

CRDS-FY2013-SP-07

戦略プロポーザル
知のコンピューティング

～人と機械の創造的協働を実現するための研究開発～

STRATEGIC PROPOSAL

Wisdom Computing
Research and development
for creative collaboration between
humans and machines



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（CRDS）は、国の科学技術イノベーション政策に関する調査、分析、提案を中立的な立場に立って行う公的シンクタンクの一つで、文部科学省を主務省とする独立行政法人科学技術振興機構（JST）に属しています。

CRDS は、科学技術分野全体像の把握（俯瞰）、社会的期待の分析、国内外の動向調査や国際比較を踏まえて、さまざまな分野の専門家や政策立案者との対話を通じて、「戦略プロポーザル」を作成します。

「戦略プロポーザル」は、今後国として重点的に取り組むべき研究開発の戦略や、科学技術イノベーション政策上の重要課題についての提案をまとめたものとして、政策立案者や関連研究者へ配布し、広く公表します。

公的な科学技術研究は、個々の研究領域の振興だけでなく、それらの統合によって社会的な期待に応えることが重要です。「戦略プロポーザル」が国の政策立案に活用され、科学技術イノベーションの実現や社会的な課題の解決に寄与することを期待しています。

さらに詳細は、下記ウェブサイトをご覧ください。

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

エグゼクティブサマリー

知のコンピューティングとは、情報科学技術を用いて、知の創造を促進し、科学的発見や社会への適用を加速することを目指した活動全般である。

現代社会は知識と情報であふれており、われわれはこれを活用しきれていない。学術論文や書籍・文献のデジタル化や Wikipedia に代表されるインターネットを活用した新たな知識体系の整備、ブログや SNS などの断片的だが大量の発信文書など、膨大な知識の体系や断片がインターネット上に無秩序に増殖している。しかし、活用に関しては、キーワードを主体とした検索エンジンを通じた人手による探索が現状の主要な手段であり、それ以上の、知の蓄積や伝播、活用に向けた新たな方法論は出現していない。

一方、情報科学技術の分野では、半導体やハードウェア技術の継続的な進歩により、計算機としての性能と記憶容量は加速度的に向上し、また、ソフトウェアの分野でも、人工知能技術の発展は一時期の幻滅期を越えた新たな領域に踏み出そうとしている。人工知能技術の成果は、たとえば将棋では一流の棋士に匹敵する力量をもち、また難問クイズ番組でも人間の歴代チャンピオンに勝つなど特定分野での成功が目立つ一方、音声認識や機械翻訳においても実用レベルの完成度を我々が享受できるようになってきた。

科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）では、研究開発の俯瞰報告書「電子情報通信分野（2013年）」¹にて、今後戦略的に取り組むべき分野の一つとして「知のコンピューティング」を提唱した。世にあふれる情報・知識を有効に活用することで、人々が賢く生きる上での糧（知）とするための仕組み、及び、その研究開発を模索してきた。具体的な活動として、2013年度には、学際的な有識者・研究者を招いたサミット²や複数回のワークショップを通じて、新たな学問分野としての研究開発の方向性と具体的な研究開発テーマの深掘りなど検討を重ねてきた。

知のコンピューティングの目的は、知の創造、蓄積と流通を促進し、人間の科学的発見を加速し、人々が日々賢く生きるための仕組みづくりを行うことである。研究開発を推進する際には、以下に述べる、今の人間にはできないことの追求、従来の科学ではできないことの追求、および、社会適用を意識した研究開発の3つの視点を重視している。

①加速する知の集積・伝播・探索（人間だけではできないことの追及）

世界中のネットワークに繋がった多様なエンティティ（知能や知識）を活用し、ごく簡単なやり取りで、最適な提案を行うことは、人間のキャパシティーを大幅に超えている。ここでは、特に人間と機械の日常の場におけるインタラクションを通して知の集積・伝播・探索のための研究開発を推進する。

¹ CRDS-FY2012-FR-05 および、改訂版 CRDS-FY2013-FR-04

² CRDS-FY2013-WR-15 知のコンピューティング～人と機械が共創する社会を目指して～

②予測・発見の促進（従来の科学では難しいことの追及）

科学は、物事を理解することで科学法則を見だし、それを現実の問題に当てはめて解く。しかし、既知の科学法則だけでは解けない、あまりに複雑な問題や法則自体が複雑になってしまった問題もある。ここでは、科学技術を顕微鏡や望遠鏡のように使って、これまででは見えなかった領域を拡大したり、これまで捉えきれなかった全体像を多面的に俯瞰したりして、人間の科学的発見や知の創造を加速するための研究開発を追求する。

③知のアクチュエーション（社会適用を意識した研究開発）

上記の開発成果は、直接的に、または機械や社会システムを通じて間接的に、人間や社会に還元すること（アクチュエーション）で、より納得性のある意思決定やより優れたシステム制御など、人々の賢い暮らしに貢献することができる。さらに、関係するすべての科学者と行動者にアクチュエートした結果をフィードバックすることで、知の創造と還元の循環を効果的に進める方策の検討を行う。

研究開発を社会に実装するためには、成果をプラットフォーム化して、プロジェクト内、プロジェクト間にわたって共有する仕組みを構築することが重要である。同時に、プロジェクトの全期間を通して、新たな科学技術の普及に伴う負のインパクトを含めた社会経済的インパクトの研究など ELSI (Ethical, Legal and Social Issues) に係る研究に取り組む。結果として技術の暴走に対する歯止めとなることを期待する。

知のコンピューティングに関わる研究分野は間口が広く、チャレンジングな研究テーマを多く含む。また、知のコンピューティングの扱う問題領域は、個人向けの比較的プリミティブなものから、集団や社会システムを対象とする複雑かつ高度な領域まで広範にわたる。このような研究開発には反復型開発アプローチが有効である。そこで、本プロポーザルでは、人と機械の創造的協働を実現するための研究開発として、主に個人や小集団を対象としたプリミティブな問題領域に向けた、以下のような具体的な研究開発を提言し、知のコンピューティングの実現に向けた第一歩とする。

- 【1】 相互作用による問題定義のための研究開発課題
 - 【1-1】 あいまいな問題を人との相互作用により明確化する技術
 - 【1-2】 人と周囲の状況を把握する技術
 - 【1-3】 定義された問題の小さな問題への分割や変換をする技術
- 【2】 知識ベース構築のための研究開発課題
 - 【2-1】 知の獲得・表現・蓄積技術
 - 【2-2】 意味レベルでの処理技術
 - 【2-3】 プラットフォーム技術
- 【3】 回答・提案・助言・議論のための研究開発課題
 - 【3-1】 推論、仮説生成、シミュレーション技術
 - 【3-2】 協働のためのコミュニティ形成技術
 - 【3-3】 オプションの提示・説明・説得技術

知のコンピューティングの社会経済的効果は、成果が様々な形で社会実装されることで、知の蓄積・伝播・探索が加速されることである。あふれるデータ、情報、知識がネットワーク上に蓄積され、必要に応じて関連付けることで、その伝播・流通が促進され、だれでもが自然なやり取りで欲しいデータを探索・活用できる。その過程で得られた新たな知識は蓄積され、社会全体で再利用される。このようにして、複数のシステムからのエビデンスを統合的に解析したり、様々な視点からの知恵知を集めることにより、人類の意思決定の質が向上し、従来では解けないような課題に対する納得性の高い解決策が導けるなどより高度な知的社会の実現に一步近づけるものと期待する。

また、科学技術上の効果としては、第一に、知のコンピューティングという新しい研究分野の創出である。従来の人工知能、認知科学、脳神経科学、ロボティクス等の自然科学分野に加え、経済学や心理学等の人文社会系の研究者を巻き込んだ学際的な分野を目指す。第二に、驚異的な力を持ちつつある機械を、脅威や単なる道具として扱うのではなく、知的な情報処理をできるようにすることで、人間と機械の新たな関係を樹立することを目指す。

知のコンピューティングという新しい流れを世界に興すためには、最低でも 10 年間にわたる継続的な研究開発が必要である。そのためには、継続的なファンディング、国内外の研究コミュニティの定着、産業界や実社会での価値の認知、および、国際会議での議論や国際共同研究が重要である。これにより研究者の挑戦意欲の醸成と若手の育成を図る。CRDS としても、これらの取り組みに、積極的かつ継続的に関わり続ける所存である。

なお、本プロポーザルの検討段階において、複数回のサミットやワークショップの開催、および、政策担当者との戦略討議の結果、本構想の一部が平成 26 年度戦略目標『人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理技術の開発』³に反映され、その後、JST の CREST 研究領域「人間と調和した創造的協働を実現する知的情報処理システムの構築」⁴として公募された。本プロポーザルが、応募・参加する研究者にとって、知のコンピューティングの大局観の理解、並びに、そこにおける CREST 事業の位置づけの把握に資することを願っている。

³ http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/26/02/1344592.htm

⁴ http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research_area/ongoing/bunyah26-2.html

Executive Summary

"Wisdom Computing" is our initiative to make our intelligent world richer and lead us to better decisions under our complicate and ever changing situations. We believe this initiative makes our human life better in quality and we gain abilities to deal with machines whose ever-increasing capabilities threaten human works and intelligence. We pursue this initiative by utilizing Information Science with collaboration of other disciplines such as social sciences and humanities.

Modern society is suffering from abundant knowledge and information, and we face difficulties to utilize this to make our life better in practice. The amount of information has been awfully increasing ever. However, they are unorganized, unstructured, and a jumble of wheat and tares. In this situation, we however have only a limited capability of search, extraction, accumulation, propagation and utilization of knowledge.

With continuous and exponential growth of computing power and storage capacity in the last fifty years, machines begin to show a substantial presence in our daily and work life. Artificial intelligence is now opening up a new frontier after decades of disillusionment. For example, in Shogi, the Japanese chess, nowadays machines compete with professional players; a computer defeated human champions in a famous quiz show in 2011. Advanced voice recognition and natural language processing technology enable us to enjoy voice search and foreign language translation at a practical level.

We, Center for Research and Development Strategy (CRDS) of Japan Science and Technology Agency (JST), assembled the survey titled "Panoramic View of the Electronics, Information and Communication Field (2013)" in 2013, and through this work we proposed to our government "Wisdom Computing" as a strategic challenge for the advance of our nation in this field. We shaped this concept by holding "Wisdom Computing Summit 2013" in July, 2013 and three follow on workshops focusing on wisdom computing and media, interaction, and communities. Through discussions among many multidisciplinary experts and researchers participated, we clarified the R&D orientation and the profound arguments on concrete R&D themes in this new academic discipline "Wisdom Computing".

"Wisdom Computing" aims to promote accumulation and propagation of wisdom, to accelerate scientific discoveries and to create a framework for better human lives. Considering the implementation of R&D to society, we focus on the following three viewpoints such as (1) the pursuit of what humans cannot do, (2) the pursuit of what existing sciences cannot solve, and (3) social-application conscious R&D.

(1) Accumulation, propagation and exploration of accelerating knowledge (the pursuit of what humans cannot do) : Human cannot instantly make the most appropriate proposal by using a diversity of intelligence and knowledge connected to a worldwide network. In this proposal, we focus especially on the R&D of the interactions between humans and machines for accumulation, propagation and exploration of wisdom.

(2) Promotion of prediction and discovery (the pursuit of what existing sciences cannot solve) : Science has been a powerful tool to explain physical phenomena by applying scientific laws found through scientific observation. However, there still remain too complex issues for the known scientific laws to solve, and too complex scientific laws to describe by themselves. We pursue the R&D to accelerate scientific discoveries by using information science and technology as a lens or a computational way of thinking, like we use a telescope and a microscope to obtain completely new scientific views of the world.

(3) Actuation of knowledge into society (social-application conscious R&D) : These R&D should contribute to better human lives including more persuasive decision-makings and effective social system operations. We pursue the new ways for the creation and circulation of wisdom by giving the actuation feedback to all the related scientists and actors.

To implement these R&D into society, it is important to construct a common platform which can be used and shared between intra- and inter-projects. Throughout the whole period, it is necessary to carry out R&D for ELSI (Ethical, Legal and Social Issues) , which includes both positive and negative impacts of new science and technology. We expect research in ELSI and SSH (Social Sciences and Humanities) enables us to deal with situations where machines and computation far exceed human capabilities and human being need to devise a way to utilize their capability for the sake of our happiness without threatening our dignity.

"Wisdom Computing" contains wide range of research areas with many challenges. Another issue is that the problems and issues which "Wisdom Computing" can address are broad and it is hard to produce results for society in timely manner without sound roadmap and focus. The targeting area varies from the simple and primitive levels for individuals or small groups of people, up to complex and high level ones for communities or social systems. Handling this type of R&D in an incremental and iterative approach is effective. In this proposal, the first step of "Wisdom Computing", we identified the following R&D agenda in order to solve the simple and primitive issues for individuals or small groups of people.

1. Research agenda for defining and clarifying problems to solve by interactions between humans and systems
 - 1-1 Reducing ambiguity of the issue by interactions between humans and the system
 - 1-2 Understanding human behavior, intention or situation
 - 1-3 Decomposition and transforming of the defined problems
2. Research agenda for constructing knowledge bases
 - 2-1 Acquiring, representing and accumulating knowledge
 - 2-2 Semantic representing and processing
 - 2-3 Constructing, managing, and maintaining knowledge platform
3. Research agenda for answering, suggesting, advising, or arguing capabilities
 - 3-1 Inference, hypothesis generation or simulation technologies for prediction
 - 3-2 Community building for collaboration among humans and machines
 - 3-3 Technologies for presentation options, explanation or persuasion

Social and economic impact of "Wisdom Computing" is that social implementation of R&D accelerates accumulation, propagation and exploration of knowledge. We accumulate and interlink abundant data, information and knowledge. Propagation and circulation are promoted to enable us to explore and use desired data in a natural manner. Newly obtained knowledge is stored and reused for later use throughout the entire society. Thus, we will be moving a step closer to the realization in a highly intelligent society, where the quality of our decision-making is improved and persuasive solutions to previously unsolvable issues are acquired, by synthetically analyzing evidences from different systems, and gathering wisdom from a diversity of humanity.

As scientific impacts, the first is to create a new research field "Wisdom Computing". The goal is to become a multidisciplinary field composed of not only natural sciences such as artificial intelligence, cognitive science, brain science and robotics but also humanities and social sciences such as economics and psychology. The second is to establish new relationship between humans and machines not by treating machines with incredible power as a threat or only as a tool, but by fostering machines to conduct intelligent information processing to support humans as partners.

To create a new academic wave "Wisdom Computing", the R&D should be continued over at least 10 years. Therefore, it is important to provide consecutive funding, to establish a research community both domestically and internationally, to be recognized the value by industry and society, and to maintain academic activities internationally. We also make efforts to stimulate researchers' challenges and to cultivate young researchers. CRDS will positively and continuously engage in these activities.

In the process of making this proposal, a part of the concept of "Wisdom Computing" was reflected in one of the 2014 Strategic Objectives of Japan "Development of Intelligent Information Processing Technology to Realize Creative Collaboration between Human and Machines". Then, JST initiated a new Research Area of CREST "Intelligent Information Processing Systems Creating Co-Experience Knowledge and Wisdom with Human-Machine Harmonious Collaboration". We hope that researchers who apply for and participate in the CREST comprehend the grand design of "Wisdom Computing" and understand the position of the CREST in it.

目 次

エグゼクティブサマリー

Executive Summary

1. 研究開発の内容	1
2. 研究開発を実施する意義	4
3. 具体的な研究開発課題	11
4. 研究開発の推進方法および時間軸	17
付録 1. 検討経緯	19
付録 2. 国内外の状況	31
付録 3. 専門用語説明	33

1. 研究開発の内容

知のコンピューティングとは、情報科学技術を用いて、知の創造を促進し、科学的発見や社会への適用を加速することを目指した活動全般である。

現代社会は知識と情報であふれており、われわれはこれを活用しきれていない。学術論文や書籍・文献のデジタル化や Wikipedia に代表されるインターネットを活用した新たな知識体系の整備、ブログや SNS などの断片的だが大量の発信文書など、膨大な知識の体系や断片がインターネット上に無秩序に増殖している。しかし、活用に関しては、キーワードを主体とした検索エンジンを通じた人手による探索が現状の主要な手段であり、それ以上の、知の蓄積や伝播、活用に向けた新たな方法論は出現していない。

一方、情報科学技術の分野では、半導体やハードウェア技術の継続的な進歩により、計算機としての性能と記憶容量は加速度的に向上し、また、ソフトウェアの分野でも、人工知能技術の発展は一時期の幻滅期を越えた新たな領域に踏み出そうとしている。人工知能技術の成果は、たとえば将棋では一流の棋士に匹敵する力量をもち、また難問クイズ番組でも人間の歴代チャンピオンに勝つなど特定分野での成功が目立つ一方、音声認識や機械翻訳においても実用レベルの完成度を我々が享受できるようになってきた。

科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（CRDS）では、研究開発の俯瞰報告書「電子情報通信分野（2013年）」⁵にて、今後戦略的に取り組むべき分野の一つとして「知のコンピューティング」を提唱した。世にあふれる情報・知識を有効に活用することで、人々が賢く生きる上での糧（知）とするための仕組み、及び、その研究開発を模索してきた。具体的な活動として、2013年度には、学際的な有識者・研究者を招いたサミット⁶や複数回のワークショップを通じて、新たな学問分野としての研究開発の方向性と具体的な研究開発テーマの深掘りなど検討を重ねてきた。

知のコンピューティングの目的は、知の創造、蓄積と流通を促進し、人間の科学的発見を加速し、人々が日々賢く生きるための仕組みづくりを行うことである。研究開発を推進する際に、以下に述べる、今の人間にはできないことの追求、従来の科学ではできないことの追求、および、社会適用を意識した研究開発の3つの視点を重視している。

①加速する知の集積・伝播・探索（人間だけではできないことの追及）

世界中のネットワークに繋がった多様なエンティティ（知能や知識）を活用し、ごく簡単なやり取りで、最適な提案を行うことは、人間のキャパシティーを大幅に超えている。ここでは、特に人間と機械の日常の場におけるインタラクションを通して知の集積・伝播・探索のための研究開発を推進する。

⁵ CRDS-FY2012-FR-05 および、改訂版 CRDS-FY2013-FR-04

⁶ CRDS-FY2013-WR-15 知のコンピューティング～人と機械が共創する社会を目指して～

②予測・発見の促進（従来の科学では難しいことの追及）

科学は、物事を理解することで科学法則を見だし、それを現実の問題に当てはめて解く。しかし、既知の科学法則だけでは解けない、あまりに複雑な問題や法則自体が複雑になってしまった問題もある。ここでは、科学技術を顕微鏡や望遠鏡のように使って、これまででは見えなかった領域を拡大したり、これまで捉えきれなかった全体像を多面的に俯瞰したりして、人間の科学的発見や知の創造を加速するための研究開発を追求する。

③知のアクチュエーション（社会適用を意識した研究開発）

上記の開発成果は、直接的に、または機械や社会システムを通じて間接的に、人間や社会に還元すること（アクチュエーション）で、より納得性のある意思決定やより優れたシステム制御など、人々の賢い暮らしに貢献することができる。さらに、関係するすべての科学者と行動者にアクチュエートした結果をフィードバックすることで、知の創造と還元の循環を効果的に進める方策の検討を行う。

研究開発を社会に実装するためには、成果をプラットフォーム化して、プロジェクト内、プロジェクト間にわたって共有する仕組みを構築することが重要である。同時に、プロジェクトの全期間を通して、新たな科学技術の普及に伴う負のインパクトを含めた社会経済的インパクトの研究など ELSI (Ethcal, Legal and Social Issues) に係る研究に取り組む。結果として技術の暴走に対する歯止めとなることを期待する。

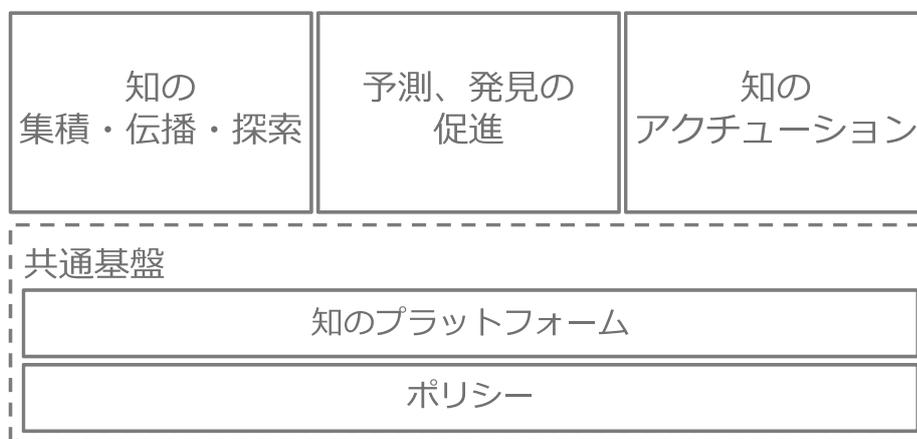


図1 知のコンピューティングの概念図

知のコンピューティングに関わる研究分野は間口が広く、チャレンジングな研究テーマを多く含む。また、知のコンピューティングの扱う問題領域は、個人向けの比較的プリミティブなものから、集団や社会システムを対象とする複雑かつ高度な領域まで広範にわたる。このような研究開発には反復型開発アプローチが有効である。そこで、本プロポーザルでは、人と機械の創造的協働を実現するための研究開発として、主に個人や小集団を対象としたプリミティブな問題領域に向けた、以下のような具体的な研究開発を提言し、知のコンピューティングの実現に向けた第一歩とする。

- 【1】 相互作用による問題定義のための研究開発課題
 - 【1-1】 あいまいな問題を人との相互作用により明確化する技術
 - 【1-2】 人と周囲の状況を把握する技術
 - 【1-3】 定義された問題の小さな問題への分割や変換をする技術
- 【2】 知識ベース構築のための研究開発課題
 - 【2-1】 知の獲得・表現・蓄積技術
 - 【2-2】 意味レベルでの処理技術
 - 【2-3】 プラットフォーム技術
- 【3】 回答・提案・助言・議論のための研究開発課題
 - 【3-1】 推論、仮説生成、シミュレーション技術
 - 【3-2】 協働のためのコミュニティ形成技術
 - 【3-3】 オプションの提示・説明・説得技術

知のコンピューティングという新しい流れを世界に興すためには、最低でも 10 年間にわたる継続的な研究開発が必要である。そのためには、継続的なファンディング、国内外の研究コミュニティの定着、産業界や実社会での価値の認知、および、国際会議での議論や国際共同研究が重要である。これにより研究者の挑戦意欲の醸成と若手の育成を図る。CRDS としても、これらの取り組みに、積極的かつ継続的に関わり続ける所存である。

なお、本プロポーザルの検討段階において、複数回のサミットやワークショップの開催、および、政策担当者との戦略討議の結果、本構想の一部が平成 26 年度戦略目標『人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理技術の開発』⁷に反映され、その後、JST の CREST 研究領域「人間と調和した創造的協働を実現する知的情報処理システムの構築」⁸として公募された。本プロポーザルが、応募・参加する研究者にとって、知のコンピューティングの大局観の理解、並びに、そこにおける CREST 事業の位置づけの把握に資することを願っている。

⁷ http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/26/02/1344592.htm

⁸ http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research_area/ongoing/bunyah26-2.html

2. 研究開発を実施する意義

2-1. 現状認識および問題点

知識の生産と活用

現代社会は知識と情報にあふれている。例えば、研究開発の主要な定量的指標である全世界の論文数は年々増加し 2010 年には 30 万件を超え、主要国の特許出願件数も同様に 160 万件に達する⁹。2001 年に個人プロジェクトとして発足した Wikipedia（英語版）の記事数は 2014 年 3 月時点で 450 万件であり、これはブリタニカ百科事典の記事数 50 万件を大きく上回る。医学分野で登録される記事や論文の総数は近年急成長しており、疫学の専門医が知識レベルを維持するのに 1 日あたり 21 時間の勉強が必要であるという見積もりもある¹⁰。

2012 年世界のデジタル情報の総量 1.8 ゼタ（ 10^{21} ）バイトのうち 23% はビッグデータとして活用可能でありながら、分析が行われているデータは 1% 未満と言われる¹¹。また、我が国の産業界で流通するデータ量の総数は 2005 年から 7 年間で 5.2 倍の 2.2 エクサ（ 10^{18} ）バイトに拡大している¹²。これに対して、米国では BIG DATA Initiative（2012 年）、我が国でも、膨大化するデジタルデータに対して比較的早い段階で、文部科学省「情報爆発時代に向けた新しい IT 基盤技術の研究」（2006 年）や経済産業省「情報大航海プロジェクト」（2007 年）、文部科学省のビッグデータの応用と基盤（2013 年）のプロジェクトを推進している。しかし、技術開発への投資の一方で、データサイエンティストと呼ばれるデータ分析の専門家が需要に間に合わないという指摘もある¹³。

しかし、活用に関しては、例えばインターネットから有用な情報を求める際には、キーワードを主体とした検索エンジンを通じた人手による探索が現状の主要な手段であり、それ以上の、知の蓄積や伝播、活用に向けた新たな方法論は出現していない。

情報科学技術の進展

情報科学技術の進展は留まるところを知らない。計算機のハードウェアとしての計算能力は、近い将来人間の脳のもつ容量と並列処理能力を超えと言われる。人工知能研究は、今世紀に入って、大規模コーパスをベースにした統計的機械学習を活用した機械翻訳や音声認識はすでに特定の分野では実用レベルに達するなど、応用分野で成果を上げている。前世期のチェスに続いて、コンピューター将棋で「あから 2010」が女流将棋王将に勝利したり、IBM の質問応答システム Watson が超難問クイズ番組 "Jeopardy!" において人間のチャンピオンを破るなど、特定分野においては、トップレベルの人間と伍するレベルに到達している。また、ディープ・ラーニングと呼ばれる最新の機械学習の手法は、Google X Lab がいわゆる「教師なし学習」で猫の画像を認識する能力を示すなど、従来の機械学習の壁をブレイクするものと期待されている（コラム 1 人工知能技術の発展）。

⁹ 文部科学省，平成 25 年版科学技術白書

¹⁰ Microsoft Research, "The Fourth Paradigm", 2009

¹¹ International Data Corporation (IDC), "The Digital Universe in 2020", 2012

¹² 総務省，平成 25 年版情報通信白書

¹³ トーマス H. ダベンポート, "データ・サイエンティストほど素敵な仕事はない", ハーバード・ビジネス・レビュー 2013 年 2 月号, (ダイヤモンド社; 2013)

コラム1 人工知能技術の発展

1956年夏に米国ダートマス大学において、コンピューターサイエンスや人間の知能に関する会議が開催された。会議の主宰者の一人であるマッカーシーが提案した人工知能 (Artificial Intelligence) という言葉がこの新しい分野の名前として採用された。チェスや定理証明などの問題に取り組んだが、常識的知識と推論に関する研究の未熟さと計算機能力の限界により、現実的な問題が解けず、産業への応用が進まないままブームは沈静化した。

1981年通商産業省が国家プロジェクト「第五世代コンピューター」を始動した。世界最高速の推論マシンを開発したものの、限定的な知識を使った推論では限られていた。また、世界的にはエキスパートシステムの潮流があり専門家の経験知をルールとして記述することで専門家の代行ができることが期待された。しかし、専門家といえども問題解決には専門知識だけではなく常識を使って今までに出会ったことのない問題を解決している。特定の問題向けに多くのエキスパートシステムが開発されたが、成功は限定的だった。

1995年頃からインターネットの時代になり、それまでとは桁違いに豊富なデータが得られるようになった。Web上のテキストや画像、SNSの文章、さらにはスマートフォンからのさまざまなデータも利用できるようになった。一方で、ITの進歩によりこれらの膨大なデータを処理する環境が整い、機械学習技術が進展した。これまで人間が書き下さなければならなかった知識をコンピューターが自動的に作り出すことができるようになってきた。畳み込みニューラルネットワークやサポート・ベクトル・マシン、さらに最近話題になっている多層型のニューラルネットワークであるディープ・ラーニングなどの機械学習技術を使って、これまで以上に高度な画像や音声認識、テキスト解析が可能になってきた。これらは、人間が行っている情報処理とは別のアプローチであり、膨大な量のデータを高速に処理するという人間とはまた違った特徴を持っている。

今後は、大量のデータから得られる知識とともに、脳科学や認知科学など人間の知能や知識に関する基礎的な研究が進み、それらの成果が人工知能と融合することによって、これまでよりも複雑で高度な問題が解決されることが期待される。また、人工知能による機械の高度化だけではなく、高度化された機械をいかに使いこなすかという人間側に立った研究の進展も期待される。

ITを活用した集合知の可能性

インターネットとオンラインツールを活用した科学的発見が相次いでいる。人間は、コンピューターに比べて、画像を分類する能力や立体的な問題解決のためのパターン認識能力に関して遙かに優れている。これら人間の能力は、いわゆる直感力に関するものであり、スーパーコンピューターを超えられている。

集合知の一例としてクラウドソーシングが挙げられる。例えば、Amazon Mechanical Turk¹⁴やYahoo!クラウドソーシング¹⁵などのクラウドソーシングでは、マイクロタスクと呼ばれる、コンピューターでは未だ難しいが、人間ならだれにでもできるタスクを広くネットワーク上の人間に預託してコンピューターだけでは不可能な仕事を処理する。

これに対して、科学的発見やより高度な問題解決に向けた新たな取り組みが始まってい

¹⁴ <https://aws.amazon.com/jp/mturk/>

¹⁵ <http://crowdsourcing.yahoo.co.jp/>

る（コラム2「集合知のパワー」）。米国では、MITなどで集合知の原理解明に向けた研究¹⁶が始まっているが、我が国の取組みはこれからである。今後、複雑かつ困難な問題の特定や分割/統治の方式の研究開発などに加え、集団を対象とした認知科学が発展することで、科学的発見のメカニズム解明や工学的手法の確立が可能になると期待する。

コラム2 集合知のパワー

2007年に英国オックスフォード大学でスタートしたオンラインプロジェクト Galaxy Zooは、インターネット上で銀河の画像を分類するボランティア参加型プロジェクトである¹⁷。20万人以上のボランティアが参加して、天文学者がハッブル望遠鏡で撮影した銀河の画像を鑑賞しつつ分類することで銀河研究を支援している。すでに100万枚の画像を分類し、天文学者による銀河形成に関する探査的研究を助けているのである¹⁸。これらの成果は、渦状のアームや銀河中心のふくらみなど画像中の形の特徴を読み取り分類する能力に関して、人間はコンピューターよりもはるかに優れていることを示している。

2008年、米国ワシントン大学のDavid Baker教授らは、「タンパク質折り畳み」問題（化学的に安定した最低エネルギー構造の特定）にパズルゲーム感覚でチャレンジし、折り畳みの優劣を競い合う無料プログラム Foldit を発表した。タンパク質が取り得る形状は無数にあり、コンピューターによるシミュレーションでは膨大な時間がかかることから、「タンパク質折り畳み」問題は、科学における最も重要な未解決問題のうちの1つであると言われてきた。しかしながら、Foldit参加者は、人間の直感力（パターン認識能力）を活かしながら、マウスを使って得点が高い（エネルギー的により安定な）タンパク質構造を競い合って作ってゆくことでタンパク質構造予測に携わり、科学者が10年かかっても解けなかった難問題（HIV治療薬を開発するために必要な酵素の構造解析）を3週間で解くことに成功したのである¹⁹。

2010年 Kaggle社は、複雑なビッグデータ問題に取り組めるデータサイエンティストをソーシャルネットワーク的手法で世界中から集めて競争させるアウトソースサービスを開始した²⁰。データ所有者は予測問題とデータを提供し、データ解析コンペティションにて、複数のデータサイエンティストに予測モデル構築を依頼する。賞金を提示し、コンペ参加者同士を競い合わせ、最も精度の良い予測モデルやアルゴリズムを提案させるのである。代表的事例である入院患者の予測コンペでは、過去の患者のデータを分析し、近々入院が予測される患者を早めにケアすることで、緊急入院数を減少させ医療コストを削減させた。日本国内でも、2013年にインフォコム社が主催する、日本初の懸賞金モデルによるデータ解析クラウドソーシングサイト CrowdSolving がサービスを開始し、数論的ロジックから導かれる数値予測、ヒトインフルエンザウイルスの株予測など多くの実績を重ねている²¹。

¹⁶ MIT Center for Collective Intelligence (<http://cci.mit.edu/>)

¹⁷ M. Nielsen, Reinventing Discovery: The New Era of Networked Science, (Princeton Univ Pr., 2011) .

¹⁸ K. Land, et al., "Galaxy Zoo: The large-scale spin statistics of spiral galaxies in the Sloan Digital Sky Survey" , Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 388, 1686 (2008) .

¹⁹ F. Khatib, F. Dimaio, Foldit Contenders Group, S. Cooper, et al., "Crystal structure of a monomeric retroviral protease solved by protein folding game players". Nature Structural & Molecular Biology 18, 1175 (2011) .

²⁰ <https://www.kaggle.com/>

²¹ <https://crowdsolving.jp/>

2-2. 社会・経済的効果

知のコンピューティングは、豊富なデータ、事例に基づいて、漠然とした課題から具体的な問題への明確化を支援する。また、個別の問題解決に対して、複数の解決策を提示するとともに、シミュレーションや過去の事例に基づきそれらの利害得失をも示すことができる。さらに、これらの問題解決過程を事例として集積し、将来の問題解決に利用することができる。この結果、社会・経済に対して、複数のシステムからのエビデンスを統合的に解析したり、様々な視点からの知を集めることにより、人類の意思決定の質が向上し、従来では解けないような課題に対する納得性の高い解決策が導けるなどの効果をもたらし、より高度な知的社会の実現に一步近づけるものと期待する。

社会・経済的効果を明らかにするために、知のコンピューティングの成果を社会に実装した際のイメージを検討した（図2）。ここで、最上位のレイヤーに現れる人やシステムが知のコンピューティングの成果の受益者である。知のコンピューティングはこれら受益者に対して様々な機能をサービスという形で提供する。

● 個人や集団への社会・経済的効果

質問応答サービスでは、システムは人間との自然な対話を通して質問者の状況と質問の本意を把握して、蓄積されている知識から回答を抽出し提示する。提案・助言サービスでは、必要に応じて、何が起こるか予測して、リスクを含めて複数の回答案を人間に提示する。人間は得られた回答から最適なものを選択することができる。また、What-ifシミュレーションや選択理由も得られる。システムが回答を検索する場合には、個人に対しては、個人が置かれている状況（いつ、どこ、誰など）を把握して、少ないやり取りで本来の主旨に合った回答を提示する。また、専門家に対しては、蓄積されている分野別の知識ベースを参照・統合して回答を提示する。また、集団に対しては、複雑な問題に関わる立場や分野の異なる様々な人々が、合意形成に至る熟議の場を提供する。

● 機械やシステムへの社会・経済的効果

最適制御サービスは、個人の周囲環境で動作する家電や自動車などの機械の最適制御の応用が考えられる。このような考え方は従来より EU では Ambient Intelligence、我が国ではアンビエント情報社会と呼ばれる²²。また、最適データ提供サービスは、様々な社会システムの最適な運転計画やシステム構築の予備検討への貢献が期待できる。

²² 西尾章治郎, "1-2 アンビエント情報社会," JEITA (編) IC ガイドブック 2012 年版未来を創る! 半導体, (産業タイムズ; 2012)

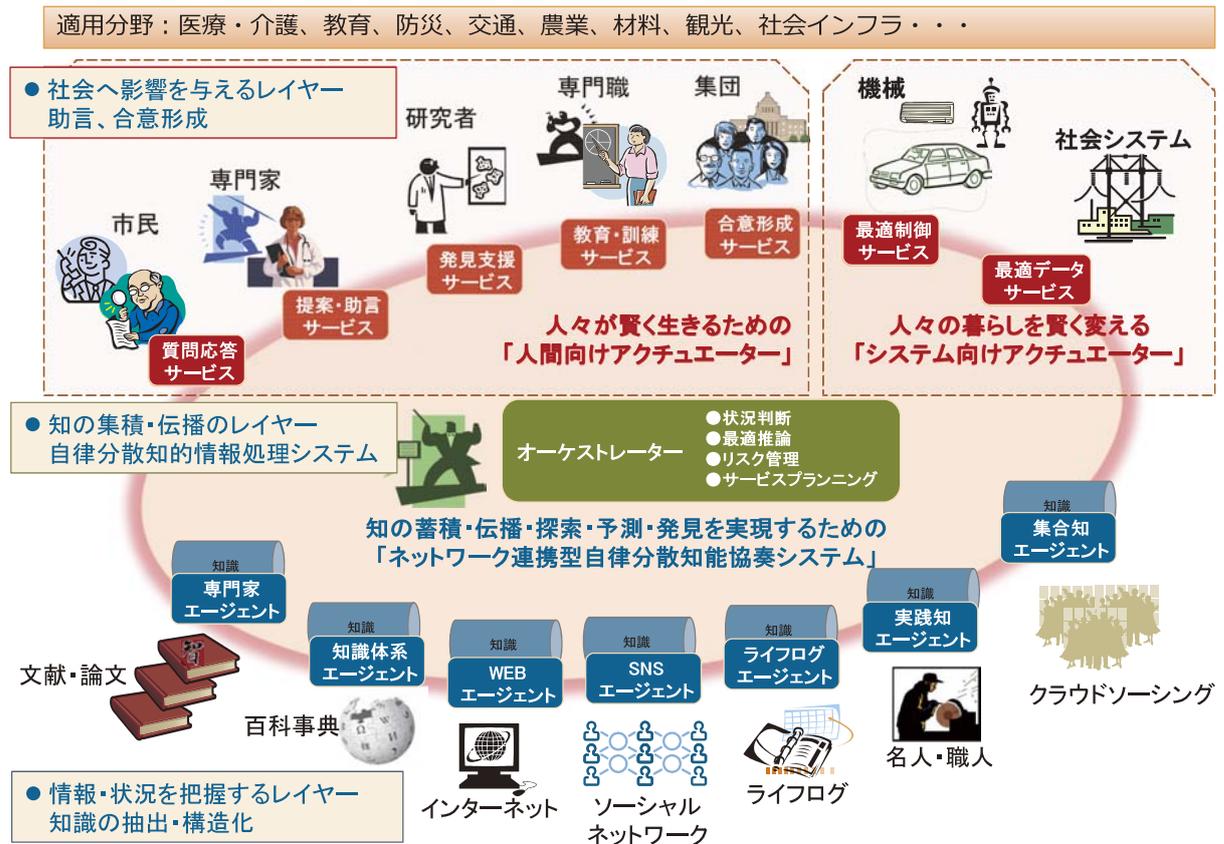


図2 成果の社会実装イメージ

知のコンピューティングの成果はたとえば3階層で実装することができる。

- 情報・状況を把握するレイヤーでは、エージェントと呼ばれるソフトウェアが実世界やサイバー空間に存在するさまざまな情報から知識を抽出して構造化する。多くの情報源に対しては情報の流れが一方であるが、集合知エージェントは、上位のレイヤーからの要求に応じて人々にダイナミックに問いかけて衆知を集めるインタラクティブな機能が必要となる。
- 知の集積・伝播のレイヤーでは、オーケストレーターと呼ばれる自律分散知的情報処理システムが、上位のサービスレイヤーからの、知の蓄積・伝播・探索・予測・発見の要求を構造化された知を活用して処理する。
- 社会に影響を与えるレイヤーでは、サービスと呼ばれるアプリケーションプログラムが、人間や社会システムとインタラクションを持ちながら人間や社会の問題解決を支援する。人間に働きかけるサービスと機械やシステムに働きかけるサービスに大別できる。

なお、ここに挙げたサービスやエージェントは、代表的なものの例示であり、すべてを網羅・規定するものではない。すべてのコンポーネントがモノリシックに結合したシステムである必要はないが、個別に構築されたシステム同士が後から緩やかに結合可能であることが望ましい。そのためには知の表現形式やインターフェース、プロトコルなどの標準化が必要である。

2-3. 科学技術上の効果

新たな研究分野の創出

知のコンピューティングにより新たな研究分野の創出が期待できる。

俯瞰報告書（2013年）にて示した知のコンピューティングの俯瞰図（図3）で、知のコンピューティング特有の研究分野（図中①～④）に深く関連する既存の研究分野として、集団に学ぶ、人間・生物に学ぶ、情報科学に学ぶ、および、ポリシーを挙げている。知のコンピューティングが新たに創出する研究分野はこれらの分野研究者コミュニティからの参加が必須である。

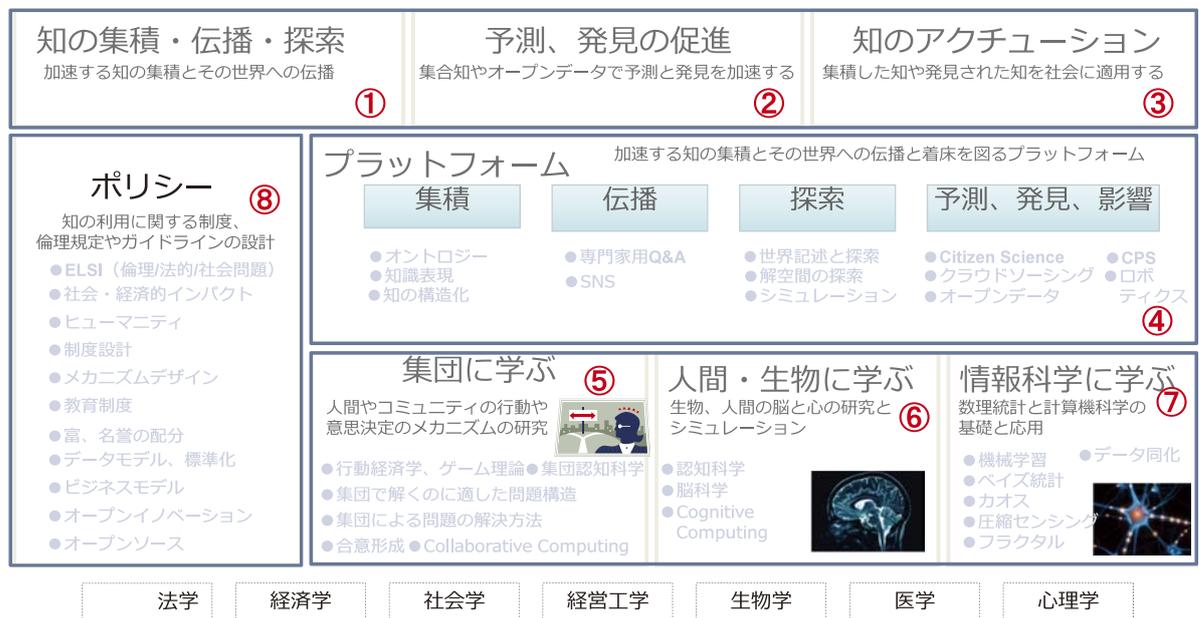


図3 知のコンピューティングの俯瞰図

知のコンピューティングでは、国内初の試みとして、米国 NSF が新領域の立ち上げ時に開催するサミット形式のワークショップを実施した（付録1）。ねらいは、知のコンピューティングについて、有識者と共にその分野を創出し、日本発の研究開発イニシアチブとして確立することである。イニシアチブのゴール、方向性、分野そのものの定義、分野内の重点テーマ、グランドチャレンジなどについても幅広く、活発な議論を進めるとともに、研究コミュニティの形成や醸成についても議論した。サミットにより新しい研究コミュニティの礎が形成できたので、今後もワークショップやサミットを継続的に開催することで研究者の挑戦意欲の醸成と若手の育成およびコミュニティの醸成を図っていくことが重要である。

人間と機械の新たな関係

新たな研究分野において人文社会系の研究者をはじめとする多様な学術分野の研究者が交わり議論を重ねることで、人間と機械の新たな関係についての洞察が深まることが期待できる。

本プロポーザルの根底には、人と機械の共創する社会を目指すという思想がある。ここで述べる「共創」の意味は、これまで人間だけ、あるいは、機械だけではなしえなかったことを、人間と機械の相互作用を通して実現するということである。言うまでもなく科学的発見や最終的な意思決定の主体は人間にある。一方で、機械が、本プロポーザルで提案するような、人間と創造的協働を行う能力を内蔵することで、人間との相互作用を通して学習し、相対する人間に適応できるようになる。逆に、人間も機械との相互作用を通して自分だけでは知りえない、実現しえないことを学び実現することができる。これにより、従来なしえなかった新たな発見への道が開けることを期待する。

他方で、機械が人間の行動や意図を把握して自動的に動作するようになり、人間の生活に密接に関わるようになるとすると、人間の意図しない動作や機械の暴走の影響範囲が拡大し、科学としてそれをどのように防ぐかという視点が重要になる。知のコンピューティングが暴走の歯止めになるための議論や研究のきっかけとなることを強く期待する。

3. 具体的な研究開発課題

知のコンピューティング～人と機械の創造的協働を実現するための研究開発～における具体的な研究開発課題を述べる。

人と機械の創造的協働を実現するための研究開発は、①相互作用による問題定義のための研究開発課題、②知識ベース構築のための研究開発課題、③回答・提案・助言・議論のための研究開発課題から成る（図4）。また、これら個別の要素技術の研究開発に加えて、持続的に社会へ影響を与えるために必要となるプラットフォーム化についても言及する。

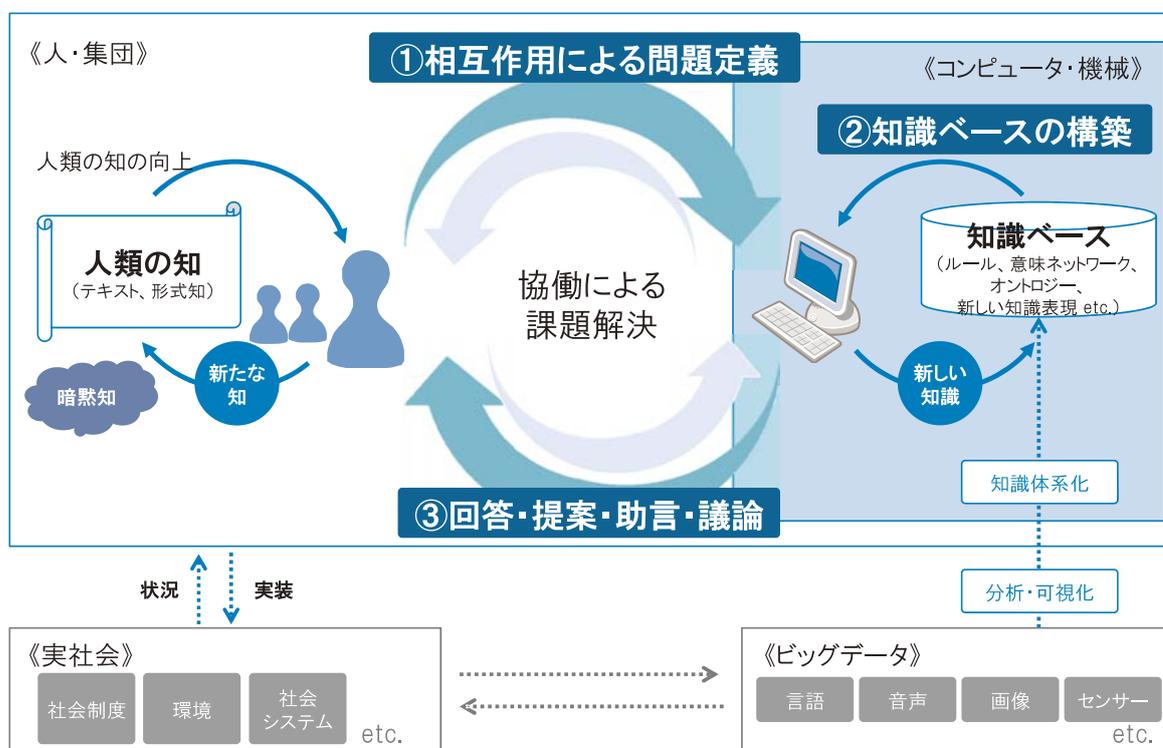


図4 研究開発課題の全体イメージ

- ①相互作用による問題定義のための研究開発課題
 - 【1-1】 あいまいな問題を人との相互作用により明確化する技術
 - 【1-2】 人と周囲の状況を把握する技術
 - 【1-3】 定義された問題の小さな問題への分割や変換をする技術
- ②知識ベース構築のための研究開発課題
 - 【2-1】 知の獲得・表現・蓄積技術
 - 【2-2】 意味レベルでの処理技術
 - 【2-3】 プラットフォーム技術
- ③回答・提案・助言・議論のための研究開発課題
 - 【3-1】 推論、仮説生成、シミュレーション技術
 - 【3-2】 協働のためのコミュニティ形成技術
 - 【3-3】 オプションの提示・説明・説得技術

1. 研究開発の内容

2. 研究開発を実施する意義

3. 具体的な研究開発課題

4. 研究開発の推進方法
および時間軸

付録1. 検討経緯

付録2. 国内外の状況

付録3. 専門用語説明

①相互作用による問題定義のための研究開発課題

その場、その時、その人に適合したサービスをシステムが提供するためには、場の状況と対話の文脈を適切に把握し、状況や文脈に応じて推論を行いながら問題を明確化することが不可欠である。しかし、場の状況や対話の文脈は全てが明示的に示されている訳ではなく、人とシステムが相互作用を行いながら問題を明確化する技術の研究開発が必要である。さらに、問題を定義したうえで、必要に応じて問題を小さな問題に分割したり、別の形式の問題に変換したりすることも効果的に問題を解く上での重要な研究課題である。

【研究開発課題 1-1】 あいまいな問題を人との相互作用により明確化する技術

問題を明確化するためには第一にテキストや音声の言語情報の深い理解が必要である。さらに言語的な曖昧や不十分な表現、あるいは人自身が問題を明確に意識できていない場合に、システムが人と相互作用して問題を明確化する技術が必要である。

<具体的な研究開発課題>

- (1) 相互作用による質問意図の把握
 - ・照応関係や省略などの高精度認識に基づく文脈を踏まえた言語理解
 - ・相互作用を実現するための対話のプランニングと対話文生成
- (2) 言語情報と非言語情報のマルチモーダル処理（複数の伝達方法の組合せ）
 - ・非言語情報と言語の対応付け（記号接地、アノテーション）
 - ・知識表現などマルチモーダル処理の枠組み

【研究開発課題 1-2】 人と周囲の状況を把握する技術

言語的に表現されたものだけでなく、表情、態度、動作、環境など非言語情報から、その人の意図、気分や認知状態などを把握すること、さらには周辺環境の状況を把握することで、明確化された問題に対して、より適切な解答が可能になる。画像・映像・センサー情報などの非言語情報を統合的に解析すること、さらに非言語情報と言語情報を組合せることで、より深い状況の理解が実現する。

<具体的な研究開発課題>

- (1) 画像・映像・音声・センサー情報など非言語情報を統合した状況の把握
- (2) 人間の認知的状況や運動・動作や質的特徴までを含む状況の把握
- (3) 物理モデルなどを取り込んだ推論や仮説生成による高度な状況の把握

【研究開発課題 1-3】 定義された問題の小さな問題への分割や変換をする技術

必要に応じて定義された問題を小さな問題へ分割したり、別の形式の問題に変換したりすることにより、多様な知の活用が可能となり効果的に問題を解くことが可能となる。このような問題の分割や変換の方法論は重要な研究開発課題である。

<具体的な研究開発課題>

- (1) タスクへの分割と再結合
- (2) 異なるドメインへの問題の変換、インセンティブを与える問題への変換

②知識ベース構築のための研究開発課題

知を共有し、利活用を促進することで、知が社会へ浸透するとともに知が再生産される。これを実現するには、知を獲得・表現・蓄積する技術、特に概念や意味のレベルで処理する技術、及び、社会における利活用を促進するプラットフォーム技術などの研究開発が必要である。

【研究開発課題 2-1】 知の獲得・表現・蓄積技術

人との相互作用や問題を解くための推論などに必要な知の獲得・表現・蓄積技術の研究開発が必要である。言語情報から専門的知識や一般的知識を高精度で獲得・抽出する技術、非言語情報に知識表現を与えるためのアノテーションや記号接地の技術、状況や個人の特性により異なると考えられる知を効果的に獲得するための類型化、モデル化、インタフェース構築の技術などの研究開発が必要である。

<具体的な研究開発課題>

- (1) 言語情報からの背景知識や文脈を踏まえた知識の獲得
 - ・ 照応関係や省略などの高精度認識に基づく知識の獲得
 - ・ テキストや音声など言語情報からの専門的知識、一般的知識の獲得
 - ・ SNS などからのセンチメント（ある対象についての印象や心理状態）の把握
- (2) 画像・映像・音声・センサー情報など非言語情報からの知識の獲得
 - ・ 非言語情報の言語への記号接地、アノテーション
 - ・ 人によって異なる知（暗黙知、身体知、実践知など）の類型化とモデルとの統合
 - ・ VR・AR 技術やロボットなどを活用した人為的操作可能な環境（没入型環境、対話シミュレーション）による暗黙知の獲得
- (3) 言語情報と非言語情報のマルチモーダル処理
 - ・ 知識表現などのマルチモーダル処理の枠組み

【研究開発課題 2-2】 意味レベルでの処理技術

様々な問題に対応していくためには表層的な記号レベルではなく、意味レベルで取り扱う技術の研究開発が必要である。それにより、特定のドメインに限定されない様々なドメインで利用可能な知の処理が可能となる。

<具体的な研究開発課題>

- (1) 意味を学習・表現するための機械学習・知識表現技術
 - ・ 機械学習（ディープ・ラーニングなど）
- (2) 行為、因果関係、時間的関係を取り扱うための意味の学習・表現の拡張
- (3) 表現された意味を組み合わせるための推論等を行うための処理技術

【研究開発課題 2-3】 プラットフォーム技術

社会に実装するためには研究成果をプラットフォーム化して、プロジェクト内、プロジェクト間にわたって共有する仕組みを構築することが重要である。

<具体的な研究開発課題>

- (1) 流通のための知の表現形式

- ・蓄積された知の再結合による利用を促す仕様の定義
- ・オントロジー（特定のドメインにおける概念、概念間の関係の定義）
- (2) 知の交換・取引の仕組み
 - ・交換・取引のプロトコル（メタデータ、API など）
 - ・知の所有権やトレーサビリティを管理する仕組み
- (3) 知のコンピューティングに特化したシステムアーキテクチャーやハードウェア
 - ・脳科学的知見を活用した汎用的なフレーム生成技術
 - ・広域での知の獲得、大規模な知の管理、必要なレイテンシーなどの確保
- (4) プロジェクト終了後も成果を維持・開発するための仕組みの検討

③回答・提案・助言・議論のための研究開発課題

定義され、必要に応じて分割・変換された問題を解くためには多様な知の結集が必要である。このためには知の連携による推論、仮説生成、論理とデータ解析やシミュレーションとの融合技術などの研究開発が必要である。さらに、時々刻々と変化する問題へ対応するための主体間のダイナミックな協働に向けたコミュニティ形成技術の研究開発も重要である。さらに問題に対する解として得られた複数のオプションから人々が判断し、選択するよりどころとなる根拠やリスクの提示、理解され受容されやすい説明・説得や合意形成の手段、選択の結果として生じる集団の振る舞いの予測などの研究開発も重要である。

【研究開発課題 3-1】推論、仮説生成、シミュレーション技術

問題に対する解答を生成するためには項目②で蓄積された知を組み合わせた推論や仮説生成、さらに、その場の人間や周囲の状況に関する知識と人・社会のモデルや科学法則に基づくシミュレーションを融合させた予測技術の研究開発が必要である。

<具体的な研究開発課題>

- (1) 自然言語処理における統計的手法と演繹的手法の融合による仮説生成
 - ・曖昧な情報に基づく推論、事例ベース推論
 - ・大量の言語資源からの因果的関係の獲得と因果的連鎖の探索
- (2) 科学法則などによる演繹とデータ科学的な相関分析の融合
 - ・相関分析やモデリングによるシミュレーションや実験すべき条件の絞り込み
 - ・社会シミュレーションによる複数シナリオの生成と分析による気づきの促進
 - ・シミュレーションとデータ同化による予測の精緻化

【研究開発課題 3-2】協働のためのコミュニティ形成技術

問題解決に多様な人々が参加することにより、多様なアイデアの集約、暗黙知として個人や集団中に埋もれ顕在化していない仮説推論方法の活用などが促進される。このためには項目①の「問題の小さな問題への分割や変換」により、固有の知を持つ個々人が取り組めるようにするとともに、多くの人の参加を促す公正なインセンティブ設計、言語・文化の障壁を超えるためのコミュニケーション基盤の研究開発が必要である。

<具体的な研究開発課題>

- (1) コミュニティ形成の方法論とインセンティブ
 - ・コミュニティへの加入や持続的参加を実現するインセンティブ設計

(2) 分野間のコミュニケーション基盤

- ・多様な言語・文化・分野の人の参加や集団の協調のための多言語翻訳・通訳
- ・分野別のオントロロジーの整備や他の分野において利用可能とする技術

【研究開発課題 3-3】 オプションの提示・説明・説得技術

問題を解いた結果として生成される各オプションについて、その利害得失や根拠を提示するとともに、納得感を持って人々に受け入れられるための説明・説得を行う技術の研究開発が必要となる。

<具体的な研究開発課題>

(1) 状況に応じたオプション生成と効果やリスクの予測

- ・人と周囲の状況に応じたオプションの生成
- ・オプションの選択に伴う効果やリスクの予測と見える化

(2) オプションの生成過程（根拠、仮定）の見える化

- ・根拠や仮定の見える化によるアカウントビリティ確保

(3) オプションの提示、説明、説得、合意形成

- ・相互作用による効果的な提示・説明・説得
- ・納得感を持って説明、説得を受容するためのインセンティブ設計
- ・集団における合意形成、ただ乗り防止や社会の不安定化を起こさない制度設計

コラム 3 成熟度モデル

知のコンピューティングの達成目標としての成熟度モデルを検討した。

成熟度段階として、レベル 0（現状）からレベル 4 までの 5 段階を提案する。段階が上がるにつれて、機械側の対応能力と自律性が向上する。表では、各レベルにおいて、人間の役割と機械の役割を例示したが、具体的なイメージをもってもらうために、表 1 では、図 2 に挙げた成果イメージのサービスの具体例と、クルマの自動化におけるレベルを記載した。また、表 2 では、そのうち、質問・応答・助言サービスに関して、機械の役割を果たすために必要となる、研究開発課題とブレークスルー項目、および、基盤となる既存技術を記述している。

成熟度モデルは、本プロポーザルの達成目標をはるかに超えているものを含む。それをここに示すのは、知のコンピューティングに関わる研究者にとって、実装イメージを段階的に把握することが有用であると考えからである。

表1 知のコンピューティングの成熟度モデル

Wisdom Computing Maturity Level	知のコンピューティング (人間の役割)	知のコンピューティング (機械の役割)	知のコンピューティング サービスの具体例	参考 (クルマの自動化)
0 Basic: Human performs all operations manually	人間は、機械に質問を入力し、出力された結果を判断する。 例: ソチの人口は？	機械は入力に対する結果を計算・検索して返す。	●Google検索 ●しゃべってコンシェル	(人間が自分で運転する) 車は人間の操作に従い走り曲り止まる。
1 Managed: analysis and plan done by human	人間は、機械と相互作用しつつ解くべき問題を伝えて、回答を引き出し、その分析と評価をする。 例: 最も京都らしいところは？	機械は人間との相互作用から今の状況と質問の本意を把握して、蓄積されている知識から回答を抽出し人間に提示する。	【質問応答サービス】 ●Watson(Jeopardy!) ●観光コンシェルジェ 【発見支援サービス】	●ABS 車はタイヤが滑り出した時に人間にできない微妙なブレーキングを正確に実行
2 Predictive: Human chooses implementation and recommendations	人間は、予測や推測を伴う質問を機械に伝えて、得られた複数の回答から最適なものを選択する。What-ifや理由も得られる。 例: 元素A,B,C化合物の特性は？	機械は人間との相互作用から状況の全体像を把握して、今後何が起るかを予測して、リスクを含めて複数の回答案を人間に提示する	【合意形成サービス】 ●診療カンファレンス 【予測・発見サービス】 ●Watson(医療応用) ●マテリアルインフォ	●衝突防止システム システムがアクティブの時、車は人間の未熟さや不注意を補って衝突を未然に回避する
3 Adaptive: Human provides policies used to generate plans automatically	人間は、達成すべき目標や目的を機械に伝え、機械から具体的なアクションの提言を得る。 例: 学生Aの成績を上げるには？	機械は人間が示した目的を達成するために、取るべきアクションを提言する。理由を説明する。 (以上は特定のドメイン)	【提案・助言サービス】 ●政策助言システム 【教育・訓練サービス】 ●学習/教育支援	●自動走行車(単体) 人間が目的地を設定するだけで車は周囲状況を正しく認識しながら自律的に走り曲り止まる。
4 Autonomic: system-wide policy	人間は、社会全体に関わる課題の解決策を機械から引き出すことができる。 例: 原発0とするための方策は？	機械は人間社会/環境全体の状況を把握して、包括的なポリシーに従い、人間が取るべき行動を提案する	【提案・助言サービス】 ●政策提言システム 【最適制御サービス】 ●社会システム制御	●自動運転(社会全体) 車は交通システムのポリシーに従いつつ、他の車と連携してそれぞれの目的地に向け自律的に走行する。

表2 質問応答・助言サービスにおける成熟度レベルと研究開発課題

Wisdom Computing Maturity Level	知のコンピューティング (人間の役割)	知のコンピューティング (機械の役割)	研究開発課題とブレイクスルー項目	基盤となる既存技術 ⑤集団、⑥人間・生物、 ⑦情報科学、⑧ポリシー
0 Basic: Human performs all operations manually	人間は、機械に質問を入力し、出力された結果を判断する。 例: ソチの人口は？	機械は入力に対する結果を計算・検索して返す。		●自然言語処理 ●検索エンジン ●検索エンジン最適化
1 Managed: analysis and plan done by human	人間は、機械と相互作用しつつ解くべき問題を伝えて、回答を引き出し、その分析と評価をする。 例: 最も京都らしいところは？	機械は人間との相互作用から今の状況と質問の本意を把握して、蓄積されている知識から回答を抽出し人間に提示する。	●個人の性向の把握 ●非言語情報から内面の認識理解 ●文化、社会慣習の共有、体系化 ●仮説推論 ●コンテキストに応じた知識抽出・統合 ●相手に応じた説明文生成	●推論、マイニング ●機械学習、深層学習 ●自然言語処理 ●画像・音声認識 ●オントロジー ●知識処理
2 Predictive: Human chooses implementation and recommendations	人間は、予測や推測を伴う質問を機械に伝えて、得られた複数の回答から最適なものを選択する。What-ifや理由も得られる。 例: 元素A,B,C化合物の特性は？	機械は人間との相互作用から状況の全体像を把握して、今後何が起るかを予測して、リスクを含めて複数の回答案を人間に提示する	●複数メディアの統合 ●知識関係づけ(因果、整合、矛盾、変化) ●コメントグラフ(議論可視化と要約) ●仮説生成 ●行動経済学に基づく回答案生成 ●根拠の検索	●シミュレーション ●事例ベース推論 ●行動経済学 ●ゲーム理論
3 Adaptive: Human provides policies used to generate plans automatically	人間は、達成すべき目標や目的を機械に伝え、機械から具体的なアクションの提言を得る。 例: 学生Aの成績を上げるには？	機械は人間が示した目的を達成するために、取るべきアクションを提言する。理由を説明する。 (以上は特定のドメイン)	●人間の目的の把握 ●モデル生成とシミュレーション ●タスクのプランニング ●インセンティブ、メッセージング設計 ●感情の表現モデル、観測・評価尺度	●機械翻訳 ●認知科学 ●発達心理学 ●身体知 ●パターン言語
4 Autonomic: system-wide policy	人間は、社会全体に関わる課題の解決策を機械から引き出すことができる。 例: 原発0とするための方策は？	機械は人間社会/環境全体の状況を把握して、包括的なポリシーに従い、人間が取るべき行動を提案する	●人間社会、環境全体の把握 ●包括的なポリシーの表現 ●合意形成のための手法	●集団認知科学 ●ELSI ●制度設計

4. 研究開発の推進方法および時間軸

基本的な考え方

知のコンピューティングという研究分野は領域が広く、チャレンジングなテーマを多く含むので、最低でも10年間にわたる継続的な研究開発が必要である。本プロポーザルに続けて、研究開発が途切れないように継続的なファンディングを促す戦略提言、国内外の研究コミュニティ定着化のための学会活動活性化、産業界や実社会に価値を認知してもらうための社会実装の促進を行うことが重要である。その間に、知のコンピューティングという新しい流れを世界に興すために、米国や欧州などとの共同主催国際会議を開催、国際共同研究、国際的学会誌の発行などの国際連携を推進する。これらの取り組みに、CRDSも積極的にかかわり続ける。

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025 ～
戦略提言	▲本プロポーザル											
			▲グランドデザイン									
戦略事業	第1段階 (CREST事業)			第2段階のプロジェクト			第3段階のプロジェクト					
国際連携	知のコンピューティングに関する国際連携											

社会適用に向けた実証実験システムの必要性

研究開発成果は実証実験システムに統合する。実証実験のテーマは、グランドチャレンジとして、研究開発者の動機づけに活用する。具体的なテーマは、複数のドメインにおける社会的意義の高い応用課題から複数のテーマを選択することが望ましい。

- サミットで抽出されたグランドチャレンジの例
 - 人間の賢いデシジョンをサポートする知のコンピューティング
 - 人間のデシジョンや創造性を代替する知のコンピューティング
 - 人間の賢いデシジョンをクラウドソーシングで支援
- 知のメディアワークショップ（付録1）で議論した2020年に向けたチャレンジの例

No	チャレンジ	説明
1	動き認識	映像から人間の動きを認識する技術。例えば、フィギュアスケートや体操の技の認識、定量評価など
2	実践知継承	熟練者の知を、言語・知識・動作を連携させて継承させる技術。例えば、トマト名人、落語、介護者など
3	病院情報システム	治療方針決定ためのメディエーション技術。例えば、カンファレンスにおける手術プランの検討など
4	観光情報コンシェルジュ	その場、その時、その人に合わせた観光案内の技術。例えば、旅行プランニング、観光スポット案内など
5	新サービス/新ビジネス創出	新サービスや新ビジネスを創出するためのコンサルティング技術。例えば、アイデアのネタだし、検証など
6	見守り・助言・支援	人間をじっと観察して、困ったときだけうまく助けるシステム。例えば、子供・年寄りの見守りや料理のアシストなど

反復型開発アプローチと成果の共有・改良

知のコンピューティングの扱う問題領域は、個人向けの比較的プリミティブなものから、集団や社会システムを対象とする複雑かつ高度な領域まで広範にわたる。よって、図5のような反復型開発アプローチによる研究開発を提言する。本プロポーザルは第1段階として主に個人や小集団を対象としたプリミティブな問題領域を扱うこととする。なお、研究開発成果はプラットフォーム化し、プロジェクト内、プロジェクト間、将来の関連プロジェクトにわたって共有する。それをプロジェクト完了後も市民が利用できるプラットフォームとすることで、研究開発の成果が活用されつつ改良されることが可能になる。

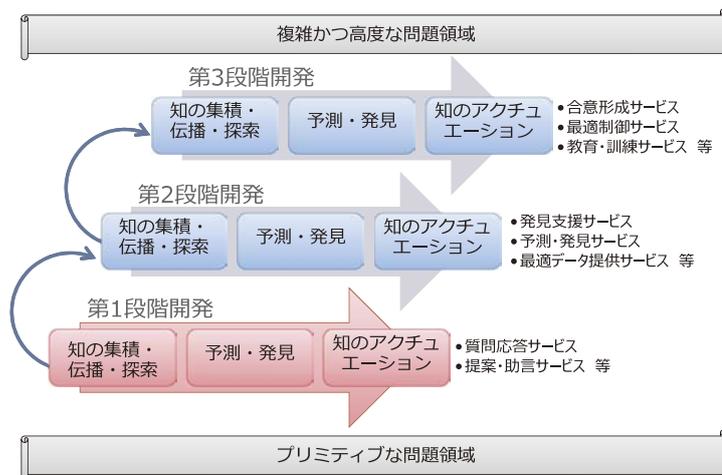


図5 反復型開発アプローチ

ELSI を考慮したプロジェクトの推進

知のコンピューティングの社会的インパクトを考えるときに、次のような倫理的・法的・社会的な問題を同時に研究しておく必要がある。特に知のコンピューティングにおいて考慮すべきこととして、機械が下した判断に対する責任、人々の思想や行動をある方向に誘導するメッセージの発信などがある。また、ICT全般についてあてはまるものであるが、サイバーテロやコンピューターウイルス、マルウェアへの応用、個人情報や国家機密に繋がる情報の乱用、悪意を持ったプログラムの開発や実行などについても、それを防止するとともに、悪用された場合の影響の評価と被害を最小化する方策に関する取り組みが必要である。また、脅威そのものの研究も必要である。

このために実際のプロジェクトの推進において、プロジェクト予算の一部に ELSI 関係の研究開発を含めることと、プロジェクトの実行・管理体制に社会人文系の研究者を含めることなどの配慮が重要かつ必要である。

研究開発の推進体制

継続的な研究開発と成果の普及促進を図るためには、成果を維持・高度化する仕組みを構築することが重要である。そのためには、研究開発コミュニティ、ファンディング機関、事業化主体が連携した推進体制が必要となる。全般にわたる研究開発の整合性を維持する役割は CRDS が果たす所存である。

付録 1. 検討経緯

「知のコンピューティング」の基本的な方向性を明確化するためにインタビューとコアメンバー会議を実施した。その検討結果を踏まえ、研究開発内容を具体化して、研究コミュニティを形成するとともに、日本発のイニシアチブとして確立することを目指して、サミット「Wisdom Computing Summit 2013」を開催した。さらなる研究開発課題の具体化に向けて課題別ワークショップにて深堀を行った。

有識者インタビュー

<インタビュー>

- | | |
|----------------------|----------------|
| (1) 2013年4月2日 | 徳田英幸（慶應義塾大学） |
| (2) 2013年4月12日、6月12日 | 黒田昌裕（科学技術振興機構） |
| (3) 2013年4月23日、6月24日 | 安西祐一郎（日本学術振興会） |
| (4) 2013年4月25日 | 山口高平（慶應義塾大学） |
| (5) 2013年4月26日 | 石田亨（京都大学） |
| (6) 2013年4月26日 | 美濃導彦（京都大学） |
| (7) 2013年6月12日 | 堀浩一（東京大学） |
| (8) 2013年6月12日 | 吉川弘之（科学技術振興機構） |
| (9) 2013年6月27日 | 藤山知彦（三菱商事） |
| (10) 2013年7月3日 | 松尾豊（東京大学） |
| (11) 2013年7月3日 | 大竹文雄（大阪大学） |
| (12) 2013年7月9日 | 鈴木忠（白百合女子大学） |
| (13) 2013年7月10日 | 横尾真（九州大学） |
| (14) 2013年7月19日 | 喜連川優（国立情報学研究所） |
| (15) 2013年8月6日 | 乾健太郎（東北大学） |

ワークショップ

コアメンバー会議

コアメンバーとして以下の3名をチームの特任フェローに委嘱した。

- チェア：徳田英幸（慶應義塾大学）
 山口高平（慶應義塾大学）
 石田亨（京都大学）

- | | |
|--------------------|---------------------|
| (1) 2013年4月30日 | 知のコンピューティングの基本的な方向性 |
| (2) 2013年9月26日 | 課題別ミニWSの進め方 |
| ・以降は、プログラム委員会として開催 | |
| (1) 2013年6月11日 | 第1回プログラム委員会 |
| (2) 2013年7月9日 | 第2回プログラム委員会 |
| (3) 2013年7月18日 | 第3回プログラム委員会 |
| (4) 2013年8月14日 | 第4回プログラム委員会 |

サミット：Wisdom Computing Summit 2013

・プログラム委員

- 委員長：徳田英幸（慶應義塾大学）
 山口高平（慶應義塾大学）
 石田亨（京都大学）
 藤山知彦（三菱商事）
 黒田昌弘（科学技術振興機構）
 田中一宜（科学技術振興機構）
 岩野和生（科学技術振興機構）

日時：2013年7月25日～26日

場所：ホテル KSP（川崎市高津区坂戸 3-2-1 かながわサイエンスパーク）

プログラム

【1日目：7/25（木）】

9:00-9:30 受付

全体セッション

9:30-9:40 開会のあいさつ 徳田英幸（慶應義塾大学）

9:40-9:55 主催者説明 岩野和生（JST/CRDS）

「知のコンピューティングのねらいとサミットの位置づけ」

9:55-10:40 基調講演 安西祐一郎（日本学術振興会）

「知のコンピューティング-視座と展望」

10:40-10:50 休憩

10:50-11:20 徳田英幸（慶應義塾大学）

「知のコンピューティングに向けて」

11:20-11:50 話題提供 1 萩田紀博（ATR）

「これからのロボットサービス研究 -あなたはどのロボットサービスを選びますか?-」

11:50-12:20 話題提供 2 黒田昌裕（JST/CRDS）

「IT が知識資本の形成にもたらしたもの -その影響と課題」

昼食

12:20-13:20

全体セッション

13:20-13:50 話題提供 3 菊池尚人（慶應義塾大学）

「ビッグデータとパーソナルデータ」

13:50-14:20 話題提供 4 鈴木忠（白百合女子大学）

「生涯発達と wisdom」

14:20-14:50 話題提供 4 藤山知彦（三菱商事）

「職業としての人間」

14:50-14:55 分科会 I のオリエンテーション 茂木強（JST/CRDS）

14:55-15:10 休憩

分科会 I ～目標検討分科会～

15:10-17:10 目標検討分科会

17:10-17:50	分科会報告
夕食	
17:50-19:20	
全体セッション	
19:20-20:05	招待講演 吉川弘之 (JST/CRDS) 「情報科学者の社会の中での役割」
20:05-20:50	招待講演 喜連川優 (国立情報学研究所) 「知のコンピューティングへの期待 ビッグデータの観点から」
20:50-21:00	移動
分科会Ⅱ ～グランドチャレンジ分科会～	
21:00-21:05	分科会Ⅱのオリエンテーション 茂木強 (JST/CRDS)
21:05-22:00	グランドチャレンジ分科会
22:00-	懇親会
【2日目：7/26 (金)】	
朝食	
7:00-8:00	
全体セッション	
8:30-9:10	グランドチャレンジ分科会報告
9:10-9:40	話題提供 6 的場正憲 (慶應義塾大学) 「材料設計における知のコンピューティング」
9:40-10:10	話題提供 7 清水伸幸 (Yahoo!) 「クラウドソーシング」
10:10-10:15	分科会Ⅲのオリエンテーション 茂木強 (JST/CRDS)
10:15-10:20	移動
分科会Ⅲ ～R&D分科会～	
10:20-12:00	R&D分科会
12:00-12:40	分科会報告
ラップアップセッション	
12:40-13:00	ラップアップと次のステップの確認 徳田英幸 (慶應義塾大学)
解散 13:00	

参加者

氏名	所属・役職
芦川 将之	(株) 東芝 研究開発センター知識メディアラボラトリー
阿部 秀尚	文教大学 情報学部情報システム学科 専任講師
◎安西祐一郎	日本学術振興会 理事長
★石田 亨	京都大学大学院 情報学研究科 教授
石村 源生	北海道大学 高等教育推進機構 特任准教授
一杉 裕志	産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門 主任研究員

1. 研究開発の内容

2. 研究開発を実施する意義

3. 具体的な研究開発課題

4. 研究開発の推進方法および時間軸

付録1. 検討経緯

付録2. 国内外の状況

付録3. 専門用語説明

稲邑 哲也	国立情報研究所 情報学プリンシプル研究系 准教授
乾 健太郎	東北大学大学院 情報科学研究科 教授
井庭 崇	慶應義塾大学 総合政策学部 准教授
江渡浩一郎	産業技術総合研究所 知能システム研究部門 主任研究員
★大越 匡	慶應義塾大学 環境情報学部 博士課程 1年
大澤 幸生	東京大学大学院 工学系研究科 教授
岡野原大輔	(株) Preferred Infrastructure 取締役副社長
小山 聡	北海道大学大学院 情報科学研究科 准教授
鹿島 久嗣	東京大学大学院 情報理工学系研究科 准教授
金川 誠	(財) 福岡県産業・科学技術振興財団 地域連携コーディネータ
◎菊池 尚人	慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科 特任准教授
來村 徳信	大阪大学 産業科学研究所 准教授
◎喜連川 優	国立情報学研究所 所長
城戸 隆	理研ジェネシス 研究マネージャ
清木 康	慶應義塾大学 環境情報学部 教授
栗木 一郎	東北大学電気通信研究所 准教授
栗原 聡	電気通信大学大学院 情報システム学研究科 教授
★後藤 真介	京都大学大学院 情報学研究科 後期博士課程 1年
櫻井 祐子	九州大学大学院 システム情報科学研究院 准教授
澤谷由里子	早稲田大学 研究戦略センター 教授
◎清水 伸幸	ヤフー (株) 事業戦略統括本部 Yahoo! Japan 研究所 主任研究員
◎鈴木 忠	白百合女子大学児童文化学科 教授
角 康之	公立はこだて未来大学 システム情報科学部 教授
諏訪 正樹	慶應義塾大学 環境情報学部 教授
★玉川 奨	慶應義塾大学 理工学部 博士課程 3年
津本 周作	島根大学 医学部医学科医療情報学講座 教授
★徳田 英幸	慶應義塾大学 環境情報学部 教授
鳥澤健太郎	情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所 情報分析研究室 室長
★中澤 仁	慶應義塾大学 環境情報学部 准教授
◎萩田 紀博	ATR 社会メディア総合研究所 知能ロボティクス研究所 所長
橋本 昌宜	大阪大学 情報科学研究科 准教授
馬場 雪乃	東京大学大学院 情報理工学系研究科 特任研究員
◎藤山 知彦	三菱商事株式会社 常勤顧問
松尾 豊	東京大学大学院 工学系研究科 准教授
松原 繁夫	京都大学大学院 情報学研究科 准教授
松原 仁	公立はこだて未来大学 教授
丸山 宏	統計数理研究所 副所長
溝口理一郎	北陸先端科学技術大学院 大学サービスサイエンス研究センター 教授

★村上 陽平	京都大学大学院 情報学研究科 特定研究員
森嶋 厚行	筑波大学 図書館情報メディア系/知的コミュニティ基盤研究センター 教授
★森田 武史	青山学院大学 社会情報学部 助手
山川 宏	(株)富士通研究所 ソフトウェア技術研究所 研究員
★山口 高平	慶應義塾大学 理工学部 教授
脇田 玲	慶應義塾大学 環境情報学部 准教授
渡邊 淳司	NTT コミュニケーション科学基礎研究所 主任研究員
◎吉川 弘之	科学技術振興機構研究開発戦略センター センター長
有本 健男	科学技術振興機構研究開発戦略センター 副センター長
◎黒田 昌裕	科学技術振興機構研究開発戦略センター 上席フェロー
★岩野 和生	科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー
★岡山 純子	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
★嶋田 一義	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
★島津 博基	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
★鈴木 慶二	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
★高島 洋典	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
★的場 正憲	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
★茂木 強	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー

※◎講演者、★プログラム委員・実行委員

課題別ワークショップ (1) 「知のメディア」ワークショップ

日時：2013年10月31日（木）10:00～18:15

場所：科学技術振興機構 東京本部9階第1会議室

プログラム

10:00-10:05	開会のあいさつ 岩野和生 (JST/CRDS)
10:05-10:20	趣旨説明 山口高平 (慶應義塾大学)
10:20-12:00	自己の研究分野と知のコンピューティング
	奥村学 (東京工業大学) 言語処理と知のコンピューティング
	古崎晃司 (大阪大学) 知識処理と知のコンピューティング
	乾健太郎 (東北大学) 知識インフラ基盤としての自然言語処理
	美濃導彦 (京都大学) 知のメディアワークショップ
	馬場口登 (大阪大学) 知のメディア-視覚メディアの視点から-
	山川宏 (富士通研究所) 知能技術は統合の時代へ
	栗原聡 (電気通信大学) 多様性からの知の創発、関係からの知の創発
	津本周作 (島根大学) Intelligent Hospital に向けて-新たな診療支援-
	松原仁 (はこだて未来大学) 知のメディアワークショップ-適切な目標の設定-
	松尾豊 (東京大学) 表現の学習：ウェブマイニングから Deep Learning へ
12:00-13:00	昼食
13:00-14:50	研究分野に関する議論 (全体像の共有)

1. 研究開発の内容

2. 研究開発を実施する意義

3. 具体的な研究開発課題

4. 研究開発の推進方法および時間軸

付録1. 検討経緯

付録2. 国内外の状況

付録3. 専門用語説明

14:50-15:00	ブレイク
15:00-17:10	達成目標に関する議論
17:10-18:00	2020 チャレンジ (分かり易い目標)
18:00-18:15	ラップアップ

参加者

氏名	所属・役職
山口 高平 [※] 【チェア】	慶應義塾大学 理工学部 教授
古崎 晃司	大阪大学 産業科学研究所 教授
奥村 学	東京工業大学 精密工学研究所 教授
乾 健太郎 [※]	東北大学大学院 情報科学研究科 教授
美濃 導彦	京都大学 学術情報メディアセンター 教授
馬場口 登	大阪大学大学院 工学研究科 教授
松尾 豊 [※]	東京大学大学院 工学系研究科 准教授
山川 宏 [※]	富士通研究所 ソフトウェア技術研究所 研究員
栗原 聡 [※]	電気通信大学大学院 情報システム学研究科 教授
津本 周作 [※]	島根大学 医学部医学科医療情報学講座 教授
松原 仁 [※]	公立はこだて未来大学 教授
岩野 和生 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー
岡山 純子 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
嶋田 一義 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
島津 博基 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
鈴木 慶二 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
高島 洋典 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
的場 正憲 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
茂木 強 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
田畑 伸哉	文部科学省研究振興局 参事官 (情報担当付) 補佐
花岡 宏亮 [※]	文部科学省研究振興局 参事官 (情報担当付) 主任
松尾 浩司	科学技術振興機構 戦略研究推進部 調査役
稲上 泰弘	科学技術振興機構 戦略研究推進部 上席主任調査員
嶋田 義皓	科学技術振興機構 戦略研究推進部 主査

※は Wisdom Computing Summit 2013 参加者

課題別ワークショップ (2) 「知のプラットフォーム」ワークショップ

日時：2013年11月19日（火）10:00～18:15

場所：科学技術振興機構 東京本部別館 2階会議室 A-2

プログラム

10:00-10:10	趣旨説明 岩野和生 (JST/CRDS)
10:10-10:20	「知のコンピューティング」概要説明 茂木強 (JST/CRDS)
10:20-12:00	知のプラットフォームとの関連パート I
	徳田英幸 (慶應義塾大学) サイバーフィジカルシステムと知のプラットフォーム
	石田亨 (京都大学) 知のプラットフォームと価値共創
	稲邑哲也 (国立情報学研究所) 身体感覚運動を伴う対話シミュレーションに基づく社会知能創成
	神竹孝至 (東芝) スマートコミュニティ/スマートグリッド研究開発の紹介
	諏訪正樹 (慶應義塾大学) Wisdom and Computing “構成的認知” の立場から～生活意識の研究もやりましょう～
12:00-13:00	昼食
13:00-14:00	知のプラットフォームとの関連パート II
	萩田紀博 (ATR) 自らの研究 (ロボティクス) との関連づけ
	丸山宏 (統計数理研究所) Wisdom - Computing Platform and Resilience
	安田洋祐 (政策研究大学院大学) 経済学と知のコンピューティング
14:00-14:20	「知のメディア」ミニWS 概要報告
	山口高平 (慶應義塾大学)
14:30-14:45	設定目標 (チャレンジテーマ) のレビュー
14:45-15:45	グループワーク①
	チャレンジテーマ達成に向けて必要な知識、技術、社会制度 (ビジネスモデル)
15:50-16:05	グループワーク①の成果報告
16:05-17:45	グループワーク②
	知のプラットフォームとして必要な知識、技術、社会制度の整理
	挙げた知識、技術、社会制度の (過去)、現在、未来
17:45	ラップアップ 徳田英幸 (慶應義塾大学)

参加者

氏名	所属・役職
徳田 英幸 [*] 【チェア】	慶應義塾大学 環境情報学部 教授
石田 亨 [*]	京都大学大学院 情報学研究科 教授
稲邑 哲也 [*]	国立情報学研究所 情報学プリンシパル研究系 准教授
神竹 孝至	株式会社東芝 研究開発センター 主席技監
諏訪 正樹 [*]	慶應義塾大学 環境情報学部 教授
萩田 紀博 [*]	ATR 知能ロボティクス研究所 所長

丸山 宏 [※]	統計数理研究所 副所長
安田 洋祐	政策研究大学院大学 助教授
山口 高平 [※]	慶應義塾大学 理工学部 教授
岩野 和生 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー
岡山 純子 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
嶋田 一義 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
島津 博基 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
鈴木 慶二 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
高島 洋典 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
的場 正憲 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
茂木 強 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
松尾 浩司	科学技術振興機構 戦略研究推進部 調査役
稲上 泰弘	科学技術振興機構 戦略研究推進部 上席主任調査員
嶋田 義皓	科学技術振興機構 戦略研究推進部 主査
宮田 裕行	科学技術振興機構 科学技術イノベーション企画推進室

※は Wisdom Computing Summit 2013 参加者

課題別ワークショップ (3) 「知のコミュニティ」ワークショップ

日時：2013年12月17日（火）10:00～18:00

場所：科学技術振興機構 東京本部 9階第2会議室

プログラム

10:00-10:05	趣旨説明 岩野和生 (JST/CRDS)
10:05-10:20	「知のコミュニティ WS」概要説明
	石田亨 (京都大学) 知のプラットフォームと価値共創
10:20-12:00	知のコンピューティングとの関連 パート I
	鹿島久嗣 (東京大学) 一億総データサイエンティスト計画 クラウドソーシングで挑むビッグデータ解析
	鈴木健嗣 (筑波大学) ところを支える情報学 知のコミュニティにおける知のコンピューティング
	西田豊明 (京都大学) 知のコミュニティと会話情報学
	松尾豊 (東京大学) 知のコミュニティと社会の観測
	安田雪 (関西大学) 自己紹介 研究紹介と知の？
12:00-13:00	昼食
13:00-13:40	知のコンピューティングとの関連 パート II
	横尾真 (九州大学) 知のコミュニティとマーケットデザイン
	五十嵐健夫 (東京大学) デザインのためのインタフェース
13:40-15:00	グループワーク①
	知のコミュニティの定義、全体構造について
	2020 チャレンジテーマの設定 (知のコミュニティのスコップを踏まえて、 CREST のテーマをイメージ。各チーム 1～2 テーマ程度を設定

チャレンジの実現に必要な知識、技術、社会制度の整理	
15:00-15:10	休憩
15:10-15:30	知のコンピューティングとの関連 パートⅢ
	野田五十樹 (AIST) 強いAIとしての社会シミュレーション
15:30-17:30	グループワーク②
チャレンジに実現に必要な知識、技術、社会制度の整理 (続き) 挙げた知識、技術、社会制度の (過去)、現在、未来 (2020年の目標)	
17:30-17:45	グループワークの成果報告
検討結果を報告	
<ul style="list-style-type: none"> ・知のコミュニティの定義、全体構造へのコメント ・知のコミュニティのチャレンジテーマ ・チャレンジの実現に必要な知識、技術、社会制度と、それらの現在、未来 	
17:45-18:00	ラップアップ 石田亨 (京都大学)

参加者

氏名	所属・役職
石田 亨 [※] 【チェア】	京都大学大学院 情報学研究科 教授
横尾 真	九州大学大学院 システム情報科学府 教授
野田五十樹	産業技術総合研究所 サービス工学研究センター サービス設計支援技術研究チーム チーム長
五十嵐健夫	東京大学大学院 情報理工学系研究科 教授
鈴木 健嗣	筑波大学 システム情報系 准教授
西田 豊明	京都大学大学院 情報学研究科 教授
松尾 豊 [※]	東京大学大学院 工学系研究科 准教授
鹿島 久嗣 [※]	東京大学大学院 情報理工学系研究科 准教授
安田 雪	関西大学 社会学部 教授
岩野 和生 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター 上席フェロー
岡山 純子 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
嶋田 一義 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
島津 博基 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
鈴木 慶二 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
高島 洋典 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
的場 正憲 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
茂木 強 [※]	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー
石正 茂	科学技術振興機構 戦略研究推進部 部長
松尾 浩司	科学技術振興機構 戦略研究推進部 調査役
波羅 仁	科学技術振興機構 戦略研究推進部 副調査役
稲上 泰弘	科学技術振興機構 戦略研究推進部 上席主任調査員
嶋田 義皓	科学技術振興機構 戦略研究推進部 主査

※は Wisdom Computing Summit 2013 参加者

戦略目標と戦略的創造研究推進事業

平成 26 年度戦略目標

平成 26 年 2 月 26 日に本プロポーザルの提言内容を含んだ戦略目標が文部科学省より公開された²³。以下、その内容の概要を転記する。

人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理技術の開発

1. 戦略目標名

人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理技術の開発

2. 達成目標

情報科学技術（知的情報処理技術関連）を中心に、認知科学、ロボティクス（知能・制御系）の学問分野と融合した新たな領域を構築し、人間と機械の創造的協働を実現する統合的な知的情報処理技術を開発するため、以下の目標の達成を目指す。

○場の状況と話の流れに応じた対話の実現に向けた知的情報処理技術の開発

○人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理システムの開発に向けた対話、作業等のメカニズムの解明と技術開発

3. 将来実現しうる重要課題の達成ビジョン

本戦略目標下において、「2. 達成目標」に記載した研究成果を得られることにより、現在の知的情報処理技術では解明できていない、場の状況と話の流れに応じた対話の実現に向けた知的情報処理技術や、人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理システムの開発に向けた対話、作業等のメカニズム解明と技術開発を行い、それらの技術を統合して新たな知的情報処理技術を創出することを目指す。

本事業終了後に、これらの研究成果を実証的に展開・発展させることで、2025 年頃には、

- ・高度な質問応答・助言システム（高齢者支援、個別教育、医師の診断支援 等）
- ・高度な意思決定支援システム（専門家の議論支援、政策・制度設計支援 等）
- ・自律的ロボット（人間が行う作業の模倣、災害救助、介護者の支援 等）

等の知的情報処理システムを開発することにより、アンビエントな情報社会が構築され、我が国の重要課題である安全かつ豊かで質の高い生活の実現や新たな知の創造、イノベーションによる新産業・新サービスの創出等に貢献することを目指す。

（中略）

8. 検討の経緯

JST 研究開発戦略センター（CRDS）情報科学技術分野の俯瞰活動において、新しい社会的価値を創造するために出現しつつある重要な技術開発として、知的情報処理技術、サイバーフィジカルシステム、ビッグデータの 3 項目を抽出した。その後、知的情報処理技術について、核となる有識者によるコアメンバー会議の開催（平成 25 年 4 月）等、本戦略目標において取り組むべき内容について議論を進めた。

²³ 人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理技術の開発
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/26/02/attach/1344595.htm

平成 25 年 7 月には、CRDS が国内外からの有識者を集めて本戦略目標に関する科学技術未来戦略ワークショップを開催して、取組内容の詳細化と異分野連携や研究者コミュニティの醸成を図った。本ワークショップにおいて、知的情報処理システム作成、人間と機械の協働、知的活動に関わる人を増やすための人間を刺激するための知のシステムの構築等、複数の提案があった。

本戦略目標は、これらの検討の結果を踏まえて策定したものである。(以下略)

1. 研究開発の内容

2. 研究開発を実施する意義

3. 具体的な研究開発課題

4. 研究開発の推進方法および時間軸

付録1. 検討経緯

付録2. 国内外の状況

付録3. 専門用語説明

平成 26 年度戦略的創造研究推進事業 CREST 研究領域

平成 26 年 4 月 16 日に本プロポーザルの提言内容を含んだ CREST 研究提案の募集が開始された²⁴。以下、その内容の概要を転記する。

戦略目標

「人間と機械の創造的協働を実現する知的情報処理技術の開発」

研究領域名

「人間と調和した創造的協働を実現する知的情報処理システムの構築」

研究総括

萩田紀博（株式会社国際電気通信基礎技術研究所 取締役／社会メディア総合研究所 所長）

概要

本研究領域では、人間と機械の協働により新たな知を創出し、人・集団の知的活動の質向上を実現する知的情報処理システムを目指した研究開発を推進します。

具体的には、

- (1) 個人・集団の特徴や逐次変化する実環境・ネットワーク情報環境をシステムが高度なレベルで把握し、その時、その場所、その人・集団に合わせた最適なサービス群を提供できる技術
- (2) 機械が提供するサービスについて人・集団が意思決定しやすいように、対話や作業を通じてサービス内容や利用者への恩恵、リスクを分かりやすく説明・表現できる技術
- (3) 人・集団と機械が調和して協働することにより生まれた新たな知を共有するための技術
- (4) 上記の研究開発を推進するために必要な知的情報処理メカニズムの解明などに関する研究を対象とします。

これらの研究を推進するにあたり、情報処理、認知科学、社会科学、自然言語、計算機科学、計算科学、ロボティクス等における要素技術の進化と、それらのシステムインテグレーションによる知的情報処理システムの構築を目指し、人間と機械が調和したアンビエントな情報社会の実現に向けた異分野融合・連携に取り組みます。

²⁴ 人間と調和した創造的協働を実現する知的情報処理システムの構築

http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research_area/ongoing/bunyah26-2.html1344595.htm

付録 2. 国内外の状況

【米国】

IBM 質問応答システム Watson (2011)

IBM の質問応答システム Watson が米国のクイズ番組 Jeopardy! にて人間のチャンピオンを打ち破って最高金額を獲得（2011年2月）。100万冊の本に相当する自然言語で書かれた非構造データ分析を高速処理するシステムを構築した。その後、医療診断やコンタクトセンターシステムなどの応用分野の開発に注力。

Google X Lab の猫認識 (2012)

Google X Lab. はコンピューターが機械学習により猫を認識する能力を獲得したと発表。16000個のCPUコア上に10億個以上の接続ポイントを構築したものに、Web上の画像を無作為に収集させ、一週間学習することで、「猫」に特に強く反応するニューラルネットワークができた（2012年6月）。

BRAIN Initiative (2013)

ナノテクノロジーの活用により、電極記録と脳機能画像の2種類の脳活動の記録方法のギャップを埋め、脳のある領域の全てのニューロン活動をマッピングすることを目指す。10年間で総額30億ドルの規模。モデル動物を活用してスケールを段階的に拡大し、15年後にマウスの大脳皮質全体の神経細胞からのデータ収集を目指す。

【欧州】

EU FutureICT (2011)

FP7 FET (Future Emerging Technology) の Flagship pilot プロジェクト。参加型センシング、可視化、シミュレーションのプラットフォームを構築して、複雑な社会システムを理解・管理し、社会のサステナビリティとレジリエンスを高めることを目的としたもの。Pilotの後、Flagship projectには採択されなかったが研究としては継続しており、複雑系の科学をコアに政策決定支援や教育支援などの応用も想定されている。

Human Brain (2013)

FP7 FET (Future Emerging Technology) の Flagship プロジェクトで2013年～2023年の10年間で総額11.9億ユーロの研究費が投入される。脳科学の研究活動やデータを新しいICTプラットフォーム上に集約したICT統合基盤研究プラットフォームを構築。実験データとニューロインフォマティクスや脳シミュレーション（最終的には細胞レベルに遡った人の全脳シミュレーション）の統合により、脳メカニズムの理解、脳疾患の早期診断と個別治療の実現を目指す。予算の3%が倫理問題にあてがわれる。

【日本】**戦略的創造研究推進事業 CREST 共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築 (2009)**

人間行動・実空間状況の取得・理解を行うセンサーネットワークやユビキタスコンピューティングによる実空間適応型認識技術、ロボットやユビキタスネットワークによる人間-機械コミュニケーションの円滑化技術、テキスト、音声、音楽、画像などの多様なメディアの解析、検索、集積、構造化などに関わるコンテンツ技術などの研究開発が取り組まれている。

戦略的創造研究推進事業 ERATO 岡ノ谷情動情報プロジェクト (2008)

科学技術振興機構の標記プロジェクトにおいて、喜び、悲しみ、驚き、怒りといった心の状態を他者に伝達する表情や音声、体の動きなどの情動情報の計測、モデル化や符号化技術、生物学的な進化や発達など認知科学寄りの基礎研究が行われた。こうした取り組みを通じて言語情報だけではない多様なチャンネルを通じた、包括的なコミュニケーションの姿と生物学的基盤が明らかになっていくと考えられる。

コンピューター将棋 (2010)

2010年、あから2010が女流将棋王将に勝利し、2012年、将棋AIが米長元名人に勝利した。これは大量の棋譜データを利用して評価関数の大規模パラメーターの自動調整に機械学習を適用し、コンピューター将棋の棋力を大幅に向上できたことが大きな要因である。2013年の第2回将棋電王戦の対戦成績はプロ棋士の1勝3敗1引き分けとなった。なお、あからという名前は、将棋の探索空間の10220を表す阿伽羅から命名された。

東大入試ロボット (東ロボ君) (2013)

国立情報学研究所が進めている大学入試をベンチマークに設定した統合的人工知能を実現しようとするプロジェクト。自然言語の深い意味理解、知識に基づく論理的推論や数学的推論、さらに入試問題では図、グラフ、写真などで与えられた非言語情報を統合的に理解し、答えを導く必要がある。2013年秋に代々木ゼミナールのセンター模擬試験に挑戦し、約400の私大に合格できると判定を得た。

付録 3. 専門用語説明

機械学習 (Machine Learning)

あらかじめルールやプログラムを明示的に与えるのではなく、具体例などをデータとして与えることで、具体例に含まれない新たなデータに対してもコンピューターが適切な処理を行えるようにする技術。近年、大量データからのルール発見といった目的にも使われようになっている。

集合知 (Collective Intelligence)

意識的あるいは意識されない形での人々の共同作業により生み出される知。Wikipedia は変化し続ける事物についての集合知を活用して形成された巨大な百科事典である。また、市民参加による銀河の分類など科学的発見へ貢献する取組みなどもある。オープンソフトウェア開発も集合知を活用する例といえる。参加を促す仕組み、知の集積と構造化の手法などが研究対象となっている。

ソーシャルネットワーキングサービス (SNS: Social Networking Service)

インターネット上で個人や組織が相互に交流する場を提供するサービスやサイトのこと。当初は趣味や興味など限定された使われ方が主流であったが、東日本大震災時の災害情報の流通、あるいは、アラブの春での情報伝達など、社会に大きな影響を与える存在になっている。

データの科学 (Data-Intensive Science)

既存の科学的手法、演繹、帰納、シミュレーションに続く第4の科学的手法として Jim Gray が “The Fourth Paradigm—Data-Intensive Scientific Discovery—” で提唱した。膨大なデータと高速な計算機を使って科学的発見を見いだす手法。

反復型開発プロセス (Incremental and iterative development process)

開発とリリースを繰り返しながら中核部分から段階的に完成させていくソフトウェアシステムの開発プロセスである。反復ごとに設計や実装が修正される。市場の反応やそれまでの開発から学んだことを後のシステムに生かすことができる。

ビッグデータ (Big Data)

IT の社会への普及により生み出される膨大なデジタルデータそのものを指す。定量的な定義はない。コンピューターを使ったシステムや CPU を内蔵する機器やセンサーの類、人間の活動などが生成する様々なデータから成る。

DIKW モデル (Data-Information-Knowledge-Wisdom Model)

データ、情報、知識、知恵を構造的に表したモデル。データから何らかの関係性を見いだしたものを情報、それに意味を与え因果関係を説明できるようにしたものを知識とする。知識は因果関係の背後にある原理を見いだしたものの。

ELSI (Ethical, Legal, and Social Issues)

科学技術の研究を進めるのにあたって考慮すべき、倫理的、法的、社会的諸問題の総称。I を Implication とすることもある。

■戦略プロポーザル作成メンバー■

岩野 和生	上席フェロー	(情報科学技術ユニット)
嶋田 一義	フェロー	(情報科学技術ユニット)
鈴木 慶二	フェロー	(情報科学技術ユニット)
高島 洋典	フェロー	(情報科学技術ユニット)
的場 正憲	フェロー	(情報科学技術ユニット)
宮下 哲	フェロー	(情報科学技術ユニット)
茂木 強	フェロー	(情報科学技術ユニット)
岡山 純子	フェロー	(海外動向ユニット)
島津 博基	フェロー	(ナノテクノロジー・材料ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2013-SP-07

戦略プロポーザル

知のコンピューティング

～人と機械の創造的協働を実現するための研究開発～

STRATEGIC PROPOSAL

Wisdom Computing

Research and development for creative collaboration between humans and machines

平成 26 年 6 月 June, 2014

独立行政法人科学技術振興機構研究開発戦略センター 情報科学技術ユニット
Information Science and Technology Unit, Center for Research and Development Strategy
Japan Science and Technology Agency

〒 102-0076 東京都千代田区五番町 7 番地

電 話 03-5214-7481

ファックス 03-5214-7385

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

© 2014 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 CTA ACT 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 CTA ACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
CTCGCC AATTAATA
TTAATC A AAGA C CTA ACT CTCAGACC
AAT A TCTATAAGA CTCTAACT
ATTAATC A AAGA C CT
GA C CTA ACT CTCAGACC
0011 1110 000
00 11 001010 1
0011 1110 000
0100 11100 11100 101010000111
001100 110010
0001 0011 11110 000101

