

ERATO「北野共生システムプロジェクト」追跡評価報告書

1. 総合所見

ERATO 北野プロジェクト（以下本プロジェクト）は生物学に関する「システムバイオロジー」とロボットに関する「共生系知能」から構成されている。当初は「システムバイオロジー」部分が中心として計画されていたが、当時、北野が手がけ顕著な広がりを示していたロボカップなどと絡め、両者を平行に進めることになった。「システムバイオロジー」は発展プロジェクトのSORSTに引き継がれて研究が進められた。本プロジェクト終了後の5年を経た現時点から見て、プロジェクトの一番の意義は、「システムバイオロジー」などの新しい概念を世界にさきがけ提唱し、その実現のための世界的なコアの1つとして機能した点にある。

コアとして発信された概念が、単なる1～2の新しい科学技術のテーマを創る以上の大きな影響を、特に、生物学の分野には及ぼしていると評価委員全員が賞賛している。しかし、実験的検証が必須であるとして科学技術を狭い意味に捉えると、この成果に違和感を唱える委員もみられる。しかしながら、これらの概念が、日本発であるにもかかわらず、欧米を中心に大きな影響を与え、しかも、日本の存在とその貢献が無視されずに世界的に評価されたのは、本プロジェクトが存在したためといえる。その意味では、単なる科学技術のテーマ以上の、新しい科学分野の創出に大きく貢献しており、ERATOの目標とも合致していると評価したい。

狭い意味での生物学の面からの研究成果としては、ロバストネス理論の提唱がある。さらにモデル表現言語 SBML を開発して、その国際標準化に成功している。また、SBML(System Biology Markup Language)を用いた分子ネットワークを記述するソフトウェア「CellDesigner」を開発して徐々にユーザを増やしつつある。さらに、システムズバイオロジーの国際会議(ICSB: International Conference of Systems Biology)を本プロジェクトで立ち上げて、その後も、最も代表的な国際会議となっている点は、これまでの日本人研究者がなしえなかったことであり、特筆すべきものである。著名誌などに成果が掲載され、それらの引用回数も多い。

「共生系知能」についても、システムバイオロジーほど大きくはないものの、やはり概念的な貢献が大きい。人間生活との関係、すなわち人間との物理的なインタラクションや、感情的なインタラクションにいち早く言及したという点で、社会に比較的直結するインパクトを与えたと考えられる。機能は限定されているものの、流麗な曲線や、アンドロイドなどさまざまなエクステリアをもつロボットを提供し、デザインがもつ影響の大きさを示した点は評価される。実際、PINO など開発した小型ヒューマノイド型ロボットが脚光を浴び、ロボットに関するブームの火付け役の一つとなった。一方、狭い意味での科学技術上の成果は、聴覚をロボットの知能の一分野として早くから位置づけ、国際的にも認知させてきたことである。

人材養成については、生物学およびロボットの両分野で、幅広いムーブメントをおこし、人材の交流や輩出に間接的に大きな好影響を与えたという点を評価すべきであろう。

2. 成果の発展状況や活用状況について

本プロジェクトのシステムバイオロジーの研究は、終了直後に **SORST**「システムバイオロジーの基礎研究」へと継続されたが、共生系知能の研究はそれぞれの研究メンバーによりロボット聴覚や **morph** ロボットなどの個々のテーマとして継続された。

システムバイオロジー分野では、ロボスタネスに関する理論的な考察と、SBMLを始めとする研究のための道具立ての研究が行われている。前者については、世界に対するこの研究分野の貢献は大きいと思われるが、**SORST** で標榜していた癌研究などへの実利的な応用まではまだ大きな距離感がある。後者については、まだシステムバイオロジーの研究者人口が緩やかにしか増加していない状況であるので、世界への影響の大きさを議論することは難しいものの、確実に日本発の提案として、この特定の分野の中では大きな存在であり続けている。システムバイオロジー研究に用いる言語系などの道具立ての多くが日本から発信できたことは、**ERATO** で早期に着手した成果であると高く評価してよい。また、**ERATO** で行われた、線虫の発生系の解析については、「**Developmental Cell**」などに成果が掲載され、中核研究者の大浪氏が **JST-BIRD** を獲得し、理研のプロジェクトとして実施されている、将来は理研の神戸地区のセンター化構想などにも関連するものとして大きく発展し続けている。

「共生系知能」においてはロボット聴覚や視聴覚融合技術はその後も研究が進み、今後のロボット研究の重要な基本要素として発展している。ヒューマノイドに関してはその後、目立った進展はないが、ロボットデザインについては本プロジェクトを通して関心が高まりつつある。プロジェクトの前半終了の時点で、ロボットデザインに関する成果が事業移転された。例えば、**PINO** とよばれる小型ヒューマノイドロボットは **ZMP** 社へ事業として移管された。**ZMP** 社はこれをきっかけとしてロボカップ関連の事業を展開し、現在もロボカップ競技および実験用ロボットのメーカとして事業展開をしている。ロボット研究の難しさは、一般に成果が短期間に実社会への貢献に繋がりにくいことである。しかし、上記のような展開は、ロボットデザインが事業として成立することを示した好例といえる。

3. 研究成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な効果・効用及び波及効果について

3.1 研究成果は科学技術の進歩にどのように貢献しているか

本プロジェクトはシステムバイオロジーの概念を世界にさきがけて提唱しただけでなく、その世界的なコアとして活躍することで、この新分野の発展に大きな貢献をした。実際、「システムバイオロジー」の概念は急速に広まり、欧米では、いくつものシステムバイオロジー研究所やシステムバイオロジー学科が作られている。今や、システムバイオロジーは生

命科学において重要な最先端分野となっており、本プロジェクトは先見の明があったと評価できる。また、長期的にみれば、本プロジェクトの歴史的評価は、今後むしろ高まるのではないかと考えられる。

共生系知能においては、聴覚をロボット知能の一分野として早くから研究し、国際的にも高く評価されてきたことは、わが国のロボティクスへの大きな貢献として位置付けられよう。現在でも、この研究水準は世界的にトップレベルである。

一方、ロボットデザインに関しては、科学的な成果よりも技術に対して示唆したところが大きい。流麗な曲線を有するアンドロイドなど、さまざまな外見のロボットが脚光を浴びるきっかけを作ったとも言える。

3.2 研究成果はどのような形で応用に向けて発展しているか

現在、医学生物学研究および創薬研究の全体が徐々にシステムの解析に向かってシフトをしている段階であるが、システムバイオロジーの抱える問題は、概念の問題というより、このシステムの解析にかなう計測データが不足しているという問題が大きい。将来、計測技術の大幅な進歩により、多量のデータが蓄積されていくことで、本来の応用が進むと考えられる。現状は、SORSTの癌解析も含め、世界中のシステムバイオロジープロジェクトが、同じ問題を抱えて、それを打ち破ろうと努力している最中である。

実際には、創薬研究の現場で、「システム生物学」という言葉が使われ、そのような考え方をする研究員が増えつつある傾向を捉えて、産業に貢献したとまで結論づけることはできないが、その逆に、現時点で目に見える結果がないからといって、ERATOの成果が産業に影響していないという結論を出すことは明らかに間違っている。システムバイオロジーの提唱は、裾野の広い大きなムーブメントであり、その影響はきわめて広範な分野に、少しずつしかし確実に波及して行くと考えられる。

一方、個々の成果では、本プロジェクトで開発したモデル表現言語 SBML はすでに国際標準となっている。また、分子ネットワークを記述する汎用ソフトウェア CellDesigner(SBML で記述)も広く使用されて始めている。これらは当該分野の研究に順調に広がっていると評価できる。

共生系知能分野についても、本プロジェクトはロボットブームの火付け役の一つとなった。単なる機械工学上の問題だけでなく、人間生活との関係、すなわち人間との物理的なインタラクションや、感情的なインタラクションにいち早く言及したという点では、社会に直結したインパクトを与えたと考えられる。

科学としては、聴覚をロボットの知能の一分野として早くから研究し、国際的にも認知させてきたことは、わが国のロボティクスへの一つの貢献として位置付けられよう。まだ大きな潮流というところまでは来ていないが、この分野で世界的なトップレベルを維持している。

ロボットデザインに関しては、さまざまな外見をもつロボットが脚光を浴びるようにな

ったきっかけを作ったと言える。ロボットデザインが社会的・経済的インパクトとしてどのような大きさを持つかの評価は時期尚早であるが、本プロジェクトの前半終了の時点で、ロボットデザインに関する成果（小型ヒューマノイドロボット PINO）が ZMP 社に事業移転された。ZMP 社はこれをきっかけとしてロボカップ関連の事業を展開し、現在もロボカップ競技および実験用ロボットのメーカーとして事業展開をしている。

また、PINO などのデザインを手がけた松井龍哉氏が株式会社フラワーロボティクスを立ち上げ、ロボットデザインが職業として成立することを示した。さらに、京都大学初のベンチャー企業が誕生し、その起業家がロボットデザイナーとして脚光を浴び、Panasonic の乾電池の CM でロボットが使われたりするようになった。このように、ロボットデザイナーが職業として成立することを示し、その後の若手エンジニアに新たな活躍の道を開いた。

3.3 参加研究者はどのような形で活躍しているか

参加研究者は独立しそれぞれのキャリアを積んでいる。特筆すべきは、システムバイオロジーの中核研究者の大浪修一氏が、現在、理研のチームリーダーを務め、舟橋 啓氏は慶応大学の講師を務めるなど、国内における「システムバイオロジー」の若手リーダーとして、当該分野をリードしている。また、「共生系知能」の奥乃博氏が京都大学教授としてロボットと聴覚に関する研究の世界的な第一人者として活躍している。古田貴之氏も千葉工業大学未来ロボット技術研究センターの所長として、同大学のシンボリックな存在となった。松井龍哉氏は工業デザイナーとして様々な方面で活躍している。東京大学および東京芸術大学の非常勤講師もつとめている。中臺一博氏は Honda Research Institute のシニアリサーチチャとしてヒューマノイドロボットの研究を行っている。また、東京工業大学の客員准教授をつとめている。

これらの例は、本プロジェクトが人材のキャリアアップに貢献したことを表していると同時に、北野統括責任者の3年位で研究者を独立させるという方針が、優れた方式だったと評価したい。

さらに、本プロジェクトの場合には、外部に ISSB 学会を立ち上げたり、国際会議 ICSB の立ち上げに貢献したことなども取り上げられるべきである。直接の研究参加者の雇用を通じてではなく、幅広いムーブメントとして人材養成に間接的には大きな好影響を与えたという点を評価すべきであろう。

2009 年 12 月に北野統括責任者は本プロジェクトでの若手研究者を育成したいことが評価され、アジア初として日本で開催された「Nature メンター賞」において、中堅キャリア賞を受賞している。

4. その他

①本プロジェクトの評価にあたっては、評価軸をどのように設定すべきかをめぐって委員

間で若干の考え方の相違があった。ERATO 自身も、時を経て、そのプロジェクトを選定する仕組みが変化しており、その変化を評価にどのように反映させるかが問題となっている。本プロジェクトの評価において、その問題が端的に現れたといえる。本プロジェクトはある意味、極めて非主流的で革新的な内容を持ったプロジェクトを、当時の JST 幹部の判断でトップダウン的に作った典型といえるものだからである。最終的に各評価者が本プロジェクトに高い評価を与えたことは、かつての ERATO のプロジェクト選定に肯定的な部分があったことを示している。本プロジェクトの場合、それが、良い方向に働いたといえよう。

②上述のように、一流研究者を発掘してトップダウン型で、新しいチャレンジングなプロジェクトを積極的に推進する機会を与えるというモデルは有効だと考える。しかし、時代の要請に応じて、プロジェクト期間の柔軟性、すなわち中間審査により7年コースなどの長いものを準備するか、あるいは逆に1年短縮して終わせるなどの柔軟な方式を検討することが重要である。これにより、重要な研究テーマに対しては、当該分野において多様な視点の研究を促進して長期的なスパイラル展開を維持すると同時に、優れた後進リーダーの育成にも繋がるからである。