

ERATO 下條潜在脳機能プロジェクト中間評価報告書

- 【研究総括】 下條 信輔 (カリフォルニア工科大学／教授)
- 【評価委員長】 小松 英彦 (自然科学研究機構生理学研究所／教授)
- 【評価委員】 北澤 茂 (順天堂大学医学部／教授)
坂上 雅道 (玉川大学学術研究所脳科学研究施設／教授)
瀬川 茂子 (株式会社 朝日新聞社／記者)
山本 経之 (長崎国際大学薬学部／教授)

評価の概要

ERATO 下條潜在脳機能プロジェクトは、潜在脳機能という、潜在意識における脳機能を多面的なアプローチにより解明するものである。潜在脳機能は今まで重要と知られながらも、方法論の欠如などにより研究が進まなかった研究分野であり、本構想は潜在脳機能を理解することにより、心と脳の最も未解明の謎とされる「感性」の理解につなげようとすると共に、潜在脳機能の解明が人の持つ驚くべき潜在認知能力を引き出す鍵を見いだすとする仮説の元、研究を推進している。心理物理、行動、脳生理、薬理、情報工学の幅広い分野から多くの優秀な若手研究者を効果的に結集すると共に、近年発達を遂げた最新の計測手法を多角的に導入し、脳科学研究に対するブレークスルーを狙うプロジェクトである。

本プロジェクトでは開始後3年を経過し、開始後にゼロから出発した研究テーマも含めて、多くのテーマにおいて的を射た成果が出始めたところであると言える。多岐にわたる研究テーマのどれもが発展の見込まれるテーマであり、今までに無い新しいパラダイムを切り開く魅力的なものである。研究の種撒きに成功しているので、今後はその中から特にインパクトの強いと思われるものへの集中等、戦略的なテーマの絞り込みにより、まとまった成果につながることが十分に期待できる。

研究体制に関しては、異分野の研究者を集め、巧みなマネジメントにより異分野グループ間のコミュニケーションをうまく促しており、自由闊達な議論の場を構築できている。これらの活動が多く新しい知見につながっていることも高く評価したい。この体制を活かすことによって残りの期間にもさらに融合的かつ独創的な成果が期待できる。

このように新しい研究領域の立ち上げに始まり、異分野の研究者の集結、そしてそれらが分野融合的な成果の創出へとつながるなど、全体として成果に向かって大きく進展している。プロジェクトの研究進捗状況は良好であり、プロジェクトの構想、運営、研究の進捗状況を総合的に判断すれば、優秀な水準にあると評価される。

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

ERATO 下條潜在脳機能プロジェクトは、研究総括である下條信輔博士（カリフォルニア工科大学教授）が、潜在的あるいは無意識下における脳機能を認知神経科学的観点から理解することを目指して発足したプロジェクトである。ヒトの意識に上らないこれらの膨大な神経情報処理は脳の様々な高次機能を支えており、感性や意思判断の源になっていると考えられている。重要であると考えられながらも、解明がなされなかったこれらの分野に取り組み、感性や情動的な意思判断の解明につなげようとするものである。この構想実現に向け、心理物理、行動、脳生理、薬理、情報工学の幅広い分野から、多くの優秀な若手研究者の力を結集し、学際的なアプローチを取っている。

本プロジェクトにおいて特徴的なのは、現実問題を研究の俎上に載せるその手法である。感性や情動に基づく意思や好みの決定という現実の世界で重要なテーマに対して、既存の基礎研究の成果を応用しようとするのが **translational research** であり、この手法は盛んに行われている研究手法である。しかし通常は、現実世界の問題を十分に分析せずに基礎研究の設定を行うために、研究条件が現実とかけ離れていることが多く、**translational research** の成功例は多いとはいえない。対照的に、本プロジェクトでは、現実問題から基礎研究へアプローチする手法をとっている。すなわち、本プロジェクトは現実の世界で生々しく行われている感性や情動に基づく意思や好みの決定の中から、最も重要かつ面白いと思われる局面を切り出し、その風味を失わないまま研究の対象にする、通常とは逆の **inverse translational research** を指向している。この姿勢は本研究の独創性、創造性の源となっており高く評価される。

本構想に基づき、戦略目標「教育における課題を踏まえた、人の生涯に亘る学習メカニズムの脳科学等による解明」の下、本プロジェクトは潜在脳機能の解明を目指して、2004 年 10 月に発足した。最近発展を遂げた脳機能イメージング手法と心理学的手法などの方法を多角的に組み合わせることにより、潜在脳機能に迫ろうとする本提案は、実社会への応用が期待されながらほとんど手をつけることのできなかった新しい研究領域を切り開こうとするものであり、ERATO で推進するに相応しい、独創的かつ壮大な構想である。

1-2. プロジェクトの枠組みや研究体制、および研究活動の状況

プロジェクトの全体構想は、意思決定研究グループ・潜在聴覚処理研究グループ・潜在感覚運動研究グループ・嗜癖行動研究グループの 4 つのグループにより推進される。これらの研究体制のうち、意思決定グループはカリフォルニア工科大学および東京大学先端科学技術研究センターに、残る 3 つのグループは、NTT 厚木研究開発センターに構築されている。研究総括はアメリカを拠点としているが、日本と米国を頻繁に往復し、また、遠隔会議で補うなどの努力により、研究拠点の距離的な問題を巧みに解消している。この総括の類まれなリーダーシップの下、専門を異にする意欲的な中堅・若手研究者が集結し、自由でインターラクティブな環境づくりに成功している。

研究プロジェクトの設定および運営に関しては、特に優れて的確かつ効果的なものであると十分に認められるものである。

潜在脳機能という、研究手法の確立されていない独自のテーマに取り組み、問題設定を的確に行うことは困難と考えられるが、興味深い成果が得られている。また、多岐に亘る研究テーマを平行して推進したことで、有力なテーマも見えてきたところである。ゼロから立ち上げたテーマにおいても既に興味深いデータが出始めており、今後の発展が期待できる。このように当初の目的通り研究は非常に良好に進捗しており、残る研究期間を如何に有効に利用するかが極めて重要となっている。

〔研究プロジェクトの設定および運営〕 **a+** （特に優れて的確かつ効果的である）
 〔研究活動の状況〕 **a** （良好な研究活動・展開を示しており今後にも期待できる）

2. 研究成果

2-1. 意思決定研究グループ

本グループでは、視線追跡や瞳孔径計測などの心理物理学の実験手法及び fMRI、MEG、EEG 等による脳活動データの採取や動物神経生理学等の複合的アプローチにより多角的に攻めることにより、潜在的認知過程の脳のメカニズムの理解を目指して研究を推進している。

いくつかの研究テーマの中で、興味深い示唆を与える研究成果が生まれている。例えば、新奇性と親近性がヒトの選考判断に与える影響などの研究は大変興味深い。人は新しいものと親しみ慣れたものとどちらを好むのだろうか。この研究では、写真の山などの風景は見ると好感度が低下する（新奇なものへの選好が優位である）のに対して、人の顔では見れば見るほど好きになるという認知過程における新しい側面を明らかにした。この研究成果は、一般的予測（対象物に関わらず初めは親近性が好まれ、やがて馴化して新奇性選好に転じるとする予測）とは大きく異なる結果である。本テーマでは、成果の実社会への応用までもが視野に入っており、特に CM への応用展開が計画されるなど、他の追従を許さない独創的研究の体型を作り上げつつある。

その他、興味深いテーマの中には、例えば、意思決定の **postdictive**（後付け）的側面についての研究がある。被験者に複数の物から好ましい1つを選び出す作業を行ってもらい、その選んだ物を被験者に気づかれないように他のものに取り替えると、被験者はそのことに気づかずに取り替えられた物をあたかも自分の意思で選んだかのごとく説明を行うという現象（意思決定の後付け）に関する研究である。自由意思とは何かという哲学的な問題にも波及するものである。選好の意思決定に関わる脳活動計測も興味深い知見が得られており、意思決定と脳活動とを結ぶ成果として今後の発展が期待される。また、人間が無意識に行う社会的協調／競争過程を実験心理学の俎上にのせる方法を模索する試みも、ヒトの社会性獲得の脳科学的な起源を探る研究として注目に値する。

実験手法の確立に至っていないテーマに対しても果敢に挑戦しており、学術的にも社会的にも大きなインパクトを生み出す可能性が十分にある研究グループである。

2-2. 潜在聴覚処理研究グループ

聴覚情報は情動に密接に関連しており、視覚と同様に社会的な認知や行動の礎となっている。本グループでは、音声コミュニケーションや音楽などの聴覚情報の処理時における潜在的な脳情報処理のメカニズムを解明すべく、大きく分けて3つの研究テーマを推進している。

- (1) 聴覚における知覚意識形成メカニズムの解明
- (2) 音に対する選好形成メカニズムの解明
- (3) 音声コミュニケーションにおける共感メカニズムの解明

(1) 聴覚における知覚意識形成メカニズムの解明

知覚意識の形成メカニズムを解明するために、感覚器に与えられる刺激の物理特性と、意識にのぼる知覚内容とを乖離させる実験パラダイム、具体的には音脈分凝に着目し、新しい知見を得ている。音脈分凝においては、高低2種類の音を交互に発生させることにより、被験者が1連の交互の音になっているように認識したり、高低2種類の音になっているように認識したりするという、同じ音列を違った認識でとらえる現象を解明しようとする。この知覚認識が長時間の刺激によって、前者と後者とで認識の遷移がおこることを解明しており、新しい発見である。従来の短期間での刺激では不足であることを意味しており、研究の方法論として斬新である。また、脳イメージングによるその遷移に関わる部位の同定においても成果が出始めている。

(2) 音に対する選好形成メカニズムの解明

音に対する選好形成メカニズムに関しても大変魅力的な仮説「効率的符号化仮説」を提唱している。この仮説は選好に関する様々な現象を統一的に理解するための基礎理論として高く評価されるものであり、現象を定量的に説明できるレベルにまで洗練されることを期待したい。

(3) 音声コミュニケーションにおける共感メカニズムの解明

音声コミュニケーションにおける音の韻律や声質が感情を伝達する仕組みについては、「感情の運動理論」(聴取者は、自分が感情を声に変換するときの音声器官の運動モデルを逆に用いることによって、聴取した声からそこに込められた他人の感情を解読するとする考え方)を提唱し、実験による検証を進めている。音声をリアルタイムで変調し、発声者にフィードバックさせることにより自己の感情認知に影響を与えようとする本研究は、本グループと意思決定グループのもつ異なる背景や能力がうまく融合された興味深いものである。現在は音声のリアルタイム変調により発声者に対して **negative** な情動を誘導することに成功しているが、今後は **positive** な情動の誘導に期待したい。ここで生まれる成果からは、情動認知のメカニズムの理解のみならず、精神医療における応用も視野にはいるものと思われる。これらの方向性で本テーマを推進すると共に、この成果が社会の中で、また臨床現場で如何なる応用に発展可能であるかを示し、残された期間でそれに向けての具体的なステップを踏んで欲しい。

2-3. 潜在感覚運動研究グループ

本グループは、人間の運動における潜在的で高速かつ自動の感覚運動プログラミングとその制御過程を解明し、加えて感覚運動制御と知覚のインタラクションの関係を新たな視点で整理することにより、その脳内メカニズムの全貌を明らかにすることである。特に視覚／体性感覚から運動指令生成に至る情報処理過程を心理物理学、電気生理学、脳機能イメージング、計算論的モデリングなどの複合的アプローチを用いて解析し、そのメカニズムに迫る。

精緻な心理物理、行動実験にもとづいて、視覚運動刺激により手の到達運動中に無意識に引き起こされる応答の特性を分析する視覚運動誘導性腕運動 (MFR) の研究は、同様の刺激により引き起こされる眼球の運動 (OFR) や、運動知覚との類似性や差異を明らかにするすぐれた研究である。既に若者と高齢者を対象としての比較実験が実施され予想外の結果が得られている。またさまざまな生理学的計測法を用いてその神経基盤の解明を進めつつあり、大脳皮質が関わる視覚-運動制御のメカニズムの理解に貢献することが期待される。また視覚運動刺激により、外力によって腕が引っ張られる錯覚を生じる現象を見出している。誘発される腕の応答は自己が生成した運動であるにもかかわらず、潜在的な情報処理の過程で生じた運動の誤差の原因を「意識」は外界に求めることを示した点が極めて興味深い。また、これは自己と他者を区別する情報処理の問題と密接に関係するものであり、本研究も本プロジェクトの主要テーマの一つである自由意思或いは自己の主体とは何かという本質的なテーマに、新しい切り口を与えるものとして今後の発展が大いに期待される。

停止したエスカレータに乗り込む時に体験するバランスの崩れや違和感のメカニズムの分析の研究は、文脈情報が潜在的に運動制御と知覚にも影響を与える仕組みを明らかにする興味深い研究である。脳内のエスカレータ用の運動プログラムの保存と起動に関わる脳領域の特定を期待したい。一般社会にもアピールするテーマとして注目され、今後より一般的な問題の枠組みに広がることを期待したい。

実験における測定が精緻・厳密に行われている分、テーマや目的がはっきりしており、プロジェクト内で担う役割を十分に達成できるであろう。厳密な測定であるがゆえに、神経生理学との相性も良いと思われ、行動実験だけでなく生理実験を行うことも期待される。実際共同研究を通して動物を使った神経生理学実験、脳損傷患者を被験者とする行動実験も計画されており、実施されれば興味深い成果が期待される。基礎的な知見を発展させる形の応用的研究も行われており、成果の社会への還元も期待される。

2-4. 嗜癖行動研究グループ

本研究グループでは、嗜好性の発現や嗜癖¹行動に重要な役割を果たす脳内の「報酬系」とよばれる神経回路と感覚、運動、記憶などのシステムの関連について研究を推

¹ 嗜癖とは、有害であることを知りながら賭博や浪費、薬物摂取を止めることができなくなった精神及び身体の状態を示す言葉である。

進んでいる。動物行動、薬理および生理実験を中心として、嗜癖の脳内機構を探ることを目標として研究を進めている。薬物依存の神経メカニズムの解明を通じて、報酬効果の長期的持続の脳メカニズムを明らかにしようとするものである。本研究グループの研究内容は、一見、潜在脳機能との関係はやや薄いように思われるが、ドーパミン受容体誘導が嗜癖的に報酬を求める目標達成行動の引き金となっているとする仮説は、下條プロジェクトの中心テーマである選好行動の基礎的神経メカニズムを解明する上で興味深い。

プロジェクト開始後に動物飼育および実験環境を立ち上げたため、そこに時間を要し、実際に研究が開始してからまだ1年8ヶ月ということである。しかしながら、すでにコカイン投与による条件付け行動形成過程の分析、またそれに伴う海馬活動の変化、海馬のドーパミン D1 受容体の変化動態などの基礎的実験データを得ることに成功している。扁桃体へのドーパミン D1 及び D2 受容体阻害薬、行動薬投与による効果の差は興味深い結果である。適宜軌道修正を行いながら的確に研究を進捗している点も評価できる。

ラットの超音波発声の分析の研究は、ラットではこれまで困難であった情動表出の分析やその実験的操作に道を開く可能性があるものとして今後の発展に大いに興味を持たれる。この研究は潜在聴覚グループと共同でなされているものであり、本プロジェクトの融合的な側面があらわれたものとして評価できる。

動物を使った神経科学実験は本来時間をかけて行うものであり、ゼロから立ち上げて3年しかたっていないことを考えると大きな成果に至っていないことは理解できるが、他グループの協力も得る体制を構築し、下條プロジェクトの中心課題である選好行動の基礎的神経メカニズムの解明につなげて欲しい。

2-5. その他海外の研究チームとの取組み

上記研究の他に本プロジェクトでは海外のチームと連携して、研究を推進している。プロジェクト全体の課題と密接に関係し、かつそれを発展させうるテーマについて、それぞれのテーマを探求するに相応しい専門性をもつ研究者達との研究に取り組んでいる。特にクリスチャン・シャイアー博士のデコード・マーケティング社とは、テレビコマーシャルの効果などを脳科学に基づいて評価しており、実社会を実験場にする試みとして非常に興味深く、また、社会的なインパクトという面においても注目される。「ニューロ・エコノミクス」というキーワードは、近年の脳科学分野でも市民権を得つつあり、世界中での取組みを目にすることが多いが、上記研究が有する独自性や卓見性が何であるかを世に知らしめていくことが重要であると考ええる。

全体を総合的に判断すれば、研究は順調に進捗しており、プロジェクト終了時には一定のまとまった成果につなげることが期待できる。但し、扱っているテーマが多岐にわたり、しかもその各々がさまざまなアプローチを積み重ねることを必要とすることを考慮すると、これらを全て同等に扱うよりも、重点的なテーマを戦略的に絞り込み、そのテーマに資金や人材の集中を行う必要があるのではなかろうか。社会的にイ

ンパクトを生み出す可能性のある複数の研究が同時に進行しており、それぞれが実社会での応用に近い成果につながる可能性を多分に秘めており、今後の発展が大いに期待できる。それゆえに、テーマの選択と集中は、大変重要であることを重ねて申し述べたい。

〔研究成果の現状と今後の見込〕

a (成果として良好であり、今後にも期待できる)

3. 総合所見

領域運営に関しては潜在脳機能という大きな枠組みに関して、心理物理、行動、脳生理、薬理、情報工学の幅広い分野から、多くの優秀な若手研究者の力を効果的に結集することに成功し、多くの新しい知見を得ており高く評価できる。下條総括の考えが研究員の間で十分理解されており、研究員間のコミュニケーションも極めてよい印象である。このような効率的・生産的な環境の中で中堅・若手の研究員がのびのびとその独創性を発揮する場を得ている。

本プロジェクト開始後 3 年を経過し、研究そのものについては成果に向かって着実に展開している印象であった。本プロジェクトで発見した各種現象の分析は非常に興味深く、これらの成果がさらに脳内機構の理解にまで発展することを期待したい。脳内メカニズムの理解はさまざまな角度から多くの生理学的な証拠を積み上げて初めて可能になるものであるから、今後は脳生理のアプローチを活用するなど、脳内メカニズムの理解を目指した研究の方向性についても是非検討して欲しい。

多岐に渡るそれぞれのテーマにおいて、いずれからも今後の発展が見込まれる成果が出始めている一方で、限られた残りの期間を考慮すれば全ての取り組みを続けることは必ずしも最善の策ではないように思われる。残りの研究期間では、生み出された成果の中から特にインパクトの強いと思われるものなど、特定のテーマへの集中を行うことを検討し、それぞれの研究成果を大きく発展させて欲しい。これを行う上での下條総括のリーダーシップや若手研究者を鼓舞する力は、これまで以上に求められることであろう。

いずれにしても、プロジェクトの構想、運営、研究の進捗状況は良好であり、今後の研究活動も期待できるものである。また、上述のようになお一層の戦略性を持たせることによって、今後の成果にも十分に期待できる。これらを総合的に判断し、プロジェクトは優秀な水準にあると評価する。

〔総合評価〕 A (優秀な研究水準にある)

以上