叙述、会話と報告、現在の仕事あるいは学校、対人的困難と悩み、感情、実演課題、漫画、休憩、日常生活、友人と結婚、孤独、計画と希望、お話し作り)。ASD 群の被験者はこれら 15 種類の課題すべてを標準的な順番で受けた、その一部始終はビデオカメラで動画記録された。面接は研究用面接実施研修を修了した 4 名(H.Y.、H.K.、Y.K.、M.K.)が分担して施行し、研究用面接実施資格を有する心理士(M.K.)がすべての動画から評定を行い、ADOS モジュール 4 の自閉症診断アルゴリズムで要求される評価項目に沿って、相互的対人関係(普通と異なるアイコンタクト、他者に向けられた顔の表情、他者の感情についての共感/コメント、責任、対人的働きかけの質、対人的反応の質、相互的な対人的意思伝達の量)、意思伝達(単語や短文の常同的/独特な使用、会話、叙述的/慣習的/道具的/情報提供的な身振り、協調的/感情的な身振り)、常同行動と限局された興味(道具/人への普通と異なる感覚的な興味、手指や他の複雑な衝動的運動、普通と異なる/非常に特殊な話題や物への過度な興味、強迫行動と儀式的行動)の下位項目それぞれの評点がな

された。

TD 群に関しては、後述の方法により決定した表情解析用の課題を抜粋して、ASD 群と同じ場所・方法で単一の面接者 (H.Y.) により行われた。なお、ADOS は全体を通して評定を行うものであり、各課題について評点を行うものではないため、TD 被験者については ADOS の評点は行われなかった。

これらの ADOS 課題の中で、「漫画」課題場面に関しては、漫画の内容への理解の不十分や言語的な説明の上手下手によって課題の遂行に差が生じることを避けるため、すべての被験者は事前にストーリーを面接者とともに把握し、その理解が適切に得られたことを確認された上で説明を行うよう統制されていた。

2.4. 表情解析用の動画の取得

ASD 被験者に関しては、「自閉症スペクトラム障害当事者の社会行動障害へのオキシトシン経鼻連続投与による治療効果の予備的検討」(試験期間:2012年3月～2013年4月)^[19]の臨床試験中で施行された ADOS モジュール 4 に含まれる 15 種類の課題すべてに参加した様子的一部始終が、被験者一人あたり一つの動画としてビデオカメラで記録された。その後、得られた各動画を単独の実施者 (K.O.) が視聴・編集し、各被験者・各課題について、課題に参加している被験者の顔面を含む表情解析用の動画ファイルを取得した (図 2、図 3)。

TD 被験者に関しては、2015 年 3 月～4 月の間に後述の方法で決定された表情

解析用の課題のみを施行した様子の一部始終が、同じ道具・方法を用いて動画記録された。その後、得られた各動画を単独の実施者（K.O.）が視聴し、ASD 被験者と同じ区切りや画質となるように編集し、各被験者の表情解析用の動画ファイルを取得した（図 3）。

図 2 動画の記録と編集

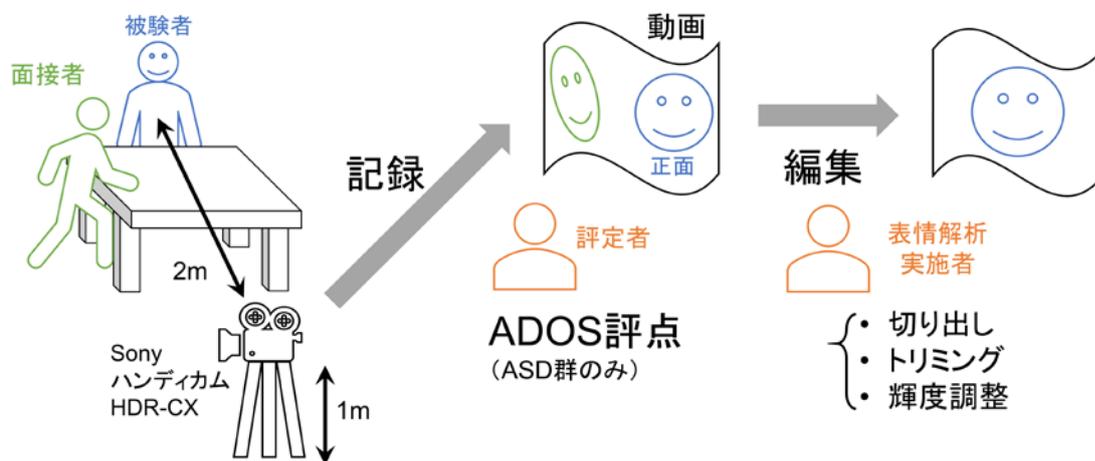
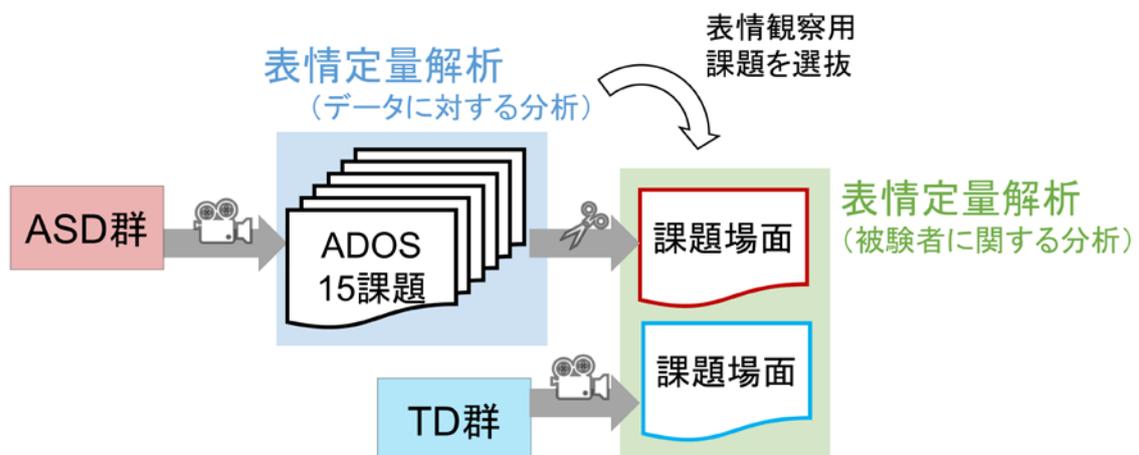


図 3 動画の収集と解析



2.4.1. ADOS 課題中の動画記録方法

動画記録に関しては、以下のような道具と設定により行われた。カメラはソニー社製のデジタルビデオカメラ「ハンディカム HDR-CX」が使用された。カメラは高さ 1 メートルの三脚で固定され、被験者の正面に約 2 メートル離して設置された。被験者が着席してから面接者が録画を始め、その後に面接者が移動して被験者と直角の配置になるように着席して面接が開始された。課題の中には被験者が単独で立って行うものもあるが（「漫画」の課題）、その間だけ面接者がカメラの後ろに立って被験者の上半身を含むようにカメラの角度とズームを必要最小限だけ調整して記録し、課題終了後には再び元の角度に戻した。これにより、カメラが被験者の顔を正面から、面接者の顔を横から捉える形で、面接の一部始終が記録された（図 2）。

2.4.2. 記録された動画の編集方法

ビデオカメラで録画される画像の画質は 1920×1080 60i とし、動画圧縮規格は H.264/MPEG-4 AVC とした。後述の表情解析用ソフトウェアへ動画の規格を合わせるため、一度動画を MP4 形式に変換した。その動画を単独の実施者（K.O.）が視聴し、動画内での各課題の開始・終了時点を厳密に特定し、その時間情報を手的に記録した。その時間情報を元に、MATLAB R2015a（The MathWorks, Natick, MA）を用いて各動画から各課題の場面を切り出し、一つの動画に一つの課題場面

のみを含む動画を個別のファイルとして得た。得られた課題場面の動画それぞれについて、表情解析の精度を高める工夫として、被験者の顔がフレーム高の約半分となるように動画を 960×540 サイズに拡大・縮小・トリミングし、必要最小限で画像の輝度調整を行った。

2.5. 表情強度値、顔面回転角の時系列データ取得

以上の編集過程を経て得られた被験者の課題中の顔面を記録した動画それぞれを、表情解析用ソフトウェアである FaceReader version 6.1 (Noldus Information Technology Inc., Wageningen, The Netherlands, 2015) で読み込んで解析し、その動画における被験者の表情および顔面の向きに関する時系列データを取得した(図 4)。なお、FaceReader 6.1 Reference Manual^[83]によれば、このソフトウェアは精密に表情推定を行うにあたり、眼鏡フレーム(特に黒く厚いものは望ましくない)・カメラに対する顔面の向きの偏位(40° 以内の範囲に収まること望ましい)・顔面の遮蔽(長い髪や手などによる)・顔に影を作るような不適切な光源などは避けるべきであるされている。

FaceReader は画像内の顔を認識し、その表情に関して、7 種類の表情要素、つまり、無表情と 6 種類の感情表情(喜び、悲しみ、怒り、嫌悪、驚き、恐れ)それぞれに対応する推定値として表情強度(expression intensity、以下 EI) 値を 0 から 1 の間の数値で出力する。また、表情推定と同時に、被験者の顔面の向きにつ

いても正対している状態を基準とした空間的な回転の度合いを推定して 3 種類の回転角（オイラー角）を -90° から $+90^{\circ}$ の数値として出力する。以上の EI 値と顔面回転角は毎分 30 フレームの頻度で動画の瞬間フレーム画像について連続して推定され、その結果、動画ごとに 7 種類の EI 値（図 5）および 3 種類の顔面回転角（図 6）の時系列データが取得できる。なお、FaceReader による解析については、同一動画で同一条件であれば、同一の EI 値や顔面回転角が再現性をもって出力される。

動画中で顔検出不能な部分についてはデータの空白が生じ、それが断続的かつ頻回に生じる場合にはその部分でデータが断片化されるが、断片の長さが 1 秒に満たないものについても顔認識および表情推定の信頼性が低いと考え、空白データへと置換した。このような処理を経た EI 値の時系列データで、有効な表情推定が行われた部分の割合が動画全体の 20%未満（つまり、EI 値の時系列データで空白が 80%以上）であったものについては、その動画での被験者の表情を正確に評価できないと考え、それ以降の解析からは除外した（図 4）。なお、この割合の閾値に関しては、FaceReader を用いた先行研究で採用されていたものを踏襲した^[119]。

図 4 データの取得

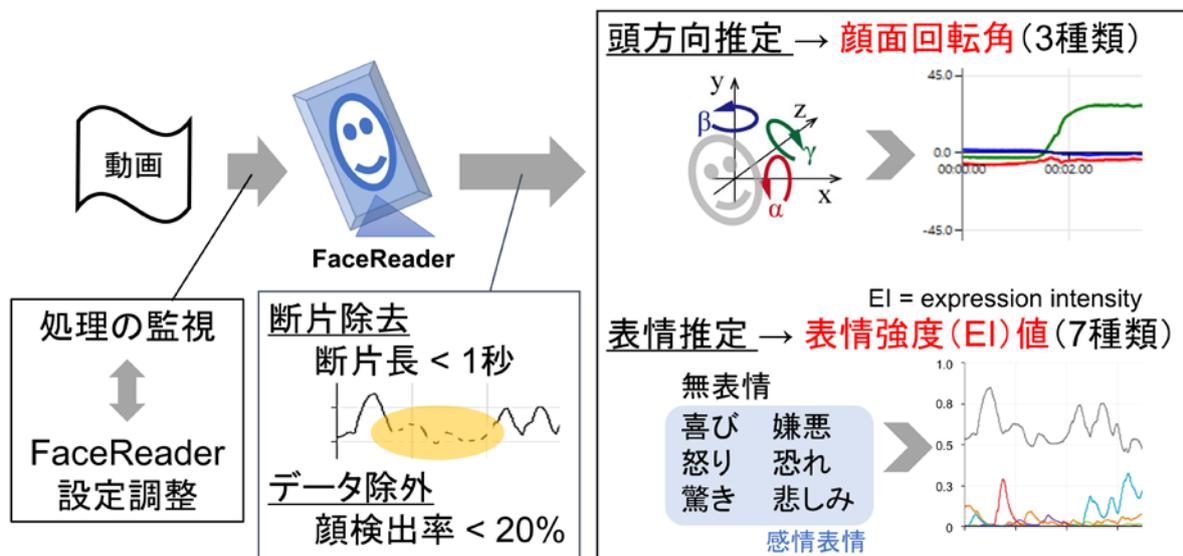
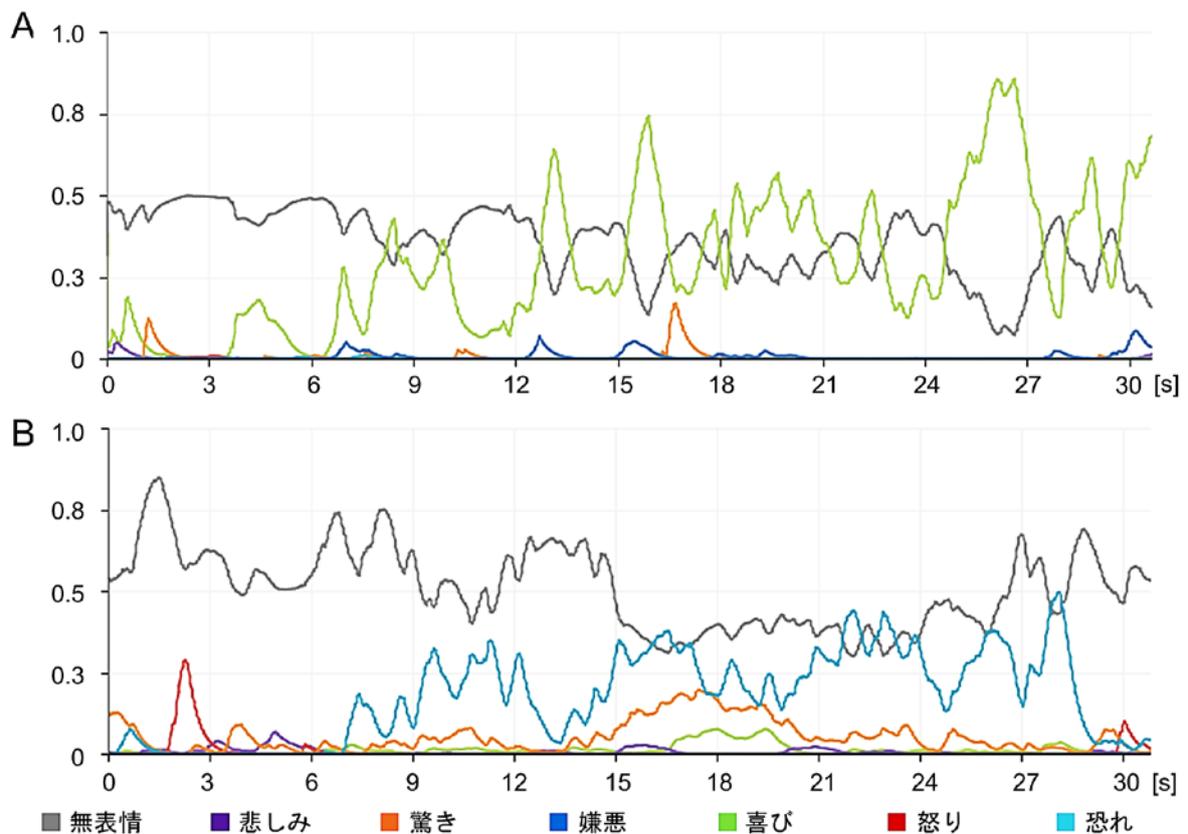


図 5 FaceReader により出力される EI 値の時系列グラフの例

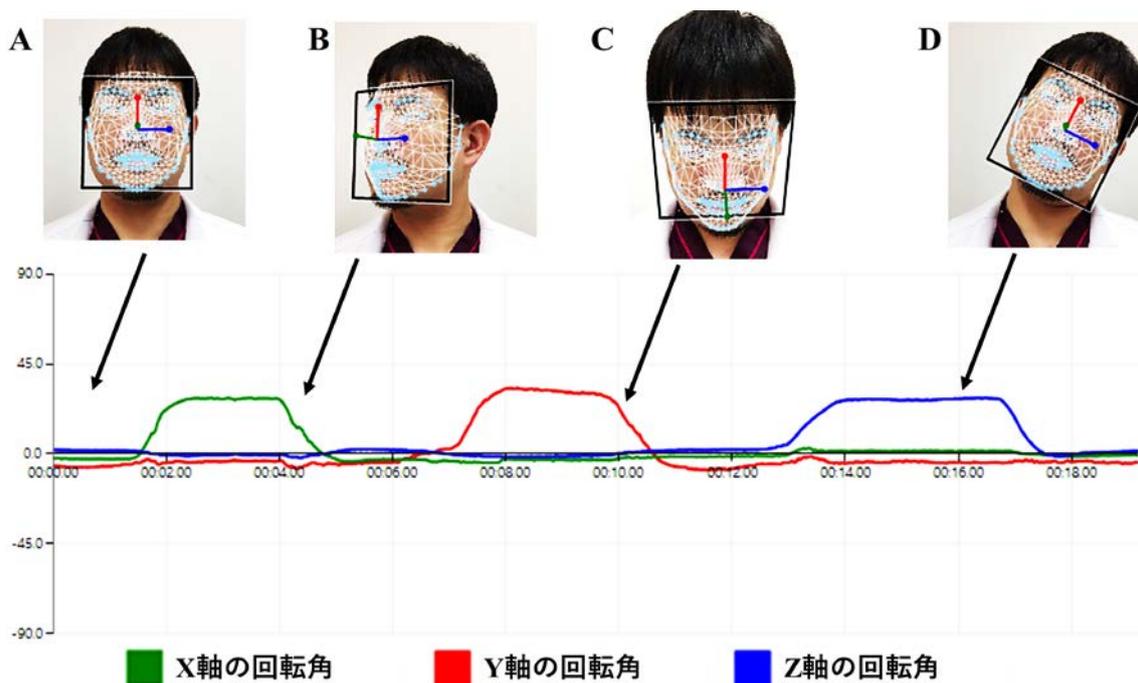


(A) に TD 被験者の、(B) に ASD 被験者の、同一の観察場面の最初の部分における代表的なデータに関する図を示す。図の横軸は時間を、縦軸は EI 値を表す。FaceReader により、図に示されるように、動画中の被験者の表情について無表情およ

び各感情表情に対応する EI 値が 0 から 1 の間の数値で、それぞれ個別に時系列データとして出力される。このように、FaceReader はある表情がどの感情表情に分類できるかという確率を評価するのではなく、その表情を構成している無表情および全感情表情の EI 値を個別に評価するため、任意の一時点での全種類の EI 値の合計は通常 1 とはならないことに留意すべきである。

略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity.

図 6 FaceReader により出力される顔面回転角の時系列グラフの例



図の横軸は時間を、縦軸は回転角を表す。図に示すように、動画中の被験者の顔面回転角はその要素となる XYZ 軸の回転角（オイラー角）の組として推定され、顔面回転角の追跡結果が各回転角要素の時系列データとして個別に出力される。各軸の回転角は顔面の「正対位置」(A) を基準とした -90° から 90° の間の数値で表され、それぞれの回転角の正の方向は、X 軸回転角が被験者の「右向き」(B)、Y 軸回転角が「下向き」(C)、Z 軸回転角が「左に傾く向き」(D) とされている。

2.5.1. 表情推定に關与するソフトウェアの設定

FaceReader における顔認識に關わるパラメーターや EI 値を推定するアルゴリズムなどについては、FaceReader version 6.1 Reference Manual に詳述されている^[83]

(資料 4、資料 7)。このソフトウェアは、画像中の顔領域を認識し、それに対して代表点を用いた顔のモデルを構築し、認識した顔の表情における 7 種類の EI 値を推定して数値として出力する^[137]。表情推定にあたっては、約 1 万枚の表情の分類がなされている顔写真のデータを用いたニューラルネットワークによる機械学習から得られた独自のアルゴリズムに基づいている^{[83]、[138]} (資料 4)。なお、無表情の EI 値に関しては、無表情に関する視認性との整合性を確保するため、ソフトの仕様として「[出力される無表情の EI 値] = 0.5 × {[無表情の EI 値の素点] + (1 - [感情表情の EI 値で最大のもの])}」で増強補正して出力される^[83] (資料 7)。なお、この式に関する論理的背景についてメーカー側に問い合わせたところ、明確な回答を得ることができなかった。したがってこの補正式の由来から妥当性を議論することは困難と思われるため、後述のように、実際に本研究で得られた EI 値のデータ分布を確認することにより、「無表情の EI 値の素点」ならびに「出力される無表情の EI 値」の性質や指標としての妥当性を検証することとする。ただし、FaceReader による無表情の推定に関する妥当性を裏付ける報告はある^[139]。

表情解析の際に適用すべき顔のモデルを 5 種類 (General、General61、Children、East Asian、Elderly) の中から選択できるが、これらの違いは表情推定アルゴリズムを構築する際に用いられた顔写真データセットの集団の違いによるものである^[83] (資料 7)。日本人成人男性に関しては「East Asian」モデルがソフトウェアの

仕様として推奨されているが、本研究に先立って協力が得られた少数の日本人成人男性に対して FaceReader を試用して検証したところ、「East Asian」モデルを適用した場合に EI 値と視覚的に確認した表情傾向が最も整合することが実際に確認できた。したがって、本研究においては「East Asian」モデルを最適なモデルと判断して採用した。

また、画像上の表情は二次元的に認識されるため、被験者の本来の顔つきや撮影角度などにより推定される表情の傾向に偏りが生じることがあるが、FaceReader にはそれを補正するキャリブレーション機能に備わっている。

FaceReader version 6.1 Reference Manual によると、そのキャリブレーション機能は被験者の無表情な顔画像の感情表情の EI 値を参照することにより、「[出力される感情表情の EI 値] = ([感情表情の EI 値の素点] - [無表情画像の感情表情の EI 値]) / (1 - [無表情画像の感情表情の EI 値])」(ただし、負の値となった場合には 0 とする) と補正して各感情表情の EI 値を出力する^[83] (資料 7)。本研究でも FaceReader version 6.1 Reference Manual で記載された要領に従ってこの機能を適用し、ソフトウェアが「実験開始前に待機している場面」の中で「最もモデル適合が良い画像を選んで感情表情の EI 値を用いてキャリブレーションを行う」ことができるように、各動画ファイルの初めの部分を参照用場面として設定した。なお、このキャリブレーション機能は、被験者の顔立ちや顔の輪郭、顔の角度や動画の画質などにより影響されるような個人内での感情表情のバイアスを減らす

効果が期待できるが、被験者全体で一貫してこの機能を適用している条件の元では被験者間あるいは群間にバイアスを生じる可能性は低いと考えられる。また、先行研究においてもこの機能を用いたものが確認された^[121]。

2.5.2. 表情解析過程のモニタリング

FaceReader を起動して動画を登録し、解析を開始すると、動画フレーム内の顔を認識し、その表情から 7 種類の表情に対応した 7 つの EI 値を推定して順次時系列データとして出力する。この一連の処理は自動的に行われるが、その過程は常時コンピュータのディスプレイ上に表示されており、顔認識の精度や得られた EI 値についてのモニタリングが可能である。ソフトウェアの操作は習熟した単独の実施者 (K.O.) により行われ、実施者は解析進行過程の一部始終を監視し、顔認識の精度や感度が劣る部分についてはソフトウェアの設定を最小限変更して解析を行うことで、表情推定の質の維持を行った (図 2、図 4)。

2.5.3. 表情解析用ソフトウェア「FaceReader」の妥当性と先行研究

市販の表情解析用ソフトウェアがいくつかある中で、FaceReader については妥当性の検証が比較的なされている^[140]。FaceReader から得られた表情分類の結果と手動的に表情を分類した結果との間の妥当性について検証が行われた先行研究によれば^{[137], [141]-[145]}、FACS に基づく分類ではおおよそ 90%前後で^{[83], [137], [143]-[145]}

(資料 4)、(訓練を受けていない) 観察者による分類でも少なくとも 70%以上^[142]で一致することが示されている。特に、無表情の推定に関しては、人間が視覚的に評価をする場合よりも正確に推定が可能であるとの報告がある^[139]。EMG との間で表情分類の妥当性を検証した研究もあり、喜びと怒りの感情表情に関する一致率が特に高いことが示されている^[146]。また、推定された表情の種類に対応した被験者の内的な感情や反応との間の妥当性についても、いくつかの研究で検証が行われている^{[120], [147]-[154]}。

FaceReader を用いた先行研究としては、精神疾患を対象にしたもの^{[62], [119]-[121]}に加えて、心理学分野^{[152], [155]-[159]}、身体疾患や痛みに関するもの^{[160]-[162]}、消費者行動研究分野^{[150], [151], [153], [154], [163]-[169]}、教育分野^{[142], [170]-[175]}、ゲーム研究^{[148], [176]-[178]}、ユーザー体験調査^{[141], [179]-[184]}に関するものなどもある。

ここで、精神疾患に対して FaceReader を用いた先行研究^{[62], [119]-[121]}について概観する。Cohen らは、統合失調症スペクトラムの早期における表情表出の減少について探索する目的で、統合失調型パーソナリティ者に対し、対話の中で 3 種類(ポジティブ、ネガティブ、中立)の自己体験を 90 秒間語る課題を行う中での表情(ポジティブ、ネガティブ、無表情)を捉え、対照群との間に明確な表情表出の差を捉えられなかったとしながらも、課題間での表情推定の信頼性は高いことを示した^[119]。Fujiwara らは、外傷後ストレス障害における感情鈍麻を探索する目的で、東日本大震災に被災した小児に対してお笑い動画を閲覧中の表情を捉え、

無表情が出現した時間の割合と外傷後ストレス症状との間の関連を示した^[120]。

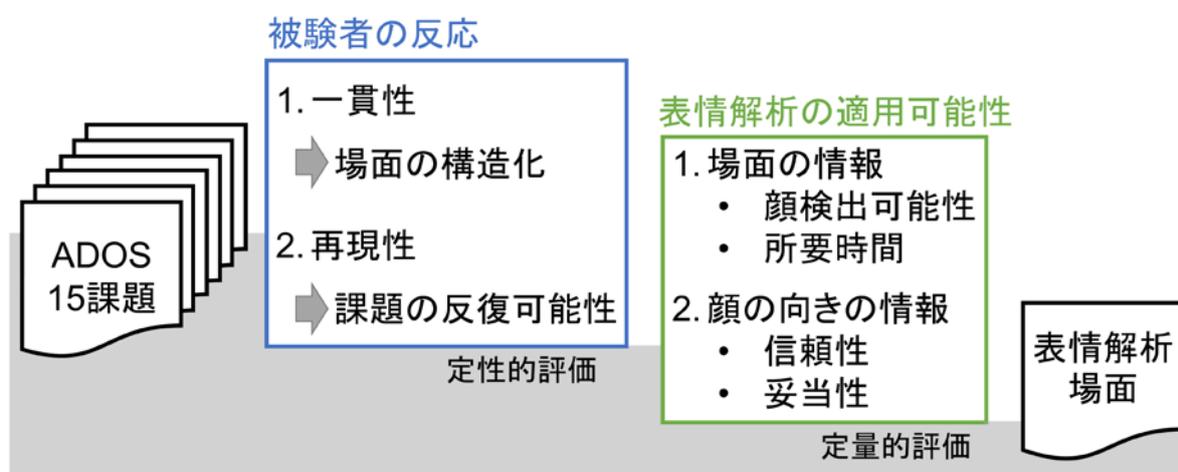
Leppanen らは、摂食障害における表情表出の減少について探索する目的で、摂食障害者（神経性無食欲症および回復群、神経性大食症）に対して情動を惹起する動画を閲覧する間の表情（喜び、悲しみ）を捉え、神経性無食欲症群で惹起される喜びの表情の平均が回復群と対照群よりも低いことを示した^[121]。Borsos らの小児高機能 ASD 者に対する検討は前述のとおりである^[62]。なお、これらの研究はいずれも探索的な位置づけとされている点や、FaceReader による表情分類の妥当性を前提としながらその分類および定量解析結果を表情指標として用いている点、それらと他の臨床指標との関連を検討している点などで共通している。

2.6. 表情解析を行う場面の決定

ADOS の 15 種類の課題の中から適するものを選抜する形で、対人的相互反応における表情を解析する場面を決定した。ADOS はそれ自体が半構造化された面接ではあるが、表情定量解析を行う場面設定としては特に被験者の反応における再現性や一貫性が望まれると考えた。よって、その課題によりどの被験者でも同様の反応が引きだされるかどうか（以下、「構造化の度合い」）や、課題の反復施行に伴う慣れや記憶によって被験者の反応が影響されづらいかどうか（以下、「反復可能性」）について、課題内容を個別に定性的に評価した。また、場面を記録した動画に対して表情定量解析を適用する際に正しく表情を評価できるかどうか

(以下、「実現可能性」)についても、ASD 被験者の ADOS の動画から得られた顔面回転角の時系列データを用いて定量的に評価した。これら「構造化の度合い」と「反復可能性」、および「実現可能性」の順で課題を評価・選抜し、最終的に残った課題を表情解析用の場面として採用した (図 7)。

図 7 表情解析用場面の選抜



2.6.1. 「構造化の度合い」と「反復可能性」の定性的評価

ADOS の 15 種類の各課題に対し、「構造化の度合い」と「反復可能性」の観点から、それぞれの課題が「十分である (○)」あるいは「十分でない (×)」のいずれであるかを定性的に評価した。評価に際しては、研究グループ内のメンバー 4 名 (K.O.、W.Y.、M.K.、H.Y.) で議論し、全員の同意が得られたところで結果とした。「構造化の度合い」と「反復可能性」の両方とも十分であると認められた場面のみ選抜し、以下の方法で引き続きそれらの「実現可能性」を評価した。

2.6.2. 「実現可能性」の定量的評価

その課題中の表情解析の「実現可能性」、すなわち、表情推定を正しく行えるかどうかを評価する目的で、課題中の動画における「①表情検出の成功割合」、「②所要時間」、「③顔面の向きの妥当性」(被験者の顔面が正対位置に近いかどうか)、「④顔面の向きの信頼性」(被験者間で顔面の向きがそろっているかどうか)を評価項目として設定した。①③④については表情推定の精度や一貫性に関わる項目であり、表情検出の成功割合が高いほど、被験者間で顔面の向きがそろっているほど、被験者の顔面が正対位置に近いほど、望ましいと考えた。また、②については、課題時間が短いほど場面に関連した表情以外の表情が混じる機会が減ると期待されるため、短いほど望ましいと考えた。以上の4項目について定量的に評価するため、先の定性的評価で選抜された候補課題における ASD 被験者の顔面回転角の時系列データを用いて、これら4項目に関する評価指標を以下の方法で算出した。さらに、4項目の評価指標それぞれを Z スコアで標準化し、候補課題ごとに4項目の Z スコアの合計を比較することでそれらの優劣を評価した(図8)。なお、回転角の時系列データの処理は MATLAB R2015a (The MathWorks, Natick, MA) と Python 科学技術計算ライブラリー (NumPy, SciPy) ^[185]を用いて行い、統計解析は Python 科学技術計算ライブラリー (NumPy, SciPy) ^[185]と R 3.3.2 (<http://www.R-project.org/>)を用いて行った。

①は、各課題を記録した動画から取得された顔面回転角(および EI 値)の時系

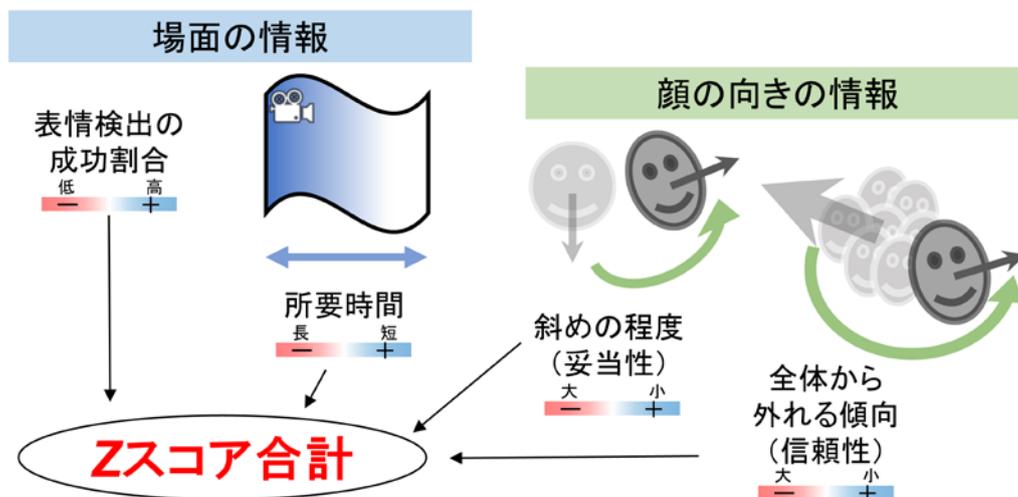
列データにおける、全評価時点に対する（1秒に満たないデータの断片を消去する処理の後に残った）非空白値データの割合として計算した。また、②については、被験者が各課題に要した時間、すなわち、各課題を記録した動画の長さ（秒）を用いた。被験者の顔の向きについては、FaceReaderにより出力された3つの回転角（オイラー角）をXYZ座標上の3次元ベクトルとして評価した。各課題での被験者の顔の向きを示す代表値として、課題中の回転角の時系列データに対応するベクトル軌跡に対してガウスクアーネルによる多変量カーネル密度推定を適用し、回転角ベクトル群の最頻値（すなわち、被験者がその課題で最も顔を多く向けていたと推定された角度を成分とするベクトル）を計算した。これらを用いて、③（被験者の顔面の正対位置からの偏位の程度）を評価する指標として、その課題における回転角ベクトルの最頻値の長さ（ベクトルの座標成分と原点とのユークリッド距離）を計算した。さらに、④（被験者間で顔面の向きがそろう程度）を評価する指標として、被験者それぞれの回転角ベクトルの最頻値の座標成分とその課題における全被験者の回転角ベクトルの最頻値の重心の座標成分の間のユークリッド距離を計算した。

以上の4項目それぞれに関して、各課題の各被験者について得られた評価指標を全課題の全被験者を母集団とするZスコアへと変換し、各課題の各被験者におけるそれら4項目のZスコアの合計を算出した。その際、Zスコアの符号については、望ましい方向、すなわち、①：表情検出の成功割合が大きい、②：所要時

間が短い、③：被験者の顔面の向きが妥当性が高い（正対位置に近い）、④：被験者間の顔面の向きが信頼性が高い（顔面の向きが揃っている）方向を正とし、その反対の方向を負とした（図 8）。

定性的評価で選択された候補課題それぞれについて、以上で得られた各被験者の Z スコアの合計の分布を評価し、最も Z スコアの合計の平均が高かった課題を特定した。それ以外の候補課題の Z スコアの合計の平均についても、Z スコア合計の平均が最高であった課題と片側 T 検定で比較し、有意差の有無を評価した。有意水準の判定に関しては、多重比較補正として BH 法^[186]による false discovery rate（以下、FDR）補正後の $P < 0.05$ を基準とした。その結果、Z スコア合計の平均が最高であった課題、ならびに、その課題と比較して Z スコアの合計の平均に有意差がなかった他の課題を、表情解析を行う場面として採用した。

図 8 表情解析の実現可能性のスコア化



2.7. 表情データの評価・処理と統計解析

上記で選択された ADOS の課題実施中の場面を記録した動画における被験者の 7 種類の EI 値の時系列データを取得した。EI 値の時系列データの処理は MATLAB R2015a (The MathWorks, Natick, MA) と Python 科学技術計算ライブラリー (NumPy、SciPy) ^[185]を用いて行い、統計解析は Python 科学技術計算ライブラリー (NumPy、SciPy) ^[185]と IBM SPSS 22.0 (IBM Corp., Armonk, NY)、R 3.3.2 (<http://www.R-project.org/>) を用いて行った。

機械学習の結果である FaceReader における EI 値推定の内部アルゴリズムの妥当性を本研究内で直接検証することは困難であるが、本研究で得られた全 EI 値のデータ分布を確認することで表情推定の傾向や妥当性のある程度推測することは可能と考えた。特に、感情表情の EI 値がそれぞれ対等に振る舞うかどうか(以下、感情表情の「対等性」)、ある一つの感情表情の EI 値が高い際に他の感情表情の EI 値が低く表れるかどうか (以下、感情表情の「排他性」)、感情表情の EI 値が高い／低い際には無表情の EI 値が低く／高く表れるかどうか (以下、無表情 と感情表情の「相補性」) については、表情データの解析ならびに解釈を行う上で重要な点と考えられたため、以下の手順で順次確認した。また、場面における被験者の表情を代表する表情指標についても探索し、候補で挙げた指標の特徴を評価しつつ考察を加えながら、最終的に採用するものを決定した。

なお、これらの評価で各種類の EI 値あるいはその他の表情指標同士の間で特定

の関連が見られたとしても、それが表情指標の性質として本来備わるものか、FaceReader のアルゴリズムに伴うものか、本研究で設定した被験者群や実験環境に伴う傾向であるか、などの判別が必ずしも可能ではないと考えられる。したがって、ここではあくまで被験者全体のデータを俯瞰することで表情指標の特徴を把握しながら以後の解析のための表情指標を探索することを目的とし、個々の相関解析や群ごとのデータ分布についての結果を確認しつつも、それらの意味的解釈や群間差に関する考察は深く追求しないこととした。

2.7.1. 各種類の EI 値の分布についての評価

得られた全 EI 値データから各種類の EI 値の分布について評価し、それらの特徴を確認した。ここで、無表情の EI 値に関しては、FaceReader が「[出力される無表情の EI 値] = $0.5 \times \{[\text{無表情の EI 値の素点}] + 1 - [\text{感情表情の EI 値で最大のもの}]\}$ 」という計算式により増強補正されて出力するため、実際に無表情の EI 値として出力された値（以下、「出力される無表情の EI 値」）と計算式を逆算して得られる補正前の無表情の EI 値（以下、「無表情の EI 値の素点」）の両方について評価することとした。

2.7.2. 各感情表情の EI 値同士の関連についての検証

感情表情の EI 値がそれぞれ表情を表現する必要かつ十分な因子として機能し

ているかどうか、すなわち、各感情表情の EI 値が対等かつ排他的に振る舞うかどうかについて評価する目的で、各感情表情の EI 値の間での相関関係を散布図およびスピアマンの順位相関分析（有意水準は $P < 0.05$ ）により評価した。

2.7.3. 無表情と感情表情の相補性についての検証

無表情は特定の感情表情に分類されない表情として定義されているため、その性質として、他の感情表情と相補的であることが期待される。具体的には、ある表情において感情表情の EI 値が高い場合には対照的に無表情の EI 値が低くなり、感情表情の EI 値が低い場合には無表情の EI 値が高くなるはずである。本研究で得られた EI 値のデータで実際に無表情の EI 値がこの性質を満たすかどうかを確認する目的で、得られた全 EI 値データ（全被験者、全場面の時系列データ全時点の EI 値）について、無表情の EI 値と感情表情の EI 値の合計の間での相関関係を散布図およびスピアマンの順位相関分析（有意水準は $P < 0.05$ ）により評価した。

なお、ここでも無表情の EI 値に関しては、「出力される無表情の EI 値」とそれから逆算される「無表情の EI 値の素点」の両方について比較しながら検証し、感情表情との相補性がより明瞭に確認された方を無表情の EI 値として採用し、以後の解析に用いることとした。

2.7.4. 被験者間の表情傾向の違いを反映する感情表情成分の探索

感情はもともと心理学的観点により分類がなされているため、それらに対応する6種類の感情表情が本研究で目的としている社会的相互性障害の特徴を示す因子として最適である保証はない。また、FaceReaderの表情推定アルゴリズムの性質や、本研究での被験者群や実験設定に関連した影響などにより、本研究で得られた感情表情のEI値そのものにすでにバイアスがある可能性もある。したがって、被験者間の表情の違いを反映する因子として、従来の6種類の感情表情ではなく、それらを複合した感情表情成分を用いるほうがより適切である可能性も考えられた。そのような成分を探索するため、全EI値データ（全被験者、全場面の時系列データ全時点のEI値）に対して主成分分析を行い、得られた6つの主成分それぞれの固有値および寄与率を評価した。なお、各感情表情のEI値の分布の偏りを考慮し、その標準化のため、相関係数行列に対応した主成分分析を適用した。また、選択基準として固有値が1以上である主成分を選択する方法（カイゼル基準）を採用したが、得られた主成分の意味的解釈の可能性や次元縮小の有効性を考慮し、選択される主成分の個数が3つ以下であり、かつ、それらの寄与率の合計が70%以上であることも条件とした。ここで条件にかなう主成分が選択された場合、それらの主成分得点をEI値の代用として扱い、元来の7種類の表情と対等に扱う形で、以降の表情データ解析を行うこととした（以後の文では、これらの主成分得点についても「EI値」と一括して表現する）。

2.7.5. 場面における被験者の表情を代表する EI 値の決定方法

場面における被験者の表情を代表する指標を採用するにあたり、2つの方法を検討した。一つには、その場面内で被験者が最も取りうる可能性が高い表情を一つだけ特定し、その表情を表す各種類の EI 値を得る方法である。具体的には、場面中の被験者の EI 値の時系列データの各時点での表情を7種類の EI 値からなる7次元ベクトルに置き換え、時系列データに対応するベクトル軌跡の確率密度分布推定を行い、確率密度が最大となるベクトルを同定して「最も取りうる可能性が高い表情」を特定することができる。この方法では表情を7次元ベクトルとして扱うため、仮に表情要素間の束縛が存在したとしてもそれを保存しながら表情を評価できるが、7次元空間におけるベクトル軌跡の確率密度分布の希薄さを考慮すると、被験者間・場面間で選択される表情が大きく異なるという非常に不安定な指標となる可能性が高いと推測された。

被験者の表情を代表する指標を得るもう一つの方法として、その場面の一部始終で表情を追跡して得られた EI 値の時系列データから、各種類の EI 値について個別に統計学的手法により代表値を得る方法も考えた。この方法では、各種類の EI 値間の束縛についての情報の大部分が失われる一方で、各種類の EI 値を個別に評価することにより安定した指標を得ることができると期待された。

本研究の目的は場面での表情に現れる社会的相互性障害の特徴を安定して捉えうる指標を探索することであるため、以上の考察から、後者の方法により各場面

における各被験者の各種 EI 値を代表する値を個別に得る方法が適切と判断し、これを採用した。

2.7.6. 各種類の EI 値の時系列データにおける代表値の選択

以上の検討により、各種の EI 値の時系列データの各時点の値の分布に関する代表値として、要約統計量として得られる①平均値（以下、Mean）と標準偏差（以下、SD）、ならびに、確率密度関数から得られる②最頻値（以下、Mode）と確率密度の最大値の自然対数（以下、LogP）を取得した。ここで、「確率密度の最大値」とは、ガウスカーネルを用いたカーネル密度推定により求めた EI 値の分布の確率密度関数の最大値（P）を指し、その自然対数が LogP であり、それを与える EI 値が Mode である（図 9、図 10）。統計量として P ではなく LogP を扱った理由は、対数化することで確率の変化や差異を評価する際に加減演算が可能となるためである。これらの代表値が 7 種類の表情、ならびに主成分分析の結果により追加された主成分それぞれについて得られた。以下、これらをまとめて「EI 変数」と呼び、個々の代表値については表情の種類と代表値の種類で指定して呼ぶことにする（例：無表情の Mode）。

Mean と Mode はいずれも場面におけるその感情要素の「明瞭性」を表す指標であると期待でき、FaceReader の性能との関連で言えば推定された EI 値の「妥当性」の影響を受ける可能性がある。それに対し、SD と LogP はいずれも場面にお

けるその感情要素の「変動性」を反映する指標であると期待でき、FaceReader の性能との関連では推定された EI 値の「信頼性」の影響を受ける可能性がある (図 9)。したがって、Mean と SD、ならびに、Mode と LogP は、表情解析において異なる情報を含む指標の組として意味があり、基本的にはそれぞれの組の 2 つの指標を並行して扱うことが妥当であると考えた。ただし、実際に得られた Mean と SD、Mode と LogP の間に関連があるかどうかについても、散布図およびスピアマンの順位相関分析 (有意水準は FDR 補正 $P < 0.05$) を用いて確認した。

一方で、Mean と Mode、ならびに、SD と LogP はそれぞれ類似した情報を表す指標であるため、これらの片方のみもしくは両方を代表値として採用すべきかどうかについては、実際に得られたデータを俯瞰しながら検討する必要があると考えた。そこで、Mean と Mode、ならびに、SD と LogP の間の関係について、散布図およびスピアマンの順位相関分析 (有意水準は FDR 補正 $P < 0.05$) を用いて評価した。その結果、それぞれの指標同士で有意な相関関係があればいずれか一方の組のみを採用し、相関関係が弱い場合には (両組が異なる情報を含む可能性があるため) 両方の組を採用することとした。

なお、ある場面において被験者が「最も表しやすい表情」を評価するには Mean よりも Mode の方が適しており、また、EI 値のサンプル数が十分に多い状況では統計量として Mode の方が Mean よりも安定した指標となりうるとも考えられた。よって、本研究では Mode およびそれと組になる LogP の方がより代表値として

適していると考えられ、片方の組のみを選択する場合にはこれらを優先して選択することとした。

図 9 表情指標の候補

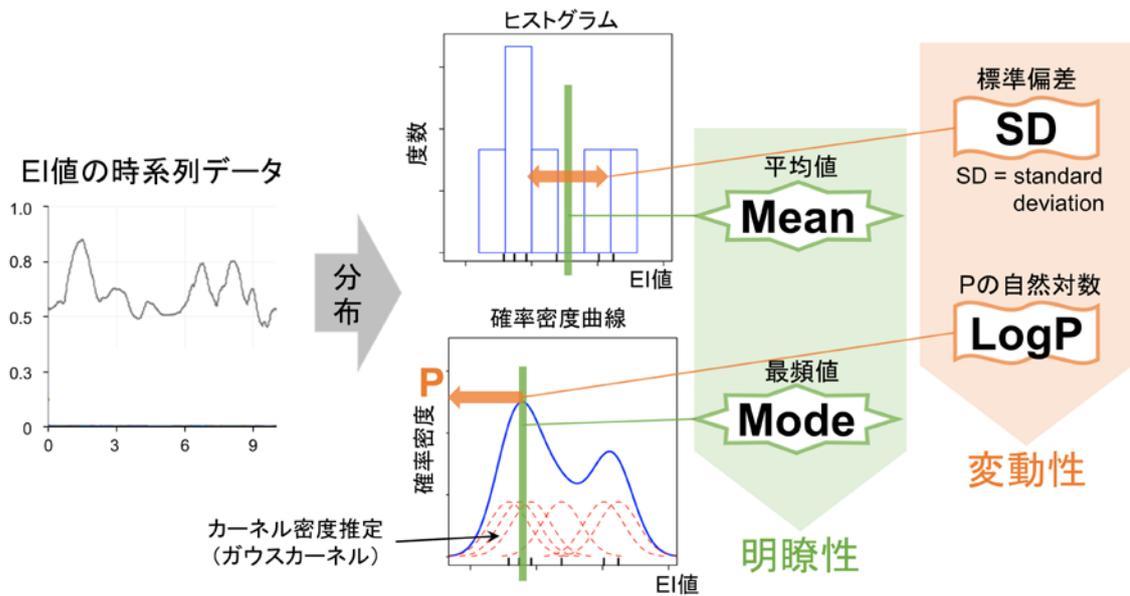
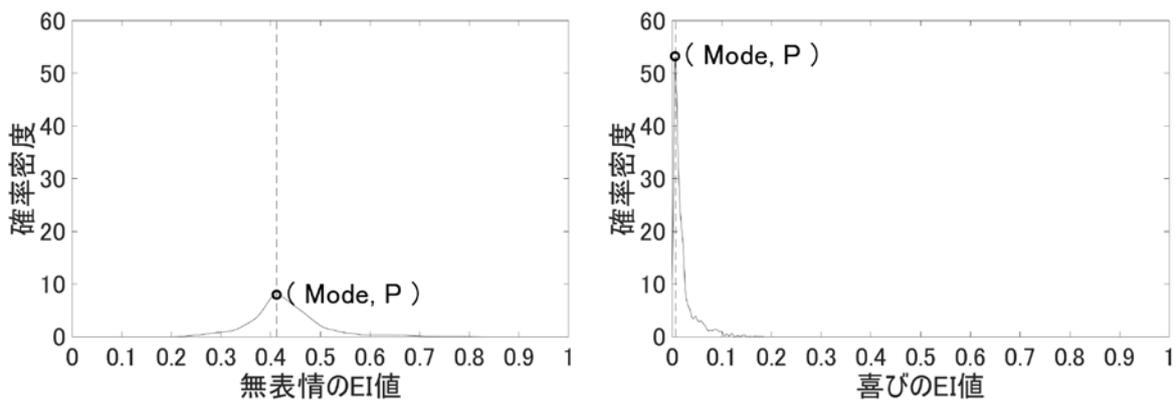


図 10 表情における無表情/喜びの EI 値の確率密度分布の例

(A) 無表情のEI値の確率密度分布関数の例 (B) 喜びのEI値の確率密度分布関数の例



ASD 被験者のある場面における表情の (A) 無表情の、(B) 喜びの EI 値の時系列データに対するカーネル密度推定により求めた確率密度関数の代表例を示す。横軸は EI 値を示し、縦軸は確率密度を表す。グラフ中の○はその確率密度曲線における確率密度の最大極大値 (P) とそれを与える EI 値 (最頻値) を座標とする点を示している。なお、ここで示す例では、無表情の EI 値が比較的左右対称な形の分布であるのに対

し、喜びの EI 値は 0 近傍に鋭いピークをもち右に広く裾野を広げた形の分布である。
略語：ASD, autism spectrum disorder; EI, expression intensity.

2.7.7. 分布の形状を表す統計量の組の中での相関の評価

EI 値の分布の形状を表現する統計量の組である Mean と SD、ならびに、Mode と LogP は数学的には独立した計算値同士ではあるが、本研究で実測された EI 値から計算されたそれらの統計量の間に関係があるかどうかについて確認する目的で、散布図およびスピアマンの順位相関分析(有意水準は FDR 補正 $P < 0.05$)により評価した。

2.8. ASD 群と TD 群の比較

各 EI 変数における ASD 群と TD 群の群間差の有意性を評価するために、反復測定分散分析 (Analysis of Variance: ANOVA) を用いることとした。ここで、各 EI 変数を独立変数、課題場面の種類を被験者内要因、診断 (ASD/TD) を被験者間要因とした。交互作用あるいは診断に有意な主効果が見出された場合には、下位検定として課題の種類ごとに対応のある両側 T 検定を行うこととした。もし、評価すべき課題が一つだけとなった場合には、各 EI 変数における ASD 群・TD 群の群間差の有意性を (分散分析ではなく) 両側 T 検定を用いて個別に評価することとした。いずれの解析においても、探索的な検討を行うという目的から、有意水準は FDR 補正 $P < 0.05$ 水準とした^[186]。なお、抑うつ傾向を表す CESD と不安傾向

を表す STAI-state、課題遂行状況の違いを反映しうる表情解析用課題の所要時間に関しては、これらの精神状態や課題遂行状況が表情に及ぼす影響を評価する参考として、それぞれを共変量とした共分散分析 (Analysis of Covariance: ANCOVA) も行った。

2.9. 群間差を示した表情指標と社会性相互性障害の指標との相関解析

上記の方法で ASD/TD の群間で有意差を呈する EI 変数が ASD の社会的コミュニケーション障害、特に、社会的相互性障害を反映する表情指標の候補と考えられるが、実際に ASD の社会的相互性障害の重症度を反映しているかどうかを検証するため、すでにその確立された指標である ADOS の相互的対人関係領域点数との相関を解析した (スピアマンの順位相関分析、有意水準は FDR 補正 $P < 0.05$)。

2.10. 群間差を示した表情指標と他の臨床指標・被験者背景情報の相関解析

ASD/TD の群間で有意差を呈する EI 変数が ADOS の相互的対人関係領域点数以外の臨床症状とも関連しているかどうかを検証するため、TD 群については CESD・STAI-state・WHOQOL・GAF・AQ との間で、ASD 群についてはこれらに加えて ADI-R (相互的対人関係の質的異常、意思伝達の質的異常、限定的・反復的・常同的行動様式)・ADOS (意思伝達、情動行動と限局された興味) との間での相関関係を評価した (スピアマンの順位相関分析、有意水準は FDR 補正 $P <$

0.05)。

さらに、被験者背景情報が交絡因子であるかどうかを検証するため、上記の特定された EI 変数による表情指標と被験者背景情報（年齢、身長、体重、本人の SES、両親の SES、全検査 IQ、言語性 IQ）との間の相関関係を評価した（スピアマンの順位相関分析、有意水準は $P < 0.05$ ）。なお、ASD/TD 群それぞれのデータ分布の違いを考慮し、これらの相関解析は各群個別に行った。また、表情指標と背景情報との間に有意な相関関係が見出された場合には、上記で有意と判断された表情指標と ADOS の相互的対人関係領域点数／臨床指標との相関関係に関して、表情指標・ADOS の相互的対人関係領域点数／臨床指標・背景情報の 3 項目中どの 2 項間でも有意な単相関が確認された項目については背景情報が介在する擬似相関の可能性があると考え、表情指標と ADOS の相互的対人関係領域点数／臨床指標の間で背景情報を制御変数とした偏相関解析を追加することとした。

3. 結果

3.1. 被験者背景情報

被験者（成人男性 ASD 者 18 名、成人男性 TD 者 17 名）の背景情報は、年齢・身長・体重・両親の SES・言語性 IQ に群間差を認めなかった。ASD 群は TD 群よりも本人の SES・AQ・CESD が高く、GAF・WHOQOL が低かった ($P < 0.05$) (表 1)。

表 1 実験参加者各群の背景情報、臨床症状尺度、表情解析用動画のデータ

| | ASD 群 (N = 18) | | TD 群 (N = 17) | | P 値 |
|---------------------------------|-------------------|------|------------------|------|----------------------|
| | Mean | SD | Mean | SD | |
| 年齢 [範囲] | 32.2 [24–43] | 7.0 | 29.6 [23–34] | 4.3 | 0.22 |
| 身長 (cm) | 168.5 | 4.3 | 171.6 | 4.3 | 0.051 |
| 体重 (kg) | 65.9 | 14.7 | 62.4 | 7.1 | 0.38 |
| 本人の社会経済的評価尺度 (SES) ¹ | 2.7 | 0.9 | 1.2 | 0.4 | < 0.001 ³ |
| 両親の社会経済的評価尺度 (SES) ¹ | 2.2 | 0.6 | 1.9 | 0.5 | 0.087 |
| 全検査知能指数 (IQ) ² | 105.8 | 10.9 | | | |
| 言語性知能指数 (IQ) ² | 112.5 | 12.1 | 117.7 | 6.1 | 0.14 |
| 動作性知能指数 (IQ) ² | 94.1 | 15.3 | | | |
| うつ病自己評価尺度 (CESD) | 19.2 | 11.3 | 9.1 | 10.6 | 0.012 ³ |
| 状態・特性不安検査 (STAI)・状態不安 | 47.4 | 14.9 | 38.5 | 10.0 | 0.051 |
| 世界保健機関 QOL 尺度 (WHOQOL) | 3.0 | 0.8 | 3.7 | 0.4 | 0.002 ³ |
| 機能の全体的評定尺度 (GAF) | 46.6 | 5.3 | 81.5 | 5.3 | < 0.001 ³ |
| 自閉症スペクトラム指数 (AQ) | 35.7 | 5.5 | 18.0 | 6.5 | < 0.001 ³ |
| 自閉症診断面接 (ADOS) | | | | | |
| 相互的対人関係の質的異常 | 14.8 | 6.1 | | | |
| 意思伝達の質的異常 | 11.6 | 4.1 | | | |
| 限定的・反復的・常同的行動様式 | 4.0 | 2.4 | | | |
| 自閉症診断観察検査 (ADI-R) | | | | | |
| 相互的対人関係 | 8.1 | 1.7 | | | |

| | | |
|--------------|-----|-----|
| 意思伝達 | 3.7 | 1.4 |
| 常同行動と限局された興味 | 0.4 | 0.5 |

¹ Hollingshead スケール^[128]を用いて評価した。評点が高いほど教育かつ／または職業的ステータスが低いということを示す。

² ASD 群の知能指数はウェクスラー成人知能検査で評価した。TD 群の言語性知能指数は日本語版知的機能の簡易評価を用いて換算推定した。

³ *T* 検定で $P < 0.05$ 水準の有意性を認めた。

略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; SES, socioeconomic status; IQ, intelligence quotient; CESD, Center for Epidemiologic Studies Depression Scale; STAI, State and Trait Anxiety Inventory; WHOQOL, World Health Organization Quality-of-Life questionnaire; GAF, Global Assessment of Functioning; AQ, Autism Spectrum Quotient; ADI-R, Autism Diagnostic Interview-Revised; ADOS, Autism Diagnostic Observation Schedule; SD, standard deviation.

3.2. 表情解析用場面の決定

15 個の ADOS 課題に対し、定性的に「構造化の度合い」と「反復可能性」を、定量的に「実現可能性」を順次評価し、最終的に選抜された課題を表情解析用場面として採用した。

3.2.1. 「構造化の度合い」と「反復可能性」の定性的評価による選抜

15 個の ADOS 課題について「構造化の度合い」と「反復可能性」を定性的に評価した結果、4 つの課題（構成課題、本のストーリーの説明、実演課題、漫画）が両方とも「十分である（○）」と判断された（表 2）。この中で、「実演課題」は被験者が歯磨きの方法を伝える内容であり、被験者の顔に随意的な運動が加わる可能性を考え、自然な表情の観察には適さないと判断した。したがって、3 つの課題（構成課題、本のストーリーの説明、漫画）を表情解析用場面の候補とした。

表 2 ADOS 各課題における「構造化の度合い」と「反復可能性」の定性的評価

| 課題 | 内容 | 構造化 | 反復可能性 |
|------------|--|-----|-------|
| 構成課題 | 見本の絵に合わせてブロックを組み合わせる。 | ○ | ○ |
| 本のストーリーの説明 | 絵本の内容を説明する。登場人物の関係性や感情について言及してもよい。 | ○ | ○ |
| 絵の叙述 | 一枚の絵を見て、自発的にその絵について説明を行う。 | ○ | × |
| 会話と報告 | 面接者と会話を行い、日常生活やその他のことについて説明する（誕生日や休暇など）。 | × | × |
| 現在の仕事／学校 | 仕事や学校における現状やそれに対する洞察、今後の意思決定における役割を理解しているかどうか、などについて説明する。 | ○ | × |
| 対人的困難と悩み | 面接者の質問に応じながら、自身の対人困難や行動に伴う責任に対する洞察について語る。 | ○ | × |
| 感情 | 面接者の質問に応じながら、感情あるいはそれと関連する自身の経験について語る。 | ○ | × |
| 実演課題 | 歯磨きの場面を実演する。言葉に加えて身振り素振りを交えても良い。 | ○ | ○ |
| 漫画 | 漫画の内容について説明する。身振りをを用いて再現しても良いし、登場人物の感情について身振り・視線・セリフを用いて表現しても良い。 | ○ | ○ |
| 休憩 | 休憩を取る。その間、机の上に置かれたもの（雑誌や玩具など）に興味を示すかもしれない。 | × | × |
| 日常生活 | 面接者の質問に応じながら、金銭面や住居面・余暇の過ごし方などについて、過去や現在の状況を語る。 | ○ | × |
| 友人と結婚 | 面接者の質問に応じながら、友人関係について挙げるとともに、友人という概念への理解や結婚に対する考えを語る。 | ○ | × |
| 孤独 | 面接者の質問に応じながら、孤独に対する感情や自らの境遇について語る。 | ○ | × |
| 計画と希望 | 今後の人生の目標について語る。 | ○ | × |
| お話し作り | 5つの道具や玩具を用いて、物語や実況中継・コマースタルなどを作る。 | × | × |

3.2.2. 「実現可能性」の定量的評価による選抜

18名のASD被験者それぞれに対し、上記の定性的な評価により候補とされた3つのADOS課題（構成課題、本のストーリーの説明、漫画）の場면을記録した動画が得られた。これら合計54個（18名×3課題）の動画のうち、3つの動画について課題中に表情検出が成功した部分の割合が20%未満と低かったため、以後の解析から除外した（「構成課題」で1人、「本のストーリーの説明」で2人、いずれも被験者の顔が手で隠されることが主な理由）。

定性的な評価により候補として選択された3つの課題それぞれに対し、課題中の動画における「表情検出の成功割合」、「所要時間」、「顔面の向きの妥当性」、「顔面の向きの信頼性」の4項目に関するZスコアの合計を算出した。その結果、「漫画」で最もZスコアの合計の平均が高く（Mean = 2.25、SD = 1.99）、それ以外の2つの課題はいずれも「漫画」よりも有意にZスコアの合計の平均が低かった（「構成課題」はMean = -0.69、SD = 1.13で $t_{33} = 5.25$ 、 $P < 0.001$ 、 $P_{FDR} < 0.05$ 、「本のストーリーの説明」はMean = -1.79、SD = 2.89で $t_{32} = 4.55$ 、 $P < 0.001$ 、 $P_{FDR} < 0.05$ ）

（表 3、図 11）。よって、被験者の表情解析用場面としては、「漫画」課題のみを採用した。

ここで、「漫画」課題とは、事前に面接者と共に内容を確認した漫画の内容について、面接者に対して説明することを求める課題である。標準的な課題施行時間は定められているわけではないが、所定の漫画として1~2分程度の所要時間で

内容の説明を完了できる程度の短いものが用いられる。説明に際しては、言葉に加え、身振りを用いて場面を表現しても良いし、登場人物の反応や感情について身振り・視線・セリフを用いて表現しても良い。なお、漫画場面単独で ADOS の評定が行われることはないが、この場面における観察上の注目点としては、被検者の身ぶりの使用と話し言葉との協応を観察すること、ユーモアに対する被検者の反応をより詳細に観察すること、付加的な言語サンプルを得ること、聞き手によって話し方を調整する際の被検者の洞察と柔軟性の程度を調べること、感情と対人関係についての被検者の発言を記録すること、などが含まれている。

表 3 Z スコアを用いた ADOS 課題における表情解析の「実現可能性」の評価

| Z スコアの種類 ¹ | N ² | Mean | SD | T 値 | P 値 |
|-----------------------|----------------|-------|------|------------------------|----------------------|
| 「漫画」 | | | | | |
| Z スコアの合計 | 18 | 2.25 | 1.99 | | |
| 表情検出の成功割合 | 18 | 0.27 | 1.12 | | |
| 所要時間 | 18 | 0.50 | 0.08 | | |
| 顔面の向きの妥当性 | 18 | 0.83 | 0.57 | | |
| 顔面の向きの信頼性 | 18 | 0.65 | 0.78 | | |
| 「構成課題」 | | | | 5.25 | < 0.001 ⁴ |
| Z スコアの合計 | 17 | -0.69 | 1.13 | (df = 33) ³ | |
| 表情検出の成功割合 | 17 | -0.16 | 0.83 | | |
| 所要時間 | 17 | 0.33 | 0.10 | | |
| 顔面の向きの妥当性 | 17 | -0.44 | 0.74 | | |
| 顔面の向きの信頼性 | 17 | -0.42 | 0.63 | | |
| 「本のストーリーの説明」 | | | | 4.55 | < 0.001 ⁴ |
| Z スコアの合計 | 16 | -1.79 | 2.89 | (df = 32) ³ | |
| 表情検出の成功割合 | 16 | -0.14 | 0.92 | | |
| 所要時間 | 16 | -0.91 | 1.37 | | |
| 顔面の向きの妥当性 | 16 | -0.46 | 1.00 | | |
| 顔面の向きの信頼性 | 16 | -0.29 | 1.12 | | |

¹Zスコアの符号は、それぞれ望ましい方向（表情が検出できた割合が大きい、所要時間が短い、被験者の顔面の向きの妥当性／信頼性が高い）を正、その反対を負とした。

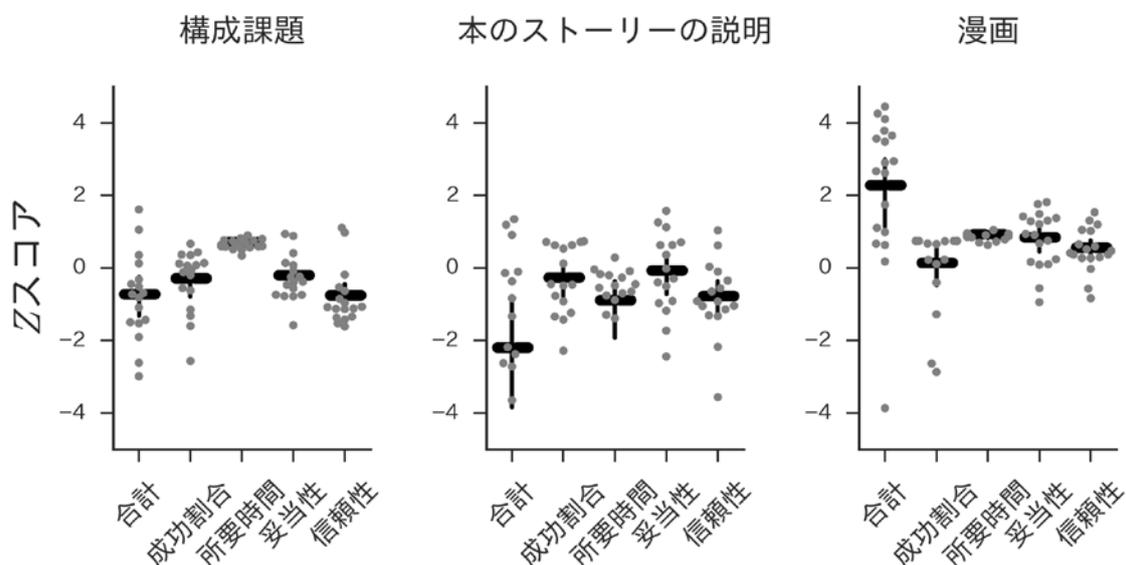
²ASD 被験者 18 名のうち、各課題で動画記録に成功した人数を表す。

³「漫画」場面での Z スコアの合計と比較して片側 T 検定を行った。

⁴ $P < 0.05$ 水準かつ FDR 補正 $P < 0.05$ 水準を満たす。

略語：ADOS, Autism Diagnostic Observation Schedule; EI, expression intensity; SD, standard deviation; *df*, degrees of freedom; ASD, autism spectrum disorder; FDR, false discovery rate.

図 11 表情解析用場面の候補となる ADOS 課題における各種 Z スコアの分布



定性的評価により選択された表情解析用場面の候補となる課題それぞれにおける各種 Z スコアの分布を示した。横軸は評価項目を、縦軸は Z スコアを示す。各点は被験者を、水平棒は各項目での Z スコアの平均値を、上下のヒゲは 95% 信頼区間をそれぞれ表す。課題の所要時間に関しては、「構成課題」が最も高い平均を示したが、その他の項目についてはいずれも「漫画」が最も高い平均を示した。Z スコアの合計については、「漫画」が最も高い平均を示し、その他の課題のいずれとも有意差を認めた（表 3）。

略語：ADOS, Autism Diagnostic Observation Schedule.

3.3. 採用された表情解析用場面で得られた表情データの評価

すべての被験者（ASD 群 18 名、TD 群 17 名）から「漫画」課題中の動画が合計 35 個得られたが、いずれも FaceReader の表情検出が成功した割合は場面全体

の 20%以上であり、表情検出が不十分という理由で解析から除外されたものはなかった。また、合計 17 名（ASD 群 7 名、TD 群 10 名）の被験者が眼鏡を着用していたが、眼鏡や毛髪による遮蔽のために動画全体を通しての表情推定が不能であった者や、設定の調整によっても適切な表情推定へ至ることが不能であった者は認めなかった。ASD 群のほうが TD 群よりも課題の所要時間が有意に長く ($P = 0.038$)、被験者間でのばらつきも大きかったが、表情検出に成功した割合に関しては両群で有意差を認めなかった (表 4、図 12)。また、両群とも、課題時間・表情検出の成功割合は、被験者の年齢・身長・体重・本人の SES・両親の SES・全検査 IQ・言語性 IQ・WHOQOL・GAF・AQ・STAI-state・CESD のいずれとも有意な相関は認めなかった ($P_{FDR} > 0.05$)。

両群で課題の所要時間に有意差を認めたため、両群の課題遂行における状況の違いについて確認した。課題場面を記録した動画を視覚的に確認した結果からは、両群とも著しい緊張や不安などにより課題を完了できなかつたり、途中で内容を確認・再質問するなどによって課題の遂行が中断されたり、漫画の内容を思い出せずに説明を中断したり、といった被験者は認めなかった。また、課題中に被験者が語った内容の情報量についての評価として、無意味な音（「ああ」「えー」など）と単純な言い直しを省いた発語内容を文面に直した上で文字数（すなわち発音数）を数えて群間比較した結果、両群間に有意差をみとめなかった ($P > 0.05$) (表 4、図 12)。ASD 群は TD 群と比較して、課題所要時間・検出成功割合・課

題中発音数のいずれでも験者間でばらつきが大きかった(表 4、図 12)。さらに、実際に被験者が語った内容についても確認したところ、漫画内容についての理解や説明の遂行については両群間で明らかな違いはないと判断できた(表 5)。

表 4 「漫画」課題における ASD/TD 群間比較

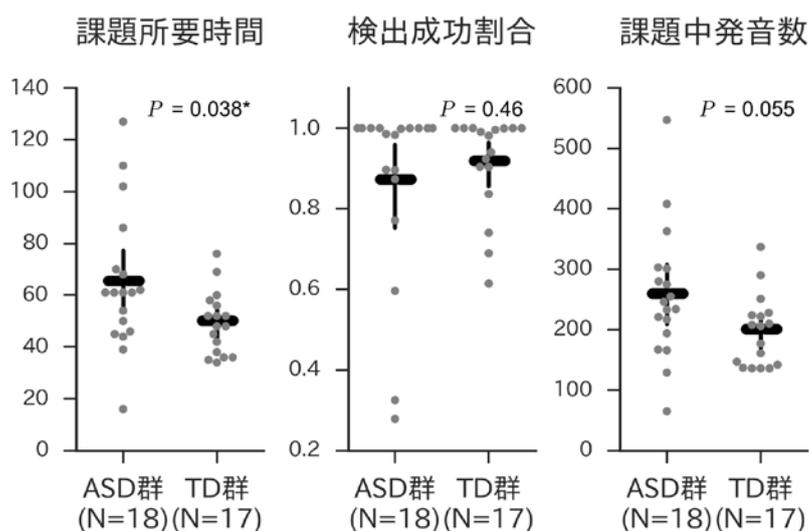
| | ASD 群 (N = 18) | | TD 群 (N = 17) | | P 値 |
|--------------------------|-------------------|-------|------------------|------|--------------------|
| | Mean | SD | Mean | SD | |
| 課題の所要時間 (sec) | 64.6 | 26.0 | 49.2 | 11.8 | 0.038 ² |
| 表情検出の成功割合 (%) | 86.7 | 22.4 | 91.3 | 11.8 | 0.46 |
| 課題中の発音数 (個) ¹ | 255.8 | 108.7 | 196.9 | 59.1 | 0.055 |

¹ 課題中に語った内容について、無意味な音(「ああ」「えー」など)と単純な言い直しを省いて、文字数としてカウントした。

² T 検定で $P < 0.05$ 水準の有意性を認めた。

略語: ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; SD, standard deviation.

図 12 ASD/TD 各群における「漫画」課題の所要時間・顔検出成功割合・発音数の散布図



被験者の「漫画」課題の所要時間・顔検出の成功割合・課題中の発音数について、それぞれ ASD 群 (N = 18) と TD 群 (N = 17) の分布を示した。各図の横軸は各群を、

縦軸はそれぞれ課題所要時間（秒）・検出成功割合（％）・課題中発音数（個）の値を表す。各点は被験者を、水平棒は各群の平均値を、上下のヒゲは95%信頼区間をそれぞれ表している。*はP値が0.05水準で有意であることを示している。ASD群はTD群と比較して、課題所要時間の平均が有意に高く、課題所要時間・検出成功割合・課題中発音数のいずれでも験者間でばらつきが大きかった。

略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development.

表5 「漫画」課題において被験者が語った内容の書き起こし文

ASD群

おじさんが釣りをして、座って釣りをしていたんですけど、後ろで猫が獲物を狙って、おじさんが魚を釣って、なんだろう、針を取って魚をバケツに入れようとするところで、猫が魚をゲットしたんですけど、猫がまた魚をためておこうと別の入れ物に入れたんですけど、その入れ物が実はペリカンの口の喉の下の部分で、ペリカンがそのまま魚を食べて空に飛んで、猫が悔しい顔をした。

男の人が釣りをして、バケツに魚を入れたら、猫がその魚を取って、魚を鳥の嘴に入れて、そのまま鳥に持っていかれた。

ある休日の朝、一人の中年男性が堤防で魚釣りをしていました。彼は一匹の大きな魚を釣り上げると、持ってきたバケツにその魚をしまいました。後ろからその釣り人に気づかれないように一匹の猫が近寄り、気づかれないうちにその魚をバケツから奪って、近くにあった容器のようなものに入れて持って帰ろうとしました。すると、その魚を入れた容器というのは実はペリカンの嘴で、ペリカンはままとその魚を奪って飛んでいってしまい、猫は魚を食べることができませんでした。

魚を入れてる魚籠（びく）みたいな感じのものに魚が入ったんで、猫は魚を加えて持って行って、それを自分が隠したいと思っているような隠し場所のところに、猫が自分でくわえて魚を入れたんですけど、その入れたところがペリカンというか鳥の嘴の中に魚を入れてて、猫の方は上手く行ったと思ったんだけど、実はペリカンの口に魚を入れてて、ペリカンの方は魚を持っていっちゃって、猫は魚を食べられなかった。

ある晴れた日に、男の人が桟橋の方で釣りをしていました。男の人は魚を釣り上げました。後ろの方では、猫がその様子を見ています。そして、男の人は釣り上げた魚をバケツの中に入れました。猫はそれを取ろうとしています。そして、猫は男の人が釣った魚をこっそり取り上げました。そして、おや、猫は何か別の入れ物に魚を入れたようです。もしかして、その入れ物に入れて、食べようとしているのでしょうか。ところが、入れ物だと思ったものがペリカンの口でした。そして、ペリカンは魚を飲み込んだまま、飛んでいってしまいました。猫はとても悔しがりました。

ある男の人が魚釣りをしていました。その背後に、その様子を猫がじっと見ていました。男の人が魚を一匹釣り上げて、それをバケツに入れて、またその後魚釣りを

始めました。ただ、その男の人が魚釣りをして背中を向けている時に、バケツに見ていた猫が近づいて、バケツの中の魚をくわえて、別の容器のようなところに魚を入れてしまいました。ところが、それは容器ではなくてある鳥の嘴の中だったために、その魚はその鳥にくわえられてしまいました。そのあと、その鳥がさっきの魚をくわえたまんま、空に飛び立ってしまいました。

釣り人のおじさんが、波止場みたいなところで釣り糸を垂らして魚釣りをしています。魚釣りしてて、魚がとれたんで、取れた魚をバケツにどんどん入れて行って、またおじさんが釣りを楽しんでいると、後ろから猫がやってきて、その釣った魚を盗んで勝手に食べました。ある魚の時に、猫が横にぼんと置いたんですけど、それが実はペリカンの嘴の中で、ペリカンがその魚を勝手にもらって飛んで行ってしまって、猫は怒ってしまった。自分の餌を取られたから多分怒っていると思うんですけど。

男性が魚釣りをしていました。やっと釣り上げたら、それでバケツに撮った魚をとって、それを見てた猫が連れた魚を自分の獲物にしようと、やったあ、魚が取れたなど、嬉しそうにこっちに持って行って、なんかバケツみたいなたらいに入れて、あれっ、ペリカンだったの、あれ。そうなんだよ、僕はペリカンなんだ、じゃあ、いただきます、ざまーみろ。あー、ちきしょー。

ある男性が川で釣りをしていました。当たりが来た、なんだろう、引き上げてみたら魚が一匹釣れました。よし、そのまま釣れたと思った男性は、魚を直ちに近くのバケツに入れました。しかし、その横では猫が一匹、その魚をしめしめと狙ってまして、男性が目を離れたすきに魚を盗み、さあ、別の容器に入れようと思いました。しかし、そこはペリカンの口であって、まんまとペリカンに持って行かれてしまいました。猫はとっても悔しそうです。

男の人が魚を、最初の一ページ目は、釣り上げてそれを猫が見ていた。それで、その釣った魚を、男の人が釣った魚をバケツに入れようとしているのを、猫が、ああそのバケツの中に入れるんだなって、そのバケツの中に入れようとしている魚を一生懸命目で追っていて、その次のページでは、魚を入れ終わって、男の人はまた釣りをしている海の方に向いたから、猫はバケツから魚を取り上げようとして、いつときはすぐ目の見えない場所において、男の人が、釣った魚がどこ行ったんだろうって、慌てて困らせようとして、それで男の人が釣った魚を諦めたら自分のものにしようと思って、近くにあるバケツか桶みたいなところに入れた、とりあえず。だけど、入れた後に気がついたら、その入れたバケツか桶だと思えるところが、カモハシの嘴の中だった。だから、猫は魚を後で自分のものにしようと思って慌てて隠して入れたバケツか桶みたいなところが、カモ鳥の口の中だったのに気がついたときには、もうカモの鳥みたいなのがもう喜んで、口の中に食べ物入れてくれてありがとうって言って、笑顔で飛び去っていくのを、猫は悔しそうに眺めていたところで物語が終わります。

おじさんが魚釣りをしていた。釣った魚をバケツに入れた状態で、隣りにいた猫が

バケツから魚を盗んで、その魚を隠した状態で、隠したと思ったらそれは鳥の嘴で鳥に食べられて、それで鳥が飛び立ったところで猫が怒っているという。

ある日男の人と猫が海辺で魚釣りをしていました。男の人が魚を釣り上げて、後ろのバケツに入れてるんですけど、猫がちょっと魔が差して、魚をこっそりいただくと考えていて、男の人が魚を釣った時に目を盗んでは後ろのバケツの中から魚を一匹くすねて、どうやら後ろの方にあった籠の方に入れました。しかし、その籠と思っていたものは実はペリカンの下嘴の袋でして、猫はまんまとそのペリカンに魚を持っていかれました。

おじさんが棧橋で釣りをちょうどしてしまして、その後ろの方で猫がその釣った魚を取ろうと思って狙っています。おじさんが魚を釣ったんで、自分のバケツの方に魚を入れました。後ろに猫がいることを知らずに、また次の方をどんどん釣ろうと狙っています。猫の方はバケツに入ったって言うことで、おじさんに見つからないようにとって、自分の方の入れ物にとまって入れました。実を言うと、その自分の入れ物にしとこうと思ったところがちょうどアヒルの口になって、アヒルはどんどん自分のところに入ってくるんでそれを食べましたと。猫はよく見てみるとアヒルだったということでびっくりして、アヒルはいっぱいお魚食べられたということで喜んで帰って行って、そこで猫は全然自分は食べれなかったと怒っているという。

ある晴れた日、とある棧橋で一人の男の人が釣りをしていました。どうやら、ちょうど魚が釣れたところのようです。しかし、男の人は魚が釣れてすごく喜んでいますが、彼は気づいていませんが、この時、彼の後ろにあったバケツの後ろに、たまたま一匹の猫がいて魚を睨みつけています。男の人は釣れた魚をそのままバケツに入れますが、猫はそれに気づいて近寄ってきましたが、まだ男の人は未だにそれに気づいていません。猫は魚をバケツから取り出しました。男の人はまだ気づいていないようです。猫はその取り出した魚を近くににあった何かに入れたようです。なんでしょう。なんと、それは同じく棧橋にたまたまいた、ペリカンの口だったようです。その後、ペリカンはしめしめと言ったような感じで、大空へと羽ばたいて飛んでいってしまいました。猫はそれを見て、よくも、というような顔をして悔しがっています。

猫と釣り人がその場にいました。猫は釣り人の釣る魚を狙っています。釣り人は魚を釣り上げました。釣り人が魚を釣り上げ、後ろを向くと猫はいましたが、特に気にせずバケツの中に魚を入れました。しかし、それを狙って、猫はすかさず釣り人が釣った魚を奪いました。しかし、猫は釣り人が釣った魚を奪い持ち去ろうとしたら、ペリカンが現れてペリカンに取られてしまいました。ペリカンに取られてしまい、追おうにも飛んで逃げてしまい、取り返すことができません。

ある日、ある男が魚を釣って家に持って帰り、食べようと思っておりました。魚が何匹か釣れ、バケツにそれをとっていき、男の人は喜んでおりました。ところが魚を釣って夢中になっているうちに疲れてしまい、少しボーッとなっていました。そこに猫が現れ、しめしめこの男疲れているぞと思い、バケツの中の魚を尻尾

からつかみ取り、男がわからない場所に隠しました。ところが、そこに目ざとくペリカンが空から現れました。そして、猫がうっかりしているうちにその隠し場所に気づき、魚を下の唇に蓄えて、空に飛んで逃げていってしまいました。猫はカンカンに怒りました。

釣り人の男性が魚を釣っているところで、後ろから猫が魚を狙っていました。釣り人が魚を釣り上げて後ろのバケツに放り込んで、また釣り始めると、猫がその魚を取って、気づかないようなところに入れたと思ったら、それがペリカンの嘴で、結局猫は魚を得ることができず、ペリカンが魚を食べて飛んでいきました。

釣り人が栈橋の上で釣りをしています。その後ろで、猫が魚を釣っている人の様子を後ろからずっと見ています。釣り人は見事魚を釣りました、大変喜んでいます。猫は釣れた魚を見て、猫も喜んでいます。そして、釣り人は後ろにあるバケツに魚を入れました。猫はしめしめといった具合で、魚をとろうとしています。猫は魚をとりました。釣り人は気づいていません。猫が一旦後ろに魚を置こうとしたら、そこは地面ではなくてペリカンの嘴でした。猫はすごい悔しそうな顔をしています気づいたときにはすでに遅くて、ペリカンは羽ばたいてしまいました。猫はとても悔しがっていました。

TD 群

ある釣りをしている男性がいて、釣りは取れたんですけど、その魚を狙っている猫が後ろの方にいましたと。男性がその魚を自分の後ろにおいて目の前を見ていると、猫が男性が前を向いている時にバケツから魚を取ろうと取りました。取って何か袋とかに入れたら、実はそれがペリカンの口の中で、そのまま持って行っちゃって、猫はもうとうとうびっくりして怒って悔しい思いをしている、っていう感じですね。

今の漫画は、まず、釣り人が魚釣りをしていて、捉えた魚をバケツに入れたところ、それを狙っていた猫がまんまとバケツから猫がかすめて、別のところに置いたと思ったら、それは置いたところにちょうどペリカンがいたもので、取られてしまっていて、猫は悔しがるという話でした。

猫の真似をすればよいのかな。猫がこうやって釣っているところ見ていて、しめしめと言って魚をバケツから取ると、取って口でくわえてそれを穴の方にぽいっと入れたと。だけどそれは実は鳥だったから、わっと驚いて、鳥が羽ばたいたところで返せと言って、といたところでしょうか。

おじさんが、魚を釣った時に、猫と一緒に釣っているんですけど、釣ったと思ったら猫がその魚を狙っていて、おじさんがまた釣りを続けている時に、猫がしめしめと思って魚を食べようと思って取ったところ、取って何かに入れようかなと思ってどこか取っておこうと思ったのかもしれないでしょうけど、入れようとしたらペリカンのまんまと口に間違っ入れてしまって、ペリカンが飛んで行っちゃって、猫がこの野郎と怒るって、そういう感じですね。

ある桟橋に男の人と猫がいました。男性は釣りをしている、一匹釣ったところで猫が近寄ってきました。猫は釣った魚を取り、別の容器に入れようと思いました。ところが、それはペリカンの口で、ペリカンがそれを持って行ってしまいました。猫はそれを悔しがっています。

帽子をかぶった小太りの男性が釣りをしています。その後ろで、猫が釣り上げられた魚を取ろうと待ち構えています。実際、魚の方は釣り上げられて、小太りのおじさんは魚をバケツの中に入れようとします。すると、猫はしめたと思って、そのバケツを中から魚を取り出そうとします。おじさんが釣りに戻って背中を向けているすきに、バケツに入った魚を猫は取り出します。そして、その猫は魚を何処かに隠そうと思って、容器のようなものに入れようとしますが、実際はその容器は大きな鳥の嘴の中で、結局猫が持ち出した魚は鳥の嘴の中に入ってしまって、鳥はそのまま飛び立ってしまいます。猫はそれを見て悔しがるといふ、そういった漫画です。

男の漁師が魚を釣って、それをバケツに入れるわけですけど、それをずっと狙っていた猫がそーっと忍び寄って、バケツから魚を奪い取るわけですが、その魚をペリカンに奪われて食べられてしまって、猫は自分が奪ったにも関わらず取られて地団駄踏んでいる、といった感じですね。

男の人が釣りをしている、猫がそれを見ていて、男の人がその釣った、一匹釣れたので、それをバケツに保存しました。その後で男の人は違う魚を釣るか、あるいは、気がそれているときに、猫はそのバケツから魚を盗んで、自分のバケツか何かしらに保存しようとそれを入れました。ところが、猫が入れたその自分の保存する容器は実はペリカンの口で、ペリカンはその魚を食べて羽ばたいてしたり顔で、猫はしまったというような顔をしてました。

ある河のほとりで男性が釣りをしている、魚が釣れたんですけど、隣りに座って伺った猫が魚を取ってしまって、おそらく後で食べようと思って入れ物に隠したつもりだったんですけど、実はそれはペリカンだったので、そのまま飛んで行ってしまって、魚はなくなってしまって、猫は悔しそうにしている、というお話でした。

今の漫画だと、人は男の男性が釣りをしている、それで魚を取った後、バケツの中に入れるところをじっと伺っていた猫が魚を取って、猫が魚を盗んでしめたと思ったところを、鳥に間違っって持って行かれてしまって悔しがっている、というような内容でした。

男性が釣りをしている、その後ろで猫が座っています。男性が釣った魚を背中の中に入れて、そうすると、猫はそのバケツに近づいて行って、そのままバケツの中から魚を取って盗んでしまいます。その後、猫は近くにあった場所に魚を置きますが、それは鳥の実はペリカンの口の中で、ペリカンはまんまとただで猫が取った魚を手に入れて、自分はそのまま逃げてしまいます。最後に猫は怒っています。

男性が釣りをしている、その横で男性がちょうど魚を釣り上げた時に、猫がその魚を狙っていて、釣りをしていた人が自分の釣った魚を入れるバケツの中に魚を入れて、もう一回後ろを向いて釣りを再開しているすきに、猫がバケツの魚を奪って、

なんかちょっと違う場所に移動して隠そうって実際に魚を隠したら、隠したと思った場所はペリカンの口の中だったということで、ペリカンはごちそうさんという感じで魚を食べちゃっていて、猫がくそっといったような感じで。

釣り人が、天気の良い空で、釣りをしております。猫がそれを狙って、バケツに入れた後に、猫がバケツの中から魚を取り出しました。取り出した魚は何か下のツボに入れたような感覚で猫はいたんでしょうが、それが実はペリカンの口で、まんまとペリカンに魚を取られたというストーリーでした。

男が釣りをしている、その後ろに猫がいて、男が釣った魚を猫が盗み取りしようと企んでいて、実際に魚が釣れて男が魚を背中にあったバケツに入れたところ、猫が魚を盗んで、自分のところに隠しておこうとして、魚の場所を移したら、それはペリカンのような鳥の嘴の中でその鳥は多分そこで待ち構えていたのかもしれない、ペリカンは自分の口の中に魚が来たので、それをとって逃げてしまった。それで、猫は怒った。

初め、男性が魚をうまく釣り上げて、やったってしているところに、後ろから猫がしめしめってやって狙っているところだと。次に、その横のバケツに入れようとしているけど、男性は猫に気づかずに、猫はちょうどそこで手が離れるところを狙っていると。で、離れた瞬間に男性が気づかないのを、しめしめ、バカなやつめと思いながら取って、そのまま持ち去ろうとしているけど、男性の方ばかり見てて手元疎かになってたら、そこを鳥に横取りされてしまったと。その鳥は、人間をバカにしているけどこいつもバカだと思いながら、飛び去っていくところを、猫はすごく悔しがっているというふうな。

まず、男の人が海辺で魚釣りをしている、その釣った魚を猫が狙っていました。男の人がバケツに魚を入れたところ、猫がどんどん近づいてきて、その後気づかれないように魚を取って食べました。そのあと、自分ではこっそり返したつもりだったが、それが誤って、誤ってというか意図せず鳥の嘴であって、鳥はそれを自分の口に入れられたので喜んで飛び去って行って、猫はそれを見て悔しがっていた。

男性が魚を釣っていて、猫がその釣った魚を狙っていました。男性が魚をバケツに入れて、その入れたバケツの魚を猫が狙っていて、まんまと猫が捕まえましたと。猫が捕まえた魚を自分の隠し場所に置こうと思って手を離したところ、そこはペリカンの口で、まんまとペリカンがその魚を持って行って、猫が怒っています、という話です。

3.3.1. 各表情の EI 値のデータ分布

「漫画」課題中の被験者を記録した動画の表情解析から得られた全 EI 値データ

(N=53516) について、無表情の EI 値（「出力される無表情の EI 値」と「無表

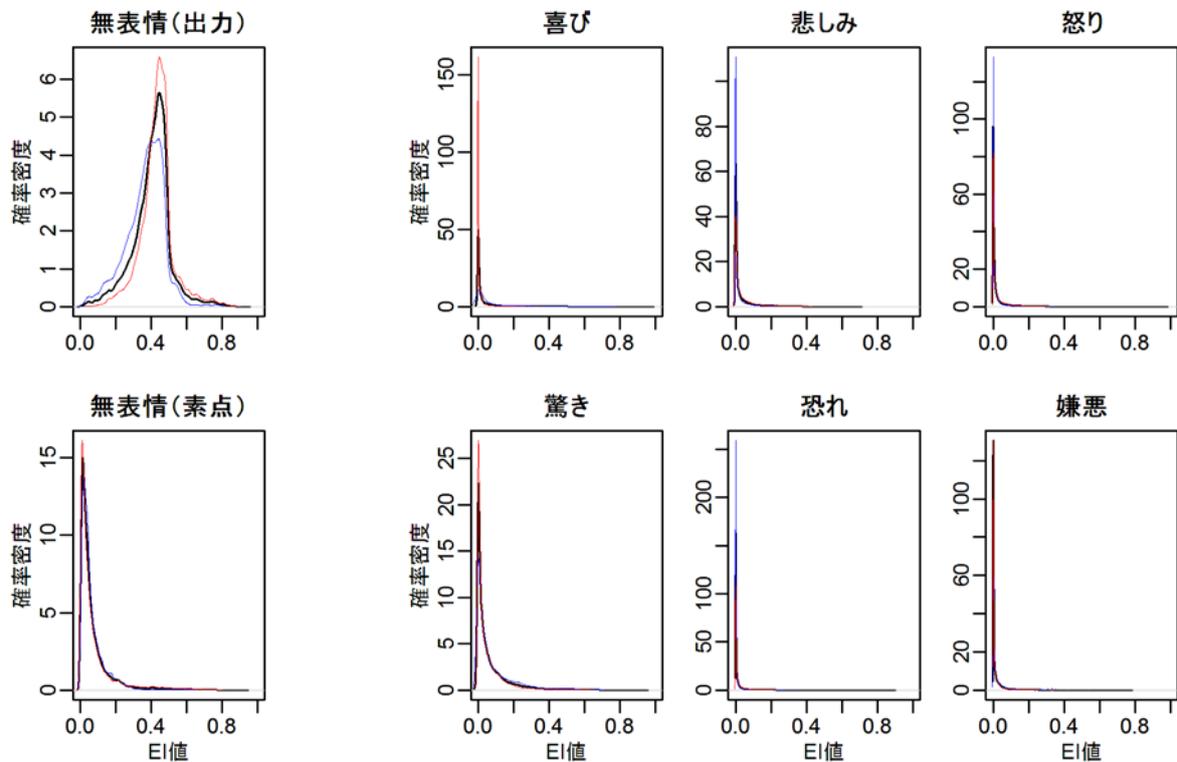
情の EI 値の素点) および各感情表情の EI 値の確率密度分布を評価した。「出力される無表情の EI 値」の確率密度曲線は左右対称に近い形を呈していたのに対し、「無表情の EI 値の素点」および各感情表情の EI 値の確率密度曲線はいずれも著しく右に裾を引き 0 近傍に鋭いピークを持つ形を呈した (図 13)。また、「無表情の EI 値の素点」と「出力される無表情の EI 値」の間の相関散布図からは、「無表情の EI 値の素点」が 0 に近いほど「出力される無表情の EI 値」が広く分散して出力されることが読み取れた (図 14)。

したがって、各感情表情の EI 値および「無表情の EI 値の素点」に関しては対等に近い性質を有する指標であり、対して、補正式により計算された「出力される無表情の EI 値」に関してはそれらとは異なる性質を有する指標と考えられた。

図 13 無表情ならびに各感情表情の EI 値の確率密度分布

(A) 無表情

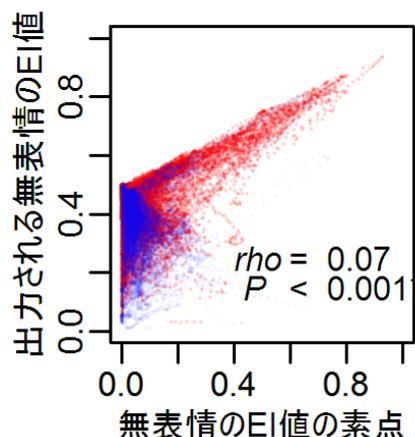
(B) 感情表情



「漫画」課題中の被験者の全 EI 値データに関して、(A) 無表情の EI 値（「出力される無表情の EI 値」と「無表情の EI 値の素点」）、ならびに、(B) 各感情表情の EI 値の確率密度分布を示す。図の横軸は EI 値を、縦軸はその EI 値の確率密度を表す。赤色の線は ASD 被験者のデータ (N = 30407) の確率密度曲線、青色の線は TD 被験者のデータ (N = 23109) の確率密度曲線、黒色の線は全被験者のデータ (N = 53516) の確率密度曲線を表す。(A) より、「出力される無表情の EI 値」の確率密度曲線は比較的左右対称な形であるのに対し、「無表情の EI 値の素点」および各感情表情の EI 値の確率密度曲線は著しく右に裾を引いた形を呈している。

略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity.

図 14 「無表情の EI 値の素点」と「出力される無表情の EI 値」の相関散布図



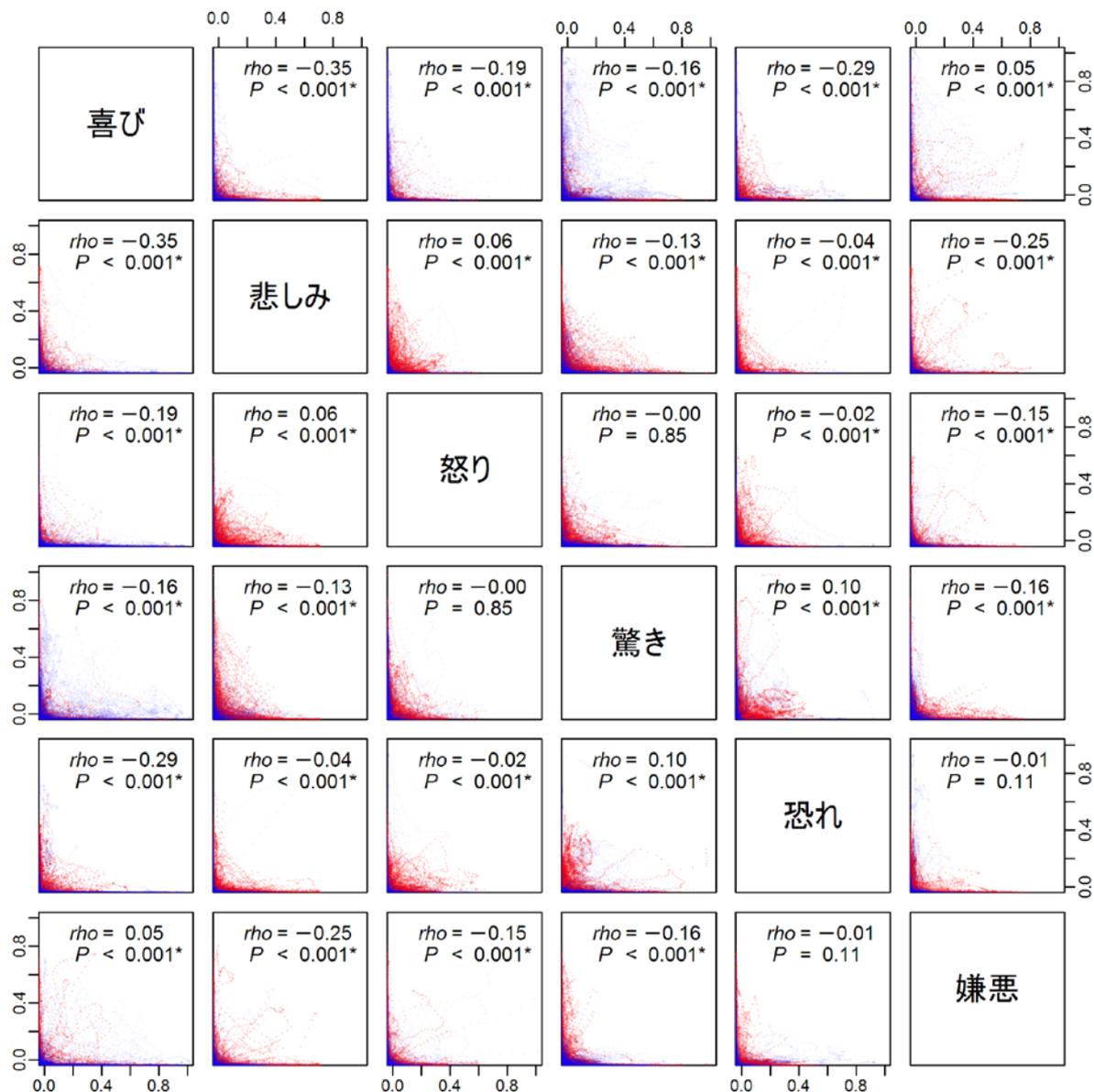
「漫画」課題中の被験者の全 EI 値データ (N=53516) について、「無表情の EI 値の素点」と「出力される無表情の EI 値」の相関散布図を示す。各点はある一時点での EI 値を表し、赤色の点は ASD 被験者 (N=30407) の、青色の点は TD 被験者のデータ (N=23109) に対応している。図中には全 EI 値に関するスピアマンの順位相関係数 (ρ) とその P 値が示されており、*は P 値が 0.05 水準で有意であることを示す。「出力される無表情の EI 値」は「 $0.5 \times \{[\text{無表情の EI 値の素点}] + (1 - [\text{感情表情の EI 値で最大のもの}])\}$ 」

で計算されるが、図中の「無表情の EI 値の素点」はこの式より逆算して得られたものである。この計算式による補正により、「無表情の EI 値の素点」が 0 に近づくほど、「出力される無表情の EI 値」が広く分散して出力されていることが示されている。
略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity.

3.3.2. 各感情表情の EI 値の相関関係

「漫画」課題中の被験者を記録した動画の表情解析から得られた全 EI 値データ (N=53516) について、各感情表情の間で EI 値の相関関係を評価した (図 15)。いずれの感情表情の EI 値間でも、散布点は類似した対称的な形で分布しており、一方の EI 値が高くなるにつれてもう一方の EI 値が 0 付近に集中する傾向が見られた。したがって、どの感情表情の EI 値も対等かつ排他的な指標と考えられた。

図 15 全感情表情の EI 値 間の相関の評価



「漫画」課題中の被験者の全 EI 値データ (N = 53516) に関して、全感情表情間での EI 値の相関散布行列を示す。左上から右下の対角線上のマトリックスは感情表情の項目を表し、2 項目を行と列として交わった位置のマトリックスにそれらの間での相関散布図が示されている。各点はある一時点での EI 値を表し、赤色の点は ASD 被験者 (N = 30407) の、青色の点は TD 被験者のデータ (N = 23109) に対応している。各マトリックス内には全被験者の EI 値に関するスピアマンの順位相関係数 (ρ) とその P 値が示されており、*は P 値が 0.05 水準で有意であることを示す。被験者全体としては、どの感情表情の EI 値の間の散布図でも類似した分布を呈しており、一方の EI 値が高くなるにつれてもう一方の EI 値が 0 付近に集中する傾向も見られることから、指標間の対等性・排他性などは保たれていると考えられた。

略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity.

3.3.3. 無表情と感情表情の相補性

「漫画」課題中の被験者を記録した動画の表情解析から得られた全 EI 値データ (N=53516) について、無表情と感情表情の相補性を評価するため、無表情の EI 値 (「出力される無表情の EI 値」、「無表情の EI 値の素点」と全感情表情の EI 値の合計、ならびに、各感情表情の EI 値との間での相関関係を評価した (図 16A-C)。なお、「無表情の EI 値の素点」に関しては、FaceReader の仕様の補正式である「 $0.5 \times \{[\text{無表情の EI 値の素点}] + (1 - [\text{感情表情の EI 値で最大のものの}])\}$ 」より逆算して求めた。

「出力される無表情の EI 値」と全感情表情の EI 値の合計との間については強い負の相関を確認できたのに対し ($\rho = -0.93$, $P < 0.001$)、「無表情の EI 値の素点」と全感情表情の EI 値の合計との間についてはその傾向が弱かった ($\rho = -0.24$, $P < 0.001$) (図 16A)。したがって、「出力される無表情の EI 値」の方で感情表情との相補性が明瞭であった。なお、「出力される無表情の EI 値」と各感情表情の EI 値の相関の中では、喜びとの間では順位相関係数の絶対値が比較的大きかった ($\rho = -0.35$, $P < 0.001$) (図 16B)。

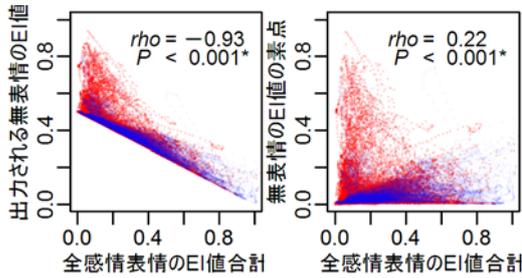
また、散布図に関して言えば、「無表情の EI 値の素点」と各感情表情の EI 値との間の散布点の分布は比較的 対称的な形であり、一方の EI 値が高くなるにつれてもう一方の EI 値が 0 付近に集中する傾向が見られるなど (図 16C)、感情表情の EI 値同士の散布点の分布と類似していた (図 15)。これにより、「無表情の EI

値の素点」は各感情表情の EI 値と対等に近い性質を有する指標であると考えられ、確率密度分布の形が類似している点によっても裏付けられた (図 13)。ただし、怒り・驚き・恐れ・嫌悪の EI 値との間の順位相関係数が正であることから ($\rho = 0.09-0.28$, $P < 0.001$)、「無表情の EI 値の素点」とこれらの間での排他性はやや弱い可能性が考えられた。

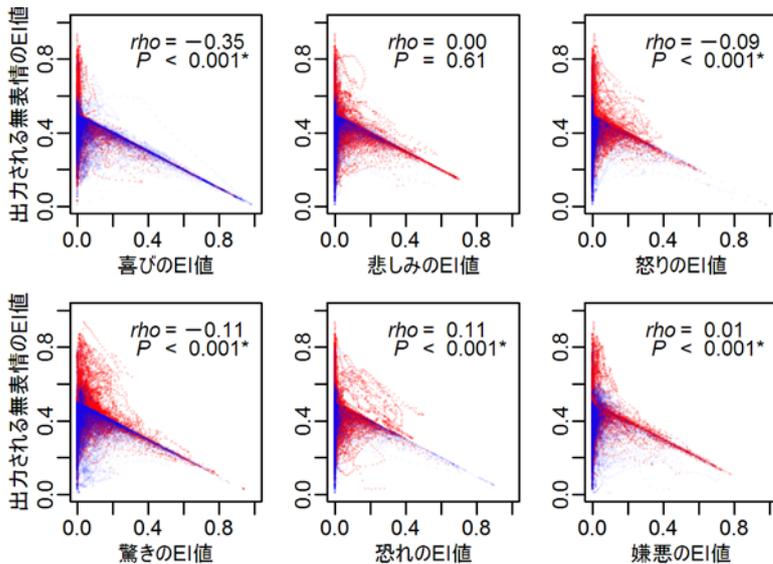
以上より、全体的な表情表出の乏しさを表す点では、感情表情の相補性が明瞭である「出力される無表情の EI 値」が適すると考えた。したがって、以降では無表情の EI 値は「出力される無表情の EI 値」のみを用いて解析を進めることとした (以下、無表情の EI 値は「出力される無表情の EI 値」のみを指すこととする)。

図 16 無表情の EI 値と感情表情の EI 値の相関散布図

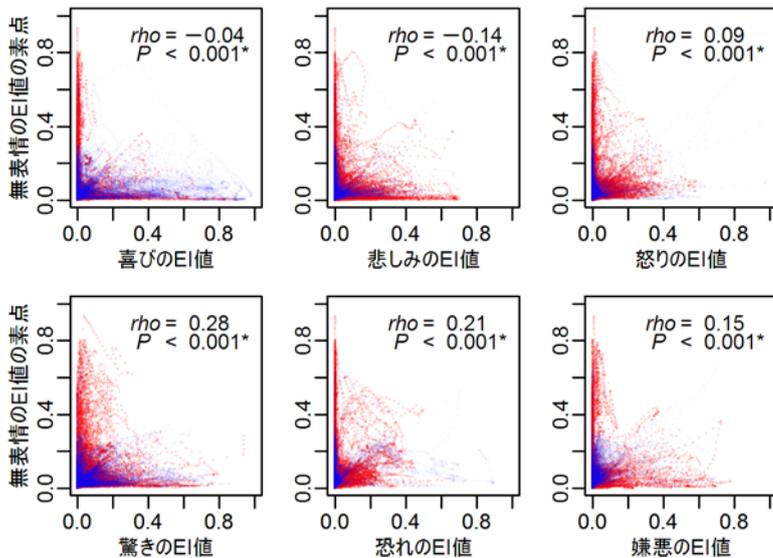
(A) 「出力される無表情の EI 値」「無表情の EI 値の素点」と全感情表情の EI 値合計



(B) 「出力される無表情の EI 値」と各感情表情の EI 値



(C) 「無表情の EI 値の素点」と各感情表情の EI 値



「漫画」課題の場面における全被験者の全 EI 値データ (N=53516) について、(A) 無表情の EI 値（「無表情の EI 値の素点」と「出力される無表情の EI 値」）と全感情表情の EI 値の合計、(B) 「無表情の EI 値の素点」と各感情表情、(C) 「出力される無表情の EI 値」と各感情表情の相関散布図を示す。各点はある一時点での EI 値を表し、

赤色の点は ASD 被験者 (N=30407) の、青色の点は TD 被験者のデータ (N=23109) に対応している。図中には全被験者の EI 値に関するスピアマンの順位相関係数 (ρ) とその P 値が示されており、*は P 値が 0.05 水準で有意であることを示す。(A) の散布点の下端が直線 $y = 0.5 \times (1 - x)$ で境界されており、(B) の各散布図で散布点が直線 $y = 0.5 \times (1 - x)$ 付近に集中しているが、いずれも FaceReader の仕様に伴う無表情の EI 値の補正式に由来するものと解釈できる。(A) より「出力される無表情の EI 値」は全感情表情の EI 値の合計との間で明瞭な負の相関関係が読み取れ、感情表情に対して相補的な関係を示す指標であると考えられた。(B) からは感情表情の中でも喜びの EI 値との相関が比較的強いことが読み取れた ($\rho = -0.35$)。(C) の散布点の分布から、「無表情の EI 値の素点」は各感情表情と比較的対等に近い指標であると考えられたが、怒り・驚き・恐れ・嫌悪の EI 値との関係は順位相関係数が正 ($\rho = 0.09-0.28$) であることから、やや排他性が弱い可能性があると考えられた。

略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity.

3.3.4. 感情表情の EI 値に対する主成分分析

6 種類の感情表情を複合した感情表情成分で被験者間の違いを大きく反映するものが存在するかどうかを探索するため、主成分分析を行った。「漫画」課題中の被験者を記録した動画の表情解析から得られた全 EI 値データ (N = 53516) に対して相関行列を用いた主成分分析を行い、6 種類の感情表情を因子とする 6 つの主成分に関して、表 6 と 図 17 の結果を得た。ここで、固有値が 1 以上である条件 (カイゼル基準) を満たすものとして第一～第三主成分 (PC1-3、固有値 1.10 -1.21、寄与率 18.4-20.1%) が選択できたが、被験者間の違いに関する情報を特に多く含むような突出した寄与率を呈したものはなく、第三主成分までの累積寄与率も 58.1% (<70%) と十分に高くもなかった。したがって、本研究で得られた「漫画」課題中の被験者の EI 値データに関しては、被験者間の表情傾向の違いを評価する指標として 6 種類の感情表情を複合した感情表情成分を追加する必要性

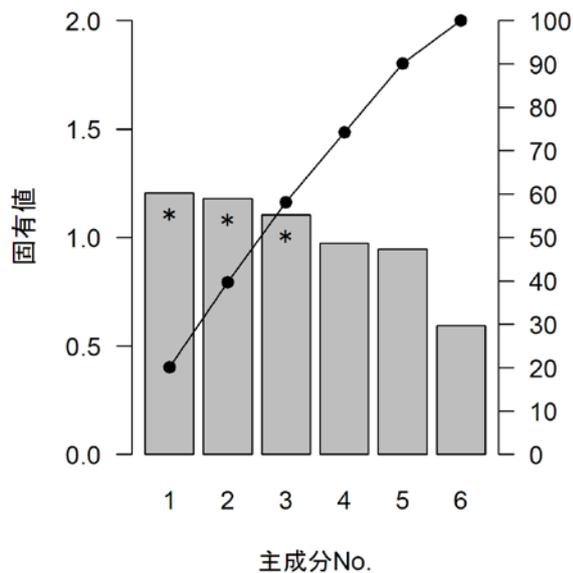
は乏しいと判断し、以降の解析は従来の7種類のEI値（無表情と6種類の感情表情）のみで行うこととした。

表 6 6感情表情の全EI値データに対する主成分分析の結果

| | PC1 | PC2 | PC3 | PC4 | PC5 | PC6 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 固有ベクトル | | | | | | |
| 喜び | -0.72 | 0.24 | -0.14 | -0.09 | 0.37 | 0.52 |
| 悲しみ | 0.55 | 0.27 | -0.55 | 0.26 | 0.02 | 0.51 |
| 怒り | 0.40 | 0.15 | 0.44 | -0.69 | 0.23 | 0.32 |
| 驚き | -0.07 | -0.74 | -0.12 | -0.21 | -0.42 | 0.47 |
| 恐れ | 0.13 | -0.33 | 0.52 | 0.60 | 0.41 | 0.28 |
| 嫌悪 | -0.11 | 0.44 | 0.45 | 0.22 | -0.68 | 0.28 |
| 固有値 | 1.21 | 1.18 | 1.10 | 0.97 | 0.95 | 0.59 |
| 寄与率 (%) | 20.1 | 19.6 | 18.4 | 16.2 | 15.8 | 9.9 |
| 累積寄与率 (%) | 20.1 | 39.7 | 58.1 | 74.3 | 90.1 | 100 |

略語：PC, principal component.

図 17 主成分分析における各主成分の固有値のパレート図



図の横軸は各主成分を、棒グラフと左縦軸は固有値を、線グラフと右軸は累積寄与率を表す。*は固有値が1以上であったものを示している。カイゼル基準により第一～第三主成分が選択されるが、それらの累積寄与率は58.1%であり、70%に満たず、十分に高いとは言えないものと判断した。

3.3.5. 課題場面における被験者の EI 値の時系列データにおける代表値の計算

以上の検討により、7種類の表情（無表情、喜び、悲しみ、怒り、嫌悪、驚き、恐れ）それぞれについて、「漫画」課題中の被験者の EI 値の時系列データにおける代表値として Mean と SD、Mode と LogP を計算した。その結果、全ての被験者（N = 35）の全種類の表情について、これら4種類の代表値を有限値として得ることができた。以下、それらを各表情における EI 変数の値として扱い、解析を行った。

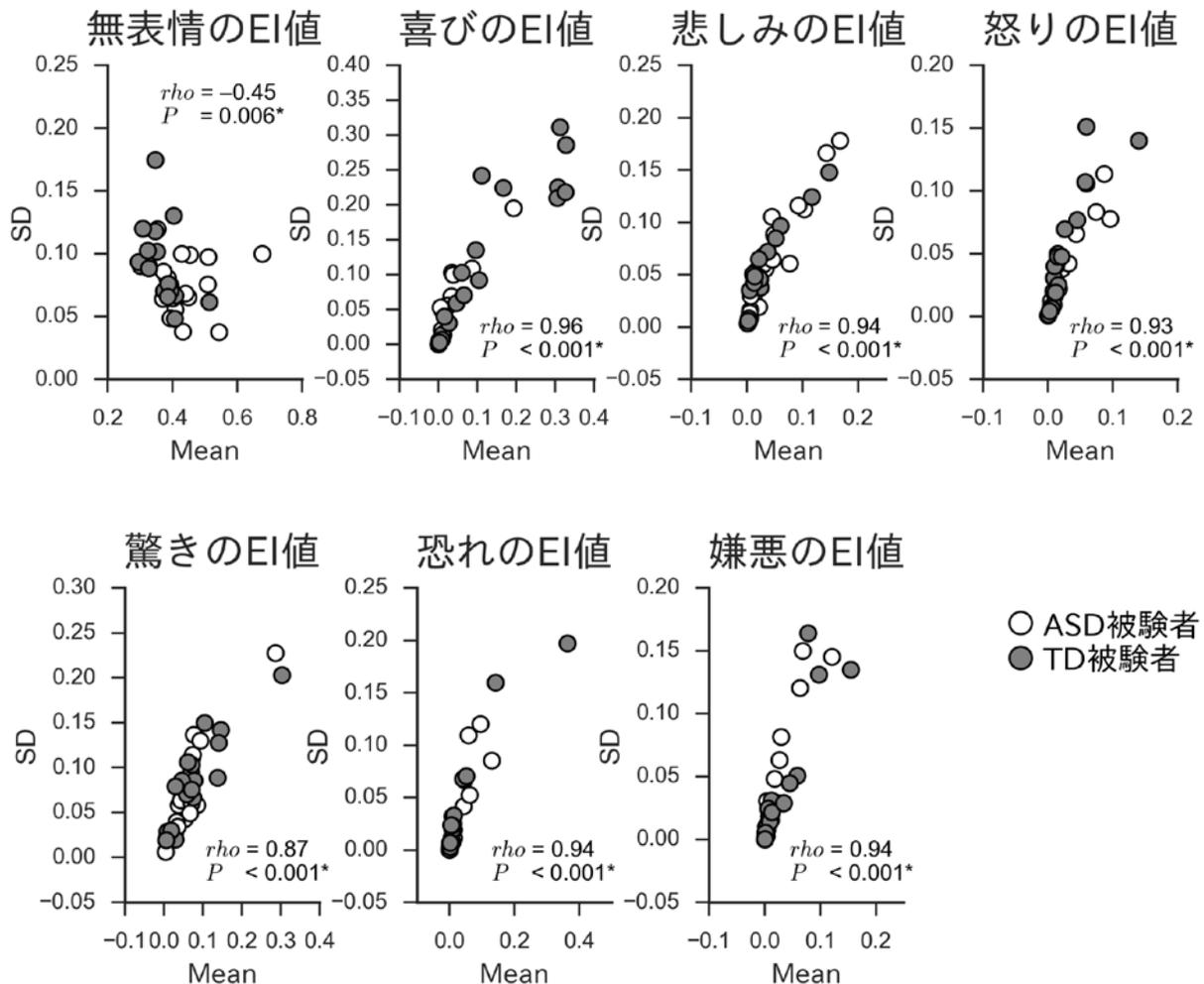
3.3.6. Mean と SD、Mode と LogP における相関関係

「漫画」課題中の被験者の各表情の EI 値の時系列データから得られた各代表値（N = 35）について、組となる代表値同士である Mean と SD（要約統計量として計算されるもの）、Mode と LogP（確率密度関数より計算されるもの）における相関関係を評価した。いずれの感情表情においても、Mean と SD（図 18）ならびに、Mode と LogP（図 19）の間で有意な相関関係を認めた（ $P_{FDR} < 0.05$ ）。無表情については、感情表情と比較して相関が弱い点（Mean と SD の間で $\rho = -0.45$: 図 18、Mode と LogP の間で $\rho = 0.49$: 図 19）や相関傾向の正負が逆である点で特徴的であり、無表情が感情表情と異なる性質を有することを裏付ける結果と考えられた。また、感情表情においては、Mean と SD で直線的な（図 18）、Mode と LogP で曲線的な（図 19）相関関係が散布図から読み取れた。したがって、どの種類の

表情に関しても「明瞭性」を示す指標（Mean と Mode）と「変動性」を示す指標（SD と LogP）の間に何らかの束縛関係が存在する可能性は否定できないが、このような関係が EI 値の一般的な性質によるものか、表情観察場面に用いた「漫画」課題により影響されたものであるかについては、本研究の結果のみからでは判断が難しく、モデルの仮定や定式化も困難と思われた。

以上より、統計量としては Mean と SD、Mode と LogP は本来独立した指標であるはずだが、本研究で得られたデータに関してはこのような相関関係が実際には確認された。それらを認識しつつ、「明瞭性」を示す指標と「変動性」を示す指標の両方を対等に一組で扱いながら、以降のデータ解析を行うこととした。

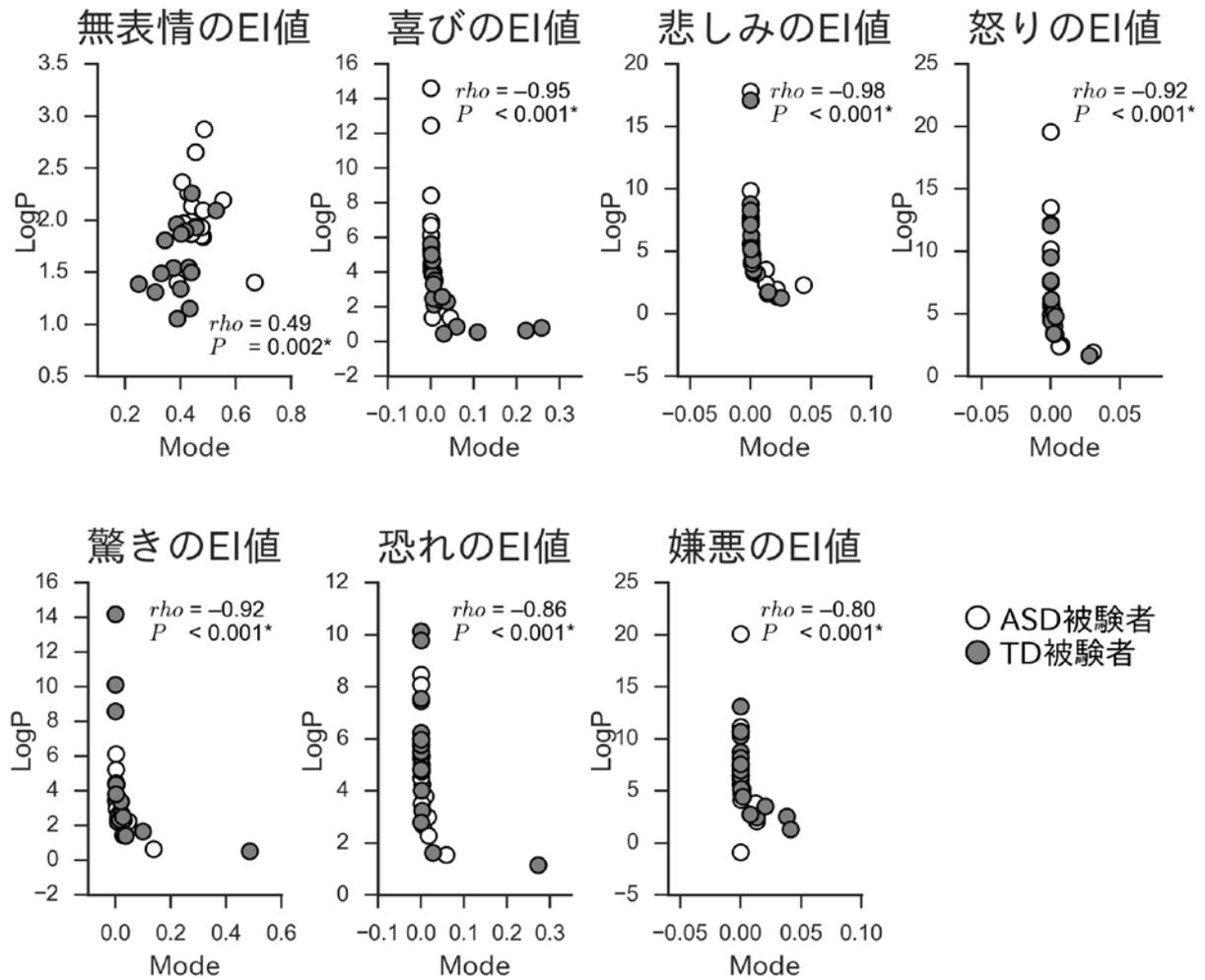
図 18 各感情表情の EI 値の Mean と SD の間の散布図



「漫画」課題中の被験者の各表情の EI 値の時系列データから得られた、一般的な要約統計量である Mean と SD の間での相関散布図を示す (N=35)。○は ASD 被験者を表し (N=18)、●は TD 被験者を表す (N=17)。 ρ はスピアマンの順位相関係数を示し、*は FDR 補正 P 値が 0.05 水準で有意であることを示している。いずれの種類表情においても、Mean と SD の間に有意な相関関係を認めた。加えて、無表情に関しては相関が弱い傾向にあること、無表情と感情表情とでは相関の正負が逆であること、感情表情に関する散布図から Mean と SD の間に直線的な相関関係が存在する可能性があること、などが読み取れた。

略語 : ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity; FDR, false discovery rate.

図 19 各感情表情の EI 値の Mode と LogP の間の散布図



「漫画」課題中の被験者の各表情の EI 値の時系列データから得られた、確率分布関数から得られる指標である Mode と LogP の間での相関散布図を示す (N = 35)。○は ASD 被験者を表し (N = 18)、●は TD 被験者を表す (N = 17)。rho はスピアマンの順位相関係数を示し、*は FDR 補正 P 値が 0.05 水準で有意であることを示している。いずれの種類表情においても、Mode と LogP の間に有意な相関関係を認められた。加えて、無表情に関しては相関が弱い傾向にあること、無表情と感情表情とでは相関の正負が逆であること、感情表情に関する散布図から Mode と LogP の間に曲線的な相関関係が存在する可能性があること、などが読み取れた。

略語: ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity; LogP, EI 値の分布を示す確率密度関数の最大値の自然対数値; FDR, false discovery rate.

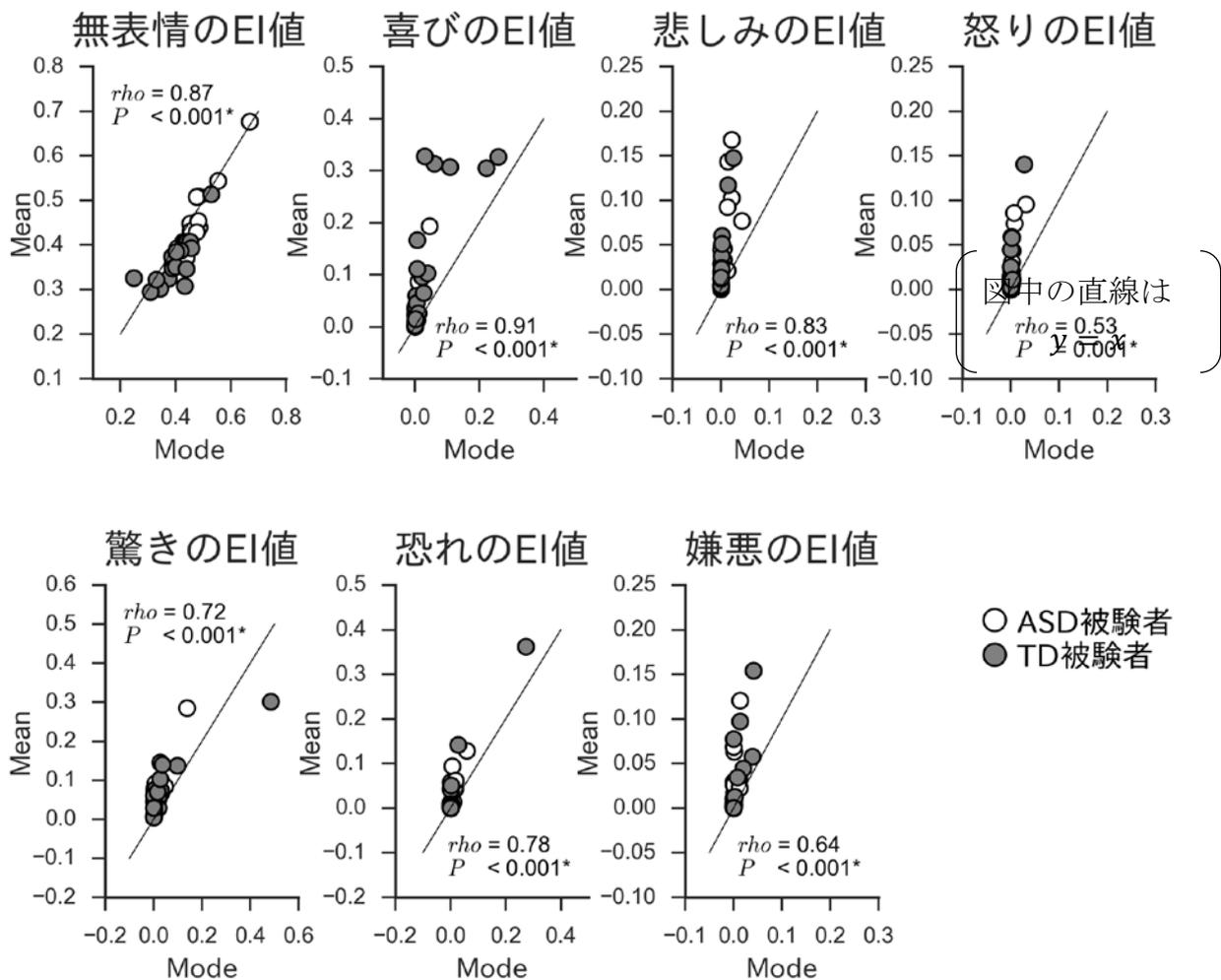
3.3.7. Mode と Mean、LogP と SD における相関関係

「漫画」課題中の被験者の各表情の EI 値の時系列データから得られた各代表値 (N=35) について、類似した特徴を表す代表値同士である Mode と Mean、LogP と SD における相関関係を評価した。Mode と Mean、LogP と SD における相関関係いずれの感情表情の EI 値においても、Mode と Mean の間に正の相関が (図 20)、LogP と SD の間に負の相関が (図 21) 有意に見られた ($P_{FDR} < 0.05$)。LogP と SD の相関関係が負であることは、LogP が高いほど「EI 値の変動性が小さい」のに対し、SD が高いほど「EI 値の変動性が大きい」という両指標の方向の違いを反映していると解釈した。

ここで、あるデータ群が正規分布に従う場合には、 $\text{Mean} = \text{Mode}$ かつ $\text{SD} = 1/\sqrt{2\pi} \times e^{\text{LogP}}$ (いずれも正規分布の確率密度関数から計算することで得られる関係式) に従うため、図 20 に示す直線 $y = x$ や図 21 に示す曲線 $y = 1/\sqrt{2\pi} \times e^x$ に近い散布点ほど EI 値の確率密度分布が正規分布に近いと考えられるが、感情表情に比べて無表情での散布点がそれらの直線や曲線に沿って集中しており、多くの被験者の無表情の EI 値のデータ分布は正規分布に比較的近いと推測された。一方で、(たとえ正規分布でなくとも) 類似したピークと裾野を有する EI 値の分布が被験者間で見られるのであれば、Mode と Mean は直線的な相関を、LogP と SD は指数関数的な相関を呈することが統計量の定義上予測されるが、図 20・図 21 からは感情表情の EI 値についてはそのような傾向が明瞭でなく、被験者間で EI 値の分布の形態にばらつきがあると推測された。

以上より、本研究で得られたデータの状況下では Mode と Mean、LogP と SD は明瞭な相関関係を示してはいるが、統計量として必ずしも完全に代替可能なものではないと考えた。したがって、主要な代表値として Mode と LogP を採用することとしつつも、Mean と SD の組を用いた場合についても探索的な意味も含めて副次的に解析を行うこととした (図 22)。

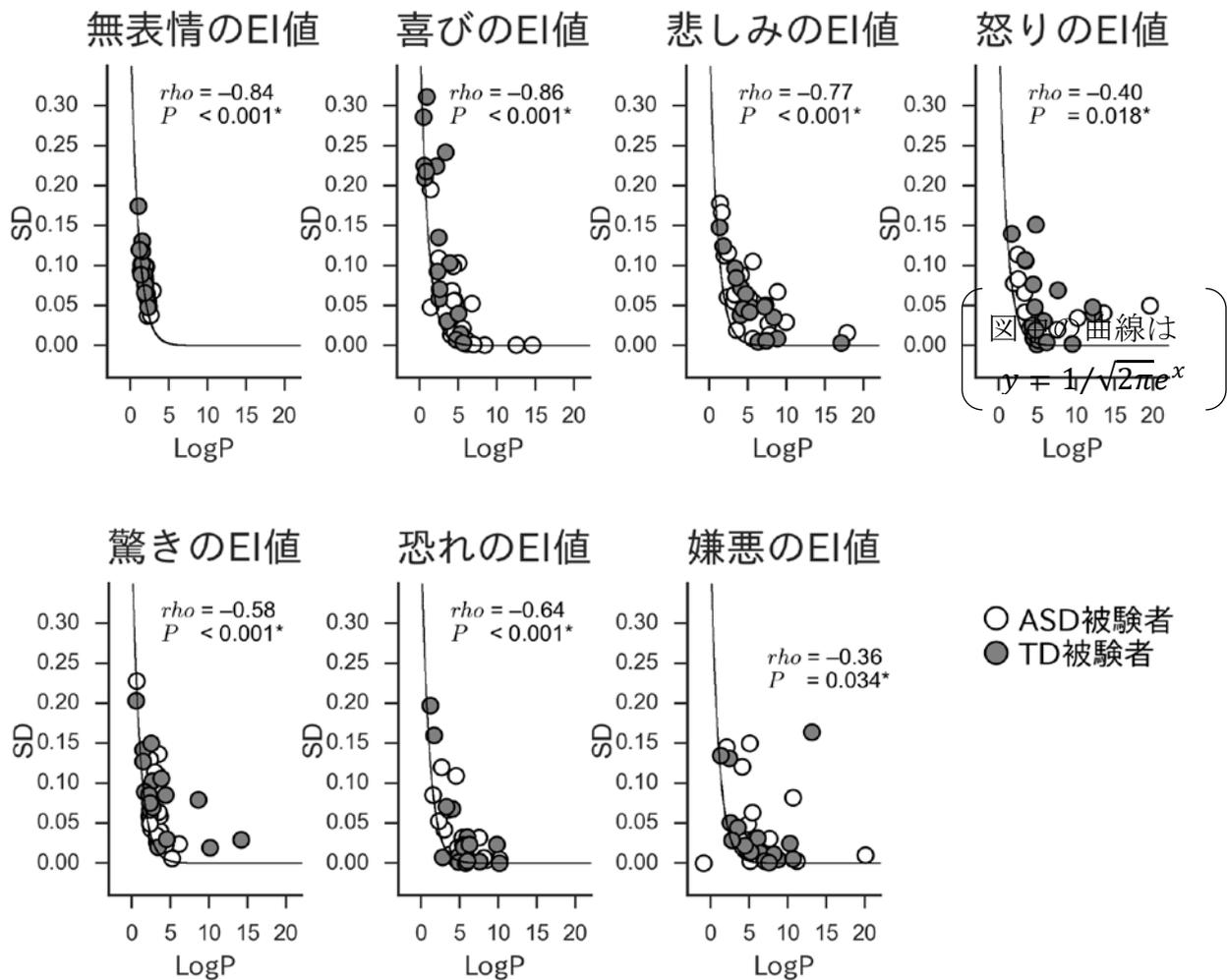
図 20 各感情表情の EI 値の Mode と Mean の間の散布図



「漫画」課題中の被験者の各表情の EI 値の時系列データから得られた、「明瞭性」を表す指標である Mode と Mean の間での相関散布図を示す (N=35)。○は ASD 被験者を表し (N=18)、●は TD 被験者を表す (N=17)。rho はスピアマンの順位相

関係数を示し、*は FDR 補正 P 値が 0.05 水準で有意であることを示している。被験者の時系列データにおける EI 値の分布が正規分布であれば、図に示す直線 $y = x$ 上に (Mode, Mean) の散布点が並ぶはずである。いずれの種類表情においても、Mode と Mean の間で有意な正の相関が見られた。また、無表情でのみ散布点が直線 $y = x$ 上に沿って分布していることから、正規分布に近い分布である可能性が読み取れた。
略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity; FDR, false discovery rate.

図 21 各感情表情の EI 値の LogP と SD の間の散布図

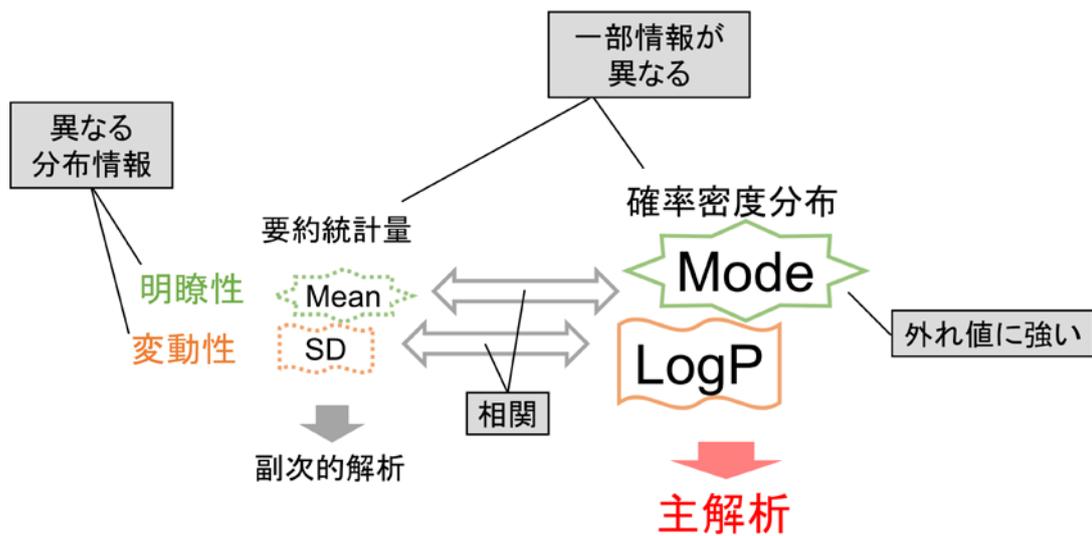


「漫画」課題中の被験者の各表情の EI 値の時系列データから得られた、「変動性」を表す指標である LogP と SD の間での相関散布図を示す (N=35)。○は ASD 被験者を表し (N=18)、●は TD 被験者を表す (N=17)。rho はスピアマンの順位相関係数を示し、*は FDR 補正 P 値が 0.05 水準で有意であることを示している。被験者の時系列データにおける EI 値の分布が正規分布であれば、図に示す曲線 $y = 1/\sqrt{2\pi} \times e^{-x}$ 上に (LogP, SD) の散布点が並ぶはずである。いずれの種類表情におい

ても、LogP と SD の間で有意な負の相関が見られた。また、無表情でのみ散布点が曲線 $y = 1/\sqrt{2\pi} \times e^x$ 上に沿って分布していることから、正規分布に近い分布である可能性が読み取れた。

略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity; LogP, EI 値の分布を示す確率密度関数の最大値の自然対数値; FDR, false discovery rate.

図 22 表情指標の決定



3.4. 表情指標の ASD/TD 群間比較

これらの検討を踏まえ、「漫画」課題中の被験者の EI 値の時系列データから得られる Mode と LogP を EI 変数として、7 種類の表情（無表情、喜び、悲しみ、怒り、嫌悪、驚き、恐れ）それぞれについて、ASD 群・TD 群の群間差を両側 T 検定で評価した。また、副次的解析として、Mean と SD を EI 変数とした場合についても同様に評価を行った。

3.4.1. 本解析の結果（表情強度値の代表値として Mode と LogP を使用）

TD 群と比較して、ASD 群では無表情の Mode ($t_{33}= 3.03$ 、 $d = 1.02$ 、 $P = 0.005$ 、 $P_{FDR} < 0.05$)、無表情の LogP ($t_{33}= 3.21$ 、 $d = 1.08$ 、 $P = 0.003$ 、 $P_{FDR} < 0.05$)、喜びの LogP ($t_{33}= 3.30$ 、 $d = 1.10$ 、 $P = 0.003$ 、 $P_{FDR} < 0.05$) の平均が有意に高かった (表 7、図 23)。また、喜びの Mode の平均も FDR 補正に耐える有意差はないものの低い傾向が見られた ($t_{33}= -2.26$ 、 $d = -0.78$ 、 $P = 0.038$ 、 $P_{FDR} > 0.05$) (表 7、図 23)。

ASD 群において無表情の Mode と無表情の LogP が高いことは、ASD 被験者の表情では無表情が明瞭なまま固定していたことを示すと考えられた。同様に、ASD 群において喜びの Mode が低い傾向を示しつつも喜びの LogP が高いことは、ASD 被験者の表情では喜びが不明瞭な傾向のまま変動に乏しかったと考えられた。なお、無表情でも喜びでも、Mode と LogP の平均値の群間差における正負の関係は、被検者全体で見られた Mode と LogP の相関の方向とも一致していた (図 19)。

また、CESD と STAI-state、表情解析用課題の所要時間を共変量とした ANCOVA の結果を表 8 に示す。いずれを共変量とした場合についても、無表情の Mode (CESD を共変量とした場合以外)、無表情の LogP、喜びの LogP については $P < 0.05$ 水準での群間差は保たれていた。また、これらの表情指標の群間差に関する効果量 η^2 については、どの共変量で制御しても中程度 ($\eta^2 > 0.06$) 以上の効果量^[187]が保たれていることが確認された。

表 7 各 EI 変数 (Mode/LogP) における ASD/TD 群間比較

| ASD 群 | TD 群 |
|-------|------|
|-------|------|

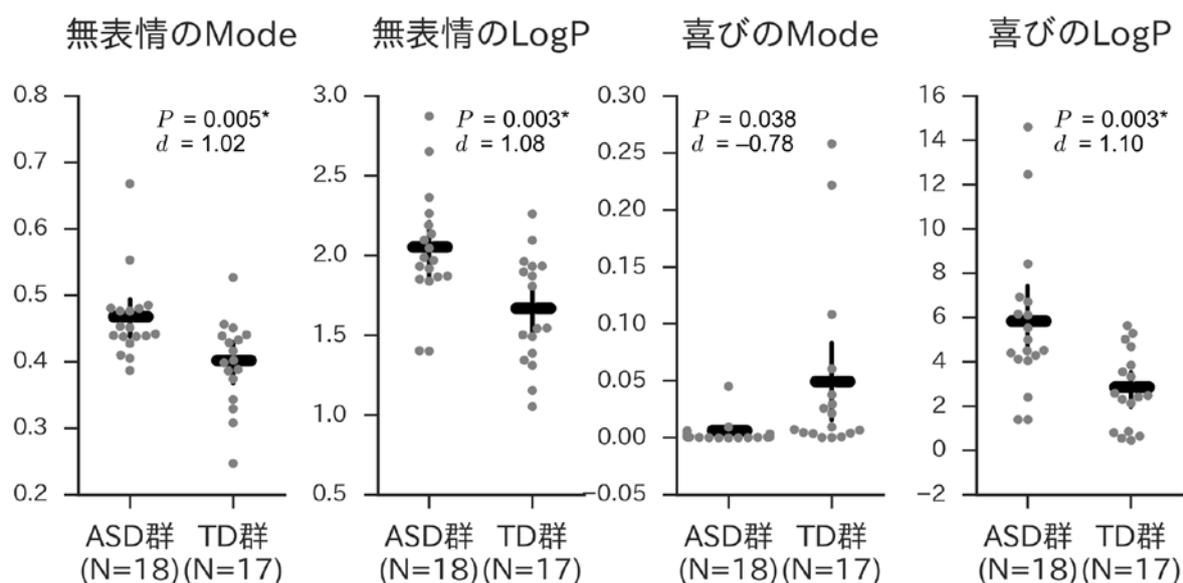
| EI 変数 | (N = 18) | | (N = 17) | | T 値 (df = 33) | P 値 | d 値 |
|-------|----------|--------|----------|--------|------------------|--------------------|-------|
| | Mean | SD | Mean | SD | | | |
| 無表情 | | | | | | | |
| Mode | 0.46 | 0.06 | 0.40 | 0.06 | 3.03 | 0.005 ¹ | 1.02 |
| LogP | 2.0 | 0.4 | 1.7 | 0.3 | 3.21 | 0.003 ¹ | 1.08 |
| 喜び | | | | | | | |
| Mode | 0.004 | 0.010 | 0.047 | 0.076 | -2.26 | 0.038 ² | -0.78 |
| LogP | 5.7 | 3.9 | 2.7 | 1.7 | 3.30 | 0.003 ¹ | 1.10 |
| 悲しみ | | | | | | | |
| Mode | 0.008 | 0.012 | 0.003 | 0.007 | 1.46 | 0.15 | 0.49 |
| LogP | 5.4 | 3.9 | 5.9 | 3.5 | -0.34 | 0.73 | -0.12 |
| 怒り | | | | | | | |
| Mode | 0.0033 | 0.0070 | 0.0026 | 0.0064 | 0.31 | 0.76 | 0.11 |
| LogP | 6.1 | 4.3 | 5.9 | 2.8 | 0.10 | 0.92 | 0.03 |
| 驚き | | | | | | | |
| Mode | 0.017 | 0.031 | 0.05 | 0.11 | -0.97 | 0.35 | -0.34 |
| LogP | 3.2 | 1.2 | 4.0 | 3.5 | -0.90 | 0.38 | -0.31 |
| 恐れ | | | | | | | |
| Mode | 0.006 | 0.014 | 0.018 | 0.064 | -0.72 | 0.48 | -0.25 |
| LogP | 5.1 | 2.2 | 5.3 | 2.4 | -0.18 | 0.86 | -0.06 |
| 嫌悪 | | | | | | | |
| Mode | 0.0023 | 0.0045 | 0.007 | 0.013 | -1.45 | 0.16 | -0.50 |
| LogP | 6.3 | 4.3 | 6.2 | 3.2 | 0.087 | 0.93 | 0.03 |

¹ $P < 0.05$ 水準かつ FDR 補正後 $P < 0.05$ 水準を満たす。

² $P < 0.05$ 水準を満たすが、FDR 補正 $P < 0.05$ 水準を満たさない。

略語 : ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity; LogP, EI 値の分布を示す確率密度関数の最大値の自然対数値; SD, standard deviation; df, degrees of freedom; FDR, false discovery rate.

図 23 ASD/TD 各群における EI 値の Mode/LogP の散布図（無表情/喜びのみ）



「漫画」課題中の被験者の無表情と喜びの EI 値の時系列データから得られた Mode と LogP について、ASD 群 (N = 18) と TD 群 (N = 17) それぞれでの分布を示した。各図の横軸は各群を、縦軸は各 EI 変数の値を表す。各点は被験者を、水平棒は各群の平均値を、上下のヒゲは 95%信頼区間をそれぞれ表している。*は FDR 補正 P 値が 0.05 水準で有意であることを示している。ASD 群は TD 群と比較して無表情の Mode、無表情の LogP、喜びの LogP の平均が有意に高く、効果量も大きい ($d > 1$)。ASD 群では TD 群よりも喜びの Mode の平均が低い傾向を認めたが、FDR 補正後には有意水準を満たさなかった ($P < 0.05$ 、 $P_{FDR} > 0.05$)。

略語: ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity; LogP, EI 値の分布を示す確率密度関数の最大値の自然対数値; FDR, false discovery rate.

表 8 各 EI 変数 (Mode/LogP) における CESD、STAI-state、課題所要時間を制御した ASD/TD 群における共分散分析 (ANCOVA) の結果

| EI 変数 | SS | | df | | F 値 | P 値 | η^2 |
|------------------|-------|--------|----|----|------|--------------------|-------------------|
| | 群間 | 群内 | 群間 | 群内 | | | |
| <u>共変量: CESD</u> | | | | | | | |
| 無表情 | | | | | | | |
| Mode | 0.013 | 0.114 | 1 | 32 | 3.67 | 0.064 | 0.10 ³ |
| LogP | 0.56 | 3.69 | 1 | 32 | 4.83 | 0.035 ² | 0.13 ³ |
| 喜び | | | | | | | |
| Mode | 0.008 | 0.096 | 1 | 32 | 2.81 | 0.10 | 0.08 ³ |
| LogP | 38.72 | 225.97 | 1 | 32 | 5.48 | 0.026 ² | 0.15 ³ |
| 悲しみ | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|-------------------------|-------|--------|---|----|-------|--------------------|--------------------|
| Mode | 0.000 | 0.003 | 1 | 32 | 1.56 | 0.22 | 0.047 |
| LogP | 0.72 | 478.33 | 1 | 32 | 0.048 | 0.83 | 0.002 |
| 怒り | | | | | | | |
| Mode | 0.000 | 0.002 | 1 | 32 | 0.080 | 0.78 | 0.003 |
| LogP ¹ | | | | | | | |
| 驚き | | | | | | | |
| Mode | 0.003 | 0.230 | 1 | 32 | 0.41 | 0.53 | 0.013 |
| LogP | 8.07 | 231.30 | 1 | 32 | 1.12 | 0.30 | 0.034 |
| 恐れ | | | | | | | |
| Mode | 0.001 | 0.073 | 1 | 32 | 0.27 | 0.61 | 0.008 |
| LogP | 0.78 | 182.09 | 1 | 32 | 0.14 | 0.71 | 0.004 |
| 嫌悪 | | | | | | | |
| Mode | 0.000 | 0.003 | 1 | 32 | 2.08 | 0.16 | 0.061 ³ |
| LogP | 0.68 | 501.61 | 1 | 32 | 0.043 | 0.84 | 0.001 |
| <hr/> | | | | | | | |
| <i>共変量 : STAI-state</i> | | | | | | | |
| 無表情 | | | | | | | |
| Mode | 0.023 | 0.127 | 1 | 32 | 5.81 | 0.022 ² | 0.15 ³ |
| LogP | 0.85 | 3.95 | 1 | 32 | 6.89 | 0.013 ² | 0.18 ³ |
| 喜び | | | | | | | |
| Mode | 0.014 | 0.099 | 1 | 32 | 4.54 | 0.041 ² | 0.12 ³ |
| LogP | 58.34 | 239.73 | 1 | 32 | 7.79 | 0.009 ² | 0.20 ³ |
| 悲しみ | | | | | | | |
| Mode | 0.000 | 0.003 | 1 | 32 | 2.91 | 0.098 | 0.083 ³ |
| LogP | 5.42 | 467.94 | 1 | 32 | 0.37 | 0.55 | 0.011 |
| 怒り | | | | | | | |
| Mode | 0.000 | 0.002 | 1 | 32 | 0.11 | 0.74 | 0.003 |
| LogP ¹ | | | | | | | |
| 驚き | | | | | | | |
| Mode | 0.007 | 0.232 | 1 | 32 | 0.90 | 0.35 | 0.027 |
| LogP | 6.71 | 232.77 | 1 | 32 | 0.92 | 0.34 | 0.028 |
| 恐れ | | | | | | | |
| Mode | 0.001 | 0.072 | 1 | 32 | 0.23 | 0.64 | 0.007 |
| LogP | 0.95 | 180.52 | 1 | 32 | 0.17 | 0.69 | 0.005 |
| 嫌悪 | | | | | | | |
| Mode | 0.000 | 0.003 | 1 | 32 | 2.62 | 0.12 | 0.076 ³ |
| LogP ¹ | | | | | | | |

共変量 : 表情解析用課題の所要時間

無表情

| | | | | | | | |
|-------------------|-------|--------|---|----|-------|--------------------|-------------------|
| Mode | 0.035 | 0.136 | 1 | 32 | 8.38 | 0.007 ² | 0.21 ³ |
| LogP | 0.80 | 3.92 | 1 | 32 | 6.52 | 0.016 ² | 0.17 ³ |
| 喜び | | | | | | | |
| Mode | 0.015 | 0.099 | 1 | 32 | 4.84 | 0.035 ² | 0.13 ³ |
| LogP | 85.52 | 235.96 | 1 | 32 | 11.60 | 0.002 ² | 0.27 ³ |
| 悲しみ | | | | | | | |
| Mode | 0.000 | 0.003 | 1 | 32 | 1.85 | 0.18 | 0.055 |
| LogP | 1.06 | 437.78 | 1 | 32 | 0.077 | 0.78 | 0.002 |
| 怒り | | | | | | | |
| Mode | 0.000 | 0.002 | 1 | 32 | 0.16 | 0.69 | 0.005 |
| LogP ¹ | | | | | | | |
| 驚き | | | | | | | |
| Mode | 0.004 | 0.231 | 1 | 32 | 0.61 | 0.44 | 0.019 |
| LogP ¹ | | | | | | | |
| 恐れ | | | | | | | |
| Mode | 0.000 | 0.070 | 1 | 32 | 0.10 | 0.75 | 0.003 |
| LogP | 5.01 | 156.04 | 1 | 32 | 1.03 | 0.32 | 0.031 |
| 嫌悪 | | | | | | | |
| Mode | 0.000 | 0.003 | 1 | 32 | 1.05 | 0.31 | 0.032 |
| LogP | 0.036 | 506.80 | 1 | 32 | 0.002 | 0.96 | 0.000 |

¹ 各群における回帰直線の平行性の検定による有意性が $P < 0.05$ 水準を満たすため解析せず。

² $P < 0.05$ 水準を満たす。

³ 中程度以上の効果量 ($\eta^2 > 0.06$) を満たす。

略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity; LogP, EI 値の分布を示す確率密度関数の最大値の自然対数値; SS, sum of squares; *df*, degrees of freedom

3.4.2. 副次的解析の結果（表情強度値の代表値として Mean と SD を使用）

TD 群と比較して ASD 群では無表情の Mean の平均が有意に高く、喜びの Mean と喜びの SD の平均は有意に低かった ($P_{FDR} < 0.05, |d| > 1$) (表 9、図 24)。なお、喜びの Mean と SD の平均値の群間差における正負の関係は、被検者全体で見られた Mean と SD の相関の方向とも一致していた (図 18)。これらの結果もやは

り、TD 被験者と比較して、ASD 被験者の表情では無表情がより明瞭に表れ、喜びがより不明瞭なまま変動に乏しかったことを示すと考えられた。

また、CESD と STAI-state、表情解析用課題の所要時間を共変量とした ANCOVA の結果を表 10 に示す。いずれを共変量とした場合についても、無表情の Mean、喜びの Mean、喜びの SD については $P < 0.05$ 水準での群間差は保たれていた。また、これらの表情指標の群間差に関する効果量 η^2 については、どの共変量で制御しても中程度以上 ($\eta^2 > 0.06$) の効果量^[187]が保たれていることが確認された。

表 9 各 EI 変数 (Mean/SD) における ASD/TD 群間比較

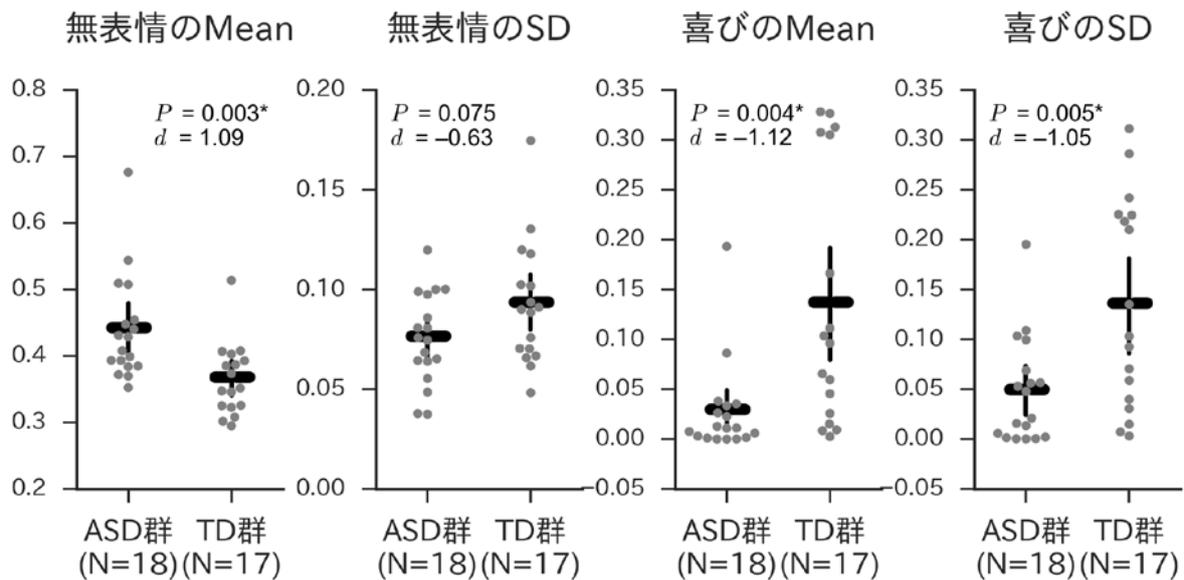
| EI 変数 | ASD 群 (N = 18) | | TD 群 (N = 17) | | T 値 (df = 33) | P 値 | d 値 |
|-------|-------------------|-------|------------------|-------|------------------|--------------------|-------|
| | Mean | SD | Mean | SD | | | |
| 無表情 | | | | | | | |
| Mean | 0.44 | 0.08 | 0.36 | 0.052 | 3.25 | 0.003 [†] | 1.09 |
| SD | 0.075 | 0.022 | 0.092 | 0.030 | -1.84 | 0.075 | -0.63 |
| 喜び | | | | | | | |
| Mean | 0.027 | 0.045 | 0.13 | 0.12 | -3.26 | 0.004 [†] | -1.13 |
| SD | 0.047 | 0.051 | 0.13 | 0.10 | -3.06 | 0.005 [†] | -1.05 |
| 悲しみ | | | | | | | |
| Mean | 0.049 | 0.047 | 0.033 | 0.040 | 1.10 | 0.28 | 0.37 |
| SD | 0.069 | 0.049 | 0.054 | 0.040 | 0.96 | 0.35 | 0.32 |
| 怒り | | | | | | | |
| Mean | 0.029 | 0.029 | 0.026 | 0.034 | 0.30 | 0.77 | 0.10 |
| SD | 0.044 | 0.032 | 0.047 | 0.046 | -0.23 | 0.82 | -0.08 |
| 驚き | | | | | | | |
| Mean | 0.064 | 0.060 | 0.081 | 0.070 | -0.77 | 0.45 | -0.26 |
| SD | 0.072 | 0.053 | 0.087 | 0.048 | -0.84 | 0.40 | -0.28 |
| 恐れ | | | | | | | |
| Mean | 0.027 | 0.036 | 0.039 | 0.088 | -0.43 | 0.67 | -0.15 |

| | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| SD | 0.036 | 0.036 | 0.038 | 0.056 | -0.15 | 0.88 | -0.05 |
| 嫌悪 | | | | | | | |
| Mean | 0.023 | 0.031 | 0.031 | 0.042 | -0.62 | 0.54 | -0.21 |
| SD | 0.043 | 0.048 | 0.041 | 0.050 | 0.11 | 0.92 | 0.04 |

¹ $P < 0.05$ 水準かつ FDR 補正後 $P < 0.05$ 水準を満たす。

略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity; SD, standard deviation; *df*, degrees of freedom; FDR, false discovery rate.

図 24 ASD/TD 各群における EI 値の Mean/SD の散布図（無表情/喜びのみ）



「漫画」課題中の被験者の無表情と喜びの EI 値の時系列データから得られた Mean と SD について、ASD 群 (N = 18) と TD 群 (N = 17) それぞれでの分布を示した。各図の横軸は各群を、縦軸は各 EI 変数の値を表す。各点は被験者を、水平棒は各群の平均値を、上下のヒゲは 95%信頼区間をそれぞれ表している。*は FDR 補正 P 値が 0.05 水準で有意であることを示している。ASD 群は TD 群と比較して無表情の Mean の平均が有意に高く、喜びの Mean と喜びの SD の平均は有意に低く、いずれの効果量も大きかった ($|d| > 1$)。無表情の SD は ASD/ TD 群間で有意差が見られなかった。略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity; SD, standard deviation; FDR, false discovery rate.

表 10 各 EI 変数 (Mean/SD) における CESD、STAI-state、課題所要時間を制御した ASD/TD における共分散分析 (ANCOVA) の結果

| EI 変数 | SS | | df | | F 値 | P 値 | η^2 |
|-------|----|----|----|----|-----|-----|----------|
| | 群間 | 群内 | 群間 | 群内 | | | |

共変量 : CESD

無表情

Mean 0.023 0.141 1 32 5.27 0.028¹ 0.14²

SD 0.001 0.024 1 32 1.96 0.17 0.058

喜び

Mean 0.052 0.278 1 32 5.95 0.020¹ 0.16²

SD 0.044 0.219 1 32 6.37 0.017¹ 0.17²

悲しみ

Mean 0.002 0.068 1 32 0.96 0.34 0.029

SD 0.001 0.070 1 32 0.54 0.47 0.017

怒り

Mean 0.000 0.034 1 32 0.14 0.71 0.004

SD 0.000 0.054 1 32 0.002 0.97 0.000

驚き

Mean 0.001 0.146 1 32 0.18 0.68 0.006

SD 0.001 0.090 1 32 0.37 0.55 0.011

恐れ

Mean 0.000 0.154 1 32 0.071 0.79 0.002

SD 0.000 0.076 1 32 0.002 0.97 0.000

嫌悪

Mean 0.001 0.047 1 32 0.40 0.53 0.012

SD 0.000 0.083 1 32 0.021 0.89 0.001

共変量 : STAI-state

無表情

Mean 0.035 0.150 1 32 7.51 0.010¹ 0.19²

SD 0.002 0.024 1 32 2.71 0.11 0.078²

喜び

Mean 0.085 0.299 1 32 9.06 0.005¹ 0.22²

SD 0.057 0.222 1 32 8.27 0.007¹ 0.21²

悲しみ

Mean 0.005 0.062 1 32 2.63 0.11 0.076²

SD 0.004 0.067 1 32 1.77 0.19 0.052

怒り

Mean 0.000 0.034 1 32 0.21 0.65 0.006

SD 0.000 0.054 1 32 0.000 1.00 0.000

驚き

Mean 0.002 0.147 1 32 0.41 0.53 0.013

SD 0.002 0.090 1 32 0.54 0.47 0.016

| | | | | | | | |
|-------------------------|-------|-------|---|----|-------|--------------------|--------------------|
| 恐れ | | | | | | | |
| Mean | 0.000 | 0.152 | 1 | 32 | 0.047 | 0.83 | 0.001 |
| SD | 0.000 | 0.075 | 1 | 32 | 0.003 | 0.96 | 0.000 |
| 嫌悪 | | | | | | | |
| Mean | 0.001 | 0.045 | 1 | 32 | 1.05 | 0.31 | 0.032 |
| SD | 0.000 | 0.077 | 1 | 32 | 0.18 | 0.68 | 0.005 |
| <hr/> | | | | | | | |
| <u>共変量：表情解析用課題の所要時間</u> | | | | | | | |
| 無表情 | | | | | | | |
| Mean | 0.052 | 0.149 | 1 | 32 | 11.21 | 0.002 ¹ | 0.26 ² |
| SD | 0.003 | 0.024 | 1 | 32 | 3.37 | 0.076 | 0.095 ² |
| 喜び | | | | | | | |
| Mean | 0.097 | 0.298 | 1 | 32 | 10.44 | 0.003 ¹ | 0.25 ² |
| SD | 0.065 | 0.220 | 1 | 32 | 9.51 | 0.004 ¹ | 0.23 ² |
| 悲しみ | | | | | | | |
| Mean | 0.001 | 0.066 | 1 | 32 | 0.48 | 0.49 | 0.015 |
| SD | 0.000 | 0.064 | 1 | 32 | 0.090 | 0.77 | 0.003 |
| 怒り | | | | | | | |
| Mean | 0.000 | 0.034 | 1 | 32 | 0.30 | 0.59 | 0.009 |
| SD | 0.000 | 0.054 | 1 | 32 | 0.000 | 0.99 | 0.000 |
| 驚き | | | | | | | |
| Mean | 0.002 | 0.147 | 1 | 32 | 0.36 | 0.55 | 0.011 |
| SD | 0.002 | 0.090 | 1 | 32 | 0.85 | 0.36 | 0.026 |
| 恐れ | | | | | | | |
| Mean | 0.000 | 0.148 | 1 | 32 | 0.000 | 1.00 | 0.000 |
| SD | 0.000 | 0.074 | 1 | 32 | 0.030 | 0.86 | 0.001 |
| 嫌悪 | | | | | | | |
| Mean | 0.001 | 0.047 | 1 | 32 | 0.36 | 0.55 | 0.011 |
| SD | 0.000 | 0.080 | 1 | 32 | 0.10 | 0.76 | 0.003 |

¹ $P < 0.05$ 水準を満たす。

² 中等量以上の効果量 ($\eta^2 > 0.06$) を満たす。

略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity; SD, standard deviation; SS, sum of squares; *df*, degrees of freedom

3.5. 表情指標と ADOS 相互的対人関係領域の相関解析

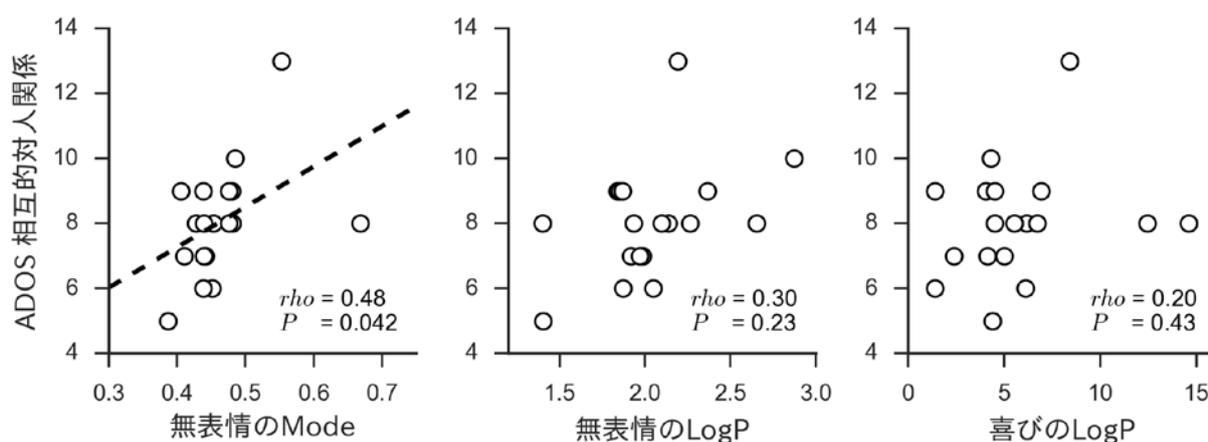
「漫画」課題中の被験者の EI 値の時系列データから得られる EI 変数 (Mode と

LogP) の中で、上記の検討で有意な ASD/TD 群間差を示した無表情の Mode、無表情の LogP、喜びの LogP のそれぞれについて、ADOS の相互的対人関係領域点数との相関を検証した。また、副次的解析として、Mean と SD を EI 変数とした場合に有意な ASD/TD 群間差を示した無表情の Mean、喜びの Mean、喜びの SD についても、ADOS の相互的対人関係領域点数との間の相関を同様に検証した。

3.5.1. 主要な解析の結果（表情強度値の代表値として Mode/LogP を使用）

無表情の Mode と ADOS の相互的対人関係領域点数の間で、FDR 補正後には有意性が保たれないものの、 $P < 0.05$ 水準での相関傾向を認めた ($\rho = 0.48$, $P = 0.042$, $P_{FDR} > 0.05$)。これは、無表情が明瞭であるほど社会的相互性の障害が強いという傾向があることを示している。一方で、無表情の LogP ($P = 0.23$) と喜びの LogP ($P = 0.39$) はいずれも有意な相関を示さなかった (図 25)。

図 25 ASD/TD 群間差を認めた EI 変数 (Mode/LogP) と ADOS 相互的対人関係領域点数との間の相関散布図



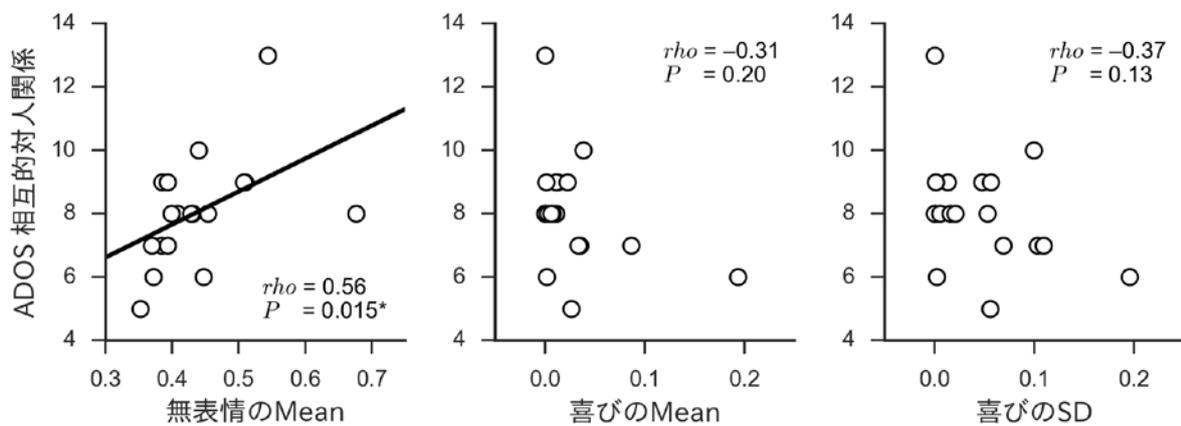
ASD 群 (N=18) において、「漫画」課題中の被験者の EI 値の時系列データから得られる EI 変数 (Mode と LogP) の中で有意な ASD/TD 群間差を示した無表情の Mode、無表情の LogP、喜びの LogP のそれぞれと、ADOS の相互的対人関係領域点数との間の相関散布図を示す。各図の横軸は EI 変数を、縦軸は ADOS 相互的対人関係領域点数 (点数が高いほど社会的相互性障害が強い) を表す。○は ASD 被験者を表す。図中の線は回帰直線を表す。 ρ はスピアマンの順位相関係数を表す。無表情の Mode のみが ADOS 相互的対人関係領域点数と $P < 0.05$ 水準での相関傾向を示したが、FDR 補正後には有意性が保たれなかった。無表情の LogP と喜びの LogP は有意な相関を示さなかった。

略語 : ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity; ADOS, Autism Diagnostic Observation Schedule; LogP, EI 値の分布を示す確率密度関数の最大値の自然対数値.

3.5.2. 副次的解析の結果 (表情強度値の代表値として Mean/SD を使用)

無表情の Mean と ADOS の相互的対人関係領域点数との間に有意に正の相関 ($\rho = 0.56$ 、 $P = 0.015$ 、 $P_{FDR} < 0.05$) が見られ、無表情が明瞭であるほど社会的相互性の障害が強いという関係が示された。一方で、喜びの Mean ($P = 0.20$) と喜びの SD ($P = 0.13$) は ADOS の相互的対人関係領域点数と有意な相関を示さなかった (図 26)。

図 26 ASD/TD 群間差を認めた EI 変数 (Mean/SD) と ADOS 相互的対人関係領域点数との間の相関散布図



ASD 群 (N=18) において、「漫画」課題中の被験者の EI 値の時系列データから得られる EI 変数 (Mean と SD) の中で有意な ASD/TD 群間差を示した無表情の Mean、喜びの Mean、喜びの SD のそれぞれと、ADOS の相互的対人関係領域点数との間の相関散布図を示す。各図の横軸は EI 変数を、縦軸は ADOS 相互的対人関係領域点数 (点数が高いほど社会的相互性障害が強い) を表す。○は ASD 被験者を表す。図中の線は回帰直線を表す。 ρ はスピアマンの順位相関係数を表し、*は FDR 補正 P 値が 0.05 水準で有意であることを示している。無表情の Mean のみが ADOS 相互的対人関係領域点数と有意な相関関係を示し、喜びの Mean と喜びの SD は有意な相関を示さなかった。

略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; EI, expression intensity; ADOS, Autism Diagnostic Observation Schedule; SD, standard deviation.

3.6. 表情指標と他の臨床指標・被験者背景情報との相関解析

「漫画」課題中の被験者の EI 値の時系列データから得られる EI 変数 (Mode と LogP) の中で有意な ASD/TD 群間差を示した無表情の Mode、無表情の LogP、喜びの LogP のそれぞれについて、ASD/TD 群それぞれ個別に、各臨床指標 (STAI-state、CESD、WHOQOL、GAF、AQ、ASD 群については加えて ADOS の意思伝達領域、ADI-R の相互的対人関係の質的異常/意思伝達の質的異常/限定的・反復

的・常同的行動様式も)との相関関係を評価した。ここで、ASD群でのADOSの常同行動と限局された興味領域についてはデータ分布が0もしくは1の二値であったため、相関解析の項目から除外した。また、副次的解析として、MeanとSDをEI変数とした場合に有意なASD/TD群間差を示した無表情のMean、喜びのMean、喜びのSDについても、各臨床指標との相関関係を同様の方法で評価した。

3.6.1. 主要な解析の結果 (表情強度値の代表値として Mode/LogP を使用)

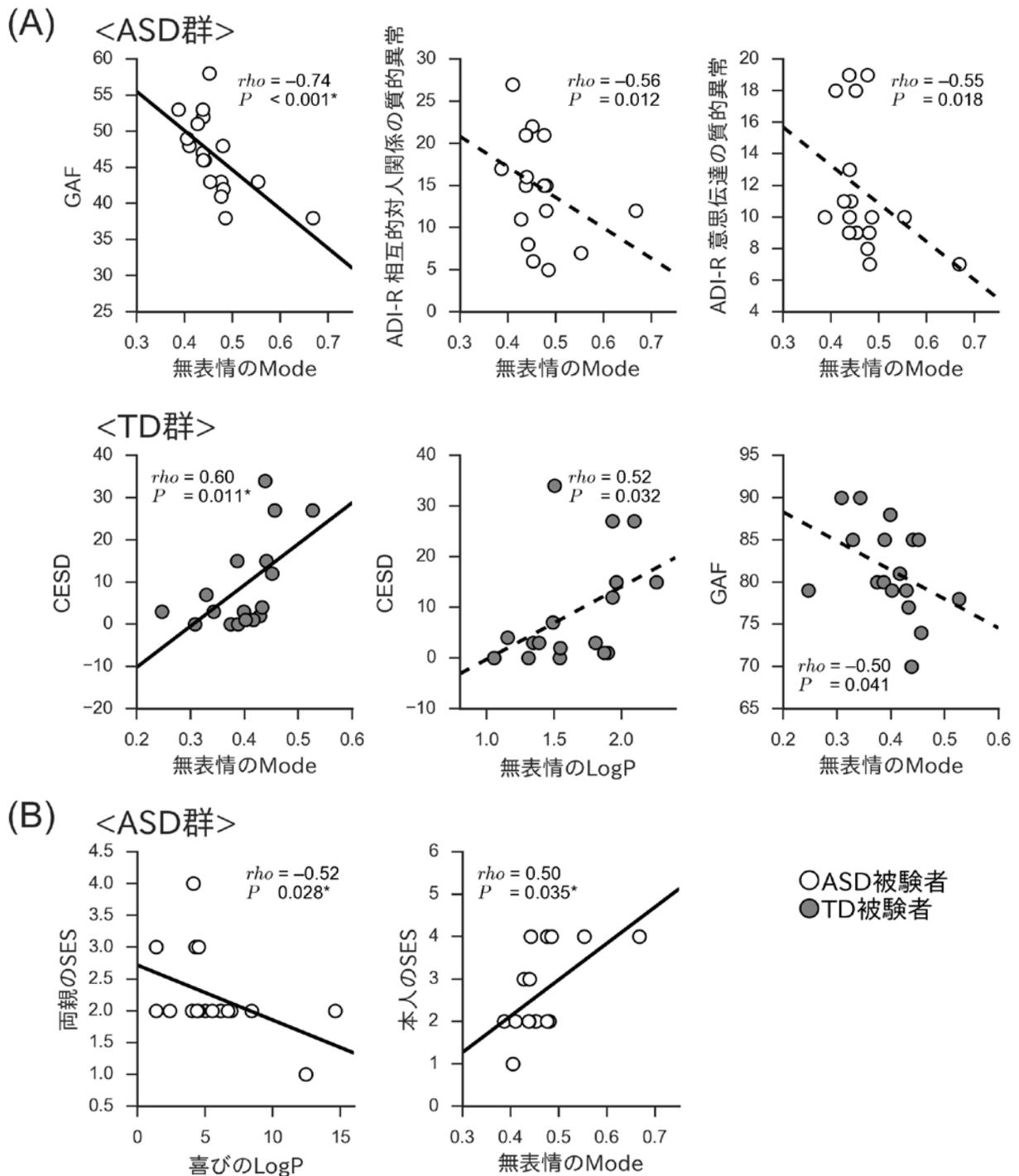
ASD群においては、無表情のModeとGAFの間に有意な負の相関を認め ($\rho = -0.74$ 、 $P < 0.001$ 、 $P_{FDR} < 0.05$)、無表情が明瞭なほど機能が低くなる傾向が見られた。また、無表情のModeとADI-Rの相互的対人関係の質的異常 ($\rho = -0.51$ 、 $P = 0.036$) や無表情のModeとADI-Rの意思伝達の質的異常 ($\rho = -0.49$ 、 $P = 0.045$)の間でも $P < 0.05$ 水準での相関傾向を認めたが、これらはFDR補正後に有意性は保たれなかった (図 27A)。TD群においては、無表情のModeとCESDの間に有意な正の相関を認め ($\rho = 0.60$ 、 $P = 0.011$ 、 $P_{FDR} < 0.05$)、無表情が明瞭なほど抑うつが強い傾向が見られた。また、無表情のLogPとCESD ($\rho = 0.52$ 、 $P = 0.032$)、無表情のModeとGAF ($\rho = -0.50$ 、 $P = 0.041$)の間には $P < 0.05$ 水準での相関傾向を認めたが、FDR補正後に有意性は保たれなかった (図 27A)。

また、EI変数 (無表情のMode、無表情のLogP、喜びのLogP) と被験者背景情報 (年齢、身長、体重、本人と両親のSES、全検査・言語性IQ) の間の相関関係

についても ASD/TD 群それぞれ個別に評価した結果、ASD 群において、喜びの LogP と両親の SES の間と ($\rho = -0.52$ 、 $P = 0.028$)、無表情の Mode と本人の SES の間に ($\rho = 0.50$ 、 $P = 0.034$)、有意な相関傾向を認めた (図 27B)。

ここで得られた表情指標と背景情報との間での有意な相関関係を踏まえて、① ASD 群での無表情の Mode と ADOS 相互的対人関係領域点数、② ASD 群での無表情の Mode と GAF、③ TD 群での無表情の Mode と CESD の間での相関関係の中で、背景情報が介在する擬似相関の可能性について評価した。①については、ADOS 相互的対人関係領域点数と本人の SES との間には有意な相関関係を認めず ($\rho = 0.39$ 、 $P = 0.11$)、擬似相関の可能性は低いと判断し、偏相関解析は行わなかった。②については、ASD 群で本人の SES と GAF の間に有意な相関関係 ($\rho = -0.52$ 、 $P = 0.025$) が確認できたため擬似相関の可能性があると判断し、本人の SES を制御変数として偏相関解析を行ったが、やはり有意性が保たれることが確認できた ($\rho_{\text{partial}} = -0.65$ 、 $P = 0.004$)。③については、TD 群においては介在する可能性がある背景情報が見出だせなかったため、偏相関解析は行わなかった。

図 27 ASD/TD 群間差を認めた EI 変数 (Mode/LogP) と臨床指標・被験者背景情報との間の相関散布図



「漫画」課題中の被験者のEI値の時系列データから得られるEI変数(ModeとLogP)の中で有意なASD/TD群間差を示した3つのEI変数(無表情のMode、無表情のLogP、喜びのLogP)それぞれと、(A) (ADOS 相互的対人関係領域点数/情動行動と限局された興味領域点数以外の)臨床指標との間の相関散布図、(B)被験者背景情報との間の相関散布図を示す。相関解析はASD群(N=18)とTD群(N=17)それぞれ個別に行い、 $P < 0.05$ 水準を満たした項目のみを抜粋して示した。各図の横軸はEI変数

を、縦軸は臨床指標もしくは被験者背景情報を表す。○は ASD 被験者を表し、●は TD 被験者を表す。図中の実線および破線は回帰直線を表す。(A)において、 ρ はスピアマンの順位相関係数を表し、*は FDR 補正 P 値が 0.05 水準で有意であることを示している。ASD 群で無表情の Mode と GAF(点数が高いほど機能が保たれている)、TD 群で無表情の Mode と CESD (点数が高いほど抑うつ傾向が強い) が、FDR 補正 $P < 0.05$ で有意な相関を示した。なお、ADI-R は点数が高いほど障害の程度が強いことを表す。(B)において、 ρ はスピアマンの順位相関係数を表し、*は P 値が 0.05 水準で有意であることを示している。ASD 群で無表情の Mode と本人の SES (点数が高いほど社会経済状況が低い)、喜びの LogP と両親の SES (点数が高いほど社会経済状況が低い) との間で有意な相関関係を認めた。

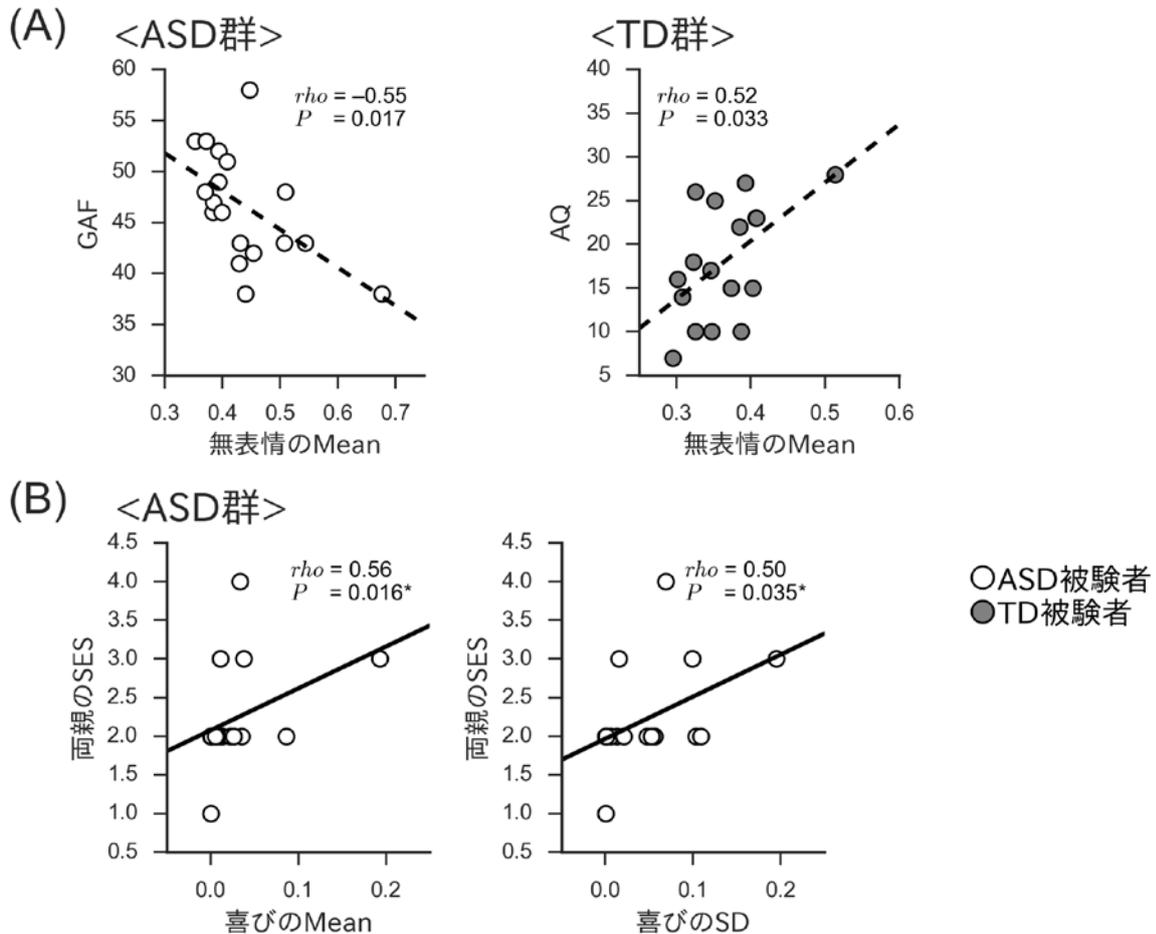
略語 : ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; GAF, Global Assessment of Functioning; ADI-R, Autism Diagnostic Interview-Revised; CESD, Center for Epidemiologic Studies Depression Scale; SES, socioeconomic status; EI, expression intensity; LogP, EI 値の分布を示す確率密度関数の最大値の自然対数値; FDR, false discovery rate.

3.6.2. 副次的解析の結果 (表情強度値の代表値として Mean/SD を使用)

臨床指標との相関については、ASD 群における無表情の Mean と GAF の間と ($\rho = -0.55$ 、 $P = 0.017$)、TD 群における無表情の Mean と AQ の間に ($\rho = 0.52$ 、 $P = 0.033$)、 $P < 0.05$ 水準を満たす相関傾向を認めたが、FDR 補正後に有意性は保たれなかった (図 28A)。また、被験者背景情報との相関に関しては、ASD 群において、喜びの Mean と両親の SES ($\rho = 0.56$ 、 $P = 0.016$) の間と、喜びの SD と両親の SES ($\rho = 0.50$ 、 $P = 0.035$) の間に、有意な相関傾向を認めた (図 28B)。

なお、これら表情指標と背景情報の間での有意な相関関係からは、ASD 群での無表情の Mean と ADOS 相互的対人関係領域点数の間での相関関係に関して介在する可能性がある背景情報が見出だせなかったため、偏相関解析は行わなかった。

図 28 ASD/TD 群間差を認めた EI 変数 (Mean/SD) と臨床指標・被験者背景情報との間の相関散布図



「漫画」課題中の被験者の EI 値の時系列データから得られる EI 変数 (Mean と SD) の中で有意な ASD/TD 群間差を示した 3 つの EI 変数 (無表情の Mean、喜びの Mean、喜びの SD) それぞれと、(A) (ADOS 相互的対人関係領域点数/情動行動と限局された興味領域点数以外の) 臨床指標との間の相関散布図、(B) 被験者背景情報との間の相関散布図を示す。相関解析は ASD 群 (N = 18) と TD 群 (N = 17) それぞれ個別に行い、 $P < 0.05$ 水準を満たした項目のみを抜粋して示した。各図の横軸は EI 変数を、縦軸は臨床指標もしくは被験者背景情報を表す。○は ASD 被験者を表し、●は TD 被験者を表す。図中の破線は回帰直線を表す。(A) において、FDR 補正 $P < 0.05$ 水準を満たした項目はなかった。なお、GAF は点数が高いほど機能が保たれている状態を、AQ は点数が高いほど自閉傾向が強いことを表す。(B) において、 ρ はスピアマンの順位相関係数を表し、*は P 値が 0.05 水準で有意であることを示している。ASD 群で喜びの Mean と両親の SES (点数が高いほど社会経済状況が低い)、喜びの SD と両親の SES との間で有意な相関関係を認めた。

略語：ASD, autism spectrum disorder; TD, typical development; GAF, Global Assessment of Functioning; AQ, Autism Spectrum Quotient; SES, socioeconomic status; EI, expression intensity; SD, standard deviation; FDR, false discovery rate.

4. 考察

4.1. 本研究における新たな発見

本研究において新たに示された知見は、以下の二点である。一つは、対人的相互反応が求められる場面において、TD 者と比べて、ASD 者の表情では無表情が明瞭なまま固定していた、すなわち、表情表出の乏しさが見られたことが、コンピュータを用いた表情解析により定量的に示されたことである。もう一つはその表情表出性の指標である無表情の明瞭性と社会的相互性障害の指標である ADOS の相互的対人関係領域点数の間に正の相関傾向が見られたことであり、これは表情表出性の定量計測値が社会的相互性障害の代用マーカーとなりうる可能性を示唆している。なお、本研究内で表情観察用場面を採用するにあたっては ADOS 課題の中から反復可能であることを定性的に判断して選抜しており、ADOS 全体よりも短時間で社会的相互性障害を評価できる可能性があるという点からも反復評価のための実用性が期待される。ただし、本研究では表情指標そのもの、あるいは、社会的相互性障害の代用マーカーとしての再現性を評価しておらず、その評価は今後の課題であると考えられる。

4.2. ASD 群と TD 群比較結果の考察

4.2.1. 被験者背景情報と臨床指標における群間差の考察

被験者背景情報（表 1）において、年齢・言語性 IQ・両親の SES には群間差を

認めず、実際に統制されていることが確認できた。一方で、ASD 群は TD 群よりも本人の SES・AQ・CESD が有意に高く、GAF・WHOQOL が有意に低く、ASD 被験者における社会経済もしくは教育水準の低さ、自閉傾向、抑うつ傾向、心理機能や幸福度の低さなどが示された。これらに関しては、ASD 者における精神症状の合併や教育・雇用での困難、社会的満足不足などが見られやすいという、すでによく知られている特徴を実際に反映したものと解釈した^[6]。また、ASD 群では表情観察用の場面である「漫画」課題の所要時間が TD 群よりも有意に長かったが、表情検出に成功した割合に関しては群間差を認めなかった。なお、これらの中で特に表情に影響する可能性が想定された抑うつ傾向 (CESD) と不安傾向 (STAI-state)、課題遂行状況の違い (表情解析用課題の所要時間) については、共変量として制御した上で表情指標の群間比較を行っても、非制御時に群間差を認めた表情指標に関しては十分な効果量を確認することができた。

4.2.2. 無表情の群間差についての考察

TD 群と比較して ASD 群における無表情の Mode と無表情の LogP の平均がいずれも有意に高かったことは、ASD 被験者の表情で無表情が明瞭なまま固定していた、つまり、表情表出が乏しかったことを示している。先行研究の中では特定の表情誘発用課題を用いずに対人場面における表情の客観的計測によって ASD 者の表情の特徴を示した研究はなく、我々が知る限りは本研究が初めてである。

また、先行研究の中で TD 群との差異を大きな効果量 ($d=0.8-1.3$) で示しえた研究はいずれも表情誘発課題を用いており^{[56], [65]-[67], [69], [86]}、一方で、無表情について観察者が評価する手法を取った研究では TD 群との有意差を検出されなかった^{[48], [56], [57], [115]}。よって、本研究で ASD 被験者の表情表出の乏しさを十分に大きな効果量 ($d = 1.02-1.10$ 、表 7) とそれによって事後的に得られる検定力 ($1 - \beta = 0.84-0.88$) を大きく示すことができたのは、コンピュータを用いた表情定量解析の手法による部分があったと考えられる^[139]。すなわち、ある表情を特定の感情表情へ分類するのではなく、その表情に関する全種類の EI 値を個別に評価できた点や、それらの EI 値を客観的にかつ精密に計測できた点などが大きく貢献した可能性がある。

なお、それらの群間差を CESD により制御した場合の効果量 ($\eta^2 = 0.10-0.13$ 、表 8) から事後的に得られる検定力 ($1 - \beta = 0.48-0.60$) や、STAI-state により制御した場合の効果量 ($\eta^2 = 0.15-1.18$ 、表 X-1) から事後的に得られる検定力 ($1 - \beta = 0.67-0.77$) は、非制御の場合 ($1 - \beta = 0.84-0.88$) と比較してやや低くなることから、これらの指標が表す抑うつ傾向や不安傾向も無表情の表情指標と多少関連している可能性はあると考えられる。

4.2.3. 喜びの表情指標の群間差についての考察

喜びの EI 変数に関しても、TD 群と比較して、ASD 群での喜びの LogP が有意

に高かった、すなわち、表情で喜びに関する変動性が乏しかったことが示された。

ここで、無表情の EI 値（「出力される無表情の EI 値」）と喜びの EI 値はそのデータ分布の形態が異なるため（図 13）、この結果の意味を考察するにあたっては喜びの EI 値の性質を踏まえる必要があると思われる。

各被験者の無表情の Mode は比較的正規分布に近いのに対し、喜びの Mode は（特に ASD 群において）0 に近い値で集中するような著しく偏った分布を呈していたが（図 23）、この分布の偏りは多くの被験者で喜びの EI 値の確率密度分布曲線が 0 付近で鋭く尖った形態であることを反映していたと考えられる（図 10B、図 13）。言い換えれば、多くの被験者の表情では喜びがほとんど見られず、一部の被験者の表情でのみわずかに喜びが見られたような状況を表していたものと解釈できる。Mode も LogP も同じ EI 値の確率密度曲線に由来する値であるから（図 10）、このような状況下では、より高い喜びの LogP を示す被験者ほどより低い喜びの Mode を示す傾向が見られたと推測できる。実際に、喜びの Mode の平均が FDR 補正に耐える有意差はないものの低い傾向が見られたことや（表 7、図 23）、被験者全体での喜びの Mode と LogP の間で負の相関関係が明瞭に確認されていたことも（図 19）、この考察を裏付ける。よって、ASD 群において喜びの LogP が有意に高かったことは、単に喜びの表情の変動性が乏しかったことを示すだけでなく、喜びの Mode が低い傾向、つまり、喜びが不明瞭である傾向を反映した結果であると言える。

したがって、本研究の結果から、対人的相互反応において、TD 者と比べて ASD 被験者の表情における喜びの表出が不明瞭であることも（直接 Mode の有意差としては表れなかったが）間接的に示されたと考えられる。これは、ASD 者の喜びの表情に関して評価したいくつかの先行研究の結果とも整合する^{[40]-[44]}。

4.3. 表情指標と社会的相互性障害の指標との相関結果についての考察

4.3.1. 無表情の表情指標と社会的相互性障害の指標との相関について

無表情の Mode と ADOS の相互的対人関係領域点数の間に正の相関傾向が見られたことから、表情表出が乏しいほど ASD の中核症状が重症であると予測できる可能性が示唆された。ただし、その有意性は $P < 0.05$ 水準を満たすものの FDR 補正には耐えない程度であり、その相関係数 ($\rho = 0.48$) から事後的に得られる検定力 ($1 - \beta = 0.34$) は十分とは言えず、多重比較補正に耐えうる有意性と十分な検定力 ($1 - \beta = 0.8$) を得るためには $N = 41$ のサンプルサイズが必要であると計算される。なお、本研究で確認された傾向としては、表情模倣の乏しさと CARS で評価される社会的相互性障害の強さが有意に相関したという先行研究^[65]の結果とも整合する。ADOS の相互的対人関係領域には表情を適切に用いることなどの非言語コミュニケーションに関する項目が数個含まれてはいるが、その評定を行うには観察者が ADOS 課題の全てを俯瞰する必要がある。それに対し、本研究で用いた表情定量解析は、例えば 1 分未満の短い観察場面であったとしても適用

できるため、表情指標と ADOS の相互的対人関係領域点数の間の関連を見出すことができれば、ADOS を施行することに比べて遥かに短い時間で、つまり、簡単かつ繰り返し社会的相互性障害を評価できる手段として期待でき、ASD に対する心理社会的介入や中核症状治療候補薬物の治療効果判定のための指標として望まれる要件を満たす有望な指標を提供しうる手法であると思われる。なお、本研究では事前に面接に基づいて診断がなされた少人数の ASD と TD のデータに基づく検討であるため、表情指標の診断能についての議論には限界があり、診断における表情指標の有用性の評価については今後の課題と考える。

4.3.2. 喜びの表情指標と社会的相互性障害の指標との相関について

本研究では、ASD/TD 群間差を示した喜びの LogP と ADOS の相互的対人関係領域点数の間には有意な相関関係が見出だせず、喜びの表情指標が社会的相互性障害に関連するとは結論づけられなかった。しかし一方で、上記の考察により、ASD 群で喜びの LogP が有意に高いことは、表情で喜びが不明瞭であるという ASD 者の表情の特徴を捉えていた可能性がある。また、本研究で採用した表情観察場面での全 EI 値データにおける相関解析でも、感情表情の中で喜びが最も強く無表情と負の相関を呈しており（図 16B）、社会的相互性障害との関連が示された無表情との相補性が最も明瞭な感情表情であったとも読み取れる。したがって、6 種類の感情表情の中では、喜びが特に ASD の社会的相互性障害に関連する

表情であると推測できる根拠はある。

本研究で喜びの表情指標と社会的相互性障害との関連を検出できなかったことには、本研究で得られた被験者の喜びの EI 変数が著しく偏り、喜びの表情指標と臨床指標・被験者背景情報との間の相関関係を正しく検証することが難しいデータ分布であったことが影響したとも考えられる。前述のように、本研究で設定した表情観察用の場面では、多くの被験者の表情で喜びがほとんど見られず、一部の被験者の表情でのみわずかに喜びが見られた状況であったと解釈できる。そもそも、喜びは感情の中で唯一「ポジティブ」なものであり^[81]、他の感情表情に比べて表出される機会が限定されるため、本研究で採用した観察場面が喜びの表情を評価する上で必ずしも最適なものではなかった可能性はある。したがって、社会的相互性と喜びの表情表出の関連を正しく検証するには、少なくとも、表情観察場面における喜びの EI 値の確率密度曲線の歪みが極端にならないような、すなわち、被験者が表情に喜びを十分に表すことができるような適切な観察場面を設けることが必要であるかもしれない。

4.4. 表情指標と他の臨床指標／患者背景情報との相関についての考察

無表情の Mode に関しては、ADOS の相互的対人関係領域点数の他に、ASD 群においては GAF との間で、TD 群においては CESD との間で有意な相関関係が見られた。これらはいずれも表情表出が乏しいほど臨床状態が悪いことを示すよう

な関係であることから、表情表出の乏しさが社会的相互性障害の程度のみならず、精神状態や心理機能によっても影響される可能性を示唆するものと思われる。一方で、これら2つの臨床指標は ASD・TD 両群の間でもともと背景として群間差が見られていた項目でもあり（表1）、その上でそれぞれ片群の中でしか表情指標との相関関係が見出されず群間での一貫性を欠く結果でもあった。したがって、たしかに ASD 群や TD 群を個別に見た場合には表情表出の乏しさが精神状態や心理機能を反映する指標となる可能性はあるものの、本研究の結果からのみでは、これらの臨床指標によって示される臨床状態が社会的相互性障害に優先して表情に影響していた要素であるとは結論しづらいと考えられる。裏を返せば、表情定量解析は非常に汎用性がある手法でもあることから、適切な実験群の統制、臨床情報の収集、表情観察場面の設定がなされることで、社会的相互性障害以外の臨床症状と表情指標との関連を探索する余地は十分にあると思われる。

4.5. 本研究における方法論的制約

本研究においては、いくつかの方法論的制約が存在し、考察を要する。第一に本研究での被験者数はそれほど多くないが、無表情の群間差に関しては十分な検定力 ($1-\beta=0.84-0.88$) が得られたものの、感情表情（喜び、驚き、悲しみ、恐れ、怒り、嫌悪）に関する群間差や、臨床指標／背景情報との相関関係を十分に検出されていなかった可能性は残る。また、前述のように、無表情の Mode と社

会的相互性障害との間の相関関係に関して十分な検定力を得るためには、少なくとも N = 41 以上のサンプルサイズでの検証が必要である。

第二に、本研究の被験者が全て日本人であったことは、表情解析で一貫した表情モデルを当てはめることが可能となるため、表情推定の精度が保たれるという点では大きな利点となった。一方で、文化背景によっては表情表出の傾向が異なる場合があり^{[104],[188]}、本研究の結果を異なる人種・文化背景に当てはめる際に考慮する必要がある。

第三に、本研究では TD 被験者が ASD 被験者よりも後に動画撮影が行われたため、これに伴う観察者効果を完全に排除することが難しい。また、ASD 群では漫画課題が ADOS 全体での 9 番目の課題として施行されていたことに対し、TD 群では単独の課題として施行されていたため、その条件の違いが表情に影響していた可能性はある。しかしながら、少なくとも表情解析に関しては、その過程の大部分がコンピュータにより自動的に行われたことや、観察場面として採用された「漫画」課題は構造化された場面でありながらも被験者が自らのペースで課題を遂行できる場面であった点については、観察者により影響された要素は大きくはないとも考えられる。

第四に、本研究で得られた表情データは FaceReader の表情推定アルゴリズムに依存しており、今後アルゴリズムの性能が改善されるに伴い、出力される EI 値の精度や表情推定の傾向が変わる可能性は否定できない。しかし、本研究で結果が

見出された無表情については、感情表情とは相補的な位置づけであることから、個々の感情表情と比較してそのアルゴリズムの変化による影響を受けづら可能性があると考えられる。

第五に、本研究は統計量を探索する位置づけであり、Mode と LogP は既存の統計量ではあるが、表情研究に関して採用された前例はない。妥当性については、より一般的な統計量である Mean と SD や既存の臨床指標との相関解析によって検討した。その結果、Mean と SD との強い相関、群間差を示す指標の種類や社会的相互性障害指標との相関の類似性が確認できたことから、有用でかつ妥当な指標として期待できると考えた。一方で、表情指標としてさらに適切な統計量については未だ探索の余地があると考えられ、今後の課題と思われる。

第六に、本研究では相互的社会性を評価できるような自然な対人場面での表情観察を優先するために ADOS 課題場面を採用したが、この設定が必ずしも FaceReader が要請するような厳密な表情観察用動画を得るための実験環境、すなわち、被験者に対して眼鏡や長髪を除くことや厳密にカメラに対して顔面を正対させること、顔面に影を作らないような（正面に近い位置に）明るい光源を設置することなどを十分に満たしているわけではないことにも留意すべきである。一方で、これらの実験環境を設定することは、必然的に被験者に対して自身の表情に対する意識を向けてしまう事となると思われ、本研究で目的とする「対人場面における自然な表情」を捉えることの妨げとなる可能性もある。本研究では、面

接環境を遮光カーテンで遮蔽した室内に統制したことや、被験者全員がカメラと面接者に対して同様の配置となるよう位置を統一したことに加え、キャリブレーション機能を適用することによって、環境面から生じるような被験者全体に影響しうる全般的な表情推定のバイアスが相応に除かれていると思われるが、個人レベルでの表情推定をより正確に追求する上ではソフトウェアが要求する画質や実験環境に可能な限り近づけるための観察環境の改善の余地はあると思われる。

4.6. 結論

本研究では、対人的相互反応を要求される場面における ASD 被験者の表情表出が TD 被験者と比べて乏しいことを、無表情の EI 値を定量計測することにより直接示すことができた。また、ASD 被験者において、対人的相互反応で無表情が明瞭であるほど社会的相互性障害の程度が強いという傾向を見出し、表情指標が中核症状の代用マーカーとなる可能性を示すことができた。このような表情指標を計測するにあたり、コンピュータによる表情定量解析は有用であり、かつ、信頼できる手法であると考えられた。

5. 引用文献

- [1] American Psychiatric Association, *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM-5*. Washington, D.C.: American Psychiatric Publishing, 2013.
- [2] 染矢俊幸, 神庭重信, 尾崎紀夫, 三村將, and 村井俊哉, *DSM-5 精神疾患の診断・統計マニュアル*. 医学書院, 2014.
- [3] American Psychiatric Association, *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition, Text Revision (DSM-IV-TR)*, vol. 1, no. 1. Arlington, VA: American Psychiatric Association, 2000.
- [4] 高橋三郎, 染谷俊幸, and 大野裕, *DSM-IV-TR 精神疾患の診断・統計マニュアル*. 医学書院, 2003.
- [5] S. Woolfenden, V. Sarkozy, G. Ridley, M. Coory, and K. Williams, “A systematic review of two outcomes in autism spectrum disorder - epilepsy and mortality.,” *Dev. Med. Child Neurol.*, vol. 54, no. 4, pp. 306–12, Apr. 2012.
- [6] M.-C. Lai, M. V Lombardo, and S. Baron-Cohen, “Autism.,” *Lancet (London, England)*, vol. 383, no. 9920, pp. 896–910, Mar. 2014.
- [7] A. Masi, M. M. DeMayo, N. Glozier, and A. J. Guastella, “An Overview of Autism Spectrum Disorder, Heterogeneity and Treatment Options.,” *Neurosci. Bull.*, vol. 33, no. 2, pp. 183–193, Apr. 2017.
- [8] S. Baron-Cohen, A. M. Leslie, and U. Frith, “Does the autistic child have a ‘theory of

- mind’?,” *Cognition*, vol. 21, no. 1, pp. 37–46, Oct. 1985.
- [9] K. a Pelphrey, S. Shultz, C. M. Hudac, and B. C. Vander Wyk, “Research review: Constraining heterogeneity: the social brain and its development in autism spectrum disorder.,” *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, vol. 52, no. 6. pp. 631–44, Jun-2011.
- [10] M. V. Lombardo *et al.*, “Atypical neural self-representation in autism.,” *Brain*, vol. 133, no. Pt 2, pp. 611–24, Feb. 2010.
- [11] R. C. M. Philip, M. R. Dauvermann, H. C. Whalley, K. Baynham, S. M. Lawrie, and A. C. Stanfield, “A systematic review and meta-analysis of the fMRI investigation of autism spectrum disorders.,” *Neuroscience and biobehavioral reviews*, vol. 36, no. 2. pp. 901–42, Feb-2012.
- [12] A. F. D. C. Hamilton, “Reflecting on the mirror neuron system in autism: a systematic review of current theories.,” *Dev. Cogn. Neurosci.*, vol. 3, no. 1, pp. 91–105, Jan. 2013.
- [13] C. Lord *et al.*, “Autism diagnostic observation schedule: a standardized observation of communicative and social behavior.,” *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 19, no. 2, pp. 185–212, Jun. 1989.
- [14] C. Lord, M. Rutter, and A. Le Couteur, “Autism Diagnostic Interview-Revised: a revised version of a diagnostic interview for caregivers of individuals with possible pervasive developmental disorders.,” *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 24, no. 5, pp. 659–

85, Oct. 1994.

- [15] E. Schopler, R. J. Reichler, R. F. DeVellis, and K. Daly, "Toward objective classification of childhood autism: Childhood Autism Rating Scale (CARS).," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 10, no. 1, pp. 91–103, Mar. 1980.
- [16] T. S. Brugha, L. Doos, A. Tempier, S. Einfeld, and P. Howlin, "Outcome measures in intervention trials for adults with autism spectrum disorders; a systematic review of assessments of core autism features and associated emotional and behavioural problems.," *Int. J. Methods Psychiatr. Res.*, vol. 24, no. 2, pp. 99–115, Jun. 2015.
- [17] G. Dawson *et al.*, "Randomized, controlled trial of an intervention for toddlers with autism: the Early Start Denver Model.," *Pediatrics*, vol. 125, no. 1, pp. e17-23, Jan. 2010.
- [18] J. Green *et al.*, "Parent-mediated communication-focused treatment in children with autism (PACT): a randomised controlled trial.," *Lancet (London, England)*, vol. 375, no. 9732, pp. 2152–60, Jun. 2010.
- [19] T. Watanabe *et al.*, "Clinical and neural effects of six-week administration of oxytocin on core symptoms of autism.," *Brain*, vol. 138, no. Pt 11, pp. 3400–12, Nov. 2015.
- [20] G. Remington, L. Sloman, M. Konstantareas, K. Parker, and R. Gow, "Clomipramine versus haloperidol in the treatment of autistic disorder: a double-blind, placebo-controlled, crossover study.," *J. Clin. Psychopharmacol.*, vol. 21, no. 4, pp. 440–4,

Aug. 2001.

- [21] B. J. Freeman, E. R. Ritvo, A. Yokota, and A. Ritvo, "A scale for rating symptoms of patients with the syndrome of autism in real life settings.," *J. Am. Acad. Child Psychiatry*, vol. 25, no. 1, pp. 130–6, Jan. 1986.
- [22] J. N. Constantino and C. P. Gruber, *Social Responsiveness Scale*. Los Angeles, California: Western Psychological Services, 2005.
- [23] S. Baron-Cohen, S. Wheelwright, R. Skinner, J. Martin, and E. Clubley, "The Autism Spectrum Quotient : Evidence from Asperger syndrome/high functioning autism, males and females, scientists and mathematicians," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 31, no. 1, pp. 5–17, 2001.
- [24] S. Baron-Cohen, R. A. Hoekstra, R. Knickmeyer, and S. Wheelwright, "The Autism-Spectrum Quotient (AQ)--adolescent version.," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 36, no. 3, pp. 343–50, Apr. 2006.
- [25] B. Auyeung, S. Baron-Cohen, S. Wheelwright, and C. Allison, "The Autism Spectrum Quotient: Children's Version (AQ-Child).," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 38, no. 7, pp. 1230–40, Aug. 2008.
- [26] W. K. Goodman *et al.*, "The Yale-Brown Obsessive Compulsive Scale: II. Validity," *Arch. Gen. Psychiatry*, vol. 46, no. 11, pp. 1012–1016, 1989.
- [27] W. K. Goodman *et al.*, "The Yale-Brown Obsessive Compulsive Scale: I.

- Development, Use, and Reliability,” *Arch. Gen. Psychiatry*, vol. 46, no. 11, pp. 1006–1011, 1989.
- [28] K. S. L. Lam and M. G. Aman, “The Repetitive Behavior Scale-Revised: independent validation in individuals with autism spectrum disorders,” *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 37, no. 5, pp. 855–66, May 2007.
- [29] S. Eldevik, R. P. Hastings, J. C. Hughes, E. Jahr, S. Eikeseth, and S. Cross, “Meta-analysis of Early Intensive Behavioral Intervention for children with autism,” *J. Clin. Child Adolesc. Psychol.*, vol. 38, no. 3, pp. 439–50, May 2009.
- [30] M. A. Maglione *et al.*, “Nonmedical interventions for children with ASD: recommended guidelines and further research needs,” *Pediatrics*, vol. 130 Suppl, no. Supplement 2, pp. S169-78, Nov. 2012.
- [31] O. Peñagarikano, “New Therapeutic Options for Autism Spectrum Disorder: Experimental Evidences,” *Exp. Neurobiol.*, vol. 24, no. 4, pp. 301–11, Dec. 2015.
- [32] R. N. Choueiri and A. W. Zimmerman, “New Assessments and Treatments in ASD,” *Curr. Treat. Options Neurol.*, vol. 19, no. 2, p. 6, Feb. 2017.
- [33] Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network Surveillance Year 2008 Principal Investigators and Centers for Disease Control and Prevention, “Prevalence of autism spectrum disorders--Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 14 sites, United States, 2008.” *MMWR. Surveill. Summ.*, vol. 61, no. 3, pp.

1–19, Mar. 2012.

- [34] A. J. Guastella and I. B. Hickie, “Oxytocin Treatment, Circuitry, and Autism: A Critical Review of the Literature Placing Oxytocin Into the Autism Context.,” *Biol. Psychiatry*, vol. 79, no. 3, pp. 234–42, Feb. 2016.
- [35] H. Yamasue, “Promising evidence and remaining issues regarding the clinical application of oxytocin in autism spectrum disorders.,” *Psychiatry Clin. Neurosci.*, vol. 70, no. 2, pp. 89–99, Feb. 2016.
- [36] S. Weigelt, K. Koldewyn, and N. Kanwisher, “Face identity recognition in autism spectrum disorders: A review of behavioral studies,” *Neurosci. Biobehav. Rev.*, vol. 36, no. 3, pp. 1060–1084, 2012.
- [37] J. Tang, M. Falkmer, C. Horlin, T. Tan, S. Vaz, and T. Falkmer, “Face Recognition and Visual Search Strategies in Autism Spectrum Disorders: Amending and Extending a Recent Review by Weigelt et al.,” *PLoS One*, vol. 10, no. 8, p. e0134439, 2015.
- [38] M. B. Harms, A. Martin, and G. L. Wallace, “Facial emotion recognition in autism spectrum disorders: a review of behavioral and neuroimaging studies.,” *Neuropsychol. Rev.*, vol. 20, no. 3, pp. 290–322, Sep. 2010.
- [39] S. Begeer, H. M. Koot, C. Rieffe, M. Meerum Terwogt, and H. Stegge, “Emotional competence in children with autism: Diagnostic criteria and empirical evidence,” *Dev. Rev.*, vol. 28, no. 3, pp. 342–369, Sep. 2008.

- [40] M. E. Snow, M. E. Hertzig, and T. Shapiro, "Expression of emotion in young autistic children.," *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry*, vol. 26, no. 6, pp. 836–8, Nov. 1987.
- [41] J. Pedersen and T. Schelde, "Behavioral aspects of infantile autism: An ethological description," *Eur. Child Adolesc. Psychiatry*, vol. 6, no. 2, pp. 96–106, 1997.
- [42] V. Reddy, E. Williams, and A. Vaughan, "Sharing humour and laughter in autism and Down's syndrome.," *Br. J. Psychol.*, vol. 93, no. Pt 2, pp. 219–42, May 2002.
- [43] R. M. Joseph and H. Tager-Flusberg, "An investigation of attention and affect in children with autism and Down syndrome.," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 27, no. 4, pp. 385–96, Aug. 1997.
- [44] L. Capps, C. Kasari, N. Yirmiya, and M. Sigman, "Parental perception of emotional expressiveness in children with autism.," *J. Consult. Clin. Psychol.*, vol. 61, no. 3, pp. 475–484, 1993.
- [45] T. Charman, J. Swettenham, S. Baron-Cohen, A. Cox, G. Baird, and A. Drew, "Infants with autism: an investigation of empathy, pretend play, joint attention, and imitation.," *Dev. Psychol.*, vol. 33, no. 5, pp. 781–9, Sep. 1997.
- [46] A. A. Bieberich and S. B. Morgan, "Brief report: affective expression in children with autism or Down syndrome.," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 28, no. 4, pp. 333–8, Aug. 1998.

- [47] C. Kasari, M. Sigman, P. Mundy, and N. Yirmiya, "Affective sharing in the context of joint attention interactions of normal, autistic, and mentally retarded children.," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 20, no. 1, pp. 87–100, Mar. 1990.
- [48] N. Yirmiya, C. Kasari, M. Sigman, and P. Mundy, "Facial expressions of affect in autistic, mentally retarded and normal children.," *J. Child Psychol. Psychiatry.*, vol. 30, no. 5, pp. 725–35, Sep. 1989.
- [49] S. D. Stagg, R. Slavny, C. Hand, A. Cardoso, and P. Smith, "Does facial expressivity count? How typically developing children respond initially to children with autism," *Autism*, vol. 18, no. 6, pp. 704–711, 2014.
- [50] J. L. Adrien *et al.*, "Blind ratings of early symptoms of autism based upon family home movies.," *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry*, vol. 32, no. 3, pp. 617–26, May 1993.
- [51] G. Dawson, D. Hill, A. Spencer, L. Galpert, and L. Watson, "Affective exchanges between young autistic children and their mothers.," *J. Abnorm. Child Psychol.*, vol. 18, no. 3, pp. 335–45, Jun. 1990.
- [52] P. Czapinski and S. E. Bryson, "Reduced facial muscle movements in Autism: Evidence for dysfunction in the neuromuscular pathway?," *Brain Cogn.*, vol. 51, no. 2, pp. 177–179, 2003.
- [53] D. J. Scambler, S. Hepburn, M. D. Rutherford, E. A. Wehner, and S. J. Rogers,

- “Emotional responsivity in children with autism, children with other developmental disabilities, and children with typical development.” *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 37, no. 3, pp. 553–63, Mar. 2007.
- [54] J. A. DeQuinzio, D. B. Townsend, P. Sturmey, and C. L. Poulson, “Generalized imitation of facial models by children with autism.” *J. Appl. Behav. Anal.*, vol. 40, no. 4, pp. 755–9, 2007.
- [55] R. Brewer *et al.*, “Can Neurotypical Individuals Read Autistic Facial Expressions? Atypical Production of Emotional Facial Expressions in Autism Spectrum Disorders,” *Autism Res.*, p. n/a-n/a, 2015.
- [56] D. J. Faso, N. J. Sasson, and A. E. Pinkham, “Evaluating posed and evoked facial expressions of emotion from adults with autism spectrum disorder.” *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 45, no. 1, pp. 75–89, Jan. 2015.
- [57] R. B. Grossman, L. R. Edelson, and H. Tager-Flusberg, “Emotional facial and vocal expressions during story retelling by children and adolescents with high-functioning autism.” *J. Speech. Lang. Hear. Res.*, vol. 56, no. 3, pp. 1035–44, Jun. 2013.
- [58] D. Mathersul, S. McDonald, and J. A. Rushby, “Automatic facial responses to briefly presented emotional stimuli in autism spectrum disorder.” *Biol. Psychol.*, vol. 94, no. 2, pp. 397–407, Oct. 2013.
- [59] A. Rozga, T. Z. King, R. W. Vuduc, and D. L. Robins, “Undifferentiated facial

- electromyography responses to dynamic, audio-visual emotion displays in individuals with autism spectrum disorders.,” *Dev. Sci.*, vol. 16, no. 4, pp. 499–514, Jul. 2013.
- [60] A. Metallinou, R. B. Grossman, and S. Narayanan, “Quantifying atypicality in affective facial expressions of children with autism spectrum disorders,” in *2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, 2013, vol. 2013, pp. 1–6.
- [61] T. Guha *et al.*, “On quantifying facial expression-related atypicality of children with Autism Spectrum Disorder,” in *2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2015, vol. 2015–August, pp. 803–807.
- [62] Z. Borsos and M. Gyori, “Can Automated Facial Expression Analysis Show Differences between Autism and Typical Functioning?,” *Stud. Health Technol. Inform.*, vol. 242, pp. 797–804, 2017.
- [63] H. Macdonald *et al.*, “Recognition and expression of emotional cues by autistic and normal adults.,” *J. Child Psychol. Psychiatry.*, vol. 30, no. 6, pp. 865–77, Nov. 1989.
- [64] Y.-M. LI, J. JING, Y. JIN, X.-B. ZOU, K. IGARASHI, and R. C. K. CHAN, “VISUAL ATTENTION, EMOTIONAL AND BEHAVIORAL RESPONSES TO FACIAL EXPRESSION IN YOUNG CHILDREN WITH AUTISM,” *PSYCHOLOGIA*, vol. 54, no. 3, pp. 156–165, 2011.
- [65] S. Yoshimura, W. Sato, S. Uono, and M. Toichi, “Impaired overt facial mimicry in response to dynamic facial expressions in high-functioning autism spectrum

- disorders.," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 45, no. 5, pp. 1318–28, May 2015.
- [66] M. Stel, C. van den Heuvel, and R. C. Smeets, "Facial feedback mechanisms in autistic spectrum disorders.," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 38, no. 7, pp. 1250–8, Aug. 2008.
- [67] D. N. McIntosh, A. Reichmann-Decker, P. Winkielman, and J. L. Wilbarger, "When the social mirror breaks: deficits in automatic, but not voluntary, mimicry of emotional facial expressions in autism.," *Dev. Sci.*, vol. 9, no. 3, pp. 295–302, May 2006.
- [68] E. J. Hermans, G. van Wingen, P. A. Bos, P. Putman, and J. van Honk, "Reduced spontaneous facial mimicry in women with autistic traits," *Biol. Psychol.*, vol. 80, no. 3, pp. 348–353, Mar. 2009.
- [69] D. A. Trevisan, M. Bowering, and E. Birmingham, "Alexithymia, but not autism spectrum disorder, may be related to the production of emotional facial expressions," *Mol. Autism*, vol. 7, no. 1, p. 46, Dec. 2016.
- [70] R. L. Messmer, R. Nader, and K. D. Craig, "Brief report: Judging pain intensity in children with autism undergoing venepuncture: The influence of facial activity," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 38, no. 7, pp. 1391–1394, 2008.
- [71] C. M. Freitag, C. Kleser, and A. von Gontardf, "Imitation and language abilities in adolescents with Autism Spectrum Disorder without language delay," *Eur. Child Adolesc. Psychiatry*, vol. 15, no. 5, pp. 282–291, Aug. 2006.
- [72] R. Soussignan, B. Schaal, G. Schmit, and J. Nadel, "Facial Responsiveness to Odours

- in Normal and Pervasively Developmentally Disordered Children,” *Chem. Senses*, vol. 20, no. 1, pp. 47–59, Feb. 1995.
- [73] I. Gordon, M. D. Pierce, M. S. Bartlett, and J. W. Tanaka, “Training Facial Expression Production in Children on the Autism Spectrum,” *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 44, no. 10, pp. 2486–2498, Oct. 2014.
- [74] A. Funahashi, A. Gruebler, T. Aoki, H. Kadone, and K. Suzuki, “Brief Report: The Smiles of a Child with Autism Spectrum Disorder During an Animal-assisted Activity May Facilitate Social Positive Behaviors—Quantitative Analysis with Smile-detecting Interface,” *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 44, no. 3, pp. 685–693, Mar. 2014.
- [75] P. M. Beall, E. J. Moody, D. N. McIntosh, S. L. Hepburn, and C. L. Reed, “Rapid facial reactions to emotional facial expressions in typically developing children and children with autism spectrum disorder,” *J. Exp. Child Psychol.*, vol. 101, no. 3, pp. 206–223, Nov. 2008.
- [76] L. M. Oberman, P. Winkielman, and V. S. Ramachandran, “Slow echo: facial EMG evidence for the delay of spontaneous, but not voluntary, emotional mimicry in children with autism spectrum disorders,” *Dev. Sci.*, vol. 12, no. 4, pp. 510–20, Jul. 2009.
- [77] M. J. C. M. Magnée, B. de Gelder, H. van Engeland, and C. Kemner, “Facial electromyographic responses to emotional information from faces and voices in

- individuals with pervasive developmental disorder.,” *J. Child Psychol. Psychiatry.*, vol. 48, no. 11, pp. 1122–30, Nov. 2007.
- [78] P. K. H. Deschamps, L. Coppes, J. L. Kenemans, D. J. L. G. Schutter, and W. Matthys, “Electromyographic Responses to Emotional Facial Expressions in 6–7 Year Olds with Autism Spectrum Disorders,” *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 45, no. 2, pp. 354–362, Feb. 2015.
- [79] P. Ekman and W. V. Friesen, “Constants across cultures in the face and emotion.,” *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 17, no. 2, pp. 124–9, Feb. 1971.
- [80] K. L. Schmidt and J. F. Cohn, “Human facial expressions as adaptations: Evolutionary questions in facial expression research.,” *Am. J. Phys. Anthropol.*, vol. Suppl 33, no. 1, pp. 3–24, 2001.
- [81] P. Ekman and W. V. Friesen, *Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement*. 1978.
- [82] V. Neagoe, A. Bărar, N. Sebe, and P. Robitu, “A Deep Learning Approach for Subject Independent Emotion Recognition from Facial Expressions,” in *Recent Advances in Image, Audio and Signal Processing*, 2013, no. DI, pp. 93–98.
- [83] L. Loijens, O. Krips, H. Kuilenburg, M. Uyl, and P. Ivan, Eds., *FaceReader 6.1 Reference Manual*. Noldus Information Technology b.v, 2015.
- [84] A. M. Kring and E. K. Moran, “Emotional response deficits in schizophrenia: Insights

- from affective science,” *Schizophr. Bull.*, vol. 34, no. 5, pp. 819–834, 2008.
- [85] L. M. Bylsma, B. H. Morris, and J. Rottenberg, “A meta-analysis of emotional reactivity in major depressive disorder.,” *Clin. Psychol. Rev.*, vol. 28, no. 4, pp. 676–91, Apr. 2008.
- [86] H. Davies, I. Wolz, J. Leppanen, F. Fernandez-Aranda, U. Schmidt, and K. Tchanturia, “Facial expression to emotional stimuli in non-psychotic disorders: A systematic review and meta-analysis.,” *Neurosci. Biobehav. Rev.*, vol. 64, pp. 252–71, May 2016.
- [87] M. de Wied, A. van Boxtel, W. Matthys, and W. Meeus, “Verbal, facial and autonomic responses to empathy-eliciting film clips by disruptive male adolescents with high versus low callous-unemotional traits.,” *J. Abnorm. Child Psychol.*, vol. 40, no. 2, pp. 211–23, Feb. 2012.
- [88] B. Matzke, S. C. Herpertz, C. Berger, M. Fleischer, and G. Domes, “Facial reactions during emotion recognition in borderline personality disorder: a facial electromyography study.,” *Psychopathology*, vol. 47, no. 2, pp. 101–110, 2014.
- [89] S. C. Herpertz *et al.*, “Emotion in criminal offenders with psychopathy and borderline personality disorder.,” *Arch. Gen. Psychiatry*, vol. 58, no. 8, pp. 737–45, Aug. 2001.
- [90] R. Soussignan, T. Jiang, D. Rigaud, J. P. Royet, and B. Schaal, “Subliminal fear priming potentiates negative facial reactions to food pictures in women with anorexia nervosa.,” *Psychol. Med.*, vol. 40, no. 3, pp. 503–14, Mar. 2010.

- [91] R. Soussignan, B. Schaal, D. Rigaud, J.-P. Royet, and T. Jiang, “Hedonic reactivity to visual and olfactory cues: rapid facial electromyographic reactions are altered in anorexia nervosa.,” *Biol. Psychol.*, vol. 86, no. 3, pp. 265–72, Mar. 2011.
- [92] J. Rottenberg, K. L. Kasch, J. J. Gross, and I. H. Gotlib, “Sadness and amusement reactivity differentially predict concurrent and prospective functioning in major depressive disorder.,” *Emotion*, vol. 2, no. 2, pp. 135–46, Jun. 2002.
- [93] W. Hubert and R. de Jong-Meyer, “Psychophysiological response patterns to positive and negative film stimuli.,” *Biol. Psychol.*, vol. 31, no. 1, pp. 73–93, Aug. 1991.
- [94] B. T. Litz, S. M. Orsillo, D. Kaloupek, and F. Weathers, “Emotional processing in posttraumatic stress disorder.,” *J. Abnorm. Psychol.*, vol. 109, no. 1, pp. 26–39, Feb. 2000.
- [95] J. G. Carlson, T. M. Singelis, and C. M. Chemtob, “Facial EMG responses to combat-related visual stimuli in veterans with and without posttraumatic stress disorder.,” *Appl. Psychophysiol. Biofeedback*, vol. 22, no. 4, pp. 247–59, Dec. 1997.
- [96] M. Schulte-Rüther *et al.*, “Intact mirror mechanisms for automatic facial emotions in children and adolescents with autism spectrum disorder,” *Autism Res.*, vol. 10, no. 2, pp. 298–310, 2017.
- [97] K. Staebler, B. Renneberg, M. Stopsack, P. Fiedler, M. Weiler, and S. Roepke, “Facial emotional expression in reaction to social exclusion in borderline personality

- disorder.,” *Psychol. Med.*, vol. 41, no. 9, pp. 1929–38, Sep. 2011.
- [98] M. M. Dapelo, S. Hart, C. Hale, R. Morris, T. R. Lynch, and K. Tchanturia, “Facial expression of positive emotions in individuals with eating disorders.,” *Psychiatry Res.*, vol. 230, no. 1, pp. 70–7, Nov. 2015.
- [99] V. Cardi *et al.*, “Emotional Processing, Recognition, Empathy and Evoked Facial Expression in Eating Disorders: An Experimental Study to Map Deficits in Social Cognition.,” *PLoS One*, vol. 10, no. 8, p. e0133827, 2015.
- [100] K. Lang, E. E. C. Larsson, L. Mavromara, M. Simic, J. Treasure, and K. Tchanturia, “Diminished facial emotion expression and associated clinical characteristics in Anorexia Nervosa.,” *Psychiatry Res.*, vol. 236, pp. 165–72, Feb. 2016.
- [101] C. Rhind, W. Mandy, J. Treasure, and K. Tchanturia, “An exploratory study of evoked facial affect in adolescent females with anorexia nervosa.,” *Psychiatry Res.*, vol. 220, no. 1–2, pp. 711–5, Dec. 2014.
- [102] H. Davies, U. Schmidt, and K. Tchanturia, “Emotional facial expression in women recovered from anorexia nervosa.,” *BMC Psychiatry*, vol. 13, p. 291, Nov. 2013.
- [103] H. Davies, U. Schmidt, D. Stahl, and K. Tchanturia, “Evoked facial emotional expression and emotional experience in people with anorexia nervosa.,” *Int. J. Eat. Disord.*, vol. 44, no. 6, pp. 531–9, Sep. 2011.
- [104] Y. E. Chentsova-Dutton, J. P. Chu, J. L. Tsai, J. Rottenberg, J. J. Gross, and I. H.

- Gotlib, "Depression and emotional reactivity: variation among Asian Americans of East Asian descent and European Americans.," *J. Abnorm. Psychol.*, vol. 116, no. 4, pp. 776–85, Nov. 2007.
- [105] G. Bersani *et al.*, "Facial expression in patients with bipolar disorder and schizophrenia in response to emotional stimuli: a partially shared cognitive and social deficit of the two disorders.," *Neuropsychiatr. Dis. Treat.*, vol. 9, pp. 1137–44, 2013.
- [106] J. L. Tsai, N. Pole, R. W. Levenson, and R. F. Muñoz, "The effects of depression on the emotional responses of Spanish-speaking Latinas.," *Cultur. Divers. Ethnic Minor. Psychol.*, vol. 9, no. 1, pp. 49–63, Feb. 2003.
- [107] J. Rottenberg, J. J. Gross, and I. H. Gotlib, "Emotion context insensitivity in major depressive disorder.," *J. Abnorm. Psychol.*, vol. 114, no. 4, pp. 627–39, Nov. 2005.
- [108] B. Renneberg, K. Heyn, R. Gebhard, and S. Bachmann, "Facial expression of emotions in borderline personality disorder and depression.," *J. Behav. Ther. Exp. Psychiatry*, vol. 36, no. 3, pp. 183–96, Sep. 2005.
- [109] D. M. Sloan, M. E. Strauss, and K. L. Wisner, "Diminished response to pleasant stimuli by depressed women.," *J. Abnorm. Psychol.*, vol. 110, no. 3, pp. 488–93, Aug. 2001.
- [110] H. Berenbaum and T. F. Oltmanns, "Emotional experience and expression in schizophrenia and depression.," *J. Abnorm. Psychol.*, vol. 101, no. 1, pp. 37–44, Feb.

1992.

- [111] G. Valeriani *et al.*, “Generalized and specific emotion impairments as potential markers of severity in Obsessive-Compulsive Disorder: a preliminary study using Facial Action Coding System (FACS).,” *Psychiatr. Danub.*, vol. 27, no. 2, pp. 159–67, Jun. 2015.
- [112] G. Bersani *et al.*, “Comparison of facial expression in patients with obsessive-compulsive disorder and schizophrenia using the Facial Action Coding System: a preliminary study.,” *Neuropsychiatr. Dis. Treat.*, vol. 8, pp. 537–47, 2012.
- [113] A. Kirsch and S. Brunnhuber, “Facial expression and experience of emotions in psychodynamic interviews with patients with PTSD in comparison to healthy subjects.,” *Psychopathology*, vol. 40, no. 5, pp. 296–302, 2007.
- [114] S. M. Orsillo, S. V. Batten, J. C. Plumb, J. A. Luterek, and B. M. Roessner, “An experimental study of emotional responding in women with posttraumatic stress disorder related to interpersonal violence.,” *J. Trauma. Stress*, vol. 17, no. 3, pp. 241–8, Jun. 2004.
- [115] M. D. Sigman, C. Kasari, J. H. Kwon, and N. Yirmiya, “Responses to the negative emotions of others by autistic, mentally retarded, and normal children.,” *Child Dev.*, vol. 63, no. 4, pp. 796–807, Aug. 1992.
- [116] J. Legiša, D. S. Messinger, E. Kermol, and L. Marlier, “Emotional responses to odors in children with high-functioning autism: autonomic arousal, facial behavior and self-

- report,” *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 43, no. 4, pp. 869–879, 2013.
- [117] C. Press, D. Richardson, and G. Bird, “Intact imitation of emotional facial actions in autism spectrum conditions,” *Neuropsychologia*, vol. 48, no. 11, pp. 3291–3297, 2010.
- [118] R. Mergl *et al.*, “Kinematical analysis of emotionally induced facial expressions in patients with obsessive-compulsive disorder.,” *Psychol. Med.*, vol. 33, no. 8, pp. 1453–62, Nov. 2003.
- [119] A. S. Cohen, S. C. Morrison, and D. a Callaway, “Computerized facial analysis for understanding constricted/blunted affect: initial feasibility, reliability, and validity data.,” *Schizophr. Res.*, vol. 148, no. 1–3, pp. 111–6, Aug. 2013.
- [120] T. Fujiwara, R. Mizuki, T. Miki, and C. Chemtob, “Association between facial expression and PTSD symptoms among young children exposed to the Great East Japan Earthquake: a pilot study.,” *Front. Psychol.*, vol. 6, no. OCT, p. 1534, 2015.
- [121] J. Leppanen, M. M. Dapelo, H. Davies, K. Lang, J. Treasure, and K. Tchanturia, “Computerised analysis of facial emotion expression in eating disorders.,” *PLoS One*, vol. 12, no. 6, p. e0178972, 2017.
- [122] S. Tárrega *et al.*, “Explicit and implicit emotional expression in bulimia nervosa in the acute state and after recovery.,” *PLoS One*, vol. 9, no. 7, p. e101639, 2014.
- [123] L. Claes *et al.*, “The facial and subjective emotional reaction in response to a video game designed to train emotional regulation (Playmancer).,” *Eur. Eat. Disord. Rev.*,

vol. 20, no. 6, pp. 484–9, Nov. 2012.

- [124] N. M. McDonald and D. S. Messinger, “Empathic responding in toddlers at risk for an autism spectrum disorder.,” *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 42, no. 8, pp. 1566–73, Aug. 2012.
- [125] R. Corona, C. Dissanayake, S. Arbelles, P. Wellington, and M. Sigman, “Is affect aversive to young children with autism? Behavioral and cardiac responses to experimenter distress.,” *Child Dev.*, vol. 69, no. 6, pp. 1494–502, Dec. 1998.
- [126] P. V. Trad, D. Bernstein, T. Shapiro, and M. Hertzog, “Assessing the relationship between affective responsivity and social interaction in children with pervasive developmental disorder.,” *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 23, no. 2, pp. 361–377, 1993.
- [127] M. B. First, R. L. Spitzer, M. Gibbon, and J. B. W. Williams, *Structured Clinical Interview for DSM-IV-TR Axis I Disorders, Research Version, Non-patient Edition*. New York: Biometrics Research, New York State Psychiatric Institute, 2002.
- [128] A. B. Hollingshead, *Two factor index of social position*. New Haven, Conn.: Yale University, Dept. of Sociology, 1957.
- [129] WHOQOL GROUP, “The World Health Organization Quality of Life assessment (WHOQOL): position paper from the World Health Organization.,” *Soc. Sci. Med.*, vol. 41, no. 10, pp. 1403–1409, 1995.
- [130] I. H. M. Aas, “Guidelines for rating Global Assessment of Functioning (GAF).,” *Ann.*

- Gen. Psychiatry*, vol. 10, p. 2, 2011.
- [131] C. D. Spielberger, R. L. Gorsuch, and R. E. Lushene, *The State-Trait Anxiety Inventory*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologist Press, 1970.
- [132] L. S. Radloff, “The CES-D Scale: A Self-Report Depression Scale for Research in the General Population,” *Appl. Psychol. Meas.*, vol. 1, no. 3, pp. 385–401, Jun. 1977.
- [133] D. Wechsler, *Manual for the Wechsler Adult Intelligence Scale - Revised*. New York: Psychological Corporation, 1981.
- [134] H. E. Nelson, *The National Adult Reading Test (NART): Test Manual.*, vol. 124, no. 3. Windsor, UK: NFER-NELSON Publishing Company Ltd., 1982.
- [135] K. Matsuoka, M. Uno, K. Kasai, K. Koyama, and Y. Kim, “Estimation of premorbid IQ in individuals with Alzheimer’s disease using Japanese ideographic script (Kanji) compound words: Japanese version of National Adult Reading Test,” *Psychiatry Clin. Neurosci.*, vol. 60, no. 3, pp. 332–339, 2006.
- [136] 松岡恵子 and 金吉晴, *知的機能の簡易評価実施マニュアル : Japanese Adult Reading Test (JART)* . 新興医学出版社, 2006.
- [137] H. van Kuilenburg, M. Wiering, and M. den Uyl, “A Model Based Method for Automatic Facial Expression Recognition,” in *Machine Learning: ECML 2005*, 2005, vol. 3720, pp. 194–205.
- [138] A. Gudi, H. E. Tasli, T. M. den Uyl, and A. Maroulis, “Deep learning based FACS

- Action Unit occurrence and intensity estimation,” in *2015 11th IEEE International Conference and Workshops on Automatic Face and Gesture Recognition (FG)*, 2015, vol. 6, pp. 1–5.
- [139] P. Lewinski, “Automated facial coding software outperforms people in recognizing neutral faces as neutral from standardized datasets.,” *Front. Psychol.*, vol. 6, no. September, p. 1386, 2015.
- [140] S. Stöckli, M. Schulte-Mecklenbeck, S. Borer, and A. C. Samson, “Facial expression analysis with AFFDEX and FACET: A validation study,” *Behav. Res. Methods*, Dec. 2017.
- [141] B. Zaman and T. Shrimpton-Smith, “The FaceReader: Measuring instant fun of use,” in *Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction changing roles - NordiCHI '06*, 2006, no. October, pp. 457–460.
- [142] V. Terzis, C. N. Moridis, and A. A. Economides, “Measuring instant emotions during a self-assessment test,” in *Proceedings of Measuring Behavior 2010, the 7th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research*, 2010, pp. 192–195.
- [143] M. J. Den Uyl and H. Van Kuilenburg, “The FaceReader : Online facial expression recognition,” in *Proceedings of Measuring Behavior 2005, the 5th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research*, 2005, vol. 2005, no.

September, pp. 589–590.

- [144] P. Lewinski, T. M. Den Uyl, and C. Butler, “Automated facial coding: Validation of basic emotions and FACS AUs in facereader,” *J. Neurosci. Psychol. Econ.*, vol. 7, no. 4, pp. 227–236, 2014.
- [145] G. Bijlstra and R. Dotsch, “FaceReader 4 emotion classification performance on images from the Radboud Faces Database,” *Unpublished manuscript*, 2010. [Online]. Available: <http://www.gijsbijlstra.nl/>.
- [146] J. T. D’Arcey, “ASSESSING THE VALIDITY OF FACEREADER USING FACIAL EMG,” California State University, 2013.
- [147] G. D. Sideridis, A. Kaplan, C. Papadopoulos, and V. Anastasiadis, “The affective experience of normative-performance and outcome goal pursuit: Physiological, observed, and self-report indicators,” *Learn. Individ. Differ.*, vol. 32, pp. 114–123, 2014.
- [148] K. P. Truong, D. A. Van Leeuwen, and F. M. G. De Jong, “Speech-based recognition of self-reported and observed emotion in a dimensional space,” *Speech Commun.*, vol. 54, no. 9, pp. 1049–1063, 2012.
- [149] J. M. Harley, F. Bouchet, and R. Azevedo, “Measuring Learners’ Co-Occurring Emotional Responses during Their Interaction with a Pedagogical Agent in MetaTutor,” in *Proceedings of the international conference on Intelligent Tutoring*

- Systems*, 2012, vol. 44, no. 4, pp. 40–45.
- [150] P. Lewinski, M. L. Fransen, and E. S. H. Tan, “Predicting advertising effectiveness by facial expressions in response to amusing persuasive stimuli.,” *J. Neurosci. Psychol. Econ.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–14, 2014.
- [151] W. He, “Beyond liking: emotional and physiological responses to food stimuli,” Wageningen University, 2016.
- [152] K. A. Fanti, M. N. Kyranides, and G. Panayiotou, “Facial reactions to violent and comedy films: Association with callous-unemotional traits and impulsive aggression.,” *Cogn. Emot.*, vol. 31, no. 2, pp. 209–224, Feb. 2017.
- [153] L. Danner, L. Sidorkina, M. Joechl, and K. Duerrschmid, “Make a face! Implicit and explicit measurement of facial expressions elicited by orange juices using face reading technology,” *Food Qual. Prefer.*, vol. 32, pp. 167–172, 2014.
- [154] K. A. Leitch, S. E. Duncan, S. O’Keefe, R. Rudd, and D. L. Gallagher, “Characterizing consumer emotional response to sweeteners using an emotion terminology questionnaire and facial expression analysis,” *Food Res. Int.*, vol. 76, no. P2, pp. 283–292, Oct. 2015.
- [155] Y. E. Chentsova-Dutton and J. L. Tsai, “Self-focused attention and emotional reactivity: the role of culture.,” *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 98, no. 3, pp. 507–19, Mar. 2010.

- [156] M. Chóliz and E. G. Fernández-Abascal, "Recognition of Emotional Facial Expressions: The Role of Facial and Contextual Information in the Accuracy of Recognition," *Psychol. Rep.*, vol. 110, no. 1, pp. 338–350, Feb. 2012.
- [157] P. L. Jackson, P.-E. Michon, E. Geslin, M. Carignan, and D. Beaudoin, "EEVEE: the Empathy-Enhancing Virtual Evolving Environment," *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 9, no. March, pp. 1–15, Mar. 2015.
- [158] M. El Haj, P. Antoine, and J. L. Nandrino, "More emotional facial expressions during episodic than during semantic autobiographical retrieval.," *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.*, vol. 16, no. 2, pp. 374–81, Apr. 2016.
- [159] P. De Carli, A. Tagini, D. Sarracino, A. Santona, and L. Parolin, "Implicit Attitude Toward Caregiving: The Moderating Role of Adult Attachment Styles.," *Front. Psychol.*, vol. 6, no. December, p. 1906, 2015.
- [160] K. E. Boerner, C. T. Chambers, P. J. McGrath, V. LoLordo, and R. Uher, "The Effect of Parental Modeling on Child Pain Responses: The Role of Parent and Child Sex," *J. Pain*, vol. 18, no. 6, pp. 702–715, Jun. 2017.
- [161] N. L. Tuck, K. S. Adams, and N. S. Consedine, "Does the ability to express different emotions predict different indices of physical health? A skill-based study of physical symptoms and heart rate variability.," *Br. J. Health Psychol.*, vol. 22, no. 3, pp. 502–523, Sep. 2017.

- [162] J. A. Kline, D. Neumann, C. L. Hall, and J. Capito, "Role of physician perception of patient smile on pretest probability assessment for acute pulmonary embolism.," *Emerg. Med. J.*, vol. 34, no. 2, pp. 82–88, Feb. 2017.
- [163] L. Danner, S. Haindl, M. Joechl, and K. Duerrschmid, "Facial expressions and autonomous nervous system responses elicited by tasting different juices," *Food Res. Int.*, vol. 64, pp. 81–90, Oct. 2014.
- [164] D. Garcia-Burgos and M. C. Zamora, "Facial affective reactions to bitter-tasting foods and body mass index in adults," *Appetite*, vol. 71, no. 1, pp. 178–186, Dec. 2013.
- [165] W. HE, S. BOESVELDT, C. DE GRAAF, and R. A. DE WIJK, "Behavioural and physiological responses to two food odours," *Appetite*, vol. 59, no. 2, p. 628, Oct. 2012.
- [166] A. L. Kerrihard, M. B. Khair, R. Blumberg, C. H. Feldman, and S. M. Wunderlich, "The effects of acclimation to the United States and other demographic factors on responses to salt levels in foods: An examination utilizing face reader technology.," *Appetite*, vol. 116, pp. 315–322, Sep. 2017.
- [167] E. Kostyra, M. Rambuszek, B. Waszkiewicz-Robak, W. Laskowski, T. Blicharski, and E. Poławska, "Consumer facial expression in relation to smoked ham with the use of face reading technology. The methodological aspects and informative value of research results.," *Meat Sci.*, vol. 119, pp. 22–31, Sep. 2016.
- [168] E. Kostyra, G. Wasiak-Zys, M. Rambuszek, and B. Waszkiewicz-Robak, "Determining

- the sensory characteristics, associated emotions and degree of liking of the visual attributes of smoked ham. A multifaceted study,” *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 65, pp. 246–253, Jan. 2016.
- [169] J. C. Neto and J. A. Filipe, “Consumers economic behavior and emotions: The case of iphone 6 in neuromarketing,” *Int. J. Latest Trends Financ. Econ. Sci.*, vol. 5, no. 4, pp. 1041–1047, 2015.
- [170] T. A. Drape, D. Westfall-Rudd, S. Doak, J. Guthrie, and P. Mykerezi, “Technology Integration in an Agriculture Associate’s Degree Program: A Case Study Guided by Rogers’ Diffusion of Innovation.,” *NACTA J.*, vol. 57, no. 1, pp. 24–35, 2013.
- [171] J. M. Harley, F. Bouchet, and R. Azevedo, “Aligning and Comparing Data on Emotions Experienced during Learning with MetaTutor,” in *AIED 2013: Artificial Intelligence in Education*, 2013, vol. 7926 LNAI, pp. 61–70.
- [172] J. M. Harley, F. Bouchet, M. S. Hussain, R. Azevedo, and R. Calvo, “A multi-componential analysis of emotions during complex learning with an intelligent multi-agent system,” *Comput. Human Behav.*, vol. 48, pp. 615–625, 2015.
- [173] C. N. Moridis and A. A. Economides, “Affective Learning: Empathetic Agents with Emotional Facial and Tone of Voice Expressions,” *IEEE Trans. Affect. Comput.*, vol. 3, no. 3, pp. 260–272, Jul. 2012.
- [174] V. Terzis, C. N. Moridis, and A. A. Economides, “The effect of emotional feedback on

- behavioral intention to use computer based assessment,” *Comput. Educ.*, vol. 59, no. 2, pp. 710–721, Sep. 2012.
- [175] M.-H. Chiu, C.-C. Chou, W.-L. Wu, and H. Liaw, “The role of facial microexpression state (FMES) change in the process of conceptual conflict,” *Br. J. Educ. Technol.*, vol. 45, no. 3, pp. 471–486, May 2014.
- [176] R. Bernhaupt, A. Boldt, T. Mirlacher, D. Wilfinger, and M. Tscheligi, “Using emotion in games,” in *Proceedings of the international conference on Advances in computer entertainment technology*, 2007, no. February 2016, p. 41.
- [177] K. Chu, C. Y. Wong, and C. W. Khong, “Methodologies for Evaluating Player Experience in Game Play,” in *HCI International 2011 – Posters’ Extended Abstracts*, 2011, vol. 174, pp. 118–122.
- [178] S. Shahid, E. Kraemer, M. Neerinx, and M. Swerts, “Positive affective interactions: The role of repeated exposure and copresence,” *IEEE Trans. Affect. Comput.*, vol. 4, no. 2, pp. 226–237, 2013.
- [179] J. H. Goldberg, “Measuring Software Screen Complexity: Relating Eye Tracking, Emotional Valence, and Subjective Ratings,” *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, vol. 30, no. 7, pp. 518–532, Jul. 2014.
- [180] J. H. Goldberg, “Relating Perceived Web Page Complexity to Emotional Valence and Eye Movement Metrics,” *Proc. Hum. Factors Ergon. Soc. Annu. Meet.*, vol. 56, no. 1,

pp. 501–505, Sep. 2012.

- [181] R. D. Gorbunov, E. I. Barakova, R. M. C. Ahn, and G. W. M. Rauterberg, “Monitoring Facial Expressions During the Mars-500 Isolation Experiment,” in *Monitoring Facial Expressions During the Mars-500 Isolation Experiment*, 2012, vol. 2012, pp. 365–367.
- [182] N. J. J. M. Smets, M. A. Neerinx, and R. Looije, “Measuring user behavior in a complex USAR team evaluation,” in *Proceedings of Measuring Behavior 2012, the 8th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research*, 2012, vol. 2012, pp. 328–331.
- [183] J. Staiano, M. Menéndez, A. Battocchi, A. De Angeli, and N. Sebe, “UX_Mate: From Facial Expressions to UX Evaluation,” in *Proceedings of the Conference on Designing Interactive Systems*, 2012, p. 741.
- [184] B. T. C. Tay, S. C. Low, K. H. Ko, and T. Park, “Types of humor that robots can play,” *Comput. Human Behav.*, vol. 60, pp. 19–28, 2016.
- [185] S. van der Walt, S. C. Colbert, and G. Varoquaux, “The NumPy Array: A Structure for Efficient Numerical Computation,” *Comput. Sci. Eng.*, vol. 13, no. 2, pp. 22–30, Mar. 2011.
- [186] M. E. Glickman, S. R. Rao, and M. R. Schultz, “False discovery rate control is a recommended alternative to Bonferroni-type adjustments in health studies.,” *J. Clin. Epidemiol.*, vol. 67, no. 8, pp. 850–7, Aug. 2014.

[187] J. T. E. Richardson, “Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research,” *Educ. Res. Rev.*, vol. 6, no. 2, pp. 135–147, 2011.

[188] R. E. Jack, O. G. B. Garrod, H. Yu, R. Caldara, and P. G. Schyns, “Facial expressions of emotion are not culturally universal.,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 109, no. 19, pp. 7241–4, May 2012.

6. 謝辞

本論文を作成するにあたり、本研究で協力・支持を受けた全ての方に深謝する。

特に、本論文の作成のみならず、臨床・研究において幅広い指導・助言を授かった、浜松医科大学精神医学講座の山末英典先生、東京大学大学院医学系研究科脳神経医学専攻こころの発達医学分野の金生由紀子先生に心より感謝を表明する。

また、本研究の共同研究者として協力を得た、東京大学大学院医学系研究科脳神経医学専攻こころの発達医学分野の Walid Yassin さん、児島正樹先生、東京大学大学院教育学研究科の黒田美保先生、浜松医科大学精神医学講座の桑原斉先生に深謝する。

7. 資料

資料 1 広汎性発達障害の診断基準 (DSM-IV)

(高橋三郎ら、DSM-IV-TR 精神疾患の診断・統計マニュアル、医学書院、2003年)
(自閉性障害、アスペルガー障害、特定不能の広汎性発達障害のみ抜粋)

<299.00 自閉性障害>

- A. (1), (2), (3)から合計6つ(またはそれ以上), うち少なくとも(1)から2つ, (2)と(3)から1つずつの項目を含む.
- (1) 対人的相互反応における質的な障害で以下の少なくとも2つによって明らかになる.
- (a) 目と目で見つめ合う, 顔の表情, 体の姿勢, 身振りなど, 対人的相互反応を調節する多彩な非言語性行動の使用の著明な障害
 - (b) 発達の水準に相応した仲間関係をつくることの失敗
 - (c) 楽しみ, 興味, 成し遂げたものを他人と分かち合うことを自発的に求めることの欠如(例: 興味のあるものをみせる, 持って来る, 指さすことの欠如)
 - (d) 対人的または情緒的相互性の欠如
- (2) 以下のうち少なくとも1つによって示されるコミュニケーションの質的な障害:
- (a) 話し言葉の遅れまたは完全な欠如(身振りや物まねのような代替りのコミュニケーションの仕方により補おうという努力を伴わない)
 - (b) 十分会話のある者では, 他人と会話を開始し継続する能力の著明な障害
 - (c) 常同的で反復的な言葉の使用または独特な言語
 - (d) 発達水準に相応した, 変化に富んだ自発的なごっこ遊びや社会性を持った物まね遊びの欠如
- (3) 行動, 興味, および活動の限定された反復的で常同的な様式で, 以下の少なくとも1つによって明らかになる.
- (a) 強度または対象において異常なほど, 常同的で限定された型の1つまたはいくつかの興味だけに熱中すること
 - (b) 特定の機能的でない習慣や儀式にかたくなにこだわるのが明らかである.
 - (c) 常同的で反復的な衝動的運動(例: 手や指をぱたぱたさせたりねじ曲げる, または複雑な全身の動き)
 - (d) 物体の一部に持続的に熱中する.
- B. 3歳以前に始まる, 以下の領域の少なくとも1つにおける機能の遅れまたは異常:
(1)対人的相互反応, (2)対人的コミュニケーションに用いられる言語, または(3)象徴的または想像的遊び
- C. この障害はレット障害または小児期崩壊性障害ではうまく説明されない.

<299.80 アスペルガー障害>

- A. 以下のうち少なくとも2つにより示される対人的相互反応の質的な障害：
- (1) 目と目で見つめ合う、顔の表情、体の姿勢、身振りなど、対人的相互反応を調節する多彩な非言語的行動の使用の著明な障害
 - (2) 発達の水準に相応した仲間関係を作ることの失敗
 - (3) 楽しみ、興味、達成感を他人と分かち合うことを自発的に求めることの欠如
(例：他の人達に興味のある物を見せる、持って来る、指差すなどをしない)
 - (4) 対人的または情緒的相互性の欠如
- B. 行動、興味および活動の、限定的、反復的、常同的な様式で、以下の少なくとも1つによって明らかになる。
- (1) その強度または対象において異常なほど、常同的で限定された型の1つまたはそれ以上の興味だけに熱中すること
 - (2) 特定の、機能的でない習慣や儀式にかたくなにこだわるのが明らかである。
 - (3) 常同的で反復的な衝動的運動（例：手や指をばたばたさせたり、ねじ曲げる、または複雑な全身の動き）
 - (4) 物体の一部に持続的に熱中する。
- C. その障害は社会的、職業的、または他の重要な領域における機能の臨床的に著しい障害を引き起こしている。
- D. 臨床的に著しい言語の遅れがない（例：2歳までに単語を用い、3歳までにコミュニケーション的な句を用いる）。
- E. 認知の発達、年齢に相応した自己管理能力、（対人関係以外の）適応行軌、および小児期における環境への好奇心について臨床的に明らかな遅れがない。
- F. 他の特定の広汎性発達障害または統合失調症の基準を満たさない。

<299.80 特定不能の広汎性発達障害（非定型自閉症を含む）>

このカテゴリーは、対人的相互反応の発達に重症で広汎な障害があり、言語的または非言語的なコミュニケーション能力の障害や常同的な行動・興味・活動の存在を伴っているが、特定の広汎性発達障害、統合失調症、統合失調型パーソナリティ障害、または回避性パーソナリティ障害の基準を満たさない場合に用いるべきである。例えば、このカテゴリーには、“非定型自閉症”——発症年齢が遅いこと、非定型の症状、または閾値に達しない症状、またはこのすべてがあるために自閉性障害の基準を満たさないような病像——が入れられる。

資料 2 自閉スペクトラム症／自閉症スペクトラム障害の診断基準 (DSM-5)

(高橋三郎ら、DSM-5 精神疾患の診断・統計マニュアル、医学書院、2014年)

<299.00 (F84.0) 自閉スペクトラム症／自閉症スペクトラム障害>

- A. 複数の状況で社会的コミュニケーションおよび対人的相互反応における持続的な欠陥があり、現時点または病歴によって、以下により明らかになる（以下の例は一例であり、網羅したものではない）。
- (1) 相互の対人的・情緒的関係の欠陥で、例えば、対人的に異常な近づき方や通常の会話のやりとりのできないことといったものから、興味、情動、または感情を共有することの少なさ、社会的相互反応を開始したり応じたりすることができないことに及ぶ。
 - (2) 対人的相互反応で非言語的コミュニケーション行動を用いることの欠陥、例えば、まとまりのわるい言語的、非言語的コミュニケーションから、アイコンタクトと身振りの異常、または身振りの理解やその使用の欠陥、顔の表情や非言語的コミュニケーションの完全な欠陥に及ぶ。
 - (3) 人間関係を発展させ、維持し、それを理解することの欠陥で、例えば、さまざまな社会的状況に合った行動に調整することの困難さから、想像上の遊びを他者と一緒にしたり友人を作ることの困難さ、または仲間に対する興味の欠如に及ぶ。
- ▶ 現在の重症度を特定せよ
重症度は社会的コミュニケーションの障害や、限定された反復的な行動様式に基づく（表2参照）
- B. 行動、興味、または活動の限定された反復的な様式で、現在または病歴によって、以下の少なくとも2つにより明らかになる（以下の例は一例であり、網羅したものではない）。
- (1) 常同的または反復的な身体の運動、物の使用、または会話（例：おもちゃを一列に並べたり物を叩いたりするなどの単調な常同運動、反響言語、独特な言い回し）。
 - (2) 同一性への固執、習慣への頑ななこだわり、または言語的、非言語的な儀式的行動様式（例：小さな変化に対する極度の苦痛、移行することの困難さ、柔軟性に欠ける思考様式、儀式のようなあいさつの習慣、毎日同じ道順をたどったり、同じ食物を食べたりすることへの要求）
 - (3) 強度または対象において異常なほど、きわめて限定され執着する興味（例：一般的ではない対象への強い愛着または没頭、過度に限局したまたは固執した興味）
 - (4) 感覚刺激に対する過敏さまたは鈍感さ、または環境の感覚的側面に対する並外れた興味（例：痛みや体温に無関心のように見える、特定の音または触感に逆の反応をする、対象を過度に嗅いだり触れたりする、光または動きを見る

ことに熱中する)

▶ 現在の重症度を特定せよ

重症度は社会的コミュニケーションの障害や、限定された反復的な行動様式に基づく (表2 参照).

- C. 症状は発達早期に存在していなければならない (しかし社会的要求が能力の限界を超えるまでは症状は完全に明らかにならないかもしれないし、その後の生活で学んだ対応の仕方によって隠されている場合もある).
- D. その症状は、社会的、職業的、または他の重要な領域における現在の機能に臨床的に意味のある障害を引き起こしている.
- E. これらの障害は、知的能力障害 (知的発達症) または全般的発達遅延ではうまく説明されない. 知的能力障害と自閉スペクトラム症はしばしば同時に起こり、自閉スペクトラム症と知的能力障害の併存の診断を下すためには、社会的コミュニケーションが全般的な発達の水準から期待されるものより下回っていないなければならない.

注: DSM-IV で自閉性障害, アスペルガー障害, または特定不能の広汎性発達障害の診断が十分確定しているものには、自閉スペクトラム症の診断が下される. 社会的コミュニケーションの著しい欠陥を認めるが、それ以外は自閉スペクトラム症の診断基準を満たさないものは、社会的 (語用論的) コミュニケーション症として評価されるべきである.

▶ 該当すれば特定せよ

知能の障害を伴う, または伴わない

言語の障害を伴う, または伴わない

関連する既知の医学的または遺伝学的疾患, または環境要因 (コードするときの注: 関連する医学的または遺伝学的疾患を特定するための追加のコードを用いること)

関連する他の神経発達症, 精神疾患, または行動障害 (コードするときの注: 関連する神経発達症, 精神疾患, または行動障害を特定するための追加のコードを用いること)

緊張病を伴う (定義については、他の精神疾患に関連する緊張病の診断基準を参照せよ) [コードするときの注: 緊張病の併存を示すため、自閉スペクトラム症に関連する緊張病 293.89 (F06.1)の追加のコードを用いること]

表2 自閉スペクトラム症の重症度水準

| 重症度水準 | 社会的コミュニケーション | 限局された反復的な行動 |
|------------------------|--|---|
| レベル3 「非常に十分な支援を要する」 | 言語的および非言語的社会的コミュニケーション技能の重篤な欠陥が、重篤な機能障害、対人的相互反応の開始の非常な制限、および他者からの対人的申し出に対する最小限の反応などを引き起こしている。例えば、意味をなす会話の言葉がわずかしかなかなくて相互反応をほとんど起こさなかったり、相互反応を起こす場合でも、必要があるときのみ異常な近づき方をしたり、非常に直接的な近づき方のみで反応したりするような人 | 行動の柔軟性のなさ、変化に対処することへの極度の困難さ、またはあらゆる分野において機能することを著しく妨げるような他の限局された反復的な行動。焦点または活動を変えることへの強い苦痛や困難さ |
| レベル2 「十分な支援を要する」 | 言語的および非言語的社会的コミュニケーション技能の著しい欠陥で、支援がなされている場面でも社会的機能障害が明らかであったり、対人的相互反応を開始することが制限されていたり、他者からの対人的申し出に対する反応が少ないか異常であったりする。例えば、単文しか話さず、相互反応が狭い特定の興味に限られ、著しく奇妙な非言語的コミュニケーションを行うような人 | 行動の柔軟性のなさ、変化に対処することへの困難さ、または他の限局された反復的な行動。事情を知らない人にも明らかなほど高頻度に認められ、さまざまな状況で機能することを妨げている。焦点または活動を変えることへの苦痛や困難さ |
| レベル1 「支援を要する」 | 適切な支援がないと、社会的コミュニケーションの欠陥が目立った機能障害を引き起こす。 対人的相互反応を起こすことが困難であるし、他者からの対人的申し出に対して非定型のまたはうまくいかない反応をするような事例がいくつもはっきりとある。対人的相互反応への興味が低下しているように見えることもある。例えば、完全な文章で話しコミュニケーションに参加することができるのに、他者との会話のやりとりに失敗したり、友人を作ろうとする試みが奇妙でたいていううまくいかないような人 | 行動の柔軟性のなさが、1つ以上の状況で機能することに著しい妨げとなっている。いろいろな活動相互で切り替えをすることの困難さ、組織化や計画の立案をすることでの問題（自立を妨げている） |

資料 3 基本感情表情に対応する活動単位 (Action Unit: AU) の組み合わせ

(Ekman & Friesen,1978 より改変して引用)

| 感情表情 | 活動単位 (AU) |
|------|---|
| 喜び | <ul style="list-style-type: none"> ■ AU 6 (頬を上げる) +AU 12 (口角をつり上げる) ■ AU 12C/D (口角をつり上げる) |
| 驚き | <ul style="list-style-type: none"> ■ AU 1+2 (両眉を上げる) +AU 5B (目を見開く) <ul style="list-style-type: none"> ➤ +AU 26 (口を開ける) ➤ +AU 27 (口を大きく開ける) |
| 恐れ | <ul style="list-style-type: none"> ■ AU 1+2 (両眉を上げる) +AU 4 (両眉を中央に寄せる) <ul style="list-style-type: none"> +AU 5 (目を見開く) ±AU 20 (口角を横に引く) +AU 25/26/27 (唇を開く～口を大きく開ける) |
| 悲しみ | <ul style="list-style-type: none"> ■ AU 15B (口角を押し下げる) ±AU 54 (頭部を前に傾ける) <ul style="list-style-type: none"> +AU 64 (視線を下方向に向ける) ➤ AU 1+4 (眉の内側を上げて寄せる) ±AU 11 (鼻唇溝を深める) ➤ AU 6 (頬を上げる) |
| 怒り | <ul style="list-style-type: none"> ■ AU 4 (両眉を中央に寄せる) +AU 5 (目を見開く) <ul style="list-style-type: none"> +AU 7 (瞼に力を入れる) ➤ +AU 10 (上唇を上げる) ±AU 22 (唇を前に突き出す) <ul style="list-style-type: none"> +AU 23 (唇を硬くする) +AU 25/26 (唇を開く～口を開ける) ➤ +AU 23 (唇を硬くする) +AU 25/26 (唇を開く～口を開ける) ➤ ±AU 17 (頤を上げる) <ul style="list-style-type: none"> +AU 23/24 (唇を硬くする/唇を押し合わせる) |
| 嫌悪 | <ul style="list-style-type: none"> ■ AU 9 (鼻に皺を寄せる) ■ AU 9/10 (鼻に皺を寄せる/上唇を上げる) <ul style="list-style-type: none"> +AU 16 (下唇を押し下げる) +AU 25/26 (唇を開く/口を開ける) ■ AU 9/10 (鼻に皺を寄せる/上唇を上げる) +AU 17 (頤を上げる) ■ AU 10 (上唇を上げる) |

資料 4 FaceReader の顔認識および表情推定機能についての説明
(FaceReader version 6.1 Reference Manual より)

1.1 An introduction to FaceReader

FaceReader is a program for facial analysis. It can detect emotional expressions in the face. It can identify six basic emotions: happy, sad, angry, surprised, scared, disgusted and a neutral state. Additionally, it can detect contempt (an expression in which one corner of the lips is tightened and slightly raised), facial states (left and right eye open or closed, mouth open or closed and eyebrows raised, neutral or lowered), the test participant's global gaze direction and track the head orientation. FaceReader also analyzes the valence, which indicates whether the person's emotional status is positive or negative, and arousal, which indicates how active the person is. FaceReader can also indicate the person's gender, age, ethnicity, the amount of facial hair (beard and/or moustache) and whether the person is wearing glasses or not. The software can also identify the subject.

FaceReader data can be imported into The Observer XT, the leading software package for the collection, analysis and presentation of observational data. This enables you to integrate FaceReader data with other data, such as manually logged events, physiological data and eye tracker data and to analyze the full context. For instance, what user interface is the test participant looking at and what part triggers an emotion.

FaceReader can be used in a wide range of research areas:

- **Psychology** — How do people respond to particular stimuli, e.g. in cognitive research.
- **Education** — Observing students' facial expressions can support the development of educational tools.
- **Human-computer interaction** — Facial expressions can provide valuable information about user experience.
- **Usability testing** — Emotional expressions can indicate the ease of use and efficiency of user interfaces.
- **Market research** — How do people respond to a new commercial's design?
- **Consumer behavior** — How do participants in a sensory panel react to a presentation?

HOW DOES FACEREADER WORK?

The main challenge in the analysis of facial expressions is how to deal with variance in pose/orientation and lighting of the face. The solution that FaceReader uses, is to classify faces in three consecutive steps. Please see reference [1] - [3] on page 12 for more information.

1. **Face finding** — The position of the face in an image is found using a method called the Viola Jones cascaded classifier algorithm, which was developed for finding the face in images [4].

2. **Face modeling** — In this step, a model-based method is used, called the Active Appearance Model (AAM) [5], to synthesize an artificial face model, which describes the location of 500 key points in the face and the facial texture of the area entangled by these points. The model uses a database of annotated images and calculates the main sources of variation found in the images. Principal Component Analysis compression is used to reduce the model dimensionality. New faces can then be described as deviations from the mean face, using a vector.

3. **Face classification** — The actual classification of the facial expressions is done by training an artificial neural network [6], which takes the above vector as input. As training material over 10000 manually annotated images were used. The network was trained to classify the six basic or universal emotions described by Ekman [7]: happy, sad, angry, surprised, scared, disgusted and a neutral state.

FaceReader can recognize facial expressions with an accuracy of 90%. For some emotions the accuracy is higher, for others lower (Figure 1.1).

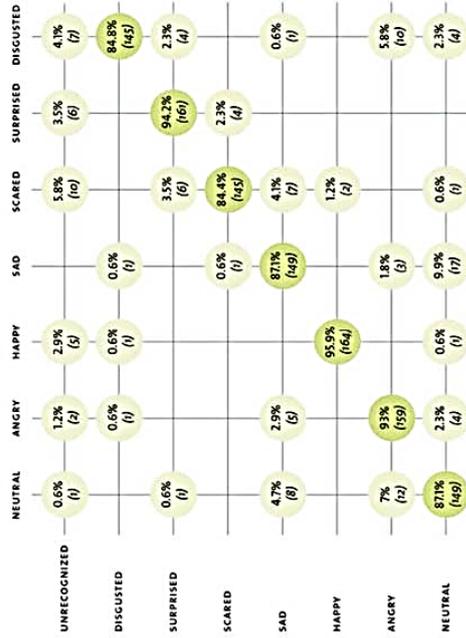


Figure 1.1 Horizontally: emotional expressions scored manually by the annotators of the Radboud Faces Database (8.9). Vertically: expressions scored by FaceReader (version 4) [1,2].

REFERENCES

1. H. van Kuilenburg, M. Wiering, and M.J. den Uyl. A Model Based Method for Automatic Facial Expression Recognition. *Proceedings of the 16th European Conference on Machine Learning, Porto, Portugal, 2005*, pp. 194-205, Springer-Verlag GmbH.
2. M.J. den Uyl and H. van Kuilenburg. The FaceReader: Online Facial Expression Recognition. *Proceedings of Measuring Behavior 2005, Wageningen, The Netherlands, August 30 - September 2, 2008*, pp. 589-590.
3. H. van Kuilenburg, M.J. den Uyl, M.L. Israël and P. Ivan. Advances in face and gesture analysis. *Proceedings of Measuring Behavior 2008, Maastricht, The Netherlands, August 26-29, 2008*, pp. 371-372.
4. P. Viola and M. Jones. 2004. Robust Real-time Face Detection. *International Journal of Computer Vision* 57(2), 137-154, 2004.
5. T. Cootes and C. Taylor. Statistical models of appearance for computer vision. Technical report, University of Manchester, Wolfson Image Analysis Unit, Imaging Science and Biomedical Engineering, 2000.
6. C.M. Bishop. *Neural Networks for Pattern Recognition*. Clarendon Press, Oxford, 1995.
7. P. Ekman. Universal facial expressions of emotion. *California Mental Health Research Digest*, 8: 151-158, 1970.
8. G. Bijlstra and R. Dotsch (2011). FaceReader 4 emotion classification performance on images from the Radboud Faces Database. Unpublished manuscript retrieved from <http://www.gijsbijlstra.nl/> and <http://ron.dotsch.org/>.
9. O. Langner, R. Dotsch, G. Bijlstra, D.H.J. Wigboldus S.T. Hawk, and A. van Knippenberg (2010). Presentation and validation of the Radboud Faces Database. *Cognition and Emotion*, 24(8), 1377-1388.

SAMPLE PROJECT

The FaceReader installation disc contains an example project FaceReader 6 sample project. The pdf-file Description of FaceReader 6 sample project describes the features that you can view in the project.

LIMITATIONS OF THE CURRENT VERSION

The current FaceReader version has a number of limitations. It is good to keep these in mind when you start working with FaceReader.

- FaceReader is currently not trained to work with very young children, below the age of 3.
 - FaceReader is not yet trained for analysis of children from East Asia and South-East Asia. FaceReader works well with other children and East Asian and South-east Asian adults.
 - Glasses may hinder classification. Especially thick and dark frames can reduce performance significantly. It may be useful to have a number of rimless reading glasses available in a few strengths when you carry out a test. A polarization filter on the camera can help to avoid reflections in the glasses.
 - Pose, movement and rotation of the test person are limited. The test person should stand or sit and look frontally into the camera (angle < 40°)
 - FaceReader requires strict light conditions. Please see page 30 for more information.
 - The face should not be partially hidden, for instance by a hat or very heavy facial hair. It is also very difficult to classify a person's facial expressions when he/she is eating, because the person's hand covers part of the face when he/she puts food in the mouth and the muscles in the face move.
 - FaceReader can analyze one face at once. If there are more faces in an image, these can be analyzed in different runs, provided that the positions do not change significantly.
- Please contact us if any of the limitations above impede your research.

MOUSE CONTROL

Some features of FaceReader are controlled with mouse clicks. If you do not have a mouse, you can use a mouse-emulator like NeatMouse to use those FaceReader functions. You can download NeatMouse for free from <http://neatdecisions.com/products/neatmouse/>.

| | |
|--|---|
| <p>(資料1)</p> <p style="text-align: center;">研究参加者の皆様へ</p> <p style="text-align: center;">研究課題「行動観察の定量化・客観化による精神疾患・発達障害の研究</p> <p style="text-align: center;">研究</p> <p style="text-align: center;">へのご協力をお願い</p> <p>【研究の概要】 行動観察の定量化・客観化による精神疾患・発達障害の研究</p> <p>【研究機関名及び研究責任者氏名】 この研究が行われる研究機関と研究責任者は次に示す通りです。 研究機関 東京大学大学院医学系研究科 精神医学分野 研究責任者 山本英典 精神医学分野 准教授 研究責任者は、データ収集・匿名化・データ解析・成果発表を担当します。</p> <p>【共同研究機関】 自然科学研究機構・生理学研究所がデータ解析の一部を担当します。</p> <p>【研究目的】 精神疾患や発達障害の症状の重症さを評価する際には、行動や仕草や表情などに現れる特徴を観察する医師や心理士が観察に基づいて評価することが大切な部分を占めています。しかし、こうした評価は客観的かどうかや正確で安定しているかどうかなどの点では完全ではありません。そのため、症状のメカニズムや原因を研究する場合には、心理検査の成績などによって、症状の重症さをおおよそ表す指標として使うことが多々現れ、信頼性が低く、症状の重症さを客観的に評価することができません。そこでこの研究では、人と接する場面などに現れる行動や重心の変化や表情や視線や話などを記録して細かく正確に解析する技術を使って、精神疾患や発達障害と診断される方とそうでない方を比較します。それによって、症状そのものを客観的に正確に安定して評価出来る方法を開発することを目的とします。</p> <p>【研究方法】 症状を評価する面談の20-30分間、表情や視線や話を録音機能付きのビデオカメラ・眼球運動計測システムなどを用いて記録します。重心の変化の計測については、重心動揺計という装置の上に立って、参加者同士でみつつあつてもらいます。この装置を1回あたり1分間で4回繰り返して、その間の重心の変化を記録します。こうして記録した表情や視線や話や重心の変化についてのデータを解析して、精神疾患や発達障害と診断される方とそうでない方を比較します。別の機会に腹のMRI検査(受付番号397-(7)、1350-(9)、承認済み)を受けて頂いた場合には、こうした行動観察から記録したデータとMRIから解析した腹の形や大きさや働き方の特徴の関係を調べます。</p> <p>2. 研究協力者の任意性と撤回の自由 この研究にご協力いただくかどうかは、研究参加者の皆様の自由意思に委ねられていきます。もし同意を撤回された場合は、同意撤回書に署名し、研究責任者にご提出ください。なお、研究にご協力いただいた場合にも、皆様の不利益につながることはありません。</p> | <p>研究期間中にご本人の申し出があれば、いつでも集めた資料等及び調べた結果を廃棄します。</p> <p>3. 個人情報の保護 この研究に関わる成果は、他の関係する方々に漏えいすることのないよう、慎重に取り扱ふ必要があります。あなたの情報・データは、分析する前に氏名・住所・生年月日などの個人情報を削り、代わりに新しく符号をつけ、どなたのものか分からないようにした上で、当研究室において厳重に保管します。ただし、必要な場合には、当研究室においてこの符号を元の氏名などに戻す操作を行うこともできます。</p> <p>4. 研究結果の公表 研究の成果は、あなたの氏名など個人情報明らかにならないようにした上で、学会発表や学術雑誌及びデータベースなどで公表します。あなたの結果については、個人レベルで解析結果を出すことは技術的に困難で行うことが出来ないため、個人的にお問い合わせがあった場合にも公表した全体の結果をご説明します。</p> <p>5. 研究参加者にもたらされる利益及び不利益 この研究が、あなたに直ちに有益な情報をもたらす可能性は高いとはいえません。しかし、この研究の成果は、今後の精神疾患や発達障害の研究の発展に寄与することが期待されます。したがって、将来、あなたに症状のしくみの解明や治療方法の提供の面で利益をもたらす可能性があります。</p> <p>本研究で用いる装置はいずれも人体に危害を与える心配がないものです。ただし、重心の変化を測る時には30cm程度の距離で面談のない人と見つめあつても構いませんので、不安感などを引き起こすことがあるかもしれません。そのような不安感が軽くなる様に、みづみづあひ時間を出来るだけ短い時間に設定していますが、検査中は常に精神科医最低1名が立ち会って、もしも調子が悪くなってしまう場合にも、すぐに対応できる体制を整えています。</p> <p>6. 研究終了後の資料（試料）等の取扱方針 あなたが提供した資料等は、この研究のためにのみ使用します。しかし、もしあなたが同意してくだされれば、将来の研究のための貴重な資源として、研究終了後も引き続き保管します。符号により誰の資料等かが分からないようにした上で、使い切られるまで保管します。なお、将来、当該資料等を新たな研究に用いる場合は、改めて東京大学医学部倫理委員会承認を受けた上で用います。</p> <p>7. あなたの費用負担 今回の研究に必要な費用について、あなたに負担を求めることはありません。なお、あなたへの謝金は、交通費込みで約3000円を支払わせて頂きます。</p> <p>8. その他 この研究は、東京大学医学部倫理委員会承認を受けて実施するものです。なお、この研究に関する費用は、科学研究費補助金 若手研究 (A) 代表者：山本英典や文部科学省「脳科学研究戦略推進プログラム」拠点費：新野万伸から支出されています。ご意見、ご質問などがございましたら、お電話にて下記までお寄せください。</p> <p style="text-align: right;">年 月 日 【連絡先】 研究責任者・連絡担当者：山本英典 〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学大学院医学系研究科 講座名 精神医学 Tel: 03-5800-9263 Fax: 03-5800-6894</p> |
|--|---|

(資料2)

同意書

東京大学医学系研究科長・医学部長 殿

研究課題「行動観察の定量化・客観化による精神疾患・発達障害の臨床研究」

私は、上記研究への参加にあたり、説明文書の記載事項について、
から説明を受け、これを十分理解しましたので本研究の研究参加
者となることに同意いたします。

以下の項目について、説明を受け理解しました。

- この研究の概要について
- 研究協力の任意性と撤回の自由について
- 個人情報保護の保護について
- 研究結果の公表について
- 研究参加者にもたらされる利益及び不利益について
- 研究終了後の資料（試料）等の取扱方針について
- あなたの費用負担について
- その他について

また、私に関わる資料（試料）等は、将来、新たに計画・実施される研究のために、長
期間の保存と研究への使用に同意いたします。

はい いいえ

(本研究終了後も保存)

(本研究終了時に廃棄)

平成 年 月 日

氏名（研究参加者本人または代諾者）（自署） _____

（代諾者の場合は、本人との関係） _____

同意撤回書

東京大学医学系研究科長・医学部長 殿

研究課題「行動観察の定量化・客観化による精神疾患・発達障害の臨床研究」

私は、上記研究への参加にあたり、説明文書の記載事項について説明を受け同意しまし
たが、同意の是非について再度検討した結果、同意を撤回いたします。

資料（試料）等の保存について（これまでの同意の状況）：「はい」または「いいえ」にご自身で○を付けてください。
提供した資料（試料）等が、長期間保存され、将来、新たに計画・実施される研究に使用されることに同意しました。

はい いいえ

(本研究終了後も保存)

(本研究終了時に廃棄)

資料等の保存について（同意の撤回）：

「はい」または「いいえ」にご自身で○を付けてください。
提供した資料（試料）等が、長期間保存され、将来、新たに計画・実施される研究に使
用されることへの同意を撤回いたします。

はい いいえ

(本研究終了後も保存)

(本研究終了時に廃棄)

平成 年 月 日

氏名（研究参加者本人または代諾者）（自署） _____

（代諾者の場合は、本人との関係） _____

| | |
|--|---|
| <p>(資料1)</p> <p>研究参加を希望される方へ</p> <p>研究課題 「行動観察の定量化・客観化による精神疾患・発達障害の研究」</p> <p>研究</p> <p>へのご参加について</p> <p>1. この研究の概要</p> <p>【研究課題】 行動観察の定量化・客観化による精神疾患・発達障害の研究</p> <p>【研究機関】 研究機関名及び研究責任者氏名 この研究が行われる研究機関と研究責任者は次に示す通りです。 研究機関 東京大学大学院医学系研究科 精神医学分野 研究責任者 山末英典 精神医学分野 准教授 研究責任者は、データ収集・匿名化・データ解析・成果発表を担当します。</p> <p>【共同研究機関】 自然科学学術機構・生理学研究所がデータ解析の一部を担当します。</p> <p>【研究目的】 精神疾患や発達障害の症状の重症さを評価する際には、行動や仕草や表情などに現れる特徴を訓練を受けた医師や心理士が観察に基づいて評価することが大切な部分を占めています。しかし、このようにした評価は客観的かどうかや正確で安定しているかどうかなど点では完全ではありません。そのため、症状のメカニズムや原因を研究する場合には、心理検査の成績などによって、症状の重症さを客観的に評価して使うことが多いため、現時点にありまが、症状の重症さそのものにはありません。そこでこの研究では、人と接する場面などに現れる行動や表情や音声や表情的な特徴や音声などを記録して細かく正確に解析する技術を使って、精神疾患や発達障害と診断される方とそうでない方を比較します。それによって、症状そのものを客観的に正確に安定して評価出来る方法を開発することを目的とします。</p> <p>【研究への参加をお願いしたい方々】 心身ともに健康な方（10歳以上60歳未満）男女（最大で40名）</p> <p>【研究参加者となる方々が行うこと】 担当する医師又は心理士との面談の20-30分間、表情や視線や話を録音機付きのビデオカメラ・眼球運動の計測システムなどを用いて記録します。重心の変化の計測については、重心動揺計という装置の上に戻り、参加者同士でみつめあっても構いません。この状態を1回あたり1分間で4回繰り返して、その間の重心の変化を記録します。こうして記録した表情や視線や音声や重心の変化についてのデータを解析して、精神疾患や発達障害と診断される方と比較します。別の機会に別のMRI検査（受付番号 397-(7)、1350-(3) 承認済み）を受けて頂いた場合には、こうした行動観察から記録したデータと MRI から解析した脳の形や大きさや働き方の特徴の関係を調べます。</p> <p>2. 研究協力の任意性と撤回の自由</p> | <p>この研究にご協力いただくかどうかは、研究参加者の皆様の自由意思に委ねられています。もし同意を撤回される場合は、同意撤回書に署名し、研究責任者にご提出ください。なお、研究にご協力いただけない場合にも、皆様の不利益につながることはありません。研究期間中にご本人の申し出があれば、いつでも集めた資料等及び調べた結果を廃棄します。</p> <p>3. 個人情報の保護 この研究に関わる成果は、他の関係する方々に漏えいすることのないよう、慎重に取り扱います。あなたの情報・データは、分析する前に氏名・住所・生年月日などの個人情報を削り、代わりに新しく符号をつけ、どなたのものか分からないようにした上で、当研究室において厳重に保管します。ただし、必要な場合には、当研究室においてこの符号を元の氏名などに戻す操作を行うこともできます。</p> <p>4. 研究結果の公表 研究の成果は、あなたの氏名など個人情報明らかにならないようにならぬよう、学会発表や学術雑誌及びデータベース上で公表します。あなたの個人の結果については、個人情報で解析結果を出すことは技術的に困難で行うことが出来ないため、個人的にお問い合わせがあった場合にも公表した全体の結果をご説明します。</p> <p>5. 研究参加者にもたらされる利益及び不利益 この研究が、あなたに直接的に有益な情報をもたらす可能性は高いとはいえません。しかし、この研究の成果は、今後の精神疾患や発達障害の研究の発展に寄与することが期待されます。本研究で用いる装置は、いずれも人体に危害を与えない心電図計です。ただし、重心の変化を測る時には30cm程度の距離で面談のない人と見つめあっても構いません。不快感などを引き起こすことがあるかもしれませんが、検査中は常に精神科医最低1名が立ち会って、もしも調子が悪くなったら中止していただきます。</p> <p>6. 研究終了後の資料（試料）等の取扱方針 あなたが提供した資料等は、この研究のためにのみ使用します。しかし、もしあなたが同意していただければ、得られた研究の貴重な資源として、研究終了後も引き続き保管します。符号により誰の資料等かが分からないようにした上で、使い切られるまで保管します。なお、将来、当該資料等を新たな研究に用いる場合は、改めて東京大学医学部倫理委員会の承認を受けた上で用います。</p> <p>7. あなたの費用負担 今回の研究に必要な費用について、あなたに負担を求めるとはなりません。なお、あなたへの謝金は、交通費込みで約3000円を支払わせて頂きます。</p> <p>8. その他 この研究は、東京大学医学部倫理委員会の承認を受けて実施するものです。なお、この研究に関する費用は、科学研究費補助金「若手研究(A) 代表者：山末英典や文部科学省「脳科学研究戦略推進プログラム」拠点長：若野方伸から支出されています。ご意見、ご質問などがございましたら、お気軽に下記までお寄せください。</p> <p>年 月 日 【連絡先】 研究責任者・連絡担当者：山末英典 〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学大学院医学系研究科 講座名 精神医学 Tel: 03-5800-9263 Fax: 03-5800-6894</p> |
|--|---|

(資料2)

同意書

東京大学医学系研究科長・医学部長 殿

研究課題「行動観察の定量化・客観化による精神疾患・発達障害の臨床研究」

私は、上記研究への参加にあたり、説明文書の記載事項について、
_____から説明を受け、これを十分理解しましたので本研究の研究参加
者となることに同意いたします。

以下の項目について、説明を受け理解しました。

- この研究の概要について
- 研究協力の任意性と撤回の自由について
- 個人情報等の保護について
- 研究結果の公表について
- 研究参加者にもたらされる利益及び不利益について
- 研究終了後の資料（試料）等の取扱方針について
- あなたの費用負担について
- その他について

また、私に関わる資料（試料）等は、将来、新たに計画・実施される研究のために、長
期間の保存と研究への使用に同意いたします。

はい
(※研究終了後も保存)

いいえ
(※研究終了後に返却)

平成 年 月 日

氏名（研究参加者本人または代筆者）（自署） _____

（代筆者の場合は、本人との関係） _____

同意撤回書

東京大学医学系研究科長・医学部長 殿

研究課題「行動観察の定量化・客観化による精神疾患・発達障害の臨床研究」

私は、上記研究への参加にあたり、説明文書の記載事項について説明を受け同意しまし
たが、同意の是非について再度検討した結果、同意を撤回いたします。

資料（試料）等の保存について（これまでの同意の状況）：「はい」または「いいえ」にご自身で○を付けてください。
提供した資料（試料）等が、長期間保存され、将来、新たに計画・実施される研究に使用されることに同意しました。

はい
(※研究終了後も保存)

いいえ
(※研究終了後に返却)

資料等の保存について（同意の撤回）：

「はい」または「いいえ」にご自身で○を付けてください。
提供した資料（試料）等が、長期間保存され、将来、新たに計画・実施される研究に使
用されることへの同意を撤回いたします。

はい
(※研究終了後も保存)

いいえ
(※研究終了後に返却)

平成 年 月 日

氏名（研究参加者本人または代筆者）（自署） _____

（代筆者の場合は、本人との関係） _____

SETTINGS FOR THE CURRENT ANALYSIS

To use other than the default settings for a specific analysis, open the analysis by double-clicking it in the project explorer or clicking the magnifying glass button next to it.

Select the settings in the Settings window in the bottom-left part of your screen. Click the pencil next to a setting to edit it.

| Name | Value |
|--------------------------|-----------------------------|
| Face model | General |
| Smoothen classifications | Yes |
| Sample rate | Every frame |
| Image rotation | None |
| Continuous calibration | No |
| Selected calibration | No calibrations for General |

4.2 Selecting a face model

Before you can start analyzing facial expressions, you must select the face model that best fits the faces that you are going to analyze. You can choose from a list of four models:

- **General** – This model has been trained on a very diverse selection of images. This model works well under most circumstances for most people.
- **General161** – This is a newer version of the General model, which performs better when people tend to show biases towards a certain facial expression. We recommend to use this model if you think that General does not give good results.



If you are in the middle of a project carried out with earlier FaceReader versions, keep using the General model. This way you won't mix data obtained with the General and the General161 face models. Within one project, either use General or General161.

- If you upgraded from a previous FaceReader version, the default face model is General. However, if you click **Reset to Default** in the Settings window, then General161 becomes the new default face model.
- If you installed FaceReader for the first time, the default face model is General161.

4.1 Default and specific settings

Face analysis is based on a number of settings, like the face model and the number of frames to be analyzed.

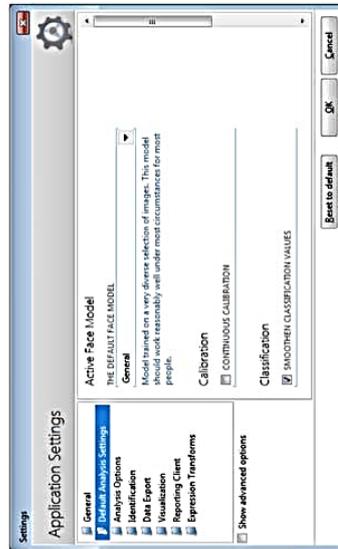
- You can keep some settings the same for all participants and analyses. For example, the video sample rate. These are **DEFAULT ANALYSIS SETTINGS** (see below).
- You can also adjust the settings for the analysis currently open on the screen. These are **SETTINGS FOR THE CURRENT ANALYSIS** (see page 51).

You can set default and current analysis settings for the following:

- **Face model** – see page 51.
- **Calibration** – see page 52.
- **Smoothen classification** – see page 173.
- **Image rotation** – see page 173.
- **Video sample rate** – see page 174.

DEFAULT ANALYSIS SETTINGS

The default settings are used for each new analysis. To set the default settings, choose **File > Settings** and then **Default Analysis Settings**.



- **Children** – Select this model if your test participants are children between the age of 3 and 10. The current FaceReader version is not well-trained for analysis of East-Asian children.
- **EastAsian** – Select this model to analyze East-Asian faces, for instance, Chinese or Japanese faces.
- **Elderly** – Select this model if your test participants are elderly from the age of 60. The model has been trained with a very diverse selection of images from people of all ethnicities.

4.3 Calibrating FaceReader

Some people look, for example, angry or sad by nature. You can calibrate FaceReader to correct for these person-specific biases towards a certain facial expression. Also your camera, or lighting conditions may cause biases that you want to correct. If you are unable to improve the set-up, you can calibrate FaceReader to correct for these biases.

There are two calibration methods available in FaceReader.

- **Participant calibration** — If you use the Project Analysis Module, do not use participant or continuous calibration. Use a stimulus to score an episode in which your test participants have a neutral expression instead.

Calibration will help to remove biases in emotional expression intensities. It will never increase those intensities.

- **Participant calibration** — Use this method if you analyze videos or images. Also use this method if you do camera analysis and the experimental setup allows capturing a neutral phase before the experiment starts.

If you use this method, you must have a video fragment, or images in which the expression of the test participant was neutral. Or, if you carry out camera analysis, you must ask the test participant to look neutral. From the neutral images, FaceReader selects the one with the lowest model error and uses the expressions other than neutral found in this image for calibration.

How participant calibration works

If you use images for calibration, FaceReader searches for the image with the lowest model error. If you use camera or video analysis, FaceReader analyzes two seconds and uses the image with the lowest model error for calibration.

If FaceReader corrects the expressions other than neutral it in the following way:

$$\text{Expression intensity} = \max \{0, (I_0 - I_c) / (1 - I_{\text{cal}})\}$$

Where I_0 is the expression intensity in the analysis and I_c is the expression intensity found in the calibration. If $(I_0 - I_c) / (1 - I_{\text{cal}})$ is lower than zero, the calculated expression intensity will be zero.

The intensity of *Neutral* is calculated in the following way:

$$\text{Intensity Neutral} = (N_0 + (1 - I_{\text{max}})) / 2$$

Where N_0 is the intensity of *Neutral* classified by FaceReader and I_{max} is the maximum intensity of all emotions in the analysis.

- **Continuous calibration** — Use this method if you carry out camera analysis and the experimental setup does not allow capturing a neutral phase before the experiment starts. This is for example the case if you start FaceReader automatically with another program.

If you use this method, FaceReader continuously adapts to a test person's bias while analyzing his/her face. The advantage of this method is that you do not need any calibration videos/images.



Only use continuous calibration if there indeed are person-specific, or setup-specific biases. If there are no biases, continuous calibration can decrease the analysis accuracy.

How continuous calibration works

FaceReader continuously averages the facial expression intensities in the analysis. It corrects for the expression intensities in the analysis other than neutral in the following way:

$$\text{Expression intensity} = \max \{0, (I_0 - I_{\text{mp}}) / (1 - I_c)\}$$

Where I_c is the expression intensity in the current frame and I_{mp} is the average expression intensity over all frames before the current frame. If $(I_0 - I_{\text{mp}}) / (1 - I_c)$ is lower than zero, the calculated expression intensity will be zero.

The intensity of *Neutral* is calculated in the analysis in the following way:

$$\text{Intensity Neutral} = (N_0 + (1 - I_{\text{max}})) / 2$$

Where N_0 is the intensity of *Neutral* classified by FaceReader in the current frame and I_{max} is the maximum average intensity of all emotions in all the frames before the current one.

PARTICIPANT CALIBRATION

Creating a new calibration

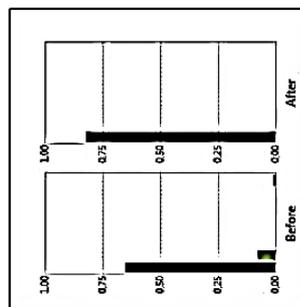
1. Make sure all analyses are closed. To close an open analysis, click the button next to it.



2. Choose Participant and then Calibrate Participant.
3. Select the correct Face Model (see "Selecting a face model" on page 51 for more information on face models).
4. Choose the calibration source:
 - Images – Select the files in which the participant looks neutral.
 - Video – Select the video file and scroll to the part where the test participant looks neutral.
 - Camera – Ask the test participant to look neutral.
5. Click the Start analysis button. When the calibration is created, the Calibration Effect field shows the facial expressions before and after calibration.

163

Calibration Effect



6. If you are not satisfied with the calibration, click the Retry with same source button and repeat step 5. When you are satisfied with the calibration, give it a name and click OK. FaceReader asks whether you want to use this calibration for all future analyses of this participant. Choose Yes if you want this.

To change a calibration for a participant, select it, choose Participant and then Set calibration as default. To delete a calibration, select it, choose Participant and then Delete calibration.

Selecting the calibration

If you choose the option to use the calibration for all new analyses of this participant in step 6 on page 54, the calibration is selected automatically. However, you must select the same face model in the analysis as was used for calibration (see step 1 on page 59). If you select another face model, FaceReader warns you that the selected calibration was not made for this face model and the calibration will be deselected. Create a new calibration with this face model.

To select the calibration manually:

1. Make sure that continuous calibration is set to No in the Analysis settings window on the bottom-left of the analysis part on your screen.
2. Click the pencil button next to Selected calibration and select the calibration from the list. To select this calibration automatically for all new analysis of a participant, open the Participant folder and then the Calibrations folder in the project explorer. Right-click the calibration and select Set Calibration as Default.

CONTINUOUS CALIBRATION

1. Open the analysis for which you want to use continuous calibration. To open an analysis, double-click it in the project explorer, or click the magnifying glass button next to it.
2. In the Settings window, that you find on the bottom-left of the analysis part on your screen, click the pencil button next to Selected calibration and select None.
3. In the same window, click the pencil button next to Continuous calibration and select Yes. This sets the Selected calibration field to Disabled.



Figure 4.1 Settings for continuous calibration