

## さきがけ研究領域「脳情報の解読と制御」 追跡評価報告書

### 1. 研究成果の発展状況や活用状況

本研究領域「脳情報の解読と制御」は、「運動・判断の脳内情報を利用するための革新的要素技術の創出」という戦略目標の下、脳情報科学の基礎的研究と応用分野をつなぎ、探索的研究や革新的技術開発が実施された。具体的には第一の軸として、計算・実験神経科学、工学、臨床医学、生物学、人文・社会科学、情報学など多方面の学問領域にかかわる基礎研究がある。第二の軸は基礎研究を実用技術開発に結び付ける研究である。第三の軸はより具体的に、ブレイン・マシン・インターフェース(BMI)、ニューロリハビリテーション、ニューロマーケティング、ニューロエコノミクス、ニューロゲノミクスなどの応用分野である。この3つの軸(学問領域、基礎と実用、応用分野の3軸)に関して、どれか一つに偏らずに、異なる背景と価値観を持つ研究者を広く募集し、その間に知的で実りの多い交流を促し、神経科学とその応用分野の良好な共進化の礎を築くことに成功した。

本研究領域終了後も BMI、脳神経刺激技術の開発と臨床応用、脳、神経に係る計算基盤や数理モデルの開発等、多様な成果を挙げている。また、計算・実験神経科学、工学、臨床医学、生物学、人文・社会科学、情報学など多方面の学問領域の研究者の相互作用により、共同研究成果を継続的に生み出している。本研究領域のほぼすべての研究者が研究期間終了後も科研費(基盤研究、新学術研究領域、学術変革領域研究等)をはじめ、国立研究開発法人日本医療研究開発機構(AMED)(計8名)、ERATO(1件)、CREST(2件)、さきがけ(2件)、内閣府・革新的研究開発プログラム(ImPACT)などの競争的研究資金を獲得して、研究を進展させている。

論文投稿に関しては、さきがけの成果論文が415報で、発展論文は288報と減少してきているものの、そのうちの117報が責任著者論文である。2015年以降のさきがけの成果論文と発展論文以外の論文数は400報程度(内、責任著者論文数は64報)であったため、さきがけでの研究とは違う新たな展開も進展しているものと考えられる。特許出願は、研究期間中は国内13件(海外2件)であったが、研究期間終了後は国内37件(海外12件)と大きく増えている。また研究期間終了後の出願のうち国内14件(海外3件)が登録されている。また、本研究領域の研究者が発明者として含まれ、企業が出願人となっている特許は、出願13件(内、研究期間終了後11件)であり、7件(国内7件、海外0件)が成立している。

研究期間終了後の受賞は文部科学大臣表彰若手科学者賞、日本学術振興会賞、ブレインサイエンス振興財団・塚原伸晃賞を含む17名59件あった。招待講演は、NIH Brain Initiative、Cold Spring Harbour Laboratory、National Institute of Mental Health(NIMH)などの国内外の様々な学会・国際会議や本研究分野を牽引している機関での実績が594件あった。研究成果に関する報道(主に国内)も1275件に上り、特に研究者別では池谷(767件)が突出しているが、高橋(英)(85件)も多く、社会的に注目されている。

産学協同講座・社会連携講座や民間企業との共同研究を見るに、自治体や産学連携研究拠

点等のプロジェクトへの参画を通じて、幅広い実社会への応用を見据えた具体的な研究活動が進められており、中には、地方自治体による家庭支援活動や製品化・臨床応用などの形で、官民の各々の組織が本研究領域の研究者らによる研究成果を活用している事例もある。また、研究総括の川人が代表取締役を務める 2017 年に設立されたベンチャー企業（株式会社 XNef）の研究開発でも、本研究領域の研究者らによる研究成果が活用されている。

研究成果の実社会への応用を見据えた展開に加え、研究期間後に教授・部門長等に昇進している研究者は 37 名中 24 名であった。その中でも、複数の組織において役職を得た研究者（例：大学と国研とのクロスアポイント）、海外で教授の職を得ている研究者、国内の工学系、生物系、医学系、薬学系の教授として活躍している者が 9 名もおり、脳科学分野での日本の中心的な研究者として活躍している。

これらは、研究総括の確かな人選と指導力の下で、さきがけ研究という切磋琢磨の場が有効に機能したことを示す。

## 2. 研究成果から生み出された科学的・技術的および社会的・経済的な波及効果

### (1) 研究成果の科学的・技術的観点からの貢献

本研究領域終了後も、脳神経活動の計測・記録・解析技術の開発、脳神経系の細胞レベル・分子レベルでのメカニズムの解明、脳の数理モデルなどの理論研究といった脳神経科学の基礎研究で、大きな研究成果が生まれている。例えば、神経活動の計測、記録、解析の革新的技術開発、脳の多次元データを統合的に解析する方法の開発、視覚、味覚、記憶・学習、情動、社会性などに関する神経情報処理メカニズムの解明、新たな神経回路や脳情報処理モデルの提唱、遺伝学的手法による先端的神経回路操作技術の開発などが挙げられる。また、新たな脳神経活動の制御技術である MRI などの脳イメージング法によるニューロフィードバック法を用いたリハビリテーションと精神疾患の診断・治療法に応用する技術の開発、てんかんなどの脳神経外科手術支援に関する技術開発、低侵襲性の BMI 実現のためのデバイス開発など、臨床医学分野への応用技術の開発も行われている。さらに、脳の情報処理原理を取り入れた次世代の人工知能システムの設計といった研究領域にも研究を進展させている。このように、研究領域終了後も基礎研究から実用的技術開発まで多様な形で研究が進展している。

磯田は「社会的認知機能のシステム生理学的理解」、池谷は「脳回路活動の構造解析」で塚原伸晃賞を、高橋(英)は「情動的意決定の神経機構に関する学際的研究」、西村は「人工神経接続を用いた脳神経損傷の機能再建・機能回復に関する治療法の開発」で日本学術振興会賞を、土谷は「意識研究への貢献」で科学技術分野文部科学大臣表彰をそれぞれ受賞しており、高い評価を得ている。また、山田(真)は国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構が主導する量子生命科学分野において、意識の生成メカニズム解明に向けた「量子論的認知脳科学」という新分野の創出に貢献し、池谷は ERATO「池谷脳 AI 融合プロジェクト」や東京大学とソフトバンクとの産学連携による Beyond AI 研究推進機構の中長期プロジェクトにも採択され、脳機能の拡張、脳と AI の役割の分担、AI の弱点を克服した未来型 AI の

開発などへ取り組み、神経科学と次世代の先端知能の開発の融合研究に貢献している。

本研究領域から生み出された研究成果は、上記の基礎的研究と実用的技術開発への貢献など、いずれも神経科学の基礎を確立するために重要なものである。その中でも南本らによる化学遺伝学的に神経活動を制御する実験ツールの開発は特記されるべきもので、その研究成果は国際的にも非常に高い水準にあると考えられる。光遺伝学の応用は非ヒト霊長類などにおいて行動の操作へつながる介入の達成は限定的ではあるが、神経科学において大きな期待がある。人工受容体 DREADD による化学物質による神経細胞の興奮と抑制の介入は時間スケールが光遺伝学と比較して長いものとなるが、特定の神経のネットワークを選択的に操作することを可能とする。現在では DREADD に選択的に結合する DCZ が開発され、これにより作業記憶のような高次の脳機能の抑制が非ヒト霊長類で実現、PET トレーサーとしても使用できることからその作用部位のイメージングも可能となっている。これは古くから脳の局所破壊実験で得られてきた脳機能理解をより精緻なレベルで検証することを可能とする重要なツールとなることが期待される。また、非ヒト霊長類での実用性は十分に検証されてきている状況で、ヒトにおける精神神経疾患の病態解明や治療法への適応の可能性も高いと考えられる。

欧米にはニューロテック・ブレインテック分野の巨大な IT 企業 (DeepMind、Facebook、Neuralink、Kernel 等) がアカデミアと連携しながら基礎研究からシステム開発に近い実用化研究まで大規模に研究開発に取り組んでいる。優秀な研究者が切磋琢磨できる自由な研究環境を用意すれば、IT 企業群が率いる欧米に勝るとも劣らない成果が挙がるであろう。本研究領域で活躍した研究者は、研究領域終了後も国内外から高く注目される研究成果を出し続けており、さらに新分野の創出にも大いに貢献していると評価することができる。

## (2) 研究成果の社会的・経済的観点からの貢献

本研究から直接に派生した技術として、脳内情報の読み取りと制御を直接に利用したニューロフィードバック技術の開発と実用化が挙げられる。これは医療技術としても新しい境地を拓くものである。さらにニューロリハビリテーション、ニューロマーケティング、ニューロエコノミクスといった、多様な新領域、融合領域が創出され、現在注目されているニューロテック、ブレインテックといった分野に国際的にも貢献をしている。

具体的には、脳卒中後片側上肢麻痺に対するリハビリテーションを実施する患者を対象として、認知症治療薬 T-817MA のリハビリ訓練促進効果について臨床第 II 相試験を民間企業が実施中 (肥後)、民間企業との脳のリズムに着目した脳卒中の新規リハビリテーション手法の開発 (北城、服部)、リアルタイムでの脳の皮質電位の画像化、脳機能マッピングをできる製品の欧州企業との共同製品化、その日本国内の脳神経外科への導入などがある。脳腫瘍の切除手術による後遺症のリスク低減および覚醒下手術時間の短縮と患者の負担軽減を実現し、安全確実なてんかん外科治療に貢献 (鎌田)、民間企業との脳波試行間位相同期現象を応用した大集団に対する動画広告の好感度予測手法の開発 (北城、末谷)、金銭的不平等に係る脳活動パターン等からの精神疾患・発達障害傾向等の予測 (春野)、認知バイアスなどの

ヒューマンエラー事故やトラブル防止(山田(真))、脳情報の計測・解析技術を用いて子どもの実行機能の発達にかかわる脳内メカニズムを明らかにし、自治体と連携した家庭支援へ展開(森口)などは、社会・経済的な波及効果の例として挙げられる。

当初想定していた上記の応用分野以外でも、脳情報を非侵襲に操作して、精神疾患治療に役立てる新たなニューロフィードバック技術・ニューロモジュレーション技術も創出され、民間企業と共同で、依存症(ギャンブル、アルコール、スマホ、ゲームなど)、統合失調症、強迫性障害などの精神疾患治療へ応用されつつある(高橋(英))。また、昨今の人工知能研究や実社会での急速な利用の進展に伴い、民間企業と連携し、AI 技術を活かした脳機能の拡張(池谷)や、脳から学ぶ次世代の AI 研究への応用分野(林(隆)、末谷、河野(崇)、細谷)での展開もみられる。

これらの開発は企業との連携で行われ、アカデミアで生まれたシーズを社会的ニーズに合わせて開発が進められた結果であり、社会・経済的波及効果も高い研究開発成果であると評価できる。なお、人文科学、社会科学系の研究者を今後もう少し多く取り込むことを期待したい。

### (3) その他の特記すべき波及効果

本研究領域終了後、安静時脳活動による脳ネットワーク結合強度解析を活用した精神疾患バイオマーカー開発が進められ、さらにそこで抽出されたネットワークの結合強度を非侵襲的にかつ被験者が主体的に操作するニューロフィードバック技術、ニューロモジュレーションを活用することで、精神疾患治療に役立てる技術が生み出された。高橋(英)は、これらの技術を用いて、依存症、統合失調症、強迫神経症などの精神疾患の治療への応用を進めている。また、昨今の人工知能研究や実社会での急速な利用の進展に伴い、民間企業と連携し、AI 技術を活かした脳機能の拡張(池谷)や脳から学ぶ次世代の AI 研究への応用分野(林(隆)、末谷、河野(崇)、細谷)にも展開している。これらの技術は、領域設定当時にはまだ想定されていなかったが、本研究領域での研究成果を発展させることで、このような想定外の新しい技術が生み出されたと考えられる。

本研究領域の研究成果は、精神疾患治療・脳卒中や脊椎損傷患者の機能回復促進のための医療・リハビリ・介護分野、生産性向上・教育・訓練分野、情動・五感・感性に係る既存産業分野への展開、ブレインテック・ニューロテックの新産業創出など、多様な分野に今後も貢献していくと考えられる。

以上により研究成果の発展や活用が認められ、科学的・技術的および社会的・経済的な波及効果が十分に生み出されている。

以上