

ERATO 岡ノ谷情動情報プロジェクト事後評価（最終評価）報告書

【研究総括】 岡ノ谷 一夫（東京大学 大学院総合文化研究科／教授）

【評価委員】（敬称略、五十音順）

今井 むつみ（慶應義塾大学 環境情報学部／教授）

柏野 牧夫（委員長；NTT コミュニケーション科学基礎研究所 人間情報研究部／部長）

河原 英紀（和歌山大学 システム工学部／教授）

真鍋 俊也（東京大学医科学研究所 基礎医科学部門 神経ネットワーク分野／教授）

評価の概要

ERATO 岡ノ谷情動情報プロジェクトは、怒り・喜び・悲しみ・不安などの情動を他者に伝達する情動情報の符号化モデルの構築を目指している。情動情報が言語における構文や文法のような規則性、即ち情動文法を有しているという仮説に基づき、鳥などの鳴き声でコミュニケーションする動物と、ヒトを対象とした進化・発達過程の生物学的な解析を基礎に、計算理論的な手法を取り入れて、研究を行っている。将来的に、情動情報を付加した新しいインターネットブラウザの実現や、人の気持ちを理解して親密なコミュニケーションを行えるロボットの開発といった、新たなハードウェア、ソフトウェアの実現に繋がっていくことが期待される。

研究総括である岡ノ谷一夫博士（発足時 理化学研究所 BSI チームリーダー／現 東京大学大学院 教授）は、鳥の歌・言語の起源論研究で知られているが、情動研究に「情動文法」という新概念を取り入れ、情動統合グループ、情動モデリンググループ、情動インターフェースグループ、情動発達グループの4つのグループにより、言語、音楽、生後発達、脳活動、数理モデルなどの多岐にわたる研究テーマを発足時から進めている。研究発足当初は、「情動文法」という概念を中心に据え、情動情報の符号化モデルを構築することを目標に研究を進めようとしていたが、プロジェクトの進捗状況に鑑み、研究の方向性・遂行体制を大幅に見直し、「情動状態の遷移」の規則を解明するという方向に研究目標をシフトさせた。そのうえで、情動モデリンググループにより構築された数理解析手法による貢献を共通基盤とし、異なるグループ間の連携を強化するなど、プロジェクトの方向性の明確化と統合的な成果の創出に向けた取り組みを実施した。これにより、情動研究における多様な指標を含む計測の必然性が明らかになり、発達・進化の視点で基礎付けられたことはERATO制度の特色を活かした大きな成果であると評価できる。また、本プロジェクトは、岡ノ谷研究総括の下に、各分野で実績のあるグループリーダーと、これからを担う若手研究者が集結して、多岐にわたる新しい形の情動研究を進めており、本プロジェクトに参画した若手研究者の多くが情動に関する新たな研究室を設立したほか、数名のグループリーダーに至っては、科研費新学術領域

や日本学術会議等、国を代表する大型国家プロジェクトを推進する立場に着任し、若手研究者の育成にも大いに繋がっていると評価できる。

総合的に見ると、本プロジェクトでは、情動という複雑且つ広範な対象に対して既存研究とは異なる視点から切り込み、情動情報の符号化モデルを構築するという研究発足当初の構想を字義どおりには満たしているとはいえないものの、今後多様化するコミュニケーションにおいて必要不可欠となる情動情報の研究に活用される基盤技術の創出に向けた多数の興味深い成果を生み出しており、戦略目標「多様で大規模な情報から『知識』を生産・活用するための基盤技術の創出」の達成に資する成果が得られたと評価する。

今後は情動情報に関する実体理論をさらに深化させ、戦略的、体系的に実証していく取り組みを通じ、世界的に潮流となっている当該分野を継続的に発展させていくことを期待したい。

1. 研究プロジェクトの設定および運営

1-1. プロジェクトの全体構想

本プロジェクトは、生物の判断や行動を大きく支配する「情動」という根源的且つ重要なテーマについて、心理学的性質を分析し、神経科学的メカニズムを解明することで、情動情報の表現方法を開発するという目的のもと、進化・発達という視点も取り入れながら、情動の状態遷移の計算モデルを実現しようとするものである。本プロジェクトの実施に際しては、認知心理学、発達心理学、比較神経行動学、情報科学など多岐にわたる分野の専門家を集結させ、さらに能や音楽などの芸術表現の可能性も探究するというきわめて野心的な構想に対してこれまでにない学際的な方法でアプローチするものであり、ERATO にふさわしい挑戦的且つ創造的なものであると高く評価できる。

プロジェクト当初の目標においては、「情動文法」という情動状態の遷移規則を抽出し、それを数理モデル化することを掲げていたが、情動文法という概念を明確化することの困難さ、そもそも情動に対して文法的アプローチを取ることが適切かといった点を検討した結果、情動状態を静的なものと考えず、多次元空間上を移動する点であると捉え、情動状態の遷移規則を解明するという目標にシフトしており、研究の進捗に応じた柔軟なプロジェクト目標設定がなされていると評価できる。

ただ、音楽をはじめとした芸術と情動についての研究が、全体構想の中でどのような位置づけを占めるのかといったことに対してもう少し詳細な議論が欲しかった。

1-2. プロジェクトの運営

プロジェクトの初期段階では、それぞれの専門分野で実績のあるグループリーダーの裁量に任せ、比較的自由に研究を推進していた結果、各グループリーダーの専門性を生かした多方面の研究成果が出つつある反面、グループ間の有機的連携、戦略的な統合がやや弱いように見受けられ、ERATO プロジェクト全体としてのまとまりに欠ける部分があったが、研究総

括のリーダーシップのもと、研究の方向性や遂行体制を大幅に見直し、大規模データ解析といった情動モデリンググループの貢献を共通基盤として生かすことに務め、ほとんどの研究が複数のグループにまたがるよう計画し直し、プロジェクトの適切な運営がなされていたと評価できる。

また、本プロジェクトに参画した多くの研究員が情動に関する新たな研究室を設立したほか、グループリーダーの一部は、科学研究費助成事業・新学術領域研究を始めとする、国を代表する大型プロジェクトを推進する立場に着任するなど、若手研究者の育成に大きく貢献した。これらの成果は、本プロジェクトの運営を含めた方向性が適切であったことの何よりの傍証であると評価できる。

〔研究プロジェクトの設定および運営〕 a（的確かつ効果的である）

2. 研究成果

前述の通り、本プロジェクトにおいては当初の計画が大幅に見直されており、プロジェクト内のほとんどの研究が複数のグループにまたがるような設定となっている。そのため、研究成果については、グループ毎による記載ではなく、プロジェクト内で取り組まれた研究内容ごとの記載とする。

2-1. 情動の機能と機構

2-1-1. コミュニケーションにおける情動伝達

本研究では、オンラインコミュニケーション・対面コミュニケーションそれぞれの場面における情動体験・情動理解・情動の同調についての分析のほか、オンラインコミュニケーション場面で消失してしまう情報を補完するために、計測可能な言語情報・非言語情報から実験参加者の情動を推定するマルチモーダル情動推定システムの構築に向けた検討を行った。

特に、オンラインコミュニケーションにおける情動伝達の劣化と評価者間の食い違いを多様な指標を用いて明らかにしたことは大変重要な成果である。生の対話を対照群として用いたことは適切であり、結果は現状のオンラインコミュニケーション技術そのものが不十分であることを示すものと解釈できる。これは、非言語情報を認識し、新たな情報表現を用いて認識／伝達し受け手側で情動を補完することが困難であることを意味している。

また、対面コミュニケーションにおける情動理解については、例えそれが誤解である場合が多いにせよ、互いの情動が同調しているという信念を持って対話することが可能であると結論付けている。これはコミュニケーションの最終目的は何かということを考えさせられる非常に興味深い結果である。中身はどうであれ、表面上和気藹々とやりとりが進むことか、それとも、ときには深刻な対立があろうとも互いの意見が正確に理解されることか、この問いに対してどのような態度をとるかによって、コミュニケーション支援システムの設計は全く異なったものになってくる。本研究内で構築している、計測可能な言語情報、非言語情報

から話者の情動を推定する「マルチモーダル情動推定システム」は、対面で生じるような「互いの情動が同調しているという誤解」を生じにくくするものなのか、それとも誤解をも助けにしてやりとりの円滑さを高めるものなのか、これはコミュニケーションの本質に関わる問題であり、さらなる掘り下げが望まれる。その際、マルチモーダル情動推定システムの構築と並行して、受け手による異なった解釈を許す情報表現を用いて補完するシステムを構築するという方向も検討すべきである。

さらに、本研究では「自分と相手と同じ場所を共有しているという意識があればコミュニケーションにおいて情報のバンド幅は問題ではない」という仮説が立てられている。この仮説自体は魅力的なものであるが、実効的には、「共有意識を支えるにはどれだけのバンド幅が必要か」といったような、実証可能な問題設定として建設的なアプローチすることが重要であり、今後の検討を期待したい。

2-1-2. 怒りの構成要素と状態遷移

本研究は、社会的に問題とされる怒り情動の生起に対応した生理反応パターンと、その反応の抑制について検討し、さらに怒り状態に陥る身体反応の状態遷移について明らかにしようとするものである。怒りが不快と攻撃性という2つの要素からなることを心理的、生理的な指標で捉え、その状態遷移を明らかにした研究であり、本プロジェクトで開発された解析手法が効果的に用いられていることや怒り検出装置を開発したことも含め、本プロジェクトの方向性が最もよく表された成果であると評価できる。

本研究では、怒りの生起・変遷過程について、様々な生理指標を用いた分析がなされており、怒りの認識に高い精度を示す指標が明らかになったことは、怒りの理解と同時に、怒り制御につながる重要な結果である。怒りの初期・中期・後期の段階的な遷移が明らかになり、サポートベクターマシン（SVM）全数探索により、怒りの状態遷移の認識に高い精度を示す指標が明らかになった。しかしながら、分析に用いた指標の貢献度には時間的な欠落も多く、怒りの制御に用いる際には、もう一つ上の段階で安定な振舞いを示す指標を推定することが必要である。これに関連して、怒りに対する生理反応やその状態遷移は、怒りに特異的なものか、それとも強い情動に共通するものなのか明らかにされていない。例えば他人に対する強い愛着も、接近欲求からなると考えられるが、それと怒りとを明確に判別できない限り、怒り検出装置は実用的なものになり得ない。実際の環境では、「怒りが生じたか否か」の二者択一ではなく、様々な情動が生じる可能性があり、怒りの状態遷移として述べられている各種生理反応の時間関係が、単に各神経機構の時定数を反映しているのであれば、同様の神経機構が関与する情動では似たような状態遷移が観測されるはずである。

また、本研究において様々な生理指標が用いられているが、その必然性、妥当性、言い換えれば、背後にある神経メカニズムがよくわかっておらず、あくまでもブラックボックス的に、様々な指標間の相関を分析するにとどまっている。例えば、「怒りの接近の動機付けが高まると、前側頭部の脳活動に左優勢の左右不均衡状態が生じる」という先行知見をそのまま利用しているが、これが生理学的にどのような機序によるものか不明である。また、用いられているいくつかの自律神経系の指標は、いずれも交感神経系の昂進を捉えるものではある

が、神経メカニズムはそれぞれ異なっている。それにもかかわらず、個々の詳細な神経メカニズムについては論じられていない。この点も今後の検討課題として更なる深掘りが必要である。

2-1-3. 「情動に駆動された選択行動」の強化学習による解析

本研究では、情動に駆動される意思決定、学習の過程を、強化学習モデルを基盤として実験的にデータ解析するパラダイムを世界で初めて確立したとされているが、意思決定において情動が関与するという考えは広く受け入れられているうえに、強化学習を用いたモデル化は比較的スタンダードであり、膨大な研究が行われているため、強化学習の枠組みで情動を定量的に扱おうという考え方自体はさほど目新しいものではないといえる。しかしながら、画像の快不快という情報価値を選択行動のパフォーマンスから定量化するという部分には新規性が認められる。その結果、質問用紙を用いた快・不快の評定と選択行動から推定した「報酬価値」と乖離があり、後者における快・不快には非対称性があることが明らかになった。さらに、その非対称性が獲得-損失の非対称性の進化基盤となっているという興味深い仮説を提案している。これらのオリジナリティは高く評価できる。

2-1-4. 情動の遷移

本研究は、情動の状態遷移を現象として記述するため、情動の時間的特性を考慮した実験的パラダイムを考案し、生理、心理、表出指標を用いて検討するものであり、情動の時間的文脈の影響をみるという、本プロジェクトの根幹に関わる研究項目である。

情動の時間特性を考慮した実験パラダイムを考案し、複数の指標を用いた検討により、それぞれ独自の情動の状態遷移パターンがあることを示したことは重要な成果である。ただ、「情動状態遷移規則」という概念は明確に定義されていない。「情動状態」という用語が、ある場合にはポジティブ/ネガティブのような情動カテゴリーを指しているようであり、また、別の場合には一つの情動を構成する個々の自律神経反応や中枢神経反応を指しているようでもある。さらに、情動の遷移が、異なった情動価をもつ画像の呈示などの外的要因によって引き起こされる場合には、遷移の特性は外的要因に大きく依存するはずであり、「自然な情動変化の状態遷移規則のモデル」が脳内に存在するという状況が今ひとつ分かり難い結果となっている。萌芽期の科学としては、最初に厳密な定義を作っておいて演繹的な研究をするよりも、ゆるい定義のもとで探索的にさまざまなアプローチを試みることのほうが生産的な場合もあるので、ここまでの進め方としては必ずしも間違っていないが、今後学問として確立させていく過程ではより精緻な理論化が必要である。

2-1-5. 母子相互作用

本研究では、母子の相互作用場面に焦点をあて、乳児との情動情報の動的相互作用が母親の側の情動状態の遷移にどのような影響をもたらすかを検討している。ここでも、多様な指標を用いる方法が役立っており、情動情報を含む聴覚情報と触覚情報の統合を調べるこ

とで、養育経験の個人差がその処理に密接に影響していることが明らかにされた。また、母親の実際の子供の映像を用いることにより、乳児の笑い映像という快という情動情報が、母親の生理的ストレスの上昇を抑える機能を持つ可能性を示したことは、新たな社会的支援システムの開発と社会への実装の基礎を与え得るものであり社会的意義が大きい。本プロジェクトの構想が、この問題へのマルチモーダル刺激の利用、養育者の幼児への積極的関わりへの注目、現実的な状況での実験などのユニークな取り組みと、結果としてのオリジナルな成果につながっていることは、高く評価できる。「神経学的」アプローチを標榜するのであれば、生理指標を活用するにとどまらず、神経メカニズムの観点まで踏み込んださらなる研究の深化を期待したい。

2-2. 情動の発達と進化

2-2-1. 情動の発達

本研究では、乳幼児を対象とした情動情報について、顔表情や体の動きに代表される視覚情報、発話の韻律や意味内容などの聴覚情報、その他の複数の指標を用いた分析を行い、情動の発達について検討している。ここで、情動の発達における母子相互作用の重要性は、科学的見地のみならず、子育て問題などの社会的要請からみても極めて重要な論点である。特に、情動情報が顔表情の処理に与える影響がどのように変化するかが、情動語とプロソディ、顔表情それぞれが有する情動情報の一致／不一致を組み合わせた刺激提示と、高密度脳波計による N290 と P400 の応答を調べることで明らかにされている。その結果、情動語が表出される生後 18~20 ヶ月以降ではなく、その前の 17 ヶ月において既に情動語の異種感覚統合が行われることを初めて示したことは、本プロジェクトの構想に基づくユニークな取り組みによる成果と評価できる。

人見知りの発達においても、赤ちゃんの気質調査と、視線反応計測の組み合わせが効果的に用いられている。人見知りを指標とすることで、快（接近）と不快（回避）の競合状態を検出でき、乳幼児の対人情動の計測が可能となり、発達において現れる「こころの葛藤」の理解につながり、その後の教育環境などの改良に結びつく意義がある。発達障害の早期発見と理解への貢献も期待される。

これら研究により、乳幼児と母親の相互作用が、乳幼児の情動や泣き声の発達にとって重要であることが明らかになることは、科学的には正しく且つ有益な結果であるが、本研究内容は社会的にインパクトの大きな成果が生まれる可能性を秘めているだけに、これらを社会に還元する際、容易にジェンダーとその役割に関する特定の立場の議論の材料として利用され得るものであることにも十分注意すべきである。

2-2-2. 情動の進化

本研究は、系統の異なる生物間での比較研究を通じ、我々人間の情動がどのように形成されてきたかを解明しようとする試みである。研究総括の元々の専門領域ということもあり、最も着実に成果が出ていると評価できる。ラットの扁桃体ニューロンにおいて、生得的な

「快」・「不快」と、後天的に条件付けされた「報酬（快）」・「罰（不快）」刺激の提示による神経表象の抽出を行ったところ、それら両者に共通する「快」「不快」の応答パターンを示す細胞の存在を明確に示す証拠が得られないという知見が得られ、今後取り組むべき研究課題が明確化されたといえる。また、ラットに一定時間「快」または「不快」音声を提示した後に、オペラント条件づけによる弁別課題を行わせることで情動体験の違いから生じる「情動認知バイアス」の定量的測定を試みたところ、ラットにおいても情動体験が後に提示される情動に関わる刺激の認知に影響する、いわば情動の操作が可能であることが示された。さらに、ラットの後部内側皮質が情動体験の想起に果たす機能を、行動実験、破壊実験、電気生理実験を用いて検証した結果、情動体験のエピソード記憶の所在と想起メカニズムを示す結果が得られた。本結果は、動物における情動メカニズムの神経基盤の解明につながるものであり、基礎的ではあるが、プロジェクトの構想に沿った着実な進歩である。

本研究では、人間と同様に社会構造を有し発声学習能力を有するコミュニケーションを行う鳴禽類をモデル動物として、人間の感情・情動のように複雑なものが進化してきたかについて調べているが、この戦略は、本プロジェクトを特徴付けるユニークなものであると評価できる。扁桃体に相当する鳥類の扁桃体様核の発達と、環境の状態に応じて分泌されるコルチコステロンのレベルと扁桃体様核の発達の関係の解明は、ヒトの情動や言語の進化について、示唆するところが大きい。ただし、モデル動物での知見を人間の言語機能や情動に接続しようとする、総括自身も十分に認識している通り、いくつかの本質的問題を避けて通れない。それらの問題について慎重に検討を重ねつつ、研究を深化させていくことを期待したい。

2-2-3. 情動発現の脳動態

本研究では、さまざまな実験パラダイムにおける脳計測に基づいて情動の状態遷移や関連部位を明らかにしようとしている。

あくびを用いて共感の時間的・空間的遷移を調べた研究では、ヒトが他者のあくびと単純な口開け動作を見ている際の事象関連電位（event-related potential; ERP）の発生源の推定と、脳波の計測は、情動的な共感反応が脳の前頭部にある下前頭回（inferior frontal gyrus ; IFG）を発生源に持つこと、認知的な共感反応が脳のより内側の腹内側前頭前皮質（ventromedial prefrontal cortex ; vmPFC）にあること、ミラーニューロンシステム（MNS）は口開けという両者に共通の動作に反応しており差がないこと、時間的には、情動的な共感が認知的な共感に大きく先行することを示している。これらは、妥当で着実な知見の蓄積と考えられる。

ヒトを対象としたfMRI計測実験による情動と意思決定の関係性に関する研究においては、情動が社会的意思決定に影響を及ぼすことを示した。また、後部帯状回の活動度が、設定した情動の条件により相関の程度が変化することから、後部帯状回は情動が社会的意思決定に影響を与える際に、主要な役割を担っているということを示唆している。この結果は、情動が動物と共通する神経基盤の上に成り立っていることを明らかにしたものと評価できる。なお、同様のfMRI計測実験による、社会的意思決定における個人差と情動の関わりに関する研究においては、相手に対する印象により、意思決定の個人差に帰与する脳部位が異なるとい

う新規性のある結果を得ている。これは、コミュニケーションにおける情動の役割を考える際に重要であると評価できる。

学習内容や学習量は同一だが、達成感を与える回数が異なる2種類のプログラムを、性別や知能レベル等に有意差がない2群にそれぞれ実施し、学習継続力、日々の達成感・満足感の計測及び、学習前後の機能的・解剖学的脳の可逆変化について検討した研究結果からは、目的達成力の個人差の背景にある脳構造の発達を人為的に制御できる可能性が示唆されている。

しかしながら、意思決定と情動の関係をより大きなスコープで捉えたときに、後部帯状回と線条体は独立に別の機能を担っているのか、相互に作用しているのかなど、意思決定と情動の関係、その背後にあるネットワークとしての働きについて統合的な理論につながるだけの説得力ある結果は、まだ見えていないように思われさらなる研究の深化を期待したい。

2-3. 芸術・社会と情動

2-3-1. 情動と芸術

能や音楽など芸術にまで対象を広げて野心的な研究を展開している。特に脳波音楽は異彩を放っており、科学と芸術の融合という観点からも面白い試みである。これは、異なる情動価を持つ4種類の和音をあらかじめ設定し、本研究内で開発した、各和音の想起により発生する脳波パターンを機械的に弁別するブレイン・マシン・インターフェース（BMI）を利用することで楽音を自動生成するものであるが、音楽という土俵でなければさほど目新しいものではないかもしれない。この試みの意義は、それよりももっと思想的な部分にあると考えられ、音楽から筋肉運動を経た身体運動を取り去って果たして音楽が成立するか、もしくは、身体表象なしに情動伝達が成立するかといった極めて根源的な問いに挑戦しようとしており、身体なき情動伝達の可能性を問いかけるという大変興味深い取り組みである。情動インターフェースのシステムを本プロジェクトにおいて現時点で最も具体的な形で実装しているのはこの脳波音楽であり、実体があることのインパクトは大きい。

その他、能面が伝える情動の研究では、能面の傾きとその表情の評定において伝統的規則とは逆の傾向が認められたこと、上下方向に傾けられた能面は顔の各部位が異なる表情を表出する「情動キメラ」となっていること、影のみで能面の表情判断が変化することなどの興味深い結果が得られている。ただ、このテーマが情動理解の理論構築にどのように寄与するのかについてはもう少し説明が欲しい。

また、メロディ構造の複雑性を操作するシステムによる聴取実験を通じた、音楽構造の階層性と音楽情動の関係性分析においては、音楽情動が高階層にある音楽構造の複雑性と相関することが示されており、より進んだ研究の手がかりとなることが示されたほか、音楽と代理感情に関する研究では、音楽について認知された情動と聴き手が実際に体験した情動が、情動の種類により異なることが示され、今後、感情の仕組みを探るための研究につながることを期待できる。

2-3-2. 情動と社会

本研究は、風評被害や精神修養による至高体験など社会的関心の高いテーマを取り上げ、それらと情動との関係を分析したものである。風評被害は、本プロジェクトの目標として挙げられていた、インターネット上のコミュニケーションで情動情報の欠如が個人の意思決定や社会にどのような影響をもたらすかという問題に直接に関わる問題であるので、このテーマを掘り下げ、さらには、悪い風評を閲覧しているときとポジティブな内容の情報を閲覧しているときの脳機能計測データの比較なども行うと、当初に掲げられた問題に対してより直接的に言及できたのではないかと考えられる。

個別の研究項目について評価すると、風評被害に関する研究では、性的な情報によって引き起こされた情動が、短い学習時間であってもその情報と結びつけられた顔に対する処理を促進することが示された。このような風評被害を生じさせる基盤に低次な情報処理の影響があることを示したことは重要である。

また、精神修養による至高体験の研究では、ヨガの実践者を対象とした質問紙調査と、瞑想中の自律神経計測により、実践に伴うマインドフルネスや幸福感の増大とネガティブな情動の低下に相関が認められている。また、併せて特有の自律神経制御が示唆されている。これらは、社会的ストレスの低下を導く方法の研究につながり、社会的価値が高いと評価できる。

2-4. 開発物

2-4-1. 情動データベース

本プロジェクトにおいては、我が国の成人で年齢、性別、表出感情の強度の異なる系統的な感情表出表情映像の大規模なデータベースや、話者の表出行動及び生理反応を対象としたマルチモーダル感情表出コーパスを構築した。これだけの規模のデータベースを構築するのは大変なコストが掛かるため、公開されて多くの研究者に利用されるようになると、当該分野の発展に大きく貢献すると共に重要な研究基盤としての活用が期待できる。

2-4-2. 新生児用光トポグラフィープローブ

本プロジェクトで開発された新生児用の光トポグラフィー全頭型プローブにより、出生直後の満期産児、早期産児を対象とした脳計測が可能となり、胎内での感覚運動経験が生後の認知発達に果たす役割や出生直後の母子相互作用の脳内メカニズムなどを解明するうえで重要な知見をもたらすと期待されるほか、周産期における脳発達の評価手法の基盤として重要な技術になることが期待される。

2-4-3. 怒り測定システム

本プロジェクトで開発された「怒り測定システム」では、中枢神経系反応及び自律神経系反応に基づき、怒りの攻撃性を抽出して認識することができるため、怒りの攻撃性を怒りの不快感から区別して認識することが可能である。これは、他の類似発明と比較して技術的優位性を有していると評価できる。このような感情認識システムにおいて問題となるのは信頼

性であり、怒りの検出率や他の感情の誤検出率（怒りと他の感情との判別率）の定量的評価等、性能評価を追求することでさらなる高信頼システムの実現が期待できる。

2-4-4. 情動喚起システム

本プロジェクトで開発された「情動喚起システム」は、より現実場面に近い形の情動体験を可能にするため、大画面且つ高解像度の情動喚起のシステムを構築し、実生活での情動反応に近い多様な情動を喚起するための実験室環境を考案するものである。実験室環境で生の情動を喚起することを可能にしたことは研究推進の強力な基盤となっており、競合する研究グループに大きく先行するものであると評価できる。本プロジェクト内では、高解像度大画面モニターとドライビングシミュレーターを組み合わせた VR システムとしての実験環境を構築しているが、今後は現実では体験し得ない様々な情動体験の呈示の可能性が示されることで、さらなる情動研究の発展に寄与することを期待したい。ただし、この分野の技術進歩は急速な発展を遂げているため、本システム自体の競争優位性が急速に失われていくことに注意しなければならない。

2-5. 解析手法

本プロジェクトでは、大規模データ解析を活用することを目的の一つに置いており、情動研究において質的に異なる指標を同時に計測して解析する手法がいくつか構築された。計測装置から得られる高次元データを効率的に処理して意味のある情報を抽出するというのは、情動のみならず幅広い分野で共通の課題となっており、いわゆる「ビッグデータ」解析の分野では各種手法が提案されている、そのような中で、情動モデリンググループでは、教師あり、教師なしの両方の枠組みで、計算量爆発を回避しながら遺漏なく部分空間を探索する手法を提案した。それらの手法は、本プロジェクトの他グループの成果（脳波音楽の判別器、情動評定、情動表象の自動抽出など）にも貢献している。特に、スパース情報表現において、SVM 全数検索は究極の正解を与える手法であり、その正解を基準とすることで、レプリカ交換モンテカルロ法の有効性を確実に保証することができる。この組み合わせは、類似の分野での研究のための強力な基盤を提供する。

本プロジェクト内で開発された解析手法は、情動という枠を取り外しても大規模データ解析手法として一般性をもつ情報処理技術であり、戦略目標「多様で大規模な情報から『知識』を生産・活用するための基盤技術の創出」の実現に向けて重要な貢献をしていると評価することができる。今後は利用しやすいツールとして、あるいは、Python、R などの広く普及している利用基盤の上のライブラリーとして提供することで、将来の新しい流れを生み出す基盤となることを期待したい。

以上に基づき研究成果を俯瞰すると、本プロジェクトの研究では、多様な分野の専門家の集結、芸術等への展開などを通じて野心的な試みがなされ、専門家、非専門家向けのシンポジウム開催やメディア、講演・著書などを通じて、国民への情報発信は適切に行われている

ものの、真に独創的なインパクトのある成果が出たかといわれるとやや弱く、全体として情動の分野に新しい理論を提供し、新たな分野を開拓したとまでは言い切れないように思われる。現代におけるインターネットを介したコミュニケーションの場で、情動情報が欠落していることから生じるコミュニケーション上の齟齬が生じる問題が指摘され、本プロジェクトがその解決に貢献するということであつたが、それを本気で考えるなら、基礎研究であつてもその問題に直接的に寄与し、収束していくような構想を実施するのも一案だつたといえる。とはいえ、研究総括の大きな構想の下で、異分野の連携から情動研究における多様な指標を含む計測の必然性が明らかになり、発達・進化の視点で基礎付けられたことは ERATO 制度の特色を活かした活動の成果であると評価することができ、計画当初の情動文法という硬い構造から、情動の状態遷移という柔らかな枠組みへの方向転換は、多様な指標を含む計測と整合しているといえる。この方向転換が各グループ間の生産的な相互作用を創出し、情動の状態遷移の内部構造や依存関係の研究という、学術的にも応用的にも重要な発展につながったことは大いに評価できる。

科学技術的側面から判断すると、国際誌を中心に多数の論文が公刊されており十分なクオリティに達している研究は多数存在するものの、新たな研究の潮流をつくるような研究というよりは、従来研究の継承発展という印象のものが多い。とはいえ、多様な指標を用い一連の実験に関しての大規模データ処理向けに開発された方法を用いた解析が、情動研究において強力な手法であることを実証したほか、進化の研究と比較モデルとしての鳴禽類の利用により、動物の情動から人間の情動と言語の出現による感情までの神経基盤について、有力な理解の枠組みを提案するなど、科学技術的に重要な意義を持つ多くの成果を創出してきたことは大きく評価できる。世界的には情動や社会性に関する研究は極めて盛んであり、ハイインパクト誌上でも報告が相次いでいる。その中で研究チームが存在感を出していくためには、より斬新な切り口のもと研究を推進していくことが求められるであろう。

産業・社会的側面について、今後はますます非対面型のコミュニケーション手段が発達し、急速に一般化していくと想定され、非言語的な情動情報をいかに符号化し伝送するかという問題の重要性はいっそう高まっていくと考えられる。また、自動車や家電などのインテリジェント化に伴って、機械が人間と情動的なコミュニケーションをする技術に対する要請も高まるであろう。本研究において、情動のチャンネルの実体を明らかにし、その計測・評価・予測の基盤を明らかにしたことは、システムの開発と普及に要する時間を考慮すると、時機を得た成果であると評価できる。今後のさらなる研究を通じ、情動情報を適切に定量化し処理する手段が確立すれば、確実に新たな産業的・経済的価値や社会的価値の創出に帰与し、国民生活を発展せしめるものへとつながる。

本プロジェクト内で得た情動の発達に関する様々な知見は、養育・教育への応用可能性を有しており、本プロジェクトの成果に基づいた社会的装置の実装を通じて社会的価値を生み出す。また、正直な信号としての情動及びそれと言語との相互作用は、養育者のストレスを軽減するメカニズムの実装や、乳児の発達の支援にもつながる社会的価値の高い応用を生み出すことが期待される。さらに、本プロジェクトの情動モデリンググループの成果は、情動情報のような高次元データを処理するうえで不可欠な効率的手法の提案であり、特定の対

象によらず広い応用可能性を秘めている。また、行動実験と非侵襲脳計測をつなぐ情動の数理モデリング手法も発展が見込まれる。

その一方で、情動喚起システムや情動検知システムなどは、現在の技術水準に比べて十分に先行しているとは言えず、実用的なシステム開発にはかなりの距離があると思われる。また、インターネットを介してのテキストが主となる媒体でのコミュニケーションから生まれる諸処の問題解決のための技術やアイデアの提供がもっとあると良い。社会的側面としても、インターネット上のコミュニケーションがどのような場合に混乱するのか、また風評被害につながるのかなど、大きな社会問題に直接言及できるような知見の追求がさらになされると良い。

〔研究活動の状況〕 a（成果として良好である）

〔研究成果（科学技術的側面）〕 b（成果として多少不足である）

〔研究成果（産業・社会的側面）〕 a（成果として良好である）

3. 総合評価

本プロジェクトは、情動という複雑な対象に対して既存研究とは異なる視点から切り込み、いくつかの興味深い成果を得ている。この点については十分に評価しつつも、一方で、本プロジェクトに対する期待の大きさ、あるいは世界の当該分野の急速な発展状況からすると、現時点での成果は強烈なインパクトと言うにはやや物足りない印象もある。

プロジェクト期間中に当初の目標を大きく見直したことを受けて、拡散気味であったマネジメントやグループ間の連携強化、情動文法から状態遷移といった概念の再構築等を実施したことによる効果は表れている。しかしながら、一つの理論を戦略的・体系的に実証していくという色彩は依然として弱く、情動の脳機構、情動の発達と言語の関係、情動の進化、意思決定における情動の役割、社会で共有される風評や雰囲気形成と情動の関係など、重要且つ広範なサブテーマに対して野心的にアプローチすることの裏返しとしてやや総花的な印象は拭えない。また、個々の研究が単発的であるため、個別の研究成果を統合して理論構築につながるような知見が十分に得られているとはいえないが、本プロジェクトにおいて開発した大規模データ解析手法をはじめ、これからの情動情報研究の発展につながるような可能性に富む多くの成果を生み出したことは評価できる。

人間とシステムの関わりのうち、深層学習を初めとする新たな技術の急速な普及により、言語化されあるいは計測により外部化され得る部分のみが急速に進歩しており、情動分野に関する研究が取り残され、遅れを取っていることが問題となっている。本プロジェクトには、そのような問題を先取りして解消するための突破口の創出を強く期待していたところであり、本プロジェクトの一連の取り組みを通じた成果がさきがけとなって、情動情報に関する多くの大型プロジェクトを生み出す原動力となったことは、本プロジェクトの多大な貢献として評価することができる。

以上、全体の研究テーマ設定、運営状況、研究活動およびその成果を総合的に判断し、ERATO

岡ノ谷情動情報プロジェクトは、戦略目標「多様で大規模な情報から「知識」を生産・活用するための基盤技術の創出」に資する成果が得られたと評価される。

〔総合評価〕 A（戦略目標に資する成果が得られた）

以上