

CRDS-FY2015-WR-06

科学技術未来戦略ワークショップ報告書
知のコンピューティング
「知の創造とアクチュエーション」

平成27年10月30日（金） 開催



国立研究開発法人 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

エグゼクティブサマリー

科学技術振興機構 研究開発戦略センター（CRDS）では、現代社会にあふれる知識と情報をわれわれが活用をしきれていないのではないかという問題意識の下で2003年に「知のコンピューティング」というコンセプトを提唱し、知の創造、蓄積と流通を促進し、人間の科学的発見や社会への適用を加速することで、人々が日々賢く生きるための力となる仕組みづくりに向けた研究開発の検討をしてきた。これまでに、情報学に学ぶ、集団に学ぶ、プラットフォーム、および、ポリシーについて複数回のワークショップを開催し技術の深掘りを実施してきた。

予測・発見を通して新しい価値を創造するためには、知の創造とその社会適用に関する探求が必要不可欠である。知の創造に関してはCRDSでは、2007年に科学技術未来戦略ワークショップ「予測と発見～大規模情報からの『知識』獲得技術～」を開催し、必要となる研究開発項目を抽出している。しかし、その後、情報科学技術を取り巻く環境は、計算処理能力のとどまらぬ性能向上、ネットワーク環境の高速・大容量化などハードウェアの進化から、機械学習を代表とする人工知能技術の進化、さらにはソーシャルネットワーキングの普及など、劇的とも言える変化を遂げており、この機会一度、2007年時点の成果を2015年の文脈でリ・デザインすることが必要であると考えた。また、社会適用に関しては、予測・発見を通して獲得した『知識』を人間や社会に新しい価値として還元するための技術、これを「知のアクチュエーション」と呼んで、深掘りすることを合わせて実施することを目指した。



図 1 知のコンピューティングの俯瞰と本ワークショップの位置づけ

上の図は知のコンピューティングの技術俯瞰図に、過去に実施した4回のワークショップのカバー範囲を重畳したものである。当初は、「予測発見の促進」と「知のアクチュエーション」をそれぞれ実施する計画であったが、発見された「知」は社会に適用してこそ意味があるという認識から、これら二つのテーマを同時に深掘りするワークショップとして設計した。

ワークショップでは、冒頭、「知のコンピューティング」としての「知の創造とアクチュエーション」のコンセプトやワークショップの位置づけを説明した。ついで、2007年のワークショップで座長をつとめた有川節夫先生による「発見科学」に関する基調講演および、参加者による専門研究分野と「知の創造とアクチュエーション」の関連課題に関するポジショントークを発表いただいた。

その後、参加者全員が3グループ（A、B、C）に分かれて、研究開発のゴール（狙い）、社会的・科学的インパクト、取り組むべき重要課題等を論点として議論しながら、研究開発課題の抽出を行った。以下、各グループの議論の概略を報告する。

グループAでは、まず、各研究分野の観点から知のコンピューティングについての現状認識を共有した。ひとつは、評価関数が定義できればデータを集めて機械学習等の技術を使い、一定のレベルで問題の解決ができるようになったということである。もうひとつは、統計データに基づいて個人の嗜好に応じた情報提示などは可能になってきたが、物理的世界へのアクチュエーションを組み合わせ、状況・文脈に応じて便益を提供することは、その方法論の構築も含めてじゅうぶんに実現できていないということである。

次に、どのような知を目指すべきかを議論した。老いも若きも、ハンディキャップを負った人も含めて、知の活用の大衆化が進みつつあるなかでの知の活用とは、どのようなものであるかという観点から、実際のアクションに結びつけることができる知が重要という共通認識を得た。さらに、多数の人間や長短の時間的展望に対してスケールすることが重要という結論を得た。このような議論を経て、個々人の利便性やQoLに貢献するだけでなく、個人の集合であるさまざまなコミュニティーが意思決定してアクションに結びつく知を支え、生み出すことを目標に掲げることとした。

これらの目標を達成するための研究課題を3つ抽出した。第一は、最も基本的なレイヤーとしては個人レベルの価値判断を、ダイナミックに変化する状況のなかで異なる時間スケールや評価軸を参照しながら行うことを可能にする技術（トレードオフ・メーター）である。第二は、価値判断の異なる個々人を含むコミュニティーが全体としてどの方向に進むべきかの意思決定と意思決定に基づくアクションを柔軟に行うための、組織全体の動向把握、利害関係をバランスさせ、組織を構造化するための技術（ソーシャル・ネゴシエーション）である。第三は、トレードオフの提示やネゴシエーションにおいて、人間やコミュニティーとのインタラクションや行動を予測し能動的に人間に働きかけを行うときに、人間の信念、共感、意図を推定し、それに沿った働きかけを行う技術（共感アクティベーション）である。

こうした研究課題を達成し、活用することで、例えば、全体最適が可能な自動車や災害時避難のナビゲーション、その人に常に寄り添うエージェント等を介した **person-oriented** なサービスの提供・享受、会議時間の短縮などが可能な社会の実現を目指す。

グループBでは、科学技術が発達した後の目指すべき社会を、「資本」の次として「知」を制するものが台頭する「智本主義社会」が考えられるが、さらに「徳」という概念を含ませた「智徳主義社会（wisdom driven society）」とした。この「智徳主義社会」を目指す人間と機械と社会のシステムの実現がゴールである。その達成には、「大小さまざま、

かつ多様なコミュニティで行われる多角的合意形成のためのアーキテクチャーとプラットフォームを実現する技術の開発」や、「状況のダイナミクスの把握・構造化の研究促進」、「集团的創造活動のための物理、サイバー空間の実現技術の開発」が研究推進目標として必要である。人工知能を含む情報学、認知科学、言語学、社会学、脳科学などの学問分野を融合も必要である。研究開発の成果を実証的に展開、発展することにより、「異なる文化の相互理解と協調」、「複合（マルチ、トランス）科学の創成」が可能となり、「価値の適切な再配分によるレジリエントな社会」や「シンギュラリティを気持ちよく迎える社会」が実現するものと考えた。

グループCでは、社会のコ・デザイン、価値共創（コ・クリエーション）、人と機械の協創が、超スマート共創社会を創成するためには重要なアプローチであるが、現状、そのための高信頼プラットフォームがない。システムは常に変わることを鑑みると、人が絶え間なく入ってくるシステムを考慮した高信頼プラットフォームの構築が必要不可欠であり、社会的価値により駆動されるものでなければならない。それを作るには社会的価値を軸にする必要がある。スマートライフ（コミュニティ、シティー）、社会デザイン、ビジネスデザイン、セキュリティデザイン、レギュレーションデザイン等、各ドメインで定義される社会的価値を基軸とした「Social Value-driven Smart Innovation（社会的価値駆動型スマート・イノベーション）」の誘発につながると期待できる。これにより、社会的価値に駆動された知のサイクルとしてのエコシステムが生まれ、レギュレーションの問題を社会的価値に基づいて解決する社会システムデザインが実現可能となり、社会的価値に駆動された超スマート共創社会を創成することが可能となる。

今回のワークショップの目的のひとつは、知の創造とその社会適用に関する探求である。その観点で分科会で描き出されたゴールを考察する。描出されたものは以下の3つのゴールイメージである。

- 誰もが参加でき、各人の納得感が高く、状況に応じた、個別的なありがたさを享受できる社会
- 「智徳主義社会」を目指す人間と機械と社会のシステム
- Social Value-driven Smart Innovation（社会的価値駆動型スマート・イノベーション）

それぞれ、個人、社会、及び、システムに焦点をフォーカスしているが、総合することで見えてくるものは、よりよい個人の生き方の追求と、よりよい社会のあり方の追求とが、人間同士や人間と機械のよりよりインタラクションにより共に進展する人間・社会像である。それぞれ独立に討議された結果がひとつの統一的な世界観に収まったことは、今回集まった研究者の日ごろの問題意識に通奏するものの現れと考えることもできる（図2）。

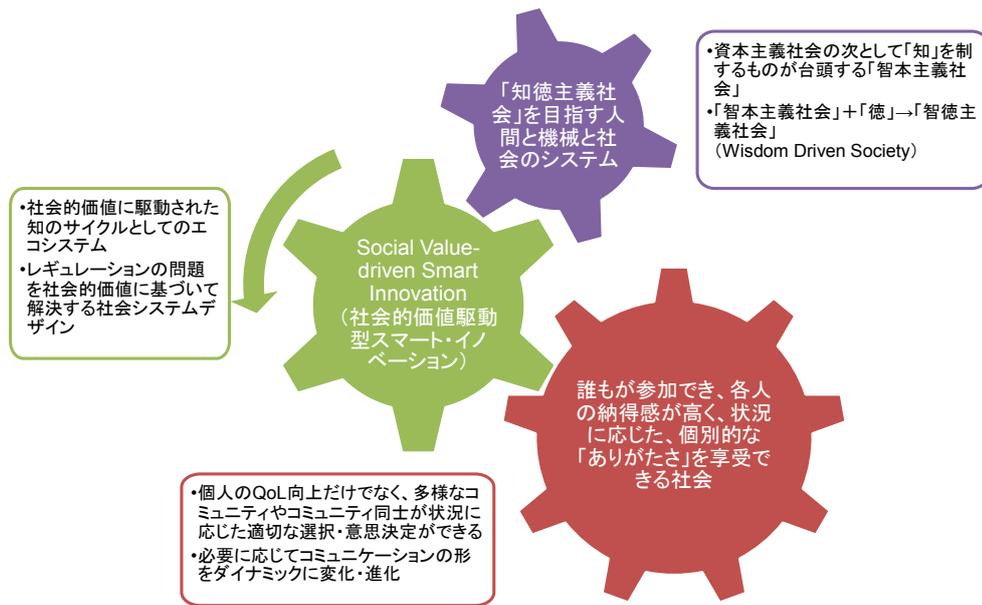


図2 描き出されたゴールイメージ

今回のワークショップのもう一つの目的は、予測・発見を通して獲得した『知識』を、人間や社会に新しい価値として還元するための技術、これを「知のアクチュエーション」と呼んで、深掘りすることであった。分科会で抽出された研究開発課題を知のコンピューティングの俯瞰図にマッピングしたものを図3に示す。発見科学や、非言語情報による状況把握や可視化などの従来から挙げられていたものに加えて、人間の信念・共感・意図に働きかける技術、集団レベルで意思決定をアクションをバランスさせる技術、物理空間とサイバー空間をつないで集団的創造活動を支援する技術など、知の創造とアクチュエーションに関わる技術が新たに特定できたことは意義深い。



図3 知のコンピューティングの俯瞰図（見直し版）

一方で、今回議論ができなかったトピックとしては、「知」とは何か、新たに「徳」とは何かという議論、統一見解は難しくても、常に問い続ける必要がある。2つ目は、具体的なインパクトに関する議論。観念的な表現にとどまる限り他の研究コミュニティはもとより行政や一般の人々の理解してもらえない。各論でもいいので具体的な議論が必要。3つ目は社会システムデザインの方法論に関する議論。最後に、知のコンピューティングではポリシー（図3の⑧）と呼ぶ社会受容に関わる議論。今回は新たに集団の意思決定や合意形成をどう円滑に進めるかという研究課題が抽出されたが ELSI 的に考えておかないといけない問題を多く含むと思われる。

今回は、研究領域も参加者もある程度事前に絞り込んだにもかかわらず、前半のポジショントークやプレゼン資料に含まれる助言や知見、また、参加された有識者の頭脳の中に納まる膨大な知識や見識に基づく熟議の結果を限られた時間で引き出すことができなかった。企画・運営の立場から参加された方々には、今回の不手際を深くお詫びすると共に、CRDS では知のコンピューティングに関わる活動はこれからも継続的かつ戦略的に実施する所存であるため、今後とも議論の場への参加と協力を心よりお願いしたい。

なお、本報告書における分科会の報告については、ワークショップ後に、分科会のグループリーダーをつとめた、神畷敏弘（産業技術総合研究所主任研究員）、橋本力（情報通信研究機構研究マネージャー）、宮下敬宏（国際電気通信基礎技術研究所室長）の各位に協力いただいた。ご協力に心より感謝する。

表 知のコンピューティングにかかわる活動・イベント一覧

年月日	活動内容
2007/1/18-19	「予測と発見～大規模情報からの『知識』獲得技術～」ワークショップ
2013/7/25-26	知のコンピューティングサミット Wisdom Computing Summit 2013
2013/10/31	「知のコンピューティング 知のメディア」ワークショップ
2013/11/19	「知のコンピューティング 知のプラットフォーム」ワークショップ
2013/12/17	「知のコンピューティング 知のコミュニティ」ワークショップ
2014/2/26	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」
2014/4/16	CREST「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」
2014/9/8	「知のコンピューティングと ELSI/SSH」ワークショップ
2014/11/7	サイエンスアゴラ 2014「激論！ 先端 ICT の光と影」ワークショップ
2015/10/30	「知のコンピューティング 知の創造とアクチュエーション」ワークショップ

目 次

エグゼクティブサマリー	i
1. 開催目的	1
2. 基調講演・ポジショントーク	3
2.1 発見科学（九州大学 有川節夫）	3
2.2 現在、未来、そして循環（統計数理研究所 樋口知之）	25
2.3 仮説発見 帰納推論・アブダクション（国立情報学研究所 井上克巳）	34
2.4 自然言語処理（京都大学 黒橋禎夫）	44
2.5 本当の AI：情報処理技術の先鋒としての AI（公立ほこだて未来大学 中島秀之）	50
2.6 NICT における知の発見と創造のための自然言語処理技術 （情報通信研究機構 橋本力）	61
2.7 コレクティブインテリジェンス（名古屋工業大学 伊藤孝行）	67
2.8 クラウドソーシングと知のアクチュエーション（筑波大学 森嶋厚行）	83
2.9 人工知能／ビッグデータ／IoT／サイバーセキュリティーと社会実装以外の 今後の研究課題（京都大学 石田 亨）	96
2.10 研究分野の紹介と課題（産業技術総合研究所 神嶋敏弘）	103
2.11 スマートシティ・コンテキストにおける知のアクチュエーション （慶應義塾大学 徳田英幸）	111
2.12 ネットワークロボットの観点から（国際電気通信基礎技術研究所 宮下敬宏）	120
2.13 タスク特化型 AI からインタラクティブ AI へ（慶應義塾大学 山口高平）	127
2.14 Human-Robot Interaction, ネットワークロボット （国際電気通信基礎技術研究所 萩田紀博）	134
2.15 時空間多次元集合データ分析（NTT コミュニケーション科学基礎研究所 上田修功）	140
3. 分科会	145
3.1 グループ A における議論の流れと検討結果	145
3.2 グループ B における議論の流れと検討結果	150
3.3 グループ C における議論の流れと検討結果	155
4. まとめ	161
5. 付録	165
5.1 開催プログラム	165
5.2 分科会の進め方	166
5.3 参加者一覧	167

1. 開催目的

科学技術振興機構 研究開発戦略センター（CRDS）では、現代社会にあふれる知識と情報をわれわれが活用をしきれていないのではないかという問題意識の下で2003年に「知のコンピューティング」というコンセプトを提唱し、知の創造、蓄積と流通を促進し、人間の科学的発見や社会への適用を加速することで、人々が日々賢く生きるための力となる仕組みづくりに向けた研究開発の検討をしてきた。これまでに、情報学に学ぶ、集団に学ぶ、プラットフォームおよび、ポリシーについて複数回のワークショップを開催し技術の深掘りを実施してきた。

予測・発見を通して新しい価値を創造するためには、知の創造とその社会適用に関する探求が必要不可欠である。知の創造に関してはCRDSでは、2007年に科学技術未来戦略ワークショップ「予測と発見～大規模情報からの『知識』獲得技術～」を開催し、必要となる研究開発項目を抽出している。しかし、その後、情報科学技術を取り巻く環境は、計算処理能力のとどまらぬ性能向上、ネットワーク環境の高速・大容量化などハードウェアの進化から、機械学習を代表とする人工知能技術の進化、さらにはソーシャルネットワークキングの普及など、劇的とも言える変化を遂げており、この機会でも一度、2007年時点の成果を2015年の文脈でリ・デザインすることが必要であると考えた。また、社会適用に関しては、予測・発見を通して獲得した『知識』を、人間や社会に新しい価値として還元するための技術、これを「知のアクチュエーション」と呼んで、深掘りすることを合わせて実施することを目指した。

下の図は、知のコンピューティングの技術俯瞰図に、過去に実施した4回のワークショップのカバー範囲を重畳したものである。当初は、「予測発見の促進」と「知のアクチュエーション」をそれぞれ実施する計画であったが、発見された「知」は社会に適用してこそ意味があるという認識から、これら二つのテーマを同時に深掘りするワークショップとして設計した。



図 1-1 知のコンピューティングの俯瞰図と各ワークショップの位置づけ

2. 基調講演・ポジショントーク

2.1 発見科学（九州大学 有川節夫）

有川でございます。こういうワークショップにお呼びいただきまして、誠にありがとうございます。



「発見科学 (Discovery Science)」は私どもがつくった言葉です。本日は、この「発見科学」を1990年代後半にどのようにして想起したかについて話をしたいと思います。そのような昔話をしてもと思われるかもしれませんが、そのくらいのスケールのコンセプトを出す必要があると私は思っていました。「発見科学 (Discovery Science)」という言葉は、1990年代後半に、当時の科研費の中で一番大きい、チーム型の重点領域研究として申請し採択された「巨大学術社会情報からの知識発見に関する基礎研究」の略称として使いました。この研究は、重点領域研究から特定領域研究へと名称が変更された1998年から4年(3プラス1年)行いましたが、初年度からDiscovery Scienceに関する国際会議をこの特定領域研究の活動の一環として立ち上げました。この国際会議は、今まで毎年、世界各地で開催されています。また、この研究の最終報告書はSpringerのLecture Noteシリーズから、「Progress in Discovery Science: Final Report of the Japanese Discovery Science Project (Springer, 2002/3/6)」として出版しています。そして、2007年に「予測と発見-大規模情報からの『知識』獲得技術-」ワークショップがJST-CRDSで開催されました。そのワークショップでは全体のまとめ役をさせていただきましたが、そこでの議論は「さきがけ」研究などにつながっていったのではないかと考えています。



内容

- はじめに
- 発見科学の構想まで
- 特定領域研究「発見科学」としての活動
- その後の展開
 - 国際会議「発見科学」シリーズ
 - 国際会議「発見情報学(Discovery Informatics)」
 - ビッグデータ/データ(中心)科学・工学
 - オープンサイエンス/シチズンサイエンスとの関係
- アクチュエーションの側面から
- おわりに

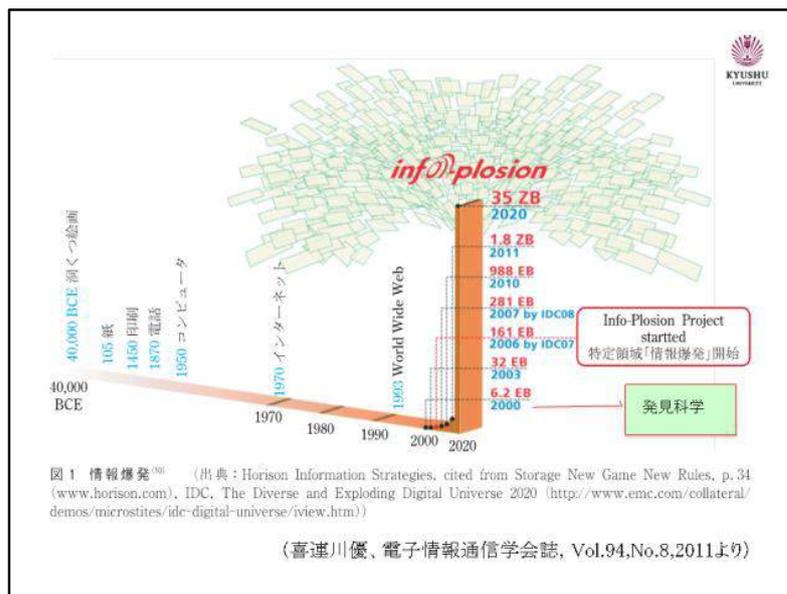


はじめに

- 「発見科学(Discovery Science)」名称は、1990年代、当時の科研費「重点領域研究」への申請課題名「巨大学術社会情報からの知識発見に関する基礎研究」の略称として使用したのが最初
- 1998年(「特定研究」へ名称変更)からの4年(3+1年)プロジェクトを実施
- 1998年、この特定領域研究の活動の一環として「discovery Science」国際会議を立ち上げ、現在も世界各地で開催18回を数えている。論文集は、SpringerからLecture Noteとして出版
- 特定領域研究の最終報告もSpringerからLecture Noteとして出版
- 2007年、JST/CRDSで「予測と発見」大規模情報からの『知識』獲得技術に関するWS
- 提唱から20年近くが経過したが、想定したデータの規模には隔世の感があるが、コンセプトは退色せず、今でも通用する(と思う)。

「発見科学」の提唱から17年の年月が過ぎました。当時想定したデータは、何とテラバイト級で、現代のもっと膨大なデータと皆さんが格闘されている状況からすれば本当に隔世の感はありますが、コンセプトに関しては余り色があせておらず、今でも通用するのではないかと思います。

これは喜連川先生の情報爆発を表したグラフで、何回も何十回も見られたかと思いますが、ここでは爆発に至る直前の時点で「発見科学」を想定したことに意味があると考えています。情報が爆発し始めてからといった、減少や状況が顕在化してから考えるのではなく、予兆を感じ先取りして先導的に取り組むことができるかということが、ある意味では今の時代に問われているのではないかと思います。



次に、どういう活動をしてきたのかということについてお話しします。私は、科研費の枠組みとしての特定研究や重点領域研究 / 特定領域研究といったチーム型研究に積極的に参加し、いろいろな研究にチャレンジしてきました。それから、1986年7月に人工知能学会が設立され、それが1990年の法人化に際して何かアピールできるような活動すべきだということがあり、その当時(1988年)、アメリカで始まったコンピューショナル学習理論(COLT: Computational Learning Theory)に関する国際ワークショップCOLTの向こうを張って、アルゴリズム学習理論(ALT: Algorithmic Learning Theory)に関する計算論的学習理論国際ワークショップ(会議)ALTを始めました。最初は、従って、人工知能学会の主催でしたけれども、その後、独立してずっと続け、もう二十数回開催されています。一度や二度やるのは誰でもできるけれども、これを何十年もしつこくやるのが私は大事だと思っています。

発見科学構想までの活動

- 特定研究、重点領域研究、特定領域研究等に参加
- 計算論的学習理論国際会議(ALTシリーズ、1990年～)
- 情報検索とパターン照合アルゴリズム
- 類推の理論
- 帰納推論
- Elementary Formal Systems
(理論展開の枠組み)
- 計算論的学習理論の展開
- ゲノム情報への応用研究
- 機械発見の論理と理論

知識/発見に関する重点領域研究 特定領域研究での展開

- 広域大量情報の高次処理(島内武彦) S48-50年度
(特定研究)
- 情報システムの形成過程と学術情報の組織化(猪瀬博) S51-53年度
(特定研究)
- 多元知識情報の知的処理と統合化に関する研究(福村晃夫) S59-61
年度 (重点領域研究)
- 知識科学(大須賀節雄) H3-5年度
「知識科学における概念形成と知識獲得に関する研究」
- 発見科学(有川節夫) H10-12年度
「巨大学術社会情報からの知識発見に関する基礎研究」
- 情報洪水(元田浩) H13-16年度
「情報洪水時代におけるアクティブマイニングの実現」
- 情報学の深化(安西祐一郎) H13-17年度
「ITの深化の基盤を拓く情報学研究」
- 情報爆発(喜連川優) H17-21年度
「情報爆発時代に向けた新しいIT基礎技術の研究」

当時、情報検索に関する研究は、日本科学技術情報センター（JICST）や電電公社の研究所等、数カ所で行われていましたが、その頃から、私は情報検索とパターン照合アルゴリズムに関する研究をしていました。当時は、検索対象のデータ自身も自分でつくるといふ、非常に大変な時代でありましたが、人工知能研究の流れの中で、情報検索は最も基礎的で最も大事な部分であると私は思っていました。

私は、類推とか、帰納推論とか、そのようなアプローチで人工知能の研究を行っていました。当時の人工知能研究は、データの力というよりも計算資源（メモリも含む）が非常に高価なため、あまりそれが使えないので、なるべく少ない知識で深く推論をしていくことが主流であったと思います。いろいろな研究が、世界でもなされていたわけですが、それらの研究がバラバラになされていて、どのように理解したらいいのかわからないのが実情でした。そのような中で、記号や文字列を扱った形式的システムを開発しましたが、非常に役に立つということがわかりました。このシステムは、論理の世界で決定的な貢献につながったと思います。そして、アクチュエーションにも関係があると思いますが、ゲノム情報への応用研究に携わるとともに、「機械発見の論理と理論」に関する研究を行い、発見科学（Discovery Science）という構想に至ったわけであります。

先ほど言いました重点領域などのチームやグループで展開する研究がいかに大事かということを少し述べたいと思います。例えば、「広域大量情報の高次処理」（S48-50年度特定研究）は、島内武彦先生や北川敏男先生（北川源四郎先生のお父様）が中心となって行われましたが、実は相当インパクトのあるプロジェクトでした。そして、その次には、猪瀬博先生が中心になられた「情報システムの形成過程と学術情報の組織化」（S51-53年度特定研究）。実に、これらの研究を契機に、東大に文献情報センターが設立されて、それが国立情報学研究所（NII :National Institute of Informatics）の前身となる学術情報センター（NACSIS :National Center for Science Information Systems）につながっていくわけです。このような全国規模の情報学のムーブメントを通じて、国として何をやらな

ければいけないのかということが示唆されました。また、福村晃夫先生の「多元知識情報の知的処理と統合化に関する研究」(S59-61年度重点領域研究)も、そのムーブメントを後押ししたと思います。

そして、大須賀節雄先生が「知識科学 (Knowledge Science)」という言葉で日本を初めて作りました。その言葉は、例えば、北陸先端大学に研究科の名前として現在もあります。その頃から、重点領域とか特定領域研究のテーマを情報分野としてきちんと協議をして、戦略的に立案し、ある重点領域や特定領域研究が終わった次には何か別の重点・特定領域研究が走っているという状況をつくって研究を分野として戦略的に推進していました。

その後、大須賀節雄先生の「知識科学における概念形成と知識研獲得に関する研究」(H3-5年度重点領域研究：知識科学)に続いて、知識を発見することを目指したわれわれの「巨大学術社会情報からの知識発見に関する基礎研究」(H10-13年度特定領域研究：発見科学)がスタートしました。それから、その後に、元田浩先生の「情報洪水時代におけるアクティブマイニングの実現」(H13-16年度特定領域研究：情報洪水)が始まりましたが、現実をしっかりと捉えた研究でした。それから、国策特定という、研究期間が少し長い大規模のものが企画され、安西祐一郎先生に代表をお願いして「ITの深化の基盤を拓く情報学研究」(H13-17年度特定領域研究：情報学の深化)をやってもらいました。多くの方がプロジェクトに参画されました。そして、この国策特定が終了する頃、情報学のムーブメントが非常にうまくつながって、喜連川先生の「情報爆発時代に向けた新しいIT基盤技術の研究」(H17-22年度特定領域研究：情報爆発)が戦略的に立ち上がり、その後のFIRST喜連川プロジェクト「超巨大データベース時代に向けた最高速データベースエンジンの開発と当該エンジンを核とする戦略的社会サービスの実証・評価」(H21-25年度最先端研究開発支援 (FIRST) プログラム)につながって、今日の「ビッグデータ」に関する大ブレークが生まれました。

ただ、プロジェクト名のネーミングに関して、少し反省すべき点があったと思っています。「情報洪水」や「情報爆発」というネーミングは、国が推進すべき科研費課題名としては惹きつける言葉ですが、逆に何となく大変だぞという印象を人々に与えます。しかし、「ビッグデータ」と言われると非常にポジティブな感じがします。したがって、プロジェクト名を考える際には、ポジティブな言葉を考えてみるということが大事じゃないか!と思います。そういう意味では、手前味噌ですが、発見科学 (Discovery Science) というのは非常にきれいな言葉ではないかと私は思います。

私は、昭和51年に情報検索に関して、日本科学技術情報センター (JICST) から丹羽賞学術賞を頂きました。受賞対象の研究テーマは「研究者ファイルに基づく多段情報検索システム」で、研究者の知識をきちんと活用して、検索に自分の主観が反映できることを目指したものでした。それから、情報検索システムの研究を発展させて、パターン照合アルゴリズムの研究に基づくテキストデータベース管理システム SIGMA を開発しました。これは、現在でも某社から商品として売られており、さまざまところに社会実装されているのではないかと思います。

パターン照合アルゴリズム

- 研究者ファイルに基づく多段情報検索システム (MIR-RF) (1975)
- TEXTIR: テキスト情報検索システム(1976-1978)
- SIGMA: テキストデータベース管理システム(1981)

- Aho-Corasick パターン照合マシンの走行時効率化
- 複数文字列同時置換え用パターン照合アルゴリズム
- 富士通Shunsaku シリーズ

類推という推論に関する研究は、北海道大学の原口誠教授が私の研究室に在籍中から取り組みました。類推の根拠を与える類比の理論を展開し、それに基づいた類推の理論化が行うことで、類推を通常の演繹推論の自然な一般化として捉えることに原口氏は成功しました。それまでの類推に関する研究は、 $A : B = C : X$ というような感じで、哲学書でもその程度のことしか書いていませんでした。その概念をそのまま論理の世界に持ってくるというのはほとんどできなかつたので、普通の公理や知識を使って推論をやっても結論が出ない場合に他の解を探しに行くような、問題解決のための類推システムの開発に挑戦しました。この図は、われわれ人間が日常的にやることをきちんと図式化したもので、非常にきれいなものだと私は思います。

一方では、推論や学習に関して、計算学習理論の統一的な枠組みとして、それらを共通の土俵で考える必要があると考えていました。しかしながら、オートマトンと形式言語理論に関する研究は歴史があつて進んでいたのですが、節形式の論理（プログラミング）を対象にして、帰納推論を定式化した例えば、E. Shapiro (1981) の研究とのつながりについては、全く考えられていませんでした。私は、R. M. Smullyan が 1961 年に考案していた基本形式体系 (EFS :Elementary Formal Systems) が文字列を直接扱う論理プログラムであることに気付き、これを計算学習理論の統一的な枠組みとして、現在九州工業大学の教授をしている篠原武氏と現在京都大学で教授をしている山本章博氏と 3 人で、定式化し、基本的な成果を得ました。この研究と枠組みを使って、正データからの帰納推論の能力や応用の利く確率的近似学習の可能なクラス等の研究に展開し、多くの成果が得られました。

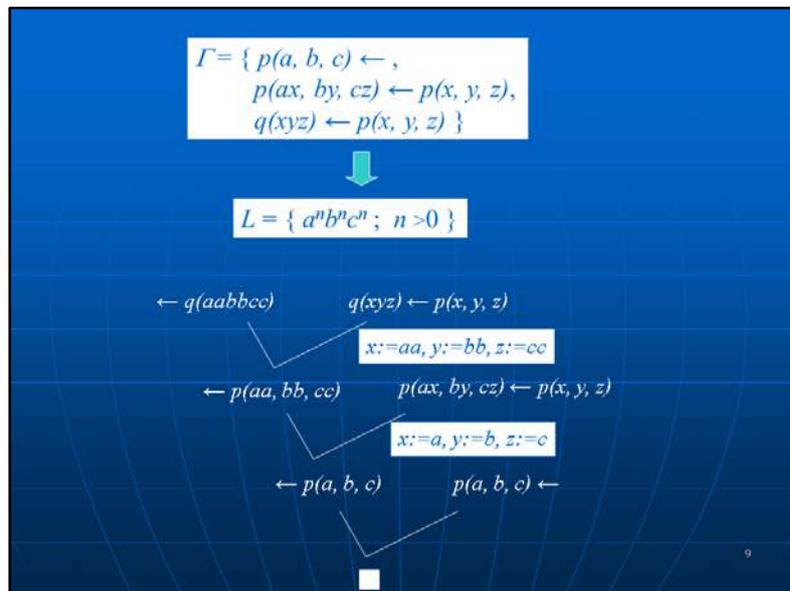
類推の基本図式

$$A \leftarrow B_1, \dots, B_n \quad (\text{具体化})$$

$$a \leftarrow \beta_1, \dots, \beta_n$$

$$a' \leftarrow \beta_1', \dots, \beta_n' : \beta_1', \dots, \beta_n' \quad (\text{MP})$$

a'
 The system derives a' by a backward reasoning as in Prolog while finding the paring ψ between ground terms.



正データからの帰納推論の能力

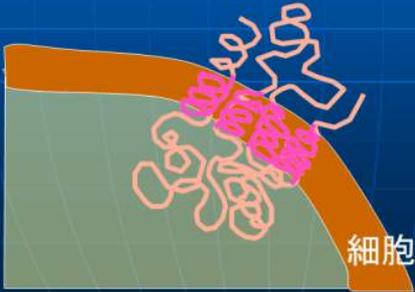
- 任意の n に対して、高々 n 個の公理をもつ長さ限定EFSsによって定義される言語のクラスは正データから帰納推論可能である。(1990, T. Shinohara)

(長さ限定 *EFSs* 文脈依存文法と等価)

次に、実フィールドへの応用展開ということに関してお話しします。これは、現在話題になっている **Open Science** の観点からも非常に大事なことです。私たちは、ゲノムデータからの知識発見について理論と実際の双方から研究し、実フィールドの人たちに負けないような応用研究に挑戦しました。先ほどの、基本形式体系（EFS）や決定木を対象にした確率的近似学習理論を展開し、それを実動化する形で **BONSAI** 等の知識発見システムを開発して、実際のゲノムデータに適用することで分子生物学上の興味ある知識の機械発見に成功しました。ここに書きましたのは、タンパク質の膜貫通領域の予測として、細胞膜を貫通するコイル部分の特徴を高精度で見つけるものです。絡んでいるところ（図で色が変わっているところ）にどんな特徴があるかということを探せということ、当時は生物学者が実験をやって精度が最大 **75%** 程度のところを、開発した知識発見システムによる情報科学的なアプローチで実験生物学者の精度を遥かに凌ぐ **95%** の精度が得られたことは相当なインパクトがありました。

膜貫通領域の予測

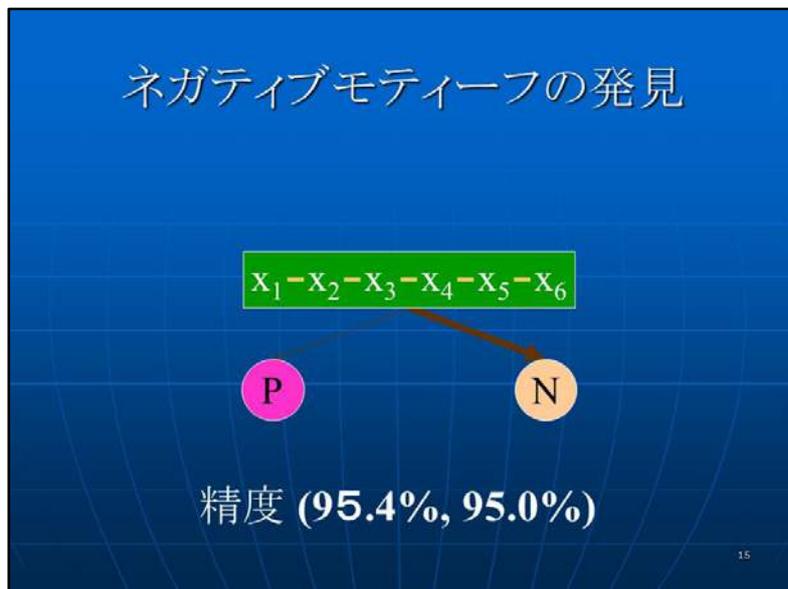
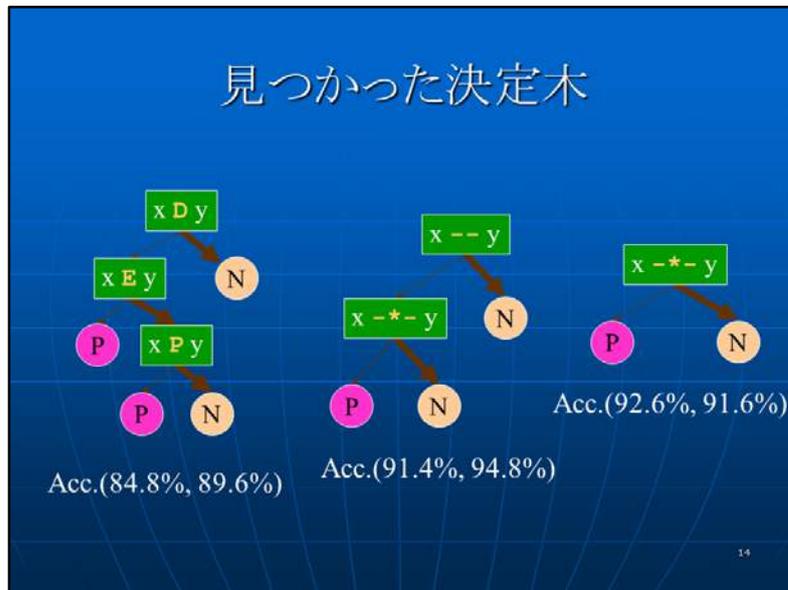
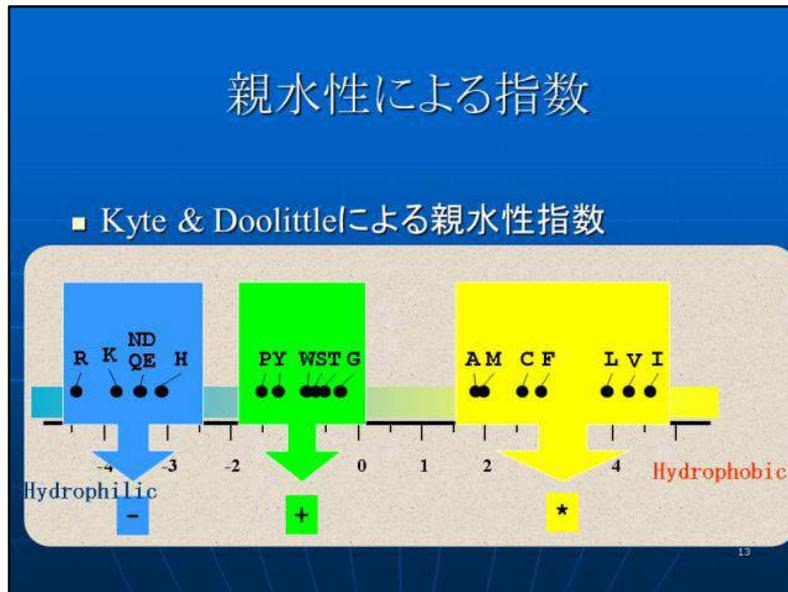
- 細胞膜を貫通するコイル部分の特徴を見つける。

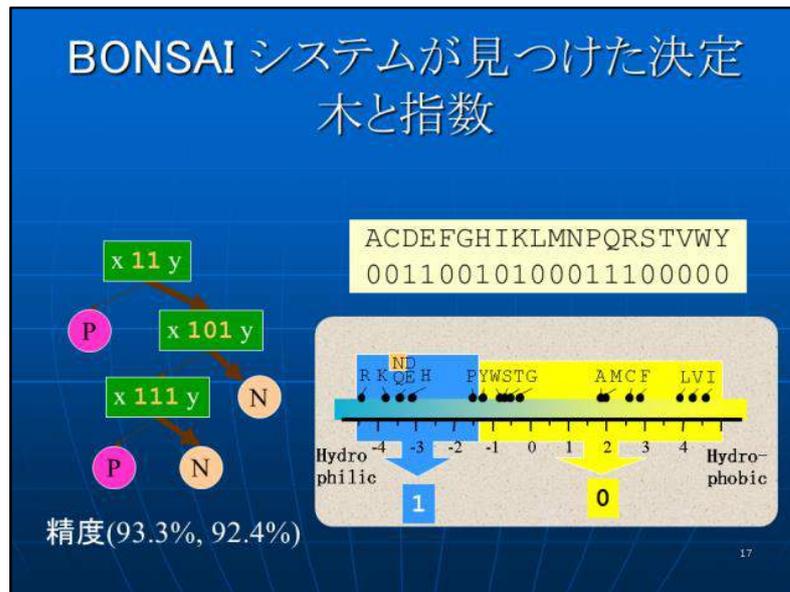
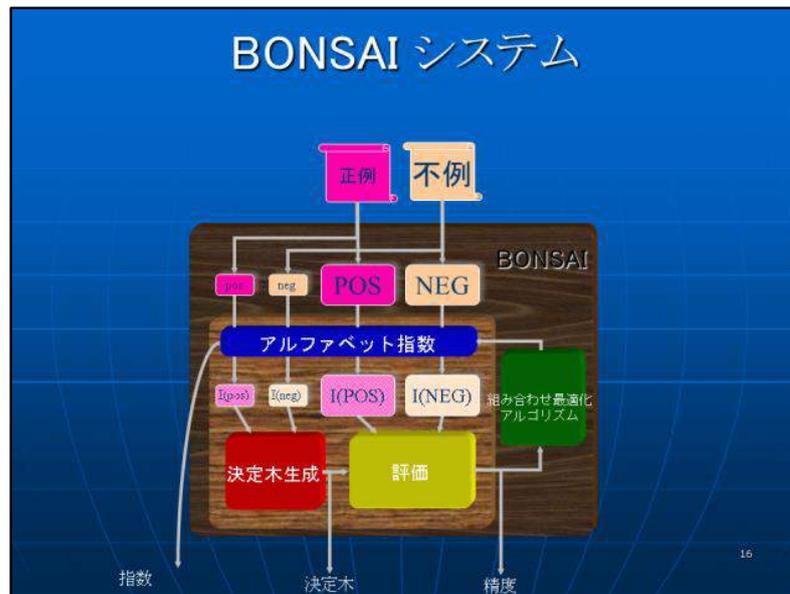


細胞

```

ENTRY           B27287           #Type Protein
TITLE           Synaptophysin - Rat
SOURCE          Rattus norvegicus #Common-name Norway rat
ACCESSION      B27287
REFERENCE      (Sequence translated from the mRNA sequence)
#Authors       Suedhof T.C., Lottspeich F., Greengard P., Mehl E.,
                Jahn R.
#Journal       Nucleic Acids Res. (1987) 15:9607
#Title         The cDNA and derived amino acid sequences for rat
                and human synaptophysin.
COMMENT        This protein is a synaptic vesicle specific membrane
                protein.
SUPERFAMILY    #Name synaptophysin
KEYWORDS       transmembrane_protein
FEATURE        19-41,101-123,133-156,
                195-218
                #Domain transmembrane (probable) <TMN>
SUMMARY        #Molecular-weight 33311 #Length 307 #Checksum 931
SEQUENCE
                5           10           15           20           25           30
1  M D V V N Q L V A G G Q F R V V K E P L G F V K V L Q W V F
31  A I F A F A T C G S Y T G E L R L S V E C A N K T E S A L N
61  I E V E F E Y P F R L H Q V Y F D A P S C V K G G T T K I F
91  L V G D Y S S S A E F F V T V A V F A P L Y S M G A L A T Y
121 I F L Q N K Y R E N N K G P M M D F L A T A V F A F M M L V
151 S S S A W A K G L S D V K M A T D P E N I I K E M P M C R Q
181 T G N T C K E L R D P V T S G L N T S V V F G F L N L V L W
211 V G N L W F V F K E T G W A A P F M R A P P G A P E K Q P A
241 P G D A Y G D A G Y Q G P G G Y G P Q D S Y G P Q G G Y Q
271 P D Y G Q P A S G G G Y G P Q G D Y G Q Q G Y G Q Q G A H2
301 T S F S N Q M
    
```





そして、そういったことをやっていきますと、学習と言っているけれども、こういったものは発見ということになるわけですね。当時の言葉使いとしては「知識獲得」と言っていましたけれども、学習を発展させて、知識を発見することを考えました。そうして考えると、「科学的な仮説や理論は観測・実験データによって反証（論駁）されなければならない」という哲学者 **K. Popper** の「科学的発見の論理」が非常に大事になります。しかし、非常に大事なことだけれども、そのことに、つまり、知識（仮説）を発見することに、哲学者たちはあまり興味を持っていませんでした。科学的な理論は観測・実験データによって論駁されるべきですが、そのような理論は決して正当化はできません。したがって、現在の理論の正当性を論駁する観測データに直面するまでの間、一時的に信じるのみであると考えなければなりません。

人間による発見と機械による発見

- ◆ K. Popper: 科学的発見の論理
 - 科学的な理論は観測データによって論駁されるべき
 - そのような理論は決して正当化はできない
 - したがって、現在の理論のそれを論駁する観測データに直面するまでの間、一時的に信じるのみである。
- ◆ 発見と学習は違う。
 - 発見ではデータが先に与えられる。
 - 学習では仮説空間が先に与えられる。
 - 観測データによって仮説空間が論駁できるか？

論駁推論可能な仮説空間

任意の n に対して、高々 n の公理をもつ長さ限定EFSsによって定義される言語のクラスは完全データから論駁推論可能である。(Mukouchi and Arikawa, 1993, 1995)

(長さ限定EFSsは文脈依存文法と等価)

それから、発見と学習は違います。発見ではデータが先に与えられるのに対して、学習では仮説空間が先に与えられます。その仮説空間は、観測データによって論駁できるか？ということが重要であり、その仮説空間の論駁推論可能性も問題にしないといけません。私たちは、機械学習に基づく機械発見の可能性と手法において、観測・実験データによる仮説空間そのものの論駁可能性が本質的であることを指摘して、このような可能性を持つ広い空間が存在することを証明 (Mukouchi and Arikawa, 1993, 1995) し、「機械発見の論理・理論」に関する研究へ展開していきました。

ここはあえて当時、発見科学のヒアリングのときに使った資料をそのまま使っております。発見科学は、総括班のもとに、(1) 知識発見の論理、(2) 推論による知識発見、(3) 計算学習理論に基づく知識発見、(4) 巨大データベースからの知識発見、(5) ネットワーク環境における知識発見、の5つの研究項目を設定して4年間にわたる研究活動を展開し、発見科学という新しい科学技術の展開に直接寄与できる新しい情報科学の基礎学問を確立

することを目指しました。知識発見について、推論や機械学習、データマイニング等の理論と技術に重点をおいた体系的な基礎研究を展開し、発見科学として多くの成果をあげました。

準備状況 (1/3)



- 計算学習理論国際ワークショップ
 - 平成2年～平成9年まで毎年、合計8回、日本、ドイツ、オーストラリアで開催。
 - 主要テーマは、機械学習の理論と知識発見の理論。



準備状況 (2/3)



- 機械知能国際ワークショップ
 - 平成4年から平成7年まで、毎年、合計4回、イギリス、日本で交互に開催。
 - 主要テーマは、計算機による知識の発見。
- 帰納的論理プログラミング国際ワークショップ
 - 平成4年から毎年、合計6回、日本、イギリス、スロベニア、チェコ等で開催。
 - 主要テーマは、各種推論による知識の発見。

準備状況 (3/3)



- 発見科学研究会
 - 平成8年10月と平成9年1月に京都大学と東京大学で開催。
 - 主要テーマは、本重点領域研究のすべての研究項目。
 - この研究会で、本重点領域研究の計画、実施方法等について詳細な準備を行った。
- チュートリアルの開催
 - 平成9年12月に東京大学で開催。

特定領域研究「発見科学」としての活動



総括班
19名

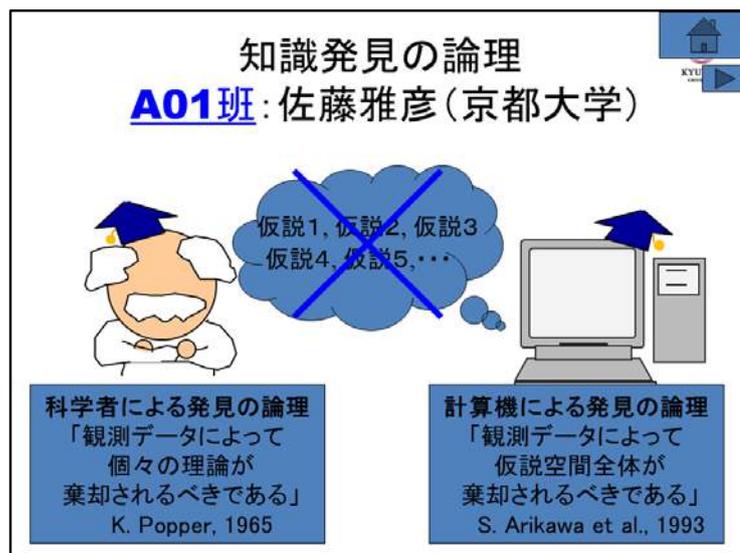
- A01班: 知識発見の論理 7名
- A02班: 推論による知識発見 7名
- A03班: 計算学習理論に基づく知識発見 6名
- A04班: 巨大データベースからの知識発見 8名
- A05班: ネットワーク環境における知識発見 6名

総括班



• 有川 節夫 (九州大学)	• 田中 英彦 (東京大学)
• 佐藤 雅彦 (京都大学)	• 田中 譲 (北海道大学)
• 佐藤 泰介 (東京工業大学)	• 辻井 潤一 (東京大学)
• 丸岡 章 (東北大学)	• 鳥脇 純一郎 (名古屋大学)
• 宮野 悟 (東京大学)	• 長尾 真 (京都大学)
• 金田 康正 (東京大学)	• 中島 映至 (東京大学)
• 大須賀 節雄 (早稲田大学)	• 野家 啓一 (東北大学)
• 小野 欽司 (学情センター)	• 古川 康一 (慶応義塾大学)
• 小野 寛晰 (北陸先端大学)	• 元田 浩 (大阪大学)
• 斉藤 忠夫 (東京大学)	

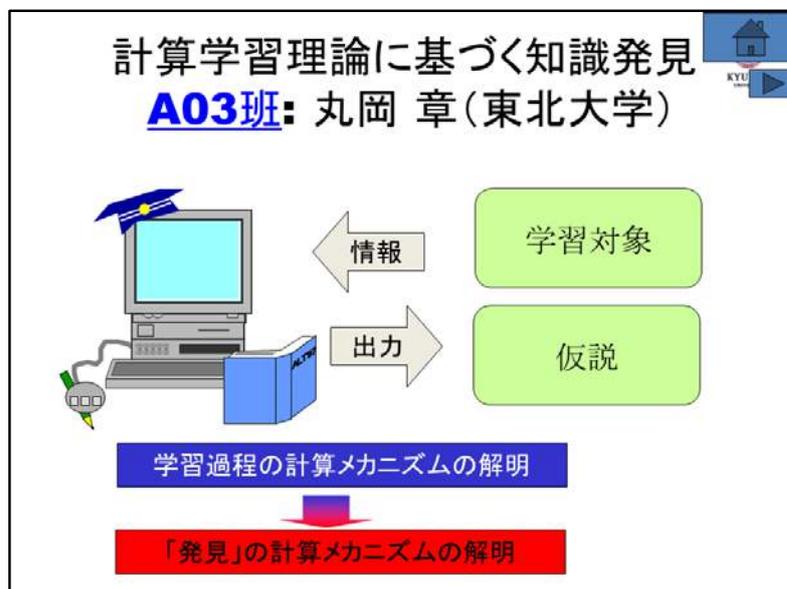
「知識発見の論理」に関しては、佐藤雅彦先生に代表をやってもらい、知識発見の哲学・論理学、知識発見の計算モデル等に関する理論研究を展開し、多くの成果が得られました。「推論による知識発見」に関しては、佐藤泰介先生が代表となり、帰納的論理プログラミングによる知識発見を始めとして統計的アブダクションや帰納推論等に関する体系的な研究を展開し、多くの重要な成果が得られました。「計算学習理論に基づく知識発見」に関しては、丸岡章先生に代表をやっていただきまして、知識発見のアルゴリズム、知識発見の計算学習モデル、知識発見における知識形成という課題を設定して、基礎研究を展開し多くの高度な研究成果が得られました。「巨大データベースからの知識発見」は宮野悟さんに代表をやってもらって、機械学習とデータマイニング技術による知識発見システムの開発、大規模数値データからの知識発見方式という二つの大きな課題を設定して、異分野の科学者との共同研究を含めた新しい形の先導的な研究活動を展開し、インパクトある数多くの成果をあげました。「ネットワーク環境における知識発見」に関しては、円周率の研究で有名な金田康正先生を代表にしまして、知識発見という知的活動の支援環境構築のための体系的研究を行い、Web上に散在するデータからの知識発見等に関する多くの先導的な研究成果が得られたと思っております。



- A01班**
知識発見の論理
- 佐藤 雅彦 (京都大学工学研究科)
 - 井田 哲雄 (筑波大学電子情報工学系)
 - 小野 寛晰 (北陸先端科学技術大学院大学情報科学研究科)
 - 岡田 光弘 (慶応義塾大学文学部)
 - 野家 啓一 (東北大学文学部)
 - 萩谷 昌己 (東京大学理学系研究科)
 - 亀山 幸義 (京都大学工学研究科)



- ### A02班 推論による知識発見
- 佐藤 泰介 (東京工業大学情報理工学研究科)
 - 有村 博紀 (九州大学システム情報科学研究科)
 - 佐藤 優子 (大阪府立大学総合科学部)
 - 篠原 武 (九州工業大学情報工学部)
 - 原口 誠 (北海道大学工学研究科)
 - 古川 康一 (慶応義塾大学政策)
 - 月本 洋 ((株)東芝 研究開発センター)





A03班

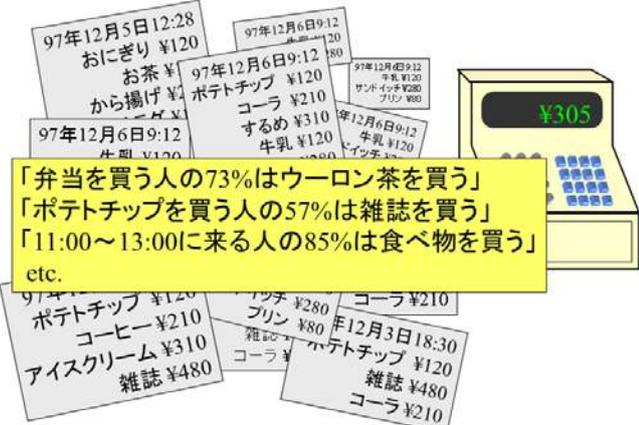
計算学習理論に基づく知識発見

- 丸岡 章 (東北大学情報科学研究科)
- 安倍 直樹 (NEC C&C 研究所)
- 今井 浩 (東京大学理学系研究科)
- 篠原 歩 (九州大学システム情報科学研究科)
- 高須 淳宏 (学術情報センター)
- 渡辺 治 (東京工業大学情報理工学研究科)



巨大データベースからの知識発見

A04班: 宮野 悟 (東京大学)



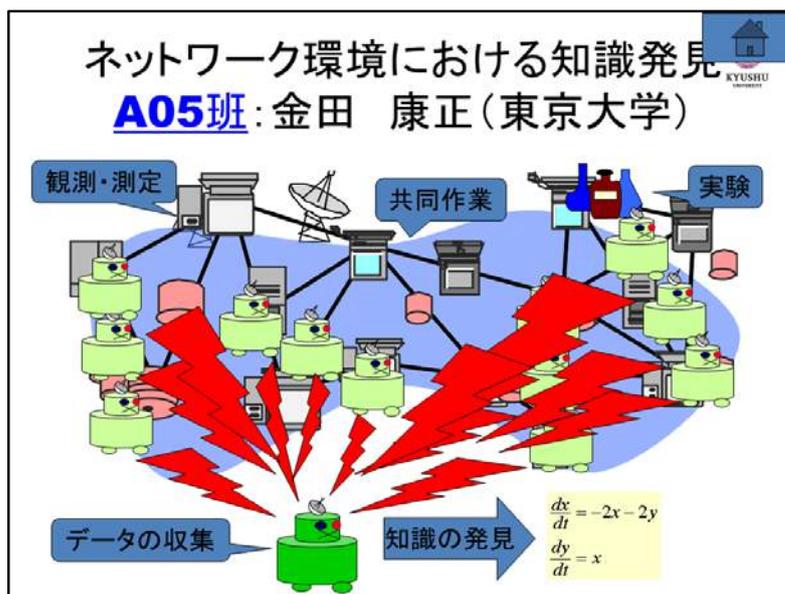
「弁当を買う人の73%はウーロン茶を買う」
 「ポテトチップを買う人の57%は雑誌を買う」
 「11:00~13:00に来る人の85%は食べ物を買う」
 etc.



A04班

巨大データベースからの知識発見

- 宮野 悟 (東京大学医科学研究所)
- 荒木 徹 (京都大学理学研究科)
- 北川源四郎 (統計数理研究所)
- 新島 耕一 (九州大学システム情報科学研究科)
- 元田 浩 (大阪大学産業科学研究所)
- 森下 真一 (東京大学医科学研究所)
- 中野 良平 (NTTコミュニケーション科学研究所)
- 吉田 健一 (日立製作所 基礎研究所)



-
- A05班**
ネットワーク環境における知識発見
- 金田 康正 (東京大学大型計算機センター)
 - 有川 節夫 (九州大学システム情報科学研究科)
 - 後藤 滋樹 (早稲田大学理工学部)
 - 柴山悦哉 (東京工業大学情報理工学研究科)
 - 高田 裕志 (富士通研究所)
 - 田中 譲 (北海道大学工学系研究科)
- KYUSHU UNIVERSITY

発見科学の活動の一環で、Discovery Science に関する国際会議を初年度から立ち上げました。プロジェクトの特徴的なことは、成果報告資料を国際的にオープンにしたことです。Discovery Science に関する国際会議は今までずっと続いており、青色で書いたのは私が面倒見たところですが、世界各地で毎年開催されています。



研究実施計画

- **国際会議の開催**
 - 研究成果発表会に加えて、「発見科学」国際会議を外国の代表的な研究者を招待し、毎年開催する。
- **英文教科書の発行**
 - 本研究の終了後、大学院学生を対象にした英文による教科書を発行する。
 - 発見科学を世界的に広め、指導性を発揮し、後進の育成に寄与する。
 - 研究者に基本課題・最重要課題の解決を推奨することになる。

(成果報告集を英文でSpringer Lecture Notesとして出版)



国際会議「発見科学」シリーズ

1. DS1998 Fukuoka	11. DS2008 Budapest
2. DS1999 Tokyo	12. DS2009 Porto
3. DS2000 Kyoto	13. DS2010 Canberra
4. DS2001 Whashington D.C.	14. DS2011 Espoo-Helsinki
5. DS2002 Lübeck	15. DS2012 Lyon
6. DS2003 Sapporo	16. DS2013 Singapore
7. DS2004 Padova	17. DS2014 Bled
8. DS2005 Singapore	18. DS2015 Banff
9. DS2006 Barcelona	19. 2016 Bari
10. DS2007 Sendai	

米国では、2012年から、「Discovery Informatics」が始まったようです。米国 Obama 大統領が“Big Data Research and Development Initiative”を宣言した2012年からワークショップやシンポジウムが開催されています。私たちの「発見科学 (Discovery Science)」プロジェクトは1998年に始まりましたが、プロジェクトには哲学者も参画しており、Discovery Science と名付けたわけですが、当時の気持ちとしてはどちらかというとも米国の「Discovery Informatics」のような意味合いを持っていたと思います。



Discovery Informatics

- **2012 Discovery Informatics Workshop**
NF Discovery Informatics Workshop: Science Challenges for Intelligent Systems
 National Science Foundation
 Arlington, VA, February 2-3, 2012
- **2012 Discovery Informatics Symposium**
Discovery Informatics Symposium: The Role of AI Research in Innovating Scientific Processes
 AAAI Fall Symposium Series
 Arlington, VA, November 2-4, 2012
- **2013 Discovery Informatics Symposium**
Discovery Informatics: AI Takes a Science-Centered View on Big Data
 AAAI Fall Symposium Series
 Arlington, Virginia, November 15-17, 2013
- **2014 AAAI Discovery Informatics Workshop**
Discovery Informatics: Scientific Discoveries Enabled by AI
 Co-located with AAAI 2014
 Quebec City, Quebec, July 27, 2014
- **DI-KDD 2014**
ACM SIGKDD Workshop on Discovery Informatics
 In conjunction with ACM SIGKDD Conference on Data Mining and Knowledge Discovery (KDD 2014)
 New York, USA, August 24, 2014
- **DI-PSB 2015**
2015 PSB Workshop on Discovery Informatics in Biological and Biomedical Sciences: Research Challenges and Opportunities
 In conjunction with the 2015 Pacific Symposium on Biocomputing
 The Big Island of Hawaii, January 4-8, 2015



What is Discovery Informatics

The synergies between advances in computing and advances in science open the doors to exciting research agendas in computer science. Scientific questions have motivated computer science research in many areas including distributed sensor networks, high-end computing, distributed systems, scalable databases, statistical and data mining algorithms, computer networks and the web itself. Scientists have now the means to collect and process unprecedented amounts of data to understand phenomena that could not be studied before, from climate change to social networks to phylogenetics.

A new community of Discovery Informatics is emerging to understand the role of information and intelligent systems research in improving and innovating scientific processes in ways that will accelerate discoveries. Although computing has become central to science, there are important hallmarks in the 21st century that remain largely unaddressed and where AI research plays a central role.

First, discovery processes are increasingly complex and broader in scope. They are still largely human driven, and human cognitive limitations have become a bottleneck. New approaches are needed to address this complexity.

Second, data must be connected more closely than ever to the models of the phenomena under study. The current separation of models and data is hurting our ability to test and improve models. We must improve our understanding of how to link data with models of the phenomena under study.

Third, science is an increasingly social endeavor. Recent systems enable citizen volunteers to contribute large amounts of data, annotations, or complex processing results that result in scientific discoveries. We need to design new approaches to harness human abilities in all forms to contribute to science.

Discovery Informatics focuses on computing advances aimed at identifying scientific discovery processes that require knowledge assimilation and reasoning, and applying principles of intelligent computing and information systems in <http://www.gulfcoastretirement.org/admin/generic/order> to understand, automate, improve, and innovate any aspects of those processes.

(Discovery Informaticsのホームページから)

ビッグデータについては、情報・システム研究機構の中に統数研と情報研がありますので、データ中心科学としておもしろい発見科学的な成果につながるのではないかと考えております。そして、オープンアクセスとオープンサイエンス。2013年6月に、G8科学担当大臣らによる科学研究データのオープン化に関する声明があり、その機運が高まりました。オープンアクセスは、電子ジャーナルの価格高騰の文脈で考えられてきましたが、オープンアクセスに関する課題は非常に重要であり、これから学問的にもきちんと考えなければいけないと思います。そのような動きは自然に出てきているし、皆さんもご存じかと思いますが、シチズンサイエンスやサイエンス 2.0 のような動きとして、ある意味では、アクチュエーションにも関係するのではないかと考えます。



ビッグデータ

- 2012 Obama大統領
“Big Data Research and Development Initiative.”
By improving our ability to extract knowledge and insights from large and complex collections of digital data, the initiative promises to help accelerate the pace of discovery in science and engineering, strengthen our national security, and transform teaching and learning.
- 文部科学省始め各省庁の取組み
- データ中心科学のスタート

情報システム機構
 統計数理研究所
 国立情報学研究所

発見科学の観点から言えば、データがオープンになっていることによって、市民を巻き込み、本当に想定できなかったような発見につながっていくことがあると思います。これは科学の分野だけではなくて、日本の古典の分野においても起こると思います。例えば、国文学研究資料館における画像データベースがオープン化されることによって、市民の中でも国文学に非常に興味を持った方によるシチズンサイエンス的な国文学研究に発展し、おもしろい発見につながっていくのではないかと思います。



オープンサイエンス

- オープンアクセス/オープンデータ
- 世界の動き
 - オープンアクセス
 - データのオープン化 2013年6月G8科学担当大臣ステートメント
- 日本の動き
 - オープンアクセス(機関リポジトリ、電子ジャーナルの価格上昇への対応)
 - オープンサイエンス、特にデータのオープン化に向けた内閣府の対応
- シチズンサイエンス/サイエンス2.0
 - アクチュエーションにも関係?
 - 新しい科学の展開、サイエンスコミュニケーション、市民参加
- 発見科学との関係
 - 科学データにアクセスできることによる思わぬ発見の可能性

最後に、アクチュエーションに関して述べたいと思います。発見からアクチュエーションのプロセスをどうするか?ということですが、例えば、さっき言ったようなこととして、要するに実フィールドでの研究をしっかりとやって、つまり、実フィールドでの課題を直視し、必要な理論構築・展開を行い、それを使って元の実フィールドでの課題を解決して、

フィードバックしていくようなアプローチが重要であり、面白いと思います。それから、本日のテーマになっていませんが、これからは、教育工学における学習も非常に大事なことであると考えます。したがって、アクチュエーションというのは、教育、方法論、学習ということに対してもあるのではないかと、私は思います。

アクチュエーションの側面から

- 機械学習のアクチュエーション
- アクティブマイニングにおけるアクチュエーション
- データ・領域を学習(発見)によって細分、グルーピングして再学習・再発見を試みることによるアクチュエーション
- 教育(工学)におけるアクチュエーション
- 課題→研究(理論)→解決(適用)という流れでのアクチュエーション

おわりに

(研究全般に係ることだが、反省も込めて)

- 根幹的なコンセプトを大事にする。
- 継続して活動を続ける。
- 世界の潮流にのリフォローだけでなく、潮流を作ることを心がけるべき。
- 考えたことは実現できる時代になりつつある。
- 技術的な制約を気にせずに、大胆に発想してみる。
- 大胆に捨象・抽象してみる。

(質疑応答ならびに討論)

Q: 質問ではなくて、先生へのプロジェクトへの自分の感想としてお話ししたいと思います。私は、重点領域研究「巨大学術社会情報からの知識発見に関する基礎研究」のA04（巨大データベースからの知識発見）班の宮野悟先生やメンバーとして入っていただいた北川源四郎先生の下で参加させていただきました。私は、ちょうど30代後半から40代という、研究者で一番アクティブなときに、このプロジェクトに参加させていただいて、自分の研究者のキャリアを間違いなく大きく変えたものだったと思

います。

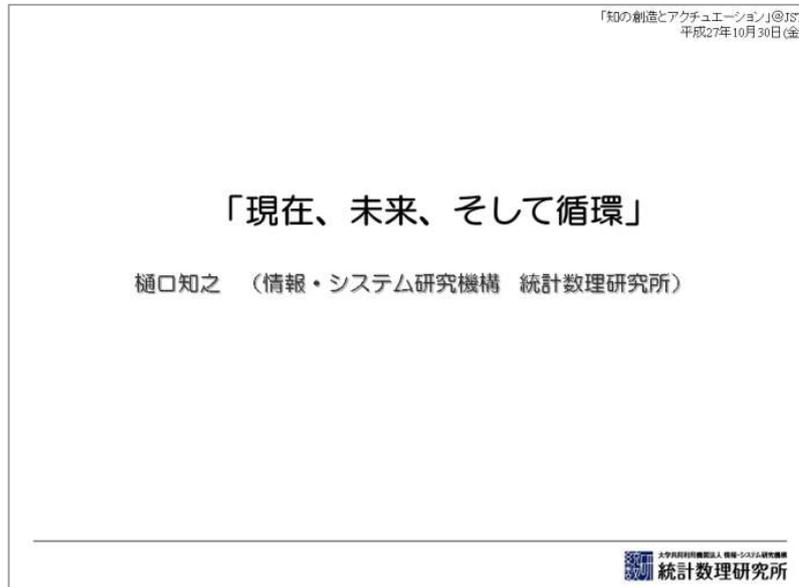
個人的な感想として、3つあります。1つ目は、このプロジェクトに参加させていただいて、同じような研究のモチベーションを持った人たちがほかの分野にもたくさんいるということを知り、非常にワクワクしました。データに基づいた知識獲得、あるいは、それに基づいた数理計算をやりたいと考えていました。

2つ目は、参加する人々の分野によるセンスの大きな違いに驚きました。人工知能や論理の人たちのセンスと、統計や類推の人たちのセンスの大きな違いを知り、非常に勉強になりました。

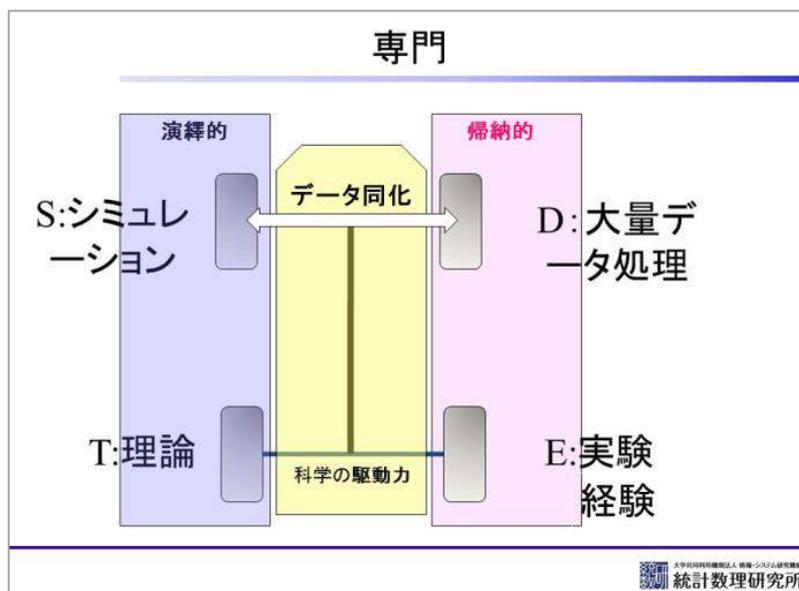
3つ目は、ちょっとアカデミックな観点とは違いますが、ある大きな理念的なものを実現するためには、いろいろなイベントや仕組み等を作っていかなければならないと思います。私は、その辺は非常に不得手でしたが、このプロジェクトを通じて勉強させてもらいました。本当にインパクトのあるプロジェクトを立ち上げるに当たって、私が今言ったようなことが、今後いろいろなプロジェクトを動かす上で何か参考になるのではないかと思います。

A：ありがとうございました。「発見科学」プロジェクトを立ち上げる前までは、情報科学の研究者と数理・統計科学の研究者との関係は、文化の違いからうまくいっていませんでしたが、北川源四郎先生、樋口知之先生がプロジェクトに参画していただいたおかげで、本当に良い関係ができて、現在に至っていると思っております。大きな異分野融合のプロジェクトを実施する上で障壁となる文化の違いは確かにありますが、その違いを認識し、異分野の優れた研究者が参加していただけることに、深い感謝の念を持ちながら、融合研究を続けるというところから新しいことが始まるし、そこに新しいアイデアや、ヒントもあるのではないかと思います。

2.2 現在、未来、そして循環（統計数理研究所 樋口知之）



私の専門はシミュレーションに関連した計算技術です。ここでのシミュレーションはもちろん力学方程式のような第1原理に基づくシミュレーションを含みますが、マルチエージェントのようなある値を入力すれば次の時刻（ステップ）の値が出てくるような、自律的に計算するようなモデルも含みます。そのような大規模シミュレーションとビッグデータを結ぶものがデータ同化という技術です。以前、土居先生が総括のCRESTで研究していたときには、データ同化という言葉はまだ市民権がほとんど得られていませんでしたが、今ではいろいろなところでも随分周知されてきたと思います。それを専門としております。



かつて有川先生がコーディネートされたCRDSのワークショップに、ここにいらっしゃ

る何人かの先生方と一緒に私も参加しました。これは、そのときのスライドですが「グローバル化社会、IT時代における知識とは」ということで、サイエンスにおける知識の市民化。現実社会のシステムにおいて、どう安全に、巧みに、そして経済効率よく生きるか。個人レベルのちょっとした生活の知恵。それに関連して幾つかのデータとニーズ、理由、研究開発課題をお話ししました。

グローバル化社会、IT時代における知識とは、
“TIPS for living in real world!” TIPS: 秘訣(こつ)

背景: ・n(サンプル数) << p(属性数)のデータが膨大にでてきた。
 ・“個”の時代に対応した、パーソナライゼーション技術の確立が急務の急。
 従来の“知能”へのイメージ: 未来永劫、普遍的な科学的真理。すべての人に同等に役に立つ。

↓

サイエンスにおける**“知識”の市民化**: 現実社会のシステムにおいて、どう安全に、巧みに、そして経済効率よく生きるか、個人レベルのちょっとした生活の知恵。全体で見れば、地球規模での省資源になっている。

--- 具体的問題例 ---

<p>津波データ解析</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 津波の潮流計データ(n=数万、p=10~100)から、コスト大の遠隔観測(海上浮体観測)を含む地球(地理学的)情報の特定。 ② 各地震源の震源(ノイズ)パラメータの推定、各地震源の津波の影響予測。 ③ 多数のノイズパラメータを用いたデータ同化技術 → 測定器の設置場所を考慮した、非線形観測インバージョン。 	<p>鉄道線形軌道データ解析</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 鉄道線形の軌道計測データ(n=数万、p=数センチから、ある時点の特定の場所の線形形状(軌道形状)の予測 ② 線形軌道の経済効率的かつこれまで以上の安全を確保する保守作業スケジュールの推定。 ③ 系列マイニング(統計手法)のアルゴリズムの高度化。 → 軌道データやGPSデータなどの情報統合技術。 → 安全性を確保しつつオンライン処理可能な高速処理アルゴリズム。
<p>POSデータ解析にもとづくマーケティング戦略</p> <ol style="list-style-type: none"> ① POSデータやECデータ(n=数万、p=数千)にある商品群から、各個人層の嗜好に合わせた効率的マーケティング戦略立案 ② 無財な投資、無財な在庫を減らしながら、各カスタマーの満足度の向上を期立させる。ニッチ的/新興マーケットの探索、状況に即した動的な実行。 ③ ノイズデータ(状態変動の次元)が大規模な状態空間モデリング → 階層ベイズモデルを利用した個人化技術 → 系列マイニング技術と時系列解析手法の融合による、高速かつ柔軟なインテリジェントなアルゴリズム。 	<p>遺伝子発現データ解析</p> <p style="text-align: center; color: blue;">「予測と発見」 大規模情報からの『知識』獲得技術 ワークショップ報告書 平成19年1月18日~19日</p> <p style="font-size: small;">直経路、ベイズネットワーク等のグラフカルモデルや、グラフマイニングなどの高速処理アルゴリズムの開発。</p>

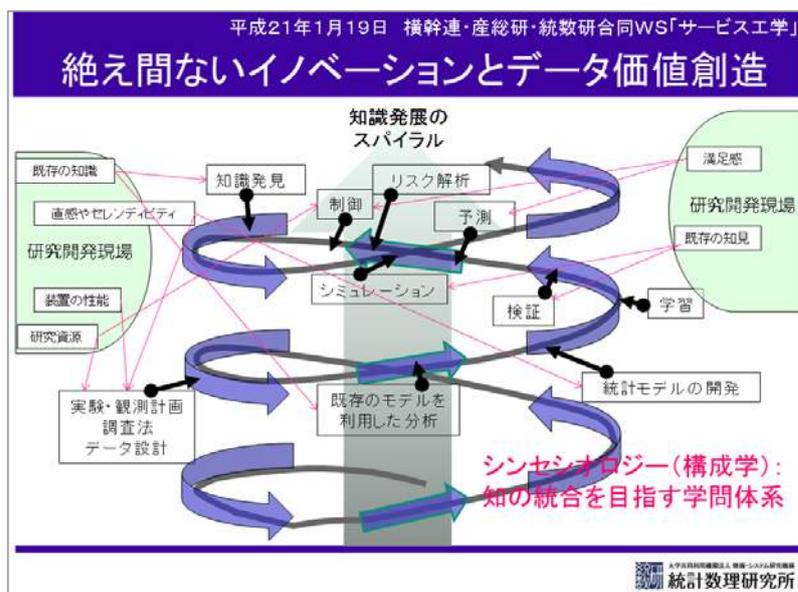
パーソナライゼーション(個人化)技術開発の立場からの『知識』に関する私見

情報システム研究機構 統計数理研究所 種田知之

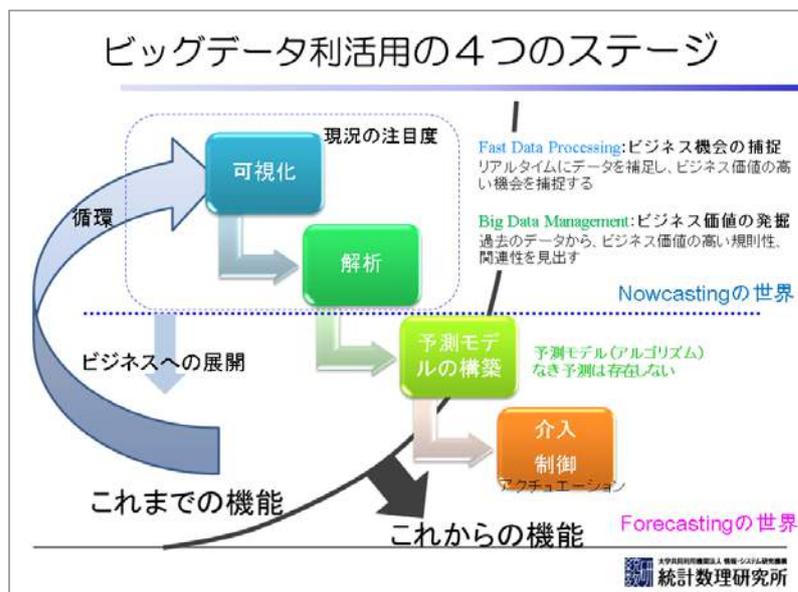
そのときのグループトークで知識とは一体何なのかという話がありました。われわれのグループのある人は、知識というのは制約だとおっしゃいました。制約というのはネガティブなイメージもありますが、ディープラーニング等々の非常にフレキシブルないろいろな統計モデルが出てきたときに、そこで一定の機能を発現するには、やはり制約ということが重要になるので、表現という観点からすると結構妥当な表現だと私は思いました。

その後、サービス化、サービス工学ということもいろいろ議論されました。横幹連合と産総研と統数研で、シンセシオロジー(構成学)、知の統合を目指す学問体系というのを大きなテーマにして合同ワークショップをやりました。中島先生をはじめ何人かの先生方がここに出られました。

私はこのときに知識発見のスパイラルということで循環しながら知識は発展していく。いろいろな技術が各フェーズでかかわってくるというふうな話をしました。今日のワークショップは、こういう枠組み、あるいはその一部分の技術開発を注力してやっていくところになるのではないかと思います。



この図はビッグデータのビジネスにおける利活用を対象にまとめたものです。可視化解析、予測モデルの構築、介入制御、このように分けられると思いますが、残念ながら現在のビッグデータビジネス、あるいはCPS、IoTは上の2つ、可視化、解析、いわゆるNowcastingどまりです。今後はForecastingが重要で、そこに踏み込んでいく必要があるのではないかということで「これからの機能」と書いています。この辺が今日のテーマではないかというふうに思っています。

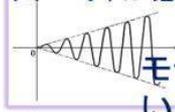


現況のCPSやIoTに対して、私がなぜ非常に不満かということ、モデルが内製化されていないことです。情報系の研究者の方々はデータの爆発というところを非常に期待されていて、そこでもって何らかのアルゴリズムを構築すれば、自然とモデルが内製化されると期待されているかもしれませんが、アクチュエーションという観点からすると、個人個人、あるいは状況に応じた提供等々が重要になってくると思います。

この先読み、マルチシナリオジェネレータが必須であるとは私は思っています。その状況への適応や個別化がなぜ必要かという、震災の1年半ぐら以後にまた大きい地震が起きたときに、あれだけ大きな被害を受けて、車に乗ってはいけません等々、地方自治体の公共サービスはいろいろ指導していたんですけども、それにもかかわらず全く同じ状況が起きてしまった。今やっているようなCPSやIoTの発展では、情報の受けとめ方は多種多様ですので、そこへの解決にならないとは私は思っています。一步踏み込んだことをやらないといけなければいけません、これはいわゆるトリアージ的なこともやらなければならない、それを避けて通れないのではないかと思います。

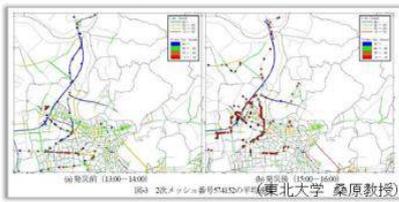
予測なき情報提供は渋滞を悪化

先読みナビ機能(マルチシナリオジェネレータ)が必須



モデルが内製化されているか？

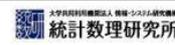
http://www2.toyota.co.jp/jp/news/13/05/nt13_0511.html



車避難で渋滞多発
東北震度5弱、津波1メートル
河北新報 2012年12月7日(金)夕方

宮城県石巻市

多賀城市では県道仙台塩釜線に車が殺到。消防車で避難を呼び掛けている市消防団第6分団長の伊藤勲さん(67)は、**交差点を通過するのに10分を要した**。「緊急車両の通行にも支障を来す」と不安を訴える。



統計数理研究所

私が言いたいこととして、ここまで述べてきた不満等々と自分の専門性とを合わせて、これから3つの技術をお話ししたいと思います。シミュレーションあるいはエミュレーション、最適化、あと個人化技術です。個別化技術は先ほどのCRDSのスライドに重要なキーワードとして合意形成、意思決定が出てきましたが、その2つに大きく介入するものです。

この3つの技術の基礎基盤となるのは、モデリング技術と計算機科学であるのは間違いありませんが、モデリング技術は現況は属人的なので、それをどうにかする必要があります。属人的であるからこそ、私的には非常に面白くてやりがいがあるのですけれども、それでは拡張性がないので、そこを情報技術を使ってクリアしていく必要があると思います。

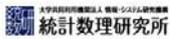
本WSの関連課題に関する意見

技術

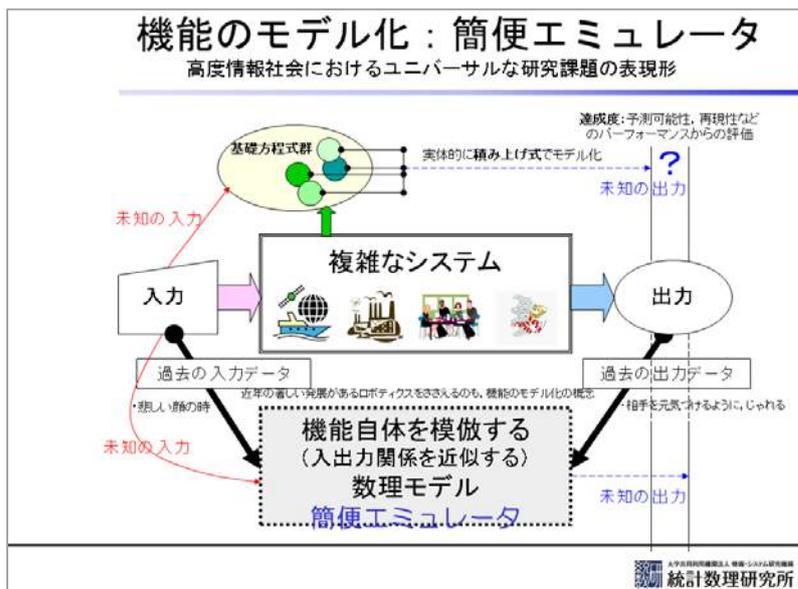
- シミュレーション & エミュレーション
- 最適化
方法論のところで抜けている
- 個人化技術
合意形成と意思決定に大きく関与

基礎基盤

- ✓ モデリング： 属人的である点が問題
- ✓ 計算機科学



シミュレーション & エミュレーションですが、シミュレーションはいいとして、最近、エミュレーションという研究が盛んです。エミュレーションというのは簡便エミュレータということで、情報系の人たちが使うエミュレーションとはちょっと違うものです。第1原理に基づくシミュレーションではなくて、いわゆる統計モデル、ニューラルネットもディープラーニングもそうかもしれませんが、機能自体を模倣する簡単なモデルです。本物ではないけれども、機能はある程度うまくいく。そういうものを、簡便エミュレータと呼んでいます。その構築法に関する研究が盛んです。



そこでは Uncertainty Quantification という分野が非常に活発で、シミュレーションの分野では V&V、Verification and Validation というところです。そこでは、シミュレーションが非常に時間がかかるので、何を予測したいのかという目的に応じた、いわゆる簡単なモデルを使って、それでもってリスク解析する。あるいはシナリオをいろいろ予測する等々の研究が盛んです。

UQ: Uncertainty Quantification

- 欧米では、計算機シミュレーション結果の信頼性を具体的に確立するための方法論の研究が急速に熱を帯びてきており、ASME(The American Society of Mechanical Engineers)がVerification and Validation (通常V&Vと呼称)の標準化に大きな力を注いでいる。例えば、2006年には固体力学に対して、2009年には流体力学および熱解析に関する計算機シミュレーションのV&Vが公表されている。
- 欧州においては流体力学分野で同様の研究活動が2012年から活発化しており、Uncertainty Quantification (UQ) in Industrial Analysis and Design の名のプロジェクト研究が現在進行中である。
- NASAでは、NASA UQ challenge 2014と題して、スパースな限定されたパラメータセットに関するシミュレーションの結果データから、UQをモデル化するコンペを開始した。
- 米国統計コミュニティは、2011-12年に、NSFのサポートを受ける機関SAMSI(Statistical and Applied Mathematical Sciences Institute)にてUQを集中的に研究するプログラムを立ち上げた。
- 米国統計学会はSIAM(Society for Industrial and Applied Mathematics)と共同でJournal on UQの刊行を2014年に開始した。その雑誌の取り扱う主たる分野としてsensitivity analysis, model validation, model calibration, data assimilationの4つがあげられている。最新号の論文(4本掲載)は、感度解析、カウス過程回帰、モデル校正、ギブスサンプラーの解析のテーマとなっており、ほぼ統計学の範疇である。

重要な技術:
カウス過程回帰や、その古典版とも言えるクリギング
次元削減を目的としたスパース回帰

中野慎也、種口知之、地球科学におけるシミュレーションとビッグデータ
データ同化と、EISシミュレーション、電子情報通信学会誌、Vol.97(10),
pp.869-875, 2014.

種口知之、中村和幸、データ同化によるオンラインセンシングの高度化、
計測自動制御学会誌、Vol.51(9), 2012.

長岡大進、佐藤光三、種口知之、マルコフ連鎖モンテカルロ法を利用した
ヒューマン行動からフレクチャーの物理パラメータを推定する方法、
応用技術協会誌、Vol.70(2), pp.197-209, 2013.

Yu, Y. and Akaho, S., Gaussian process regression with measurement error,
EJCCE Trans. E99-D(10), 2010.

統計数理研究所

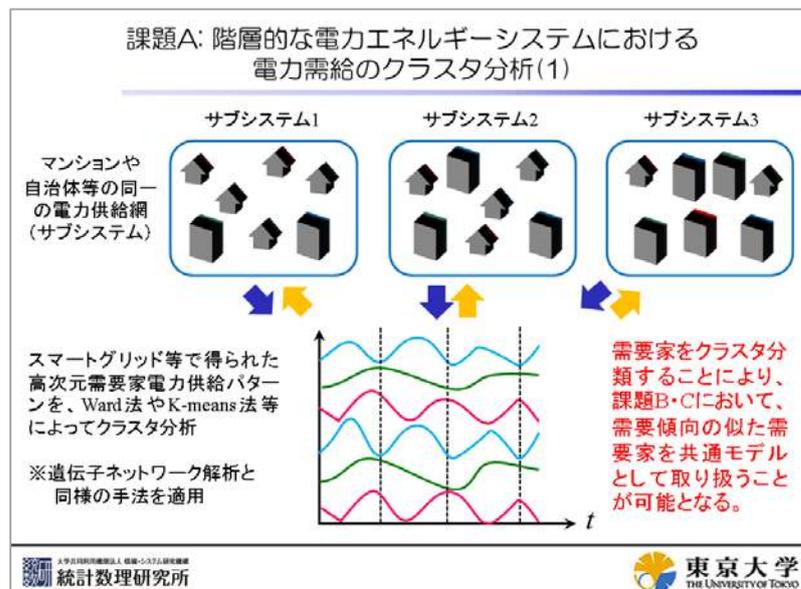
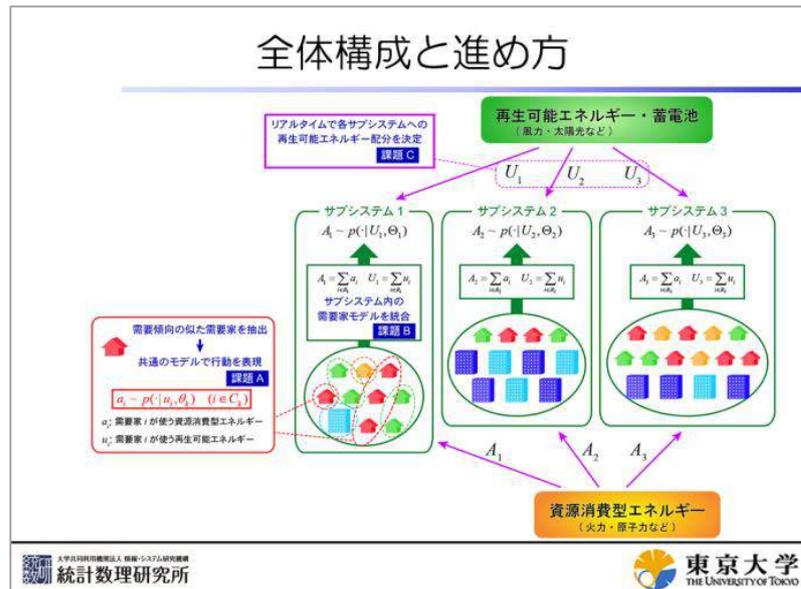
個人化技術。やはり今の CPS 等々でも、最終的にサービス、プロダクトを誰に届けるのか、その受け手に応じて個別化、状況に応じたものにする技術が必要です。まだまだ、じゅうぶん取り組まれていませんが、アクチュエーションのときには必要と思っています。例えば、統計的階層モデリングによるリアルタイム電力配分サービスの構築、これは以前に統数研等である外部研究資金に提案をした時のものです。

平成24年7月末

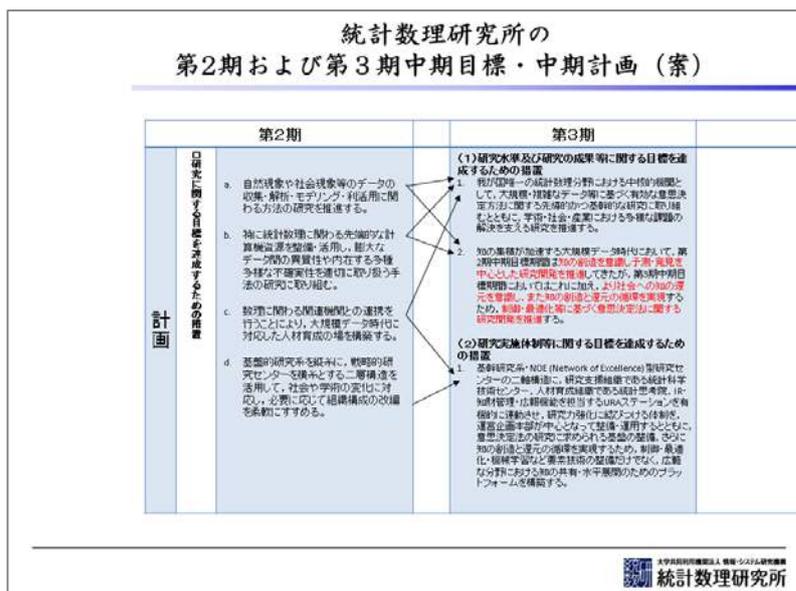
統計的階層モデリングによる リアルタイム電力配分サービスの構築

東京大学
 統計数理研究所

東京大学
 THE UNIVERSITY OF TOKYO



統計数理研究所は、現在、私が所長をしておりまして、来年から大学共同利用機関法人の第3期となります。その6年間で統数研はこんなことをやると現在提案しています。重要なところを赤字にしましたが、2番目、知の集積が加速する大規模データ時代において、第2期中期目標期間は、知の創造を意識し、予測・発見を中心とした研究開発を推進してきたが、第3期中期目標期間においてはこれに加え、より社会への知の還元を意識し、また知の創造と還元の循環を実現するため、制御・最適化等に基づく意思決定法に関する研究開発を推進すると書きました。今日の議論をもとに、こうした研究が活発になることを期待しております。



今日はこの3つが私の観点からは重要だろうというお話をさせていただきました。

(質疑応答ならびに討論)

Q: ビッグデータ利活用のステージのチャートがあって、最初の2段階までかなりやっ
ていて、次の2段階はいまからということですけども、質問としては、知識と知
をどのように考えているのか。知というと個人であったり、集団であったり、そこで
何かあるんだろうけれども。最初の2つもまだ完全にはできていないと思うんです
けれども。

A: 多分それは議論するとおのおの方々のパースペクティブが投影されるような話にな
る。私は知識というのは、比較的スタティックなもので、ある程度客観性のあるような、
ある意味絶対的なものだと思うのですが、知とかになるともう少しサブジェクティブ
で、状況依存性、文脈依存性、そういうようなものじゃないかと。

Q: 何を達成するかとか、影響を与えるということは、その価値観にも影響を受けるので
はないか。

A: それこそがやらないといけない課題。完全に価値観にディペンドするもの。そういう
個人、状況、文脈、それに依存した価値、それをどう実現していくかと。そういうも
のは、先ほど言った科学の重要な一般性、客観性とはちょっと違ったものなので、ト
リアージと言いましたけど、ELSIのような、あるいは枠組みに踏み込んだことをや
らなくてはいけないので、ちょっと違った研究の進め方が大切になると思います。

Q: 全く同感ですが、マルチシナリオジェネレータなのですけど、この図ですけど、こ
のままいったらこうになってしまうから、何か介入が必要というイメージですが、世
の中をデザインしていくという立場に立った場合に、その流れというのはどんなふう
に使われていると思いますでしょうか。例えば、震災が起こる、このままだとこうなる
から、これを改善しなきゃいけないねという、そういうふうに見える。世の中をデザ
インしていこうという立場に立った場合に、この流れというのはどんなふうに使える
のでしょうか。

- A：世の中というのは、渋滞のような問題ではなくて、もっと大きいものということですか。
- Q：渋滞に絡むとすれば、道路計画をつくる。将来こういう道路網にしたほうがいいんじゃないか。そういう議論があったときに、このモデルというのは、どんなふうに見えるのでしょうか。
- A：このモデルというのも一つではなくて、幾つかのシナリオをつくる。あと、渋滞のときに、私が考えているのは、例えば全員に同じ情報を与えるのではなく、半分半分に違った情報を与えて制御する。それに類するような、すべての人に同じような情報を与えるのではなくて、そこまでを含めたような仕組み、オペレーションをやる。

2.3 仮説発見 帰納推論・アブダクション（国立情報学研究所 井上克巳）

情報研の井上です。今日は「仮説発見」の研究について発表させていただきます。

仮説発見

帰納推論・アブダクション

国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系
総合研究大学院大学 複合科学研究科 情報学専攻
東京工業大学大学院 情報理工学研究科 計算工学専攻

井上 克巳

2015年10月30日

JST CRDS 科学技術未来ワークショップ

私、今年になって電子情報通信学会の学会誌で「人工知能による科学的発見」というタイトルで、解説論文を書かせていただきました。この解説ではあまり一般的なことというよりは自分のやってきたことを書きました。これのもとになったのが、2013年度人工知能学会全国大会における「説明と予測：科学的発見からシステムレジリエンスへ」と題した私の特別講演です。

また、新聞で幾つか取り上げていただきました。「ロボットが住む未来：人と会話、小説を書く、研究する」という記事や、「人工知能に科学的発見ができるか？」という記事が掲載されました。そのような流れから、今年も一つアブダクションの話を新聞記者が聞きに来られましたが、その一部が「ブームに沸く人工知能 三度目の正直なるか」という記事の方に取り込まれてしまって、ちょっとこれは私が意図したものとは異なる主旨の記事になってしまいましたので横線を引いてあります。

「知の創造」に関する研究

解説

人工知能による科学的発見

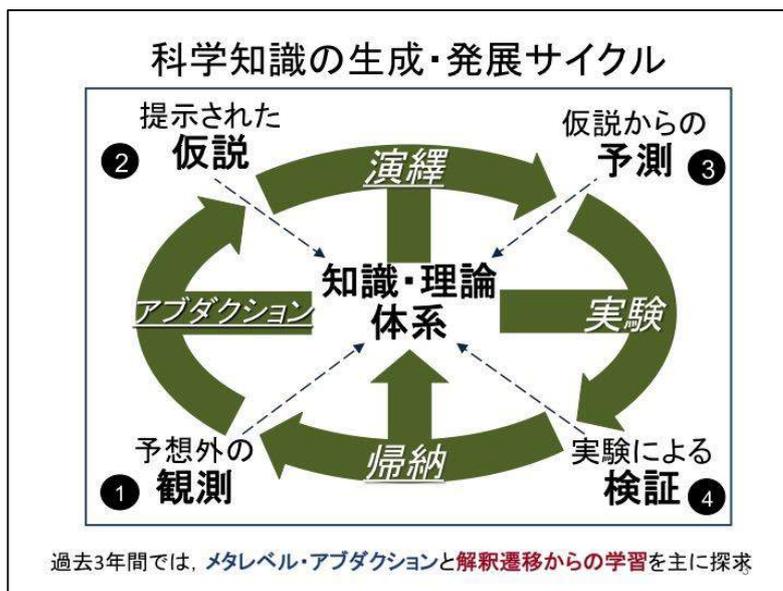
Artificial Intelligence for Scientific Discovery

井上克巳

- 電子情報通信学会誌 Vol.98 No.1, pp.35-39 (2015)
- 2013年度人工知能学会全国大会特別講演
「説明と予測: 科学的発見からレジリエンスへ」
- 2013年5月20日付 朝日新聞科学欄
「ロボットが住む未来: 人と会話、小説書く、研究する」
- 2013年9月15日付 日本経済新聞朝刊
「人工知能、科学的発見できる？」
- 2015年8月24日付 日本経済新聞デジタル版
「ブームに沸く人工知能 「三度目の正直」なるか」

科学的発見というのは科学知識の生成・発展サイクルを形成することで行われる、と電子情報通信学会誌の解説記事「人工知能による科学的発見」に書きました。要するに、知識というのは構築されていく過程で洗練化される必要があります、このサイクルを形成することが非常に重要です。最初に、観測として予想外のことがあると仮説を立ててそれを説明しようとする。その仮説を使って予測をし、その予測を確かめるために実験をする。実験データが集まってきたら、また何らかの法則を導く。そして、また何か観測と合わない場合には、その仮説を修正する。そういうサイクルを形成するというのが大事なところであり、このサイクルにはアブダクション (abduction; 仮説推論) や演繹 (deduction)、実験、帰納 (induction) が全部入っています。

私が研究してきたことはその解説に書いてありますので、今日は最近行った2つの研究だけに着目して、紹介させていただきます。



それは、メタレベル・アブダクションと、解釈遷移からの学習で、2つとも私が自分で提案した学習方式です。メタレベル・アブダクションというのは、元々は論理プログラム上で行われてきたアブダクションに対して、メタプログラミングの上でアブダクションを行うものです。ただそれだけのことをしただけですけれども、これがおもしろいことにいろいろなところで使えます。経験則を隠れ規則によって説明するとか、ミッシング・リンクを発見するとか、あと一番良かったのが観測された経験的ルールを説明するために必要な新概念を新述語として含むことができることであり、これが割と容易にできます。

楽器演奏技術のコツを説明する研究は、私がお世話になった古川康一先生と一緒に行ったものです。古川先生がチェロの技術を自分がどうしてうまくいったかを説明したいと仰ったのが研究の契機で、私の研究がちょうどうまくはまりました。この研究に関しては、古川先生がいろいろなところで、「スキル・サイエンス」における研究として紹介されましたが、私はこれをさらに生物ネットワークからの発見に応用しました。その後、帰納論理プログラミング (Inductive Logic Programming) を提唱した Stephen Muggleton が似た概念として Meta-interpretive Learning を提案し売り込んでいますが、そのさきがけになっています。

メタレベル・アブダクション

- メタプログラム上でアブダクションを行う
- 規則アブダクション (law abduction) の一手法:
 - a. 経験則を隠れ規則により説明する
 - b. 複数のミッシング・リンクや因果関係を発見する
 - c. 複数の観測事実/目標を同時に説明/実現する
 - d. 新概念を新述語として含むことができる
- 楽器演奏技術のコツを説明する研究が最初の応用
- 生体ネットワークデータからの科学的発見に応用
- メタ解釈学習 (Muggleton et al., 2013-) の先駆け



- Inoue, K., Furukawa, K., Kobayashi, I., Nabeshima, H.: "Discovering Rules by Meta-level Abduction", *Post-Proc. ILP 2009*, LNAI 5989 pp.49-64, 2010.
- Inoue, K., Doncescu, A., Nabeshima, H.: "Completing causal networks by meta-level abduction", *Machine Learning*, 91(2):239-277, 2013.
- Inoue, K.: "Meta-Level Abduction", *IfCoLog Journal of Logics and their Applications*, 2015.

アブダクションは「説明されるべきもの (explanandum)」と「説明すべきもの (explanans)」の種類を基にパターン分類されることを示した哲学者 (G. Schurz, 2008) がいました。下図の上方に示したものが一番シンプルなもので、Fact (事実) で表される観測がある時に、Fact を仮説として補うアブダクションになります。実は AI で自動化されているほとんどのアブダクションはこのレベルにとどまっています。下の方に行きますと、理論としての仮説が必要となったり、新しい概念を提案した上で説明しなければなりません。

世の中にあるものは、説明されるべきものと、説明すべきものの2つに分かれます。説明されるべきものというのは、宇宙の起源とか、生命がどのように誕生したか、といった科学的に解明されていないこともすべて含んでいます。そういうのも含めて全部アブダク

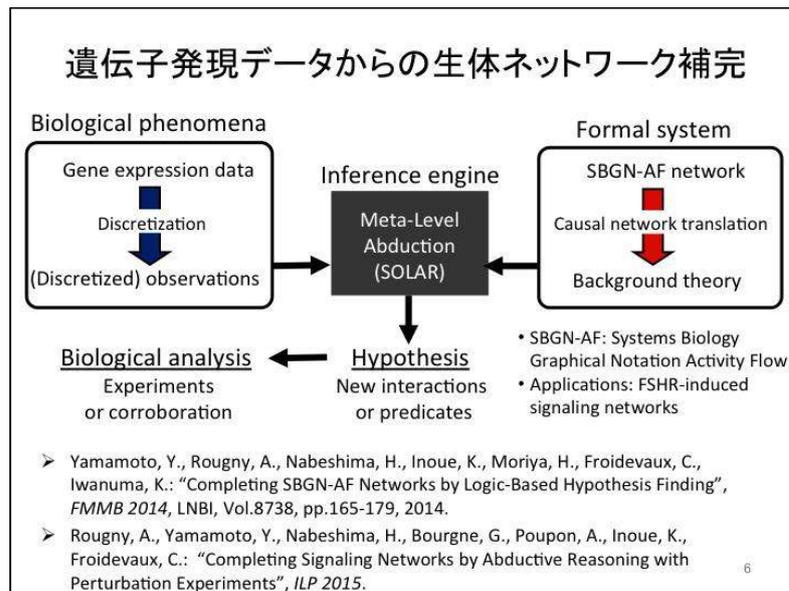
ションといっているのです。アブダクションというのはわれわれの科学的発見にとって最も本質的なものです。私は20年ぐらい、アブダクション・エンジンというのを開発していました。それができるところが、一階述語論理の存在限量子 (existential quantifier) 付きの仮説を出すところで、図の中の上の青い字体で書いたものです。このアブダクションをずっとオブジェクトレベルでのみ適用していましたが、これをメタプログラミング上に適用すると、何とオブジェクトレベルにおいては、図の下の方に位置する「2階の存在的アブダクション」と呼ばれる新概念の発明を伴った新理論の生成が実現できてしまったのです。

Patterns of Abduction (Schurz, *Synthese*, 2008)

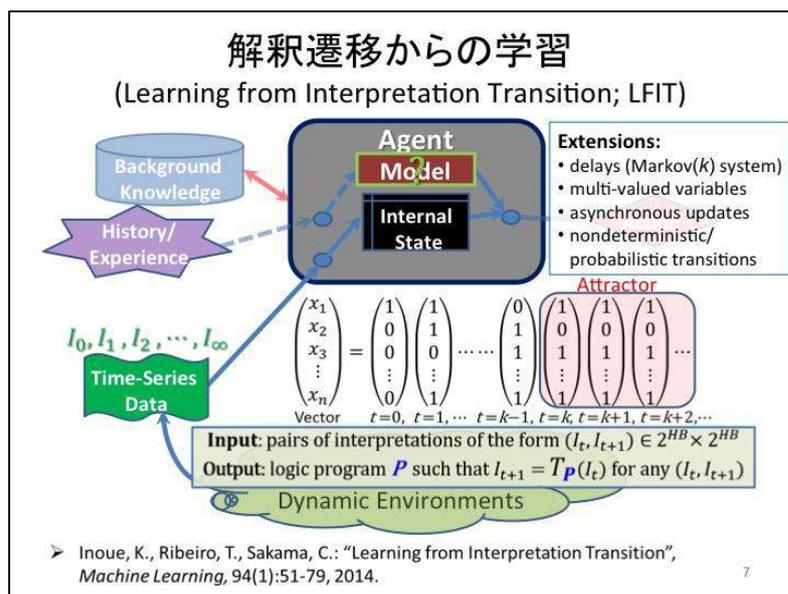
Kind of abduction	Explanandum	Explanans
Factual abduction	Single facts	New facts
— Observable-fact abduction	Single facts	Factual reasons
— 1st-order existential abduction	Single facts	Facts with new unknown individuals
— Unobservable-fact abduction		Unobservable facts
Law abduction	Empirical laws	New laws
Theoretical-model abduction	General empirical phenomena	New theoretical models
2nd-order existential abduction	General empirical phenomena	New laws with new concepts
— Micro-part abduction	General empirical phenomena	Microscopic compositions
— Analogical abduction	General empirical phenomena	New laws with analogical concepts
— Hypothetical cause abduction	General empirical phenomena	Hidden (unobservable) causes

5

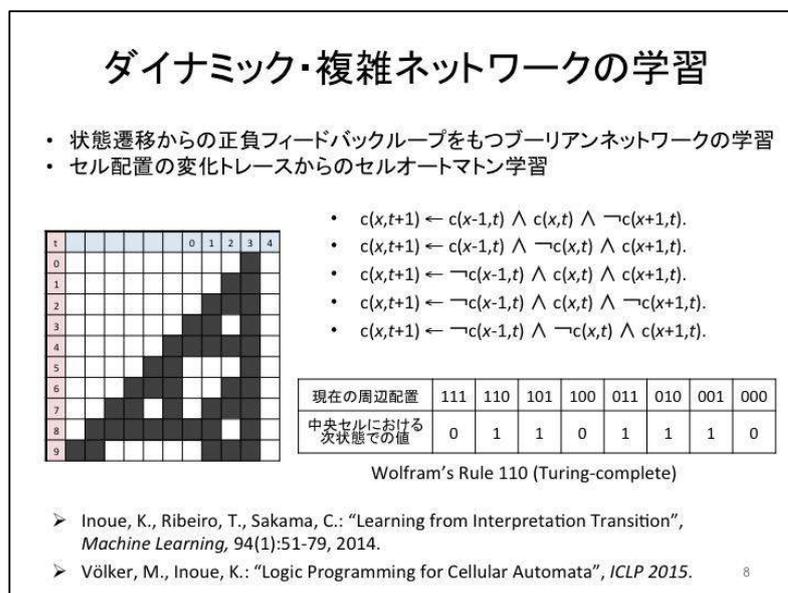
発見科学に関して、よく考えてみると、発見自体は各ドメインで行うことであり、情報系ができることというのはそのメタ的なアプローチです。メタ的などころで発見するにはメタ理論における発見を使う、というのは割と理にかなった話ではなかったかと思います。それで、フランスの研究者たちとも一緒に、遺伝子発現データからの生体ネットワーク補完に関する研究もしております。



もう一つが、全然違う発想ですが、時系列データが与えられたときに、その時系列データを支配する法則というのを、ダイナミクスとして学習することをしてきました。これが解釈遷移からの学習と呼ぶ研究で、世界の状態（ベクトル）を単純にスナップショットとして表現し記録していくと、それが変化します。その変化の法則というものを論理プログラムで表現することにします。このとき、40年くらい前に提案されたTPオペレーターという古い概念がありますが、このTPオペレーターを使って状態の変異分を計算することができます。このための論理計算ですが、Prologのような昔からあるレゾリューション演算のようなものでなくてもよく、ここはすべての要素が一度に更新されるということを想定していますので、この実現自体はリカレントなニューラルネットワークでもできるのです。こういうベクトルの遷移列を与えてプログラムを学習します。最初、Boolean（ブーリアン；論理型）でしていたのですが、真（true）と偽（false）の2種類の値だけを扱うだけだとあまり面白くなく、しかもそのマルコフ性だけ仮定していても面白くないので、遅延効果を入れたり、多値論理を入れたり、非同期にしたり、非決定性にしたり、確率遷移するような拡張も取り入れました。



このような学習の対象となるダイナミックな系のなかで最も単純なものが、セル・オートマトンです。セル・オートマトンというのはすべてのセルで同じ遷移規則が適用されることを仮定しているため、これは1次元セルオートマトンですが、初期状態から始めて4ステップ目くらいですべての規則が学習できます。



もう少し複雑な例は、ブーリアンネットワークを使って遺伝子の制御回路を学習する話で、遺伝子のオンオフの状態遷移から遺伝子制御の規則を学習するものです。この図に示した212の状態ですが、これはロバスタな系といいまして、この状態を少しフリップしても、同じ状態（アトラクター）に落ち着きます。このような状態遷移は指数オーダーの個数がありますが、この左図を入力として右側のブーリアンネットワークを学習しています。さらに状態表現をコンパクトにするために、BDD（Binary Decision Diagram）に基づいたアルゴリズムを使って効率化しました。そのようなことを、この図にまとめました。

ロバストなブーリアンネットワークの学習

- 2^{12} 状態のほとんどは同じアトラクション領域(*basin of attraction*)に属する。
- これらの完全状態遷移を入力した場合 LFIT は 54 の遷移規則を 0.8 秒で学習。
- BDD を用いた効率化アルゴリズムでは同じ状態遷移規則を 0.18 秒で学習。

Li, F. et al.: The yeast cell-cycle network is robustly designed, *PNAS*, 101(14), 2004.

- Inoue, K., Ribeiro T., Sakama, C.: "Learning from Interpretation Transition", *Machine Learning*, 94(1):51-79, 2014.
- Ribeiro, T., Inoue, K., Sakama, C.: "A BDD-Based Algorithm for Learning from Interpretation Transition", *Post-Proc. ILP 2013, LNAI*, Vol.8812, pp.47-63, 2014.

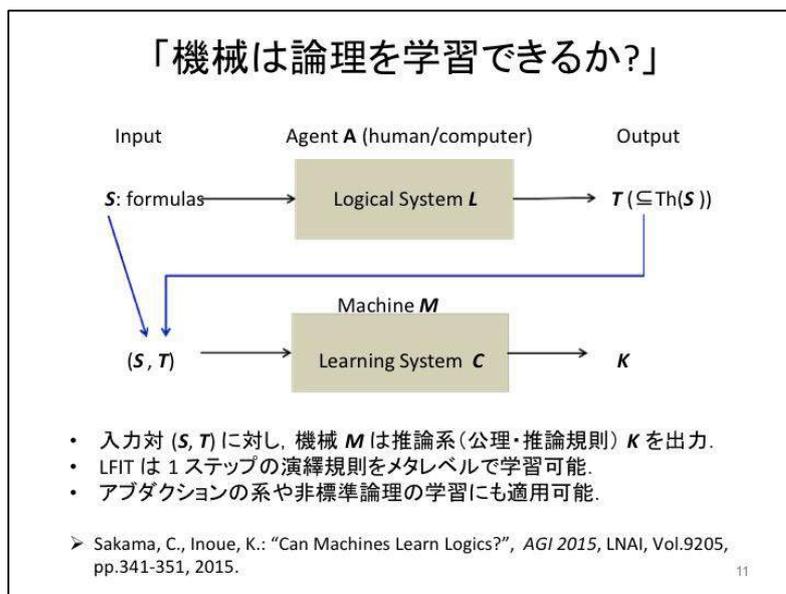
この状態遷移からの学習ですが、他の応用としては、ロボットの行動履歴からアクションルールを学習するとか、もう少しファンダメンタルな問題として、コンピューターが相手のロジックをどう学習するかというところにもこれが使えます。

ロボット行動規則の学習・修正

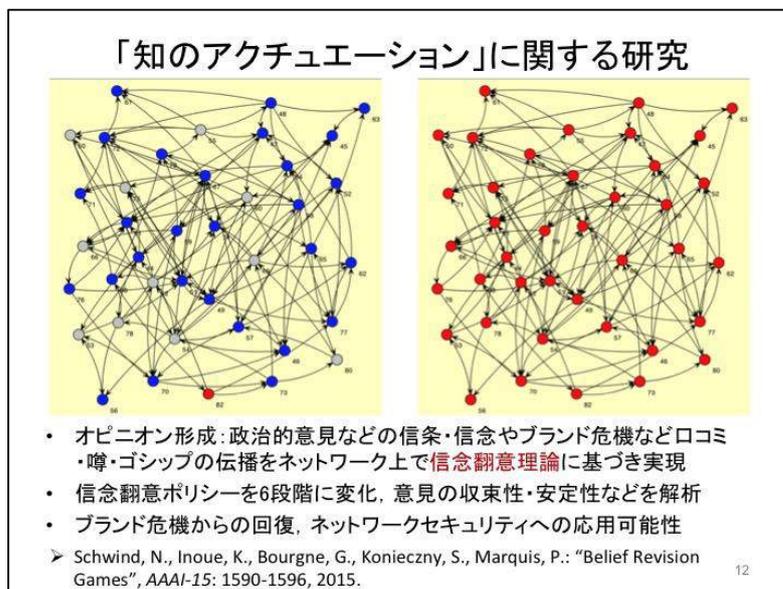
確率論理学習(PILP) / LFIT による行動モデルの学習・修正

- Sykes, D., Corapi, D., Magee, J., Kramer, J., Russo, A., Inoue, K.: "Learning revised models for planning in adaptive systems", *ICSE 2013*: 63-71.
- Martínez, D., Ribeiro, T., Inoue, K., Alenyà, G., Torras, C.: "Learning Probabilistic Action Models from Interpretation Transitions", *ICLP 2015*.

これは演繹規則だけではなくて、アブダクションのための推論規則や、相手が虚偽に基づく推論を行っている時にその背後にある虚偽のロジックを学習するためにも使えます。



あとは社会科学に発見科学を応用する試みに関するお話をします。先ほどのセルオートマトンが少し使えるところがあるのですが、それぞれ意見を持った人がいる場合において、例えば左側の図のように、一人だけ赤色で違う意見を持った人が最終的に全体のネットワークを支配するような仕組みを解析するとき、系で何が起きているのかを解析することができます。AI の方で **Belief Revision** という全然応用されない分野があったのですが、私はこれを真面目に適用して、各エージェントが **Belief Revision** を使って、オンかオフかとかではなく、任意の論理式に基づいて意見を変えるということをシステムに組み込んでみて、安定性を解析することを行いました。これはアクチュエーションにも使えると思います。これに先ほどのアブダクションを取り入れると、どのエージェントの意見を支配すれば全体の合意を導くことができるのかといった合意形成のプロトコルもわかり、そのようなネットワーク制御に関する研究が、次の目標になっています。



私は帰納論理プログラミング (ILP :Inductive logic programming) の国際会議に参加してきた一人として、私が参入したのは 2000 年過ぎですが、それ以降ずっと会議に出ているところ、そろそろ日本で開催するようになれまして、今年の夏に京都で開催しました。第 25 回会議ということで、25 周年記念パネルも企画しました。これについて、AAAI (Association for the Advancement of Artificial Intelligence) で報告してほしいと頼まれ、このテーマで初めてになります、AAAI-16 で ILP の動向を報告することになりました。このような招待の背景として、ロジックの学習が実は注目されているということではないかと考えています。

The 25th International Conference on Inductive Logic Programming (ILP 2015)



The logo for the 25th International Conference on Inductive Logic Programming (ILP 2015) features a stylized 'ILP' acronym in white on a red background. Below the acronym, it reads '25th INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUCTIVE LOGIC PROGRAMMING' and 'KYOTO, AUG. 20-22, 2015'. A small graphic of a pagoda is also visible.

- 23 years since the last time in Japan
- Location: Rakuyuu Kaikan, Kyoto University, Kyoto, Japan
- Dates: August 20 — August 22, 2015
- Co-Chairs: Katsumi Inoue (NII), Hayato Ohwada (Tokyo Univ. Sci.), Akihiro Yamamoto (Kyoto Univ.)
- 71 Participants, 3 invited speakers
- 13 long papers, 19 short papers
- Distribution Semantics 20th Anniversary
- **ILP 25 Years Panel (What's Next)**
- **"What's New" at AAAI-16**

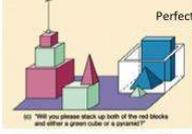
AAAI の 2015 年春のシンポジウムで、「Knowledge Representation and Reasoning: Integrating Symbolic and Neural Approaches」というワークショップがありました。これは非常におもしろかったです。私の研究室関係で 3 名出席したのですが、Geoffrey Hinton (Google & Univ. Toronto) と Douglas Lenat (CYC) が両方出席したシンポジウムでした。ディープラーニングなどパターン認識の次にシンボリックな学習と推論が再度必要になるだろうということで、Google の研究者を始め機械学習と知識表現・推論の両分野の研究者たちに結構注目されていました。関連して注目される技術としては、低レベルの認知機能と高レベルの推論とのギャップを埋めるというものがあります。例えば自然言語理解を行う初期のプログラム SHRDLU (1968-1970, T. Winograd) は理想化されたものでしたが、現実の世界ではまず積木自体を正確に認識し適度な握りを加えるような制御も必要になり、そうした認識に加えてプランニングのためのシンボリック学習も必要になります。また、Human-like computing と言いますが、人間のように学習する能力、例えば、「一例から学習する」ことはすごいことで、ただし、バックグラウンドとして非常に膨大な知識を必要とします。ビッグデータからの発見というのは人間的な学習とは明らかに違ってもっと低次元のものになりますが、その次の学習としては少数の例と膨大な常識からの学習が来るのだと思います。

最後になりますが、上のタイトルの下に細かい字で書いておきました通り、「パターンを模倣するのではなく、説明することで世界を理解する、というのが人間のみが持つ非常に優れた学習能力」ですので、やはりアブダクションのように説明を求める発見の技術が今後ますます重要になるのではないかと、そのように私は思います。

「知の創造・アクチュエーション」の今後に向けて

“Rather than imitating behavior, a human being tries to explain it—to understand the ideas that cause it—which is a special case of the general human objective of explaining the world.” (David Deutsch, The Beginning of Infinity, 2011)

- KRR: integrating *symbolic* and *neural* approaches (AAAI-15-SS)
- Bridging the gap between low-level *perception* and high-level *reasoning*, e.g., SHRDLU (Winograd 1972) → (De Raedt 2015)



Assumptions:
Perfect knowledge about the world
Deterministic actions

→

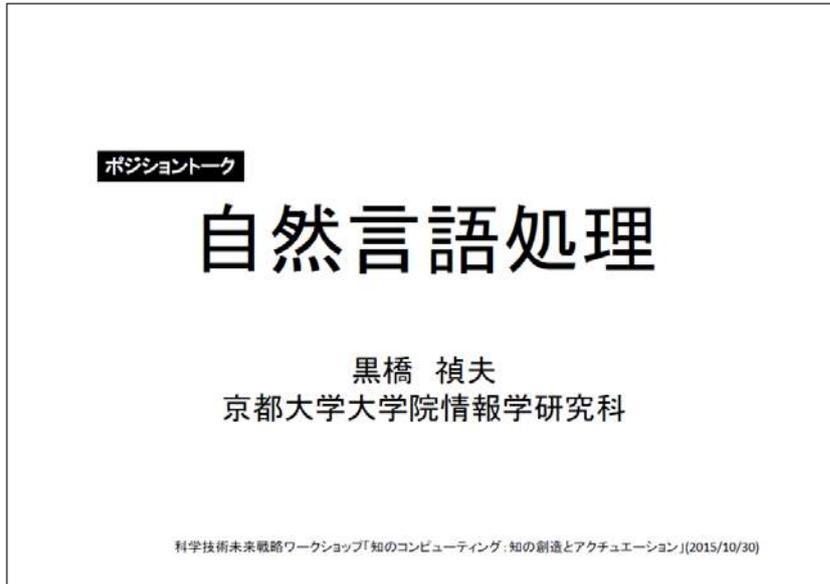


- *Learning from small examples with large (commonsense) background knowledge*
 - *Human-like computing*
 - learning social skills, training, education, manufacturing
 - Inference and analogy: reuse knowledge from one domain to others
 - Cyclic or never-ending learning, e.g., NELL (CMU)

14

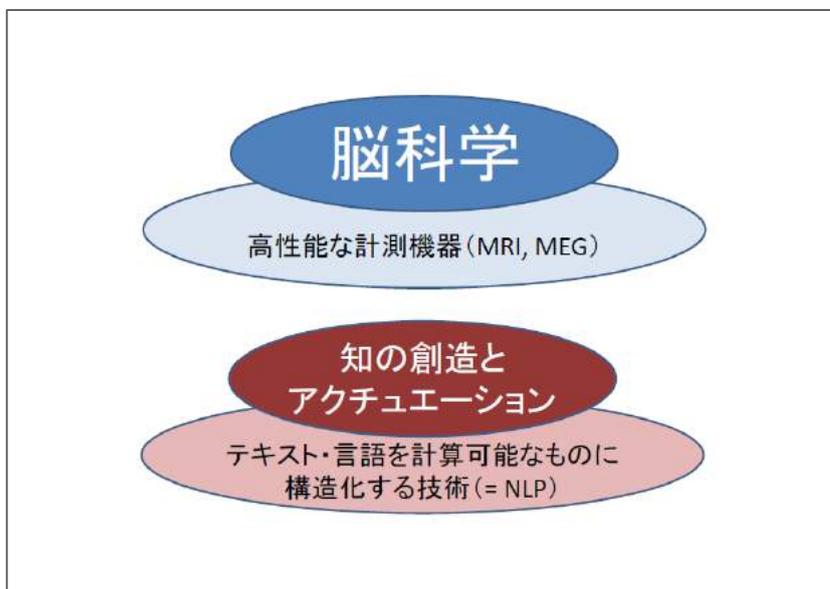
2.4 自然言語処理（京都大学 黒橋禎夫）

京都大学の黒橋でございます。タイトルは、「自然言語処理」です。

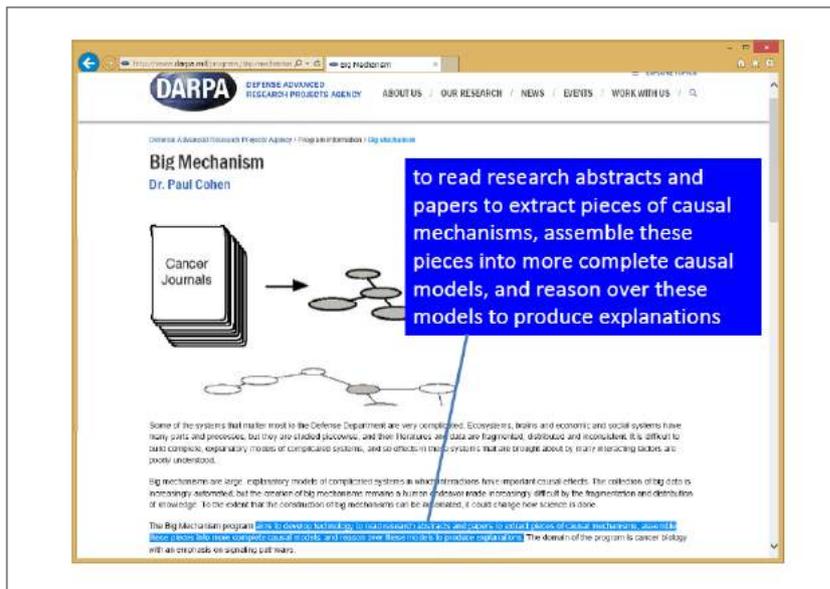


今、脳科学が発達しておりますが、そこではMRI (Magnetic Resonance Imaging)、MEG (脳磁図 Magnetoencephalography) などの高性能な計測機器が非常に大きな役割を果たしています。同様に、今後、知の創造とアクチュエーションを考えると、知のかなりの部分は言語で表現されていて、いろいろなところで蓄積され、流通しているので、それを計測する、すなわち計算可能なものに構造化する技術、自然言語処理に大きな役割があると思っております。

現在、自然言語処理で実用的に広く使われているものは、単語分割や固有名認識程度だと思いますが、誰が何をどうして、そこにどんな因果関係があるかということが重要で、それらを計算機で扱えるものにしていくものが自然言語処理です。



もちろん、そのようなことを目指して世界中で研究が行われており、ご存じのとおり、DARPA のビッグデータというのは Cancer に関するジャーナル（論文誌）から因果関係の記述をとってきて、それを総合して説明するようなものをつくり出すということを目指しています。日本では、辻井（潤一）先生が昔から取り組んで来られた問題ですが、いろいろな技術の底上げもあって、そういうことに本格的に挑戦できるようになってきました。



日本でも、喜連川（優）先生のビッグデータの領域で、われわれも CREST をやらせていただいています。このタイトルが、「知識に基づく構造的言語処理と知識インフラ」で、テキストデータの解析を、大量の知識をちゃんと使って、構造的に実現するということを目標として、論理を精緻に扱うためにお茶の水大の戸次（大介）先生に入ってください、われわれのところでは、テキストを表層的な頻度だけで扱うのではなく、きちんと個々のテキストを解釈する、それから乾（健太郎）先生のところでテキストをまたぐ関係性を推論によって関係づけるということをやっております。

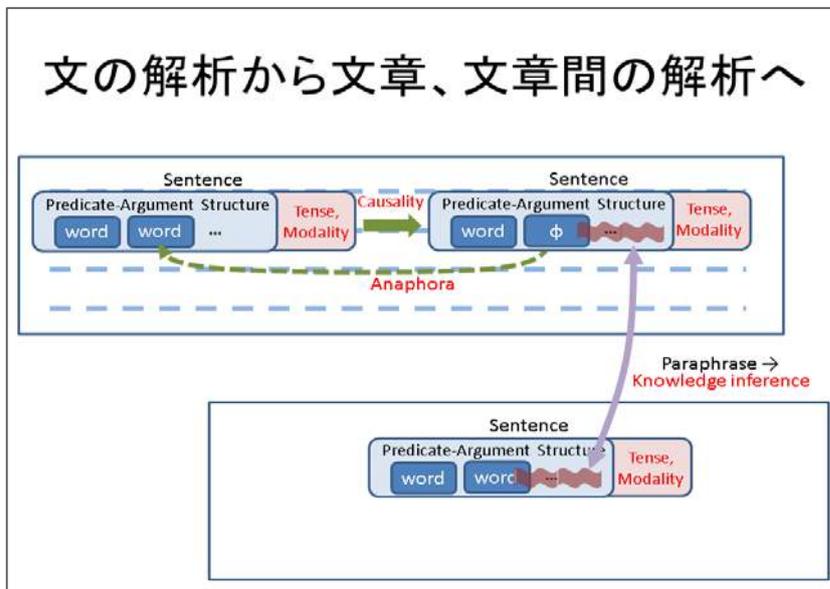
CREST「ビッグデータ統合利活用のための次世代基盤技術の創出・体系化」
知識に基づく構造的言語処理の確立と
知識インフラの構築
 (2013/10 – 2019/3)

Research-Subject 1 戸次(お茶の水女子大)
 依存型意味論に基づく意味計算モデルの構築

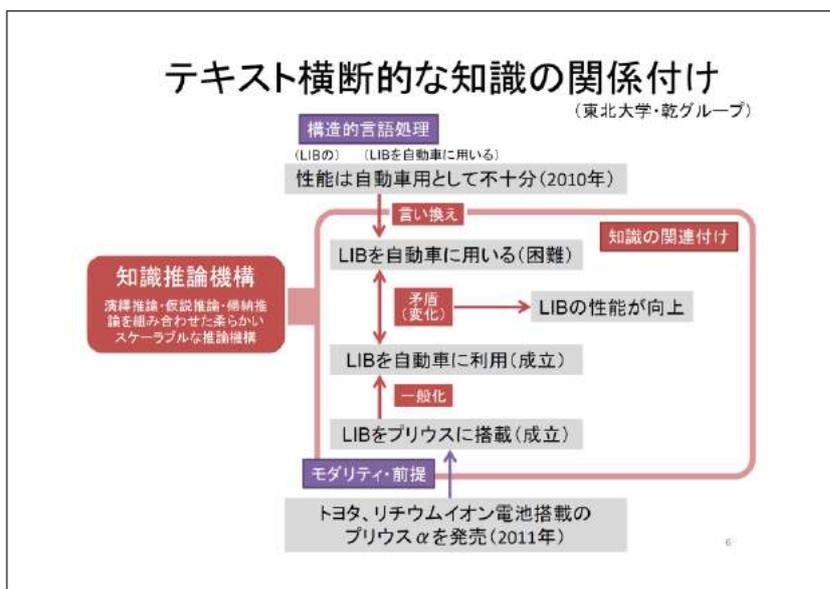
Research-Subject 2 黒橋(京大)
 知識に基づく構造的言語処理

Research-Subject 3 乾(東北大)
 テキスト横断的な知識の関係付け

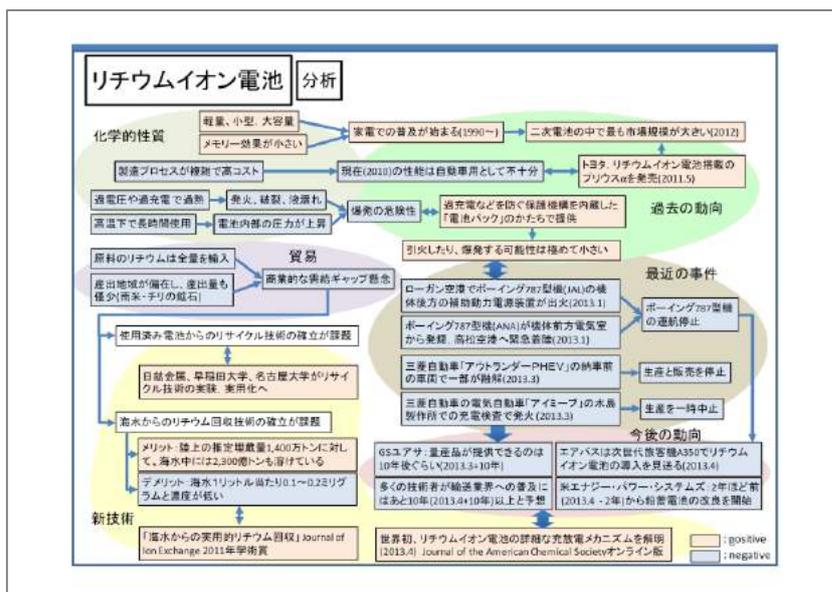
テキストが与えられたとき、今何とか動いているのは文の解釈、文の解析ということですが、それが文章の解析、すなわち文をまたぐような解析に発展していけば、本当に大規模な知識の世界を計算機が扱えるようになるのではないかと思います。



まず、そのためには単語を認識して、文の中の述語項構造 (Predicate-Argument Structure) を解釈する必要があって、このあたりまでは動いていますが、その外にあるモダリティ表現、すなわち、「多くの人が思っている」とか「私はそう信じている」というような表現を解析する必要があります。さらに、節間の因果関係を明らかにしたり、省略されている項を補うということをししないと、テキストで述べられていることを構造化できません。さらに、複数のテキストで関連することが議論されているわけですが、それが別のテキストで言っていることをサポートしていたり、実は食い違うことを言っている、というような関係を推論によって明らかにし、知を捉えるということを目指したいわけです。



もう少し具体的に、リチウムイオン電池に関するウェブ上の言明を整理するというような問題で考えますと、例えば「リチウムイオン電池の性能は十分ではない」、一方で「トヨタがリチウムイオン電池を使ってプリウスを発売した」ということが言われている。これらは単純には対応をつけられないわけですが、順番にひもといていくといいますか、推論を重ねていくと、1つ目の言明では、リチウムイオン電池というのはちょっと自動車に用いるのは難しい。2つ目では、プリウスに搭載した、搭載したというは使っているということで、プリウスというのはもちろん自動車ですから、自動車に用いた。そうすると一見矛盾しているようではけれども、時間が経過しており、リチウムイオン電池の性能が向上したんだろということ、2つの言明が関係付けられるわけです。ということで、知識というのは大量に言語で表現されて存在しているわけではけれども、このような推論がきちんとできれば、論理的に関係付けて集約することができるようになります。



今、ウェブ検索をすると、単にいろいろなテキストの一覧がでるわけですが、それを分析した形で提供する、こんな表現が多いというような統計的な処理ではなく、各テキストの中身を先ほどのような解析によって取り出し、集約するということを目指しています。

ここまでがわれわれが行っております研究のご紹介ですが、この「知の創造とアクチュエーション」について関連する課題を考えなさいという宿題でしたので、幾つか考えてみました。まずは今やっておりますような知識を獲得する、計算機がテキストを関係付ける、推論の枠組みを考える、というような研究をもうちょっと強力に進めるべきだと思います。現状整備されているものとして固有名を中心とした FreeBase というものがありますが、同じ意味を持つ言い換え表現のインフラですとか、理解のモデル化、それらを統合した推論機構というような課題に関してもっとももっといろいろな研究が立ち上がったほうがいいんじゃないかと思います。NICT のプロジェクトもあります。

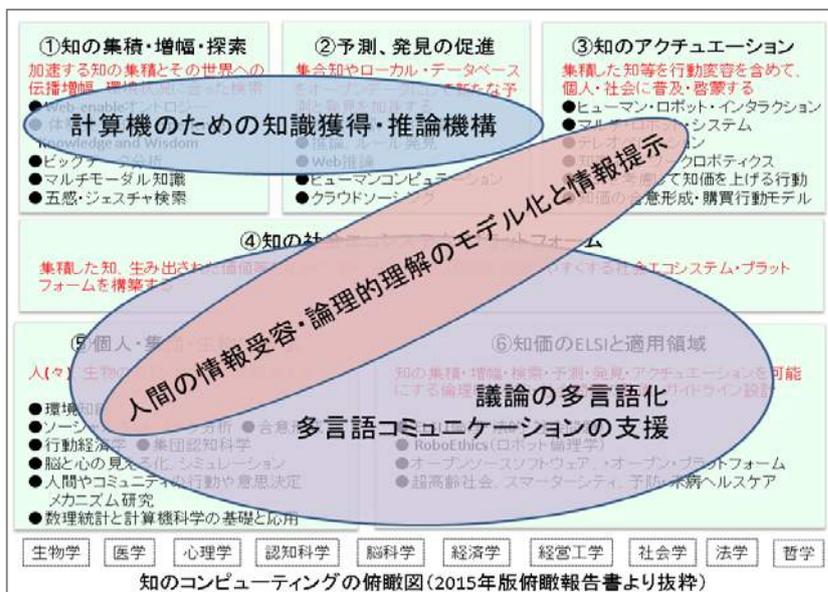
**「知の創造とアクチュエーション」
の関連課題に関する提案**

- **計算機のための知識獲得・推論機構**
 - 現状整備されているのは固有名を中心とした関係 (cf. FreeBase)
 - 言い換え、事態間知識(因果関係等)、それらを統合した推論
- **人間の情報受容・論理的理解のモデル化とそれに基づく情報提示**
 - 最後には、人間に情報を提示し、人間がそれを活用しなければならない
 - 大量の関係する知識の要約、文章自動生成 (cf. NHK スペシャルの自動作成)
- **議論の多言語化、多言語コミュニケーションの支援**
 - MT-Mediated Communication

もう一つ、これからだと思ふことは、結局非常にすごい処理をして何かを見つけ出してきたとしても、最後にはそれを人間に提示して、人間がそれを活用しないといけないということだと思いますので、人間の情報受容とか、論理的理解のモデルを考えて、それに沿った情報提示を行うことが必要で、これも最後、やはり言語を使って提示するので、大量の関連する知識を要約したり、文章を自動的に生成するということが必要だと思います。小説のようなものを生成する試みも始まっていますが、昔から京大の西田（豊明）先生が NHK スペシャルを自動でつくれるかということをよくおっしゃっていて、それは一つわかりやすい言い方かと思っています。もちろん、映像の自動編集や生成ということは難しいですが、ここで私が申しておりますのは、NHK スペシャルの台本を自動でつくれるかということに対応するかと思います。

それから、やはり知識、知を創造するといったときに、日本の中だけで創造できるわけではありませんから、多言語の情報を使うことは必須です。また、スタティックな知ではなく、そこから議論をしていく、人間が関与していかなければならないので、そのときの

多言語コミュニケーションの支援も重要です。自動翻訳もだいぶ進んできて、2020年を目指して観光客をサポートするというようなタスクも重要ですが、それをもっと深く進めて、自動翻訳によってメディアイトされたコミュニケーションということも非常に重要になってくると思います。



この俯瞰図にまとめるとすれば、最初に申し上げたもうちょっと基本的な解釈をきちんとできること、それから人間の情報受容・論理的理論のモデル、それから全体に関係することとして多言語へ持っていくというのが、非常におおざっぱですけども「知の創造とアクチュエーション」に関係する自然言語処理の重要な課題であると思っています。以上です。

2.5 本当の AI：情報処理技術の先鋒としての AI（公立はこだて未来大学 中島秀之）

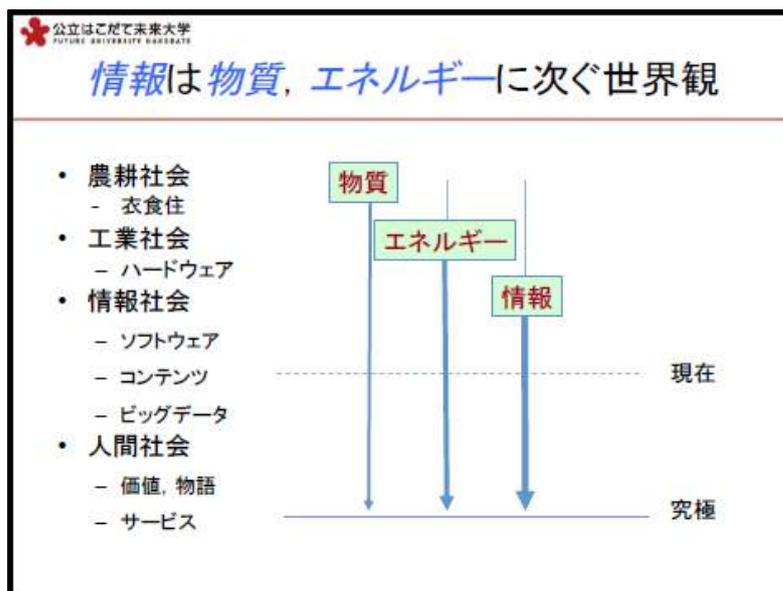
AI の立場からお話したいと思います。

「本当の AI」と題名をつけた理由は、最近マスコミが少し違う AI の話をしているからですが、私は AI は基本的に情報処理技術の一部だと思っています。実用になれば AI と呼ばれなくなるという意味で、「先鋒」だと思っています。



今日の話のキーワードは、状況依存性と予測です。これらが 2 つの難しい問題だと思っています。

さて、情報というのは世界観の一つで、「物質」と「エネルギー」と同じように、「情報」といった見方があると思っています。世界を情報という観点で捉えるのです。



AI 研究は、歴史的に見て、知能の本質はシンボル処理にあるといていた世代と、パターン認識にあるといていた世代とがあり、われわれはその最後の環境との相互作用を重視しようという立場にあります。

昔は、まず世の中を認識して、その知識表現をつくって、その上で推論して、行動するという、シーケンシャルなものでした。知識表現の研究が中心でした。これ自身、フレーム問題とかいろいろ限界があることがわかっています。Brooks がこれを並列にしようと言いました。最近では、環境を含めた全体を知能システムとして捉えることになっています。

公立ほごで未来大学
FUTURE UNIVERSITY HAKODATE

服属 (Subsumption) アーキテクチャ

知能システム

- 認識
- 推論
- 行動
- 環境

- Brooks
 - 「昆虫の知能」
- 水平型から垂直型へ
- 上位が下位に介入 (subsume)

2015/10/15 17

いろいろな分野の人たちが同じようなことを言っています。生物学では Uexküll が「環世界」という概念を提唱しています。「オートポイエシス」というのは、システムには入力も出力もないという言い方をしていますが、環境を含めた全体がシステムだと思えば情報はその中でしか動いていません。われわれは、「環境に計算させよう」という考え方が大事だと思っています。内部表現で計算するのではなくて、外にやらせるのです。

公立ほごで未来大学
FUTURE UNIVERSITY HAKODATE

環境との相互作用を重視する知能観

知能システム

主体

- 認識
- 推論
- 行動
- 環境

- Uexküll: 環世界
 - Gibson: アフォーダンス
- Maturana & Varela: オートポイエシス (自己産出)
 - 「神経システムには入力も出力もない」
- 状況依存性
 - 環境に計算させる

2015/10/15 18

もう一つ大きな話は、知能を個体として捉えるだけではだめで、社会知能というか、集団知能というか、そのように見なくてはいけないと最近思っています。マルチエージェントともいうのもそのひとつです。NHKの「ダーウィンがやってきた」で、アリの社会がよく出てきますけど、個々のアリの個体だと思わず、人間と対比するならば、細胞の1個だとする方が割と自然な対応がつくれるような気がします。そのような知能とか、

人間の場合でいうと社会制度とか、教育などにそのような環境の考え方がそれぞれあると思います。教育と遺伝子がパラレルになって進化しているという見方はかなり大事だと思います。今までは進化として、生物を遺伝子だけで見ていた側面がありますが、チンパンジーなども親から教育を受けないとセックスができないというような話があります。さらに共進化の一つとしてシステムがないといけないと思います。

社会知能の考え方

- 集団としての感情・知能
 - 模倣(ミラーニューロン)
 - 他人のモデル
 - アリの社会は一個体と見た方が良くも
しれない(個々の細胞が知能を持った生物?)
- 社会としての知能
 - 社会制度
 - 文化(ミーム)
- 社会としての進化
 - 共進化
 - 教育システムや文化の遺伝と進化



2015/10/15

状況推論というのは、要するに状況を利用することによっていろいろなことが簡単になるとというのが大事なところですよ。

状況推論で用いる表現の特徴[片桐91]

- 推論に用いられる表現は必ずしも表現される対象や状態を完全に模倣する必要はない。表現が環境に適切に埋め込まれている、あるいは表象操作とそれに基づく行為のための主体の構造が適切であれば**推論に用いる表現自体は簡略化**することが可能である。さらにそれにともなって**推論操作も簡略化**し、効率的に推論を行なうことが可能である。
- 必要に応じて環境への依存度の異なる表現を使い分ける

2015/10/15

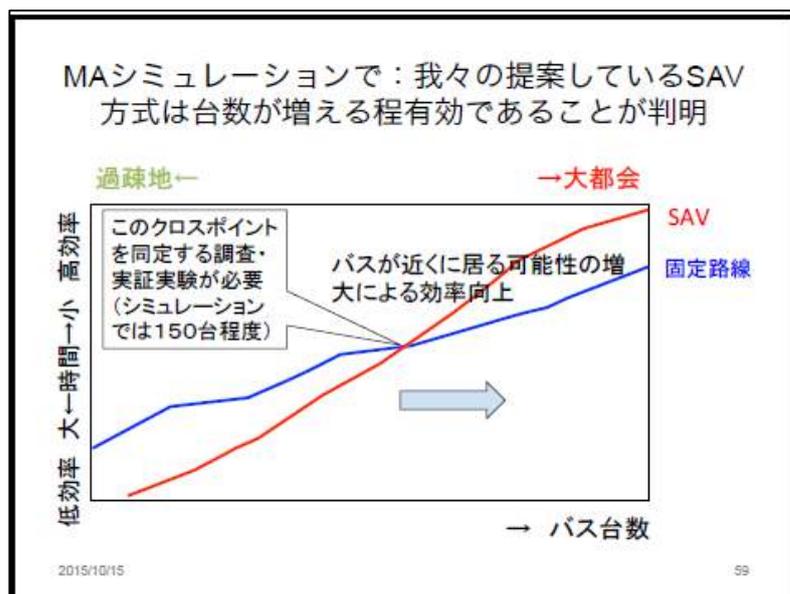
先ほど、樋口さんのカーナビの話に出てきたのですが、同様の例は私の研究にもありまして、現在地だけではなくて目的地を全部集めると未来の状況のシミュレーションができ

て、そこからフィードバックをかけると、あのような変な渋滞がなくなるというのが、計算上は出てきます。同じ考え方を、公共交通システムにアプライして、「どこからどこへ行きたいか」というリクエストをとって、最適の車両を配車します。計算機のクラウドと同じように、車をクラウド化するのは。ハードウェアはどれでもいいから、モビリティだけ提供してください、機能だけ提供してください、という形でリクエストすると、都市内の公共交通の最適化ができるというように、主張してきました。

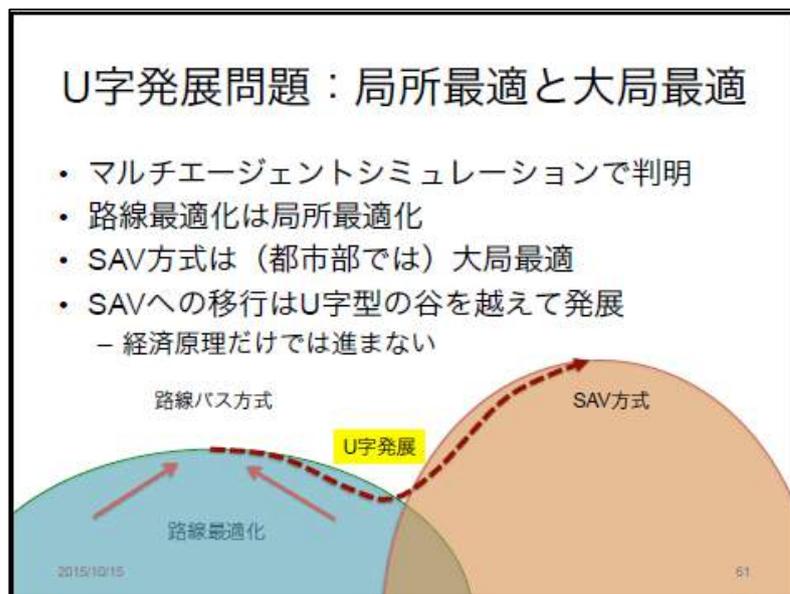


最初のころのシミュレーション結果は図の通りです。固定路線の青い線は都会になるほど当然路線が増え、バスの台数も増えるため、効率は良くなりますが、われわれの提案している方式のシミュレーションはその傾きがもっと大きくなります。田舎ですと実は固定路線が良いのですが、大都会だと、われわれが **Smart Access Vehicle (SAV)** と呼んでいる、そのシステムの方が良いというのがシミュレーションで出ました。

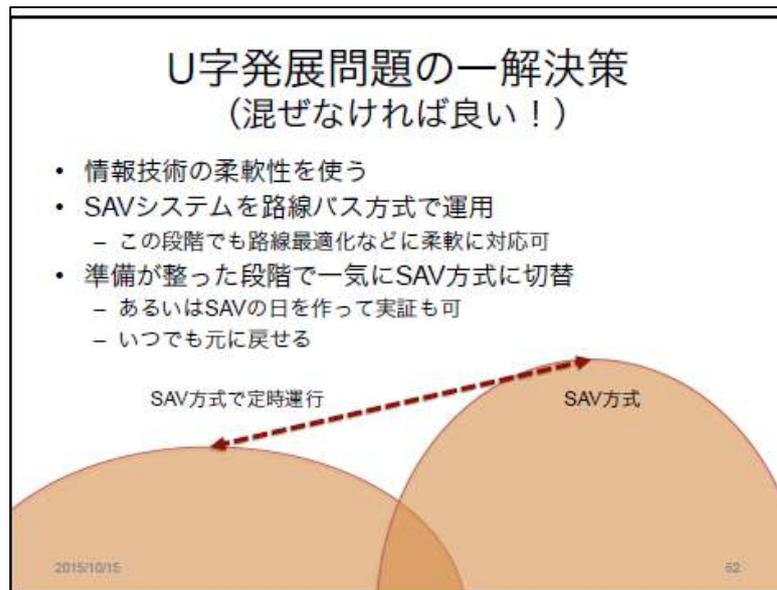
最近、函館の交通を調査して、そのモデルをつかって、その上でシミュレーションをしました。函館の規模だと 2,000 台ぐらいあれば、待ち時間 5 分以内になります。目的地までの乗り合いによる旅行時間の増加も 5 分程度で済むということが出ました。ちなみに現在、函館にいるタクシーとバスの数は 1,000 台ぐらいですが、このシステムを入れると、自家用車からの乗りかえを考慮すると 2,000 台か 3,000 台で十分だろうということになります。ちなみにこのシミュレーションは、利用者をランダムに発生させているので、一番きつい想定です。実際には偏りがありますから、偏りに対応することによってもっと効率を上げられます。例えばよく人が乗るバスにはあらかじめ対処するということが可能です。



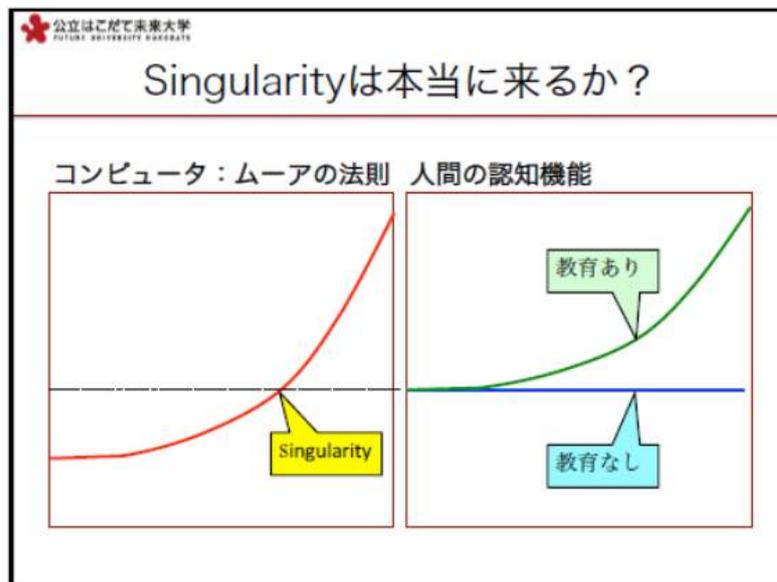
これを世の中に実装しようと思うと、実はなかなか難しいことがあります。現在路線バスは図の左側の山にあって、路線最適化等を皆さん、一生懸命しています。われわれの方式は別の山で、問題は間に谷があります。これを、経済原理にのっとると、移行していかないということも計算上はわかります。



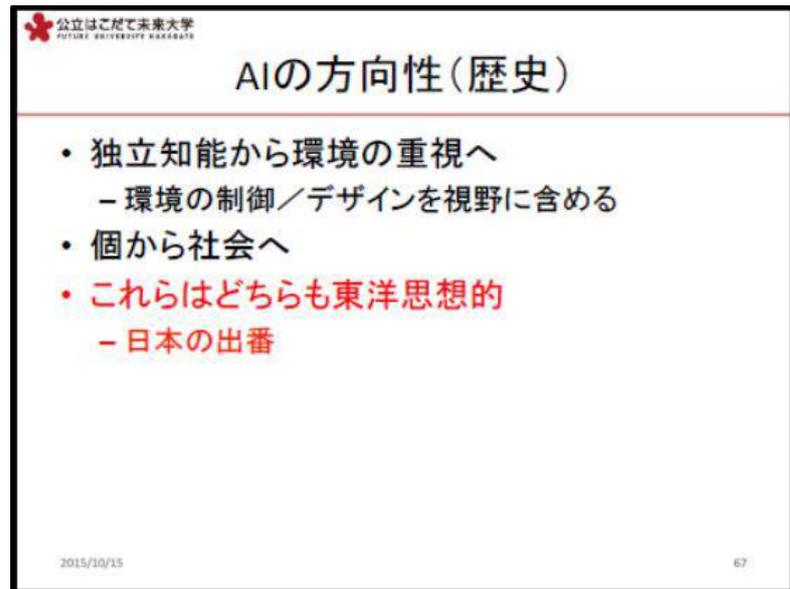
最初のうちどうしようかなと思ったのですが、さすがコンピューターシステムというのは結構柔軟で、われわれの方式をインプリメントしたものを現在の方式で運行するというのが可能ということがわかりました。現在の方式を包含しているので、システムを使って路線バスをシミュレートすることができるため、間を通らなくてよいのです。ある日突然右側に行けるということがわかりましたので、これで世の中に普及するかなと思っています。



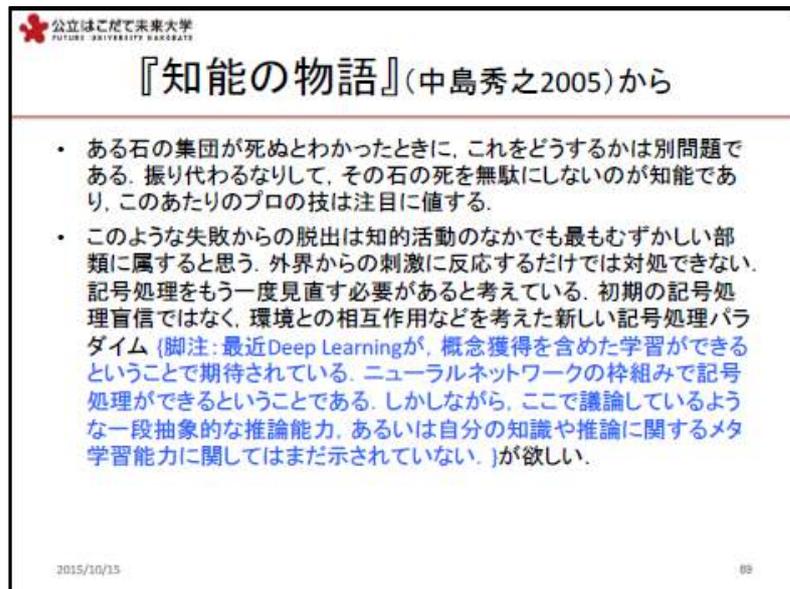
最近、Singularity の話題が盛んです。皆さんご存じだと思いますけど、ムーアの法則で計算機はどんどん速くなってきます。人間の能力をいつか追い越す形になるという、それは 2045 年とも言われています。この話は、人間の教育を忘れているだろうと思います。教育ということによって、人間もどんどん進化していくわけですから、そうすると多分追いつかないのではないかと考えています。



AI 研究の方向性を歴史的に見ると、「独立知能から環境の重視へ」という方向で、時代が変わってきたことと、「個から社会へ」というように変わってきています。この両者は、個人を重視するアメリカに対して、集団を重視することから見ても、実は日本の得意芸ではないかと思っています。マルチエージェントの研究で少しそれが現れていますが、そういうことでこれからの AI 研究は日本の出番ではないかと考えています。



次のスライドには、プランが失敗したときにそこから回復するというのをあまり今まで考えられていないということを書いています。



ディープラーニングは結構世の中でもはやされていますが、少なくとも2つ問題があります。過学習とだまされやすいことです。人間にも錯視というのがありますが、多分、ディープラーニングの場合は簡単にだませるようなパターンがほぼ機械的につくれます。それに対してトップダウン予測で、多分両者が解決できるということになります。

公立ほごでて未来大学
FUTURE UNIVERSITY HOKKAIDO

機械学習の問題点

- 過学習 (over fitting)
- 騙され易い
 - 誤認識に導くパターンが容易に作れる
 - 人間にも錯視はあるが...

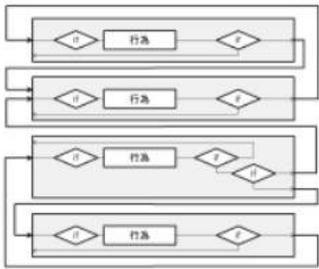
→ トップダウン予測で解決可能

2015/10/15 70

これも私の研究で、トップダウンでプログラムを切りかえた話ですが、これは飛ばします。

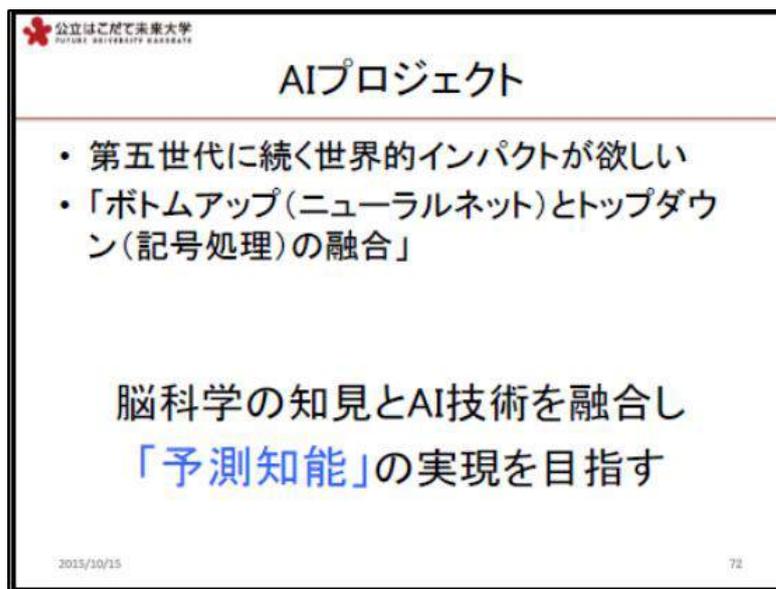
公立ほごでて未来大学
FUTURE UNIVERSITY HOKKAIDO

私の研究から



- 有機的プログラミング言語Gaealにおける環境の動的制御(環境との同調の切り替え)
- 行為の後の状況を予測してあらかじめ同調する

15/10/29 © H. Nakashima 71



基本的には脳科学の知見を入れて、シンボル処理と融合したデュアルネットワーク、そういうふうなことができるよいのではないかなと思います。人間の脳皮質というのは6層ありますが、ここでの情報処理は93%がトップダウンで、入力をボトムアップに処理するのが7%にすぎないという説もあります。かなりの部分がトップダウンで、いわゆる予測処理になるようです。そのようになっているので、トップダウンとボトムアップを融合した処理方式を目指したいと思っています。



Singularity に関係しますが、AI が発展すると、職業が奪われるのではないかという話がたくさんあります。職がなくなっても全体の生産性が上がって増えてくれば、それでいいと思っています。遊んで暮らせるのです。これから先は要するに社会のあり方の問題で、例えば資本主義ではないやり方とか、今や考えられるのではないかというふうに思っているところです。

公立ほこだて未来大学
FUTURES UNIVERSITY HOKKADATE

AIの応用

- 柔軟な組織運営(新しい会社や社会の形態)
 - 資本主義や民主主義のあり方も見直せるか?
- Intelligence Amplifier
 - 人間と分業
- AIものづくり
- 対話処理
 - (電話やホテルなどの)受付
 - 自動翻訳
- 自動運転
- 複雑系の処理
 - 部分の単純和ではないシステムの扱い

2015/10/15 74

2.6 NICT における知の発見と創造のための自然言語処理技術 (情報通信研究機構 橋本力)

NICT の橋本です。よろしくお願いいたします。

NICT における自然言語処理技術の紹介と今後の課題についてお話しさせていただきたいと思います。



NICT では最近 2 つのシステムを公開しました。一つは WISDOM X というシステムで、<http://wisdom-nict.jp> で一般公開しています。ぜひお試しください。これは要は、日本語で書かれた 40 億の Web ページに基づく、インターネット上の質問応答システムで、「何?」、「なぜ?」、「どうなる?」といった質問に Web ページの情報をもとにして答えます。質問は日本語で訊くことができます。今年の夏、異常気象が多かったので、例えば「異常気象の原因は何?」と聞くと、「地球温暖化」といった、答えにあたる単語を Web ページから抽出してきます。単語をクリックするとそれが抽出されてきたもとの文と、その URL が表示されます。さらに、WISDOM X が自動で提案している他の質問へのリンクをクリックするだけで関連する情報を深掘りすることができます。

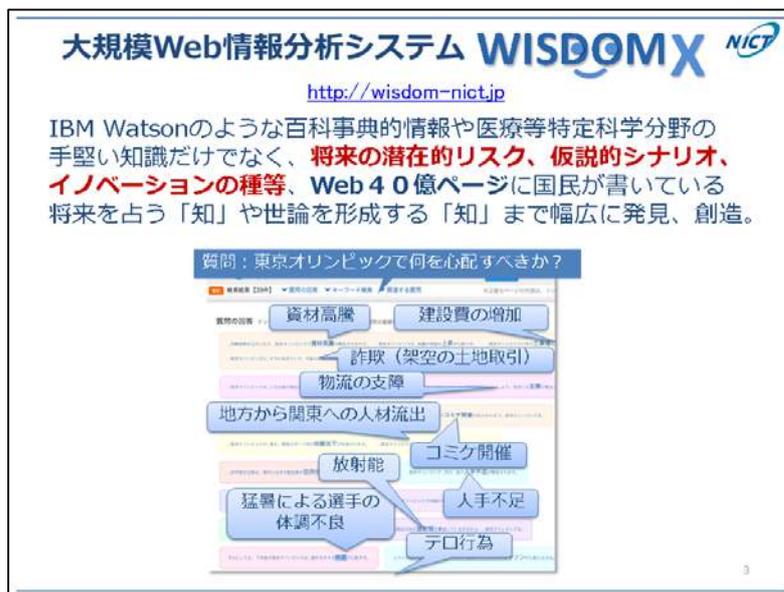
WISDOM X の特徴として、質問に答えるだけでなく、回答可能な質問を自ら提案するという技術があります。例えば「地球温暖化」という与えられたキーワードに対して、「地球温暖化を何が防ぐ」という質問が提案されるのでクリックしてみると、「鉄」、「森林」、「水素」のような、「えっ!？」と思うようなものも含めていろいろ出力されます。「なぜ鉄が地球温暖化を防ぐのか」と思われる方もおられるかもしれません。WISDOM X がさらに提案した質問の中に、「なぜ鉄が地球温暖化を防ぐのか」というのがあるのでクリックしてみると、その理由にあたる文章が Web から抜き出されてきます。「海では鉄が不足していますが、植物プランクトンには鉄分が必要です。鉄分を与えると植物プランクトンが CO₂ を吸収してくれて、その結果地球温暖化の防止につながります」という内容ですが、実際そうした内容の書籍があるようです。

他に例えば「地球温暖化が進むとどうなる」といった因果関係に関する質問を訊きますと、地球温暖化の帰結と思われる内容が書かれている Web 上の文を自動的に抽出してきます。その中に「海水温が上がる」というのがあり、さらに、「地球温暖化が進んで海水温が上がったらその後どうなるのか」という内容の質問をクリックして訊くことができます。その回答の中に「腸炎ビブリオ」に関するものがありますが、これは海の中にいる大腸菌で、「海水温が上がると腸炎ビブリオが増殖し、それが魚介類にくっついて、それを食べると食中毒になる人が出てくるのだ」といった内容が書かれています。こうした技術は、もともと別々の文書に書いてある因果関係を表す情報を芋づる式につないでいって、ある種の仮説と言える内容を合成するものと言えます。みなさんがネット上で言っていることを組み合わせていくと、こういう意外だがもっともらしい、価値ある情報が見つかることがあります。ちなみにこの仮説に関して言えば、われわれが研究中发现した後に、バルト海において同様の事象が起きていることがネイチャー系の学術雑誌で報告されています。

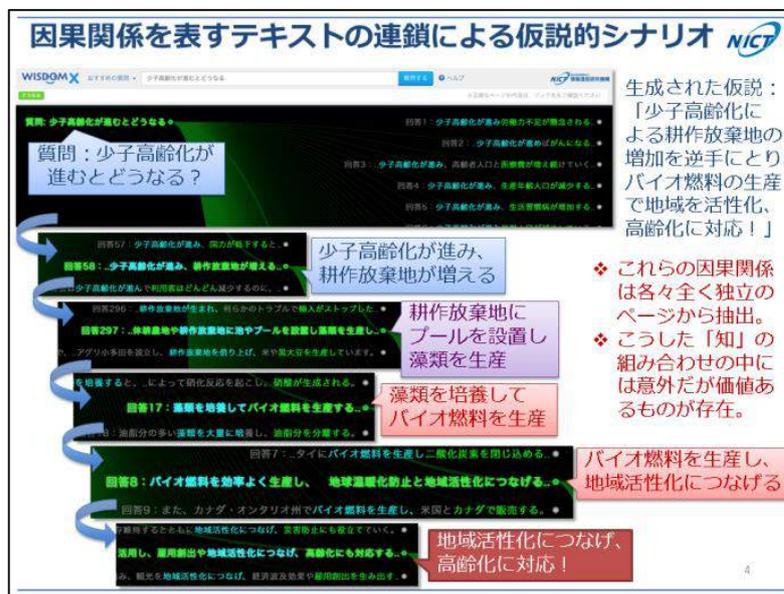


質問応答システムとしては他に IBM のワトソンらがありますが、WISDOM X でやろうとしていることは、将来のリスクや仮説的シナリオとか、イノベーションのヒントといった情報を幅広く提示し、多くのユーザーに気づきを与えることです。

これまでにお見せしたもの以外の例として、「東京オリンピックで何を心配すべきか?」という質問をしてみると、「資材高騰」、「建設費の増加」、「架空の土地取引」、「物流の支障」などといった回答がいろいろ出てきます。



WISDOM X が生成する仮説についてさらに例を挙げてみます。「少子高齢化が進むとどうなる？」と訊いてみると、その帰結の一つとして「耕作放棄地が増える」というのが見つかります。さらに「耕作放棄地が増えるとその後どうなる」という内容の質問をクリックしてみると、その回答の一つとして、「耕作放棄地にプールを設置して、藻を生産する」という話が出てきました。ある種の藻は、その体の中のオイルからバイオ燃料をつくることのできるらしいのですが、実際にさらにクリックして回答を芋づる式にたどっていくと、「その耕作放棄地で藻を育てて、バイオ燃料をつくる」という話が見えてきます。最終的に、「バイオ燃料を生産することで地域活性化になって高齢化に対応する」という仮説が出来上がります。つまり、「少子高齢化による耕作放棄地の増加を逆手にとって、バイオ燃料で地域活性化、少子高齢化に対応」といった、「えっ!？」と思うような仮説的シナリオを WISDOM X により創造することができます。



2つ目のシステムは DISAANA という名前の災害用の情報分析システムで、こちらも <http://disaana.jp> で一般公開中です。これは WISDOM X の技術に基づいて、災害時に役立つ知をリアルタイムで発見します。例えばこの前、台風 18 号で大雨が降りました。そのときのツイッターを分析した例をお見せします。「どこで救助を待っているか」と質問しますと、例えば「牛久」といった地名が 27 件出てきました。これらの地名は 94 件のツイートに書かれていたものです。こうした地名の情報は、元のツイートを参照したり、地図上にプロットした上で見ることができます。

このときのツイート群を単純に「救助」でキーワード検索すると、1 万 2,000 件以上が検索されます。この中から地名をひろいあげようとすると 1 万 2,000 件のツイートを読み込む必要があります。一方で DISAANA は、回答としてふさわしい地名にあたる単語をずばり出しているわけです。

DISAANA のリアルタイム性ですが、現状、100 台のサーバーで毎秒 1 万 5,000 ツイートを解析しつつ、同時に、400 件の質問に回答することが可能です。

対災害SNS情報分析システム DISAANA 

<http://disaana.jp>

WISDOM Xの技術に基づく、災害時に役立つ「知」をリアルタイムで発見する技術

台風18号による記録的豪雨時の
Twitterの分析例

質問：どこで救助を待っているか
回答種別：27件 (94 ツイート)
 実体験：4件、他マスコミ経由等





キーワード「救助」
 検索結果：12,800件

DISAANAの回答を
 キーワード検索だけで
 発見するには、膨大な
 書き込みを読まなくて
 はならない。

100台のサーバで、
 毎秒、15,000ツイートの
 分析と400質問への
 回答の並列実行が可能！

WISDOM X と DISAANA の主要要素技術としましては、テキスト間の同義や含意関係の認識、例えば「カジノができる」と「カジノが解禁される」は大体同じ意味だとか、「XをYに応用する」というのは、「XをYで用いる」を含意するといった、同義／含意関係の認識技術や、テキスト間の因果関係の認識技術などがあります。因果関係認識とは、例えば「地球温暖化が進み、海水温が上昇する」という文は、「地球温暖化が進む」が原因でその帰結が「海水温が上昇する」であるということを表している、ということ認識する技術です。「なぜ鉄が地球温暖化を防ぐのか」といった理由を問う質問への回答もある種の因果関係認識技術に基づきます。

また、先ほど仮説生成に関してお見せした技術ですが、因果関係をテキストの意味に基づいて柔軟にマッチさせて、芋づる式に連鎖させ、未来に関するある種の仮説を自動生成する、という技術も開発しました。

要素技術の例 NICT

テキスト間の同義／含意関係認識

- > 「カジノができる」 ≡ 「カジノが解禁される」
- > 「XをYに応用する」 entails 「XをYで用いる」

テキスト間の因果関係認識

- > 「地球温暖化が進み、海水温が上昇する」
- > 質問：「なぜ鉄が地球温暖化を防ぐのか？」
- 回答：「植物プランクトンの肥料となる鉄が海中では不足しており、鉄を与えることで植物プランクトンが大量の二酸化炭素を吸収するようになるから。」

因果関係を表すテキストの連鎖による仮説生成

少子化高齢化が進み、耕作放棄地が増える

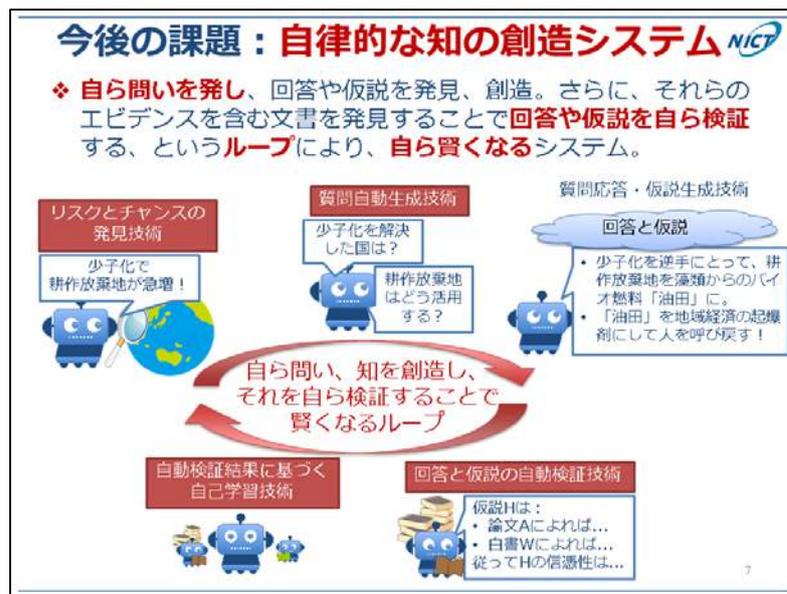
耕作放棄地にプールを設置し、藻類を生産

藻類を培養して、バイオ燃料を生産

バイオ燃料を生産して、地域活性化に...

最後に、今後の課題ですが、われわれは「自律的な知の創造システム」というものを構想しています。IBM のワトソンのように人間が与えた質問に対して望ましい回答を出力するだけでなく、自ら問いを発する能力、何がわかっていないのかをわかる、何をわかるべきなのかをわかる能力を機械に持たせることが今後重要になると考えています。現状のWISDOM Xには既に、与えられたキーワードに関連する回答可能な質問をユーザーに提示する技術がありますが、そうしたものを出発点として「自ら問いを発する技術」を開発、発展させていくことが可能だと考えています。自ら問いを発するだけでなく、自分で回答や仮説を発見、創造することも重要です。回答や仮説の発見、創造は既にお見せしました通り、WISDOM X でかなりのレベルまで技術開発が進んでいます。それだけでなく、さらには、自ら出した回答や仮説を自力で検証する技術を開発します。例えば、回答や仮説のエビデンスを含んでいそうな文章を発見することによって、「この仮説はこの程度もっともらしい」ということを認識する。そうした検証結果に基づいて、最終的には自分自身を自力で賢くする。例えば「□□技術に基づくこの推論機構は時々間違ふようだが、○○

技術に基づくこっちの推論機構は大抵の場合うまくいくようだ。」とか「△△というタイプの知識と**というタイプの知識をこうこうこういう具合に組み合わせると、過去のどの文献にも類似したものが見つからないが、それでいてもっともらしい仮説を大量に生成できそうだ。」といった具合に自らを賢くする。そういう、「自ら問い、知を創造し、それを自ら検証することで賢くなるループ」を実現するシステムを構想しています。



(質疑応答ならびに討論)

Q：WISDOM X のほうで、テキストを構造化データにすることは一切されてないのですか。

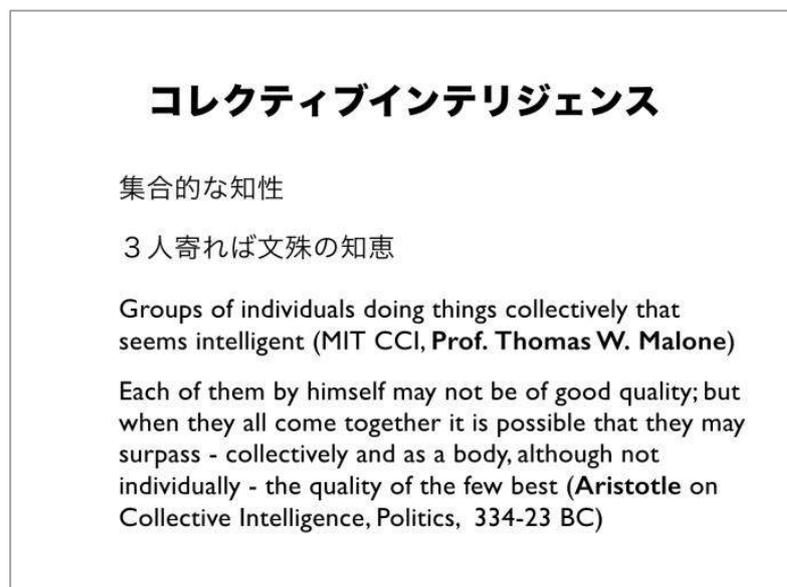
A：もちろん構造化しています。膨大なテキストを意味的に深く自動解析し、その結果に基づいてインデキシングしたものをデータベースとして持っています。そうしたデータベースに基づいて質問に回答したり、仮説を生成したりします。もちろん言葉の意味は漠然とした部分、曖昧模糊とした部分が常にあり、100%正確に機械処理するのは困難です。ですので、言葉をより正確に解析、構造化するための技術、あるいは、言葉の意味をゆるく捉えたままでうまく機械処理するための技術をわれわれ自然言語処理研究者は日々研究しています。

2.7 コレクティブインテリジェンス（名古屋工業大学 伊藤孝行）

今日は私が今注目しているテーマであるコレクティブインテリジェンスについてお話します。



コレクティブインテリジェンスというのは定義をしますと、中島先生のお話と少し通じるとは思いますけれども、集合的な知性というものです。これはアリストテレスの時代から議論されているのですが、実はまだそれほど正確なことは分かっていません。



いろいろな生物が群れとして行動して、collective な intelligence を持ち、全体としては intelligence を感じるものがあります。いろいろな生物が群れで生きていて、個々には

全体は知らないんだけど、個々に意思決定をしていて、全体の動きは知っていないんだけど、全体としては追加的に *intelligence* を発揮する。それで生き残っているということが言えると思います。

- 個々に動いているだけ
- 全体の動きを知っている個体はいない
- 群としての機能が進化において優位であった

一方、最近の人間のほうを見ると、SNS とか、スマホとかインターネットが普及しまして常時接続されています。一方のコンピューターはすごいコンピューターパワーを持っています。そうすると人間も群れとしてうまく生き残っていくと良いのではないかということです。

**人間の Collective Intelligence はどうなのか？
SNS, スマホ, インターネットの普及**

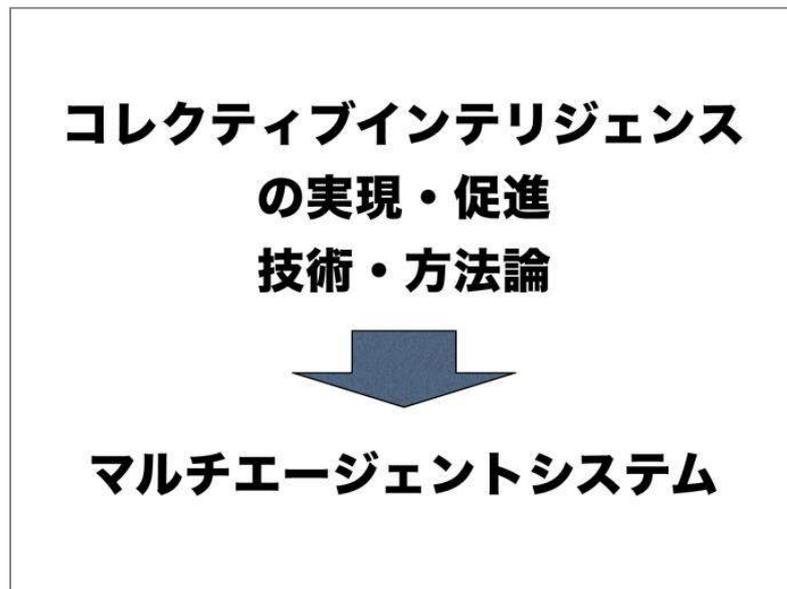
その予兆を幾つか紹介しますと、日本では集合知と言われるのですが、私はコレクティブインテリジェンスというともう少し大きな範囲を示すと思うのですが、Web2.0 という言い方やソーシャルメディアという言い方もあります。そのはじまりが、例えばオー

プンストリートマップとかウィキペディアとか、グーグルも個々にホームページは勝手に作っていますが、全体としては群れとして見ると、グーグルの検索を通じて人類に多大な知識を与えています。



実はわれわれは、私はマルチエージェントシステムというのをやっております、マルチエージェントシステムというのは、簡単に言いますと、人工知能というと人間一人の一つの知能の計算モデルと学習、記憶、推論みたいなものを研究するものですが、マルチエージェントシステムというともう少し複数いる、社会の知能とかグループの知能というのを対象とします。まさにコレクティブインテリジェンスを中心、コア技術として、こういった人類のコレクティブインテリジェンスを実現・促進していく方法論、技術というのがマルチエージェントであって、これまで議論されてきた技術であると思っています。





マルチエージェントシステムをあえて定義すると複数の知的な主体が、共通または分散された問題を解くためのシステム、またシミュレーターです。特徴としては、社会を対象にするので非集中型であり、個々に個人合理性を持ち、それぞれがそれなりに個人的にプライバシーを持って動いています。こういった状況、こういったものを相手にして、これらをどうやって管理というかハーネスしていく、うまく導いていくというところが基本的には大事なところですよ。

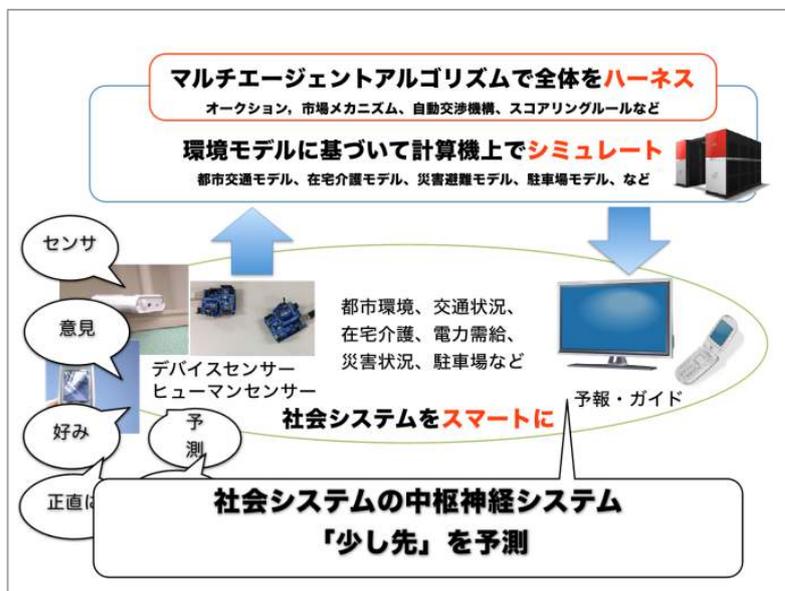
マルチエージェントシステム？

- ・ 問題を表現・解決するための考え方
 - ・ 『複数の知的な主体（エージェント）が、共通（または分散された）問題を解く／解くためのシステム、またはそのシミュレータ』
- ・ 特徴
 - ・ 非集中型
 - ・ 個人的合理性を持つエージェント
 - ・ プライバシー
 - ・ 経済学的アプローチ，工学的アプローチ
 - ・ どうやってハーネス (Harness) するか？



それに基づいて、全体としては社会からいろいろな状況をセンシングして、それをマルチエージェントのアルゴリズムでうまくハーネスしながら、シミュレートして少し先を予測します。それによって予報とかガイドを与えてあげることによって実社会をよりスマートにするという究極的な目標に向かっていろいろなプロジェクトで、1個1個テーマを上げて

取り組んでいます。基本的にマルチエージェントのアルゴリズムに関しては計算論的メカニズムデザイン、自動交渉機構などがあります。後でお話しますが大規模合意形成支援というのは今回の CREST で採択していただきました。



- ### 現在の主なテーマ
- ・ 計算論的メカニズムデザイン (ハーバード, サザンプトン, その他)
 - ・ 自動交渉機構 (スペイン, オーストラリア, MIT, オランダ, その他)
 - ・ 大規模合意形成支援 (JST CREST, 各種協力機関団体多数)
 - ・ アレルギー対応給食管理システム (NPOアレルギー支援ネットワーク, 静岡県袋井市)
 - ・ 実フィールド大規模センシングシステム (国土交通省)
 - ・ インセンティブに基づくSNSシステム (国土交通省)
 - ・ フィールド・コレクティブインテリジェンス (富士 Xerox)
 - ・ スコアリングルールによる電力需要の調整 (NEC, 電気分野)
 - ・ 次世代交通管理システム (NICT, スペイン, 名鉄協商)
- | | | |
|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・ グリーンコンピューティング ・ スマートグリッド最適化 ・ スコアリングルール ・ メカニズムデザイン ・ オークション理論 ・ エージェント交渉 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 交渉エージェント国際競技会 (ANAC) ・ 情報フィルタリング ・ 駐車場オークション ・ スケジュール支援システム ・ 交通シミュレーション ・ オープンストリートマップ | <ul style="list-style-type: none"> ・ コレクティブインテリジェンス ・ 電力マーケット ・ 分散市場プログラミング ・ センサーシステム ・ 評判システム ・ 教育支援システム ・ 敬語学習支援システム |
|--|--|--|

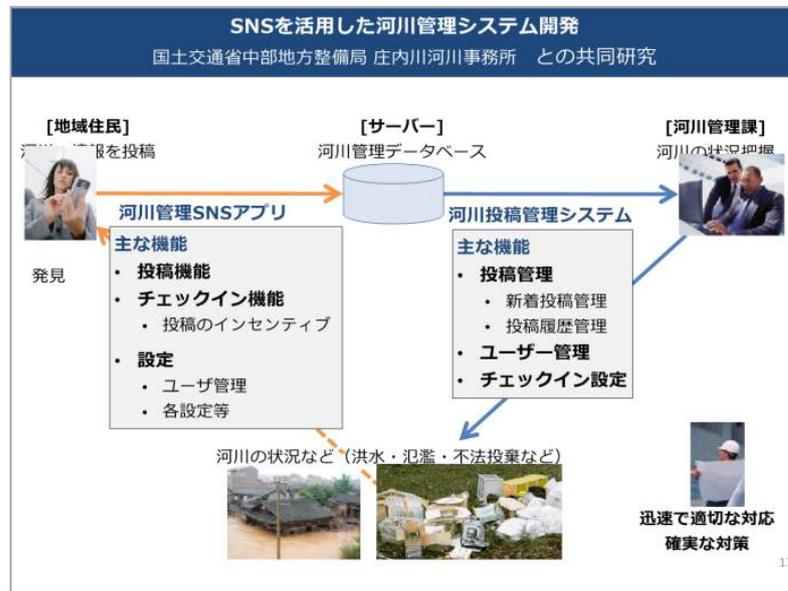
特に、現場に行って具体的に要求を聞かないとちゃんとしたことはできないだろうということで、現場に行くとやるということ、いくつかやっております。例えばこのようなアイデアで今までやったのが、内閣府の最先端・次世代研究開発プロジェクトというので、スマートシティ、例えば電力システムとか、交通渋滞とかいったものを、市場メカニズムとか、マッチングメカニズムといったもので最適化してあげるということをやったりしました。ほかには、今私がやっている自動交渉機構などのいろいろな交渉手法を使って渋滞緩和ができるような仕組みをシミュレーション上ではありますが実装しています。



マルチエージェントの自動交渉機構

- ソフトウェアによる代理交渉・協調による交渉
/ 意思決定支援
- 複雑な効用空間を仮定
 - 多属性効用空間
 - 属性間の依存
 - さまざまな価値・効用空間を定義できる
- 課題
 - プライバシー
 - ナッシュ解が定義できない
 - 計算量的に大変難しい交渉問題
 - スケーラビリティの問題
- MIT Sloan Schoolとの協力テーマ
- 各種論文誌、難関国際会議 (AAAI06, AAMAS06-09, IJCAI07, IJCAI09, AI Journal, AI Magazine) などに採択
- 国際競技会ANACを毎年開催
- 多数の既存研究を世界的にリードしている

ほかにも国土交通省とさまざまな防災のアプリケーションに実際に使ってみたり、センサーシステムを実際に、洪水時に使う過般型のセンサーネットワークというのをつくって、それをクラウドでみてもらうということをやっています。こうしたところに少しでもマルチエージェントの概念、技術というのを使っていきたいと考えており、まずは現場の要求を見て、それに対してきちんとしたシステムを入れている状況です。そこに少しでも、マルチエージェントの技術や知的情報処理の技術を応用できれば、社会的にもとても意味があると思います。



河川管理SNSアプリ：トップ画面

機能一覧

- チェックイン表示
- 投稿
 - 投稿画面を表示する
- 現在位置表示
 - 地図を現在位置に移動
- ホーム（地図表示）
 - ホーム画面(地図)に戻る
- 設定
 - ユーザーの設定・編集
 - ユーザー新規登録
 - ユーザー投稿一覧表示
 - 自動チェックイン設定
 - ポイントランキング

実フィールド大規模センシングシステム

国土交通省中部地方整備局河川部との共同研究

開発目標

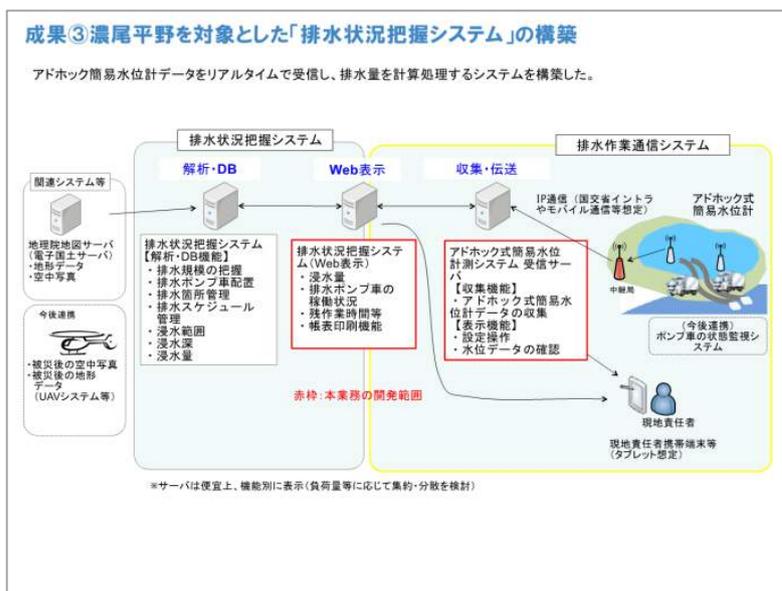
最大クラスの地震・津波及び計画規模を上回る高潮・洪水による広域浸水被害発生時において、排水ポンプ車に搭載可能な移動式アドホック水位計を用い、災害対策官サーバへデータ(位置情報・浸水深)を通信し、排水量・排水作業期間を計算処理後、その情報をTEC-FORCE隊員・現地責任者の携帯端末等に通信し閲覧可能なシステムの開発を行う。

アドホック型
通信機器

水位計

活用イメージ：現場に水位計を設置し排水状況を把握する





ほかの例としては、アレルギー対応の給食システムというのがまだないので、ここをやりましょうというので、学校給食におけるアレルギー対応給食作成支援システムの開発というのをやっています。ここにも何か知的な技術が応用できると思っています。

学校給食における アレルギー対応給食作成支援システムの開発

アレルギーエージェント

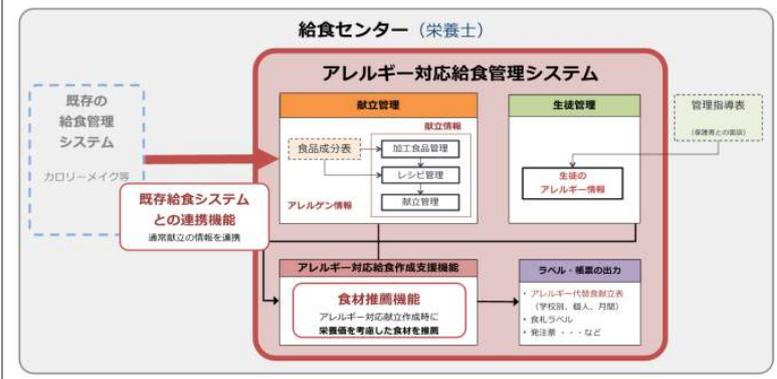
給食センターでの、アレルギー対応給食管理システムの開発

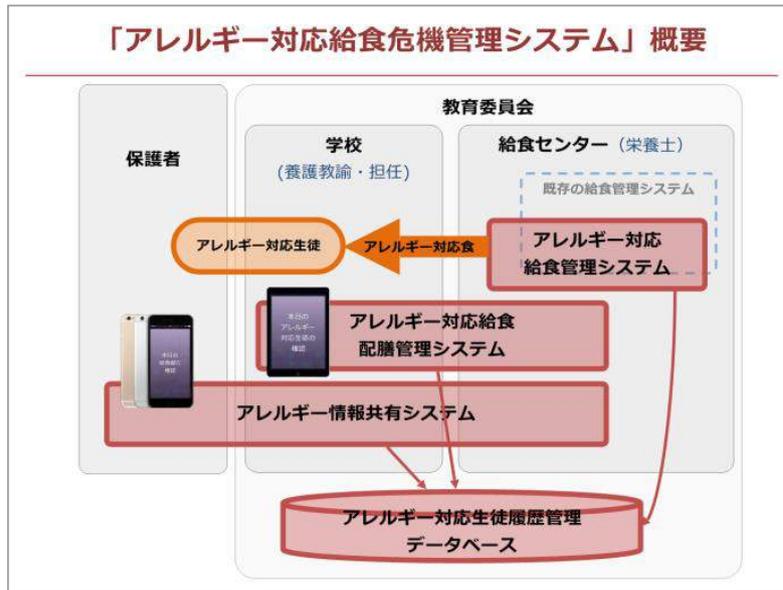
The screenshot displays the 'アレルギーエージェント' (Allergy Agent) system interface. It includes a main menu with 'アレルギー対応給食管理システム' (Allergy Corresponding Food Management System) and 'ことごとちの笑顔のために' (For everyone's smile). The interface shows several data tables and charts, such as 'アレルギー対応メニュー' (Allergy Corresponding Menu) and 'アレルギー対応メニューの管理' (Management of Allergy Corresponding Menu). There are also sections for 'アレルギー対応メニューの作成' (Creation of Allergy Corresponding Menu) and 'アレルギー対応メニューの印刷' (Printing of Allergy Corresponding Menu).

アレルギー対応給食管理システム：概要

- ・ **アレルギー対応給食管理システム**
 - 栄養士のアレルギー対応献立を支援するシステム
 - **アレルギー対応給食作成支援機能： 対応献立食材推薦機能**
 - **既存給食システムとの連携機能**： 本システムの導入を容易にする
 - アレルギー対応生徒管理、通常献立管理、帳票出力など

システム開発
Webシステムとして実装
Ruby on Rails
MySQL, Nginx





伊藤研究室：料理・栄養研究プロジェクト

料理・栄養関連の研究プロジェクト

- 目的志向料理推薦システム (2010: 岩上)
- 栄養情報に基づく料理推薦システム (2011: 植田)
- 食べ合わせを考慮した料理推薦システム (2012: 高橋)
- 栄養素自動計算システム (2012: 植田)
- 栄養量を考慮した献立表推薦システム (2012: 西川)
- アレルギー対応給食管理システム (2014: 西川)

近年、アレルギー問題に着目 研究成果をアレルギー問題に貢献



食物アレルギーの背景と目的

食物アレルギー問題

- ・ 近年、食物アレルギーを持つ生徒が増加する傾向にある
※1 今後の学校給食における食物アレルギー対応について最終報告; 文部科学省
- ・ 重度アレルギーの場合、死に至るケースもある
※2 平成24年12月20日 横浜市内の小学校のケースなど

食物アレルギーとは：
 食物抗原に対する過剰な免疫反応によって引き起こされる疾患【※3】

学校給食における現状の問題点：

- ・ 給食センター（栄養士）
 - アレルギー対応代替献立作成 → 栄養士の負担増大 → 人為的ミスに繋がる
- ・ 重度の食物アレルギーを持つ生徒の保護者
 - 毎月、献立の確認を行う（アレルギー名、食材） → 学校での対応不十分 → 手作業・負担増大
- ・ 学校（担任、養護教諭）
 - アレルギー対応給食の配膳のルールはあるが → 確認漏れ、過信 → 2重3重のチェックが必要

様々な問題を抱えており、充分に対応できていない。重大な事故に繋がる可能性がある
 保護者、学校、給食センターがアレルギー情報を共有可能な、アレルギー対応の総合環境の構築が必要

目的：給食センターの栄養士の業務に着目し、栄養士の負担軽減

アレルギー対応給食管理システムを開発
 アレルギー対応献立作成時のための代替献立の食材提案機能

※1 今後の学校給食における食物アレルギー対応について最終報告; 文部科学省, http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/icsfiles/afedfile/2014/03/27/1345963_2.pdf
 ※2 横浜市立学校児童及び専任職員経験報告書; 横浜市立学校児童及び専任職員委員会, <http://www.city.yokohama.jp/www/contents/1363069358235/files/kensyuu.pdf>
 ※3 基本用語、学校・保育所における食物アレルギー対応の進展と今後の社会的対応のあり方社会医学研究42: 13-20, 2015

共同研究先：袋井市中部学校給食センター

- 日本有数の大規模な給食センター
- アレルギー対応**に力を入れている
- 特定のアレルゲンを含む献立の場合、**代替献立を調理**



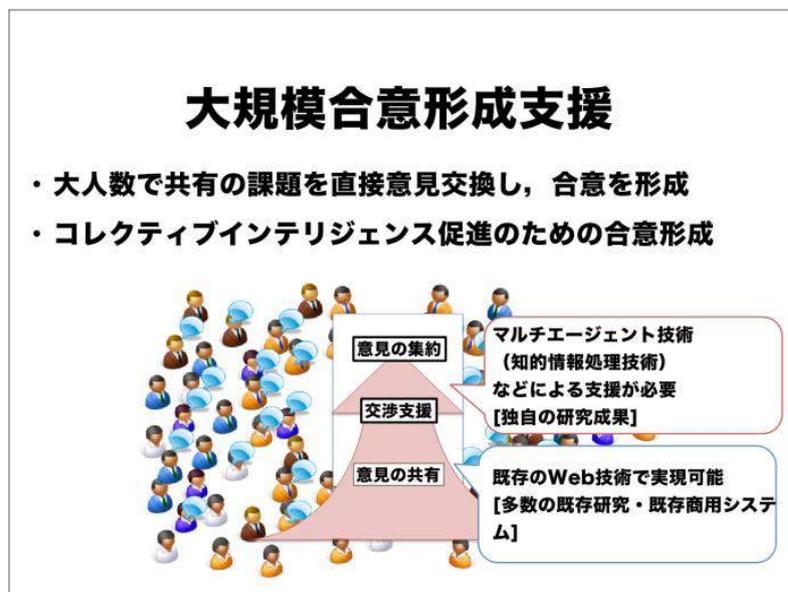
袋井市立中部学校給食センター



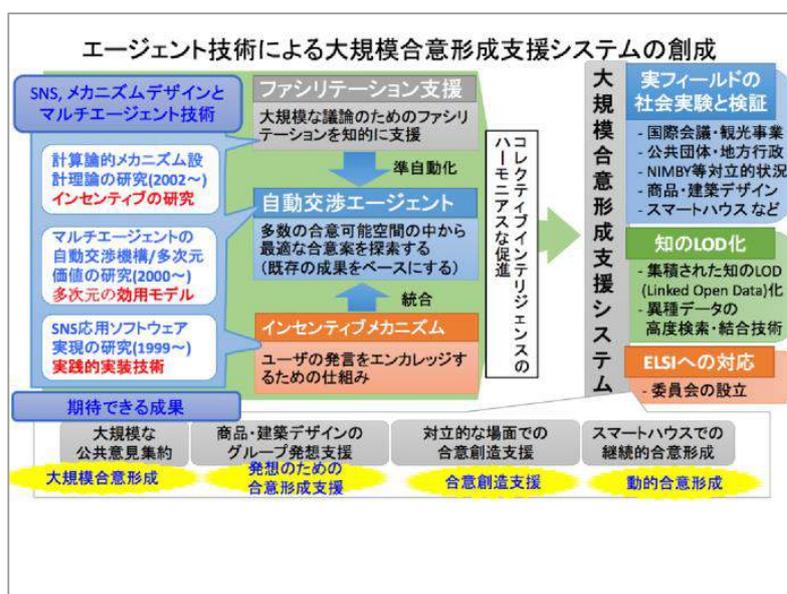
代替献立(左)と通常レシピ(右)
(たまごの代わりにコーン)



それから、大規模な合意形成支援ですけれども、今、意見というのはSNSとかツイッターみたいなものを使うと共有できるんだけど、合意形成まで持っていくことができていません。そういったところにマルチエージェント技術や知的情報処理技術を使いましょうということを考えています。



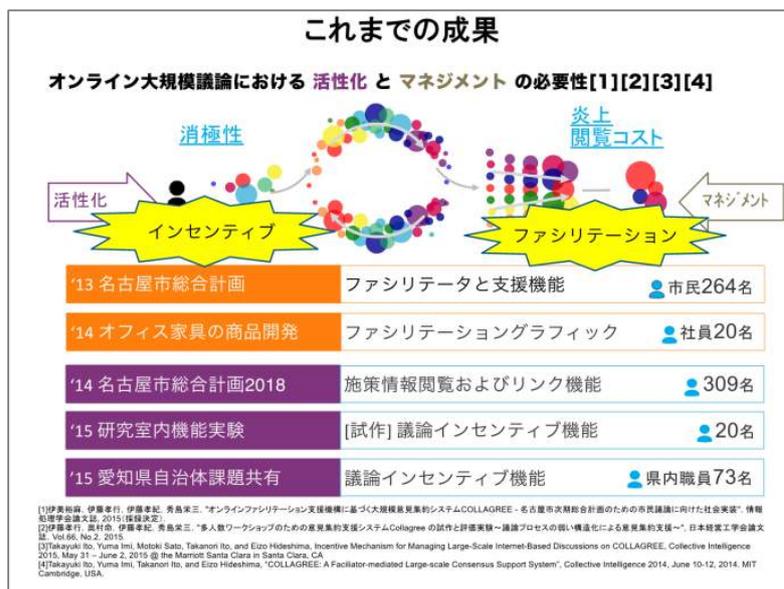
例えばオンラインでの大規模な意見集約では、ファシリテーションが大事なことがわかっていますので、何らかの方法でファシリテーション、知的な議論の支援を行います。あとインセンティブメカニズムによって、何も言わない人の参加者のインセンティブをつけて、大規模な合意形成システムをつくらうと考えています。いろいろな合意形成にも、①すごい規模が大きい合意形成とか、②新しく合意するために、商品デザインみたいなところでは新しいものを発想していかないといけないので、そういった発想をした上での合意形成とか、③全く対立している、合意ができるのかどうかもわからないようなところで、合意できるかできないかというところを考えてあげるような合意形成支援とか、あと④経時的に合意をしていく、合意をずっと続けていく、例えば妻と私と、そういうような家の中でも合意形成をちゃんとしていくことを考えています。



大規模な合意形成に関して、これは公的な意見集約ということで、名古屋市と3年前に実際にプロジェクトをやりまして、これは名古屋市の河村市長と一緒にやったりしました。そのほかに名古屋市中、名古屋市の次期総合計画というのを、こうしたWeb上の議論システムで議論してもらって、議論してもらって意見を集めるということをしました。



その際に問題が2つあって、炎上が起こりやすいでしょうということと、誰も意見を出してくれないでしょうというのがありますので、ここで炎上を防いだりするためにファシリテーション、人間によるファシリテーターを実際にオンラインのディスカッションでやりました。ただ、ファシリテーターもオンラインで、多人数の意見を聞くというのはまだ経験がなくて、少しそういった人間のファシリテーターの支援機構をつけましょうというのをやりました。



大規模合意形成支援システム



ウェブで1万人合意形成

都市基盤計画分野，人間空間分野との共同研究



**観光の活性化
ウェブで議論**

参加1万人目指す

扱う問題

規模	200人以上
対象	名古屋の一般市民，町協，学生
内容	名古屋の次期総合計画
目的	一般市民の意見を収集し、 プライオリティ決定に役立てる

33



あとインセンティブというので、インセンティブメカニズムというのが考え方としてあるんですけども、よく発言してくれたとか、ある投稿がうまく評価されたというような場合にはポイントを与えましょうという仕組みをつくって、インセンティブ機能というのをつくって、議論を活性化することをやりました。今は、もっと他にもやっているのですが、ここでは特徴的な5つを示しています。



システムの概要としては 70 億人の合意形成とありますけれども、最終的にはそういったということなのです。

一般の人に使ってもらいやすくするために、フェイスブックに似た形にしましょうということをしました。例えばそのファシリテーターが投稿する場合には、ファシリテーターが投稿したよとわかりやすくする。あと投稿された内容がポジティブか、ネガティブか、賛成、反対でもいいんですけれども、どっちに偏っているかということを自動判別したり、簡単な技術なんですけれども、ファシリテーションフレーズを実際のファシリテーターと一緒にまとめまして、使いやすいファシリテーションの言葉を提示しています。あとキーワードクラウドを作ったり、タブ機能なんかもあるんですけど。

いろいろ話題がまとまりがなかったかもしれませんが、大事なのはマルチエージェントシステムという概念や技術を使って、大規模合意形成やインセンティブデザインなどを用いた社会実装を現場に出て行い、これをまとめてコレクティブインテリジェンスを促進していくというのが大事ななというふうに思います。

まとめ

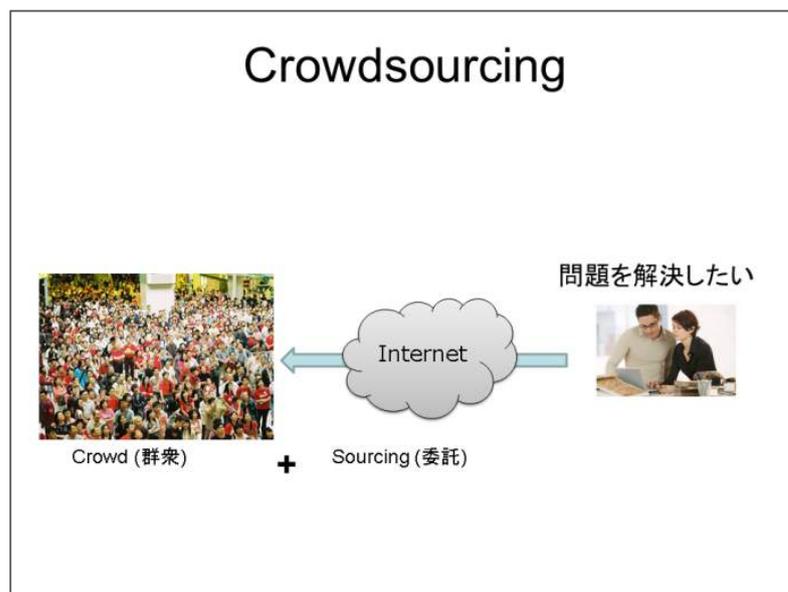
- ・コレクティブインテリジェンス
 - マルチエージェントシステム
 - 大規模合意形成
 - インセンティブデザイン
- ・組織としてグループとして生き残る
 - コレクティブインテリジェンスの促進
 - 群衆をどうハーネスするか？
- インセンティブの概念・情報技術の活用
- ・人類全体の「合意」とは

2.8 クラウドソーシングと知のアクチュエーション（筑波大学 森嶋厚行）

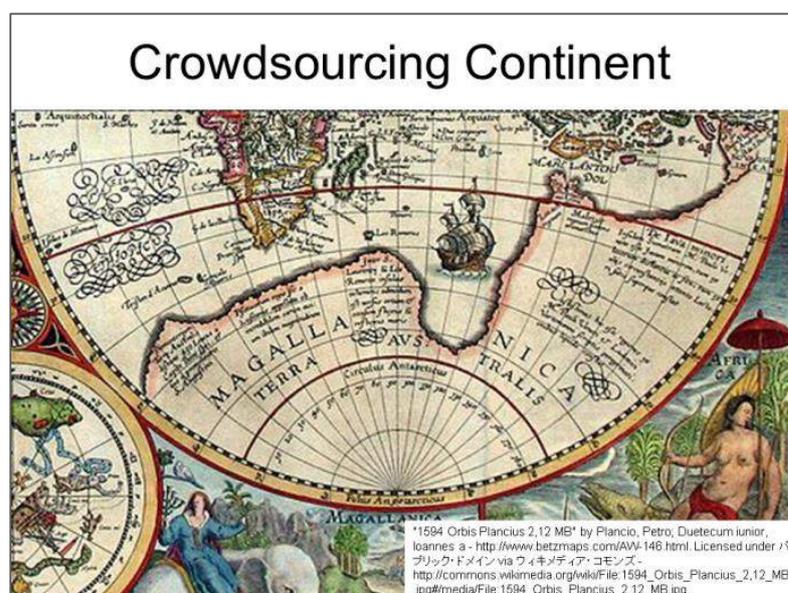
筑波大の森嶋と申します。このような場にお呼びいただきましてありがとうございます。私はクラウドソーシングと知のアクチュエーションということでお話しさせていただきたいと思います。今までの皆さんの話を聞いて、皆さん、知や知能をどうつくり出すかという、ある程度目的のある話をされていたのですが、クラウドソーシングというのはどちらかというと手段の話でして、皆さんのご期待に添えるかどうか分かりませんが、私のやっていることを簡単に説明をさせていただきたいと思います。



クラウドソーシングというのは、皆さんご存じのように、たくさんの方々に仕事を委託してやっていただくという、そういうものです。昔はこういうことをするのは非常にコストがかかったのですが、インターネットができたことによって非常に低コストでできるようになったということで、いろいろ注目を集めています。



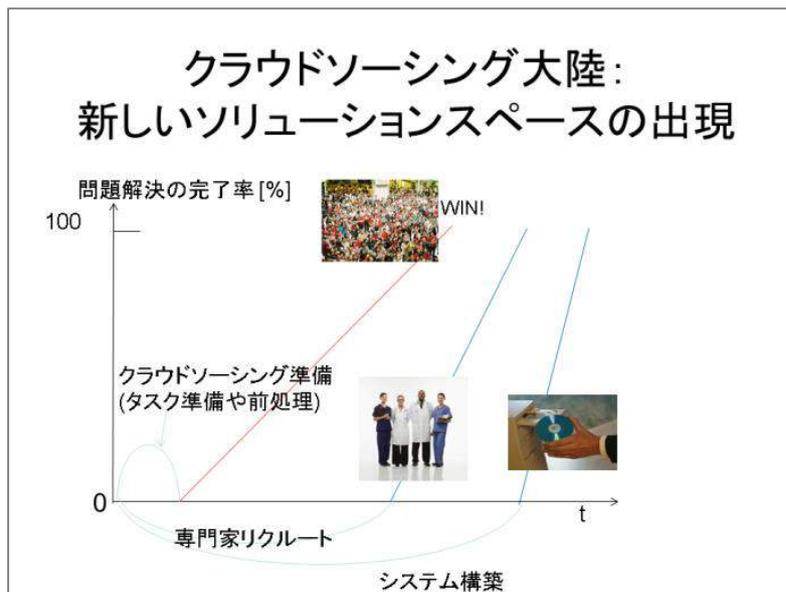
そのインパクトをあらわす言葉を、私はクラウドソーシング大陸と言っています。どうということかという、今まで皆さんがこういう手段があると思っていた以外の手段が出てきて、実はそれを使えばいいケースがあるということをお皆さん発見したということですね。つまり、今までは一生懸命システムをつくって、それを使って一気にやってしまうという手段か、もしくは専門家をリクルートして、お金を払ってやってもらうという選択肢が主な選択肢だとすると、そうじゃなくて、問題をばらばらにして、たくさんの人に渡してしまえば、実はトータルコストで早い可能性が意外とあるなということに皆さんが気づいたというのが一つのインパクトであると思います。



これが日本で明らかになりましたのは、東日本大震災のときでございまして、あのときクラウドソーシングという言葉は使われておりませんが、多くのクラウドソーシングシステムがつけられました。それはたくさんの人々に情報を集めていただいたりとか、たくさ

んの人々に情報を整理していただくということが非常に実は有効なアプローチであるということがわかったということです。

もう一つ、今まで説明していたのは新しいソリューションスペースの話ですけれども、人間が絡んでいるので、新しい社会のデザインスペースがあらわれる可能性があります。例えば新しい働き方のマイクロボランティアとか、あと今の伊藤先生と関係するかもしれませんが、新しい政治とか行政のスタイルとかにも絡んでくるかもしれません。



そこで私が何をやっているかということ、私は 2009 年から FusionCOMP プロジェクトということで、人と計算機の知の融合のためのソフトウェア工学ということを始めまして、2011 年から Crowd4U クラウドソーシングプラットフォームというのを開発、運用しています。これはどのようなものかということ、基本的には研究者と問題を抱えている皆さん

が Crowd4U というサービス、仕事を登録していただく。そうすると非常に小さな仕事をたくさんばらまくという、そういうシステムであります。

What I am doing

- 2009年～ FusionCOMPプロジェクト: 人と計算機の知の融合のためのソフトウェア工学
- 2011年～ **Crowd4U**クラウドソーシングプラットフォームを運用

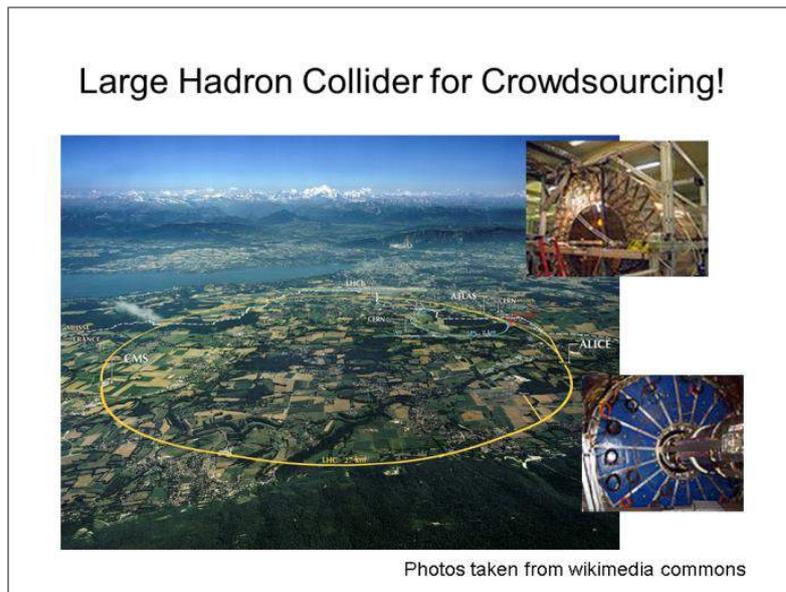


これは一番有名なのはアマゾンメカニカルタークというものが有名でして、基本的にそれと似たようなシステムだと思っていただいてもいいんですけども、私の当時からの主張は大学というか、アカデミアで持つべきだというのが主張でして、みんなで作くりませんかということで提案させていただいています。これは物理とかそういう世界ではそういうことは結構普通で、みんなですごい実験をやるということなんですが、これと似たようなことをクラウドソーシングでやろうとしているわけです。

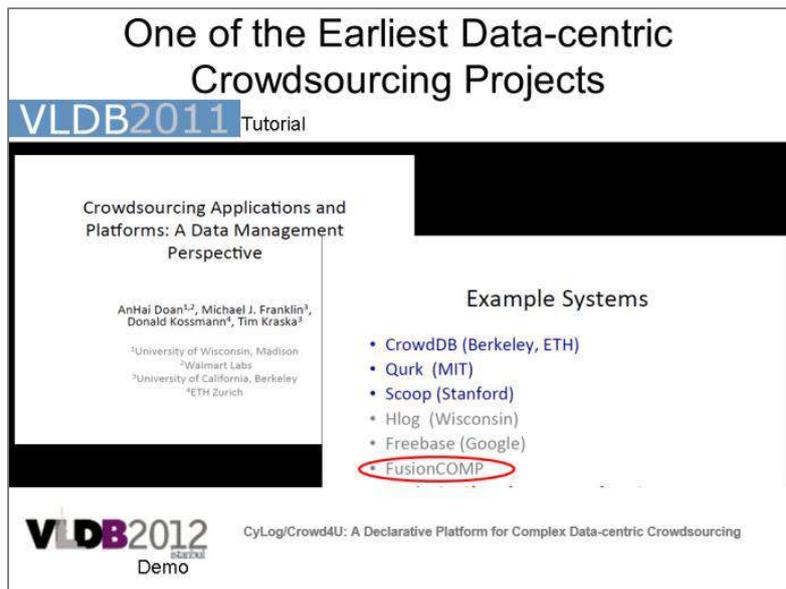
Why Academia Should Own Their Crowdsourcing Platform

- 非営利・学術・公益での利用
- アカデミアによるエンジンコードへのアクセスと自由な開発
- クラウドソーシング等に関する研究成果の実験プラットフォームとして利用





データベース的な分野でクラウドソーシングプロジェクト、これは非常に初期のもので、VLDB2011年のTutorialでFusionCOMPが紹介されています。

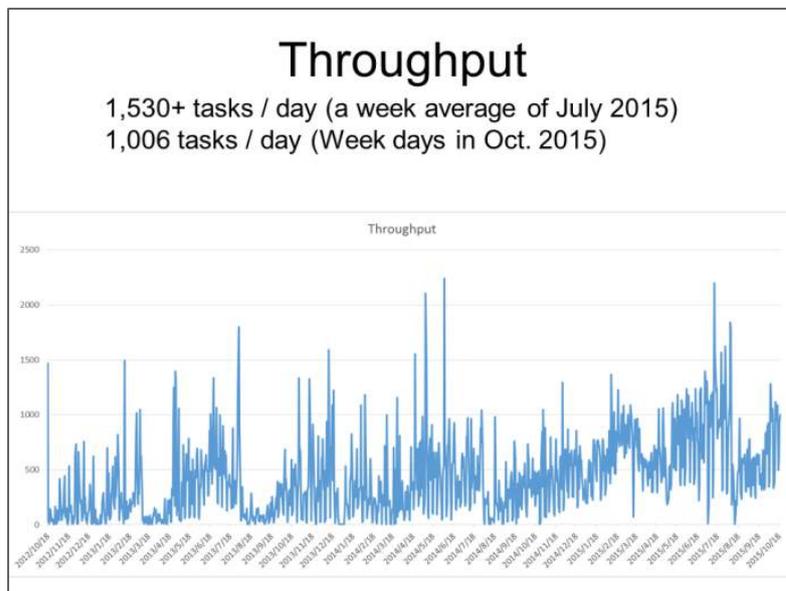


幾つかStatisticsを紹介します。現在動いているプロジェクトは7つで、登録されているタスクが8万3,693。登録者が724名しかいないんですけども、実は登録しなくてもタスクができるシステムでして、後で説明します。それで最近はこの10月で大体平日平均1,000を超えるという感じになっており、多いときには1,500ぐらいが週の平均でやられています。

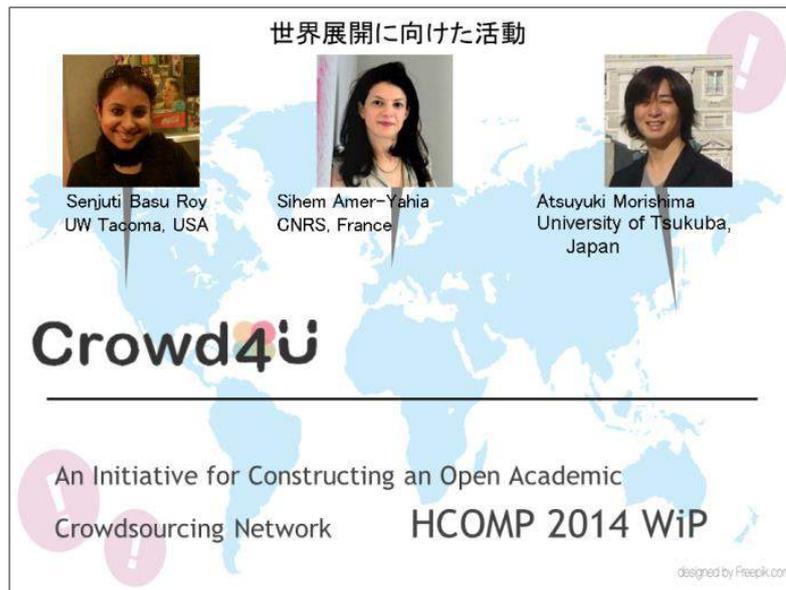
Some Statistics on Crowd4U as of Oct. 2015

#Current Projects	7
#Registered Tasks	83,693
#Registered Contributors	724
#Average Throughput	1,006 Tasks/day*

* Weekdays of Oct. 2015



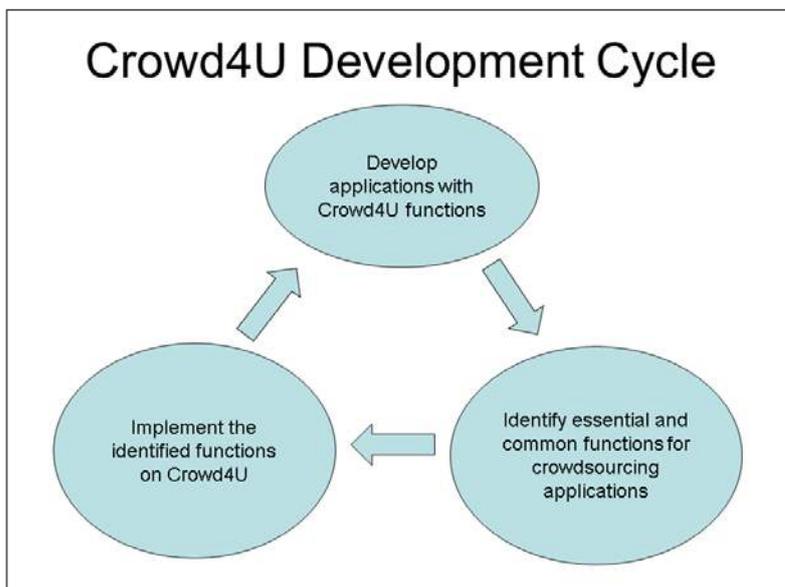
私個人でやっても余りおもしろくないので、皆さんでやりましょうということで活動させていただきまして、カウンターパーソンがいろいろなところにいらっしゃいます。それから賛同していただいて、この Crowd4U でプロジェクトをやっている協力研究者が 30 大学、組織の方がいらっしゃいまして、赤字は海外からということで少しずつ海外からやっている。



それから登録されているコントリビューターに関しては、現在トータルで2割ぐらいが海外ですが、この6月以降、実は40%が海外からということで、国内外からの登録者を集めていることになっています。現在、登録者は国は38カ国ということになっています。Crowd4UのDevelopment Cycleというのを私言ってるんですけども、まずCrowd4Uでクラウドソーシングのために必要な機能を一生懸命開発して、それを使って、実際の本気のクラウドソーシングアプリケーションをやる。そのアプリケーションをやっているうちに、実はこういう機能がクラウドソーシングについて本質的にあるということがわかってきますので、それを見つけて、またそれを追加して、それをまた次のクラウドソーシングプロジェクトに生かすということで、徐々におもしろいクラウドソーシングプロジェクトが早くできるということで進めています。

Breakdown of Registered Contributors (As of Oct. 20, 2015)

- 140/724 = 19% of contributors are from outside of Japan
- After June this year, 28/70 = 40% are from outside of Japan



クラウドソーシングプロジェクトを動いているもの全部は紹介できないので、少しだけ紹介します。一つは国立国会図書館とやっているプロジェクトでして、書誌データのクリーニングをやっておりました。これは僕も詳細はわからないのですが、書誌情報というのは実際には余りきれいじゃないということで、それは人間じゃないとできないということでやらせていただいています。あと最近では、近代デジタルライブラリという国立国会図書館の情報をテキスト化するというプロジェクトにも参加しています。



災害の分野で、自然災害が起きたときに、災害がどういうことが起こったのかというのをできるだけ早く知りたいというのはなかなかわからないので、できるだけ災害が終わった直後に状況を把握したいということで、そういうプロジェクトを災害の先生とビジョンの先生と進めさせていただいています。

1 開催目的

2 基調講演・ポジショントーク

3 分科会

4 まとめ

5 付録



これはフランスのプロジェクトでして、これは健康のための Knowledgebase をつくるということですので、それはツイートから健康に関する情報を抜き出してやるというプロジェクトだそうです。それから情報保障的なプロジェクトをクラウドソーシングでやるということをやっています。

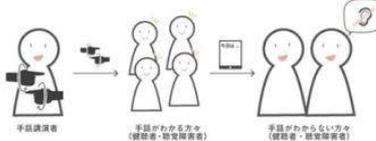


このようにさまざまなことをやる中で、幾つか機能が見つかりまして、それを実際につくったものから、今つくりかけのところ、いろいろあるんですけども、例えばどういものがあるかといいますと、タスクをつくとそのタスクの文面を翻訳するためのタスクを自動的につくっています。そうすると一つの言語でタスクをつくっても、タスクは多言語でのタスクをつくることのできるわけですね。

ISeeプロジェクト

(Information Support of Everyone, by Everyone, for Everyone)
 筑波技術大学 張先生, 白石先生と共同研究

オープンで, 誰もが助ける側になり, 誰もが助けられる立場になる, 情報保障を目指す

情報保障プロジェクトでは, 手話での講演をクラウドソーシングの力を使ってみんなが助け合い理解できる場所としていきます。

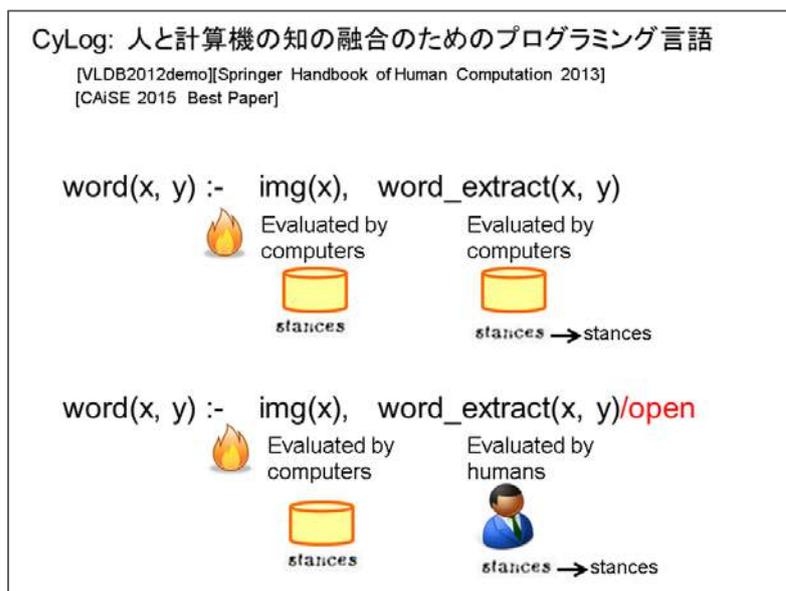
手話講演者の話す言葉を区切って, 手話習得者へのマイクロタスクとし, 文字に翻訳していただきます。そうすることで, 健聴者や, 手話の学習経験がない方を含む多くの方々に貴重なお話を理解していただくことができます。

プロジェクト全体では, こうした健聴者・聴覚障害者にへたたりなく助け合うことができる世界を目指しています。

Advanced Functions

- Programming Language for Crowdsourcing
- Various Incentive Structures
- Instruction Translation Tasks
- Improving Task instructions
- Optimization for Hypothesis Acquisition
- Context-driven Human powered Joins
- Task Assignment for Group Rotation Models

一番初めにやったのは、実はプログラミング言語なんですけど、もしかしたらこの辺のほうがおもしろい話だったかもしれないんですけども、基本的には Prolog みたいなルールベースの言語で、ボトムアップの単純な処理系なんですけど、おもしろいのは述語を open と書くと、人が処理する。人が処理をするので、人間が処理するものと、人が処理するものが混じっている。そうすると何がおもしろいかというと、どっちのルールを優先に処理すればいいか。ルールって完全に論理で優先順位が決まるので、逆に論理的にはどちらでもよいというのでもあって、これとこれが並列処理で来て、どっちが優先でも構わないというふうに出てくるんですけども、人に適切にインセンティブを与えると、探索空間を全部探さなくて、答えがありそうなところをうまく見つけてくれたりするという事になっています。これはソフトウェア工学系の会議で賞をいただきました。



それからマイクロタスクを作って、ここに登録するといろいろな形でばらまくできます。スクリーンロックでやるとか、あとは筑波大の附属図書館に置かせていただいている写真ですが、ちょっと見にくいんですが、歩くと床にすごい簡単な質問が書いてあって、歩くついでにやってくれるという。これ、ちょっと置いておきだけ、1日300個ぐらいやってくれるのですごい効率のいいシステムです。右上はゲーム、音ゲーに埋め込むことができる。これは明治大学の中村先生につくっていただいたんですけども、ちょっと動かしてみられないのが残念ですけど、すごくおもしろい音ゲーです。



知の創造とアクチュエーションの関連課題に関する提案ということで、何かあるかなというのは、私の視点からちょっと考えますと、現在の課題は、人々がつくる知と機械によって得られる知を連動する仕組みが、比較的固定されているのかなというのが僕のイメージですね。一生懸命仕組みをつくられると、その仕組みで固定されてしまうことが何か一つ課題なんじゃないかなと思っています。実際に、例えば一番初めに何かやろうと思ったときは、人しかなくて、人で何かやらざるを得ないわけです。そのうち、共同してやりましょ

うというのがいっぱい出てくる。だんだんそのうち機械でこれできるんじゃないですかということで、やっぱり知のつくり方のシステムって、フェーズがあるということで、そこを柔軟に対応できるというのがいいんじゃないかと思っています。

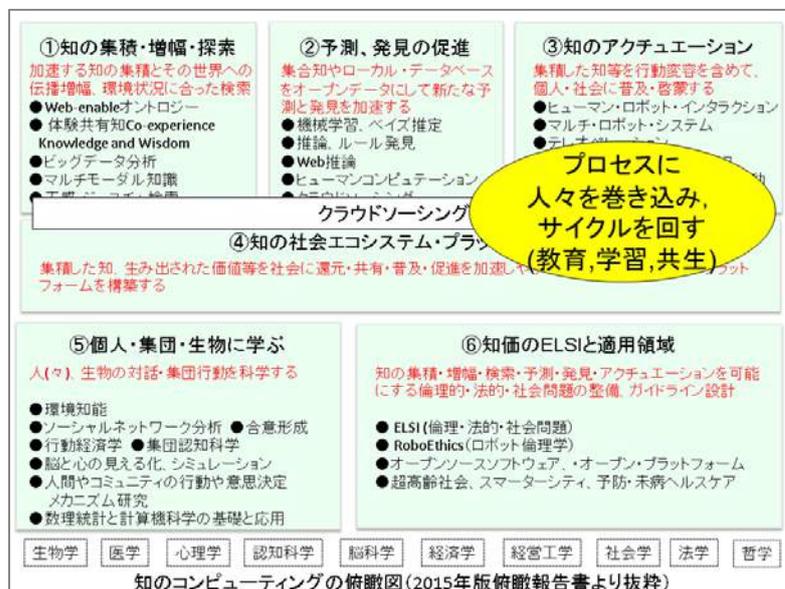
知の創造とアクチュエーションの 関連課題に関する提案

- 現状の課題：クラウド(人々)による知と、機械によって得られる知を連動する仕組みが固定
- 今後の取組むべき課題：人々と計算機の知的処理をより柔軟に切り替え可能な枠組みの実現

注意：クラウドソーシングは目的ではなく手段

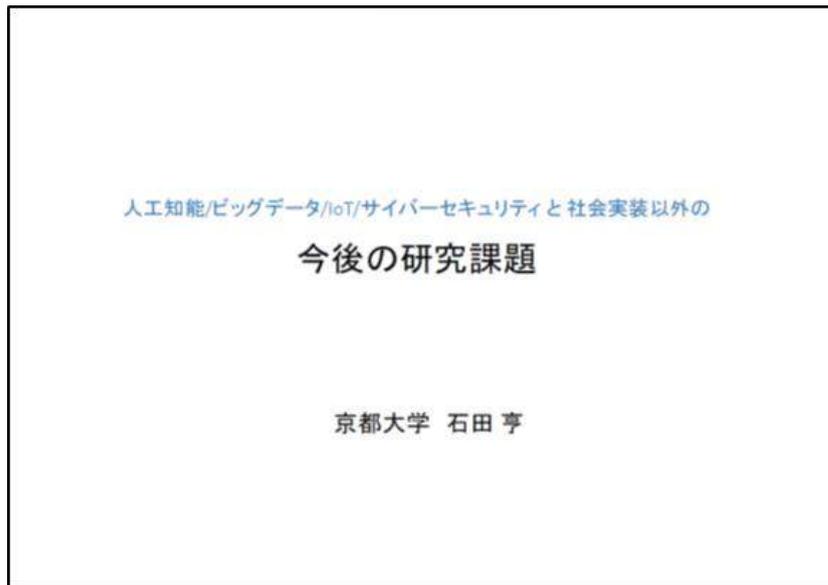
クラウドソーシングは手段という話をしたので、クラウドソーシングというのは全体にかかわるということなんですけど、あえて手段ではなくて、知のアクチュエーションにかかわる意味があるとすれば、そのプロセスに人々を巻き込むということが実は本質的なのではないかなと思っています。ただこういうのができました、使ってくださいというよりは、その中にあらかじめつくるプロセス、何かをするプロセスに埋め込むことによって、知が自然に人々の中にあるという仕組みが大事なんじゃないかと。これは有川先生もおっしゃっていましたが、教育であるとか、学習であるとか、共生であるとか、そういうことがやはりキーワードになるのではないかと思っています。

以上です。



2.9 人工知能／ビッグデータ／IoT／サイバーセキュリティと社会実装以外の今後の研究課題（京都大学 石田 亨）

今のメインストリームの人工知能、ビッグデータ、IoT、サイバーセキュリティは、文科省との大きな計画で動いています。社会実装というのもコンセンサスだと思います。私が何かコメントできるとしたら、それ以外のことと思い、考えてみようと思いました。



それで、今日は、「フィールドからの情報学」と「Connections 4.0」について、お話ししたいと思います。

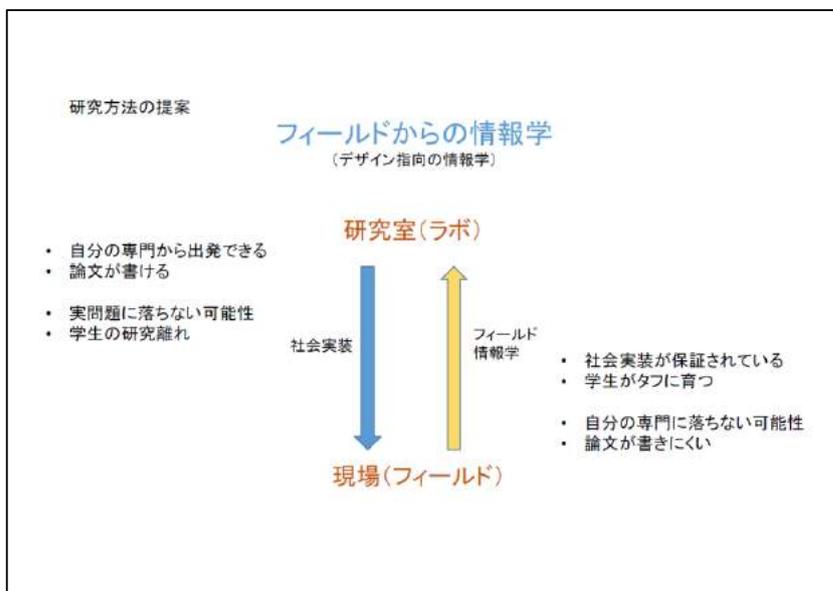


フィールドからの情報学というのは、デザイン指向の情報学です。

まず、これまでの、社会実装は、ラボや研究室から現場へ、研究室で考えたものを社会へ実装することです。リーダーは自分の専門から出発できます。これはしっかり論文が書けますが、問題は実問題に落ちない可能性があることで、特に研究の初期にどう実装するのかということを書かされると、研究は途中でどうなるかわからないのに、無理やり書いて、何か非常に苦しい状態になったりします。また、大学にいて思いますが、修士の学生は、昔はみんな研究者になったのですが、最近はほとんど研究者にならないです。ラボや研究室から現場へというアプローチは、学生の研究離れというのがあって、教育との関わりにも問題があります。

一方、現場からやっ払いこう。まずは課題のあるフィールドに入って、そこから研究していこうとなりますと、社会での実装は最初から保証されているわけですし、学生は非常にタフに成長します。ただ今度は逆に自分の専門に落ちない可能性があります。コラボレーションコストも必要とします。これでは論文が書きにくいです。われわれも4年間、ベトナムで実証研究を RISTEX の助成で研究しましたが、自分の専門にはほとんど落ちないです。

実はうちの研究室は7、8割が社会実装系のアプローチをしていて、ほんの2、3割がフィールドからスタートしているのですが、フィールドからスタートした研究では、1件もトップレベルの論文を書けていないというのが実情です。



フィールドから始めても論文が書けるようにということで、フィールド情報学という入門書を書きました。

これまでの活動

フィールド情報学
フィールドから始めても論文が書けるように！

2008

序章 フィールド情報学とは何か

第1部 自然を観察し予測する

第1章 リモートセンシングと地理情報システム

第2章 バイオロギング

第3章 システムダイナミクス

第2部 人々の活動を記述し伝達する

第4章 ヒューマンセンシング

第5章 エスノグラフィ

第6章 ケースライティング

第3部 社会と生活にイノベーションを起こす

第7章 インクルーシブデザイン

第8章 マルチエージェントシミュレーション

第9章 アウトリーチ・コミュニケーション

終章 個を紡ぐ場としてのフィールドと情報のはたらき

フィールドと情報学研究者の協働は痛みを伴うこともある。フィールドにしばしば見られる新規技術に対するアレルギーと、情報学研究者の技術的素親論は相容れない。

フィールドは、情報学研究者にとって活動しやすい場とは限らない。しかし、今後のイノベーションの多くはフィールドから生まれるだろう。

フィールド情報学への期待は、情報学研究者が参入容易で、効率的かつ社会的受容性の高い協働の方法が確立されること。

2008
フィールド情報学入門
藤原 洋一 著
東京大学出版会

Field Informatics
藤原 洋一 著
Springer

それから進行中ですが、京都大学にデザインスクールを作っています。これは文科省のリーディング大学院です。経営学、機械工学、情報学、建築学、心理学の上に横断的な博士のコースを作っています。ここでも、課題フィールドから始まる研究を大切にしています。

社会実装というアプローチは重要ですが、フィールドに飛び込んで研究をするというアプローチが少し入ると、興味深い共同研究が始まることがあります。例えば、先ほど森嶋先生のご発表の中に井ノ口さんとの共同研究の話があったと思いますが、井ノ口さんは「防災」というフィールドから出発したアプローチですが、このようなチームがいると、他の社会実装のチームとおもしろい共同研究が起こります。

進行中の活動

2013

京都大学デザインスクール

国際社会は今、温暖化、災害、エネルギー、食糧、人口など複合的な問題の解決を求めている。本プログラムでは、異なる分野の専門家との協働によって「社会のシステムやアーキテクチャ」をデザインできる人材を育成する。

+ Shaped People
デザインスクールを創り「知」の創造と伝達を促すための設計・工学・人文系連携

経営学 機械工学 情報学 建築学 心理学

Connections 4.0 とはなんだ？ Industrie 4.0 のパロディー？と思われるかもしれませんが、いわれがないわけではありません。Eメールは、すごくインパクトがありましたね。

次に Web が来ました。その次に SNS。これで終わりということはないですよ。多分、次があるはず。その次も、またアメリカからというのは残念なので、少し考えませんかという話です。

実は E メールが広がっていったときに、Lee Sproull と Sara Kiesler の 2 人が Connections という本を書いています。そこに、Eメールの社会的影響が書かれていました。京大に社会情報学専攻ができたときに開催したシンポジウムによんで来て、講演をしていただきました。今は Web、SNS の社会的影響はすごいです。皆さん、利用されていますが、「次に来るのが何なのか」という議論がないのは残念なことだと思います。

30 年もこの分野にいますと、悔しい思いをいつもしています。Eメールがこんなにすごい社会的影響を引き起こすなんて思っていなかったし、Web がこんなになるなんて全然わからなかったし、SNS もまさかこうなるとは思っていなかったし、「気がつけばいいことが気がつかないで過ぎている・・・」とずっと感じています。

研究課題の提案

Connections 4.0

- Connections 4.0を提案したい。Email、Web、SNSの次に位置するものを生み出す。目標は世界規模の創造活動と合意形成。
- これを実現するには、Cyber Leadership、Cyber Democracy、Collective Intelligenceなどの研究と実践を行う必要がある。
- 我が国の将来の国際的なプレゼンスや、企業、NGOのグローバル展開とも深く関わる。



[1991] by Lee Sproull, Sara Kiesler
emailの社会的影響の分析

時間がないので略しますが、Connections1.0 としての Eメールの社会的影響についてまとめています。

Connections 1.0: E-mail

A two-level perspective on technology

- First-level effects
 - Efficiency
- Second-level effects
 - Social system effects

A two-level perspective on E-mail

- First-level effects
 - Communication speed is faster than post-mail.
 - Asynchronous communication is more convenient than telephone.
- Second-level effects
 - Group communication decreases the cost of negotiation.
 - Organizations became **flat** and **networked**.

- Analysis on existing systems is much easier than creation of systems useful in future.
- We cannot design communication systems completely before trying them.
 - Second-level effect is **more significant** than one of the first stage.
 - Second-level effect is **hardly predicted**.
- Researchers have to **collaboratively operate** communication systems continuously for more than several years.
 - Ideas developed during the operation can improve the communication systems.

では、次は何でしょうか。例えば、MITに Climate CoLab という活動があります。3万 5,000 人ぐらいが参加し、気候変動に関する 1,000 件くらいプロポーザルが集まって、それをくみ上げていって、新しいプロポーザルを作り出していくという活動です。

それで、デザインスクールに参加している研究室の学生 2 人に言って、Global Climate Action Plan というコンペティションに応募して、そのファイナルに残りました。実際、応募は大変で、既存のプロポーザルをたくさん読まないといけません。これまでに蓄積されたプロポーザルと関連をとりながら、新しいプロポーザルを作っていくといけません。先ほど伊藤先生は合意形成と言われましたが、これは大規模な創造活動です。だから合意形成プラス創造活動を大規模に実験しているので、参加して、そこから問題点を抽出しようと考えています。

Climate CoLab (MIT)

The goal of the Climate CoLab is to harness the collective intelligence of thousands of people from all around the world to address global climate change.

Inspired by systems like Wikipedia and Linux, MIT has developed this [crowdsourcing platform](#) where citizens work with experts and each other to create, analyze, and select detailed proposals for what to do about climate change.




MIT Center for Collective Intelligence
Thomas W. Malone

- 地球温暖化の解決を協議
- 35000名が参加。1000件の提案。
- Argumentation Map を利用して意見の整理
- Model-based planning を用いたシミュレーション
- 電子投票による相互評価
- \$10,000のGrand Prize
- 国連関係機関への提言

Proposal for [Global Climate Action Plan](#).
デザイン学の学生がセミファイナルで頑張っています！



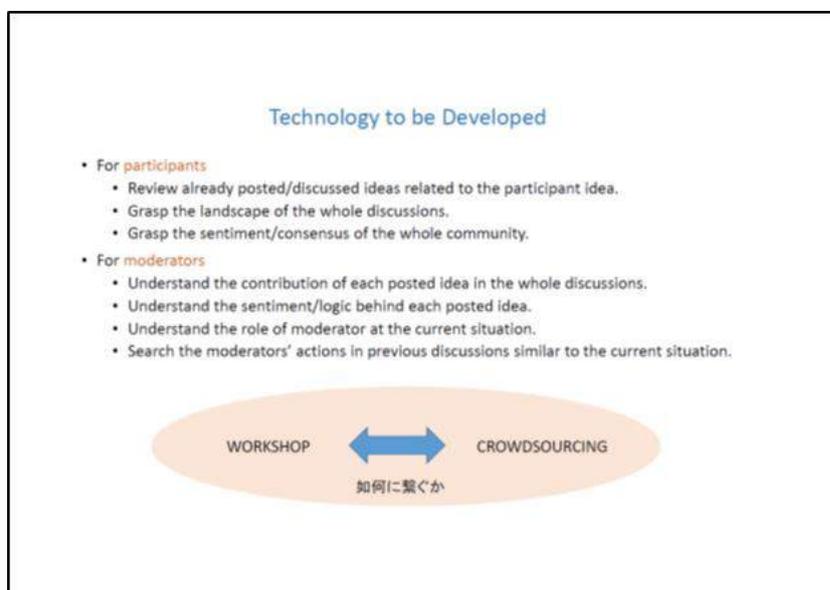
Junta KOYAMA



Victoria Abou Khalil

気になるのは Connections 4.0 が出てくるとしたら、すごいものが急に現れるかもしれないということです。しかしそのシーズは、もう現れてきているはずです。それは何かと考えると、森嶋さんが発表されたクラウドソーシングが、すごいキーになると思います。実は MIT の創造的活動も、クラウドソーシングプラットフォームを用いています。妥当な使い方かどうかは分かりませんが、クラウドソーシングという言葉を使っています。クラウドソーシングは、今、目の前にあるのですが、まだ爆発はしていません。しかし、Connections4.0 が爆発するときには必ず入っているのではないかという気がします。

ところで、リアルなところでは、ワークショップがすごく盛んになっています。合意形成にも、ワークショップが頻繁に使われています。ワークショップというリアルな活動と、サイバーのクラウドソーシングの間を繋ぐことによって、僕にはいつも見えないのですが、「ああ、そうだったのだ」というものが出てくるのではないかという気がしています。



所感です。基本は研究室レベルから現場に向かう社会実装の方向でいいけれど、逆のアプローチのチームが少しあると、その刺激は大きいと思います。さきがけ「情報環境と人」の研究総括を務めていました。森嶋さんもメンバーで、全部で 36 名の研究者がいました。そのうちの 1 割ぐらいは、現場から始まる研究をしていて、すごく刺激になっていたと思います。

それから、次に何が来るのを考える。ここは多分、伊藤先生が研究している合意形成も含め、世界規模の合意形成と創造活動ではないかと思います。それが欧米で始まったら、日本はお手上げです。そして、既に目の前に、そのシーズがあるのではないかと思います。IoT とか Industrie 4.0 も重要ですが、協調活動が得意な日本は、もう少し人間を繋ぐということの研究が続いてもいいのではないかと思います。

所感

・フィールドからの情報学

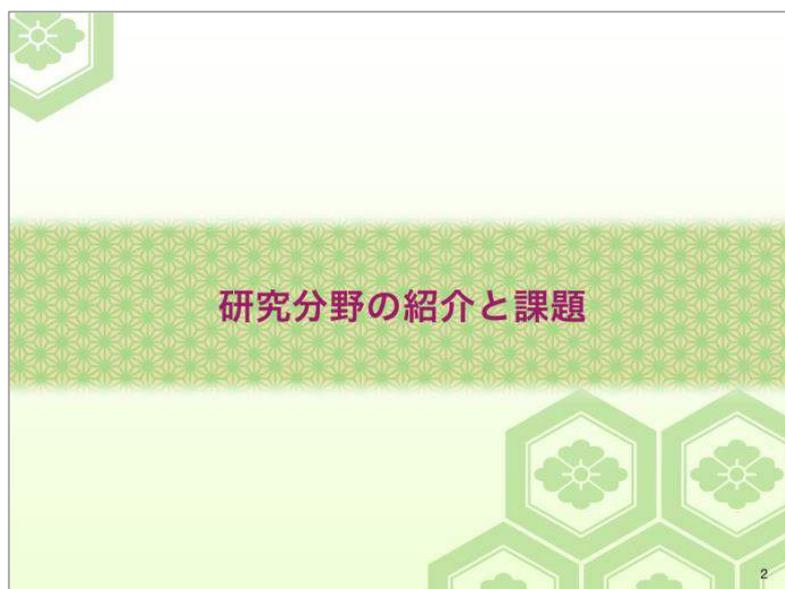
- 基本は社会実装(研究室→現場)でいい。しかし、逆のアプローチの研究チームが少しあると、その刺激は大きい。(さきがけ「情報環境と人」で実証済み)

・Connections 4.0

- Email, Web, SNSで終わりと言うことはない。次は何なのだろうと考えてみるのが重要。
- 次に来るのは、世界規模の合意形成と創造活動ではないか。それが欧米で始まったら日本はお手上げだ。
- 突然、新しいものが生まれることはない。今あるシーズはCrowdsourcingとWorkshop。バーチャルな活動とリアルな活動をどう繋ぐか。
- IoTは重要。Industry 4.0は重要。しかし、協調活動が得意な我が国でInternet of Humansが追求され続けてもいい。

2.10 研究分野の紹介と課題（産業技術総合研究所 神鷹敏弘）

私は専門は機械学習全般で、本日は機械学習全体の現状をお話しします。



1
開催目的

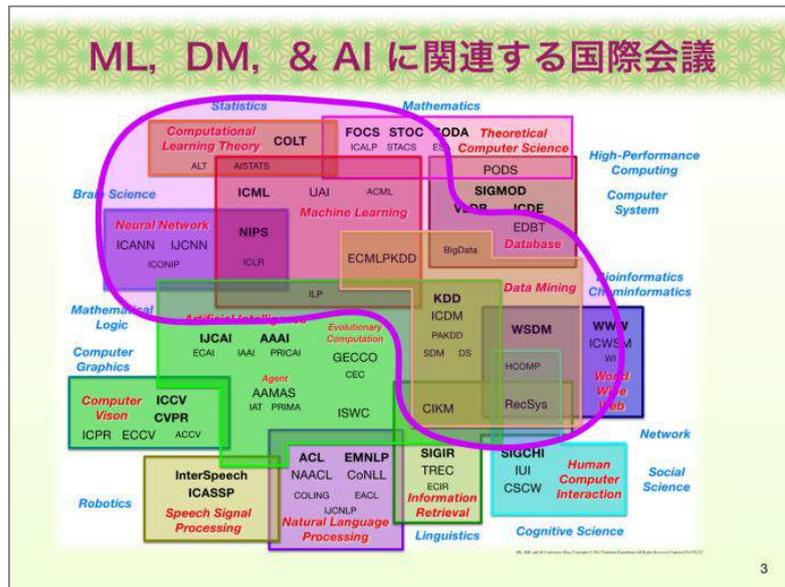
2
基調講演・ポジショントーク

3
分科会

4
まとめ

5
付録

人工知能、データマイニングに関係する国際会議をまとめたマップを作ってみました。だいたいこの辺の範囲の会議が機械学習と呼ばれるところで、有川先生が作られた DS (Discovery Science) とか、ALT (Algorithmic Learning Theory) などが含まれます。



データ分析や機械学習の分野がどのように分かれているのかというと、上が理論よりで、下にいくとやや実用よりになっています。フィールドでの応用をやっている方からすると、下の方も理論という感じで捉えられると思いますが、定理だけをやる人、アルゴリズムをつくる人、実際にどうやって適用するのかの方法論まで考える人という具合で、私はだいたい3番目にいます。

データ分析・機械学習

- ▶ 機械学習とは『**明示的にプログラミングすることなく、コンピュータに行動させるようにする科学**』 by A.Ng (<https://www.coursera.org/course/ml>)
- ▶ 計算論的学習理論 (Computational Learning Theory)
 - ▶ データから学習できるか？ できるとすればその条件は？ といったことを数理的に記述して厳密に議論する
- ▶ 機械学習 (Machine Learning)
 - ▶ 学習理論の保証に基づいて、データマイニングなどで使われる要素技術を提供する
- ▶ データマイニング (Data Mining) ← 神島
 - ▶ 機械学習分野で作られた要素技術を基本に、必要であれば追加の要素技術を開発し、それらを組み合わせて実世界の問題に対処

機械学習の会議やアカデミックの現状はというと、すさまじい勢いでここ数年拡大しています。KDDは2013年以降の参加者数が1200、2400、1200でしたが、2015年はオーストラリアでの開催でアメリカの裏側だったのでだいぶ減りました。あと、NIPSと

というのは機械学習の会議の双壁の一つですが、2014年は倍増しています。これは Deep Learning の影響です。ICML という機械学習の会議のもう一方ですが、だいぶ理論に寄っていますが、それでもこんなに増えています。

Facebook の人工知能研究所の設立にあたり、NIPS の 2013 年はザッカーバーグさん自ら乗り込んできてラボの設立を宣伝して人を一生懸命に口説いている感じがありました。日本のプレゼンスは非常に低いです。私は KDD に 2010 年からずっと参加していますが、2011 年頃から急激に企業参加者が増えています。それまでは本当に 2~3 人しかいませんでした。それに対して授業回数の厳格化以降、あまり休めなくなり大学からの参加が本当に減りました。学生の参加が最近、非常に少ないのが本当に怖いことだと思います。発表数はこのような感じです。コミッティなど運営にからんでいる人がほとんどいない。KDD は IBM の安倍直樹さんが一人だけエリアチェアに入っていますが、ほかには一人もいません。標準化委員会を創設するというアナウンスがあったけれども何をするのか日本人は誰も知らないという感じでした。ICML とか機械学習でも理論系の方はまだ若干状況が良く、NIPS2015 では東大の杉山将さんがプログラムチェアを努めるなどコミッティなど運営にからんでいるところもあります。



ここまでは機械学習全般の話をしてきましたが、1 ページだけ自分の研究のお話をしたいと思います。データマイニングは、借金をする場合の与信の判断など、社会的に重要な決定にも使われるようになってきましたが、同時に社会的に困るようなことも起こってきています。エゴサーチと呼ばれる自分の名前を検索してみると、アメリカでは、逮捕歴などのデータベースを扱っているような会社があるが、そういう会社の広告がでてきます。ヨーロッパ系の人、例えば Schneider という名前を検索すると、Located (みつけました) と表示されます。アフリカ人の名前 Sweeney、これは k 匿名性という有名な研究をした人の名前ですが、この人の名前を検索すると Arrested? (逮捕されましたか?)、みたいな逮捕歴を示唆するようなテキスト表示がされます。これは問題ではないかということで、どうなっているのかということで広告主にインタビュー調査を実施しました。すると、ア

ルゴリズムは特に悪いことはやっていません。ただ、クリック率を上げることを追求していると、社会の悪意を勝手に集めこんできて、こんなことが起きてきます。社会的公正性とか他に企業のパートナーを公平に扱うとか、そういう問題のために、特定の情報をブロックしたようなデータ分析技術を **fairness aware**（公正配慮型）や **discremination aware**（差別配慮型）とっています。ワークショップが 2～3 回あったところで、まだ世界で 30 人前後の研究者で、お互いに顔見知りというのが実際のコミュニティーです。

神島：公正配慮型データマイニング

名前で検索をするとき、ヨーロッパ系の名前では普通の広告なのに、アフリカ系の名前では逮捕歴を示唆するような広告が表示されていた

African descent names	European descent names
Ltanya Sweeney, Arrested?	Located: Jill Schneider
Arrested?	Located:

- ▶ **公正配慮型データマイニング** 社会的公正性などの理由により特定の情報をブロックしたデータ分析技術
- ▶ ICDM2012, NIPS2014, ICML2015でワークショップ
- ▶ まだ世界で30人前後の研究者

6

今現在、機械学習やデータマイニングの研究者が言っている課題を挙げてみました。深層学習というのが 2011 年ぐらいから大ブームですが、深層学習支持派の人たちは絶対冬は来ないというような感じです。私自身は、深層学習には懐疑的です。今まで何度も繰り返されたようにいずれは他のモデルでもできるようになると考えています。支持派の中にも温度差があり、Caffe という著名な深層学習ソフトの制作者でも長期的には懐疑的と聞きます。

こういう深層学習をやって、まだできることとできないことがあります。一つ、Ronny Kohavi さんが KDD の基調講演で話していたのは、何を最適化すればいいか決めれば、ばちっとできるんだけど、何を最適化すればいいのかを決めるのは非常に困難であるということです。単純にクリック率だけをやっていても、長期的にもうかるかどうかわからないということで、利潤の追求というかなり明確な目標があっても、それでも困難があるということです。「データに依存した統計量」という言い方をしていましたが、普遍性がある「知識」とは異なります。ディープラーニングで伸びた一般画像認識の問題ですけども、データ集合を変えて別のデータ集合で訓練すると、同じ問題なのに性能が出ないということがあったりといろいろあります。

課題

深層学習 (Deep Learning) に全面的に乗ってるひとたち

- ▶ 音声・画像認識ほどにはNLPでは大きな成果はない
- ▶ すでに社会で使われてるステージにあるからもう冬は来ない

深層学習を含めた機械学習の課題

- ▶ **様子見のひとたち**：特徴抽出といっても全体でみれば非線形関数だから深層学習と同等のことは他のモデルでもいずればできる
- ▶ 運用にあたって、何を最適化すればいいか決まれば最適化できるが、何を最適化すればよいかを決めるのは非常に困難
Ronny Kohavi@KDD2015, Igor Perisic@RecSys2015
- ▶ データに依存した「統計量」と、普遍性のある「知識」とは異なる
 - ▶ 同じ一般画像認識でも違うデータ集合で訓練すると性能がでない
Léon Bottou@ICML2015

7

「知のコンピューティング」俯瞰図

8

ROIとか、どういうふうに重点化すべきかということですが、穴がないようにするのが大事ではないかと思っています。そのうえで、今後の機械学習で重点化していくところは、機械学習はいろいろなことを実現するための要素技術みたいなところがありますが、要素技術として、多種多様な制約を超えて知識を表現して、知識を使えるようにするためには多種多様な制約をもっと扱える必要があるのではないかと思います。今のところ、制約というのは、疎性というのと平滑性というぐらいの非常に数学的にきれいに書けるところにこもっていて、なかなかうまくいっていないと思っています。

重点化すべき分野

- ▶ どの分野が伸びるかを予測するのは不可能
 - ▶ ニューラルネットの復活があるとは思ってなかった人が多い
- ▶ 各分野の中で最先端の技術がどのような状況にあるかを知る人がいなくなると行き詰まる → **保険としての側面**
 手塚治虫の「火の鳥」：柄と剣が一体になった新しい青銅の剣を売りに来た渡来人が、鉄の剣を見て目の色を変えて手に入れようとするのを見て、剣を売りつけられようとしていた国の長が自らの実情を覚る
- ▶ 分野ではなく、各分野での最先端技術を知る人を重点化

↓

- ▶ 新しくて人がいない分野は埋める必要
 ヒューマン・コンピューテーション、Sparkとかの大規模機械学習基盤
- ▶ プレゼンス、状況把握、海外とのコミュニティからの孤立を避けるため、国際会議とかに参加できるように

9

社会で使える機械学習にするには、いろいろな制約を扱えるようにする必要があります。

社会で使える機械学習

L. Bottou の言葉での「統計量」ではなく「知識」にするには？

- ▶ データベースやUIのソフトのように「仕様」を明示することで普遍性を担保することはできない
- ▶ 規則自体を明示することは「確証バイアス」を生じ、人間と同じ様に

↓

- ▶ 社会の規制や人間の行動モデル（徒弟学習とか）などを制約としたり、参考にしつつ、分類精度などの目標を最適化
 - ▶ Google Photo の自動タグ付けで、アフリカ系の人に自動でゴリラのタグを付けた事件
 - ▶ 畳み込みネットワークを混乱させるようなパターンの存在
 - ▶ 自動運転には自身の安全走行だけでなく、周囲が予測できる運転をしないともらい事故に繋がる

11

機械学習の結果を生かすための環境整備も必要であって、信用されるような結果の提示方法、トレードオフ、エビデンスなどをどう扱うかというのも非常に重要だと思います。

機械学習の結果を生かす環境整備

意思決定のよりよい支援

- ▶ **信用される結果の提示方法**
 - ▶ 推薦システムでの研究
 - ▶ 説明の提示：確信度を示すだけでもかなり有効
 - ▶ 推薦だけでなく、推薦対象の十分な情報も提供することは重要

分析結果の正しい用法

- ▶ **エビデンスと主張の整合性検証**
 - ▶ 報道などで、エビデンスとなっている原著論文と、報道記事とのコンテキストなど的一致があるかの評価を提示する
- ▶ **トレードオフ評価の正当性検証**
 - ▶ アメリカの同時多発テロ以降、報道などにより飛行機の危険性が実際より過大評価され自動車による長距離移動が増えた
 - ➔ 交通事故死が1000人以上増加

12

それでどんなところが伸びるのかと聞かれたときには、大体こんなことを考えているとお話しています。

下馬評的予測

私の提唱する機械学習の大原理

手作業でやっていた規則の生成が、どんどん複雑化して手に負えなくなったら、機械学習が適用されるようになる

- ▶ 形態素解析、音声認識の音韻モデル、機械翻訳などはこの道をたどりブレークスルーをもたらした。情報抽出・パラメータ調整などが進行中。次はデータの前処理とか(?)
- ▶ Igor Perisic@RecSys2015：各サービスごとに多種のDBを参照して複雑に → データパイプラインのアイデア

歴史は繰り返す

- ▶ 80年代のニューラルネットは10年代に深層学習で復活、60年代のパーセプトロンは00年代のオンライン学習で復活、80年代の決定木は00年代にブースティング・RFで復活
- ▶ この循環するなら90年代のカーネル法が20年代に？

13

参考資料

深層学習ワークショップ @ ICML2015

- ▶ 参加者まとめ : <http://www.kyunghyuncho.me/home/blog/briefsummaryofthepaneldiscussionatdlworkshopicml2015>
- ▶ 翻訳 : https://research.preferred.jp/2015/08/deep_learning_future/

Léon Bottou 基調講演 @ ICML2015

- ▶ <http://icml.cc/2015/invited/LeonBottouICML2015.pdf>

Google Mistakenly Tags Black People as 'Gorillas,' Showing Limits of Algorithms

- ▶ <http://on.wsj.com/1CaCNlb>

Ronny Kohavi 基調講演 @ KDD2015

- ▶ <http://bit.ly/KDD2015Kohavi>

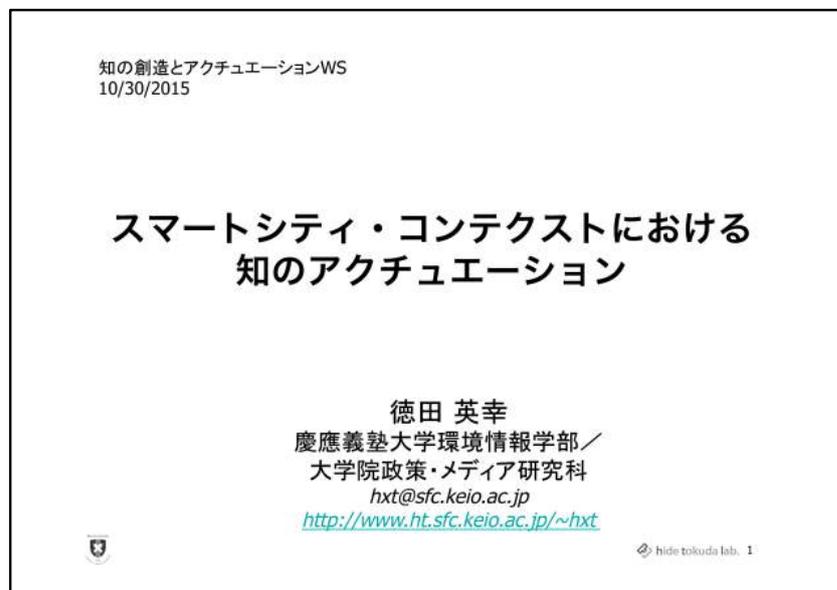
14

(質疑応答ならびに討論)

- Q** : 非常にわかりやすい説明で勉強になりました。世界と日本の状況で「日本のプレゼンスは非常に低い」というのは、政策担当者としては何が原因であると捉えれば良いのでしょうか？
- A** : まだ研究者の数が少ないので、そこそこみんなで一生懸命やっても、通る数が少ない。通る数が少ないと、コントリビューションが小さいからコミュニティーにならないという感じです。
- Q** : それは日本には既にコミュニティーがあって、日本語でできるならすごくいいけど、国際的に活動というのは少ないということはないですか？
- A** : 国際的に活動している人は一定のレベル、その上の一部ということでもあります。あとバブル前は、機械学習などの研究室が企業の中央研究所にはいくつもあったのですが、バブルの後で一気になくなったので、その影響がずっと続いている感じです。研究所が採用してくれると学生も来るので、大学の研究室が膨らむのですが、それもしぼみました。その間に海外は膨らんでいたもので、それで差がついた気がします。

2.11 スマートシティ・コンテキストにおける知のアクチュエーション (慶應義塾大学 徳田英幸)

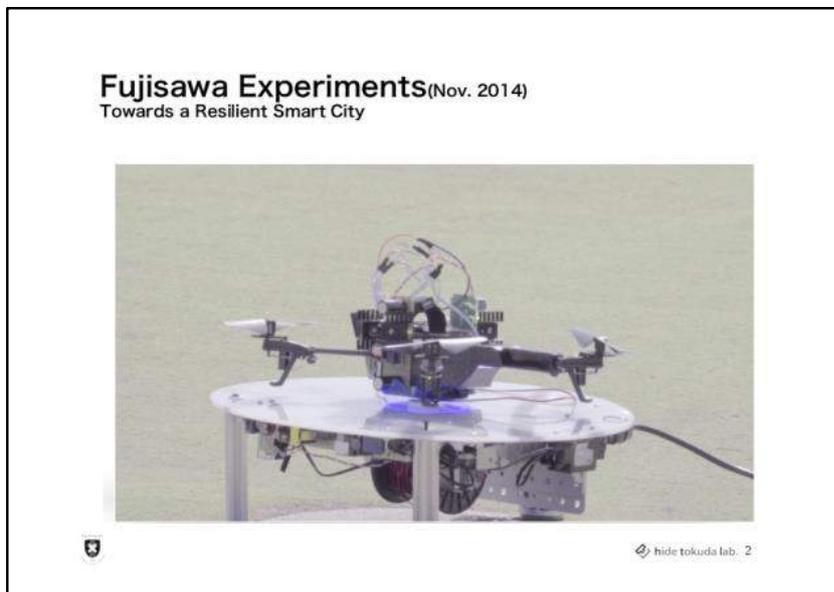
慶應義塾大学の徳田です。現在、私たちは、文部科学省の「ビッグデータの利活用のための研究開発」事業として、筑波大学の北川博之先生（代表）、NIIの喜連川優先生、東北大学の徳山豪先生と私たちのチームで、ビッグデータの利活用に取り組んでいます。また、EU ジャパンプロジェクトの一環で、「クラウドコンピューティングとIoTの融合によるスマートなまちづくり」というプロジェクトをやっています。そして、総務省の「ソーシャルICT」のプロジェクトもやっています。IoT / クラウド / スマートシティ / ソーシャルビッグデータというキーワードの研究に携わっているので、それに絡んだ文脈で、知のアクチュエーションに関する話題を幾つか持ってまいりました。



ヨーロッパでは、ファンディング機関の力で、フューチャーインターネットのミドルウェア、主にアプリケーションが作りやすいプラットフォームをつくって、効率よくアプリケーション解析ができるようにする動きがありますが、日本では残念ながら縦割りのなバーティカルなソリューションばかりしかありません。日本には、重要な中心的なプラットフォームがないので、私たち自身は一生懸命オープンなIoTやCPSのアプリケーションが作りやすいプラットフォーム作りに取り組んでいます。

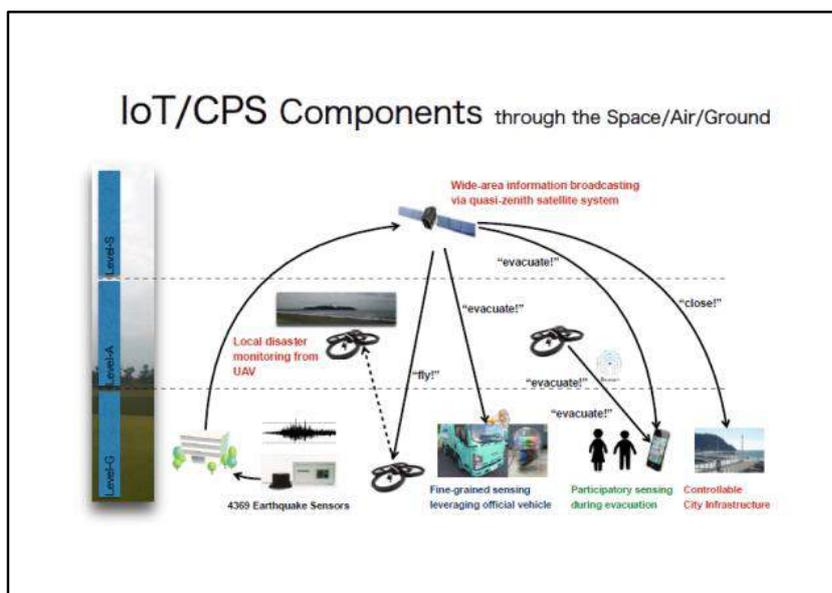
藤沢市で行っている実証実験について、お話しします。藤沢市を初め太平洋沿岸のさまざまな街には、大地震後に到達する津波の被害を早く検知したり、避難誘導を迅速に行いたいという悲願があります。そのためには、場所によっては、8分で避難してくださいとか、海拔から20メートルから30メートルの場所へ瞬時に判断して逃げてくださいといった迅速な避難誘導が必要となります。自治体としては、住民だけでなく、観光客（藤沢市を訪れる、夏の観光客は約700万人）にも、そのような迅速な避難誘導を行いたいと考えています。

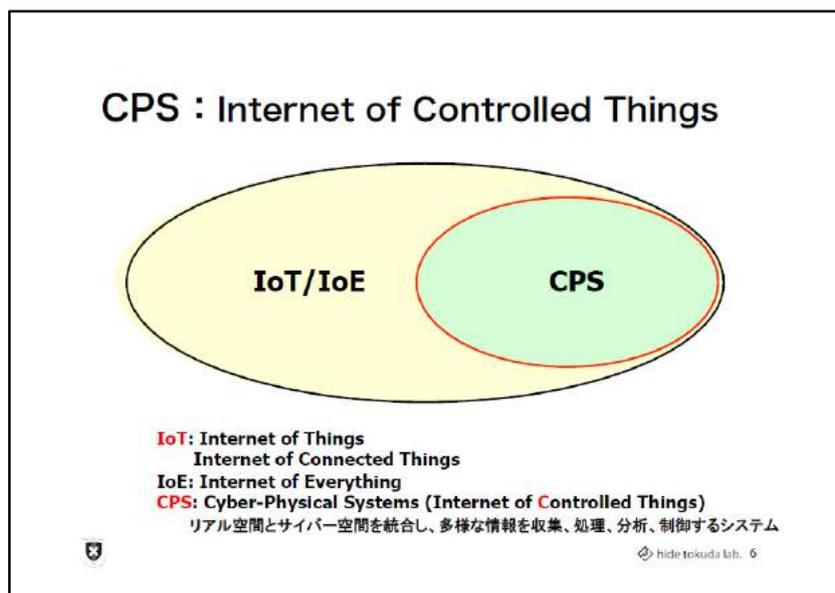
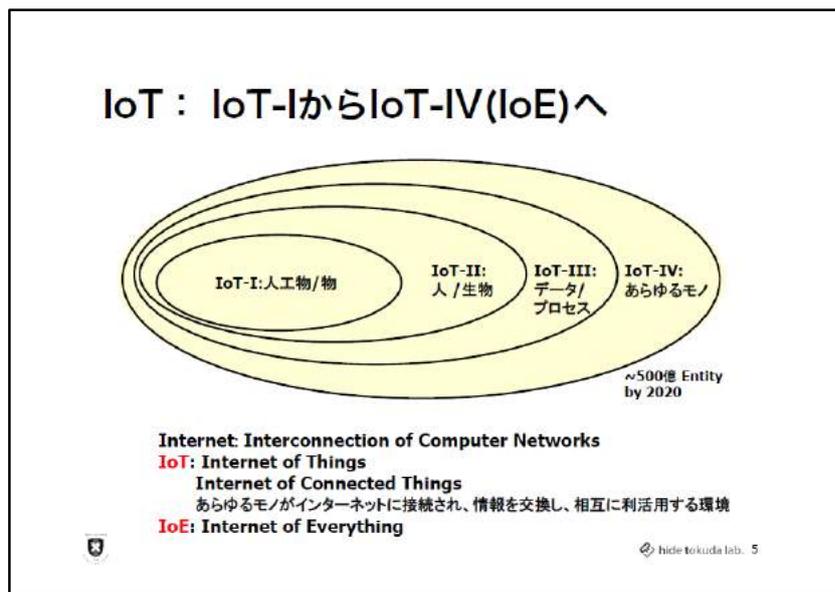
これは、今話題となっている悪名高きドローンですが、このドローンを使って、まちの状況がどのくらい見えるか、実証実験を行っています。通常のドローンは10分間ぐらいしか飛ぶことができませんが、私たちは直流フィードすることで24時間飛ばしたいに飛べるようにしたドローンを使っています。ドローンは、搭載したセンサーから読み取った位置情報、温度、風速等のセンサー情報を、ビデオ撮影した画面上にQRコード変換して表示させます。もしも、ユーチューブでこれが上がっていれば、QRコードを読み解くと携帯で位置情報や温度や風速が大体わかります。この画像は、茅ヶ崎の小学校から上げたドローンから取ったものだと思いますが、運よく（って言うと怒られますが）たまたま、まちで発生した火事の位置が確認できました。位置等の情報は、QRコードから、4.7 Kバイトくらい、1フレームにつき得ることができるので、かなり良いと思います。



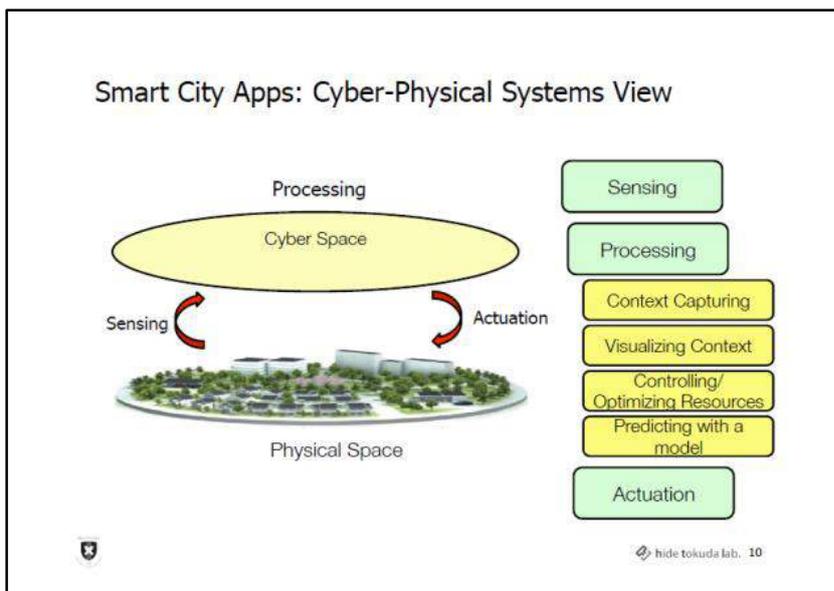
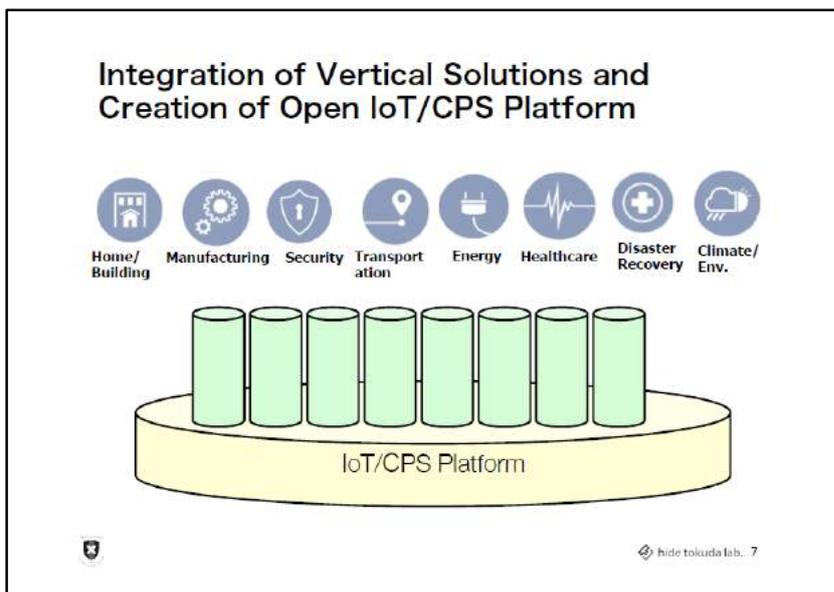
緊急なアラートが来ると、視聴者からメッセージが準天頂衛星に飛び、小学校の校庭に設置してあったドローンが飛び上がって、まちの状況をリアルタイムで送ったり、あるいは携帯を持っている方には携帯に直接メッセージを送って、避難命令を出すような連携を考えています。そして、藤沢市の公用車にメッセージを飛ばして、拡声器で避難勧告することを想定しています。今は、ゴミ収集車での実証実験を行っています。これが、知のアクチュエーションの一つとして、人々の意思決定支援が考えられ、本当に人々の行動変容（すなわち避難誘導）をさせることができるかどうか重要な課題となります。私たちが研究しているユビキタスコンピューティング（Ubiquitous Computing）の分野の中には、Persuasive Computing というものがあり、日本語で説得コンピューティングと訳した方がいますが、情報の提供だけではなかなかうまくいかない人の行動変容をどのように促すかが問題となっています。

IoT (Internet of Thing) は非常にホットな話題であり、商業誌では IoT や IoE (Internet of Everything) ということで書かれています。もともと研究者は IoE のつもりで IoT という言葉を使っていましたが、基本的にはあらゆるものがインターネットに接続されて、情報交換し、相互に利活用する仕組みのことです。人工物とかオブジェ等のモノ、それから人、生物、そして、あまり日本では騒がれていませんが、データやプロセスの連携まで、2020年までに 500 億以上つながるだろうと言われています。IoT、IoE と比較する意味で CPS (Cyber Physical System) というのがあり、先ほど見ていただいたような宇宙と空中と地上をつなげるようにリアル空間とサイバー空間を統合して、多様な情報を収集処理、分析、制御する仕組みのことです。Controlled Things という言葉については、あまり日本では使われていませんが、私たちは、Internet of Controlled Things というふうに整理しています。





先ほど言いましたように、スマートシティやそのアプリケーションがどうしても縦割りのパーティカルに作られてきた経緯があって、この横串になるべきIoTプラットフォームがありません。これをいかにして作るというのはかなり大きな課題で、知のコンピューティングの文脈で言えば、知のプラットフォームというのでしょうか。私は、有川さんと宮下さんのお手伝いで一緒にロボットフォーラムをやっていますが、ロボットのいろいろなアプリケーションがうまくいかないのは、やはりそのプラットフォーム化が遅れているからであると思っています。



私たちがやっているようなスマートシティーの文脈で言えば、いわゆるハードセンサーだけではなくて、**Human-As-Sensor** とか、**Stranger-As-Sensors** とか、他人にメッセージを投げて状況を聞いたりとかできるように、いろいろなセンサーからセンシングした情報をサイバー空間で処理をして、その結果をアクチュエーションしてリアル空間にフィードバックして、それをまたセンスする形でぐるぐる回る仕組みを作っています。私たちが興味のある処理の中では、状況をどうやってキャプチャリングし、可視化するか。または、それらの情報に基づいた最適制御や最適排除をどうするか。できれば気象情報のように、あるモデルのもとで予測をしたいということで、知のコンピューティングの「知の予測・分析」に関連することです。

知のアクチュエーションとしては、意思決定支援、市民の行動変容支援、それからマルチロボットによるモビリティ支援というのがあります。意思決定支援としては、例えば、

集中豪雨などの予測がある程度できて、災害の予測ができたときに、市役所でどこのタイミングで意思決定をして、どこのタイミングで勧告メッセージを出すかということです。一方、市民の側からすれば、勧告メッセージをもらってから、自分で意思決定して、行動変容して、この場合の避難に移ることになります。しかしながら、場所によっては、市の勧告をあまり信じていなくて、自分自身の見守りロボットから勧告メッセージをもらって、自分で行動変容したいという人もいるかもしれません。

知のアクチュエーション

- 意思決定支援
- 市民の行動変容支援
- マルチロボットによるモビリティ支援

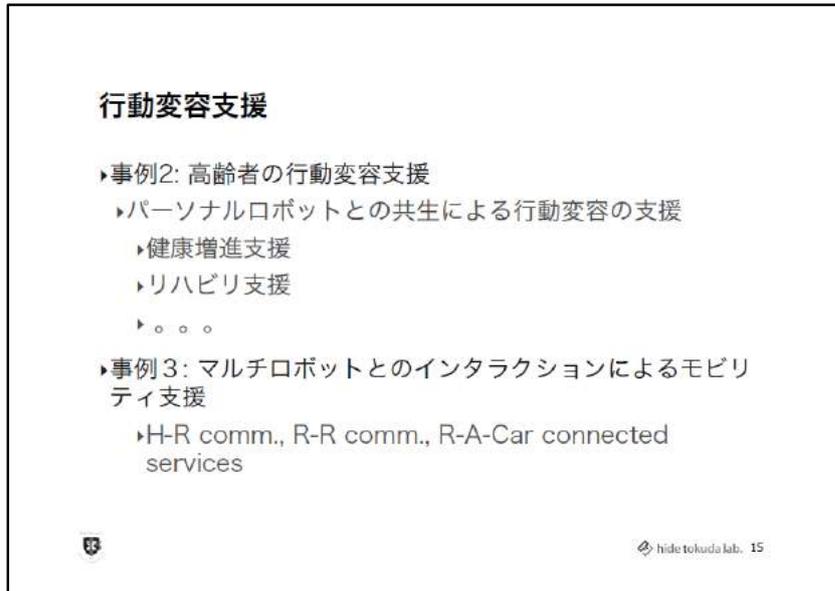

hide tokuda lab. 12

意思決定支援

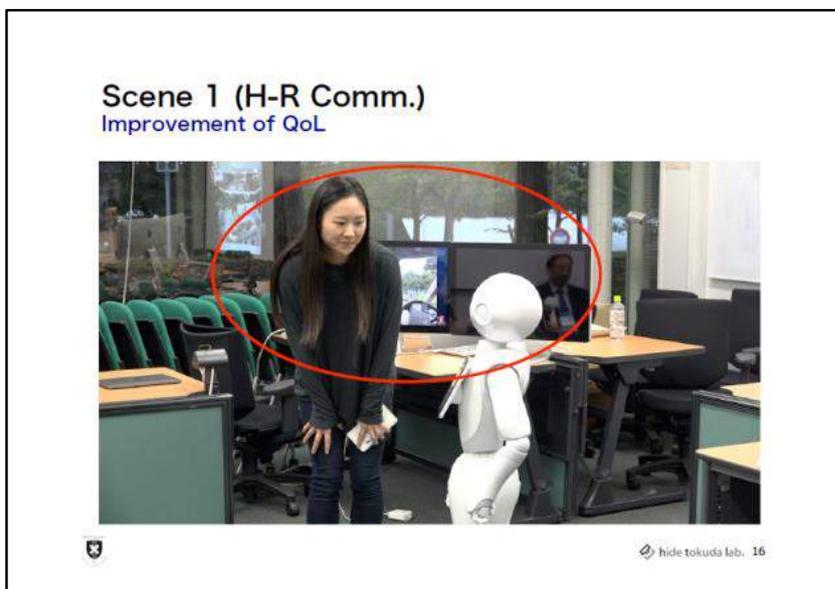
▶事例 1: 災害時の避難行動勧告/避難支援

- ▶災害予測 (集中豪雨などの予測)
 - ▶市役所における意思決定支援
 - ▶予測=>意思決定=>勧告メッセージ発信
 - ▶市民の意思決定支援+行動変容支援
 - ▶勧告メッセージ受信=>意思決定=>行動変容=>避難
 - <自身の見守りロボットからの勧告メッセージ送信の場合もある>


hide tokuda lab. 13



最後に、マルチロボットのインタラクションに関して、お話しします。これは、慶應義塾大学でデモを少しやりましたが、人間とロボットが話をして、そのロボットが病院のロボットにコミュニケーションすることで、Uberのような自動走行車を呼び出して、Connected Serviceに移るという実証実験のシナリオでした。このヒューマン2ロボットのコミュニケーションのところは全部作り込んであります。このインタラクションとしては、ロボットがおばあちゃん（と想定した学生さん）に話をするで行われ、それから病院のロボットに、ロボット2ロボットでコミュニケーションして、呼び出した自動走行車Uberに乗り込んでもらうというシナリオでした。機械2機械はプロトコルが決まれば、ロボット2ロボットのコミュニケーションはある程度簡単に躍進できますが、ヒューマン2ロボットの部分は、今回は決め込みである程度シナリオがつけられていたのではなかっただけで、しかしながら、やはり実際には、1人暮らしの高齢者の方にどのように支援できるかというのは、難しい課題ではないかなと思います。



Scene 2 (R-R Communication) Networked Robots/Connected Agents



hide tokuda lab. 17

Scene 3 (R-A.Car Connected Service) Connected Service (RtoA.Car(Uber))

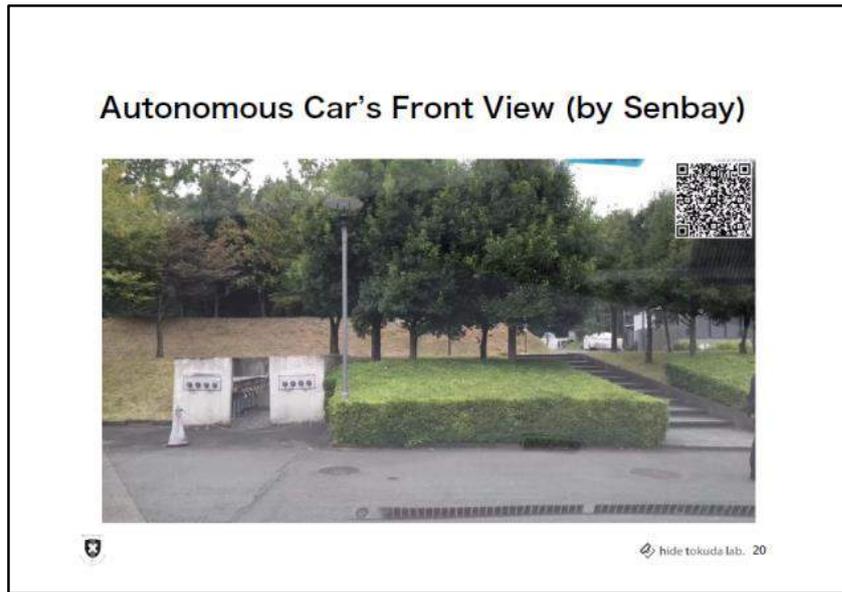


hide tokuda lab. 18

Autonomous Car (A.Car(Uber)) Personal Mobility Assistant/Mobility as a Service



hide tokuda lab. 19



1
開催目的

2
基調講演・ポジショントーク

3
分科会

4
まとめ

5
付録

2.12 ネットワークロボットの観点から（国際電気通信基礎技術研究所 宮下敬宏）

皆さん、こんにちは。ATRの宮下と申します。どうぞよろしくお願ひします。私は、知能ロボティクス研究所の萩田所長のもとで、ネットワークロボット研究室をやっております。それから、もう一つ、JR大阪駅に隣接したグランフロント大阪というビルにある大阪イノベーションハブで、ベンチャー企業さんをいろいろ呼んで、知財をいろいろとご紹介して、ベンチャー創出、あるいは事業創出をするところを担当しております。そういったことや、実際に行っているネットワークロボットの社会導入という観点から、今回の「知の創造とアクチュエーション」に関して、どのように見ていくべきかについてご紹介したいと思います。



科学技術未来戦略ワークショップ

知のコンピューティング：知の創造とアクチュエーション
ポジショントーク

ネットワークロボットの観点から

2015年10月30日

宮下 敬宏
株式会社国際電気通信基礎技術研究所（ATR）
知能ロボティクス研究所ネットワークロボット研究室長

Copyright 2015 (C) ATR, Kyoto, JAPAN All rights reserved.



研究分野紹介（知のアクチュエーションの観点から）

ネットワークロボット技術（H16～H23）

（総務省委託研究）

生活のいろいろな場所・場面で
3タイプのロボットが連携してサービス提供

ロボット

ビジブル型ロボット
身体的な機構を持つロボットにより、ユーザとインタラクション

センサ

アンコンシャス型ロボット
各種のセンサにより

スマホ

バーチャル型ロボット
高度な音声認識・画像認識・ウェアラブルデバイスとインタラクション

ネットワーク

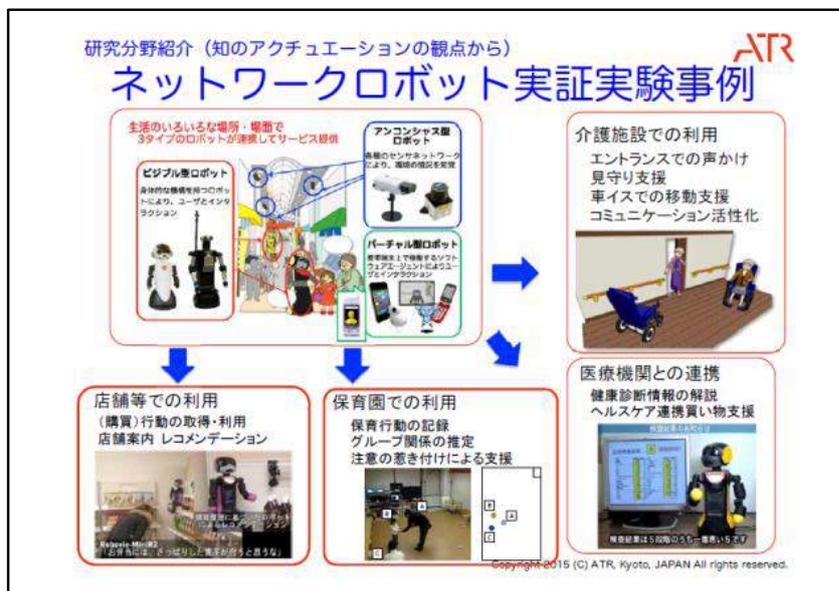
ネットワーク



Copyright 2015 (C) ATR, Kyoto, JAPAN All rights reserved.

従来のロボットの定義としては、いわゆるセンサー、知能制御系、駆動系、この3つの要素を有するものがロボットである（経産省の定義）というのが出ていました。2015年1月に開催されたロボット革命実現会議で、「ロボット革命」という概念が出てきて、固有の動きを持たなくてもロボットであるという新しい定義が出てきております。そのような流れで、ネットワークを使ってセンサー、知能制御系、駆動系というのがつながったら、それは一つのロボットと呼ぶことになりました。要するに、体一つにおさめるのではないということです。いろいろなものがつながっていくことで、まち全体がロボットになったり、ビル全体がロボットになると考えましょうという形で、社会の流れとしても動いていると思います。

「ネットワークロボット技術」というのは、2004年～2011年に実施された総務省の委託研究で、ATR主導で、NTT、東芝、松下電器産業、三菱重工、NEC、日立、ところと連携してやらせていただいたプロジェクトです。実際に体のあるロボット（ビジュアル型ロボット）、ソフトウェアのロボット（バーチャル型ロボット）、そして、環境のセンサー、（アンコンシャス型ロボット）をネットワークでつないで連携させることで、単体ではできないことをしましょうというのが「ネットワークロボット技術」の目指したところです。最近のキーワードで言えば、ロボットとスマホとセンサーをネットワークでつなぐことで、システムとしてのロボットを作って、これにサービスを提供しようというのが「ネットワークロボット技術」の考え方です。



これはスケールをいろいろ考えると、基本的にはIoTの考え方と全く違和感のない技術であると思っています。ATRは、いろいろな実証実験をさせていただきました。「ネットワークロボット技術」として、実際に現場に持って行って、その現場の課題をいろいろ解決するようなロボットシステムを構築するとともに、そこからまた情報を収集することでブラッシュアップしています。例えば、店舗や、保育園、医療機関、介護施設といったところで実際にネットワークロボットシステムを展開しながら、情報を集めてブラッシュアップをすることをやっております。

例えば、ショッピングモールにおけるビラ配り。これは CREST で、ATR の神田崇行さんがやっているものですが、大阪の南港の方にあるショッピングモール ATC におけるビラ配りの実証実験です。チラシを非常に上手に配っているお姉さん成功率が大体 77.5% に対して、下手な（上手じゃない）人が配ると成功率が 12.5% に激減し、なかなかチラシを受け取ってもらえません。この二人の動きは明らかに違います。上手な人は斜め前方から接近して直前で手を出すのに対して、下手な人は立ちどまって待って、早めに手を出しており、明確な違いがあります。これをモデル化して、ロボットに搭載しますと、実際にロボットのビラ配り成功率が 7 割ぐらいいになるという結果が得られています。また、ロボットが普通に客寄せパンダ的にビラ配りを行えば、おもしろいからチラシを受け取ってあげようと思う人は確かにいますが、そういう場合でもこの手法を使わないと、ビラ配り成功率は大体 3 割ぐらいいにしかありません。しかし、このロボットに上手な人のスキルを搭載すると成功率 7 割ぐらいいになり、人間は要らないんじゃないかという話もちよつとありますが、ロボットはこの程度までできることが分かってまいりました。

研究分野紹介 (知のアクチュエーションの観点から) ATR

歩いてくる人にチラシを配る

- ショッピングモールでのチラシ配布行動を分析
 - 上手な人と下手な人がいる



上手い人 (成功率 77.5%)
斜め前方から接近し、直前で手を伸ばす



下手な人 (成功率 12.5%)
立ち止まって待ち、早めに手を伸ばす

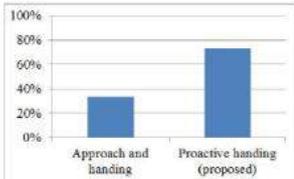
Copyright 2015 (C) ATR, Kyoto, JAPAN All rights reserved.

研究分野紹介 (知のアクチュエーションの観点から) ATR

歩いてくる人にチラシを配るロボット

- 「斜め前方から接近し、直前で手を伸ばす」行動をロボットに再現して、フィールド実験で検証
 - 提案手法では 73.3% の成功率
 - 対比モデル(まっすぐ進んで手を伸ばす) は 33.3%





Method	Success Rate
Approach and handing	33.3%
Proactive handing (proposed)	73.3%

C. Shi, et al., A model of distributional handing interaction for a mobile robot, The 2013 Robotics: Science and Systems Conference (RSS 2013), 2013. (Acceptance Rate 30%)

Copyright 2015 (C) ATR, Kyoto, JAPAN All rights reserved.



また、ATR の中に保育園みたいなところを実際につくって、お父さんとお母さんとお子さん、そして保育士に来ていただいて、保育士さんのロボット支援に関するさまざまな実験をさせていただいています。例えば、ロボットを、われわれがコンピューターでコントロールして、子どもに捕まらないように動くようにしてあげると、子どもはロボットにずっとひきつけられ、安全に子どもたちを遊ばせることができることから、注意の引きつけによる保育士さんの支援になることが分かってまいりました。

これはユビキタスマーケットという、6年ぐらい前にやらせていただいた実証実験です。これはコンビニエンスストアの中に、レーザー印字ファインダーという、レーザーセンサーを設置していただいて、客の行動を計測します。これは顧客の行動を大体5センチぐらいの精度で計測できます。プライバシーの問題もいろいろありますが、露骨にカメラを取り付けて、商品の前に来ると顔の向きや視線が計測できるようになっています。目の白黒から3次元化モデルで推定して、大体5度ぐらいの精度でどこを見ているのかを計測しています。そうすると置いてある商品について、例えば、サンドイッチにするかおにぎりにするか迷っていることが、手にとる前に分かります。棚の中にはUHF帯のRFIDタグリーダーのアンテナがついており、それぞれの商品のシールにタグが張ってあるという状態になっているので、商品を手にとると何をとったのかが分かることになっています。したがって、これを応用すれば、ネットショップなどバーチャル店舗で実績を上げている顧客誘導とリコメンデーションを実際の店舗の中で実現できることとなります。実際にネットショップでは、お客さんがどこをクリックしたのかとか、どこのページをどれだけ見たのかといった情報がどんどん取られていて、その購買行動からお勧めをすることがやられていますが、実際の店舗の中でも同じことがネットワークロボットを使うとできるのです。120人ぐらいのお客さんの行動データを取ると、大体400個ぐらい購買ルールが得られます。こういう商品を買った人はこういう商品を次に買う、あるいはここで買う商品を迷った人たちは実際にこういう商品を買いたいと考えているといった情報が出てまいります。その情報に基づいて、ロボットがお勧めをするということをする、売り上げが倍になり

ます。具体的には、購買率が大体一つの商品につき大体 11%程度（10 人が入ったときに 1 人が買う）のものが、24%まで上がるという言い方が正しいのかなと思います。



このような実証実験を通して、最初に樋口先生がおっしゃったような、知識ではなくて実際の知を考えると、ある領域で、あるいはある状況下で、どんなことをするのかという常識的なところがこれから大事になってくるのかなと思います。それはモデル化されていって、インタラクションの行動に移っていくということを考えると、これからやるべきこととしては、人・人々の意思決定と行動のモデル化、蓄積、利活用。ロボットによる人の置きかえ、そして社会への介入、間接的な制御、シミュレーション、こういったところが間接的、あるいは直接的に課題になっていくのではないかと考えております。

われわれは、現在、サービスアプリケーションが開発できるようなプラットフォームとして展開することをやっております。ハードウェア層と、サービスアプリケーション層、真ん中にリソースを管理する層からなる 3 層構造のプラットフォームで、ロボットのサービスアプリケーションが開発できるようにしてあります。ロボットの専門家以外の方がどんどんサービスアプリケーションを開発できるようにすることを目指しています。そうすると、ロボットのサービスアプリがどんどん増えていき、それを使ってサービスを提供することで、実際のデータがどんどん集まってきます。それから知識を抽出して、その知識をまたサービスの提供に適用するという形のフィードバックを回していくことが可能となります。そのようなことが大事なのかなと思います。



実際のロボット自身の意味というのを、われわれ10年以上ロボットを使ってインタラクションの研究をしていると、何となく見えてきたのかなと思います。15年前の病院における実験ですが、あまり立てなかった高齢者に、ロボットが「遊んで、遊んで」と言って寄っていくと、立てなかった高齢者が立ってしまったことがありました。また、デイケアセンターの中で、ロボットがおじいちゃん、おばあちゃんに挨拶をすることを、1カ月～2カ月ずっと実験していると、おじいちゃん、おばあちゃんとロボットが仲よくなってしまいました。これは、人間とロボットの関係というのできてきているということを示唆しています。また、デイケアセンターで、ロボットの腕が実験でもげたことがありました。その日の晩に一生懸命直して、また翌日持っていったら、おじいちゃん、おばあちゃんが本当にロボットのことを心配をしてくれていました。すごく心配して、「直ったの?」と言ったら、「直ったよ、ありがとう」みたいな感じになりました。なかなか壊れて心配されるようなデバイスはないと思いますが、これを考えると、ロボットというのは逆に人々に元気を与えてくれるようなデバイスなのかなと思っております。

センサー・コントローラ・アクチュエーター、この3つをネットワークでつなぐということが、ロボット革命実現会議でも言われてきているロボットに当たります。そうしたら、このロボットを使って何をするのということが、ロボットとして大事であり、それはサービスアプリケーションだと考えています。その1個1個の例を最初ご紹介しましたが、サービスができるとデータが集まって、モデル化が可能になり、その結果を使ってアクチュエーションができます。そこが多分すごく大事なところです。先ほどの3層構造のプラットフォームの中で、このインタラクションによるデータがどんどん貯まって、それを抽象化することで、あるいは抽出・ライフライン化することで、このサービスアプリケーションの中で反映させることが、実際の知のアクチュエーションとして、すごく大事であると思っております。

以上、要するに、ネットワークロボット技術で、現場に対応できるロボットがようやく実現可能になってきた状況を考えますと、サービスと連動したデータ収集、モデル化、ア

クチュエーション、その結果に基づく改善のループを回していくというところが非常に大事ではないかなと考えております。

(質疑応答ならびに討論)

Q：チラシを配るところがおもしろかったのですが、斜めから近づいてぱっと渡すと受け取ってもらえるというルールじゃなくて、もうちょっと書き下せるようなルールというのは、幾つか実験することによってできたりする可能性はあるのでしょうか？

A：もう一段上という、例えば一般的にチラシを配るときにはこうだみたいな、そういうルールですか？

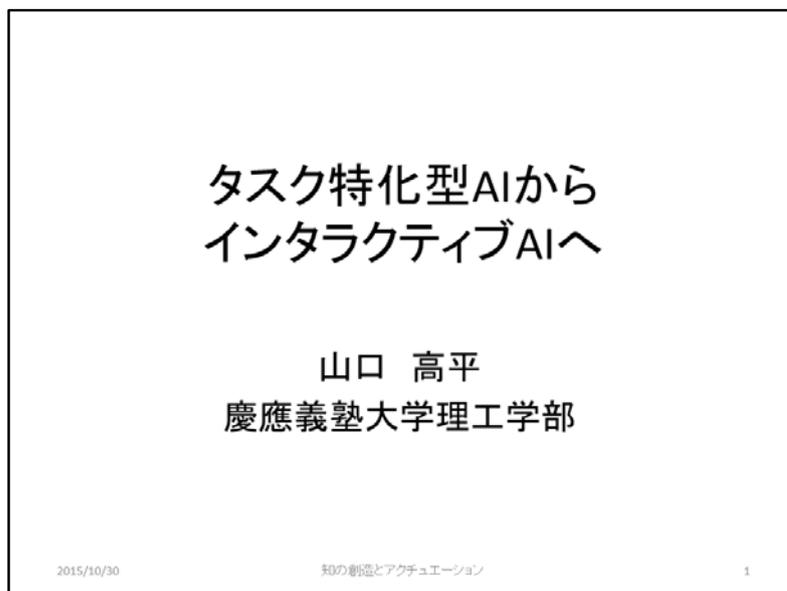
Q：はい、そうです。例えば、斜めから近づくルールだと思いますが、それは人間にとってどういう意味があるから、実はそうやればつい手を出してしまうのかといったようなところは分からないと思います。

A：そういう意味では、また別の実験をいろいろしていますが、お客さまのカスタマーサティスファクションという、満足度を図りながら、どのくらい満足しているのかというところが実際にサービス提供にかかわってくるだろうと思っています。

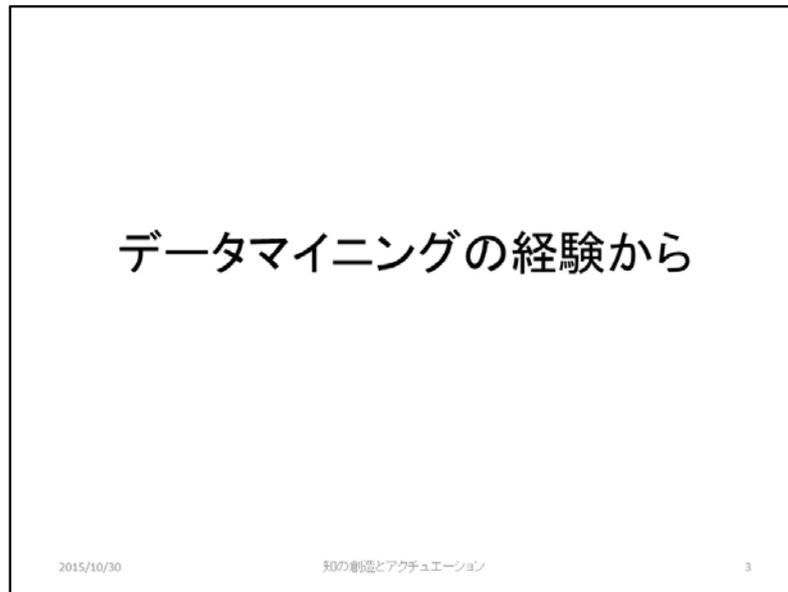
間接的に分かるのは、実際にチラシを受け取ってくれるかどうかというところですが、もうちょっと分かりにくいサービスというのがいっぱいあるので、例えば道案内をするときに、お客さんがどのくらい満足するのかということは、案内して成功しただけではなくて、そのお客さんに聞いてよくなると思うレベルでの満足度であると考えています。それが、例えばすごい分かりやすい例で言えば、「おもてなし」のような話になると思いますが、丁寧に対応するというだけではなく、分かりやすく、なおかつ丁寧に、もっと興味を引くような態度というような感じで知識化をしていくための別の実験をいろいろとやっております。

2.13 タスク特化型 AI からインタラクティブ AI へ（慶應義塾大学 山口高平）

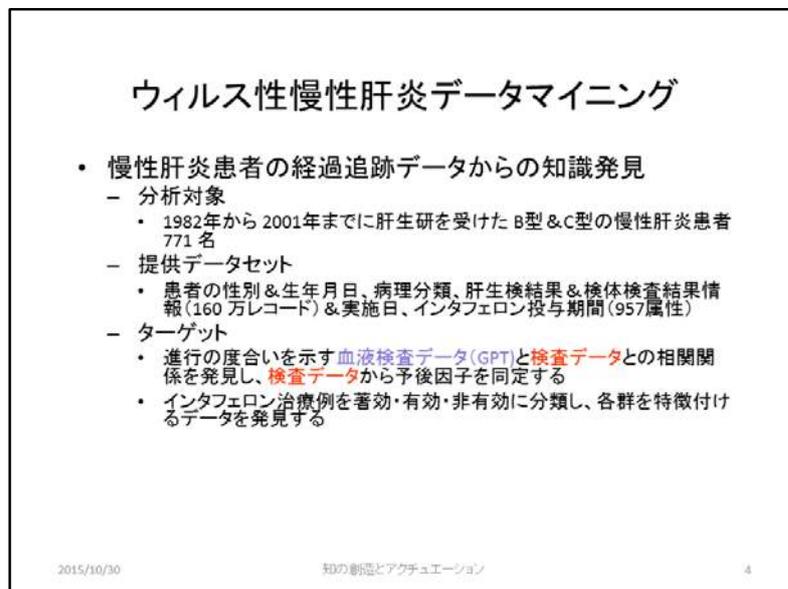
慶應義塾大学工学部の山口です。本日は「タスク特化型 AI からインタラクティブ AI へ」と題して、お話しします。現状の AI から、将来の AI へ、ということでこういうタイトルをつけさせていただきました。萩田先生（研究総括）の CREST「人間と調和した創造的協働を実現する知的情報処理システムの構築」において、人と機械がインタラクションを通して、人の知能と機械知能が互いに進化し続ける「知能共進化」の枠組みを研究しています。



記号接地（シンボルグラウンディング）問題は、記号システム内のシンボルがどのようにして実世界の意味と結びつけられるかという問題であり、それを克服することが重要でかつ大変難しい課題であることを、実感しています。私は、大規模オントロジーを核にして、常識推論・対話・感情推定・画像理解・動作制御を統合し、人と協働する知能アプリケーション構築プラットフォーム（PRINTEPS）の開発を進めています。そして、先ほど宮下さんのお話にあったようなサービスロボットのアプリケーションをユーザーが開発できるようなツールを最終的に目指しています。例えば、喫茶店業務を代行するロボットの知能アプリケーションの開発していますが、記号接地問題の難しさをあらためて実感しています。



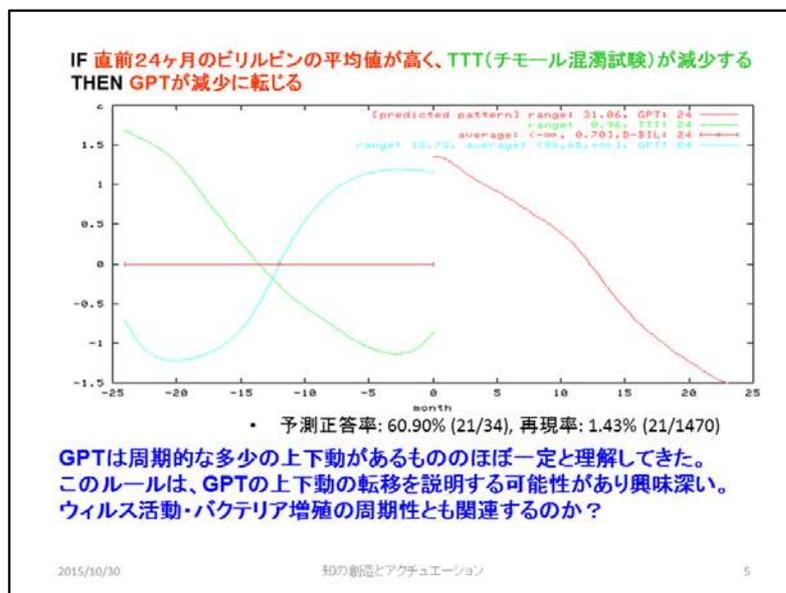
記号処理をやってきた私が、今回のテーマの中で関係するのは、オントロジー、ビッグデータ解析です。午前中、有川先生の基調講演のお話があった元田浩先生の「情報洪水時代におけるアクティブマイニングの実現」に関する研究（H13-16年度特定領域研究：情報洪水）に入れていただいて、「メタ学習機構に基づくアクティブマイニング」に関する研究を行いました。千葉大学病院で20年ぐらい、慢性肝炎患者の経過追跡データから知識を発見することを目的として、ウイルス性慢性肝炎データマイニングに関する研究に取り組んでいました。1982年から2001年までに肝生研を受けたB型&C型の慢性肝炎患者771名の患者データを解析して、医科学的にどんな知見が得られるかを千葉大学病院にフィードバックすることを狙った研究でした。具体的には、肝炎の進行度合いを示す血液検査データ（GPT）と検査データとの相関関係を発見し、検査データから予後因子を同定するインターフェロン治療例を著効・有効・非有効に分類するとともに、各群を特徴付けるデータを発見することを目的としていました。



ウイルス性慢性肝炎データマイニング

- 慢性肝炎患者の経過追跡データからの知識発見
 - 分析対象
 - 1982年から2001年までに肝生研を受けたB型&C型の慢性肝炎患者771名
 - 提供データセット
 - 患者の性別&生年月日、病理分類、肝生検結果&検体検査結果情報(160万レコード)&実施日、インターフェロン投与期間(957属性)
 - ターゲット
 - 進行の度合いを示す血液検査データ(GPT)と検査データとの相関関係を発見し、検査データから予後因子を同定する
 - インターフェロン治療例を著効・有効・非有効に分類し、各群を特徴付けるデータを発見する

提供データセットとしては、患者の性別&生年月日、病理分類、肝生検結果&検体検査結果情報（160万レコード）&実施日、インターフェロン投与期間等の肝炎の検査項目が957種類あり、大変驚きました。肝炎の進行度合いを示す血液検査データ（GPT）と検査データとの相関関係を見つけ出すということで、「IF 直前24カ月のビリルビンの平均値が高く、TTT（チモール混濁反応）が減少する THEN GPTが減少に転じる」というルールが千葉大学病院の先生にちょっと興味を示していただきました。ビリルビンの平均値が少し高くて、チモール混濁反応値（緑色）が減少して、GPTの値が減少に転じることを見いだしました。予測正答率が6割ぐらいだったので、そんなに大したルールじゃないと思っていたのですが、このルールに医師は興味を示されました。そして、「GPTは周期的な多少の上下動があるもののほぼ一定と理解してきた。このルールは、GPTの上下動の転移を説明する可能性があり興味深い。ウイルス活動・バクテリア増殖の周期性とも関連するかもしれない」というコメントをされました。



提供データセットを解析して、実際500個ぐらいのルールを出して、千葉大学病院へ持って行って、興味を示してくれた（採択された）ルールは、これだけです。残りのものについてはすべて、「わからん、わからん」とか、「当たり前や」といった反応でした。専門知識でわかるような常識的なものはバツサリと捨てるし、ちょっと考えてわからなかったら、またバツサ、バツサと捨てられてしまいます。興味を示してくださったのは、臨床のお医者さんですけども、お医者さんの持っている専門知識とそうでないところの境界ラインにありそうなルールだったと思います。そういうルールに興味を示したお医者さんが電子カルテを調べてみて、そのような感想を述べていました。



データマイニングにかかる時間は、データの前処理、マイニング、結果の後処理において、6：1：3の比率と言われます。前処理では、データの欠損値の置換が必要な場合がしばしばあります。欠損値に対する、いろいろな前処理があって、それをきちんと処理してから、マイニング、そして、後処理へと進みます。データが多ければ、前処理や後処理に時間がかかるので、結果としての相関関係の可視化に結構な時間を要します。先ほど述べたように、因果関係を研究している専門家の方がおられると、主観でバツサリその結果を捨てられるわけです。全然われわれのデータマイニングの結果を採用してくれない場合には、さすがにわれわれも憂鬱になります。企業の研究会にちょっと呼ばれて行ったら、関係者から「もうデータマイナー（DataMiner）の憂鬱ですよ」とか言われたりしたことがあります。こういう状況が今、オンライン系のゲーム業界（例えば、DeNAの人たち）では、かなり違ってきています。

データマイニングからビッグデータへ

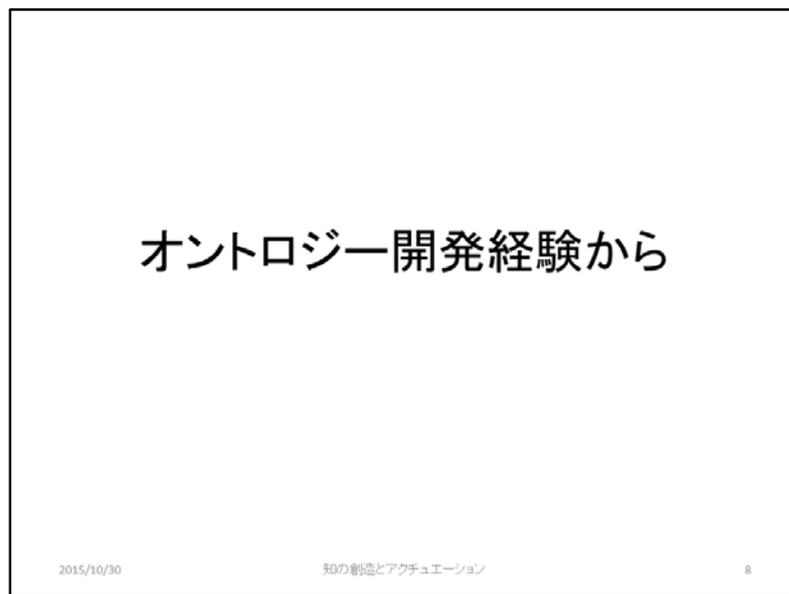
- データ整備はコストがかかる
- マイニング結果も大量になり絞り込みたい。
- マイニング結果の意味は？（相関vs因果）
- 専門家の壁（主観＞客観）

→2000年前半「データマイナーの憂鬱」
 →2011年以降「ビッグデータ」多くの関心

◎オンラインゲーム系企業では、データサイエンティストの方が専門家より有利？ 客観＞主観？

2015/10/30 知の創造とアクチュエーション 7

何が違うかということ、彼らは、ゲームの KPI (Key Performance Indicator) に基づいて、データサイエンスの観点から、ゲームを運用しているということです。オンライン系のゲームの場合、KPI である参加者数を増やすことが一番重要です。例えば、ゲームのシナリオにおいて、闘いが多い方が参加者数が増えていたら、そういうゲームシナリオに転換しようと、データサイエンティストがゲームのシナリオライターに要求を出すそうです。そして、シナリオを書き直してみても、参加者数が増えたら、新しいシナリオに基づいてゲームが運用されることになるそうです。データサイエンティストとゲームクリエイターが KPI という同じ土俵で競うことになります。今は、そのような時代を迎えています。



D. B. Lenat は、整数論で新概念を発見 (1982) した人です。彼が 1984 年より、汎用オントロジー CYC の開発に着手し、もう 31 年たちます。意味の記述は機械学習では依然困難であり、米国 Cycorp 社の研究者が手づくりで進めています。「オントロジー」の自動化は難しく、半自動化を目指した研究を進めていくべきかと思えます。

汎用オントロジー Cyc

- D. B. Lenat(1982): AM→整数論で新概念発見。115個の集合論の概念群から、243個のヒューリスティクス適用。一般化/特殊化、関数合成、射影など。興味深さ指標(対称性、個別性など)導入。既存概念の具体例を列挙し、興味深さ指標適用し、ヒューリスティクス適用の繰り返し。数時間走らせて、素数に関する概念を発見。→面白いが整数論のみ。もっともっと知識が必要。
- 1984年より、汎用オントロジーCYCの開発着手。Douglas Lenat1984年より開発。すべて手作業。
- マイクロ理論 (microtheories)
 - 部分世界の内部だけで整合性を保持
- **OpenCyc**
 - Cycのオープンソース版
 - 2002年:6000概念、60,000事実
 - 2012年:239,000概念、2,093,000事実
 - <http://opencyc.org/>

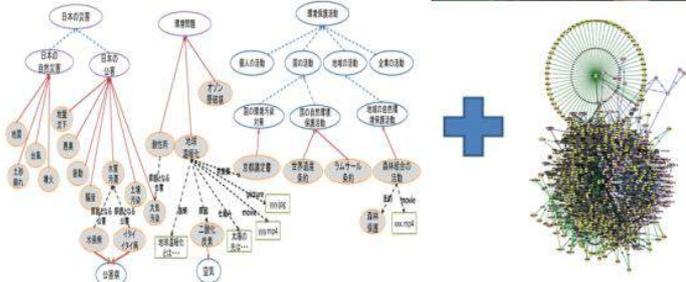


Map of High-Level Cyc Topics

私たちは、人型ロボット NAO を用いて、小学校での教育支援実践に関する研究を進めています。小学5年生の社会科の単元「環境を守る人々」の授業において、「CO2による温室効果」についての教育支援に関してケーススタディーを実施し、小学生教育支援ロボットの評価を行っています。例えば、教師と NAO の対話プロセスにおいて、NAO がオントロジーをもとに生徒に知識を教示するシナリオの流れにしたがって、学習していきます。教師が「地球温暖化は、身近に感じにくい問題で、あまり理解が深まっていないから、NAO に聞いてみよう。」と生徒に言って、教師が「地球温暖化について教えて。」と NAO に言うと、NAO はオントロジーを利用しながら「地球温暖化については、しくみ・影響・・・対策案を知っているよ。あと、仕組みについての動画もあるよ。何か聞きたいことある？」と聞き返します。このような流れ(ワークフロー)は、教師の教授戦略を基にして、教師とロボットが協力して授業を行う処理手続きを定義したものであり、教師の授業動画の分析や教師へのインタビューの結果を基に構築を行っています。

教諭とロボットの協働社会科授業

- 学習単元: 社会科地球温暖化
- 横須賀市立鶴久保小学校5年生全員113名
- CO2による温室効果。
 - ①CO2を出さないようにするには？
 - ②CO2を吸収して減らしてしまおう

人と機械の自由なコミュニケーションは、AIにとってまだまだ大きな課題（深い意味処理の実現、大規模常識オントロジー、知識基盤の統合等）であり、人と円滑にコミュニケーションするAIの方が、ゲームやクイズなどの特定タスクで人に迫るAIよりも、実現は困難です。しかしながら、そのような課題を解決することで、人も機械もお互いに学びあって共に進化していくような、説明・議論・ファシリテートできるインタラクティブな「知能共進化」型AIが開発できるのではないかと考えています。

インタラクティブAIに向けて

- 大規模常識オントロジー
- 領域オントロジー
- オントロジー統合による確固たる知識基盤
- 探索、計画、演繹、類推、帰納推論、学習、発見...と知識基盤の統合
- 説明、議論、ファシリテートできるAIへ

2.14 Human-Robot Interaction, ネットワークロボット

(国際電気通信基礎技術研究所 萩田紀博)

私は Human Robot Interaction とか、ネットワークロボット等をやっています。知の創造とアクチュエーションという課題を考えてみますと、今、CREST の知的情報処理システムをやっているんですけど、赤字で書いたように、人と機械とハーモニアスなコラボレーションをしましょうというタイトルにしていますが、ハーモニアスという意味は機械が勝手にいろいろなデータをとってしまうということ、そのデータの知識がいろいろなところで売り買いされ始めて、ほかの人々が文句を言ったりするという、そういうことが起きてくるのだと思います。そういう意味では、Ethical Legal and Social Issues ということで、ELSI を考慮したようなハーモニアスなシステムをつくらなければならないと社会に導入されないんじゃないかと思えます。特に僕らがやろうとしているのは、Co-Experience Knowledge and Wisdom みたいな形で、人と機械がやりとりしながらできていくような知識というのはこれから増えていく、そういう知識とか知恵は動的なものだけど、そういうものをどうやって獲得していくのがリーズナブルかという課題があります。

あと、創造とアクチュエーションに関する IoT の市場規模は今のところ全く見えていません。これは何のために役立つのかということを使うことが、なかなか難しいので、今後取り組むべき課題としては、現在のサイバー社会はサイバーとリアル空間両方入っているものと言われてはいますが、これではできないことが何で、それを解決するために知の創造とかアクチュエーションでないとできないものを明らかにするのを、この後に議論すればいいと思います。

特に、われわれの今やっている CREST の中でカバーできないのは、生まれてくる知識とか知恵というのを、ELSI を乗り越えてどう売るかという、皆さんの発言には出てこない、あえて disjoint な言い方のほうがいいと思って、こういう書き方をしました。ELSI を考慮した知価という経済みたいなものをもう少し議論してもいいのかなと考えています。インターネットができたとき、アメリカの GDP や何かを 10% ぐらい上げたという話がありましたが、それなら、ここで開発する知というのは、どのくらい押し上げられるのかみたいなことを言ってほしいと思います。そんなことを言える人はここにはいないとしたら、誰に言えばいいのかということも含めて考えてほしい。

そのときに Monetization とか Pricing Model、皆さん Freemium とか既にいろいろなことを経験されているんですね。無料よりはもうちょっと凝ったゲームをやりたいみたいになると有料になったりする、皆さんが開発される知というのは多分そういう要素を非常に持っている、新しい Pricing Model みたいなのが多分 ICT のほうから出てくるんじゃないかと思っています。それも社会知能コンピューティングみたいな形で提案していったらいいなと思います。

知のコンピューティング：知の創造とアクチュエーションWS
 2015.10.30 萩田紀博 (ATR)
 研究分野:Human-Robot Interaction, ネットワークロボット

「知の創造とアクチュエーション」の関連課題に関する提案

・現状の課題:

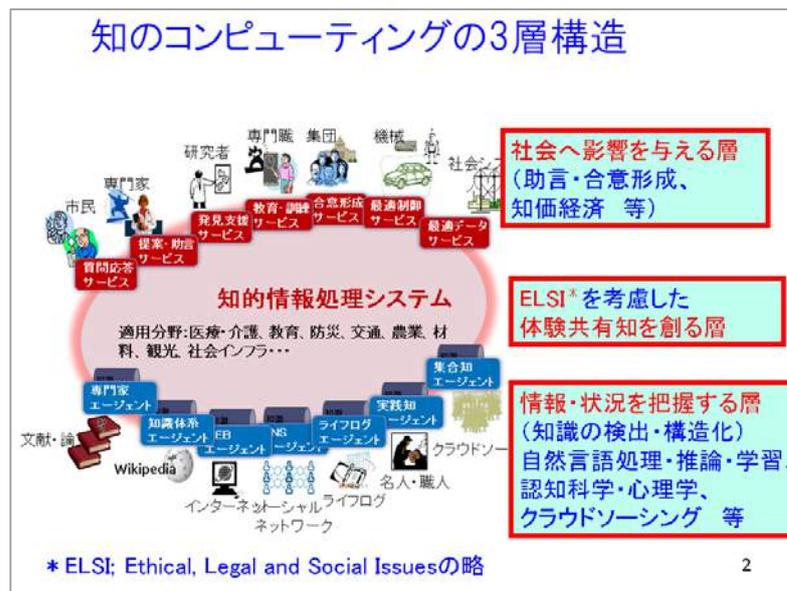
- ・現CREST「知的情報処理システム」Call 1, Call 2の採択案件
 Intelligent Information Processing Systems Creating Go-Experience Knowledge and Wisdom with Human-Machine Harmonious Collaboration
 ・ ELSIを考慮した人間と機械のハーモニアスなシステム構築
 ・ 体験共有知のような動的な知識・知恵の獲得
- ・創造とアクチュエーションに関するIoTの市場規模が読めていない。

・今後取り組むべき課題

- ・現サイバー社会でできないことが何で、それを解決するために、「知の創造とアクチュエーション」で開発しないと行けない技術とは何か?
- ・現CREST「知的情報処理システム」でカバーできない課題とは?

一生まれる知識・知恵をELSIを乗り越えてどう売するのか? ELSIを考慮した知価経済、Monetization, Pricing Modelを科学・実践する社会知能コンピューティングが必要

これ、今のわれわれの CREST は 3 層に分けているんですけど、3 層に分けていて、今のところ Call1 が青い四角で 4 人なんです。



直前に話をしてくれた①山口先生のアプリケーション構築フレームワーク、②佐藤先生の集合視、③鈴木先生の社会知というソーシャルイメージング、それから④渡邊先生はアスリートについて為末さんが走るとどういふ身体状態になるといったものです。Call2では、⑤金井先生の人工意識ということで、意識ってどういうものかという記述ですとか、⑥長井先生はシンボルグラウンディングを真っ向から解いていこうというもので、山口先生といろいろコラボできるんじゃないかなと思っています。それから、⑦伊藤先生の集団知、コレクティブインテリジェンスというのと、⑧春野先生はむしろ脳のほうのシンボルグラウンディングみたいなものをやろうとしているので、非常におもしろいです。この辺の取り組みはありますので、これ以外のやつをぜひ2時以降、茂木さんが言うことなんだと思うんですけど、そういうのを考えていただければいいかなと思います。



H26年度 採択結果と生まれる知識・知恵

研究代表者	課題名	人間と機械の協働過程から生まれる知識・知恵
佐藤 洋一 (東大、教授)	集合視による注視・行動解析に基づくライブイノベーション創出	複数人の注視情報(集合視)を情報共有することで生まれる 集団知 、
渡邊 克巳 (早大、教授)	潜在アンビエント・サーフェス情報の解読と活用による知的情報処理システムの構築	アスリートも含めた運動しながら邪魔にならずに計測できる 運動知、身体知
鈴木 健嗣 (筑波大、准教授)	ソーシャル・イメージング:創造的活動促進と社会性形成支援	自閉症児を含む子ども達の社会性形成(社会知)を支援する知的システム構築
山口 高平 (慶大、教授)	実践知能アプリケーション構築フレームワークPRINTEPSの開発と社会実践	様々な知識を活用するための 共通プラットフォーム構築

H27年度 採択結果と生まれる知識・知恵

研究代表者	年齢	課題名	人間と機械の協働過程から生まれる知識・知恵
金井 良太 (株)アラヤ・ブレイン・イメージング 代表取締役	37	神経科学の公理的計算論と工学の構成論の融合による人工意識の構築とその実生活空間への実装	主観的感覚、意思や自発的な推論機能を持つ 人工意識モジュール 開発
伊藤 孝行 (名工大、教授)	42	エージェント技術に基づく大規模合意形成支援システムの創成	SNS上の合意形成支援と自動交渉する 社会的合意形成知(集団知)
長井 隆行(電通大、教授)	45	記号創発ロボティクスによる人間機械コラボレーション基盤創成	認識情報(パターン)と知識群(シンボル)とを融合する 人機械コラボレーション共通基盤
春野 雅彦 (NICT、主任研究員)	47	社会脳科学と自然言語処理による社会的態度とストレスの予測	SNS言語データ、生体情報、行動・脳計測実験からの 社会的態度・ストレス知

5

そのときに、ちょっと細かく書きましたが最近の市場は余りよくわからんということで、シンクタンクが言っていることを書きましたが、すぐに金額を言うんですけど、大体あまり当たっていないし、分け方の分類学によって全然答えが違うのですが、参考までに一応こういうことが言われているというのを紹介しておきます。

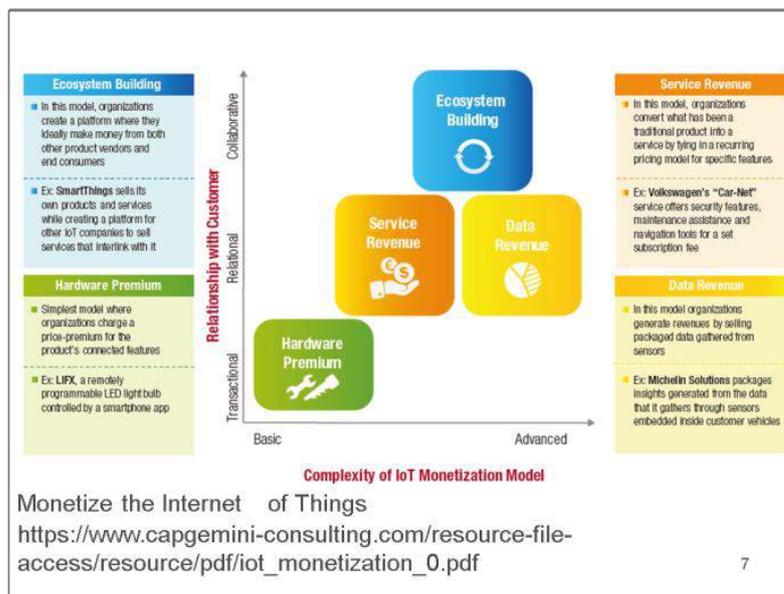
現状の課題：創造とアクチュエーションに関するIoTの市場規模

事例1：国内IoT（Internet of Things）市場予測を発表2015年2月5日 IDC Japan株式会社
<http://www.idcjapan.co.jp/Press/Current/20150205Apr.html>

- ・IDCではIoTを「IP接続による通信を、人の介在なしにローカルまたはグローバルに行うことができる識別可能なエッジデバイス（モノ）からなるネットワークのネットワーク」と定義。
- ・国内IoT市場を「①インテリジェントシステム/エッジデバイス（以下IoTデバイス）」「②通信モジュール、通信回線、通信機器」「③IoTプラットフォームソフトウェア」「④アナリティクスソフトウェア」「⑤IoTインフラストラクチャ」「⑥垂直市場ソリューション/専門サービス」「⑦セキュリティサービス」という7つのテクノロジー要素に分類し、各要素別の市場予測を実施。
- ・IDCでは2014年の国内IoT市場におけるIoTデバイスの普及台数は5億5,700万台、売上規模は9兆3,645億円であったとみており、2019年には同市場のIoTデバイスの普及台数は9億5,600万台、売上規模は**16兆4,221億円**に達すると予測。
- ・予測期間内（2014年～2019年）の年間平均成長率（CAGR：Compound Annual Growth Rate）はそれぞれ11.4%および11.9%という非常に早いスピードで成長することが見込まれる。
- ・テクノロジー要素別にみた場合、IoTデバイスの額は予測期間前半においてIoT市場全体の8割～9割を占めることが判明。一方で予測期間の後半においては、IoTデバイスのコモディティ化が進みIoT市場全体に占める割合も7割台に下落し、それを補完する形で、他の技術要素がじりじりとその売上割合を増やしていくというのが全体的なトレンド。
- ・国内IoT市場は、事業者間の競争激化、サービス利用コストの低減化、通信や分析技術の向上、周辺環境の充実といった成長促進要因に継続的に支えられている。
- ・特に2015年に向けては、IoTソリューションの「導入主体/形態の拡大（Who）」「導入目的の拡大（Why）」「導入機器/場所の拡大（What/Where）」という3つの方向に対するビジネス拡大が、加速し始めているとIDCではみています。そしてそこにはIoT用途に特化したプラットフォームの存在が大きく関わっているものと考えられます。
- ・なぜならIoTプラットフォームは上記の3つの方向にIoTビジネスを拡大させていく上での、プロセス簡略化やコスト合理化といった「How」の面で大きな役割を果たしているためです。

6

Monetization Modelにもサービスとデータというのがでてきていますが、ビッグデータとかサービス工学だとかで分けられているんですけど、多分、このあいだを、もうちょっとカバーするものとして、知の何かRevenueというのが出てくるんじゃないかなと思っています。それが新しいエコシステムを生むんだということ、エコシステムというヒューマンネットの作り方とか、今度は機械とコラボする作り方みたいなエコシステムができてくると思うので、そういう視点で考えていただければと思います。



Monetization Models and Their Applicability

Monetization Model	Target Companies	Critical Success Factors
Hardware Premium	Hardware companies that want to differentiate themselves	Enhanced value delivered over traditional product
Service Revenue	Companies having products with high customer engagement	Having multiple subscription options at varying price points, including free
Data Revenue	Companies that are in a position to collect significant data from their customers	Managing customer privacy and staying compliant to regulations
Ecosystem	Companies that have a wide range of IoT products	Ensuring the platform is equitable to all stakeholders and not just platform promoters

https://www.capgemini-consulting.com/resource-file-access/resource/pdf/iot_monetization_0.pdf

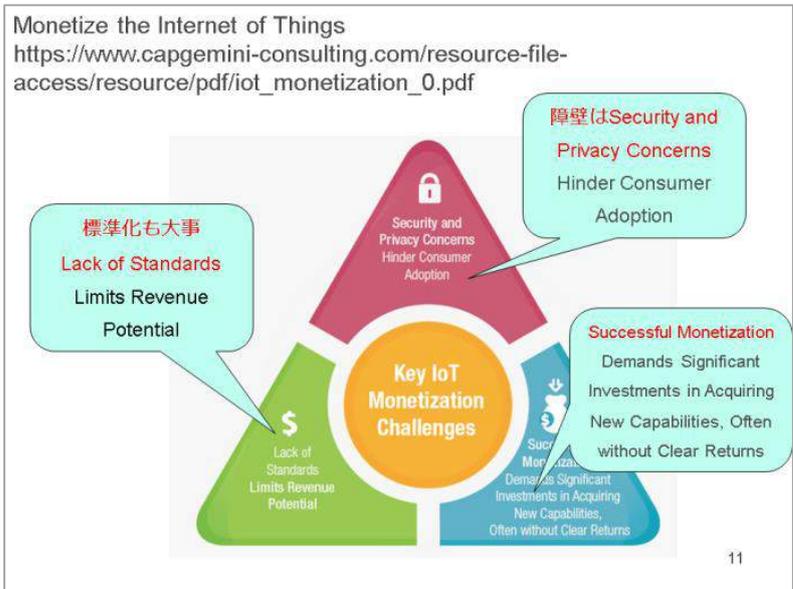
8

皆さんよくご存じの Pricing Model というのは、One-time Charge だとか、Pay-For-Results とか、Freemium とか、Subscription とか、Pay-As-You-Go とか、こういういろいろなやつ以外のやつは多分、知のコンピューティングをやっていると出てくると思うので、そういうのもぜひ考えていただければと思います。

Multiple Pricing Models Enable Companies to Realize the Full Benefits of IoT Monetization

Pricing Model	Example	Monetization Model
One-time Charges: Customer pays a one-time price for purchasing the offering	Sells health-tracking wearable devices for one-time cost 	Hardware Premium + Service/Data Revenue
Pay-For-Results: Allows customers to pay only for realized results from the IoT offering	Recovers payments as percentage of savings obtained from service 	
Freemium: Allows organizations to attract customers that are not convinced of the value of the offering	Uses a freemium model for industrial IoT services 	Service/Data Revenue
Subscription: Offers customers the flexibility to customize service options and duration of the service	Monthly subscription for remote security and energy management 	
Pay-As-You-Go: Allows customers to pay according to the actual usage of the service	Sells pay-per-mile auto insurance 	

https://www.capgemini-consulting.com/resource-file-access/resource/pdf/iot_monetization_0.pdf 10



2.15 時空間多次元集合データ分析 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所 上田修功)

スケジュールの都合で講演がいただけなかったので資料を以下に転記する。

知の創造とアクチュエーションWS
ポジショントークスライド

NTT

時空間多次元集合データ分析

Machine Learning Center

NTT コミュニケーション科学基礎研究所
機械学習・データ科学センタ代表
(上席特別研究員)

上田 修功

Copyright © 2015 NTT corp. All Rights Reserved.

IoT/ビッグデータ (アンビエントAI)における処理機能

従来の制御システムとの相違点:
・オープンシステムでの群制御
・メカニズム(原理、法則)が未知なシステム

処理機能

- 情報圧縮
- 異常検知
- 予測 異種データ融合
- 因果関係抽出
- 先行的誘導・制御
- シミュレーション/可視化

計測 → 計算 → 制御

NTT サイバーフィジカル融合サイクル

Copyright © 2015 NTT corp. All Rights Reserved.

進行中：多次元複合データ分析
時空間多次元集合データ分析

多次元データ

何が起っていた? いつ、どこで、何がどうなる?

単一種データ

現状分析 予測

回帰分析 時系列解析

何が原因? 未来はどうなる?

多次元複合データ分析 → 時空間多次元集合データ分析

Copyright © 2015 NTT corp. All Rights Reserved.

多次元複合データ分析技術

- スパース性の高い多種カテゴリのビッグデータを、計算コストを抑えて効率的にクラスタリングする技術
- 従来得られなかった多面的な分析結果（知見）を抽出分析可能

*Non-negative Multiple Tensor Factorization (非負多次元テンソル因子分解法)

入力

- 位置データ (時刻, 緯度経度)
- 店舗データ (位置, カテゴリ)
- ユーザ属性 (性別, 年齢…)
- コンテンツ (閲覧履歴)
- 天候データ (天気, 気温…)

多次元複合データ分析

同時分解

クラスタリング結果

- クラスタ1: 土日の日中、西地区にあるカフェは東地区在住の30代女性が多い
- クラスタ2: 日曜日にコンテンツXを見た後、火曜日の雨天時に東地区にある店舗Yと店舗Zへの訪問者が多い
- クラスタ3: 日曜日にコンテンツXを見た後、火曜日の雨天時に東地区にある店舗Yと店舗Zへの訪問者が多い

組み合わせパターンに対する有効性が非常に低いデータを選択的に同時分解により効率的に処理

多属性を同時に解析することで日々のログでは見出せなかった特徴あるクラスターを発見

NTT Copyright©2014 NTT Corp. All Rights Reserved.

時空間多次元集合データ解析「4Sight」

- 多次元複合データ分析を時空間多次元集合データ解析「4Sight」として発展させる。
- 時空間の影響をモデル化し、事象の発生時期を予測。プロアクティブ対応を実現。

多次元複合データ分析

- 特徴的なパターンの抽出
- 事象の発生時期予測は不可

予測技術マップ

多次元データ

- 多次元複合データ分析
- 高次元次元分析 (HDC)
- 単に相関を予測
- クラスタリング
- 情報
- 単一データ

時空間

- 4Sight
- 発生時期を予測
- 自己組織モデル

● 事象の発生時期予測に対応

● 空間的相互作用をモデル化

● 集合データとして扱う

時空間多次元集合データ解析「4Sight」

- 多次元の軸で時間と空間を考慮
- 時空間の影響をモデル化し、事象の発生時期を予測
- 集合データのままで分析

適用分野: NWトラフィックデータや人流・交通流の分析・予測等に適用

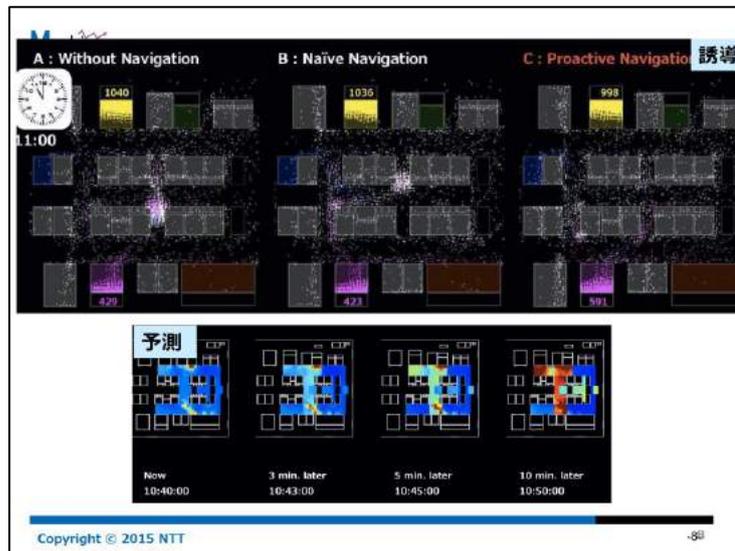
NTT Copyright©2014 NTT Corp. All Rights Reserved.

リアルタイム時空間予測・制御技術

ナビゲーションが満たすべき要件

- 1. 集団最適性**
個人ではなく、**集団として最適**な誘導
- 2. リアルタイム性**
現時点での状況(観測)に応じた**リアルタイム**な誘導
- 3. 先行性**
渋滞が生じる前に、予測に基づいた**先行的な誘導**

NTT Copyright©2014 NTT Corp. All Rights Reserved.



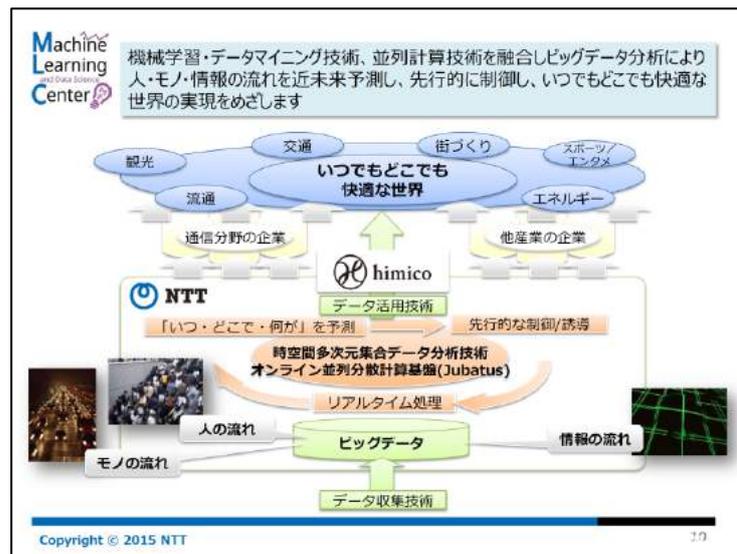
日経産業
 2015. 10.28

NTT機械学習・データ科学センタ

ビッグデータで混雑予測

NTT機械学習・データ科学センタは、ビッグデータ解析技術を用いて、会場および周辺の混雑状況を予測し、プロアクティブな人流誘導を実現している。この技術は、大規模なイベントやスポーツ大会などで、参加者の移動をスムーズにし、混雑を回避する効果がある。センタは、機械学習とデータ科学の分野で最先端の研究開発を行っている。また、ビッグデータの解析技術を活用して、様々なビジネス分野でのデータ分析や予測モデルの構築にも取り組んでいる。この技術は、今後の社会インフラの高度化に大きく貢献するものと期待されている。

Copyright © 2015 日本電信電話株式会社



知の創造とアクチュエーション

NTT Confidential

重要研究テーマ

- (1) 時空間予測
- (2) リアルかつ高度(データ同化)なマルチエージェントシミュレーションの実現のための学習・最適化技術
- (3) 因果関係の抽出技術
- (4) 故障予兆発見など稀少事象の高精度予測技術

NTT Copyright © 2015 NTT corp. All Rights Reserved. 11

3. 分科会

3.1 グループ A における議論の流れと検討結果

モデレーター：

神畠敏弘（産業技術総合研究所 人間情報研究部門 主任研究員）

メンバー：

伊藤孝行（名古屋工業大学大学院 産業戦略工学専攻 教授）

黒橋禎夫（京都大学大学院 情報学研究科 教授）

土井美和子（情報通信研究機構 監事）

萩田紀博（国際電気通信基礎技術研究所 知能ロボティクス研究所 所長）

樋口知之（統計数理研究所 所長）

大竹暁（科学技術振興機構 上席フェロー）

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）

検討概要

まず、各研究分野の観点から知のコンピューティングについての現状認識を共有した。第一は、評価関数が定義できればデータを集めて機械学習等の技術を使い、一定のレベルで問題の解決ができるようになったということである。第二は、統計データに基づいて個人の嗜好に応じた情報提示などは可能になってきたが、物理的世界へのアクチュエーションを組み合わせ、状況・文脈に応じて便益を提供することは、その方法論の構築も含めてじゅうぶんに実現できていないということである。次に、どのような知を目指すべきかを議論した、若いも若きも、ハンディキャップを負った人も含めて、知の活用の大衆化が進みつつあるなかでの知の活用とは、どのようなものであるかという観点から、実際の **Action** に結びつけることができる知が重要という共通認識を得た。さらに、多数の人間や長短の時間的展望に対してスケールすることが重要という結論を得た。このような議論を経て、個人個人の利便性や **QoL** に貢献するだけでなく、個人の集合であるさまざまなコミュニティが意思決定して **Action** に結びつく知を支え・生み出すことを目標に掲げることとした。

この目標を達成するための研究課題を3つ抽出した。第一は、最も基本的なレイヤーとしては個人レベルの価値判断を、ダイナミックに変化する状況のなかで異なる時間スケールや評価軸を参照しながら行うことを可能にするトレードオフ・メーターである。第二は、価値判断の異なる個人個人を含むコミュニティが全体としてどの方向に進むべきかの意思決定と意思決定に基づく **Action** を柔軟に行うための、組織全体の動向把握、利害関係をバランスさせ、組織を構造化するためのソーシャル・ネゴシエーションである。第三は、トレードオフの提示やネゴシエーションにおいて、人間やコミュニティとのインタラクションや行動の予測し能動的に人間に働きかけを行う。このとき人間の信念、共感、意図をよそくし、それに沿った働きかけを行うのが共感アクティベーションである。

こうした研究課題を達成し、活用することで、例えば、全体最適が可能な自動車や災害時避難のナビゲーション、その人に常に寄り添うエージェント等を介した **person-oriented** なサービスの提供・享受、会議時間の短縮などが可能な社会の実現を目指す。

現在の達成レベルと今後の課題

各自の研究分野の視点から知のコンピューティングに関連する技術の現在の達成レベルと今後の課題を列挙してブレインストーミングを行った。列挙された項目を構造化し、次節「3. 目標と研究課題」との関連性が分かるように、①～③の各研究課題の区分に沿い、おおざっぱに分類して以下に記載する。また、「既存の知やデータ」、「集積・増幅・探索」、「予測・発見の促進」、「アクチュエーション」、「プラットフォーム」と深く関係するかを、●印の項目名の後ろの（）内に記載した。

①トレードオフ・メーターと関連する項目

●価値の明確化・抽出、価値関数の定義（予測・発見の促進）

【達成レベル】この10年間でタスク（実現しようとする機能）が明確になれば関連するデータを集めて一定のレベルで解決できるようになった。

【今後の課題】どの機能を最大化、どれに注目すれば良いかは全くアプローチできていない。価値の明確化・抽出、価値関数の定義のところはできていない。それができれば最適化ができる。効用関数をどうモデル化・学習するか。

●機械学習における自律的な次元の獲得（予測・発見の促進）

【達成レベル】現在の学習は報酬を与える学習で動物の学習と同じ。

【今後の課題】人間の子供のように1週間ごとにステップファンクショナル的に変わる。少ないラベルでどう学習するか、今の機械学習は次元が一定でそのなかで学習しているが、どうやって次元がdiscreteに増えるのかというのに取り組む必要がある。自然言語獲得も同じ。

●時間スケールや集団規模が可変の動的可視化・推薦（予測・発見の促進／アクチュエーション）

【達成レベル】多数の人間がコンピューターの推薦システムを使うと結果として役に立たないということがでてくる。また、短期的・長期的便益のいずれを見るかにより、選択肢が変わってくるが、現在の推薦システムはあらかじめ与えられた時間スケールでの推薦。

【今後の課題】どのくらいの時間スケールや集団規模で効用を考えるか、粒度をコントロールしながら人と連携しながら効用を決めていくことが必要。目的地にいる人間やロボット達が連携して決めることになるかもしれない。そのうえで推薦も時系列にダイナミックに変化する必要がある。機械学習も現実世界にダイナミックに役立てるには、新たに蓄積されるデータも使って、時間スケール、窓枠、観測ベクトルの次元を変える必要がある。

【コメント】

- ・911の後に報道があつて、飛行機より事故率の高い自動車で一斉に移動しはじめて死亡事故が急増して犠牲になった人がいる。これは多数の人間に対してスケールできていないということ。
- ・合意を得た後にどんな仕組みで現実の行動を実施・維持するかも課題。

②ソーシャル・ネゴシエーションと関連する項目

●大規模な人間が考えていることの可視化（収集・増幅・探索）

【達成レベル】 大量の知識が集められるようになってきた。

【今後の課題】 知識があふれて一人ではとても処理できないため解かれていない問題がある。そのような問題を迅速に解けるようにすること。

【アプローチ】 1つは collective intelligence の活用。そのために、大規模な人間がどうしているかを可視化する必要がある。Twitter の内容の global、holistic な可視化。

●ロジックと共感をミックスした説得（アクチュエーション）

【達成レベル】 マルチエージェントの研究コミュニティでは persuasion をロジカルに定義しており、いろいろな persuasion のモデルがある。

【今後の課題】 人間の場合には共感も説得につながるので共感とロジックをミックスしたモデルが必要になる。

【コメント】

- ・オレオレ詐欺は息子の声に対して最初から合意しているので共感して振り込んでしまう。

③共感アクティベーションと関連する項目

●マルチモーダルな情報検索（収集・増幅・探索）

【達成レベル】 テキストや音声の言語による情報の検索

【今後の課題】 Beyond words。Wearable などを使って home doctor や身内とコミュニケーションを取る時代になる。例えば乳幼児はスマートフォンを使えない。母親と乳幼児がコミュニケーションできればその技術・サービスの利用が増える。知の大衆化が進む時代では使い方を知らない人でも使う人がでてくる。待機児童の問題などにも貢献できる可能性がある。

●状況・文脈の把握・要約（集積・増幅・探索）

【達成レベル】 人間にとってのインターフェースは言語が重要。音声の技術革新が進み、音声のインターフェースで知識を獲得できるようになった。

【今後の課題】 Web をはじめ大規模テキストから知識をとれるようになってきた。今後、テキストの解釈は粛々と良くなるので、次に文脈や状況の処理に取り組む必要がある。人間を系に入れるうえで自然言語処理に欠けているのは生成系。たくさんのテキストを解釈して、人間に伝えるために文章を作り出す、要約は全然できていない。さらに、テキストだけではなく、いろいろなモノにグラウンディングさせて五感を通じて情報提供することで人間の理解を容易にすることも重要。

●サイバーと物理の連携した推薦・説得（アクチュエーション）

【達成レベル】 人間の現在位置に応じた推薦などサイバー空間とリアル空間とで連動した推薦。推薦された選択肢からの選択は人間に任されている。

【今後の課題】 デジタルサイネージもロボット化するなどリアル空間の制御も伴う推薦。2つの空間をどう組み合わせるか、さらにどう説明・説得をするかを考えることが時代になる。例えば個々の人間のコミュニケーション取り方などメディアによって変わってくる。Facebook のようなコミュニケーションは現実社会では奇妙に見える。特定のメディアの中だからできるものがある。推薦システムでは explanation というテーマがあり、理由を示したり、確信度などのメジャーを示したりすると効果があると言われてい

る。さらに、合意形成後に組織や貢献を引き出す仕組みをどうやって作るかも課題。

【コメント】

- ・過去のグループウェアの研究では face to face にはかなわないという結論。コストも含めて tradeoff の条件がいろいろでてきている。
- ・Face to face でないコミュニケーションに慣れている世代とそうでない世代がある。Face to face でないコミュニケーションが良いは別問題だが、それによって何かを作られているのは事実。
- ・人間集団では常に意識のなかで周りの人間のことを考えている。直接コミュニケーションしなくてもわかり合っている状態。これをうまく利用できると集団を作っていける。一種の合意形成。
- ・信念とか Joint Intention Theory みたいなものも重要になってくる。

●状況・文脈を踏まえた個別的な便益の提供（アクチュエーション）

【達成レベル】 状況を反映していない通り一遍の便益の提供

【今後の課題】 状況・個別的なありがたさを提供するところは全然できていない。Situating service でもできているもの、できていないものがある。できていないところで社会インパクトが言えれば良いテーマになる。Personalized ともいえる。状況と文脈が重要。

【コメント】

- ・良い技術だけでなくサービスや人と繋がる場所まで考える必要がある。日本発の技術なのに社会・経済へのインパクトを他国に先行されたり、技術が変な方向で使われたりしないためにも重要。アクチュエーションを考えると価値観が必要で判断するのは人。
- ・iWatch などはメディアの開発になる。その人にとって、そのメディアが comfort か discomfort か、それを見抜く知が必要になる。

目標と研究課題

前述「現在の達成レベルと今後の課題」で列挙された項目を踏まえて、今後、目指そうとする目標・社会ビジョンの明確化と目標達成に必要な研究課題の構造化を行い、次のような結論に至った。各研究課題における現状の達成レベルとブレークすべき障壁については「現在の達成レベルと今後の課題」の関連する項目を参照のこと。

【目標・社会ビジョン】

個人の QoL 向上だけでなく多様なコミュニティーやコミュニティー同士が状況（環境、文脈、集団の規模、短期的・長期的視点）に応じて適切な選択・意思決定を行うことができる必要に応じてコミュニケーションの形をダイナミックに変化・進化させることができるコミュニケーション社会の実現。誰もが参加でき、各人の納得感が高く、状況・個別的なありがたさを享受できる社会である。具体例としては、全体最適が可能な自動車や災害時避難のナビゲーション、その人に常に寄り添うエージェント等を介した person-oriented なサービスの提供・享受（自己中心主義の促進ではない）、会議時間の短縮などが実現できる。こうした目標・社会ビジョンを達成するために必要な研究課題として次の3つを抽出した。

①トレードオフ・メーター

【概要】機械が最適化を行うための評価関数は人間の判断により設定する必要があるが、時間スケールやコミュニティ規模によりゴールが異なるので、粒度をコントロールしながらゴールとなる選択肢の予測・可視化が必要である。また、選択肢や評価関数に基づく推薦は時系列に **Dynamic** に変化する必要がある。

【必要な技術】

- ・時間的粒度・コミュニティ規模の違いへの対応
- ・可視化・推薦技術
- ・どういう状況でどういう対応をすべきか?というのを、いかにして予測するのか?
- ・集合的な社会とかの考慮

②ソーシャル・ネゴシエーション

【概要】どの方向に進むべきという価値判断・意思決定を組織として行うためには、組織の全体動向を把握し、社会構造を考慮しながら利害関係がバランスされる構造を構築する必要がある。機械を活用した利害関係に基づく意思決定の連鎖の予測と連鎖を踏まえた組織の構造化により、価値判断・意思決定の迅速化や納得感の向上が達成できる。

【必要な技術】

- ・意思決定の連鎖を考えた推薦・提案
- ・推薦に対する人間の決断が与える影響も含めたシステム系
- ・行動の結果、社会がどう変わるのかの可視化
- ・意見を集約して要約してくれる
- ・多数派工作の自動化
- ・社会ネットワークの検出から
- ・無駄な会議の圧縮、状況・目的に応じた組織構造の自動構築

③共感アクティベーション

【概要】 **Beyond words** の時代にウェアラブル機器などを使って乳幼児から高齢者までコミュニケーションがとれる知の大衆化の時代になる。誰でも使えて状況と文脈に応じたサービスの提供と享受を支えるエージェントやメディアが必要になる。このためには状況と文脈を把握するための能動的・マルチモーダルなインタラクションとフィードバックが必要となり、そしてこのとき、感情や共感の検出・予測技術を用いて人間の意図に沿うようにする必要がある。合意形成後の持続的な **commitment** を引き出すうえでも重要である。

【必要な技術】

- ・能動的な問題・課題検出
- ・人間と行動するエージェント
- ・メディア自体の開発
- ・エージェントの対応、利用者のフィードバック検出
- ・適切な問題の検出・予測技術
- ・フィードバックの感情・共感予測（満足しているか）

3.2 グループ B における議論の流れと検討結果

モデレーター：

橋本力（情報通信研究機構 情報分析研究室 研究マネージャー）

メンバー：

石田亨（京都大学大学院情報研究科社会情報学専攻 教授）

井上克巳（国立情報学研究所情報学プリンシプル系 教授）

上田修功（NTT コミュニケーション科学基礎研究所 主席研究員）

中島秀之（公立はこだて未来大学 学長）

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）

土井直樹（科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー）

富川弓子（科学技術振興機構研究開発戦略センター フェロー）

検討概要

モデレータが事前に作成した自然言語処理を例とした表を提示し、議論の進め方を確認した。表中、「アクチュエーション」の「今後」の欄に記載している「○膨大な情報を要約して、専門知識を持たないユーザーにも分かりやすく説明、提示する技術」は、最終的なアウトプットの「研究課題」に該当し、「生み出される価値」の「今後」欄に記載してある「・一般国民の時代社会に対する深い理解の促進」は「目標」の一つに該当する。

表 3-1 自然言語処理を例とした技術と価値

パート I		
予測・発見の促進	アクチュエーション	生み出される価値
現 状 ・ 質問応答技術 ・ テキストで表される仮説の自動生成技術	・ WISDOM X、DISAANA ・ 言語処理プログラムの高速化、高並列化ミドルウェア/RaSC	・ 膨大な情報の的確的把握 ・ 意外だが有用な情報の発見
今 後 ○ 膨大な文書から、将来の致命的なリスクや千載一遇のチャンスを発見する技術 ・ テキストで表される事象の首し出し、重大性、影響範囲、予想される発生時期等を分析する技術 ・ テキストで表される膨大な事象の様々な意味的關係を認識し、その結果を整理して可視化する技術 ○ 与えられた事象に関する価値ある情報の取得にとって有用な質問を自動生成する技術 ・ 問題に対する解決策やチャンスを掴むための手段等、与えられた事象に関して重要度の高い情報がどういったものかを認識する技術 ・ 重要度の高い情報の取得に有用な質問、あるいは質問の種類を認識し、実際に生成する技術 ○ テキストで表される仮説を膨大な文書の情報に基づいて自動で検証し、その結果をフィードバックしてシステムを自律的に高度化させる技術 ・ 膨大な文書集合から、テキストで表される仮説、あるいはその一部の内容が記載されている文書を発見する技術 ・ 自動検証結果から、正しい可能性の高い仮説、誤りの可能性の高い仮説各々を導いた機構を同定し、正しい仮説を生成する機構を発見する技術	○ 膨大な情報を要約して、専門知識を持たないユーザーにも分かりやすく説明、提示する技術	・ 一般国民の現代社会に対する深い理解の促進 ・ リスク管理の効率化 ・ イノベーションの加速

議論の進め方として、はじめに「研究開発のゴール（狙い）」を設定し、それに向けた「障壁（乗り越える目標）」とそれに必要な研究課題」を挙げ、最終的に戦略目標案になるようなアウトプットにまとめることとした。

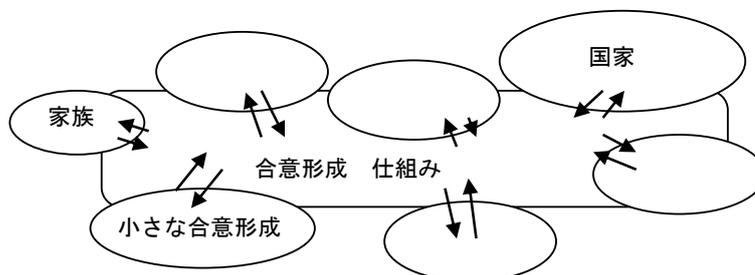
①研究開発のゴール（狙い）についての議論

本日の参加者みなさんの発表にもあったとおり、「知」をいかに抽出して、アクチュエー

トすべきか、そして社会やコミュニティーの価値とするかが議論のテーマになる。今回は、「知」とは何かを議論するのではなく、人間、集団が知を作るため、たどり着くために手助けをするあらゆるツールを考えることになる。「知のアクチュエーション」といったとき、目指すのは、「一般の人が誰でも使えるシステムを作りましょう」というのではなく、ユーザーとしては専門家や特化した人になるのかもしれないが、要は「社会システムや仕組みを作るために必要なこと」について議論する。

ゴールの着地点として「シンギュラリティ後の社会システム制度」を置く。科学技術の進歩に従い、社会システムの変革が予想されるが「ポスト資本主義」が来る前にやっておかなくてはならないことがある。「人と機械」だけではなく「人と機械と社会」として、社会的なことを考える必要がある。さらに「資本主義」社会の次として、「知」を制するものが台頭する社会、「知識資本主義」社会が考えられる。これは「智本主義」ともいえる。この社会は、賢いコミュニティーがますます賢くなる構造を持つ。これに「徳」という概念も含ませてここでは「智徳主義」と表現する。

この社会の基盤として、土着のコミュニティーの多元的な価値観から合意を形成する仕組みが必要となる。この仕組みは「仮説形成」、「価値空間の構造化」、「要約・編集」、「コンセンサスビルディング」等が内在している。下図のように、大小さまざまなコミュニティーが行う合意形成の手法を共有し、共用することにより、共通の合意形成の仕組みが浮かび上がる。



合意形成の方法論やプラットフォームが確立できれば、これはシステムに載る社会が違って世界で共有できる。よって、ゴールとして、「社会において合意にいたるための新しい軸と方法論を見つけて新しい社会を作ること」、「社会的コンセンサスの形成。」が上げられる。

②ブレイクすべき障壁と研究課題についての議論

上記のゴールに向けてまず必要な研究課題として、「多元的合意形成のためのアーキテクチャーとプラットフォームを実現する技術の創出」が上げられる。これに必要な技術要素としては、まず、「多元的な合意形成のメカニズムの解明」が必要となる。このメカニズムの解明のためには、周辺の「状況・環境把握技術の創出」が必要技術であり、さらに状況や環境を可視化するための「状況のマップ形成、構造化、定式化」や動的な「状況のダイナミクスの把握」、「パーソナライズ化された論理の構造化」も必要な要素技術としてあげられる。状況把握に使える「パターン認識」は現在行われている画像のパターンではなく関係性のパターンを認識する。多元的な価値観が混在している社会を部分的

な知識や多目的最適化により把握し、知識データを社会の意思決定に使えるようにするメカニズムを確立する。また、本気度を計測するような「やる気を見抜く」技術というのものもあるとよい。これらをレコメンデーションや意思決定に利用できるようなプラットフォーム形成を目指す。

さらに状況把握と価値観の把握を結びつけて、例えば IBM のワトソンの次として解決策を複数提示するようなものが考えられる。ここで、数値化できない、メトリックに落とせない「価値観の扱い」も研究課題となる。そこで上げられる技術としては、「価値の表現や統合、扱い方の手法開発」、「要約、編集技術」、「推論として、背景や知識データを使えるようにする仕組み」がある。また、具体的な課題として災害時などで必要となる「サステナビリティ」には「自然や環境のインタラクションをモデルとして表現」し、「最適化」を図る技術が必要になる。

さらに、「社会的コンセンサスの形成」も必要な研究課題として上げられる。ゴールの着地点としておいた「シンギュラリティ後」の世界では、新たな価値の再配分を考える必要がある。例えば、土地と同じように情報を持っている者に「データ保有税」、「知税」がかかるとか、お金ではなく、「ポイント制」にするなど、「価値」が生み出す「益」が回る社会システムを目指した研究、平らに繋ぐだけではないシステム論の研究が必要となる。これは智に対する「インセンティブシステム」とも言える。

このような「新しい社会システム（connections4.0、インターネットの次の世界）の形成」がゴールとして上げられるとき、さらに考えられる研究として、従来の単にシミュレーションのためのマルチエージェントシステムではなく、「リアルタイムで進化し予測する学習型のマルチエージェントシステム」の研究が上げられる。これらの研究には、情報学だけではなく社会学、脳科学、言語学、認知科学などの研究者が参画するような多様性を持たせた推進が必要になる。

また、大規模な創造活動としてここ最近、実際に人が集うワークショップが盛んに行われ、かたやインターネットを介したクラウドの利用も盛んになってきている。この物理（フィジカル）とサイバーを繋ぐ仕組みの実現技術も一つの大きな鍵となる。

これらは、研究者レベル単位では研究されているが、社会レベルに昇華した研究が必要になってくる。これらの研究課題を推進するためには、新しいアプローチが必要である。

議論まとめ

生み出される価値（ゴール）として以下の2点を置いた。

- 合意に至るための新しい方法、新しい社会を作る
- 社会的コンセンサス形成

これらのゴールに向けてブレイクすべき障壁は、

- 多元的合意形成のためのアーキテクチャーとプラットフォームを実現する技術が確立されていない
- データ保有税の在り方など、価値の再配分。価値が生み出す益が回る世の中への仕組み作り

の2点があげられる。

このために、なされるべき研究開発は、「・状況把握技術」や「・状況の定式化」など。また、「・推論として、背景や知識データを使えるようにする仕組み」などがあげられる。

さらに、生み出される価値（ゴール）として

○新しい社会システム、Connections4.0、インターネットの次の世界の形成
 があげられ、障壁としては、

- 人と機械と社会の共創
- 社会をまず納得させること。コンセンサスの形成がある。

ここで必要となる研究開発課題としては、「・社会学者や脳科学者、言語学者、認知科学者等との議論」を通じた「・プラットフォームの形成」。「・物理とサイバーをいかにつなぐか」、「・コザインの仕組み」の創出、「・自然（環境）とのインタラクション」を捉えつつ「・ソーシャルバリューの形成」があげられる。

表 3-2 グループ B 議論まとめ（後日作成）

ブ レ ー ク ス ル ー す べ き 障 壁	<ul style="list-style-type: none"> ●多元的合意形成のためのアーキテクチャとプラットフォームを実現する技術が確立されていない ●データ保有税の在り方など、価値の再配分。価値が生み出す益が回る世の中への仕組み作り <p>既存の知やデータ 集積・増幅・探索 ・状況把握技術の開発 ・状況の定式化 ・やる気を見抜く技術 ・パターン認識技術</p> <p>予測・発見の促進 ・モデリング、最適化 ・価値の表現や統合、扱い方の手法開発 ・状況把握を大規模な創造活動に持っていくための要約、編集技術 ・推論として、背景や知識データを使えるようにする仕組み ・カテゴライゼーション、自動認識、推論しながら学習するシステム、知識の修正、補完、信頼、 信憑を扱う研究 ・進化型学習（never ending learning）型リアルタイムマルチエージェントシステムによる予測</p> <p>アクチュエーション ・レコメンデーション ・多元的合意形成メカニズムの解明</p> <p>知のプラットフォーム</p>	生み出される価値（ゴール） ○合意に至るための新しい方法、新しい社会を作る ○社会的コンセンサス形成
研 究 開 発 課 題 （ ・ ）	<ul style="list-style-type: none"> ●人と機械と社会の共創 ●社会をまず納得させること。コンセンサスの形成 <p>既存の知やデータ 集積・増幅・探索 ・自然（環境）とのインタラクション</p> <p>予測・発見の促進 アクチュエーション ・ソーシャルバリューの形成 ・コデザイン（物理）とクラウドソーシング（サイバー）をいかに繋ぐか</p> <p>知のプラットフォーム ・プラットフォームの形成 ・社会学者や脳科学者、言語学者、認知科学者等との議論</p>	○新しい社会システム、Connections4.0、インターネットの次の世界の形成

最終的に議論の内容を戦略目標提案フォーマットに沿ってまとめた。

1. 戦略目標名

A) 智徳主義社会 (wisdom-driven society) を目指す人間・機械・社会システムの
実現

2. 達成目標

B) ①情報学・人工知能、認知科学、言語学、②社会学、③脳科学 の学問分野と融
合した新たな領域を構築し、人間と機械と社会のエコシステムを実現するため、
以下の目標達成を目指す。

C) ○多元的合意形成のためのアーキテクチャーとプラットフォームを実現する技術
の開発
○状況のダイナミクスの把握・構造化の研究促進
○集团的創造活動のための物理 (ワークショップ)、サイバー空間 (クラウドソー
シング) の実現技術 (next クラウドソーシング、connection4.0) の研究

3. 将来達成しうる重要課題の達成ビジョン

D) 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、

- ・異なる文化の相互理解と協調が実現
- ・複合 (マルチ、トランス) 科学の創成
等の課題を達成し、このことにより、
- ・価値の適切な再配分によるレジリエントな社会
- ・シンギュラリティを気持ちよく迎える社会
の実現を目指す。

3.3 グループ C における議論の流れと検討結果

モデレーター：

宮下敬宏（国際電気通信基礎技術研究所 NW ロボット研究室 室長）

メンバー：

有川節夫（九州大学 名誉教授）

喜連川優（国立情報学研究所 所長）

徳田英幸（慶應義塾大学 環境情報学部 教授）

森嶋厚行（筑波大学 図書館情報メディア系 教授）

山口高平（慶應義塾大学 理工学部管理工学科 教授）

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）

ポジショントークに追加する形で発言された問題意識の概要

分科会での検討に先立ち、有識者 6 名により、ポジショントークに追加する形で、下記に示す問題意識が述べられた。

〔有川先生〕

1998 年に発足した文部省（現在の文科省）科学研究費補助金特定領域研究（A）「巨大学術社会情報からの知識発見に関する基礎研究（略称：発見科学）」は、総括責任者：有川節夫教授（九州大学）の元、「知識発見」に関する 5 つの基本課題（班）に分かれて、総勢 60 名程度の人工知能（AI）や統計科学、哲学、論理学など関連分野の研究者が協力しあいながら推進した、先導的な発見科学プロジェクトである。これにより、発見科学の確立と実体化を目指した最初の挑戦が始まったと言ってよい。この発見科学プロジェクトは、いわば「知識を発見する機械」の開発に取り組んできたものであり、計画は 2001 年 3 月に終了したが、さまざまな発見科学的アプローチに関する成果を生み出しながら、International Conference on Discovery Science が毎年世界の主要都市で開催されてきた。

今回の「知の創造とアクチュエーション」を考えるにあたっては、技術的に新規なものをこれまでの技術で振り返ることは重要である。「発見」も「学習」も「知識獲得」の一種であるが、少し意味合いが違う。したがって、「知の創造とアクチュエーション」の研究テーマとして、人の学びを支える「教育」や「学習」に関する新規な研究（例えば、教材開発）が考えられ、認知科学と情報科学を背景にした科学的理解に基づいた質の高い実践教育的価値の創出が期待できる。

〔森嶋先生〕

クラウドソーシングとは、インターネットなどを通じて不特定多数の人々に仕事（タスク）を委託することであり、いろいろな人々の力でいろいろな問題が解決されている。このプロセスに人を巻き込み、人々の分業により社会的課題解決を目指すのも、一種の教育であり、社会的価値の共創である。そのためには、全体がまわる高信頼システム（プラットフォーム）が必要であり、そのサイクルを回しながら、より良いものにしていくことが肝心である。

〔宮下先生〕

社会的価値の創造に関して、実際に、サービスを作る（研究成果をサービスまで落とし、実際にやってみて、データを貯める）ことが大切である。例えば、ネットワークロボット研究においては、サービス開発が非常に重要である。その際には、「サービス→データ→知→アクチュエーション」のPDCAサイクルをいかに作るか！？が重要なメカニズムデザインの課題である。

〔徳田先生〕

知の創造においては、知を創造するための高信頼プラットフォームが重要であり、知のエコシステムのデザインが必要である。なぜならば、現状は、知の創造が個別に行われているからである。知のエコシステムがオープンになるためには何をなすべきか？そのためには、いわば **Open Wisdom** としての、オープンソース（共通な部分：公 カスタム：私）的な考え方が必要となってくる。プラットフォームとしては、蓄積型またはデータフロー型が考えられるが、いずれも人と機械のコ・デザイン（Co-design）の観点が重要であり、教育の観点も必要である。人・人、人・機械、機械・機械の新しい協調関係、マスターレーブ的な協調、マルチエージェントとしての協調等を考慮した知のエコシステム・デザインに取り組むべきである。

〔山口先生〕

知の創造プラットフォームには、アジャイルソフトウェア開発を適切に進めるためのインテリジェントなソフトウェア開発プラットフォームも必要である。

技術障壁としては、記号接地（シンボルグラウンディング）問題がある。例えば、ロボットなどの人工物において、センサーなどを通じて得た外界の信号（情報）と意味づけされた記号との関連付けをいかに成立させるかという難問題があり、意味理解の最初の大きなハードルとなっている。また、自由対話としてのさまざまなレベルでのインタラクション（音声・ジェスチャーからセンサー・記号レベルの情報・データを含む）を利用しながら、社会貢献するための技術開発も重要である。このような処理は、タイムスケールの観点からは、エッジ・コンピューティングでは、少し無理ではないか！？と思う。「知の創造とアクチュエーション」に関する技術開発に際しては、個別化（個人化）が進む現在、社会の構成、人と機械の役割を十分に考慮に入れなければならない。

〔喜連川先生〕

ビッグデータは、従来の商業バリューから、次元の違ったソーシャルバリューに駆動されるようになってきている。この変化は、いわば、ビッグデータ 1.0 からビッグデータ 2.0 への転換とみるべきであり、みんながやってほしいところを「公共知」として見せるためのビッグデータであるべきだ。

例えば、交通事故ゼロを目指すには、まず大量の事故データを集め、事故マップを作成し事故要因を分析する必要がある。しかしながら、事故データはすべて集められないので、事故マップとして表示されるデータは非常にスパースなものとなっているので、現在の事故マップは「公共知」とは言いにくい。これはレギュレーションの問題であり、学問にし

てゆくべきである。壁がどこにあるかではなく、壁をどのようにデザインするか！？が大事である。また、エビデンススペースでさまざまな利益を「見える化」しなければならない。

分科会グループCの検討概要

上述の問題意識を共有するとともに、ブレインストーミングを行った結果、「いろいろなものを創出していくための高信頼プラットフォームが非常に重要なものであるが、現存していない」という共通認識に至り、キーワードとして「高信頼プラットフォーム」があがった。検討の過程では、ビジネスの創出、セキュリティー、レギュレーション、教育・学習等のさまざまなキーワードが浮かび上がってきた。それらを検討した結果、それらを取りまとめる軸として、「ソーシャルバリュー・ドリブン」が考えられた。システムがどんどん変わっている現状を鑑みると、人がどんどん入ってくるシステムを考慮したプラットフォームの構築が必要であり、社会的価値により駆動されるものでなければならない。したがって、ソーシャルバリュー・ドリブン〇〇という風に、〇〇には、スマートライフ（コミュニティー、シティー）、社会デザイン、ビジネスデザイン、セキュリティーデザイン、レギュレーションデザイン等の形でいろいろなドメインが出てくるだろうとわれわれは考えた。そして、これらをまとめて、「Social Value-driven Smart Innovation（社会的価値駆動型スマート・イノベーション）」という形で、ビジョンとして設定するに至った。

社会をどうやって作っていくのか？という問いに対して、社会のコ・デザインや価値共創（コ・クリエーション）、そして人と機械の協創によるアプローチが重要である。そのための高信頼プラットフォームが重要だが、今は存在していない。それを作るには、ソーシャルバリューを軸に作る必要がある。ただし、ソーシャルバリューは、それぞれのドメインごとに変ってくるはずであり、(具体的なソーシャルバリューに関する深堀はしていないが)ドメインごとに定義できるであろう。例えば、人の学びを支える教育や学習（例えば、教材開発）も、ソーシャルバリュー・ドリブンでデザインできるし、ビジネスデザインも、ソーシャルバリュー・ドリブンで行うことにより、社会に浸透するであろう。また、セキュリティーに関しても、同じようにデザイン可能であり、ソーシャルバリュー・ドリブンで、社会をコ・デザインし、価値共創（コ・クリエーション）していくことができると考える。

個別技術としては、自動化技術、自由対話技術、知識の自動獲得（知識獲得に至るための因果関係獲得）、「データ統合→（メタデータ：セマンティクス、オントロジー）→知識の統合→知の統合」技術が研究課題である。このような知の統合アプローチは昔から試みられているが、現在のところまだ実現不可能である。また、システムセキュリティー、ソフトウェア工学に関しては、非常に重要なポイントであるが、研究者がだんだん少なくなっている現状を考えると、人材育成の観点からも、この分野を盛り上げなければならない。さらに、ハードウェア/ソフトウェアの信頼性検証（Software defined XXXの信頼性の検証）に関しては、現状では、ソフトウェアの信頼性検証ではある程度確立されてきているが、社会を構成する複数のクロスレイヤーの信頼性検証を行う必要があり、複数のクロスレイヤー設計とその信頼性検証も重要な研究課題である。

社会的価値に駆動された知のサイクルとしてのエコシステムをいかに作るか！？レギュレーションの問題を社会的価値に基づいて解決する（Societal Value-based Legal & Regulation Design）社会システムデザインをいかに実現するか！？そのようなメカニズムをデザインするには、高信頼プラットフォームが必要不可欠であり、コ・デザインにより価値共創（コ・クリエーション）できる、人と機械の共創社会が実現する高信頼プラットフォームとなるであろう。

分科会グループC（パートI）のまとめ

分科会の前半では、現状の総括（今できていること、既存の技術など）を行うとともに、研究開発のゴール（狙い）、社会的・科学的インパクト、ブレークスルーすべき障壁、および障壁をブレークするための鍵となる研究開発課題を検討した。その成果を下記に簡潔にまとめる。

研究開発のゴール（狙い）、社会的・科学的インパクト

社会価値駆動型スマート・イノベーションを実現する高信頼プラットフォームの先導的構築により、コ・デザインと価値共創（コ・クリエーション）を通じた人と機械の超スマート共創社会が実現する：

- ・社会価値に駆動された社会デザイン、
- ・社会価値に駆動されたレギュレーションデザイン、
- ・社会価値に駆動されたビジネスデザイン、
- ・社会価値に駆動されたセキュリティーデザイン。

ブレークスルーすべき障壁

知を創造するための高信頼プラットフォームは現存しておらず、そのための統合化された基盤技術はまだない。「データ統合→（メタデータ：セマンティクス、オントロジー）→知識の統合→知の統合」に関しては、はじめのデータ統合ステップですら、解決すべき課題があり、難問題である。また、社会的価値に駆動された知のサイクルとしてのエコシステムのデザイン、レギュレーションの問題を社会的価値に基づいて解決するための社会システムデザイン等に関するメカニズムデザインには、ブレークスルーすべき大きな壁がある。

障壁をブレークするための鍵となる研究開発課題

- ・自由対話、知識の自動獲得、因果関係獲得、データ統合、知の統合、
- ・システムセキュリティーを支えるハードウェア・ソフトウェア連携工学の深化、
- ・ハードウェア/ソフトウェアの信頼性検証（Software defined XXX の信頼性の検証）、
- ・PDCA サイクルを回すための高信頼メカニズムデザインとクラウドソーシング、
- ・人・人、人・機械、機械・機械の新しい協調関係、マスタースレーブ的な協調、およびマルチエージェントとしての協調等を考慮した知のエコシステム・デザイン& マネジメント

分科会グループC（パートII）のまとめ

上記パートIの中から重点的に推進すべきと思われる研究課題を2、3項目抽出して、タイトル、概要説明（2、3行）、達成すべき技術目標、達成されるビジョン（社会のイメージなど）の形で、研究開発内容として文章化すると、下記のような戦略的研究目標が考えられる。

① 戦略目標名

社会的価値駆動型スマート・イノベーションを実現する高信頼プラットフォーム基盤技術の開発と超スマート共創社会の創成

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、ロボット工学、学習科学、ソフトウェア・ハードウェア連携工学、サービス科学等の学問分野と融合した新たな領域を構築するとともに、社会的価値駆動型スマート・イノベーションを実現する高信頼プラットフォームを先導的に開発するために、以下の目標の達成を目指す。

- ・ 価値の予測・発見により知の創造を加速する価値駆動型知的情報処理技術の開発と高信頼プラットフォームのクロスレイヤー設計
- ・ 人と機械によるコ・デザインと価値共創を実現する超スマート共創社会デザイン技術の開発
- ・ 自由対話を通じた知識の自動獲得および因果関係獲得支援技術の開発

③ 将来実現しうる重要課題の達成ビジョン

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、

- ・ 人の学びを支える適応型教育・学習環境を実現する教材作成・助言
- ・ スマートライフを支える社会システムセキュリティーの強化と信頼性検証
- ・ 社会的価値に駆動された知のエコシステム・デザイン&マネジメント

等の超スマート社会を先導する高信頼プラットフォーム基盤技術を開発するとともに、人と機械によるコ・デザインと価値共創（コ・クリエーション）により実現する社会的価値に駆動された超スマート共創社会の創成に貢献することを目指す。

4. まとめ

ワークショップでは、冒頭、「知のコンピューティング」としての「知の創造とアクチュエーション」のコンセプトやワークショップの位置づけを説明した。ついで、2007年のワークショップで座長をつとめた有川節夫先生による「発見科学」に関する基調講演および、参加者による専門研究分野と「知の創造とアクチュエーション」の関連課題に関するポジショントークを發表いただいた。

その後、参加者全員が3グループ（A、B、C）に分かれて、研究開発のゴール（狙い）、社会的・科学的インパクト、取り組むべき重要課題等を論点として議論しながら、研究開発課題の抽出を行った。以下、各グループの議論の概略を報告する。

グループAでは、まず、各研究分野の観点から知のコンピューティングについての現状認識を共有した。ひとつは、評価関数が定義できればデータを集めて機械学習等の技術を使い、一定のレベルで問題の解決ができるようになったということである。もうひとつは、統計データに基づいて個人の嗜好に応じた情報提示などは可能になってきたが、物理的世界へのアクチュエーションを組み合わせ、状況・文脈に応じて便益を提供することは、その方法論の構築も含めてじゅうぶんに実現できていないということである。

次に、どのような知を目指すべきかを議論した。老いも若きも、ハンディキャップを負った人も含めて、知の活用の大衆化が進みつつあるなかでの知の活用とは、どのようなものであるかという観点から、実際のアクションに結びつけることができる知が重要という共通認識を得た。さらに、多数の人間や長短の時間的展望に対してスケールすることが重要という結論を得た。このような議論を経て、個々人の利便性やQoLに貢献するだけでなく、個人の集合であるさまざまなコミュニティが意思決定してアクションに結びつく知を支え、生み出すことを目標に掲げることとした。

これらの目標を達成するための研究課題を3つ抽出した。第一は、最も基本的なレイヤーとしては個人レベルの価値判断を、ダイナミックに変化する状況のなかで異なる時間スケールや評価軸を参照しながら行うことを可能にする技術（トレードオフ・メーター）である。第二は、価値判断の異なる個々人を含むコミュニティが全体としてどの方向に進むべきかの意思決定と意思決定に基づくアクションを柔軟に行うための、組織全体の動向把握、利害関係をバランスさせ、組織を構造化するための技術（ソーシャル・ネゴシエーション）である。第三は、トレードオフの提示やネゴシエーションにおいて、人間やコミュニティとのインタラクションや行動を予測し能動的に人間に働きかけを行うときに、人間の信念、共感、意図を推定し、それに沿った働きかけを行う技術（共感アクティベーション）である。

こうした研究課題を達成し、活用することで、例えば、全体最適が可能な自動車や災害時避難のナビゲーション、その人に常に寄り添うエージェント等を介した **person-oriented** なサービスの提供・享受、会議時間の短縮などが可能な社会の実現を目指す。

グループ B では、科学技術が発達した後の目指すべき社会を、「資本」の次として「知」を制するものが台頭する「智本主義社会」が考えられるが、さらに「徳」という概念を含ませた「智徳主義社会 (wisdom driven society)」とした。この「智徳主義社会」を目指す人間と機械と社会のシステムの実現がゴールである。その達成には、「大小さまざま、かつ多様なコミュニティで行われる多元的合意形成のためのアーキテクチャーとプラットフォームを実現する技術の開発」や、「状況のダイナミクスの把握・構造化の研究促進」、「集団的創造活動のための物理、サイバー空間の実現技術の開発」が研究推進目標として必要である。人工知能を含む情報学、認知科学、言語学、社会学、脳科学などの学問分野を融合も必要である。研究開発の成果を実証的に展開、発展することにより、「異なる文化の相互理解と協調」、「複合 (マルチ、トランス) 科学の創成」が可能となり、「価値の適切な再配分によるレジリエントな社会」や「シンギュラリティを気持ちよく迎える社会」が実現するものと考えた。

グループ C では、社会のコ・デザイン、価値共創 (コ・クリエーション)、人と機械の協創が、超スマート共創社会を創成するためには重要なアプローチであるが、現状、そのための高信頼プラットフォームがない。システムは常に変わることを鑑みると、人が絶え間なく入ってくるシステムを考慮した高信頼プラットフォームの構築が必要不可欠であり、社会的価値により駆動されるものでなければならない。それを作るには社会的価値を軸にする必要がある。スマートライフ (コミュニティ、シティー)、社会デザイン、ビジネスデザイン、セキュリティーデザイン、レギュレーションデザイン等、各ドメインで定義される社会的価値を基軸とした「Social Value-driven Smart Innovation (社会的価値駆動型スマート・イノベーション)」の誘発につながると期待できる。これにより、社会的価値に駆動された知のサイクルとしてのエコシステムが生まれ、レギュレーションの問題を社会的価値に基づいて解決する社会システムデザインが実現可能となり、社会的価値に駆動された超スマート共創社会を創成することが可能となる。

今回のワークショップの目的のひとつは、知の創造とその社会適用に関する探求である。その観点で分科会で描き出されたゴールを考察する。描出されたものは以下の3つのゴールイメージである。

- 誰もが参加でき、各人の納得感が高く、状況に応じた、個別的なありがたさを享受できる社会
- 「智徳主義社会」を目指す人間と機械と社会のシステム
- Social Value-driven Smart Innovation (社会的価値駆動型スマート・イノベーション)

それぞれ、個人、社会、及び、システムに焦点をフォーカスしているが、総合することで見えてくるものは、よりよい個人の生き方の追求と、よりよい社会のあり方の追求とが、人間同士や人間と機械のよりよりインタラクションにより共に進展する人間・社会像である。それぞれ独立に討議された結果がひとつの統一的な世界観に収まったことは、今回集まった研究者の日ごろの問題意識に通奏するものの現われと考えることもできる (図 2)。

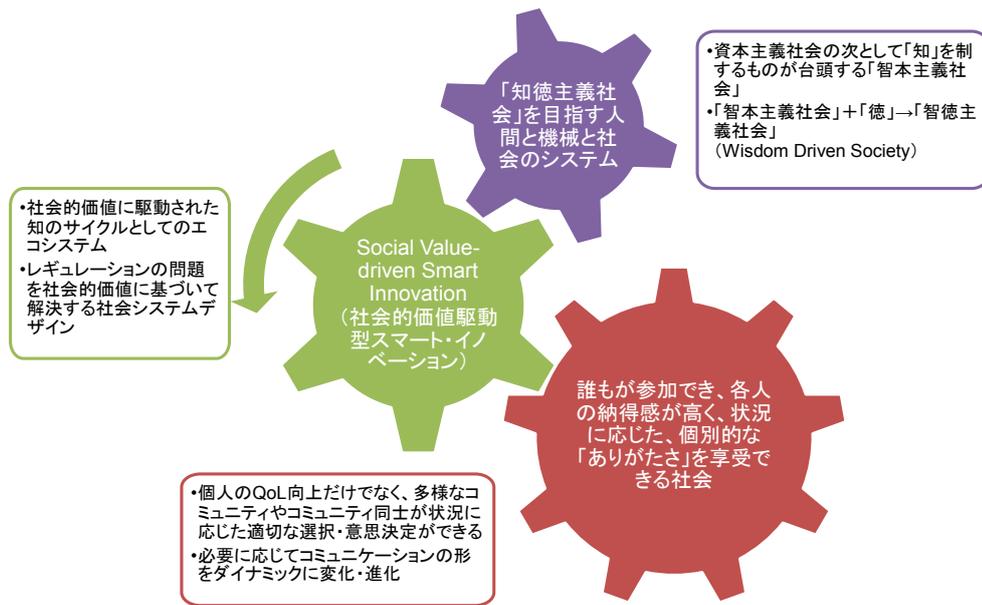


図 4-1 描き出されたゴールイメージ

今回のワークショップのもう一つの目的は、予測・発見を通して獲得した『知識』を、人間や社会に新しい価値として還元するための技術、これを「知のアクチュエーション」と呼んで、深掘りすることであった。分科会で抽出された研究開発課題を知のコンピューティングの俯瞰図にマッピングしたものを図3に示す。発見科学や、非言語情報による状況把握や可視化などの従来から挙げられていたものに加えて、人間の信念・共感・意図に働きかける技術、集団レベルで意思決定をアクションをバランスさせる技術、物理空間とサイバー空間をつないで集団的創造活動を支援する技術など、知の創造とアクチュエーションに関わる技術が新たに特定できたことは意義深い。



図 4-2 知のコンピューティングの俯瞰図 (見直し版)

一方で、今回議論ができなかったトピックとしては、「知」とは何か、新たに「徳」とは何かという議論、統一見解は難しくても、常に問い続ける必要がある。2つ目は、具体的なインパクトに関する議論。観念的な表現にとどまる限り他の研究コミュニティはもとより行政や一般の人々の理解してもらえない。各論でもいいので具体的な議論が必要。3つ目は社会システムデザインの方法論に関する議論。最後に、知のコンピューティングではポリシー（図3の⑧）と呼ぶ社会受容に関わる議論。今回は新たに集団の意思決定や合意形成をどう円滑に進めるかという研究課題が抽出されたが ELSI 的に考えておかないといけない問題を多く含むと思われる。

今回は、研究領域も参加者もある程度事前に絞り込んだにもかかわらず、前半のポジショントークやプレゼン資料に含まれる助言や知見、また、参加された有識者の頭脳の中に納まる膨大な知識や見識に基づく熟議の結果を限られた時間で引き出すことができなかった。企画・運営の立場から参加された方々には、今回の不手際を深くお詫びすると共に、CRDS では知のコンピューティングに関わる活動はこれからも継続的かつ戦略的に実施する所存であるため、今後とも議論の場への参加と協力を心よりお願いしたい。

なお、本報告書における分科会の報告については、ワークショップ後に、分科会のグループリーダーをつとめた、神畷敏弘（産業技術総合研究所主任研究員）、橋本力（情報通信研究機構研究マネージャー）、宮下敬宏（国際電気通信基礎技術研究所室長）の各位に協力いただいた。ご協力に心より感謝する。

5. 付録

5.1 開催プログラム

日時：2015年10月30日（金） 10:00～18:00

場所：科学技術振興機構 東京本部別館 2階会議室 A-1

プログラム：

10:00-10:05	挨拶	岩野和生（CRDS）
10:05-10:15	ワークショップの概要説明	茂木 強（CRDS）
10:15-10:40	基調講演「発見科学」	有川節夫（九州大学名誉教授）
10:40-12:00	ポジショントーク 1（発表 10 分× 8 名）	
	現在、未来、そして循環	樋口知之（統計数理研究所）
	仮説発見 帰納推論・アブダクション	井上克巳（国立情報学研究所）
	自然言語処理	黒橋禎夫（京都大学）
	本当の AI：情報処理技術の先鋒としての AI	中島秀之（公立はこだて未来大学）
	NICT における知の発見と創造のための自然言語処理技術	
		橋本 力（情報通信研究機構）
	コレクティブインテリジェンス	伊藤孝行（名古屋工業大学）
	クラウドソーシングと知のアクチュエーション	
		森嶋厚行（筑波大学）
	今後の研究課題	石田 亨（京都大学）
12:00-12:45	昼食・午前中の議論まとめ等	
12:45-13:35	ポジショントーク 2（発表 10 分× 5 名）	
	知の創造とアクチュエーション	神嶌敏弘（産業技術総合研究所）
	スマートシティ・コンテキストにおける知のアクチュエーション	
		徳田英幸（慶應義塾大学）
	ネットワークロボットの観点から	宮下敬宏（国際電気通信基礎技術研究所）
	タスク特化型 AI からインタラクティブ AI へ	山口高平（慶應義塾大学）
	「知の創造とアクチュエーション」の関連課題に関する提案	
		萩田紀博（国際電気通信基礎技術研究所）
13:35-13:50	Coffee Break	
13:50-14:00	分科会の進め方	茂木強（CRDS）
14:00-17:00	分科会（3 グループ）での検討	
	ゴール（狙い）、社会的・科学的インパクト、研究開発内容（現状、課題）に関する議論	
17:00-17:50	分科会の検討結果発表 & 全体討議	分科会リーダー
17:50-18:00	ラップアップ	岩野和生（CRDS）

5.2 分科会の進め方

3つのグループ（A、B、C）に分かれて、ゴール（狙い）、社会的・科学的インパクト、研究開発内容（現状、課題）について議論した。

パートIでは、予測・発見の促進、アクチュエーション、生み出される価値について現状と今後目指すべき方向のリストアップ、研究開発のゴールに向けたブレークすべき（障壁）の明確化を行った。

パートIIでは、パートIで抽出した障壁からいくつかを選択して、その解決を目標としたチャレンジを文章化した。

パートIのアウトプットイメージ

今回のフォーカス

既存の知やデータ	革新・増幅・探索	予測・発見の促進	アクチュエーション	知のプラットフォーム	生み出される価値
----------	----------	----------	-----------	------------	----------

現状

①現状の総括（今できていること、既存の技術など）
2007年のワークショップの結果を席上に配布

今後

③ブレークスルーすべき障壁（障壁）
④研究開発課題（・）

②ゴール

科学技術振興機構 研究開発戦略センター

12

分科会のお願い（パートI：バックキャスト）

グループごとに以下の論点を議論してまとめてください

- ① 現状の総括（今できていること、既存の技術など）
- ② 研究開発のゴール（狙い）、社会的・科学的インパクト
- ③ ブレークスルーすべき障壁（●）
- ④ 障壁をブレークする、鍵となる研究開発課題（・）

科学技術振興機構 研究開発戦略センター

11

分科会のお願い（パートII：フォアキャスト）

パートIの中からブレークすべき障壁を2、3項目抽出し、その解決を目標としたチャレンジを文章化してください。

- タイトル
- 概要説明（2、3行）
- 達成すべき技術目標（○←障壁●の裏返し）と研究課題（・）
- 達成されるビジョン（社会のイメージなど）

科学技術振興機構 研究開発戦略センター

13

パートIIのアウトプットイメージ

H26年度戦略目標より抜粋

1. 戦略目標名
2. 達成目標
3. 将来実現しうる重要課題の達成ビジョン

研究課題

目標

ビジョン

科学技術振興機構 研究開発戦略センター

14

5.3 参加者一覧

有川節夫	九州大学 名誉教授	講演者
石田 亨	京都大学大学院 情報学研究科 教授	講演者
伊藤孝行	名古屋工業大学大学院 産業戦略工学専攻 教授	講演者
井上克巳	国立情報学研究所 情報学プリンシプル系 教授	講演者
上田修功	NTT コミュニケーション科学基礎研究所 上席特別研究員	ディスカッサント
神寫敏弘	産業技術総合研究所 人間情報研究部門 主任研究員	講演者
喜連川優	国立情報学研究所 所長	ディスカッサント
黒橋禎夫	京都大学大学院 情報学研究科 教授	講演者
土井美和子	情報通信研究機構 監事	ディスカッサント
徳田英幸	慶應義塾大学 環境情報学部 教授	講演者
中島秀之	公立はこだて未来大学 学長	講演者
萩田紀博	国際電気通信基礎技術研究所 知能ロボティクス研究所 所長	講演者
橋本 力	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 研究マネージャー	講演者
樋口知之	統計数理研究所 所長	講演者
宮下敬宏	国際電気通信基礎技術研究所 NWロボット研究室 室長	講演者
森嶋厚行	筑波大学 図書館情報メディア系 教授	講演者
山口高平	慶應義塾大学 理工学部管理工学科 教授	講演者
大竹 暁	科学技術振興機構 上席フェロー	ディスカッサント
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	オーガナイザー
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	ディスカッサント
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	ディスカッサント
土井直樹	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー	ディスカッサント
富川弓子	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー	ディスカッサント
藤井新一郎	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー	ディスカッサント
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	ディスカッサント
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	司会

■報告書作成メンバー■

岩野 和生	上席フェロー	(システム・情報科学技術ユニット)
茂木 強	フェロー	(システム・情報科学技術ユニット)
鈴木 慶二	フェロー	(システム・情報科学技術ユニット)
富川 弓子	フェロー	(システム・情報科学技術ユニット)
的場 正憲	フェロー	(システム・情報科学技術ユニット)

※お問い合わせ等は下記ユニットまでお願いします。

CRDS-FY2015-WR-06

科学技術未来戦略ワークショップ報告書

知のコンピューティング 「知の創造とアクチュエーション」

平成 27 年 10 月 30 日 (金) 開催

平成 28 年 3 月 March 2016
ISBN 978-4-88890-482-7

国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター
システム・情報科学技術ユニット
Systems / 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 K's 五番町
電 話 03-5214-7481 (代表)
ファックス 03-5214-7385
<http://crds.jst.go.jp>
© 2016 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.

ISBN 978-4-88890-482-7

