

さががけ「脳情報の解読と制御」 研究領域事後評価(予備評価)報告書

総合所見

人類の文明は人間の脳が作り上げた奇跡といえる。脳の構造と機能を解明する脳科学は、この意味で広く人間にかかわる科学であり、その包括する範囲は極めて広い。科学の歴史を振り返れば、ガリレオ以来 400 年を経て数々の発見があったが、現在もこれからも脳科学は人類にとって最も重要な科学の一つであるといえる。人は何故自己として振舞うのか、人が集まる社会になぜ文化・文明が発生できたのかなど、これまで文系が主として携わってきた問題に、脳科学による自然科学的実験手法を導入する道が今開けつつある。

脳は遺伝子、細胞、回路網などの物質で構成されているが、その機能は情報処理を実現することにあり、さらに「こころ」を発現しそれを通じて社会と文明を形成する。それゆえ脳科学には、物質を中心とする分子細胞生命科学、システムに焦点を当てるシステム脳科学、情報の観点から脳の計算方式を議論する計算論的神経科学、さらに広く人の心と社会を議論する人文社会科学的な脳科学が関係しており、これら異なる領野の科学と方法を協調させることによる研究の飛躍的な展開が要請される。

本研究領域は、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を目的とし、脳科学の基礎的研究と応用分野をつなぐ探索的研究と革新的技術開発とを対象として出発した。これは BMI が切り拓いた脳科学の新しい展開を受けたものであり、観測を主体とする従来の脳科学に加え、脳情報を直接に解読しこれを制御するより行動的操作的な脳科学の勃興を目指すものである。

研究総括は狭い意味での BMI 技術や目先の短期的な目標だけに捉われることなく、理論および実験神経科学、工学、臨床医学、基礎生物学、経済学を含む社会科学、心理学を含む人文科学、情報学など、脳の解明を目指す多方面の優れた若手研究者を結集し、「脳情報の解読と制御」による新しい脳科学の勃興を目指した。これには、分子生物学、細胞生物学、システム脳科学はもとより、測定と制御にかかわる工学基盤技術、情報解読と符号化復号化の情報技術、医療にかかわる分野、さらに人の行動にかかわる人間科学や社会科学など、多くの分野が関係している。このため異なる分野の研究者の研究協力体制の確立に意を尽くした。またこれらの分野の若手研究者を鼓舞しその創意を引き出すことにより、脳科学に新しい潮流を創り出すとともに、それを担う若手中堅研究者の育成に成功した。

本研究領域は結果として、細胞技術、情報技術の基礎研究のみならず、応用分野のニューロエコノミクスや心の仕組みの解明、医療技術としてのリハビリテーション、さらに精神疾患など、様々な分野で思いもよらぬ成果を挙げ、また様々な分野で共同研究が生まれ、その成果が数多く一流の学会誌に発表された。研究者たちの多くは、短期間の間に研究者としての自己を確立し、数多くの表彰を受け、新しい地位を獲得するのに成功している。

これを総括すると、本領域は脳情報の解読と制御を中核とし、それをもとに脳科学推進の新しい潮流を創りこれを担える人材の育成に成功した。その結果として世界で評価される一流の注目論文を驚くほどの数で発表し、またこれに多数の受賞が伴うなど、「さきがけ」として稀にみる秀逸な成果を挙げたと云える。本領域の成功を祝福したい。

1. 研究領域としての成果について

1. 研究領域としての研究マネジメントの状況

本研究領域は、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を目的とし、基礎的研究と応用分野をつなぐ探索的研究や革新的技術開発研究を推進するものである。これにはさらに、脳情報を積極的に利用する脳科学の新しい潮流を創り出すという大きな野心が秘められていた。このため、理論・実験神経科学、工学、臨床医学、基礎生物学、経済学を含む社会科学、心理学を含む人文科学、情報学など多方面の優れた若手研究者を選考する方針を取り、広範囲に及ぶ適切な領域アドバイザーを設定した。その結果、基礎—応用、人文—生物—工学、の各軸において、広い分野からのバランスの取れた選考が実現した。なお、情報科学の専門家をさらに一人付け加える選択もあったかもしれない。

研究総括は年2回の領域会議以外にも領域研究者1人に付き最低1回のサイトビジットを行い、各研究者の進捗状況と問題の把握に努めた。この結果これらの若手研究者は、単に領域会議に出席するだけでなく、サイトビジットやATRへの招聘を通じた研究総括の卓越した指導、助言を受け、自発性を損なうことなく個々人の能力を最大限に発揮できた。こうしたマネジメントの結果として、多数の素晴らしい研究成果のみならず、数多くの共同研究が自然に発生したことは特筆に値する。

2. 研究領域としての戦略目標の達成に資する成果

本領域は、BMI技術の中核としつつ、脳情報の解読と制御の全般にわたって基礎科学、革新的技術の開発から広い範囲の応用に至るまで、優れた国際的な成果を挙げた。これにより当初の枠を越えて脳科学の新しい潮流を確立し、日本のレベルの高さを世界に示すことに成功した。

具体的な根拠を上げておく。論文で見ると、総論文数は1000件を越え、Science 3, Nature系 6, Neuron 5, PNAS 5, Journal of Neuroscience 25 など、質の面でも世界レベルの優れた業績が多数発信された。

ニューロコミュニケーション、ニューロエコノミクス分野では、高橋英彦研究者が情動に関する脳活動について独創的研究を行い、Nature Communications, Science, PNAS等に報告した。山田真希子研究者は錯覚を利用した現実感覚の研究を行いNeuron, PNAS等に報告して世界的な注目を浴びた。春野研究者はニューロエコノミクス分野で優れた成果を挙げた。細胞レベルでの研究では、池谷裕二、喜多村和郎研究者らがNature Neuroscience, Science, Neuron, PNAS, JNS等に優れた成果を発表した。BMIに関しては、花川研究者ら

を中心として多数の脳イメージング研究が行われ、非侵襲型 BMI の実用化にむけて重要な進歩があった。また、西村研究者と関研究者による脊髄損傷についての基礎的データ収集と BMI への応用の試みも特筆すべき成果である。

本領域で各研究者が成長したことは、文部科学大臣表彰 3 件、学士院学術奨励賞 1 件、学術振興会賞 2 件、など多数の外部表彰を受けたことから明らかである。しかしより大局的な視点からは、脳科学に新しい潮流を生み出し、これを担う気鋭の若手研究者を育成したことが大きな成果として挙げられる。

これを見るに、本領域は、当初の目標を超えた十分な成果を挙げたと判断される。

3. 評価

(1) 研究領域としての研究マネジメントの状況

十分に適切である

(2) 研究領域としての戦略目標の達成に資する成果

十分な成果または萌芽が認められる

(3) 総合評価

秀逸な成果が得られている

4. その他

(1) 研究領域としての人材の輩出・成長の状況

このプロジェクトは新領域を拓くだけでなく、領域を担う若手研究者のリーダーを育成することに重点がある。その成功は多くの受賞、昇進、報道発表からも明らかである。結果として、採用された 60% の研究者が昇進し重要なポストを担うことになったことも高く評価できる。本研究領域に輩出した多くの人材の中から若干を例示する。

池谷裕二研究員は平成 24 年度日本学術振興会賞と日本学士院学術奨励賞を受賞した。本領域における研究成果がこれらの受賞だけでなく、さらに大きな研究費 (NEXT) の獲得にもつながっている。高橋英彦研究員は、2009 年の Science 誌の機能画像研究をはじめとする成果が評価されて、2009 年核医学会奨励賞、2009 年ベルツ賞、2010 年文部科学大臣表彰、2012 年日本学術振興会賞を受賞している。西村幸男研究員は 2010 年日本神経科学学会奨励賞、2011 年文部科学大臣表彰、2012 年日本生理学会奨励賞を受賞している。そのほか、神経科学分野の若手研究者の登竜門である日本神経科学学会奨励賞は、高橋英彦、上川内あづさ、西村幸男、磯田昌岐、吉村由美子、の 5 研究員が受賞した。

本領域における研究を通じて驚くほど多くの人材が成長し輩出したことは特筆に値する。

(2) その他、特記すべき事項

BMI に焦点を当てながらも狭い意味での BMI 技術開発に縛られず、脳科学の推進と社会への応用を目標とする広い視野を持ったことが成功の原因であった。理論および実験にかかわる基礎研究、革新的技術開発、社会への応用など広い目標を持ちながら、全体の共進化を図りこれを推進したことが大きな成果へと繋がった。

II. 研究領域の活動・成果を踏まえた今後の展開等についての提言

1. 科学技術の進歩へと展開させるための方策

脳科学は広く人間にかかわる基礎的な科学であるから、その広がりは大である。これには多くの異なる分野の協力が必要である。「さきがけ」のみならず、JST の事業でこうした異なる分野を包括融合する研究領域が求められる。これが日本の科学技術に今必要なことである。

本研究領域では、細胞レベルからシステムレベル、基礎研究から BMI の応用研究まで、様々なレベルの研究者が切磋琢磨することで、極めて高い生産性を生み出した。今後、基礎的・基盤的研究へとフィードバックし、更なる科学技術の進歩へと展開させるためには、これら幅広い領域の研究者が引き続き実質的な交流を通じて研究を深化させることが重要だろう。それには今後の戦略目標や研究領域設定は、あまりに限局した出口指向にするのではなく、「こころの解明」のような間口の広い設定をすることが重要であると考えられる。

BMI のさきがけ研究では基礎/応用、理論と実験の融合的研究の基礎が構築された。この萌芽的研究は持続して発展させることが重要である。そのためには、科学技術研究費の中に部門を新設して長期的にこの分野を育成する必要がある。また、若手研究者を育成するため大学院の研究科の新設を支援する必要がある。

本領域は、脳の解読と制御について様々な発想から探索を行い、技術を構築する上でのいくつかの基礎的な知見が得られた。しかし、それらがばらばらな知見であると、技術的革新を生み出しにくい。今後実践的な技術としての BMI の革新的な技術を創成するためには、BMI 技術としての独自性のある目標または分野を絞り込んで設定して、一連の技術をシステム設計として開発することが有効なのではないかと思われる。

また当該分野は、応用性、実効性が求められる一方、神経科学・工学・倫理他基礎学問としても未知な部分を含むことから、若手育成をどのように位置づけるかは重要な問題である。今回はそれぞれの専門性をのびしながら研究者間の交流連携が推進された。今後は一定の分野で専門性を持つ研究者が、BMI への社会的還元のあるあり方について夢を語り、自分の参加を見いだせるような大きなコミュニティへの参加機会を積極的に作りだすことも大切であろう。

2. 科学技術イノベーション（成果の社会・産業への実装）へと展開させるための方策

本領域の成果は、医療技術として応用されようとしている。さらに、精神疾患への応用も目標に入っている。しかし、人を扱う関係上性急な応用を行うべきではなく、神経倫理

に配慮しながらじっくりとした臨床基礎研究が必要と考える。

BMI が実用化されるためには、個人が持つ脳情報の客観化に伴う倫理の問題をどのように乗り越えるか、脳神経情報に対する解読と本人の意図・意思との一致はどのように確かめるのか、一定にタイムスパン中の情報解読でその時間枠をどのように当事者に伝えるのか、測定ノイズを伴う脳神経活動の情報解読のパターンマッチングは何種類ぐらいが可能か、などの問題を解決しなければならないと考える。

BMI のさきがけおよび脳科学研究戦略推進プログラムは今後ロボットや情報産業技術、精神疾患の治療や福祉支援、アクティブ・リハビリテーション技術と融合し、近未来社会の基盤技術となる。ATR 脳情報研究所を産学共同の研究所として格上げし、数百億円の年間予算による産学共同研究を推進することが望まれる。研究所は大学の研究を支援するとともに産業界への実用化を支援するこの領域の中核の産学共同研究所にすべきである。

本領域中の BMI の応用研究のような、明確な出口の見える研究に対しては、中途半端に基礎研究と組み合わせるのではなく、経済産業省主導の産業化プロジェクトのような企業を巻き込んだ製品化を目標にしたプロジェクトを立てて、基礎研究の創発を促す領域とは明確な差別化を図ることも重要だろう。

3. その他

近年のファンディングの動向は、応用研究、それも短期的に成果の出る派手な研究に傾きかけている。応用研究は基礎研究なしにはあり得ないわけで、目標を定めた研究といえども基礎に立ち戻った根源的な研究と相携えながら推進することが必要である。

本領域の成功が示すように、さきがけ研究は、30 代後半を中心とする優れた若手研究者のポテンシャルを引き出し、研究リーダーを育成する極めて優れた研究支援の枠組みである。さきがけ研究の優位性は、優れた若手を選んで研究費を渡すという点だけにあるのではない。視野の広い研究総括のもとに集った若手が、互いに切磋琢磨するという組織設計にこそ、さきがけの長所がある。その点が科研費の若手研究費との大きな違いであるので、さきがけ研究を今後とも維持して、さらに発展させていただきたいと切に願う。

ポスドクを中心とする若い研究者がこの分野に興味を持ち増加してくることが予測される。今後も世界の第一線の研究や実用化から遅れることなく、日本が世界に貢献していくために、大学を中心とした若手研究者の教育機関（大学院研究科）の役割は重要である。この分野は人間とロボットの共存する近未来社会の基盤技術となるばかりでなく高齢者社会の精神疾患や福祉支援の技術を提供する。そのためにも、大学を中心とする教育機関、研究所、産学共同機関など一貫したシステムを構築する必要がある。

脳の持つ構造の複雑さと機能は、宇宙の複雑さにも勝るとも劣らない。地球という特殊な環境で進化を続けた結果の最高傑作でもある。しかし、この最高傑作が、自分たちを生み出した地球環境を維持できる能力を持っているのかどうか怪しくなっている。

生物進化の戦略は時間的・空間的に短距離的な争いに勝利を収めることでしかないので、

人の脳も、長期的・大域的な思考は不得手である。この根本的な弱点のため、現代の社会システムの平均値は、未来を見通して、来るべき困難に対処しなければならないと感じることが少ない。これは人類の生存にかかわる重要な課題である。脳のこのような弱点は本領域のニューロエコノミクスの研究対象であるから、その様な人類の脳でも長期的な生存を可能ならしめる方策の研究を JST など国家の研究機関が検討してほしい。

JST 研究推進課に対する提案：

地球環境の変化の速さから見て、人類が現状に満足して暮らしているのはのんきすぎる。不感症という病気の一つかもしれない。健康か病気かは環境との相対関係で判断しなければならない。ところが残念なことには人類の脳は、他の動物に比べて、現状に適合する能力を身に着けるまでの進化はしたが、環境の変化を感じ、その変化を知って対応する長時間戦略を身に着けるほどの進化を達成していない。しかしそれでは、環境変化が加速している状況では生き残りの条件を満たしていないという意味で健康な状態ではなくなった。

今まで議論されてきた方策は、環境の変化を減速させる技術開発であるが、これはあまり有効に機能しない。その理由は、人類の平均値が遠くの将来より間近にしか関心がないからである。しかし、既にネットワーク技術の発達で時間・空間を短縮させバーチャルリアリティ技術は、時間・空間感覚を物理時間・物理空間から開放しつつある。

このような内容を持つ新しい「さきがけ研究」は川人氏のさきがけ研究の発展でもあり、脳情報工学・進化学と教育工学の連携する新しい企画でもある。このような単に「他国に勝つ日本の科学技術」では無く、世界が将来必ず必要とする科学技術を、日本がリードするために JST が新企画を始めることも重要だと思う。行く先がいろいろある「さきがけ」も必要だが、人類の将来性に焦点を当てた「さきがけ」は説得力があると思う。

トップダウンの中国でも経済優先しか出来ない。ではどうするか？ 人類が長時間的な環境変化に敏感になり対応をとれるような教育が必要であり、それに使える工学的技術を発展させることが重要である。

以上