

## さがけ「脳情報の解読と制御」 研究領域事後評価報告書

### 総合所見

人類の文明は脳が作り上げた奇跡である。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、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り続ける。人が集まる社会になぜ文化・文明が発生できたのか、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研究手法を導入する道が今開けつつある。

脳は遺伝子、細胞、回路網など物質で構成されているが、その機能は情報処理にあり、さらに「こころ」を発現し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、これら異なる分野の科学と方法を協調させ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。これはブレイン・マシン・インターフェース(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、計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 技術や短期的な目標に捉われることなく、理論および神経科学、情報学、工学、臨床医学、社会科学（経済学を含む）、人文科学（心理学を含む）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し、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こころの仕組みの解明、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た。また様々な分野で共同研究が生まれ、その成果が数多くの一流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。

本研究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注目論文を驚くほどの数で発表し、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あげたと云える。本研究領域の成功を祝福したい。

以上を総括し、本研究領域は総合的に秀逸であると評価できる。

## 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、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、社会科学(経済学を含む)、人文科学(心理学を含む)、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、様々な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研究者毎に最低 1 回のサイトビジットを行い、研究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、サイトビジットや研究総括が所長を務める(株)国際電気通信基礎技術研究所(ATR)脳情報研究所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をあげ、そこに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。

本研究領域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 6 割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。本研究領域から輩出された多くの人材の中からいくつか例示する。

池谷裕二研究者は平成 24 年度日本学術振興会賞と日本学士院学術奨励賞、さらに平成 26 年度塚原伸晃記念賞を受賞した。本研究領域における研究成果がこれらの受賞だけでなく、大型の研究ファンドである最先端・次世代研究開発支援プログラム(NEXT)の獲得にもつながっている。高橋英彦研究者は、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。西村幸男研究者は 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、2015 年日本学術振興会賞を受賞している。土谷尚嗣研究者は文部科学大臣表彰若手科学者賞、宮田麻里子研究者は入澤彩記念女性生理学者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、土谷尚嗣の 6 研究者が受賞した。本研究領域における研究を通じて驚くほど多くの人材が輩出し、それぞれが成長した。

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につながった。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、全体の共進化を図りこれを推進したことが成功の要因といえる。

以上により、本研究領域の研究マネジメントは特に優れていたと評価できる。

## (2) 研究領域としての戦略目標の達成状況

本研究領域は、BMI 技術を中核としつつ、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、日本の研究レベルの高さを世界に示すことに成功した。

具体的な根拠をあげておく。論文で見ると、総論文数は 500 報を大幅に超え、Science 4 報、Nature Neuroscience、Nature Communications、Nature Methods などの Nature 系 6 報、Neuron 5 報、Proceedings of National Academy (PNAS) 5 報、Journal of Neuroscience 31 報など、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の分野では、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。春野雅彦研究者はニューロエコノミクスの分野で優れた成果を挙げた。末谷大道研究者は、本人の数理的な研究はもとより、多くの研究者に対し技術的サポートを施し共同研究を行ったことは、特筆に値する。

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、Journal of Neurosurgery (JNS) 等に優れた成果を発表した。細谷春夫研究者は視覚系の多層回路網の自己組織化を理論により明らかにしたが、これは人工知能 (AI) 技術の基礎ともなりうる注目すべき研究である。また、河野崇研究者による電力消費量がナノレベルの人工ニューロン回路の開発は、これからの発展が期待される。

BMI に関しては、花川隆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、西村幸男研究者と関和彦研究者による脊髄損傷についての基礎的データ収集の他、BMI やリハビリへの応用、宮田麻理子研究者の局所神経回路の改変の試みも特筆すべき成果である。

本研究領域で各研究者が成長したことは、塚原記念賞 1 件、文部科学大臣表彰 4 件、学士院学術奨励賞 1 件、学術振興会賞 3 件など、合計 28 件におよぶ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あげられる。

以上により、本研究領域としての戦略目標の達成状況は特に高い水準にあると評価できる。

## 2. 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) 本研究領域の活動や成果を、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、科学技術振興機構(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、極めて質の高い研究成果を上げた。今後、基礎的・基盤的研究へとフィードバックし、科学技術のさらなる進歩を生み出すためには、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である。今後の戦略目標や研究領域の設定には、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。

これまでの脳の研究は、如何にヒトの脳が優れているかを明らかにすることであった。ヒトが何故争いをやめないか、何故地球環境を破壊し続ける方向に進んでいるのか、などの問題は、まさに人のこころにかかわる問題である。このさきがけ研究で優れた成果をあげた高橋英彦研究者や春野雅彦研究者の意思決定のメカニズムの先につながる重要テーマである。

例えば、神経回路網の解剖学的レベルから機能的システムレベル、さらには神経回路網のダイナミクスまでを考慮したモデルの構築は重要である。全ての研究がこのモデル上で議論できることによって、脳とこころの解明が可能となる。いま、手をこまねいては日本の人類に貢献できる研究基盤を失いかねない。

この領域の延長上には「情報創成の脳科学」が重要な課題になるのは明らかである。人間の主体性と協調の教育、芸術やスポーツはこの基盤研究が根拠を与えることになる。この視点に立った長期ビジョンこそ日本が世界から尊敬される道であると思われる。

本研究領域で基礎/応用、理論と実験の融合的研究の基礎が構築された。この萌芽的研究を持続して発展させることが重要である。そのためには、国の科学技術の研究費を重点配分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考える必要もある。

本研究領域は、脳の解読と制御について様々な発想から探索を行い、基盤技術を構築する上での多く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革新技術を生み出しにくい。たとえば、実践的な技術として、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を発揮できる目標または分野を掲げて、システム設計の側

面から一連の技術を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、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、若手育成をどう位置づけるかが重要な問題である。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。今後は専門性を持つ研究者が、BMIの社会的還元のある方について夢を語り、大きなコミュニティーへの参加機会を作り出すことが大切である。

さらに、この研究分野は急速に発展が予想される人工知能の研究と連携して進展することが重要である。

## (2) 本研究領域の活動や成果を、社会還元や産業化・実用化に向けて実現させるための方策

本研究領域の成果は、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慎重に臨床基礎研究を推進することが重要と考える。

BMIを広範に実用化するためには、個人が持つ脳情報の取り扱い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、一定のタイムスパン中の情報解読でその時間枠をどのように設定するのか、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中核研究機関として格上げし、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。

本研究領域のBMIの応用研究のような出口が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に、企業にコミットさせ、製品化を目標にしたプロジェクトを立てることも望まれる。

## (3) その他の提言

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やすい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。

本研究領域の成功が示すように、さきがけ研究は、30代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配賦するという点にあるのではない。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。今後も世界第一線の研究や実用化から遅れることなく、日本が世界と伍して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化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、産学共同機関などの一貫した研究協力体制を構築する必要がある。

若手研究者の多くは5年間プロジェクトでポストとして採用されているが、重要性の有無にかかわらずプロジェクトの継続が保証されていないのが現状である。そこで特に重要課題プロジェクトでは、若手研究者が腰を据えて、10~20年を目安に研究に打ち込めるポストを創設することが望まれる。若手研究者が5年で成果を問われる現状の評価システムだけでは出口が近く確実な成果が見込まれる短期的研究に落ち込み易い。重要な研究は持続的かつ積み上げた成果が期待される。本研究分野の重要性に鑑み、若手研究者の長期的研究ポストを創設することを要望する。

#### ・JSTの戦略的創造研究推進事業に対する提案

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暢気過ぎる。不感症という病気的一种かもしれない。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期的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、環境の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、人類の平均値がかなり先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時間は時間・空間を短縮させバーチャルリアリティー技術は、時間・空間感覚を物理時間・物理空間から開放しつつある。

このような内容の新しい研究の先駆けは川人研究総括が主導した本研究領域の研究の発展型でもあり、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」だけでは無く、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も、JSTが新企画を始めることが重要だと思う。達成目標や出口の異なる多様な研究課題群からなる「さきがけ」も必要だが、人類が取り組むべき重大な課題に焦点を当てた「さきがけ」は説得力があると思う。