

CRDS-FY2010-SP-11

戦略イニシアティブ

人間を含むシステムの情報構造に着目した
情報科学技術研究の推進

STRATEGIC INITIATIVE

Promotion of information science & technology
research focusing on information structure of system
including human



独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy, Japan Science and Technology Agency

研究開発戦略センターでは、国として重点的に推進すべき研究領域や課題を選び、以下3種類いずれかの戦略プロポーザルとして発行している。

戦略イニシアティブ

国として大々的に推進すべき研究で、社会ビジョンの実現に貢献し、科学技術の促進に寄与する

戦略プログラム

研究分野を設定し、各チームが協調、競争的に研究することによって、その分野を発展させる

戦略プロジェクト

共通目的を設定し、各チームがこれに向かって研究することによって、その分野を発展させると同時に共通の目的を達成する

エグゼクティブサマリー

本戦略イニシアティブは、人間を含むシステムの情報構造に着目した新しい情報科学技術研究の推進を提案する。

社会活動のフィールドでは、多様な情報が生成・流通・蓄積・再生成されている。どのようなフィールドも情報なしでは動かない。フィールドを一つのシステムと捉えると、その中でシステムの構成要素の一つとしての人間は、周囲から情報を取り入れ、加工・処理し、新たな情報を発信する。複数の人間が関与するシステムにおいては、一人の人間から発信された情報は別の人間に受け渡され、そこで加工・処理されて新たな情報として発信される。このような一連の情報の流れ・関係性を一つの「構造」と捉え、ここではそれを「情報構造」と呼ぶこととする。

人間を含むシステムの情報構造を分析することにより、人間が構成要素として含まれることによって増大するシステムの不確実さ、複雑さをより予測、制御しやすくし、人間の活動を最適に増幅するシステムを各応用分野で構築する情報科学技術研究を推進する。さらに将来的には、それらに共通する要素を抽出し体系化を目指す。これまでの人間を含むシステムに関する情報科学技術研究開発プロジェクトでは、人間と ICT システムとのインタフェースに関する個別技術開発を主に一定の成果をあげてきたが、ここでは人間を含むシステムの情報構造という観点での体系化を狙った情報科学技術研究の推進を提案する。

日本には、すぐれた電子部品や材料・ナノテク技術があり、組込みシステム技術、センサ技術といったユビキタス関連技術の蓄積もある。また、近年急速にクラウドコンピューティングの技術も進歩を遂げ、膨大なデータの処理も可能となっている。これらのセンサやクラウドの技術進歩に伴い、少なくとも 5 年前には想定できなかった研究手法や ICT の応用が機能・性能のみならずコスト的にも十分に可能となってきた。例えば、人間および人間が関与する活動のフィールドにセンサを分布させ、それらから得られる膨大なストリームデータに埋没した暗黙知の形式知化が可能となってきた。これまで科学的に扱うことが困難であった人間の行動に関わる様々な現象などが、大量のデータの分析に裏打ちされ、科学として扱うことが可能となった。人間を含むシステムの情報構造に着目した情報科学技術研究を、今まさに始める時期がきたといえる。

人間を含むシステムの情報構造に着目した情報科学技術研究の進展により、人間の活動を増幅する ICT と人間との役割分担、価値共創のベストミックスが図られ、社会の諸活動（行政、産業、教育、公共サービスなど）の ICT 導入による質の向上を効果的に図ることを可能とする基盤技術が創出される。こうした基盤技術に基づく情報通信システムの構築により、日本のあらゆる産業の産業競争力向上に大きく貢献する。また、日本が得意とする組込みシステムと人間との価値共創という観点からも、日本がリードできる研究領域および産業領域を創成できる可能性がある。更に今回の東日本大震災のような災害に対してロバストな情報通信システムの構築に貢献するとともに、増幅の負の側面である情報の信頼性や情報のアクセシビリティなど災害時に特に問題となる点に対する問題解決への貢献が期待できる。人間を含むシステムの情報構造に関する一連の研究を継続的に実施することで、一般化し理論として学術的に体系化することにより、他の応用分野へその理論を展開することが可能となる。

Executive Summary

This strategic initiative proposes to promote new research for information science and technology focusing on information structure of systems which include human factors.

On the site of social activities, a diversity of information is generated, distributed, accumulated and re-generated. There is no site that works without information. By perceiving a site as a system, humans, which are one of the formation in the system, gather information from their surroundings, process it and transmit it as new information. In a system where more than one person is involved, information transmitted from one person is received by another, and processed there as new information when it is retransmitted. This kind of sequential information flow or relationship can be regarded as a “structure”, which we will refer to as an “information structure” in this strategic initiative.

By analyzing the information structure of systems which include human factors, we will promote the research for information science and technology to construct a system in various application areas which will (1) predict the uncertainty and complexity increased by including the human formation element; (2) enable its easy control, and (3) optimally amplify human activities. Furthermore, we intend to extract the common elements and systemize them in the future. In the past R & D projects for information science and technology which included the human factor in the system, certain results have been achieved. The achievement, however, has been mainly in the development of individual technology regarding the interface of humans and ICT systems. Taking this into consideration we propose the promotion of research for information science and technology aiming at the systemization from the viewpoint of information structure of systems which include human factors.

Japan has an accumulation of ubiquitous technologies such as electronic components of excellent quality, material or nano-technology, embedded system technology and sensor technology. In recent years, cloud computing technology has seen rapid progress, enabling the process of enormous amounts of data. With the technical developments of such sensors and cloud technology, it now seems feasible enough to apply research methods or ICT unthinkable of at least 5 years ago, not only from the viewpoint of performance or functions, but also the cost affordability. For example, it has now become possible to distribute sensors to fields related to humans or human activities and make explicit knowledge about the tacit knowledge buried in the enormous amount of stream data. Various phenomena related to human behavior has been difficult to handle scientifically up till now, but being backed by the analysis of the enormous amount of data, it now seems possible. It can be said that the time

has come to start the research for information science and technology focusing on the information structure of systems which include human factors

Owing to the progress of research for information science and technology focusing on the information structure of systems which includes human factors, the best mix of role-sharing and value co-creation between ICT (which amplifies human activities) and humans will be promoted. The fundamental technology which enables the effective improvement of quality by adopting ICT in various social activities (such as administration, industry, education, public service) is created. By constructing an information communication system based on fundamental technology such as this, it will contribute greatly in improving industrial competitiveness in every industry in Japan. Also, from the viewpoint of value co-creation of embedded system technology at which Japan is strong and humans, there is a possibility to create an area of research and industrial domain of which Japan could take the lead. Furthermore, we can contribute to the construction of a robust information and communication system against disasters such as the recent Great East Japan Earthquake. It is also expected to contribute in solving problems during disasters in such cases where information credibility or accessibility, which are the negative sides of amplification, may become issues. By continuing the string of research regarding the information construction of systems which include human factors, we will be able to generalize it as a theory and academically systemize it, thus developing the theory to other applicable fields.

目 次

エグゼクティブサマリー

Executive Summary

1. 提案の内容	1
2. 研究投資する意義	7
3. 具体的な研究開発課題	9
4. 研究開発の推進方法	13
5. 科学技術上の効果	21
6. 社会・経済的效果	23
7. 時間軸に関する考察	27
8. 検討の経緯	29
9. 国内外の状況	33

1. 提案の内容

1.1 提案の内容

「人間を含むシステムの情報構造に着目した情報科学技術研究の推進」とは、人間を系に含むシステムにおいて、人間に付随する一連の情報とその関係性である「情報構造」に着目し情報科学技術研究を推進することである。人間を含むシステムの情報構造を分析することにより、人間が構成要素として含まれることによって増大するシステムの不確実さ、複雑さをより予測、制御しやすくし、人間の活動を最適に増幅するシステムを各応用分野で構築すること、さらに将来的には、それらに共通する要素を抽出し体系化することを目指す。

社会活動のフィールドでは、多様な情報が生成・流通・蓄積・再生成されている。どのような現場も情報なしでは動かない。フィールドを一つのシステムと捉えたと、その中でシステムの構成要素の一つとしての人間は、周囲から情報を取り入れ、加工・処理し、新たな情報を発信する。複数の人間が関与するシステムにおいては、一人の人間から発信された情報は別の人間に受け渡され、そこで加工・処理されて新たな情報として発信される。このような一連の情報の流れ・関係性を一つの「構造」と捉え、ここではそれを「情報構造」と呼ぶこととする。

これまで ICT (Information and Communication Technology) 分野の研究開発は、基盤となるコンピュータやネットワークの進化のために多くのリソースを費やしてきた。このことにより、社会の効率化に多大の寄与をし、情報通信システムは社会インフラのあらゆるところに展開され人々に恩恵をもたらしてきた。さらに今日では、Google や Amazon、Facebook といった巨大なインターネットサービスのシステムが登場し、多数のユーザの参加による社会システムが構成されてきている。情報は溢れ、システムは増殖し、多くの人々が参加する複雑なシステムとなった。人間を系に含むことでシステムは不確実性が増し、情報通信システムの障害、プライバシー保護の問題や、情報格差の問題、情報の信頼性の問題、情報倫理の問題など情報の負の側面も顕著になってきている。ICT を人間の活動を増幅する増幅器としてとらえた時、人間と ICT との役割分担あるいは価値共創およびリスク管理といった観点から、情報通信システムを新たに設計し直すことが求められている。

日本には、すぐれた電子部品や材料・ナノテク技術があり、組込みシステム技術、センサ技術といったユビキタス関連技術の蓄積がある。また、近年急速にクラウドコンピューティングの技術も進歩を遂げ、膨大なデータの処理も可能となっている。これらのセンサやクラウドの技術進歩に伴い、少なくとも5年前には想定できなかった研究手法や ICT の応用が機能・性能のみならずコスト的にも十分に可能となってきた。人間および人間が関与する活動のフィールドにセンサを分布させ、それらから得られる膨大なストリームデータに埋没した暗黙知の形式知化が可能となってきた。これまで科学的に扱うことが困難であった人間の行動に関わる様々な現象などが、大量のデータの分析に裏打ちされ、科学として扱うことが可能となった。人間を含む情報構造に着目した情報科学技術研究を、

今まさに始める時期がきたといえる。

人間を含む情報構造に着目した情報科学技術研究は、人間を系に含むがゆえに不確実性が増すシステムを対象とするため、十分に制御可能な閉鎖系の実験環境ではなく、実際の人間が活動するフィールドでの実証実験が必要となる。そのため、様々なフィールドでの人間を含むシステムの情報構造の分析からはじめ、実際のフィールドの問題解決研究を実施しつつ、将来的にそれらの研究成果を体系化するアプローチをとる。また、企業は利益優先で短期的課題に注力しがちであるが、国としては中長期的に見て ICT の増幅器としての社会に与える負の側面の研究も重要となる。

ICT は、図 1 に示すように多様な応用分野との接点をもつ。応用分野はここに示された以外にも多数存在する。図中の矢印の太さは、ICT と応用分野の双方向の関わりの度合いを感覚的に表現したものである。製造現場では、生産性向上に ICT の進展が寄与した側面と製造現場のニーズが ICT を鍛えた側面とがある。つまり ICT による人間活動の増幅がかなり効果的に行われるようになったといえる。農業分野では、ICT の活用は始まったばかりであり、ICT への立ち返りということはまだほとんどない状況である。現状では分野ごとに ICT の関与度合いの濃淡はあるが、今後各分野において ICT が深く関わってくることは論をまたない。特に、矢印の細い領域および人間との関わりが多い領域において、人間の活動の増幅器としての ICT を効果的に活用し、社会の諸活動の質の向上を目指すと同時に、災害に対してロバストな情報通信システムの構築や、増幅の負の側面である情報の信頼性や情報のアクセシビリティなど災害時に特に問題となる点に対する問題解決など、人間を含む情報構造に着目した情報科学技術研究の成果が期待されるところである。

具体的研究課題としては、様々なフィールドでの人間を含むシステムの情報構造の分析、分析結果からの基本原理の探索、人間を含む情報通信システム構築の新しい方法論、人間を含むシステムの情報構造の分析に必要なセンサ技術やセンサネットワーク技術、さらには分析のための大量データのストリーミング処理技術、Social Computing、人間の行動分析や行動モデルの構築技術、意思決定モデル・意思決定支援技術、プライバシー保護技術、集合知、ICT の受容性といった研究課題を提案する。

研究開発推進方法としては、フィールドにおける人間を含むシステムの情報構造に着目した研究プロジェクトを例に、チームによる推進方法、ならびに推進上の課題とその対応策という観点から、府省連携ファンディング、研究者がフィールドにおもむくための場の提供、人材育成などについて提案する。

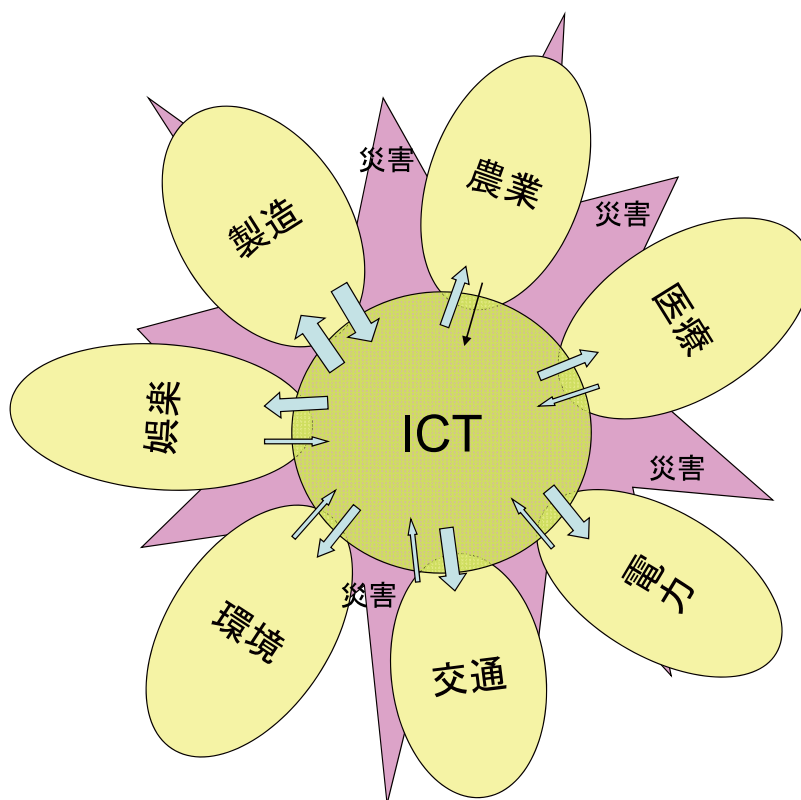


図1. ICT と応用分野（フラワーモデル）
（災害を想定した ICT の展開が今後の鍵）

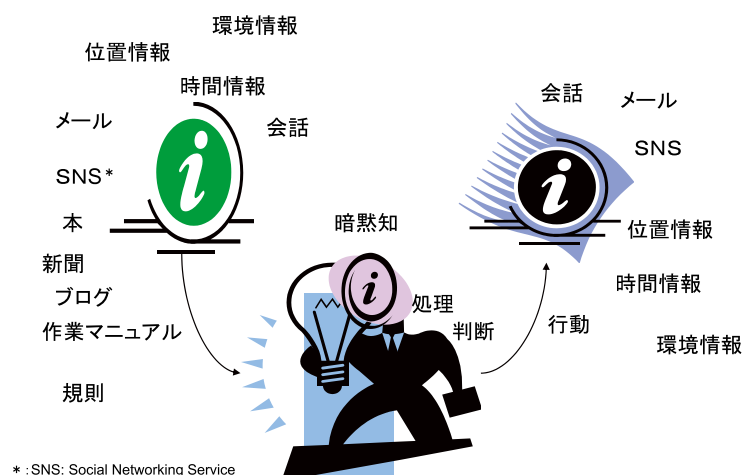
コラム1 人間を含むシステムの情報構造

実社会には様々な情報の流通が存在する；人と人の間、人と他の生物との間、人とモノの間、モノとモノの間など。情報は評価者に伝わって初めて、情報としての価値を持たされる。評価者によっては、同じ物理的变化が情報としてポジティブにもニュートラルにも、ネガティブにもなりうる。社会活動のフィールドでは、多様な情報が生成・流通・蓄積・再生成されている。どのような現場も情報なしでは動かない。フィールドを一つのシステムと捉え、その中でシステムの構成要素の一つとしての人間は、周囲から情報を取り入れ、加工・処理し、新たな情報を発信する。複数の人間が関与するシステムにおいては、一人の人間から発信された情報は別の人間に受け渡され、そこで加工・処理されて新たな情報として発信される。このような一連の情報の流れ・関係性を一つの「構造」と捉え、ここではそれを「情報構造」と呼ぶこととする。

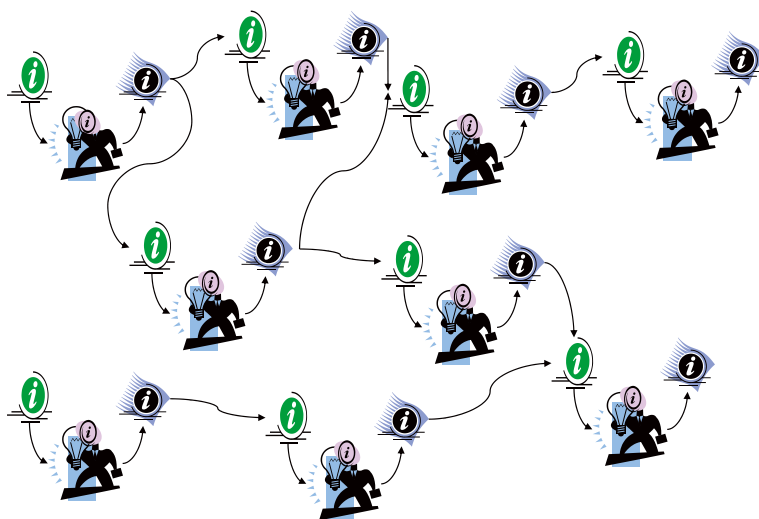
人間を含むシステムの情報構造の概念図を図A、図Bに示す。図Aは、人間を含むシステムの情報構造の基本単位を示している。情報構造をどのように記述するかも含め研究課題であるため、ここでは概念的な説明にとどめる。人間は、視覚や聴覚などによって情報を取り込むが、それには会話・新聞・テレビ・メールなどのシンボリックな情報と、自分の位置や周囲の環境などのノンシンボリックな情報とがある。そして、それらに基づいて判断と行動を行い、周囲の環境に物理的影響を及ぼしたり、他の人間に会話やメールの形でシンボリックな情報を伝えたりする。従来のICTでは、取り扱いが容易であることから主にシンボリックな情報の流れに関して研究開発が進められてきたが、人間を含むシステムの情報構造としては、ノンシンボリックな情報が人間の持つ暗黙知によって他の形の情報に変換される流れも同じように重要である。図Bは、こうした人間どうしが情報を通じて繋がった状態を表しており、これも人間を含むシステムの情報構造である。

図Cは、ICTが媒介することで、人間の活動が増幅されることを簡単に表現している。ある人間のノウハウ（暗黙知）を形式化し、複数の人がICTにより情報共有できたら、このコミュニティ全体の活動はICTにより増幅されたと見ることができる。増幅には質的な増幅と量的な増幅がある。

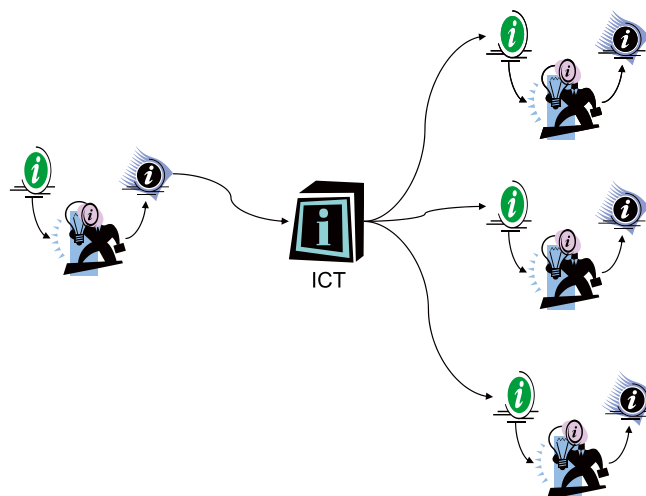
人間を含むシステムの情報構造は、ミクロからマクロの様々なレベルが存在し、個別課題にズームインしたフィールドレベルの研究、分野間までズームアウトした俯瞰レベルでの研究の両サイドからのアプローチが重要になると考えられる。



図A 人間を含むシステムの情報構造



図B あるコミュニティの情報構造



図C ICTによる増幅

2. 研究投資する意義

(1) 新しいICTプラットフォームの創出による産業競争力強化

インターネットの急速な発展と、組込みシステムのネットワーク接続が進展し、サイバーの世界は、よりリアルな世界との接点での活動に焦点が移ってきた。後に歴史を振り返ってみたとき、この時代は一つの転換点であるかもしれない。

日本には、すぐれた電子部品や材料・ナノテク技術があり、組込みシステム技術、センサ技術といったユビキタス関連技術の蓄積がある。近年急速に発展したクラウドコンピューティングとこうしたユビキタス関連技術を融合させた新しいICTプラットフォームを日本発で生み出すチャンスである。

人間を系に含む複雑なシステムにおいて、人間を含むシステムの情報構造の分析から、応用システムを構築するアプローチを世界に先駆けて実施することで、新しいICTプラットフォームを創出できる可能性がある。具体的には、組込みシステムと人間との価値共創の領域で世界をリードするものを生み出すことで、応用サービス分野での産業競争力向上に貢献できる。

(2) 社会の諸活動の質の向上

行政、産業、教育、公共サービスなどの社会の諸活動に対して、人間を含むシステムの情報構造を分析し、活動の増幅率をあげるためにICTを最適に実装することで、ICTによる支援がより効果的に実施可能となり、諸活動全体の質の向上が望める。

また、社会の問題解決に役に立ち、企業がすぐには踏み出せない、あるいは企業ができない領域をカバーできる。企業は利益重視で短期的課題に取り組みがちで、ICTによる人間の活動の増幅に関しては、ある意味プラスの増幅に注力することになる。国としては、ICTによる人間活動の増幅が負の方向に働く部分も十分に考慮した研究開発を実施することで、安全で安心な持続性社会を念頭においた社会の諸活動の質の向上が望める。

災害に対してロバストな情報通信インフラ構築においても、通常時とは違う人間の行動に関する知見から、通常運用と災害時のバランスを考慮した設計が可能となる。また、災害時における情報の信頼性の問題、情報へのアクセシビリティの問題などについても解決策を与えることが期待される。

(3) 熟練者の持つ暗黙知の伝承

本提案の中で想定する一つのフィールドとしては、例えば熟練農家のノウハウを一般農家に伝え生産性を向上させるといった取り組みが進むと同時に、その方法を一般化することで他の分野、例えば伝統工芸の職人のノウハウの伝承など、日本の伝統的産業で高齢化により技術の伝承があやぶまれる分野に対して適用可能な技術としても展開可能となる。

(4) 新しい学問領域の創出

様々な分野で人間を含むシステムの情報構造を分析した結果が集積され、そしてICTによる様々な分野の活動の増幅の事例が蓄積されていく中で、ICTと他分野が融合した新しい学問領域が創出される。

人を系に含む複雑なシステムの研究において、人間の行動モデルの構築に関わる研究も新たな領域となる。人間個人に関する意志決定や行動モデルだけではなく、集団としての人間の行動モデルについても GPS(Global Positioning System)搭載の携帯情報端末や、カーナビの発展により、これまでとは違った形で情報収集可能となっており、新しい研究領域を拓くものである。

(5) 異分野間連携の促進と人材育成

分野間の人材交流により、新しい問題の発見・イノベーション創成の機会が増大する。

融合分野のダブルメジャー、トリプルメジャーの人材育成が期待できる。また、人間を含むシステムの情報構造の分析により、新しくシステムをデザインする方法論を身に着けた人材が輩出され、今後の問題解決のためのシステム構築がより洗練されたものとなる。

また、本提案の研究プロジェクトへ企業からの参加者を募ることにより、社会実装への展開の促進が図られると同時に、学生が実際に問題解決する研究プロジェクトに参加することで学生の人材育成という点でも有効である。

研究プロジェクトは、参加する企業にとっては既存の事業の枠を超え、新しい事業の芽を探索する場としても有効に働く。

3. 具体的研究課題

本提案の人間を含むシステムの情報構造に着目した情報科学技術研究で想定される具体的研究課題のうち、直接的関連をもつ研究課題を 3.1 に、またその基礎を支える技術として進展させることが望まれる研究課題を 3.2 に示す。以下は、想定される代表的な研究課題の例示であり、すべてを網羅しているものではない。

各研究課題は、さしあたり個別に実施されるが、「人間を含むシステムの情報構造」という観点から、将来的に体系化可能な形で研究成果を蓄積することとする。体系化は一朝一夕でできるものではなく、個別のフィールドでの様々な試行を行い汎化し、さらに別のフィールドで適用し汎化することを繰り返すことで進む。体系化に向けての大きな課題は、人間を含むシステムの情報構造をどう記述するかという表現系の課題となる。

3.1 直接関連研究

(1) 人間を含むシステムの情報構造の分析

- 各種センサからのデータや、人間が作成したデータ（メール、ブログなど）、人間をとりまく環境情報、人間の活動によって生成される情報（位置情報など）を、構造化し分析する研究
- 人間を含むシステムの情報構造の表現系に関する研究

(2) 人間を含むシステムの情報構造に着目したシステム構築のための方法論

- 人間を含むシステムの情報構造の分析から、システムを構成するための新しい方法論の研究

(3) Social Computing

- 人間どうしの関わりをコンピュータが支援する技術の研究
- ソーシャルネットワーキングサービス上で作成されるソーシャルアプリケーションの研究
- ソーシャルネットワークそのものの科学研究（人の関係をネットワーク分析するなど）
- 個人や組織の行動の変化に関する研究

(4) 行動分析／行動モデルの構築

- 人間の行動ログなどによる行動分析の研究
- 集団としての人間の行動分析に関する研究
- 人間の個人あるいは集団としての行動モデルに関する研究

(5) 意思決定モデル・意思決定支援

- 人間が情報を集約して意思決定するプロセスを模擬する技術の研究
- 都市のデザインなどで多数のステークホルダーの意見を集約し、シミュレーション

技術などによって、どうあるべきかなど意思決定を支援する技術の研究

(6) 集合知

- 多くの人間の知を効率的に集めて広く利用可能にするシステムの研究。
- 多くの人間の参加により、断片的な知識を体系化する、ノイズを取り除いて信頼性を上げるシステムの研究

(7) プライバシー保護技術

- 人間に関する情報が大量に取得され分析される過程で、その人間のプライバシーが保たれなくなるといったことがないように、プライバシーを保護しつつ情報を扱うための研究

(8) ICT の受容性

- Facebook や Wikipedia などの、非常に多くの多様な人が参加するシステムにおいて、インタフェースの変更や、サービスの変更など、人間がどのようにそれを受け入れ、あるいは拒絶するのか、ICT の新しいサービスがどのように受け入れられていくのか、といった受容性に関する研究

(9) 情報の信頼性

- 情報のプロビナンス（出生証明）に関する研究
- 暗号技術を利用した信頼性の付与（デジタル署名など）に関する研究
- 風評被害の発生過程に関する研究

(10) 情報の格差

- 情報の偏在に関する研究
- 情報へのアクセシビリティに関する研究

3.2 支援技術研究

(1) 人間を含むシステムの情報構造に着目した大規模データ蓄積・処理技術

- 情報構造を詳細化するためには、非常に大量のデータを取得・処理することとなる。そのための大規模データ蓄積技術と、それを高速で処理する技術の研究
- 非構造化データの高速処理技術の研究
- 並列処理技術の研究
- 大規模分散ファイルシステムの研究

(2) 人間を含むシステムの情報構造のリアルタイムな処理のためのストリーミングコンピューティング

- 大量のデータを一旦蓄積してから処理するのでは間に合わない場合、リアルタイムにデータを処理する技術の研究

- (3) 人間を含むシステムの情報構造に着目したデータマイニング
 - 大量のデータを統計、パターン認識、検索などによって解析し、有用な情報を見つけて出す研究
- (4) シミュレーション技術
 - 人間を含むシステムの情報構造の変化を予測するシミュレーション技術の研究
 - エージェントシミュレーション技術の研究
- (5) 人間を含むシステムの情報構造の観察・分析のキーとなるセンシング技術
 - 各種センサデバイスの研究
 - カメラ画像からリアルタイムに情報を抽出するための画像処理技術の研究
- (6) センサネットワーク技術
 - センサからの情報を収集するためのネットワークに関する研究
 - 無線技術や、機器の省電力化、どのようにネットワークを構成するかといったアーキテクチャ、プロトコルの研究
- (7) アクチュエーション技術
 - どのように人間に働きかけるかの研究
 - ロボットの研究
- (8) 情報提示技術
 - 人間が評価しやすい情報の集約および提示技術の研究
 - Virtual Reality / Augmented Reality
 - テレイグジスタンス、テレプレゼンスなどの遠隔からの情報提示の研究
 - 感覚特性（錯覚等）を利用した情報伝達手段の研究
 - 現実環境に対して情報表示する技術の研究
- (9) ウェアラブルコンピューティング
 - 身につけることができる小型、軽量のコンピュータの研究
 - 身につけることができるセンシングデバイスの研究
 - 身につけることができる情報提示デバイスの研究
- (10) Federated Computing
 - ソフトウェアのコンポーネントだけでなく、組込みの機器もコンポーネントとしてとらえ、コンポーネントがシステムに自由に参加、離脱できる仕組みをもち、応用あるいは、個別の要求に対して、カスタマイズされたシステムを容易に柔軟に構築できる技術の研究
- (11) パターンランゲージ
 - システムを構成する要素をパターン化し、それらを組み合わせることでシステムを

構築する技術の研究

4. 研究開発推進方法

人間を含むシステムの情報構造に着目した情報科学技術研究は、人間を系に含むがゆえに不確実な挙動を示すシステムを対象とするため、十分に制御可能な閉鎖系の実験環境ではなく、実際の人間が活動しているフィールドでの実証実験が必要となる。様々なフィールドでの人間を含むシステムの情報構造の分析からはじめ、実際のフィールドの問題解決研究を実施しつつ、将来的にそれらの研究成果を体系化するアプローチをとる。本章では、フィールドにおける人間を含むシステムの情報構造に着目した研究プロジェクトの推進方法例、およびその推進上の課題と対応策について述べる。

4.1 研究プロジェクトの推進方法

フィールドにおける人間を含むシステムの情報構造に着目した研究プロジェクトの研究開発推進のサイクルは、以下のようになる。

1. フィールドの選定
2. フィールドとの信頼関係の構築
3. 情報構造の分析（必要であればデータ収集のシステムを構築）
4. フィールドでの課題解決とプラットフォームづくり
5. 足りない技術を補充（仲間をつのる）
6. 研究を始める
7. 課題解決に貢献しながら研究し、成果を論文としてまとめる。
8. 引き続きプラットフォームの運用
9. 新しい研究課題の発見
10. 新しい研究者の参画
11. 他のフィールド、応用分野への適用

下記の4チーム構成とする。

(1) アーキテクチャ・方法論チーム

人間を含むシステムの情報構造に着目した情報研究において、コンピュータ、インタフェース、人・社会を全体としてとらえるアーキテクチャや新しいシステム構築のための方法論など基盤的技術に関する研究を実施する。

参画する研究者としては、ICT研究者、社会学者、心理学者など様々な分野の研究者が想定される。

(2) プラットフォーム開発チーム

各応用に適した情報のプラットフォームの設計・開発を実施する。応用に依存することなく、すでに存在するプラットフォームで利用可能なものがあれば、それを利用する。

参画する研究者としては、ICT研究者が想定される。

(3) コンポーネント開発チーム

応用に依存しない、基本的コンポーネントの開発を実施する。

参画する研究者としては、ICT 研究者が想定される。

(4) フィールドシステム構築・実証チーム

アーキテクチャや方法論、プラットフォームとコンポーネントを用いて実際のシステム構築をフィールドで実施し、運用することでシステムの実証を実施する。

参画する人材としては、フィールドの専門家、フィールドの研究者、ICT 研究者、ICT 技術者などが想定される。

推進方法のイメージを図2に示す。

ここでは、農業、医療、コミュニティといった分野で研究プロジェクトが実施される状況を示している。各研究プロジェクトは、青の三角形で示されるフィールドシステム構築実証チーム（図2中では「フィールドチーム」）を中心とする。フィールドシステム構築実証チームは、コンポーネント開発チームの成果であるコンポーネント（ある機能を実現するソフトウェアやハードウェア）や既存のコンポーネント、プラットフォーム開発チームの成果であるプラットフォーム（共通の情報通信システム基盤）あるいは既存のプラットフォームを利用して、実証用のシステムを構築する。

コンポーネントやプラットフォームは、これまでの成果の利用が考えられるが、新規に開発が必要な場合には、実証用システムにファンドしている他府省と文部科学省との連携ファンディングが考えられる。

いくつかのフィールドシステム構築のデザインに関する指針や、プラットフォームの共通化、データ収集の方法の共通化など、全体に関わる部分は、アーキテクチャ・方法論チームで扱う。

図2に示すように、フィールドにおける問題解決、例えば農業であれば農林水産省がファンディングを実施するプロジェクトが想定されるが、そのプロジェクトから要素技術の高度化のために基礎研究への立ち返りなどがあつたとき、文部科学省との連携したファンディングにより、より効果的な研究の実施、問題解決を図ることが可能となる。

問題解決のための個別プロジェクトは、分野によってファンディングを実施する府省が異なることが想定される。今回一つの目標である学術としての体系化を目指すとき、個別に行われるプロジェクトにおいて、人間を含むシステムの情報構造を分析した結果、あるいは分析可能なデータとしての蓄積が求められる。データ収集のためのインフラ整備などの個別プロジェクトに対する追加的予算措置が必要となる場合もある。あわせて研究者のコミュニティ形成も実施していく。

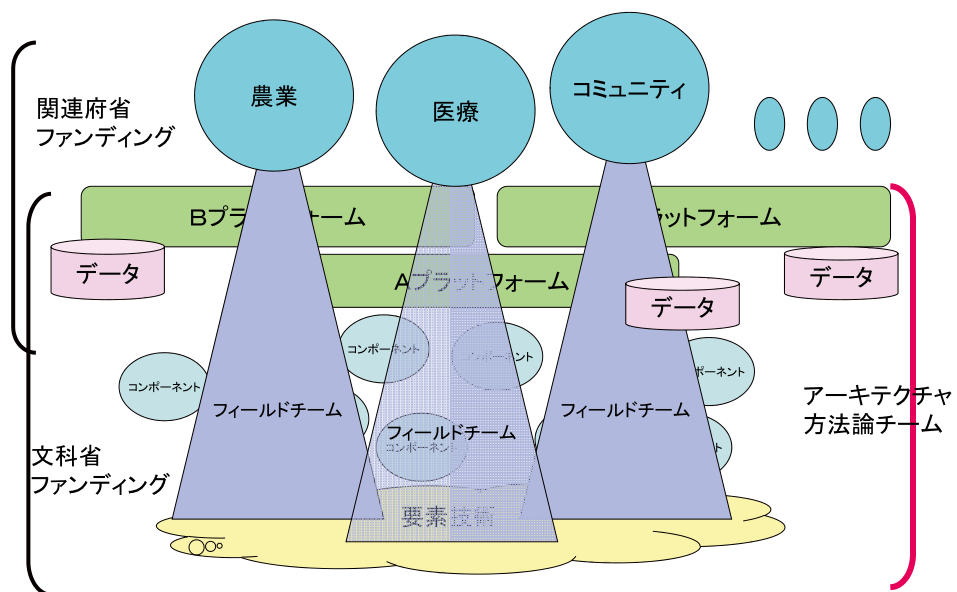


図2 推進方法のイメージ

4.2 推進上の課題と対応策

(1) 府省連携ファンディング

各府省主体のフィールドに対するファンディングで実施する実証の中で、基礎研究でのブレークスルーが課題として上がった場合、その課題に対するファンディングを文部科学省が実施するスキームを検討する。具体的には、農業分野であれば農林水産省との連携ファンディングが考えられる。

(2) ファンディングの継続性

4.1 の推進例で述べたフィールドから始める研究プロジェクトでは、研究組織・方法が機能するまでに時間が掛かる。一方、組織・方法が軌道に乗っても、成果が出るまでに時間が掛かる。プロジェクトの多くは中断が難しい場合があり、継続的なファンディングを実施する。

従来型の研究とは異なり、課題に適した中・長期的な時間尺度でのファンディング・評価システムを検討する。

(3) 場の提供

研究者がいきなりフィールドに行くことは、通常困難を極める。課題解決すべき現場と、研究者の出会いの場を設定する。例えば、すでにフィールドで研究している人を足がかりとして、WS などを開催し、関係者の輪を広げていく取り組みを実施する。

(4) プロジェクトの公募

リアルな現場と構築すべき ICT プラットフォームとその運用、そして研究課題のセットで公募をかける。ある程度分野を指定し、細かい分野は提案者にゆだねる。

(5) 成果の評価

取り組みの初期のフェーズは、既存技術によるシステム構築が主となるため、論文が書きにくい、論文だけの評価としない評価システムを検討する。

フィールドはラボの中とは異なり、様々な要因が交錯する複雑な世界である。そうした中で試行錯誤を進めることは、研究者に多大な負荷がかかる。また、学術論文の生産が効率的に行えなくなる。この結果、研究者として評価されにくくなることが憂慮される。一方で、フィールドで一緒に汗を流す、科学者ではない人たちからは深く信頼され、大きなやりがいを持って取り組んでいる研究者が多い。また、フィールドに身を置いてこそ、初めて発見される新しい研究のフロンティアがある。こうした研究は、学生の人気も高い。こうした研究者を評価することが必要である。

(6) 人材育成

研究プロジェクトの実施により、以下のような人材を育成する

- ① 視野が広い人材（ダブルメジャー、トリプルメジャー）
- ② 他分野の研究者と協働できる人材
- ③ 大量データを統計分析し意味や重要性を判断できる能力をもつ人材

- ④ システムをデザインできる能力をもつ人材
- ⑤ フィールドの問題を基礎研究に帰着できる能力をもつ人材
- ⑥ ビジネスモデルを創出できる人材
- ⑦ システム構築ができる人材

コラム2 研究プロジェクトの例：(想定)

このコラムでは、想定されるいくつかの研究プロジェクトをあげ、人間を含むシステムの情報構造について考察する。さらに、3章で述べた研究課題との関連についての整理を試みる（表1参照）。

① 熟練の技の伝承プロジェクト

熟練農家のもつノウハウを一般農家に知らせることで、農業の生産性向上をめざす。

ここでの人間を含むシステムの情報構造は、主に熟練農家の作業プロセスの情報と環境情報（温度や湿度、日照、土壌状態など）からなると考えられる。

大量のセンサにより、環境情報を収集すると同時に、熟練農家の作業プロセスの分析においても、画像あるいは、ウェアラブルセンサなどにより、詳細な情報を収集する。

② 生活機能低下予防プロジェクト

適度な運動の不足などを原因とする生活機能低下や不慮の事故による障害による生活機能低下は、巨額の介護費用や医療費の原因となっている。生活機能低下を予防することは、健康問題のみならず、経済的問題の解決となる。

ライフログを用い生活機能を観察、分析、評価する。また、生活機能低下を予防するために様々な介入を行う。評価し、介入し、また評価する生活機能低下予防のフィードバックを構成する。

ここでの人間を含むシステムの情報構造は、ライフログ（行動のログ、血圧や体温、脈拍などのデータなど）、環境センサの情報からなる。介入としては、携帯端末への情報表示、ロボットによる介入なども考えられ、そうしたものの情報構造の一部となる。

③ 人間関係可視化によるコミュニティ活動の効率化プロジェクト

人間の情報のやり取りを可視化することで、コミュニティにおける人間関係を分析し、コミュニティの活性化を図る。人間の行動を追跡するためのタグを身につけ、メールやブログなどの情報通信システム上のログの解析だけではなく、直接会って話している（例えば会議）などの行動のログの分析なども実施する。

ここでの人間を含むシステムの情報構造は、メールやブログの情報、行動の履歴となる位置情報、人間の関係性を示すネットワーク情報などからなると考えられる。

表1 研究プロジェクトと研究課題の関係

	①	②	③
3.1 (1) 人間を含むシステムの情報構造の分析	◎	◎	◎
(2) 人間を含むシステムの情報構造に着目したシステム構築のための方法論	◎	◎	◎
(3) Social Computing			◎
(4) 行動分析／行動モデル	○	○	○
(5) 意思決定モデル・意思決定支援	○	○	○
(6) 集合知			○
(7) プライバシー保護技術		○	○
(8) ICT の受容性		○	○
(9) 情報の信頼性			○
(10) 情報の格差			○
3.2 (1) 大規模データ蓄積・処理技術	◎	◎	◎
(2) ストリーミングコンピューティング			
(3) データマイニング	○		
(4) シミュレーション技術		○	
(5) センシング技術	◎	◎	○
(6) センサーネットワーク技術	○	○	○
(7) アクチュエーション技術	○	◎	
(8) 情報提示技術	○	◎	○
(9) ウェアラブルコンピューティング	◎	◎	○
(10) Federated Computing		○	○
(11) パターンランゲージ	○	○	○

◎ 大いに関係する

○ 関係する

5. 科学技術上の効果

(1) 新研究領域の創出

まず、各応用分野において、人間を含むシステムの情報構造を体系化することにより、他の応用分野へ展開することを可能とすることは本提案により創出される新たな研究領域の中で最大のものとなる。過去にも部分的にはそのような試みは行われているが、フラワーモデル（図1）の全ての花卉を網羅する体系化は行われていない。本提案に基づく研究推進により、それぞれの応用場面における人間を含むシステムの情報構造の分析とその体系化を行う過程自体が学問体系としての新領域に当たる。体系化の過程で新しい研究テーマの発見や創出が起きる可能性が考えられる。

既に ICT が入り込んでいる応用分野では計測すべき物理的パラメータの開拓が十分に進み新規に開拓可能な余地は小さいと思われるが、未開拓の新領域を発掘する事ができれば、その分野における ICT の適用に関して先駆となり多くの課題発見を行うことが可能になる。新しい ICT の適用領域の開拓は、人間を含むシステムの情報構造の分析・体系化においても新しい学術的課題を投げかけうる事は想像に難くない。

さらに、人間の行動モデルの構築も、ICT 分野における新たな研究課題を有する領域と考える事ができる。人間個人における意思決定や行動のモデルだけではなく、集団としての人間の行動モデルについても、これまでとは違ったアプローチでデータを収集し研究することが可能になっている。例えば、近年は GPS センサを搭載した携帯電話やスマートフォンを多くの人が所持し、携帯電話利用者の現在位置に応じた情報提供サービスも展開されている。ある自動車会社ではメーカー純正のカーナビゲーションシステムに位置情報や車両管理情報のサービスを提供する目的で搭載している通信機能を利用し、個人情報特定しない形で位置情報・車両情報の抽出を行っている。顧客へのサービスとして渋滞等の交通流に関する情報のフィードバックを行うだけではなく、個人情報を特定しない形で集積された車両運行情報から抽出された急ブレーキの発生頻度が高い箇所の抽出により、事故が発生しやすい場所を特定して自治体や警察に指摘し、改善などの対応を促すような貢献も行われている。このように技術的には、個人情報を特定しない形で、多数の人間の移動に関する情報すなわち集団としての人間の行動パターンを抽出・解析する研究が可能な状況が現れている。情報や物の流通に関して予測的な対応を取るためには、人間を含むシステムの情報構造の一部としての人間情報システムのモデル化は重要な研究課題になりうると考えられる。

ICT を応用する現場として想定されるフィールドは広く、多数のセンサを配置する必要がある。また、多数のセンサから時々刻々と流れてくるデータを必要に応じて蓄積し、その中からさらに肝心の情報だけを集約・抽出して人間に提示する必要がある。膨大なストリームデータからどのような情報を抽出すればよいか、その情報をどのような形で整形して評価者に呈示すればよいか、といった情報インタフェースの問題も情報分野の重要課題となりうる。

これらの諸問題・課題を解き前進する事によって、産業界のみならず学問的にも新たなアウトプットの間が生みだされることが期待される。このような分野の発見・開拓を他国

に先駆けて積極的に推進することにより、停滞感のある ICT 分野において日本発の産業・学術のイノベーションが生じることが期待される。

(2) 異分野間連携の促進

分野間の人材交流により、新しい問題の発見・イノベーション創成の機会が増大する。技術的イノベーションは異分野との交流によって生じることが多いと言われている^{1,2}。ICT の新しい領域への適用に向けた技術開発において、ICT 分野の専門家と応用分野の専門家との間で共通の目標を目指した作業が行われる事により、異分野間の人材の交流・文化の交流が起きることが期待される。

例えば農業分野における ICT の導入に当たっては、どのような現象を計測すれば農産物の収量アップに最短で結びつくか ICT 分野の研究者には想像できないが、農業熟練者は植物の葉の色の変化や根の生育状況などによってある程度の状況把握が可能である。一方、農業熟練者は ICT によってこれらの情報のどこまでを機械的に抽出可能かについてのノウハウは持っていない。従って農業分野に ICT を導入するには、少なからず ICT 分野と農業分野の従事者が協働する必要が生じ、新たな問題発見と課題解決のチャンスが生まれる事が期待される。

(3) 応用を見据えた基礎研究を実現

基礎研究から応用に至る道筋を模式化したリニアモデルにおいて、基礎研究と応用の間には「死の谷」と呼ばれる大きな乖離がある。多くの基礎研究がこの「谷」を乗り越えられず、応用・製品化に結びつかない問題が指摘され、企業において研究開発に対する投資が減額される一因にもなっていると考えられている。基礎研究も、長期的あるいは短期的視点に関わらず、また活動の原資を企業から得ているか政府から得ているかに関わらず、直接・間接の形を問わず、何らかの形で応用に結びつき人類や社会の役に立つことを目標とする必要がある。応用場面に密着した研究を推進することにより、基礎研究における成果を適用する場面との邂逅のチャンスが生じ、基礎研究で得られた知見が実用化研究においてより効果的に活用される事になる。

一方で、応用場面から抽出された新しいチャレンジングな課題を解くには、基礎研究に立ち返って新たな原理の発見を必要とする場合もありうる。具体的な問題を解決しようとすると、それを基礎理論の問題に帰着させて研究することに結び付き、基礎研究に新たな目標をもたらすことになるため、科学技術の発展にポジティブな影響を与える。さらに、常に応用場面と基礎研究との間で相互にフィードバックが掛かる関係を構築することが可能となれば、研究や開発のサイクルのスピードアップや効率化が生じ、学術面での活性化が促進されることが期待される。

1 日本政策金融公庫 総研レポート 09-03 「異業種・異分野人材が導く地域産業のイノベーション」

2 文科省・産学官連携基本戦略小委員会：調査・検討状況報告「イノベーション・エコシステムの確立に貢献する産学官連携基本戦略」平成 22 年 7 月 14 日。

6. 社会・経済的效果

(1) 社会の諸活動の質の向上

行政、産業、教育、公共サービスなどの社会の諸活動に対して、人間を含むシステムの情報構造を分析し、活動の増幅率をあげるために ICT を最適に実装することで、ICT による支援がより効果的に実施可能となり、諸活動全体の質の向上が望める。

企業は利益重視で短期的課題に取り組みがちで、ICT による人間の活動の増幅に関しては、ある意味プラスの増幅に注力することになる。国としては、ICT による人間活動の増幅が負の方向に働く部分も十分に考慮した研究開発を実施することで、安全で安心な持続性社会を念頭においた社会の諸活動の質の向上が望める。

災害に対してロバストな情報通信インフラ構築においても、通常時とは違う人間の行動に関する知見から、通常運用と災害時のバランスを考慮した設計が可能となる。また、災害時における情報の信頼性の問題、情報へのアクセシビリティの問題などについても解決策を与えることが期待される。

(2) 新たな産業創出による経済の活性化・競争力の向上

これまで ICT が導入されていなかった分野では、ICT 導入に伴う課題が明らかにされていない。他国に先駆けて ICT 研究者が入って課題を抽出し、現場の従事者との共同研究によって新たな技術的要求というフィードバックを得る事により、その課題の解決に繋がる新しい技術の開発が可能となる。また、新たに ICT が導入された分野では作業や生産の効率が向上し、その応用分野の産業競争力の向上にも繋がることが期待される。

本提案による人間を含むシステムの情報構造の解明には複数のレベルが存在する。例えば比較的初歩のレベルでは、篤農家や熟練作業者のような人々の暗黙知が抽出され、ICT システムにより他者が利用できる形式知となる。セミナーなどで熟達者のノウハウを学ぶと一時的にスキルが上がる効果が期待されるように、産業全体の生産力向上・対外競争力強化に繋がることが期待される。一方、初歩レベルでは利用者全体の生産量が上昇することが期待されるものの、全員が熟達者と同じ思考プロセスを踏襲できる状態には至らないと思われるため、全員が熟達者のように日々の作業改善が計画・実施できるレベルには到達するとは限らない。ただし人間を含むシステムの情報構造の解明の最終的なステップに到達すれば、作業の熟達者によって最適解が導出される思考プロセス自体を応用することが可能になる。この思考プロセスを実装した ICT システムの利用者の生産性は、熟練者レベルに近づくと想像する事ができる。同時に、ある分野の熟練者などから抽出された高いレベルの原理は、他分野においても展開することが可能となり、複数の分野での生産性・品質の向上が生じる事が期待される。

もし熟達者の思考プロセスまで模倣することを可能とするシステムが実現されれば、各分野に大きな生産性向上をもたらすことが予想され、そのシステム自身の付加価値（商品価値）は非常に高いものになると予想される。

(3) 世界をリードする基盤技術の創出による産業競争力強化

日本には、すぐれた電子部品や材料・ナノテク技術があり、組込みシステム技術、センサ技術といったユビキタス関連技術の蓄積がある。近年急速に発展したクラウドコンピューティングとこうしたユビキタス関連技術を融合させた新しい ICT プラットフォームを日本発で生み出すチャンスである。

人間を系に含む複雑なシステムにおいて、人間を含むシステムの情報構造の分析から、応用システムを構築するアプローチを世界に先駆けて実施することで、新しい ICT プラットフォームを創出できる可能性がある。具体的には、組込みシステムと人間との価値共創システムの領域で世界をリードするものを生み出すことで、応用サービス分野での産業競争力向上に貢献できる。

日本が ICT の新領域への応用に当たって課題解決を先取りすることにより、他国に先駆けたキラーアプリケーションやコアデバイスの開発とマーケットシェアの確保に繋げる事が可能になると期待される。また、ICT が導入された産業分野では効率化・省力化が大幅に進み、国際的な産業競争力が向上することが期待される。

(4) 周辺の産業領域に浸透することによるイノベーションの促進

異分野・異業種間の人材交流によってイノベーションが起こる場合があることがすでに指摘されている。ICT を新規分野へ適用する過程において生じる様々な問題について、その解決方法を ICT の研究者・従事者と応用分野の研究者・従事者との間で論じる場面が想定される。既存分野の従事者・研究者はそれぞれの分野における因習やかつての技術的限界から諦念された経緯などから、新しいアプローチを発想することが難しくなっている。しかし、以前検討され諦められたアプローチが技術革新などによって実施可能になっている場合がありうる。異分野の人材の交流によって生じる効果は、その分野ですでに常識と考えられていたアプローチ以外の方法での課題解決法の提案が起こりうる事であり、その新しいアプローチを契機にイノベーションが生じる可能性が予想される。

(5) 研究から応用への展開の加速

今までも ICT は様々な分野で応用されてきたが、基礎理論が実際に応用されるには長い期間が必要な場合もあった。実世界の問題から出発して研究することにより、この期間を短縮して発展を加速することができる。

これまでのリニアモデルに基づく研究開発の体制では、まず基礎研究が行われ応用側からは基礎研究の中で応用に資する研究を探し出すというアプローチが主であった。その中で、応用可能な基礎研究が存在すれば、現場に当てはめられるように見直し、実際に適用する際に問題となる問題を潰す作業が伴わないと実用には至らなかった。しかし、逆に、本提案で提唱しているフィールドからのアプローチでは、フィールドにおいて応用される課題解決を目標として基礎研究をスタートするため、これまでに必要とされてきた擦り合わせの問題が無くなり、基礎研究が速やかに応用に結びつくようになると考えられる。

一方で基礎研究は、単にフィールドの要望に対して細かな改善を施す対症療法のような研究ではなく、その問題の根源に関する原理を明らかにして対処するための「基礎」研究を行うことが肝要である。本提案における基礎研究と従来のボトムアップ型基礎研究との違いは着想とゴールが特定の応用のフィールドに根ざしている部分にある。ここで提案す

る「人間を含むシステムの情報構造の解明」に関連した基礎研究は、単に研究者の自発的着想と知的好奇心に基づくだけの研究ではなく、各応用のフィールドにおける問題解決に根ざしたものを指している。基礎研究が問題の根本原因を十分に追求し、解決の方法を体系化することに成功していれば、例えば同一分野の別のフィールドにおいて速やかに同研究の成果を展開する事が可能になると考えられる。

7. 時間軸に関する考察

(1) プロジェクトの推進

応用分野にも依存すると思われるが、主たるイベントの1サイクルの期間によっては1つの試みに対して結果が得られるのに数ヶ月から数年の期間が必要になる場合もありうる。例えば農業にICTを導入する事例については、生産物の収穫量を評価尺度とする場合、導入の効果を評価するのに数年の時間が掛かる事が予想される。まずICT導入前の基準値を得る場合にも、全く同じ手法でも気候変動などの自然要因による影響を受けるため、少なくとも数年の平均を取る必要がある。作業従事者の行動分析などを行う場合に、どの行動が収穫量とリンクしているかを解析するには少なくとも1サイクルか2サイクルの農作物生産を行う必要がある。さらに、新しい技術や手法を評価する場合にも、正確にはやはり数年の平均をとる必要があるだろう。また、医療や酪農など生命体を対象とする場合、プロジェクトの打ち切りと同時にICTによるサポートが撤退すると、生命倫理に関連した問題が生じる場合さえもありうる。また、ICT応用に従事した研究者が一定の成果を出すには、少なくとも複数回の農作物生産サイクルを追跡する必要があると思われる。一方で短期に効果の確認が可能な応用分野も存在すると考えられ、例えば工業生産の工場では原材料から製品までの1サイクルに所要する時間が数時間から数日の場合もある。従って、主にICTの応用対象とするイベントの1サイクルに所用する時間によってプロジェクトの推進期間の時定数が決まり、それは多種多様となる。

(2) プロジェクト推進と体系化への道のり

研究プロジェクトと体系化への道のりを図3に示す。研究プロジェクトは、(1)で述べたように、1年間程度のものから、3年～5年、長いものでは10年間を要するものもある。また、問題解決のフィールドに応じて、いろいろな府省での個別プロジェクトが想定される。要素技術の研究は、個別に並行して実施される。各プロジェクトとしての成果(問題解決)と同時に、人間を含むシステムの情報構造に関する知見の蓄積が図られ、長期的には体系化が実施される。こうした活動は、研究者コミュニティによって実施される。

本提案から具体的研究プロジェクトが走りだすまでには、人間を含むシステムの情報構造に着目することで大きな成果があげられそうな分野に関して議論を深めるワークショップを開催するなど、限られたリソースを有効に使うためにある程度の分野の絞込みと、分野によっては他府省と文部科学省の連携ファンディングについての合意を形成するなどの準備期間が必要である。準備期間では、すでに始まっているプロジェクトに関して、本提案の主旨に合致するものから、人間を含むシステムの情報構造の分析を行なうなど、フイービリティスタディを実施することも有効である。

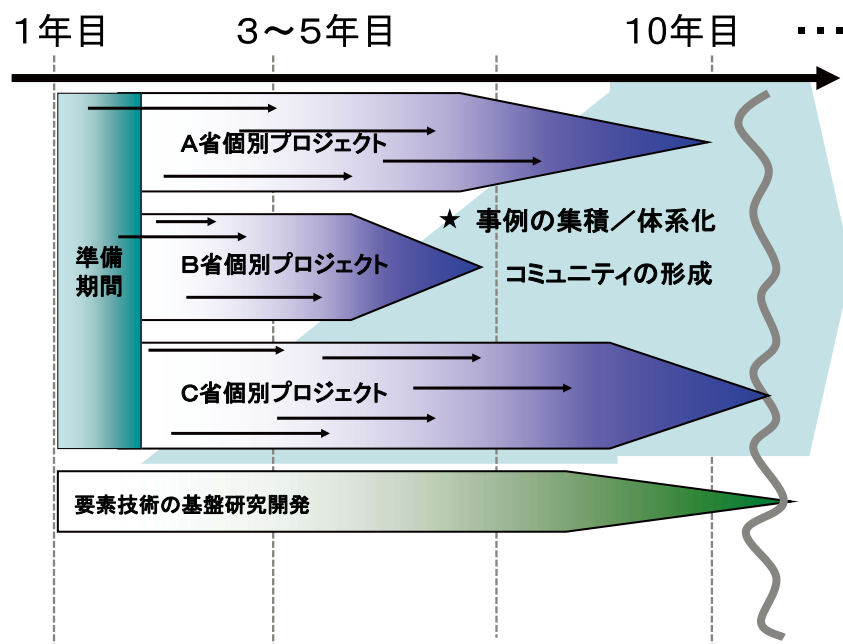


図3 プロジェクトの推進と体系化

(★事例の集積／体系化の斜め線は、個別プロジェクトの研究成果が段階的に集積され、コミュニティも徐々に形成される状態を示している。)

8. 検討の経緯

研究開発戦略センター（CRDS）電子情報通信ユニットでは、ICT 分野における、国の研究開発のあるべき姿について、以下のような経緯で検討を行ってきた。

研究の成果を経済・社会的価値に変換する科学技術イノベーションの多くが、特に ICT 分野では、米国主導で行われている現状に鑑み、我々は、日本の ICT 分野の研究開発力、ICT の利活用状況、産業競争力の現状を国際的な観点から幅広く調査することから検討を開始した。平成 22 年 4 月から 9 月までの調査・検討で、次のような現状を再認識した。

- ・ ICT 産業は、日本の産業の中でも、売上高 62 兆円と雇用 192 万人を生み出す、自動車産業に匹敵する巨大産業である。一方で、利益率は欧米の主要プレーヤーに比べて大きく見劣りする。
- ・ 日本の ICT インフラは国際的にもトップクラスの整備状況にあるが、それを活用できていない。
- ・ 硬直的な社会制度にもいくつかの問題が見受けられる。
- ・ 日本の ICT 分野への研究開発投資は約 3 兆円で、その 92%は企業が出資しており、公的研究開発投資は 8%に過ぎない。
- ・ 日本の ICT 分野における研究者のアクティビティは、質・量ともに、世界でかなり健闘している。
- ・ ICT は、人間や社会の活動の「増幅器」であり、実世界の中で、どれだけ貢献できるかが重要である。
- ・ この科学技術分野の将来の担い手である学生の人口が減少傾向にあるだけでなく、理科離れ、ICT 離れ、留学生の減少といった懸念材料がある。

上記調査・検討の結果から、我々は、国のファンディング戦略として下記仮説を持つに至った。

- (1) 国は、企業の研究開発の一部を補助するような研究開発を行うのではなく、多様な知を生み出し、新しい技術のフロンティアを積極的に拓く研究とともに、新しい産業の芽を開拓する研究を人材育成とともに進めていかなければならない。
- (2) ICT の発展には、2 つの方向があり、一つは社会に向かう応用の方向（by ICT）、もう一つは ICT それ自身の先鋭化、進化の方向（of ICT）がある。この二つの研究が、シナジーを生み出すような研究開発のフレームワークを作り出す必要がある。

以上の調査・検討結果は、調査報告書「電子情報通信分野の現状調査と研究開発ファンディング戦略の予備的検討（CRDS-FY2010-RR-04）」にまとめた。

平成 22 年 9 月から平成 23 年 2 月にかけて、こうしたいくつかの主要な発見と仮説をもって、産学官の有識者と、ICT 分野の研究開発推進における国の役割について意見交換を続けた。また、企業の幹部の方々を招いた講演会や意見交換会を企画し、研究開発現場の実情について伺った。

多様な知を生み出し、“by ICT” と “of ICT” のシナジーが生まれるような研究開発の姿について議論を重ねた結果、ICT 分野の研究者は、コミュニティの中で既に認識され

た課題に取り組むだけでなく、ラボから社会に飛び出し、現場で機能する情報技術の研究開発に取り組む中で、新しい研究課題を発見するような研究が奨励されるべきであるとの心証を我々は得た。こうした実践をすでに始めている何人かの研究者へのインタビューを行った。具体的には、農業、観光、新興国といったフィールドでの研究事例を得ることができた。

平成 23 年 1 月以降の検討では、現場での意欲的な活動を展開する研究者の活動が、学術的にどのような価値を持ちうるのかについての検討を深めていった。平成 23 年 2 月 1 日の CRDS 内のフェロー戦略会議での議論をふまえて検討した結果、情報技術を現場に適用しようとする研究は、現場に存在する“情報構造”の抽出を行う基礎研究を含むととらえられるとの考えが生み出された。ここで、情報構造とは、「人間を中心として存在する一連の情報の蓄積（ストック）および流れ（フロー）」と定義した。

これまで、ICT 分野の研究は、コンピュータや通信技術、それを支える電子デバイス技術の発達によって開かれた研究課題の沃野の中で急速に発展してきた結果、いわゆる「of ICT 研究」に重点がおかれていた。そうした研究観からは、現場に適合する技術を生み出す努力に明け暮れる研究者が、過去の研究成果を現場に適用するにすぎない研究を行っている者としてしか評価できない。しかし、情報とは、コンピュータで扱えるものに限られるものではない。情報とは、人間と人間、人間と自然、人間と人工物など、“場”を構成する様々な要素間の様々な関係性を媒介する媒体である。従って、その場を形成する情報の構造を明らかにし、適切な手段を現場に組み込むことこそ、社会の様々な活動を円滑に進めるために本質的な研究である。そして、研究者たちの現場での試行錯誤は、現場の情報構造を抽出する理論や技術を構築する手段として必須のプロセスであると考えることができる。

こうした情報の位置づけは、ICT 分野の研究者が、いかなる専門性を持つ者なのかを考えるためにも重要な示唆を与える。現場で苦闘する ICT 分野の研究者は、コンピュータを使って、とてつもなく便利なツールを作りだしてくれる便利屋と見られてしまう場合がある。しかし、その研究者は、現場に役立つツールを作り出すにとどまらず、現場の情報構造を解明し、情報によって媒介される様々な活動の質を高めるための理論と技術の構築に取り組む研究者たちであるべきである。そうすれば、ICT 分野の研究者は、コンピュータを使いこなす技能だけに習熟した者ではなく、現場を情報技術で活性化させるための様々な理論と技術に関する深い見識を持った科学者として、高い価値が認められるであろう。

こうした文脈で、昨年度（平成 21 年度）の俯瞰ワークショップⅣの成果、研究者コミュニティの中の問題意識、海外のファンディングの動向を振り返ると、ICT 分野の研究開発は、基本的に現場主義に向かっていることがわかる。すなわち、欧米において CPS（Cyber-Physical Systems：実世界とサイバー世界が緊密に結合されたシステム）、IoT（Internet of Things：人だけでなく、モノがインターネットを通じてつながることによって創造される新しいビジネスや価値、それを実現するアーキテクチャや要素技術の総称）などの概念が提唱され、また、日本においても情報処理学会が、「新しい〇〇情報学」の特集号を発刊するなど、現場密着型の研究の重要性が認識されてきているのである。

これは、3年前の俯瞰ワークショップⅢに、電子情報通信分野の俯瞰図に加わった「Service Enabling Platform」の意義にも重要な示唆を与える。つまり、情報科学技術の研究が、エレクトロニクス、フォトンクス、セキュリティ・ディペンダビリティ、ネットワーク、コンピューティング、ロボティクスといった、従来のICT分野の研究に収まらない多くの課題を追究しなければならなくなってきたことを、既に3年前から我々は認識しつつあったのである。

再現性が高く、扱いやすい現象をとらえる科学から、人間や社会といった不確定で定式化が難しい人文社会を扱う科学までもその範囲を拡大させ、スケールの大きな研究開発を推進しなければならない。また、そうしたリスクが高く、野心的な研究開発こそ、国が率先して取り組まなければならない課題である。こうした研究開発を通じ、多様な知を生み出し、新しい技術のフロンティアを積極的に拓くとともに、野心あふれる人材育成が可能になるとの期待とともに進められる格好の課題である。

以上のような検討の経緯を経て、我々は、この戦略プロポーザルを発行するに至った。

なお、今年度、我々の議論にご協力いただいた有識者は、下記の方々である。この場を借りて御礼申し上げる次第である。

氏名（五十音順） 所属

- ・石田 亨 （京都大学 工学部情報工学科 教授）
- ・江村 克巳 （日本電気株式会社 執行役員 中央研究所長）
- ・及川 芳雄 （インテル株式会社東京本社 技術本部長）
- ・北川 源四郎（統計数理研究所 所長）
- ・桑原 洋 （株式会社日立製作所 特別顧問）
- ・神成 淳司 （慶應義塾大学 環境情報学部 准教授）
- ・舘 暲 （慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科 教授）
- ・西口 泰夫 （元京セラ株式会社 社長）
- ・西田 佳史 （産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究センター）
- ・平井 淳生 （経済産業省 商務情報政策局情報経済課 情報経済企画調査官）
- ・広崎 膨太郎（前日本電気株式会社 執行役員 副社長）
- ・松原 仁 （はこだて未来大学 複雑系知能学科 教授）
- ・丸山 宏 （元日本 IBM 株式会社 執行役員 東京基礎研究所長）
- ・森川 博之 （東京大学 先端科学技術研究センター 基盤科学研究系 教授）
- ・安浦 寛人 （九州大学 理事・副学長）
- ・Daniel Reed （マイクロソフト社 Corporate Vice President）

9. 国内外の状況

現在、情報科学は次の二つの点で大きな転機を迎えつつあると思われる。

第一に、情報システムは本来実世界の情報を扱うものであったはずなのに、情報をデジタル化する技術が未発達であったため、キーボードなど限られた入力手段しか使用できず、実世界とは切り離されたサイバー世界に関する技術が中心となってしまった。しかし、近年のセンサ技術の発展は、低コストで大量の情報をデジタル化することを可能にした。これにより、実世界とサイバー世界の壁をなくす技術の発展が期待される。

第二に、これまで情報システムで取り扱う対象は比較的単純で法則性のはっきりしたものに限られ、人間や社会システムの複雑な振る舞いを計算して予測することは難しかった。しかし、第一の点で述べたように大量データを取得できるようになったことと、シミュレーションやデータマイニングなどのソフトウェア技術が発展してきたことから、人間や社会システムについても取り扱うことが可能になりつつある。

本戦略イニシアティブは、第一の点で述べた実世界とサイバー世界の融合に加えて、第二の点で述べた人間の行動や意思決定のモデル化を行い、全体を統合して人間を含むシステムの情報構造の研究を推進しようとするものである。これに関連して、次に述べるように既に国内外でさまざまな研究開発が進行中であるが、二つの観点を統合することに焦点を当てた研究開発プロジェクトはまだ見られない。

9.1 国内の状況

第4期科学技術基本計画に向けての答申³では、成長の柱としてグリーンイノベーションとライフイノベーションの推進が挙げられている。そして、重要課題への対応として「課題達成型の研究開発推進のためのシステム改革」という項目があり、グリーンやライフに関する重要課題を達成するための研究開発が強く求められている。それに対応する情報分野の基盤技術としては、実世界のデータをデジタル化して活用すること、人間や社会の振る舞いをモデル化して予測することなどが考えられ、次のような研究開発プロジェクトが進められている。

最先端研究開発支援プログラム (FIRST) に採択された情報融合炉⁴は2010年から4年間のプロジェクトで予算40億円弱である。これは超高速データベースエンジンの開発と、センサが生み出す膨大な実世界観測データを活用した次世代戦略的社会サービス (CPS に相当、9.2(1)「米国の状況」を参照) の実証システム構築を目指している。

科学技術振興機構 (JST) の CREST で2009年に始まった研究領域である「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」⁵は、実空間コミュニケーション、ヒューマンインターフェース、メディア処理などの要素技術を融合・統合し、人間と情報環境の調和を実現するための基盤技術の構築を目指している。採択されたプロジェクトには、例えば「食」に関わるライフログ共有技術基盤」がある。これは食事内容を画像処理によって検出し、栄養解析や食からのコミュニケーション支援を行う研究である。

3 総合科学技術会議, <http://www8.cao.go.jp/cstp/output/toushin11.pdf>, 2010年12月24日

4 中心研究者 喜連川優, <http://www.tkl.iis.u-tokyo.ac.jp/FIRST/index.html>

5 研究総括 東倉洋一, <http://www.ambient.jst.go.jp/>

JST のさががけで 2008 年に始まった領域である「知の創生と情報社会」⁶は、多様もしくは大規模なデータから、有用な情報である知識を生産し、社会で活用するための基盤的技術に関する研究を行っている。採択されたプロジェクトには、例えば「インフルエンザ感染伝播のデータ同化モデルによる解析・予測技術」がある。また、2009 年に始まった領域である「情報環境と人」⁷は、人とのインタラクションが本質的となる知的機能の研究を行っている。採択されたプロジェクトには、例えば「大規模 web 情報とライフログによる実世界認識知能の構築」がある。

情報処理学会は学会誌「情報処理」2010 年 6 月号で「新しい〇〇情報学」⁸という特集を掲載した。これは、農業、観光、災害など具体的な対象の研究から始めることによって、情報分野のイノベーションを起こそうというものである。また、2011 年 2 月にはシンポジウム「ソフトウェアジャパン 2011」⁹を「サイバー・フィジカル・システムクラウドに組み込まれる実世界—」というテーマで開催した。これは米国の CPS 研究に触発されたもので、発表者からは、大量センサデータにより社会科学の定量化が可能であるという指摘や、都市計画におけるシミュレーションの可能性についての指摘があった。

9.2 国外の状況

(1) 米国の状況

物理世界とサイバー世界が緊密に連携するシステムについての研究開発が盛んに行われている。National Science Foundation (NSF) では Cyber Physical Systems (CPS) をテーマにして 2006 年にワークショップ¹⁰を開催し、2009 年から年間 3,000 万ドルの予算でファンディングを行っている¹¹。採択された研究プロジェクトは、ロボット、電力、交通、医療、海洋調査、宇宙など非常に幅広い分野に渡り、センサネットワークや大規模・リアルタイム・分散データ処理に関連する具体的なシステムや技術を作り出すものが多い。また、安全性などに関する理論的研究のプロジェクトも若干存在する。

企業では IBM が 2008 年に Smarter Planet というビジョンを提唱した。これも健康、エネルギー、交通、商業などあらゆる分野で実世界のデータを収集・分析・活用することを目指している。上記の CPS と比べると、研究と実用の違いということもあって、要素技術の組み合わせで社会的課題を解決することを強調している印象がある。

それ以外にも個別分野ごとに ICT との融合が進んでいる。例えば農業では Precision Agriculture¹² という分野が生まれ、農業用のセンサシステムやロボットの研究開発が行われている。

人間の振る舞いや社会的活動をデータに基づいて分析しようとする研究も活発である。MIT Media Lab では 2003 年頃から Reality Mining プロジェクトを行っている¹³。このプロジェクトの出発点は、携帯電話を利用して人間の行動に関するデータを大量に収集し、個人や集団の振る舞いに関するモデルを構築することであった。現在のプロジェクトの目

6 研究総括 中島秀之, <http://info.jst.go.jp/>

7 研究総括 石田亨, <http://www.human.jst.go.jp/>

8 塚本昌彦他, 特集 新しい〇〇情報学, 情報処理 Vol.51 No.6 pp.633-691, 2010 年 6 月

9 情報処理学会, <http://www.ipsj.or.jp/10jigyo/forum/software-j2011/>

10 <http://varma.ece.cmu.edu/cps/>

11 NSF, <http://www.nsf.gov/pubs/2010/nsf10515/nsf10515.htm>

12 Precision Agriculture, Springer, ISSN 1385-2256

13 MIT, <http://reality.media.mit.edu/>

的は、人間の振る舞いを計測し、モデル化し、影響を与えることである。具体的な研究テーマとしては、人間の行動のモデル化と予測、人間関係に関する推論、Social Serendipity（共通点のある人を紹介するシステム）などがある。

雑誌 Science には Predicting the Behavior of Techno-Social Systems という記事¹⁴ が掲載された。Techno-social system とは、交通や電力などの大規模インフラと通信やコンピューティングが密接に結合したものである。このようなシステムのシミュレーションは、人間の振る舞いを計算に入れなければならないため、従来は難しかったが、最近は人間の行動に関する膨大なデータを収集・処理することによって可能になりつつある。この分野特有の問題として、平常時のデータでは危機が起きた時の振る舞いが予測できないため、災害時のデータの収集や、危機に直面した時の人間の行動モデルを作ることが必要であると指摘している。

NSF では Social-Computational Systems¹⁵ に関して 2010 年から年間 1,500 万ドルの予算でファンディングを行っている。これはコンピュータによって媒介された人間の集団を研究対象として、その性質や振る舞いを理解し、socially intelligent computing の実現を目指すものである。採択された研究プロジェクトには、人間同士のコミュニケーションの促進、ネットワーク上での知識の集積や知的生産性の向上などに関するものが多い。

シミュレーションは古くから研究されてきたテーマであるが、近年は科学的方法論としての重要性が強調されるようになった。2009 年に World Technology Evaluation Center (WTEC) は International Assessment of Research and Development in Simulation-Based Engineering and Science¹⁶ という報告書を出した。これは NSF や Department of Defense などの政府機関の委託によるもので、2008 年から 2009 年にかけてワークショップが 2 回開かれている。この報告書では、シミュレーションは今後多くの科学技術分野での発展に中心的な役割を果たし、科学技術における米国のリーダーシップを保つのに不可欠であると指摘されている。

Purdue University からは 2006 年に Sentient World Simulation Project¹⁷ の提案がなされている。これは政治、軍事、経済などのあらゆる観点を含み、実世界の出来事を継続的に反映させるミラーモデルをコンピュータ上に作り、それによって将来の出来事を予測しようというものである。

（２）欧州の状況

米国の CPS と同様に 7th Framework Programme (FP7) でも実世界とデジタル世界を結合するための研究開発が進められている。SENSEI : Integrating the physical with the digital world of the network of the future¹⁸ は 2008 年から 3 年間のプロジェクトで、FP7 からは 1,500 万ユーロ弱が支出された。これはスケーラブルな無線センサ・アクチュエータネットワーク (WS&AN) を構築するための基盤技術を研究するもので、将来的にはインターネットが WS&AN と融合し、実世界とデジタル世界が結びつくと予想している。

14 A. Vespignani, Predicting the Behavior of Techno-Social Systems, Science Vol.325 No.5939 pp.425-428, 24 July 2009

15 NSF, <http://www.nsf.gov/pubs/2010/nsf10600/nsf10600.pdf>

16 WTEC, <http://www.wtec.org/sbes/>

17 A. Chaturvedi 他, http://www.krannert.purdue.edu/academics/mis/workshop/ac2_100606.pdf

18 <http://www.sensei-project.eu/>

米国の CPS ではセンサによって物理世界の計測を行う研究が盛んに行われているのに対し、FP7 の Internet of Things (IoT)^{19 20} に関する研究は電子タグなどによってインターネットを実世界に拡張していくことを重視しているようである。Global RFID interoperability forum for standards (GRIFS) は 2008 年から 2 年間のプロジェクトで 45 万ユーロが支出された。これは電子タグの標準化団体間の連携を強化し、相互運用性を向上させることが目的で、日本でのパートナーは (財) 流通システム開発センターである。Coordination And Support Action for Global RFID-related Activities and Standardization (CASAGRAS) は 2008 年から 1 年半のプロジェクトで 53 万ユーロが支出された。これは IoT を実現するために必要な標準や規格を提示することが目的で、日本でのパートナーは YRP ユビキタス・ネットワーク研究センターである。また、現在は Internet-connected Objects というテーマでプロジェクトの提案が募集されていて、予算は総額で 3,000 万ユーロである。

社会や個人と技術との相互作用に関する研究については、米国のようにまとまった形ではないが、FP7 でファンディングされたプロジェクトの中にはこの分野のものが多くある。VISIONEER : Envisioning a socio-economic knowledge collider: from computational social science to social computing²¹ は 2009 年から 1 年間のプロジェクトで 10 万ユーロ強が支出された。これは複雑で非均衡状態にある社会的システムを定量的に理解し、シミュレーションやデータマイニングによって予測を行う技術に関する研究である。Knowledge collider とは、あたかも粒子加速器が素粒子を衝突させて新しい素粒子を生み出すように、社会学者、経済学者、計算機科学者などの多分野の専門化の知識を衝突させてイノベーションを生み出すという意味である。

また、University of Lincoln (英) では 2006 年に Lincoln Social Computing Research Centre を設立した。

(3) 中国の状況

2009 年後半から物聯網 (IoT の中国語訳) に関する研究開発が活発になっている²²。2010 年の第 11 期全国人民代表大会では、情報ネットワーク産業の発展が国家戦略の一つと位置づけられ、特に三網融合 (通信ネットワーク、放送ネットワーク、インターネットの融合) と物聯網が重視されている。各地の地方政府がそれぞれ特色のあるプロジェクトを開始しており、例えば無錫市は感知中国中心としてセンサ技術の研究開発や研究成果の商業化を目指している。

19 Internet of Things Initiative, <http://www.iot-i.eu/public>

20 真崎博司, 「Internet of Things」を取り巻く環境, IPv6 によるインターネットの利用高度化に関する研究会

21 <http://www.visioneer.ethz.ch/KnowledgeAccelerator>

22 井上泰一, 中国の物聯網 (Internet of things) プロジェクトの動向, ユビキタスネットワークフォーラムシンポジウム 2010

■戦略プロポーザル作成メンバー■

勝山 光太郎	フェロー	(電子情報通信ユニット)
栗木 一郎	フェロー	(電子情報通信ユニット)
服部 隆志	フェロー	(電子情報通信ユニット)
金子 健司	フェロー	(電子情報通信ユニット)
嶋田 一義	フェロー	(電子情報通信ユニット)
伊東 義曜	主任調査員	(電子情報通信ユニット)
丹羽 邦彦	上席フェロー	(電子情報通信ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2010-SP-11

戦略イニシアティブ

人間を含むシステムの情報構造に着目した 情報科学技術研究の推進

STRATEGIC INITIATIVE

Promotion of information science & technology research
focusing on information structure of system including human

平成 23 年 3 月 March 2011

独立行政法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター 電子情報通信ユニット
Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒 102-0084 東京都千代田区二番町 3 番地

電 話 03-5214-7484

ファックス 03-5214-7385

<http://crds.jst.go.jp/>

© 2011 JST/CRDS

許可無く複写／複製することを禁じます。

引用を行う際は、必ず出典を記述願います。

No part of this publication may be reproduced, copied, transmitted or translated without written permission.

Application should be sent to crds@jst.go.jp. Any quotations must be appropriately acknowledged.

ATTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
CT CTCGCC AATTAATA
TAA TAATC
TTGCAATTGGA CCCC
AATTCC AAAA GGCCTTAA CCTAC
ATAAGA CTCTAACT CTCGCC
AA TAATC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT CTAAT A TCTAT
CTCGCC AATTAATA
ATTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTAAC T CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA C CT
GA C CTAAC T CTCAGACC
0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101

