

ERATO 岡ノ谷情動情報プロジェクト事後評価（予備評価）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）

安西 祐一郎（委員長；独立行政法人日本学術振興会／理事長）

今井 むつみ（慶應義塾大学環境情報学部／教授）

柏野 牧夫（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、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。研究開始から 4 年を経過した現在、情動という複雑な対象について、一部では優れた成果を出し始めているものの、ERATO プロジェクトに対する期待の大きさ、世界の当該分野の発展状況からすると、従来とは明らかに異なる独創的でインパクトの大きな成果を導くためには、各グループ間の相互連携を戦略的に強化することが必須である。特に、本プロジェクトの要になるのは、数理モデルの構築を担う情動モデリンググループであり、情動を定量的に理解するうえで不可欠であるが、本プロジェクト内の一部の実験に対して統計解析の支援を行うに留まっているように見受けられた。残りの期間では、本グループを要としてこれまでの成果を統合し、情動についての統合的な数理モデルを構築する方向性をめざすべきである。

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、若手研究者の育成にも大いに繋がっている。一方で、情動は多岐にわたる研究であるが故に、本プロジェクトの基本概念とも言える「情動文法」が個々のグループの研究においてどのように位置づけられているのかは、必ずしも明確になっていない。また、一部の研究実施場所の整備の遅れにより、実験開始が遅れたことや、発足当初にあった「情動文法」に対する仮説の方向性が変更されていることから、プロジェクト全体の進捗にもばらつきがみられる。残りの期間ではグループ間の融合をなお一層行い、統合的な成果が得られることを期待したい。

総合的に見ると、本プロジェクトでは、多岐にわたる視点から、学際的な方法で、「情動情報」の生理学的基盤の解明と符号化モデルの構築が試みられており、従来の情報処理技術に欠けていた付加情報の扱いの新たな可能性が模索されている。今後、グループの融合を図るとともに、情動情報を基盤にしたコミュニケーション技術の開発を指向することによって、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」の達成に資することが期待される。

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、科学的な分析と計算理論的な手法を取り入れた、情動情報の計算科学的な符号化モデルの構築を目指し、情動情報を付加できる新しいタイプのインターネットブラウザの実現など、画期的なコミュニケーションツールの実装に取り組むものである。

情動の心理学的性質の分析と神経科学的なメカニズムを解明し、情動情報の表現方法を開発するという目的のために、認知心理学、発達心理学、比較神経行動学、情報科学などの様々な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構想は、極めて野心的で、これまででない学際的な方法で進めている点は高く評価できる。情動の心理学的性質や神経科学的なメカニズムの理解は、現在の認知科学、脳科学における大きな課題である。この問題に対して進化・発達の視点を取り込んだ構想は、岡ノ谷研究総括のこれまでの専門を背景として活かしながらも、既に成功している専門領域での成果にとらわれない、独創的かつ挑戦的なものと評価できる。

その一方で、5年間という限られた時間的制約の中でまとまった成果を上げるには壮大すぎる感もあり、研究予算および実用化コストをカバーして余りあるだけの産業・経済的価値、社会的価値を将来産み出すような基本的な知見を期限内に出すのは、極めて困難なことのように思われる。その困難さ故か、当初に掲げた研究目標が、研究期間中に変わってきている。当初の研究目標は、情動情報が言語と同様にある種の規則性をもって伝達されるものであると捉え、その進化過程・発達過程の生物学的な解析を基礎として、情動情報の計算科学的な符号化モデルを構築することを目指すとしていた。これに対して新たな研究目標では、情動情報が多次元空間上を移動する点であると捉え、その空間の性質や、空間縮約の可能性、移動の規則などを理解することで、情動情報の定量化を目指すとしている。当初の研究目標においてプロジェクトの特色となるかに思われた「情動文法」という概念については、その意味するところがいまひとつ明確でない上に、そもそも情動に対して文法的なアプローチをとることが適切かという本質的問題点もあり、実際の成果の中ではあまり明確になっていない。さらに、新たに設定された研究目標に対して、これまでの研究成果のどの部分はその達成に資するものであるのか、あるいは既にどの程度達成されているのか、今後どのような研究計画でそれを達成していくのか、そういったことも明確になっていないように思われた。プロジェクトの研究構想などと関連研究や先行研究との関係が明確となっていない点も、理解を妨げる要因となっている。

今後、関連研究や先行研究との比較を行うとともに、より具体的なグループ毎の研究計画を作成することにより、研究構想の実現に資する成果が創出されることを期待したい。

1-2. プロジェクトの運営

本プロジェクトは、情動統合、情動発達、情動インタフェース、情動モデリングの4グループで構成されている。全体構想を実現させるために、異なる専門分野で実績を有する意欲的なグループリーダーを選定し、結集させたことは適切であると思われる。また、各グループで多くの若手研究者を育成している点も評価できる。一方、基本的な運営方針としては、グループリーダーの裁量に任せて比較的自由に研究を進めさせたように見受けられる。その結果、各研究グループは、個別には優れた成果を出しているが、その成果が新たな研究目標にどう関係しているのか、またグループ同士の関係についても、グループ間の形式的な関係表はあるものの、具体的にいつ頃、どの研究が別のどの研究に、どのような形で影響を与え、両グループの研究の進展にどう役立つのかといった、プロジェクト全体でのまとまりに欠ける部分があり、グループ同士の有機的連携がはっきりとしていない。また、手を広げ過ぎて、中心となる研究構想が拡散している印象があり全体が融合したプロジェクトになっているようには見えない。

残された期間において新たな研究目標を達成するためにも、岡ノ谷研究総括のリーダーシップの下、情動モデリンググループの成果を要として、グループ間の連携を深め、全体として統合的なプロジェクト運営を行うよう、改善を促したい。

2. 研究成果

2-1. 情動統合グループ

情動統合グループは、本プロジェクトの中核として情動の基礎概念の形成を目指し、3つのサブグループに分かれて情動の表象、動物実験による情動の神経基盤と平行進化、音楽情動の性質と新たな音楽表現についての研究に取り組んでいる。

しかしながら、サブグループの相互関係が分かりづらく、それらの研究が全体としてどのような理論をつくろうとしているのかを明らかにし、グループ独自の貢献が何かを明確にすることが求められる。

情動の表象については、心理表象とfMRI（脳機能イメージング）を用いた脳内表象とを総合的に解析することにより、興味深い成果を出している。これらは、典型的な表情の静止画像のモーフィングを用いるという手法に依存した結果である可能性も排除できないものの、顔刺激により活性化する脳領域を同定し、心理表象と関連する脳部位を見出した点は評価できる。今後、もう少し対象とする脳領域を広げて、研究を発展させることも重要ではないかと思われる。一方で、情動表出は本来もっと動的な過程であり、情動の認知もまた動的な情報によるものであると思われることから、伝統的な手法の枠から一歩踏み出した、独自のアプローチも期待したい。また、「情動情報の表象」という概念をどのように理解するかによって、知見の解釈も大きく変わってくることから、本グループが主導すべき「情動情報」と「情動情報の表象」の概念、およびこれらの概念の間をどのように規定しているのかを明らかにするとともに、それらの概念、および概念の間を他のグループと共通に理解することが必要である。例えば、「心理表象・脳内表象においてカテゴリと次元のハイブリッド処理が行われている」という知見について、「表象」および「処理」という用語が何を指し、カテゴリと次元の「ハイブリッド」「処理が行われている」とはどういうことなのか、本研究の実験法あるいは解析法によって「ハイブリッド処理」の結果が得られるものなのかを明確に示すことが求められる。

情動の進化については、歌によるコミュニケーションを行う鳥類を用いた独創的な研究を展開しており、岡ノ谷研究総括の特性がよく出ている。ヒトの情動に深く関与すると考えられている脳部位として扁桃体が知られているが、鳥類において、哺乳類の扁桃体に相当すると考えられている脳部位の損傷実験から、情動の進化の仕組みを明らかにしようとする試みは興味深く、独創的なものと評価できる。また、ストレスホルモンに関する研究も今後発展が期待される。これらの研究からは、ヒトと鳥類と種が異なるとはいえ、ヒトの情動のメカニズムに対して様々な示唆が得られると思われる。一方で、新たに設定された研究目標の中にどう関係づけられているのか、特に応用研究の目標と考えられる人間が使うインタフェースシステム、あるいはその要素技術の開発と、どのように関係づけられているのかが明確でなく、それらを明らかにすることが求められる。

ラットを用いた脳の後部帯状回を中心とした情動研究についても、後部帯状回の遅延応答に関する知見は興味深く、これをヒトの内省や自他の視点変換と結びつけようとする構想は野心的である。しかしながら、研究成果からは、進化との関連性は明確には見えず、他の脳部位も含めてもう少し広い観点から研究を進めることを期待する。なお、後部帯状回が様々な機能に関わっていることは以前から多くの研究によって明らかにされており、それらの関連研究、先行研究などに対して本研究のどの点が新しいのか、また、それが本プロジェクトの新しい研究目標の達成にどう関わっているかを明確にすべきである。

情動と音楽については、音楽によってもたらされる情動の全てを「音楽情動」と定義し、音楽情動を脳活動として捉え、音楽情動の全体像に迫ることを目指している。

音楽の認知研究は、世界中で盛んに行われており、多くの蓄積がある中で、本研究がどのように位置づけられ、音楽認知や感情認知の分野にどのように貢献ができるかを明らかにすることが求められる。本グループは、「既存の音楽はすべて筋肉運動を経た身体的な表現により音楽を演奏し、これが既存の音楽の限界であると捉え、この限界を超えた音楽を模索している」と言っている。これは実は、身体なき情動伝達の可能性を問いかけるものであり、情動の本質にかかわる問題をはらんでいる。「音楽」を「情動」に置き換えてみると、「情動はすべて筋肉運動を経た身体的な表現により実現される」ということになる。これはまさにその通りであり、もし身体性を取り除けば、情動のコミュニケーションは本来成立しない。他者にとって観測可能な情動とは、身体性と不可分である。身体表象なしに情動伝達が成立するか、これはきわめて根源的な問いであり、そこをあえて問い直すという試みがあってもよい。技術的に難しいかはまた別問題であるが、技術的な限界の故に、面白いものになるという逆説的な側面もあると思われる。先に述べた通り、本研究は思想的に興味深く、脳波音楽は、情動インタフェースのシステムを最も具体的な形で実装しているという面でインパクトはある。

しかしながら、基礎研究としては、脳波音楽において、脳活動の情報からフィードバックされる情報のうち、どの部分が情動に関与しているのかを明らかにする必要があるだろう。この点を狙わず、応用研究に重きをおいて、マクロな脳情報の入力に対する行動出力の関係に注目するのであれば、脳情動フィードバックを音楽創作に生かすためのシステムの基本的な設計方法の開発にもっと力を入れて然るべきである。今のままでは、デモンストレーションには成功しているが、脳情報フィードバックによる音楽創作というアイデアの貢献だけに留まる可能性が強いように思われる。そうなってしまうと、本プロジェクトの主要な成果に位置づけること

ができ難い。このため、本研究をプロジェクト全体の中でどこまで掘り下げるのかを判断したうえで研究計画の立案が必要と考えられる。また、応用開発として、結果的に良い音楽が創作できれば良いという考え方を取ることも考えられる。しかし、その場合は、仮に創作された音楽を聴きたいと思う人の数で社会的あるいは経済的価値を測るとすると、現在急速に発展している先端的な音楽情報処理技術と競合すると考えられることから、音楽心理学的な側面も含めてそれらとの比較検討、あるいはベンチマーキングが必要になってくると思われる。なお、脳情報フィードバック技術には、脳波を用いる研究も既にあり、視覚系、運動系、最近では記憶系などについての研究が進められている。それらの技術と、データ解析の数理的手法が異なる点は兎も角として、それ以外に技術的に異なる新規性を示すことが必要である。

本プロジェクトとしては、単に脳情報フィードバックを情動系に応用したというだけでなく、基盤技術としての独創性を示すべきである。そのためには、本プロジェクトで開発されている脳情報フィードバック技術やそれに使われている数理的解析手法が、特に情動系を扱う点でどのように独創性と応用の可能性に優れているのか、他の関連技術と比較検討することが必要である。現時点では殆ど検討されていないように思われ、それらを明らかにすることが求められる。

また、情動の研究を科学的に推進するために、概念的な整理を行うことにより、「感情とは情動が言語的な意識により分節化されたものである」との仮説を得るに至ったとして、情動と感情の状態遷移モデルを示しているが、情動と感情の関係については、概念的には以前から類似の考え方があり（例えば A. Damasio）、そうした概念的な提唱との相違をより明確にしたうえでのデータの説明が望まれる。現状ではかなりマクロなモデルであり、各要素がどのように関係し合っているのかが明確になっていない。例えば「メタ表象」という用語が出てくるが、この用語が他の用語、例えば「覚醒」といった用語とどのような関係にあるのか、そういった関係性が明確になっていない。同様の点が多々あり、それらを明らかにすることが求められる。

2-2. 情動モデリンググループ

情動モデリンググループは、情動研究に用いられる高次元データの解析手法の提案と、情動の数理モデルの構築を目的として、情動科学に必要な情報処理技術の開発に取り組んでいる。

計測装置から得られる高次元データを効率的に処理し、意味のある情報（本質的な部分空間）を抽出することは、情動のみならず、広い分野での共通課題となっており、いわゆる「ビックデータ」の解析分野では、各種の手法が提案されている。その中で、本グループでは、機械学習における教師あり学習と教師なし学習の両方の枠組みで、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ている。教師ありスパースモデリングにおいては、従来の先入観に依存したモデルではなく、誤差の状態分布の推定に基づくアルゴリズムを開発することにより、実用的な時間で有効な解を得る方法を明らかにしているが、波及効果の大きな基本的成果であると評価する。また、教師なしスパースモデリングにおいても、二重スパース因子分析の提案は、他のグループの成果である表情の情報処理を担うニューロンの選択や情動評定などにも応用され、新たな成果を生んでいる。しかしその一方で、この二重スパース因子分析については、2年以上前に公表されているにもかかわらず、文献としては殆ど引用されていない。学術的な貢献のために、利用しやすいツールとして普及を図ることも必要ではないかと

考える。先述のように、これらの数理的手法は、広い分野に応用が可能な、大きなインパクトを与え得るものであり、個々の研究の解析レベルで基礎的な技術を積み上げていることは非常に重要であると評価する。しかしながら、ERATO プロジェクトの目的から考えた場合、個別研究の数理解析に留まらず、神経細胞、脳波、視線、その他の生理指標から得られる質の異なる大規模データから、一つの統合的数理理論モデルを構築することが求められる。

また、情動の行動への影響を定量的に扱う数理的枠組みとして、強化学習に基づく情動の数理モデルを提案しているが、意思決定の分野では強化学習を用いたモデル化は、比較的標準的であり、膨大な研究が行われている。意思決定に情動が関与する、という考えも広く受け入れられており、関連する脳部位の研究についても数多く行われている。従って、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はさほど目新しいものではない。しかし、画像の快不快という情動価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。このような数理モデルは、行動実験の結果と脳活動計測、生理計測の結果とを結びつけ、情動を定量的に理解する上で不可欠であり、本プロジェクトの中で要となる貢献をしていると思われる。

ただし、本グループが提示した手法が実際に各グループでどのように使われているのかは必ずしも明確ではなく、むしろ本グループが、スパースモデリング、レプリカ交換モンテカルロ法、あるいは広く強化学習などの方法を用いて、他のグループの成果を色々と解釈しているようにも受け取れた。レプリカ交換モンテカルロ法などの独創性を強調しているが、良い方法であることは理解できるものの、関連研究、先行研究への言及がなく、それらとの比較が必要であると思われる。また、基本的には全ては強化学習であるという強い主張がなされているが、その根拠が明確ではない。さらに、研究の基礎となる情動、価値、意思決定などの基本的な用語の意味がどのように規定されているのか、他のグループと共通理解となっているのか、他のグループと同じ意味で用語を使っているのかが判然としない点が危惧された。

一方、NIRS（近赤外分光法）による新生児用全頭型プローブとデータ解析法のシステム開発については、「全頭型」であり、発達研究や新生児臨床などに役立つシステムであると考えられるが、従来のシステムに比べて、性能的あるいは社会・経済的に優れている点が明確ではない。従来システムとの比較を行うとともに、本開発が情動の数理モデル構築に果たす役割を具体的に示してほしい。

2-3. 情動インタフェイスグループ

情動インタフェイスグループは、情動の心理・生理的基盤を解明し、それに基づいて、電子情報社会で利用可能な情緒的コミュニケーションを実現するためのツール開発に取り組んでいる。

本グループの研究対象は、road rage などの怒り、いじめ、協調行動、風評被害、ヨガなどのメンタルトレーニング、日本の伝統芸能「能」の感情表現など、実社会の様々な問題から発想した多岐にわたるものである。一般的には興味深く、社会的に話題になりやすいテーマでもあり、その着眼には感心するものがある。人間どうしのコミュニケーションツールに留まらな

い、広い応用領域を有し、社会的にも人間と機械が共生するうえで重要な意味を持つと思われる。一方で、個々の研究には、学術的な成果との結びつきが弱い印象のテーマも含まれており、散発的な嫌いがあることから、全体として大きな理論を提唱し、深めていく形にはなっていない。本プロジェクトの中にあることでのメリット、本プロジェクトの中になければならないことの必然性を明らかに示すことが必要である。また、いじめの早期発見、自殺の予防などの社会応用についても、非常に大切なものであるにもかかわらず、いくつかの実験結果のみから早急に応用へ繋げようとしすぎている感がある。同様に、扱っている多岐にわたるテーマも、いくつかの実験結果から簡単な答えが出るようなものではない。テーマを絞り込み、深く掘り下げの方が生産的な研究になるのではないと思われる。また、感情と情動、普遍性と固有文化における文脈依存性の相互作用について、どのような仮説を持ち、これまでに収集したデータから何が示唆されるかを明確に示すことが求められる。

個別に見ると、協調作業、表情の判断などにおける脳活動の実験学的研究などについては、一定の成果は出ていると評価する。また、データベースの実用化には、効果的な維持管理の方法と優れたマネジメントを必要とするが、実用化のためのハードルをクリアするための方針を基礎研究の時点で埋め込んでおくことが考えられていないように思われる。

怒りの検出と制御システムについては、基礎的な知見として優れた成果であり、情動制御が可能な情動フィードバックシステムの応用へ向けて、一つの新たな起点となる可能性もあると考えられる。装置の特許化まで進めたことも、社会的還元として評価できる。ただし、本グループの研究目標であるインタフェース開発から見ると、今のところアイデアとデモンストレーションの段階に留まり、技術開発のための基礎的な要素技術の成果があまり見えないように思われる。この点は、他の応用開発の成果として挙げられている脳情報フィードバックシステムによる音楽演奏を可能にする BMI（ブレイン・マシン・インタフェース）や情動語を用いた創作表現ツールも同様である。こうした技術開発が実際に 10～15 年後に産業・経済的価値を産むかについては、多くのハードルがあるが、ヒューマンインタフェース機器の場合、特に重量、充電性能、装着の具合、安全性、コスト、材料の質や加工・調達方法、他の機器との接続方法、それに倫理面の対応などが大事であり、対応を検討していくことが求められる。対象としている生体情報は、心拍など以前から医療情報システムで使われているものが多く、比較的従来通りの認知心理学的手法である。これらは目標実現のためには必要ではあるものの、これまで考えられてこなかった生体情報を考慮したり、そのためのセンサーやソフトウェアを開発しているということでもないように思われ、それらについての新たな提案があるべきではないかと思われた。また、情動認識の手法の有効性や精度の検証がどのようになされているのかも明示されていないが、既に世の中では様々な原理に基づいて感情を認識あるいは数値化すると称するシステムが提案されており、市販されているものも少なくないことから、それらに対してどの程度優れているのか、定量的な評価が必要である。しかし、どのように定量的評価を行うかということ自体が大きな問題である。評価するには評価基準が必要であるが、主観的な評価しかなし得ないものについて、それを定量的に扱って良いものか、疑問が残る。その一方で、いかなる生理指標を取ろうとも、それが確かに特定の情動に対応し、他の要因には無関係であることを証明するのは非常に難しい。このような本質的な問題があることから、今後、ある程度の妥当性を持つ情動認識システムの評価法を提案できれば、それ自体が分野全体への大きな貢献になるであろう。

このように、情動インタフェイスグループの直接の目標に、新しいインタフェースの芽を見出すことが含まれているのならば、その目標の達成に注力する必要があると思われる。なお、情動に関する用語をかなり広範に使用しているが、それらの使い方が他のグループと同一であるかどうか、明らかではない。例えば、プロジェクト全体では、「情動」という用語を基調とするとされていながら、特に本グループでは、「感情」という用語も多く用いており、本グループでのこれらの用語使用の違いは明らかにしていく必要がある。

2-4. 情動発達グループ

情動発達グループは、生後直後から乳幼児にわたる時期における情動状態が符号化されていく過程を明らかにすることを目指し、脳機能の非侵襲的計測と行動反応によって解明することに取り組んでいる。

本グループとしては、乳児の情動発達を脳機能に関する実験と行動実験を併用して明らかにし、優れた成果をあげてきた。例えば、母親と類似の表情の研究、快情報をめぐる新生児や乳児と養育者の関係の研究、早産児の認知機能（聴覚情報処理など）の研究など、多くの優れた成果が挙げられている。特に早産児の認知発達の研究成果は、社会的価値の面からも今後重要になるものと考えられる。

乳幼児の脳機能の非侵襲的計測については、2006年ごろからMEG（脳磁図）による計測が行われているが、まだ世界的にも数少ない。本グループでは、NIRSによる新生児用全頭型プローブを京都大学・島津製作所と共同開発することにより、満期産児、早期産児の脳全体の活動計測を可能とした。NIRSは、MEGに比べると時間分解能が悪く、脳の表層の血流動態しか観測できないなどの欠点も多いが、拘束が少なく、手軽さから、特に乳幼児を対象とする場合には、大きな利点であり、早期産児と満期産児のリスクの定量的把握に基づく対応策の開発は、科学的観点のみならず、社会的に将来を担う次世代のために大きく貢献することが期待される。新生児用全頭型プローブは、国際的に見ても競争力のある部分であり、これを武器とした研究をぜひ発展させてほしい。

本グループの一つの特徴は、生後直後の満期産児、早期産児を対象とした脳計測が可能である点である。これは、胎内での感覚運動経験が生後の認知発達に果たす役割を解明するうえで重要な知見をもたらすだろう。言語獲得前の乳幼児における、発話の韻律（プロソディ）知覚の研究によって、早産児と満期産児の脳機能が早い時期に異なっていることを明らかにしている。これらの継時的データの蓄積によって、早期の発達リスクの発見・診断方法の確立への貢献が期待される。

また、乳幼児の情動表出のひとつである「泣き行動」に着目し、その発達を縦断的に調査し、新生児の情動の発達が、養育者との相互作用に依存し、養育者によって解釈された情動状態とそれに基づくフィードバックにより、泣き声に社会的機能が付加することを明らかにしたことは、養育・教育方法についての正しい科学的根拠に基づく提言に繋がる。情動の発達における母子相互作用は、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と思われる。

「半分お母さん」の研究は興味深く、メディアにも広く取り上げられたが、本実験結果を「なじみのある顔の変化に対する不快」と解釈することに対しては、疑問が残る。乳児が新奇性、親近性を選好するとすれば、「半分お母さん」は新奇性も親近性も低い刺激であり、積極的に避けなくても、単に親近性の高い「お母さん」か、新奇性の高い「他人」よりも魅力度が低かっただけかもしれない（他人2名を合成しても、やはり新奇性が高い）。お母さんに似ている他人であるお母さんの姉妹は、嫌われるかということ、そうとも言えないだろう。メディアに取り上げられると、話が過度に単純化され、一人歩きする恐れがある。特に社会的関心の高い話題だけに、慎重な扱いが求められる。

このように、本研究グループによる新生児発達の研究は当該分野における優れた成果である。ただし、プロジェクトで開発された NIRS による新生児用全頭型プローブとデータ解析のシステムが産業・経済的価値を 10～15 年後に産み出すかどうかについては、従来のシステムとの性能比較などが示されておらず、産業・経済的なイノベーションの意味でそれらを明らかにすることが求められる。また「情動状態」のような用語の意味を他のグループとどのように共有しているのかが明らかではない。さらには、情動の発達研究自体は、基礎研究としても、また、社会的価値を産み出す可能性の面でも、極めて重要であるが、本プロジェクトの中で発達研究を行うことが本グループの研究自体にどのような具体的な効果をもたらすと想定しているのか、他のグループやプロジェクト全体に具体的にいつごろ、どんな波及効果をもたらすと考えているのかなど、プロジェクト全体の目標達成のための研究計画の中で、本グループの研究がどう具体的に位置づけられているのかが明らかではない。それらについて、明確にすることが求められる。

以上をまとめると、本プロジェクトの研究は、多様な分野の専門家の集結、芸術などへの展開など、野心的な試みであり、専門家、非専門家向けのシンポジウム開催やメディアや講演・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るかどうかは、今後にかかっている。個別の基礎研究の面でいくつか優れた成果が見られるが、プロジェクト全体として研究目標の達成に向けた、まとまった成果が出ているとは言い難い。また、研究途上で方向転換した結果として、変更以前に比べて独創的な知見がもたらされたとは考え難い。特に方針転換した後の研究目標とその達成のための研究計画が明確ではない。各研究グループが残りの期間で、何をすればよいのかを明確にすることが求められる。情動モデリンググループの研究内容を他のグループが理解して研究に利用することが、方針転換した後の新たな研究目標に沿ってプロジェクト全体を融合するには重要であるが、基本的には情動モデリンググループの研究者が他のグループからデータを得て、そのデータをモデルによって解釈するに留まっているのではないと思われる。残り1年で、情報モデリンググループの成果を基に他の全てのグループが融合的な成果をあげることはかなりチャレンジングな目標であり、今後1年間の進捗に期待する。

科学技術的側面から判断すると、やや単発的かつ小粒な印象がある。世界的に情動や社会性に関する研究は極めて盛んでありインパクトファクターの高い誌上でも報告が相次いでいる。その

中で、よほど斬新な切り口がなければ存在感を出すことは難しいが、現状ではまだ距離があるように思われる。

新生児用全頭型プローブ開発については、国際的に見ても競争力が高く、発達研究全般、また障害などに関わる臨床の新しい展開に資する可能性は十分であると評価する。また、情動モデリンググループの成果については、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。行動実験と非侵襲的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。

このように、個別の基礎研究の面では優れた成果がいくつかあるが、それらの研究はプロジェクト全体からみると断片的である。残りの期間でそれらを融合し、方針転換後の研究目標を達成するためには、相当の努力が必要であると考えられる。

産業・社会的側面について、単に市場に出すに止まらず、少なくとも研究から実用化までのコスト（人件費、マネジメント、および実用化開発、開発資金調達、知的財産、マーケティングなどの費用を含む）をカバーし、それを超える価値を10～15年で産み出す可能性は高くないように思われる。ただし、本プロジェクトの成果のうち発達に関する研究については、このまま将来にわたって研究を持続すれば、社会的に有用な無形財産となり得る可能性は高いように思われる。新生児用全頭型プローブは、その候補の一つかもしれないが、要素技術の提供はあり得るにしても、システムとしての産業・経済的価値を十分産み出すとは考え難い。また、現状では他の乳児用多点NIRSなどのシステムとの定量的比較が明らかに示されておらず、発達研究や予防・診断を含め、マーケットがどれくらい広がるかの予測データも示していない。今後、開発したシステムの技術評価データや従来のシステムや全頭型、非全頭型を含めた多様な競合システムとの将来予測を含めた定量的比較データを明らかにしていくことが求められる。

また、本プロジェクトにおける他の技術開発についても、インタフェース技術実用化への道筋は殆ど見えていない。情動インタフェースグループは、インタフェース技術開発のための工学的研究よりも、現象の解明のための基礎科学的研究に研究目標があるように見受けられるが、もしインタフェース技術への応用を視野に入れた研究を行っているとした場合、インタフェース技術のキーポイントの一つであるセンサーは、全て既存の比較的単純なもののように思われ、新しいセンサーの開発やセンサーデータの統合処理なども考慮されていないように見受けられる。例えば、インタフェース技術の開発目標を立て、その目標を達成できるような感度、省電力性能、情報統合性などをもつセンサーの利用検討まで考慮した研究開発マネジメントが必要と思われる。もちろん、基礎研究が実用化に向けて「化ける」可能性もあるが、いずれにしても本プロジェクトにおける応用を視野に入れた研究について、類似の経済的・社会的効果を上げられると考えられるシステムとの比較が明確に示されていないため、とりわけ産業的・経済的価値を10～15年後に産み出すかどうかを明らかに示すことが求められる。

また、情動に関する知見を社会、経済、産業に生かすことは、これまでも様々行われてきており、それらへの言及と、実用化に向けて倫理規範の構築を進めるための言及も必要であるが、実際には「情動」の研究から産業・経済的価値を産み出すためには、新しい技術の目標、範囲、仕様、需要予測、ユーザーセグメンテーション予測、安全性、情報セキュリティなど、留意すべき点が多々あり、それらの分析がなされることが肝要であると思われる。

3. 総合評価

岡ノ谷情動情報プロジェクトのテーマである情動と感情のテーマは、学術的にも社会的にも非常に重要である。鳥のさえずりの文法から始まった言語進化の研究を出発点にして、「情動文法」理論を構築し、多次元空間上に情動の規則を抽出しようという構想は非常に独創的であり、壮大なものであると評価する。

本プロジェクトは、進化と神経機構、情動発達、情動インタフェース、数理解析の4グループで構成され、情動の問題に対して、進化、個体発生、脳内機構、社会問題、伝統文化、芸術など、多方面からアプローチしようとする計画は高く評価できる。また、このプロジェクトを通じて有望な若手研究者が育っていることは高く評価できる。しかしその一方で、5年という期限でまとめた成果を達成するためには、計画が拡散的すぎた感もある。各グループでは、興味深い成果も見られるものの、それらが統合的な情動理論に収束していくというよりは、個別研究として個別の論文成果に留まっている印象を受ける。また、個別研究の成果としても、国際的に競争の厳しい分野で、本プロジェクトの成果がそれらにどのように関連し、どのように貢献できるのかが明らかではないため、それらを明確にしていくことが求められる。

ERATOの目標、規模からは、世界をリードして新しいパラダイムをつくるような理論を打ち立て、その理論を軸として多数の論文が投稿され、理論を基盤として社会技術の開発をすることが期待されている。本プロジェクトでは、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萌芽的成果を得ているが、開始から4年を経過した現在、ERATO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、質・量ともに十分に目標を達成しているとは言い難く、今後のさらなる進展が望まれる。

本プロジェクトの中核になるのは、多方面からのアプローチによる情動に関する異なる粒度、レベルの大規模実証データをボトムアップ的に分類、統合した情動の数理解析モデルを構築することであると思われる。しかしながら、現時点では各グループで行われている一部の実験に対してのみ統計解析支援が行われているに留まっている。残りの期間では、これまで蓄積したデータを個別に論文として発表するだけでなく、統合的に解析し、本プロジェクト独自の情動文法の数理解析理論を世界に対して発表すること、また情動のある側面に対して独創的な考え方を打ち出したり、従来に比べて明らかにインパクトの大きな情動情報の解読を実現したりするなどが出ることを期待する。そのためには、グループ間の戦略的相互作用を強化することが必須である。

以上のように、個別研究としてのいくつかの優れた成果はあるものの、対応すべき課題は多い。少なくとも、以下の重要課題については残る期間で対応する必要があると考える。

- ① プロジェクト全体が融合するようにマネジメントすること。
- ② 方針転換後のプロジェクト全体の新しい研究目標を、期限内に達成できるような目標として明示し、その目標を達成するための具体的な研究計画をグループ毎に立てること。
- ③ 各グループ間で重要概念や数理的手法の理解を共有すること（特に情報モデリングのグループ以外の他のグループが数理的手法を共通理解すること、および情報モデリングのグループが他のグループの使っている重要概念を共通理解すること）。

- ④ ①～③に述べたことを前提として、各グループの研究をプロジェクト全体の目標に照らして融合すること。
- ⑤ 応用に向けては、アイデア段階が大半にみえる現状を超えるように、技術開発プロジェクトの常識と考えられるポイントをきちんと押さえること。
- ⑥ 関連研究や先行研究、また関係のある他分野の研究を十分サーベイして比較すること。
- ⑦ 類似の機能を持つ要素技術や技術システム、競合すると考えられる他の技術やシステムとの比較、場合によってはベンチマーキングを行うこと。

これらの課題に対応することにより、本プロジェクトが優秀な水準に達することを期待する。

以上