

### 3.12 知のコンピューティング

知のコンピューティングとは、情報科学技術を用いて、知の創造を促進し、科学的発見や社会への適用を加速することである。知のコンピューティングにより、人々のくらしや社会システムの質的変革が促され、人と機械が共創した、より高度な知的社会が実現される。知のコンピューティングの開発により次のような成果が得られることを期待する。

- ・ 知の発見と伝播・活用を促進し、科学の発展と社会への浸透と富の再配分を加速
- ・ 最先端知識や技術の社会的適用の促進を図ることによる社会サービスの質の向上
- ・ 新しいソーシャルコンピューティングの開拓による発見の加速
- ・ 新しいコンピューティングパラダイムの開拓

知のコンピューティングを構成する研究開発領域を図 3.12.1 に俯瞰する。全体で 6 個の研究開発領域に既存の学術分野と新たな学術分野を含めた。ここで、上段の 3 領域、①知の集積・増幅・探索、②予測・発見の促進、③知のアクチュエーションは、知のコンピューティングの最終的な目的となる領域を示す。④知の社会エコシステム・プラットフォームは、集積した知、生み出された価値を社会に還元して、共有・普及・促進を加速しやすくするための基盤となるソフトウェアとデータを含む。以上が新しい学術分野である。

下段の 2 領域、⑤個人・集団・生物に学ぶは、既存の学術分野を知のコンピューティングの文脈で整頓したものである。また⑥知価の ELSI と適用領域は、知の集積・増幅・伝播・検索・予測・発見・アクチュエーションを可能にする倫理的・法的・社会問題の整備とガイドライン設計に関わる領域である。

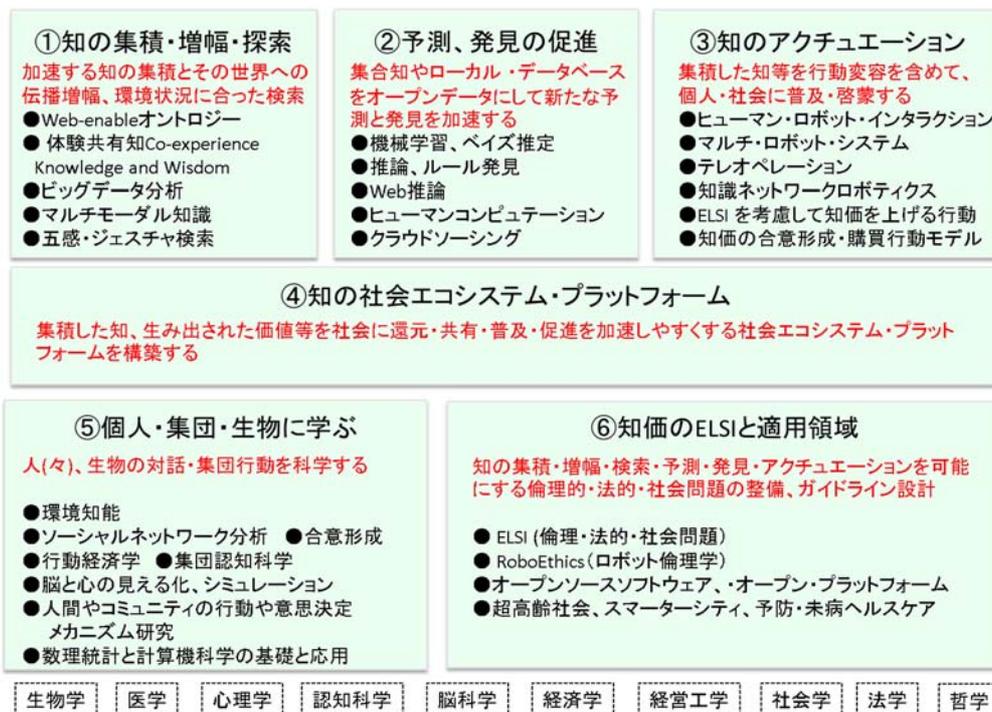


図 3.12.1 知のコンピューティングの俯瞰図

CRDS では、知のコンピューティングという新しい研究分野を立ち上げるために、サミットと一連のワークショップを開催して、分野の方向性や研究コミュニティの形成を図った。本報告書では、主に、サミットならびに一連ワークショップでの議論に基づき、知のコンピューティングの概要を報告する。

#### （1）Wisdom Computing Summit 2013

Wisdom Computing Summit 2013 は、JST 科学技術未来戦略ワークショップの1つとして「知のコンピューティング—人と機械が共創する社会を目指して—」というテーマで開催した。サミットのねらいは、「知のコンピューティング」について、有識者と共にその分野を創出し、日本発の研究開発イニシアチブとして確立することである。さらに、イニシアチブのゴール、方向性、分野そのものの定義、分野内の重点テーマ、グランドチャレンジなどについても幅広く、活発な議論を進めるとともに、研究コミュニティの形成や醸成についても議論した。この結果、知のコンピューティングという新たな分野が目指すべき方向性として、従来の人工知能やロボティクスをさらに一步推し進めた、「人間と機械の共創を目指したコンピューティング」という新たなコンセプトが得られた。

#### （2）知のメディアワークショップ

「知のメディア」ワークショップでは、対話・知識・動作（振る舞い）というマルチモーダルによる、人とコンピュータのインタラクションを通して、古い知識が新しい知識に更新されていく、あるいは、形式知が実践知に変換されていくという、「知る」というダイナミックなプロセス「Knowing」を実現することが、学術的にも社会貢献的にも重要であるという考えのもとに、自然言語理解、知識理解、メディア理解、Web インテリジェンス、AI チャレンジに関する研究者が一堂に会し、重要な研究課題と 2020 年チャレンジについて議論した。特に、6 種類の具体的な 2020 年チャレンジが浮上し、各参加者から、そのチャレンジを実現するための多様な要素技術が関連づけられ、社会貢献と学術研究課題が融合できた事は大きな成果である。要素技術単独ではチャレンジの実現は難しく、それらの要素技術を統合することが、チャレンジの実現に大きく貢献するのであり、未来社会デザインのための青写真の枠組みを明らかにした。

#### （3）知のプラットフォームワークショップ

「知のプラットフォーム」ワークショップでは、先に開催された「知のメディア」ワークショップで設定されたチャレンジテーマのレビューやチャレンジテーマ達成に向けて必要な知識、技術、社会制度の抽出を行い、それらの現在の姿、2020 年にあるべき姿、そのギャップを埋めるための研究開発課題を整理した。知のプラットフォームの狙いを「価値の創造」を促進するプラットフォームととらえたり、ダイナミックな関係知、インタラクションによって得られる知の取り扱いが重要であるという指摘や、インタラクションによる知の共創に注目するといった視点などが指摘された。これらを実現するための知識の表現や獲得、状況認識と状況に応じた推論、知の評価・エコシステムなど多様な研究課題を抽出した。

#### （4）知のコミュニティワークショップ

「知のコミュニティ」ワークショップでは、メカニズムデザイン、ヒューマンインタフェ

イス、クラウドソーシング、マルチエージェントシステム、社会ネットワーク分析など、コミュニティの形成に関する分野の研究者も含めて議論した。まず、「知のコミュニティ」の定義について議論し、「知のコミュニティ」とは「系」や「場」であって、人と人を媒介するものであるという共通認識を得た。そのうえで、「知のコミュニティ」によって2020年頃を実現すべき複数のチャレンジと、それらを実現するための知識、技術、社会制度（ビジネスモデル）の現状と2020年のあるべき姿、研究課題を明らかにした。

### (5) 知のコンピューティングと ELSI/SSH ワークショップ

「知のコンピューティングと ELSI/SSH ワークショップ」では、人文社会科学（SSH: Social Science and Humanities）および情報科学関連の有識者が集い、戦略プロポーザル「知のコンピューティング」の描き出す未来像に対して、人文社会科学／情報科学の双方からプロジェクトの推進において必要となる ELSI に関する論点を議論した。図 3.12.2 に、ワークショップで提示、議論された論点を、倫理・法・社会の視点にマッピングした結果を示す。なお、右下の角にはこれら視点におさまりきれない SSH や政策的課題を配した。



図 3.12.2 知のコンピューティングと ELSI/SSH 論点マップ

### 3.12.1 知のメディア

#### (1) 研究開発領域名

知のメディア

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

Knowing のダイナミックなプロセスを実現するための対話、知識、振る舞いと、そのインテグレーションに関する技術

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

知を「知識を更新していく"Knowing" をダイナミックなプロセスにするもの」と捉えることで新たな社会貢献の可能性が拓ける。そのためには、独立型 AI ではなく、様々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・記号レベルの情報・データを含む）を利用することが前提となる。

Knowledge から Knowing への転換が重要である。人と人とのインタラクションで Knowing が起こるのが、野中郁二郎の SECI モデルであるのに対して、人と機械とのインタラクションで Knowing が起こるのが知のコンピューティングである。

技術のインテグレーションが鍵になる。この考えを SOA（サービス指向アーキテクチャ）に基づいて概観すると、データ／構造化技術／オントロジーパターンモデル／要素技術／サービス合成／ユーザのレイヤーで捉えられる。SOA の考え方で様々な技術を活用してサービス合成を行うことで、生活支援、教育支援、業務支援、地域活性化支援が実現できる。

知のメディアを構成する研究分野と研究課題を下表にまとめる。

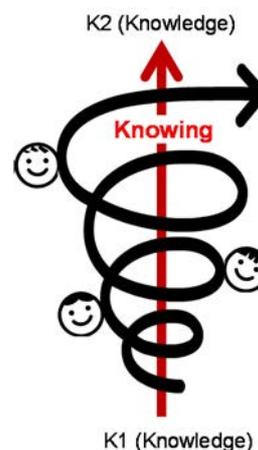


表 3.12.1 知のメディアの研究分野と研究課題

研究分野	研究課題
言語処理・音声対話処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 言語意味解析</li> <li>・ テキストからの知識獲得</li> <li>・ 意見分析</li> <li>・ 音声認識、音声合成</li> </ul>
メディア処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 画像理解</li> <li>・ 動画理解(行動理解)</li> <li>・ 内容検索</li> </ul>
知識処理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ リンクトデータ、オントロジー、ルール</li> <li>・ Web インテリジェンス</li> <li>・ 情報(記号とメディア)統合</li> <li>・ Deep Learning</li> <li>・ 汎用人工知能からの知見</li> </ul>
知の活用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ AI インテグレーション、AI ルネッサンス (PIQANT から Watson へ、ES から BRMS へ)</li> <li>・ ヒューマンプロセスとマシンプロセスの摺り合わせ</li> <li>・ インタラクションデザイン</li> <li>・ コンテキスト判断、管理</li> <li>・ 知の個人への適用(創造支援、助言、行動支援)</li> <li>・ 知の社会への適用(病院、行政、企業)</li> </ul>

具体的なターゲットを設定することで、個別の要素技術の達成度と統合も含めた技術的課題を明らかにすることができる。ワークショップでは、2020 年の向けたチャレンジを抽出した。

表 3.12.2 知のメディアの 2020 チャレンジ

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

たとえば、動き認識では、図に示すような複雑な動作や行動の質の解析と定量化をターゲットとして定めた。



図 3. 12. 3 動き認識における複雑な動作・行動の質の解析と定量化

< 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向 >

当該研究開発領域の具体的な内容と諸外国の政策および研究開発の動向をまとめる。

(4) 科学技術的・政策的課題

知のメディアとして取り組むべき中心的な研究課題を以下に列挙するが、個々の研究分野における既存の研究課題の進歩ではなく、複数のメディア処理と知識処理といった異分野の研究を統合させるための研究が必要である。そのためには、チャレンジに挙げられたような達成目標を実際にひとつずつ実現するようなアプローチが有効である。

①言語処理における重要な技術テーマ

- ・複数のメディアを横断する言語（シンボル）とのアンカリング
- ・（ネット上などでの）人のインタラクションを知識の関係づけも含めて捉える

②知識処理における重要な技術テーマ

- ・Deep learning などの AI 技術を発展させてシンボルとリンクするような内部表現（サブシンボル）を作り出す
- ・事例ベース推論のような技術
- ・オントロジーアライメントにより推論と統計をつなぐ技術
- ・データからボトムアップに関係性やすきまを発見する技術

③画像・映像処理における重要な技術テーマ

- ・画像・映像から複雑な動きを分節化するためのモデリングと特徴量の決定
- ・動きのある種の質の認識（上手、美しい）

④音声・対話処理における重要な技術テーマ

- ・人間とシステムの自然な対話（チューリングテスト）

⑤インテグレーション

- ・推論と統計的な手法の組み合わせを含む広い意味での Integration 技術
- ・サービスレベルやディペンダビリティを確保するコンポーネントの粒度やコンポーネン

## ト間のインタフェースの定義

## (5) 注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

## ・2003～ IBM, PIQUANT プロジェクト

(Practical Intelligent Question Answering Technology)

一般常識の知識ベース Cyc を中心にシステム化した。30%程度の正解率に留まる。

## ・2006～ IBM, Watson プロジェクト

大規模知識の獲得（100 万冊、2 億ページ）がポイント。百科事典、辞書、シソーラス、ニュース記事、著作物などを情報源。動的にコーパスを拡大。しかしながら、突出した一つの AI 技術ではなく、言語理解、情報検索、不確実性推論、仮説生成、仮説統合とランキング、機械学習、オントロジー、構造化データなど、100 以上の従来 AI 技術の集大成精度、確信度、速度を考慮した AI インテグレーションであった。

## ・PAL/CSS Freestyle Tournament 2005

人のみ、コンピュータのみ、人+コンピュータの混成による 48 チーム参加したが、優勝した ZackS チームは、Zackary Stephen（統計学修士、24 歳、レーティング 1381）と Steven Cramton（現職・予備校講師、28 歳、レーティング 1685）とコンピュータソフトの混成チームだった。なお、ここで、レーティングの目安は、初心者 800、中級者 1500、日本チャンピオン 2300、グランドマスター 2500、世界チャンピオン 2800）。

勝敗のポイントは、コンピュータチェスを深く研究して（大会前に 10000 試合以上）、各コンピュータチェスの特徴を把握していることで、彼ら自身は、タクティクス（駒取りの筋）を読む能力が低いことは影響を与えなかった。

## (6) キーワード

言語処理、音声対話処理、言語意味解析、テキストからの知識獲得、意見分析、音声認識、音声合成、メディア処理、画像理解、動画理解（行動理解）、知識処理、リンクトデータ、オントロジー、ルール、Web インテリジェンス、Deep Learning、汎用人工知能、AI インテグレーション、AI ルネッサンス、PIQANT、IBM Watson、エキスパートシステム、BRMS、インタラクションデザイン、コンテキスト判断

（7）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	◎	↑	・自然言語処理に関する大学・公的機関における基礎研究レベルは高く、研究成果も多い。
	応用研究・開発	◎	↑	・国立情報学研究所（NII）の人工頭脳プロジェクト「ロボットは東大に入れるか」が2011年に立ち上がり、この中で自然言語処理の中核技術である知識推論に関する研究が推進されている。
	産業化	○	→	・モバイル端末を用いた音声質問応答システム（NTTドコモ「しゃべってコンシェル」、Yahoo!「音声アシスト」など）や音声翻訳システムが実用に近いレベルとなり、普及しつつある。
米国	基礎研究	◎	→	・NSFにサポートされた評価表現解析、自動要約、知識獲得などの研究も活発である。 ・ペンシルベニア大学の構文・文脈解析、ISI（南カリフォルニア大学）の機械翻訳など、世界を牽引する研究成果をあげている。
	応用研究・開発	◎	→	・DARPAによる巨額の研究費によって継続的に研究プロジェクトが推進されている。 ・AT&Tにおける音声理解/対話、IBMにおける質問応答システムWatson、Googleにおける機械翻訳と多言語固有名解析、Microsoftにおける機械翻訳・評価表現解析・自動要約など、産業界の研究所のアクティビティも世界トップレベルである。
	産業化	◎	→	・MicrosoftによるOSやOfficeにおける言語処理、GoogleのWebサーチ、Appleの音声質問応答システムSiriなど、枚挙にいとまがない。
欧州	基礎研究	◎	→	・機械翻訳に関する研究は継続的に活発であり、FP7においても20を越えるプロジェクトが推進されている。
	応用研究・開発	○	→	・FP7のFET Flagship Polot Project（2011年～2012年）となったビッグデータ関連のプロジェクトFuturiCTでは知識処理としてSemantic Webがフォーカスされている。 ・2012年Googleが1000台のコンピュータで構築した大規模ニューラルネットワークに1000万枚の画像を入力したところ猫の写真に反応するニューロンができた。Deep Learningの成果で猫認識として有名になった。
	産業化	○	→	・古くから機械翻訳システムの開発が盛んで、代表的なものとしてSYSTRANがある。また、最近ではオープンソースの統計翻訳システムMosesをベースとしたシステムの開発も盛んである。
中国	基礎研究	◎	↑	・清華大学、中国科学院などを中心に、近年、基礎研究のレベルが大幅に向上している。国家プロジェクトとしてもウィグル語、チベット語などを含む多言語翻訳、多言語検索に関する多数の課題が採択されている。
	応用研究・開発	◎	↑	・Microsoft Research Asia（北京）をはじめ、応用研究のレベル向上も目覚ましい。また、2011年からはBaiduを中核として多数の大学、公的研究機関が参加する機械翻訳研究が立ち上がった。
	産業化	◎	↑	・国産検索エンジンBaiduが国内シェア1位であり、他にも中国独自の検索エンジンが種々開発されている。音声検索、音声翻訳などのサービスも広まりつつある。
韓国	基礎研究	○	→	・KAIST、POSTECHなどを中心に基礎研究が推進されている。欧州との連携でSemantic Web関係の研究が盛んであり、ビッグデータのプロジェクトも立ち上がっている。
	応用研究・開発	○	→	・知識経済部（Ministry of Knowledge Economy）がプロジェクトを推進しており、音声対話システムのプロジェクトが始まっている。
	産業化	○	→	・国産検索エンジンNaverが国内シェア1位であり、文書インデックス構築や、Eコマースや選挙などでの評判分析など、ネット系の言語処理企業が堅調である。

## (註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

## (註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

## (註3) トレンド

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

## (8) 引用資料

- 1) G. Chen, H. Ghaed, R. Haque, M. Wieckowski, Y. Kim, G. Kim, D. Fick, D. Kim, M. Seok, K. Wise, D. Blaauw, and D. Sylvester, "A cubic-millimeter energy-autonomous wireless intraocular pressure monitor," IEEE International Solid-State Circuits Conference, pp. 310-311, Feb. 2011.
- 2) SENSIMED Triggerfish®  
<http://www.sensimed.ch/en/sensimed-triggerfish/sensimed-triggerfish.html>

### 3.12.2 知のプラットフォーム

#### (1) 研究開発領域名

知のプラットフォーム

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

知のプラットフォームとは、図 3.12.1 の知のコンピューティングの俯瞰図のうち④に相当し、知の蓄積、伝播、探索、予測・発見、作用をつかさどる実体である。

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

知のコンピューティングは、知の創造を促進し、科学的発見や社会への適用を加速することを目的としている。ここで、知とは人間（複数）が賢く生きるための力であり、知のコンピューティングは、知の発見、創造、集積、伝播、探索、影響を実現し、加速することである。図 3.11.2.2 に知のコンピューティングの成果実装イメージを示す。

最下層に情報・状況を把握するレイヤーがある。ここで、実世界やインターネット、人間などから知識を抽出し、構造化する。得られた知識は中間にある知の集積・伝播のレイヤーにおいて適切に選択され、上位の社会へ影響を与えるレイヤーへと伝えられ、人間や集団に向けて人々が賢く生きるために利活用されたり、あるいは機械や社会システムに伝えられ、人々の暮らしを賢く変えることに使われたりする。

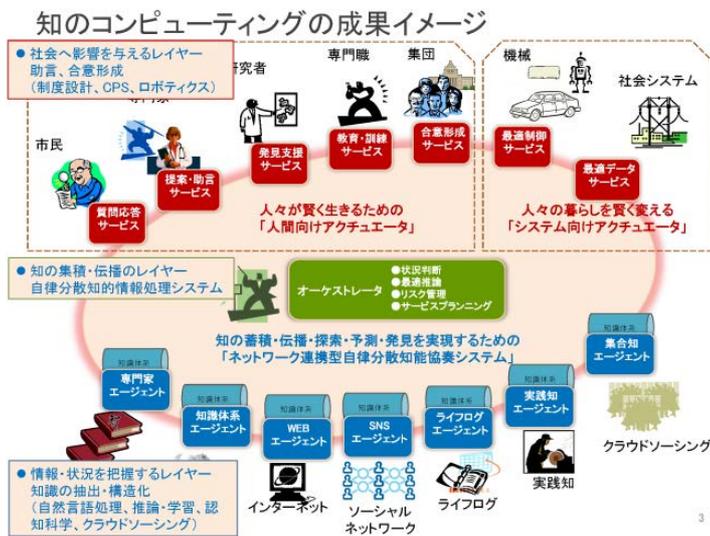


図 3.12.4 知のコンピューティングの成果イメージ

EU においては、FuturICT プロジェクトにおいて、地球規模のコンピュータプラットフォームを構築し、複雑で世界的で社会的な相互作用のシステムを理解し管理しようとしている。自然科学、社会科学、工学を IT で統合する研究を推進。21 世紀の課題への挑戦に必要な相乗効果を狙っている。プラットフォームとしては、あらゆるデータを収集する地球規模のセンサネットワーク、得られたデータを利用して複雑な人間社会のシミュレータ、市民の社会・経済・政治参加の促進をターゲットとしている。ヨーロッパを中心に、すでに数十の大学が参加している。EU で推進中の 7 つの Flagship Initiatives の一つであり、パイロット段階では最高票を得ていたが、FET には採択されなかった。Horizon2020 などでプロジ

エクトは継続されると思われる。

#### （４）科学技術的・政策的課題

「知のプラットフォーム」ワークショップを開催し、知のメディアワークショップ<sup>2)</sup>で抽出されたチャレンジテーマ（表 3.12.2）から科学技術的課題と、政策的課題を抽出した。

##### 科学技術的課題

知のプラットフォームの狙いを「価値の創造」ととらえ、特に個人の生活の向上をターゲットとすると、生きがいの定義や感情表現モデル、生きがいを表すデータの抽出、対話技術などが課題となる。具体的には、生きがいデータ抽出、行動認識、本人のメタ認知、フラグメンテーション知の表現とその再結合、感情の観測・評価尺度、マルチモーダルな対話技術などである。

また、ダイナミックな関係知、インタラクションによって得られる知に着目すると、状況に応じた知識の獲得や推論、状況を理解するための表現モデル、人間の行動モデル、知識の表現や新たな学習方法、知の所有権や価値の再配分などの課題があげられる。

またプラットフォームの機能として、膨大な知識を背景とし、人間とインタラクションすることによって問題点を明らかにし、それらを解決するためのシナリオを作るということを考慮すると、そのためには、リンクトデータの利活用、知の評価、知のエコシステム、状況依存解析、シナリオ共創などの技術が研究課題である。

##### 政策的課題

個人の生活に着目すると、個人の趣味、生きがいなどのデータに関する **Ownership** や共有できる制度の実現が待たれる。例えば、匠の技など質の高い専門知を集めて提供することによりコミュニティが拡大、さらに一般の人々の知（料理、工作など）の集積と流通へと進むような状況が想定される。

また、相手の状況に合わせてアダプティブにサービスを提供するプロセスが競争力となるような状況では、多様なインセンティブの提供や多様な寄与を評価し人々の知を集積するための枠組みが必要になる。

これらの状況において、データ・知の取引の仕組み（経済モデル、ビジネスモデル）、データ所有権、データの権利と義務、倫理・法的、社会的課題との関連性を評価する仕組みが必要になる。

#### （５）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

国内では、国立情報学研究所の人工頭脳プロジェクト「ロボットは東大に入れるか？」<sup>3)</sup>は、自然言語、画像、数式など多様な知識を統合して問題解決を行う技術の開発を目指しており、統合的人工知能のグランドチャレンジとして注目される。

アメリカでは、IBM の Watson<sup>4)</sup>が Jeopardy!のグランドチャンピオンに勝利し、その後医療への応用が開発されている。また、API が公開された。

ヨーロッパでは、FuturICT において、自然科学、社会科学、工学を IT で統合する研究を推進。21 世紀の課題への挑戦に必要な相乗効果を狙っている。

## （6）キーワード

価値の創造、生きがいデータ抽出、行動認識、本人のメタ認知、フラグメンテーション知の表現とその再結合、感情の観測・評価尺度、マルチモーダルな対話技術、状況に応じた知識の獲得や推論、状況を理解するための表現モデル、人間の行動モデル、知識の表現や新たな学習方法、知の所有権や価値の再配分、リンクトデータの利活用、知の評価、知のエコシステム、状況依存解析、シナリオ共創、知の集積と流通、インセンティブ、データ・知の取引、データ所有権、データの権利と義務、倫理・法的、社会的課題との関連性

(7) 国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	△	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>国立情報学研究所の人工頭脳プロジェクト「ロボットは東大に入れるか？」は、自然言語、画像、数式など多様な知識を統合して問題解決を行う技術の開発を目指しており、統合的人工知能のグランドチャレンジとして注目される。<sup>5)</sup></li> <li>2013年11月時点で模擬試験の偏差値60程度。</li> <li>ERATOの離散情報構造プロジェクト<sup>6)</sup>、情動情報プロジェクト<sup>7)</sup>などでAI基礎研究が推進されている。</li> </ul>
	応用研究・開発	△	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>AIグランドチャレンジのロボカップが日本で1997年に開催され、世界的な広がりを見せている。</li> <li>主だった自動車メーカーが自律運転に取り組んでいる。衝突防止などは実用化されている。</li> </ul>
	産業化	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>NTTドコモのしゃべってコンシェル<sup>8)</sup>は、音声認識と質問応答を応用した代表的なサービスであり、AppleのSiri<sup>9)</sup>と並んで注目を集めている。</li> <li>機械翻訳の研究や産業化は欧米と並んで世界をリードしていたが、近年は欧米と比べて研究規模が小さく、遅れをとっている。</li> </ul>
米国	基礎研究	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>米国は情報技術や人工知能の研究において世界をリードしているが、深い言語理解や意味理解の研究についても、DARPAやIARPAの大規模予算に支えられ多くの有力研究グループにより先進的な基礎研究が行われている。</li> <li>DARPAのCALO（自然言語理解研究）がSiriのAIサービスに発展している。</li> <li>IEEE Computational Intelligence Societyが活発に活動。理論、アプリケーション、生物学や言語学、遺伝的アルゴリズムやプログラミングなど様々な領域の研究を推進。</li> <li>コーネル大学を中心にComputational Sustainabilityの研究を進めている。環境、経済、社会的要求を持続可能な未来とバランスさせることを目標にしている。</li> </ul>
	応用研究・開発	◎	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>IBMのWatsonがJeopardy!のグランドチャンピオンに勝利し、その後医療への応用が開発されている。また、APIが公開された。</li> <li>Google Driverless Carの公道走行が認可されるなど、社会実装に向けた研究開発が進んでいる。</li> </ul>
	産業化	◎	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>DARPAの支援も受けつつIBMが自律的に学習するコグニティブ・コンピューティングの研究開発を進めている。</li> <li>Appleが発表したSiriのように、自然言語インターフェイスで機器操作や質問応答を行うソフトウェアが実用化され、注目されている。</li> <li>UAVなどの軍事技術においては、かなり先行している。</li> </ul>
欧州	基礎研究	○	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>FuturICTにおいて、自然科学、社会科学、工学をITで統合する研究を推進。21世紀の課題への挑戦に必要な相乗効果を狙っている。</li> <li>言語処理や深い人工知能に対してはEU/EC以外にもドイツとイギリスを中心に大規模予算が割り当てられており、活発な研究が行われている。</li> </ul>
	応用研究・開発	○	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>FP7において、意味処理に基づく知識コンテンツプロジェクトがいくつか推進されている。</li> <li>BenzやAudi, Volvoなどの自動車メーカー、Boschなどの電装品メーカーなどが共同で自律走行の研究開発を行っている。隊列走行から完全な自律走行、あるいは道路情報システムとの連携など、幅広く堅実なアプローチをとっている。</li> </ul>
	産業化	○	↗	<ul style="list-style-type: none"> <li>運転支援という枠組みで、自律走行車の一部の機能が実用化されている。</li> </ul>

中国	基礎研究	×	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>中国語意味辞書HowNetが整備され、中国語理解や質問応答システムの基盤となっている。</li> <li>純粋なAI基礎研究よりは、画像処理やパターン認識の研究開発が多い。</li> <li>機械学習、言語処理技術の研究が盛んでポテンシャルが高い。</li> </ul>
	応用研究・開発	△	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>深海ロボットDeep-Sea Robot Jiaolongが研究開発され、マリアナ海溝付近7000m以上の潜水に成功。</li> <li>UAVなどの軍事技術の研究は進んでいる。ウォッチする必要がある。</li> </ul>
	産業化	×	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>2010年の上海万博、2012年の中国インテリジェントエキスポでは、車いすロボットなど、知能ロボットが多く展示され、2013年に人工知能国際会議が開催され、国家がAIに注力し始めているが、具体的な企業の設立などはまだ見えてこない。</li> <li>Microsoft Research AsiaやBaiduでは検索と自然言語処理の研究に多くの投資がされており、レベルの高い研究が行われている。Academic Searchなどテキストマイニングを応用した実用サービスがすでに行われており、言語処理技術を応用したより高度なサービスが提供される可能性がある。</li> </ul>
韓国	基礎研究	×	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>ソウル大学が人工知能研究を推進し、DERI（Digital Enterprise Research Institute）のソウル研究所を設立。</li> <li>機械学習やパターン認識などにより研究もあるが、基本的に後追いの感は否めない。</li> </ul>
	応用研究・開発	△	→	<ul style="list-style-type: none"> <li>DERIのソウル研究所において、医療分野の意味処理など応用研究も推進。</li> <li>ベンチャーにおいて、意味処理アプリケーション、知能ロボットなどの応用研究が推進されている。</li> </ul>
	産業化	△	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>SALTLUX（意味処理技術）、ROBOTIS社（知能ロボット）などベンチャーが設立され、サムソンにおいては、音声アシスタントなどの研究が着手されている。</li> <li>情報産業は活発であるが、深い意味理解や統合的人工知能を応用する動きは見られない。</li> <li>大企業による産業力があり、一度普及すれば急速にキャッチアップすると考えられる。</li> </ul>

(註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

(註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

(註3) トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

## (8) 引用資料

- 1) 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 一人と機械が共創する社会目指して」 Wisdom Computing Summit 2013, CRDS-FY2013-WR-15、平成 25 年 10 月、独立行政法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター 電子情報通信ユニット
- 2) 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：知のメディア」,CRDS-FY2013-WR-07、平成 25 年 12 月、独立行政法人 科学技術振興機構研究開発戦略センター 情報科学技術ユニット
- 3) 国立情報学研究所の人工頭脳プロジェクト「ロボットは東大に入れるか」で、代々木ゼミナールの模試に挑戦！

<http://www.nii.ac.jp/news/2013/1125>

4) IBM Watson

<http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/ibmwatson/>

5) ロボットは東大に入れるか

<http://21robot.org/>

6) 湊離散構造処理系プロジェクト

[http://www.jst.go.jp/erato/research\\_area/ongoing/mrk\\_PJ.html](http://www.jst.go.jp/erato/research_area/ongoing/mrk_PJ.html)

7) 岡ノ谷情動情報プロジェクト

[http://www.jst.go.jp/erato/research\\_area/ongoing/oj\\_P-j.html](http://www.jst.go.jp/erato/research_area/ongoing/oj_P-j.html)

8) しゃべってコンシェル

[https://www.nttdocomo.co.jp/service/information/shabette\\_concier/](https://www.nttdocomo.co.jp/service/information/shabette_concier/)

9) Siri

<http://www.apple.com/jp/ios/siri/>

### 3.12.3 知のコミュニティー

#### (1) 研究開発領域名

知のコミュニティー

#### (2) 研究開発領域の簡潔な説明

関心を共有する人々が ICT を媒介として、知の発見、創造、集積、伝播、探索、影響などを通じて価値を生み出す系や場の理解とデザイン・構成するための技術

#### (3) 研究開発領域の詳細な説明と国内外の動向

世界中の人々が容易にインターネットにアクセスできるようになり、人々が定常的あるいは ad hoc にコミュニティーを形成し、科学的な発見など様々な領域で知の創造、集積、伝播、探索、影響が加速している。

例えば、オンライン辞書 Wikipedia は世界中のボランティアな参加者がコミュニティーを形成しながら知識を集約することで構築されているが、成長しつづける世界規模の百科事典の構築の維持の実現にはコミュニティーの力が不可欠である。また、市民科学の取り組みにおいては、専門科学者自身が担うには膨大な費用や時間がかかり達成が困難なタスクが大規模なボランティアネットワークの参加により達成可能になるだけでなく、市民が新たな視点での疑問を投げかけることによる新たな科学的発見、市民の科学的知識の向上などが実現しつつある。

これらは「知のコミュニティー」のさきがけ的な例であり、このような傾向は、今後より一層加速し、新たなコミュニティーや価値を生み出していく。従って、今後の社会のありかたを考え、より良い社会を実現していくためには、コミュニティーの構造を理解し、デザイン・構成する方法論を考えていくことが非常に重要である。

このため、本領域では関心を共有する人々が ICT を媒介として、知の発見、創造、集積、探索、影響などを通じて価値を生み出す系や場を「知のコミュニティー」と定義して、重要な研究開発領域として取り挙げる。

まず、「知のコミュニティー」の構造としては以下が考えられる。

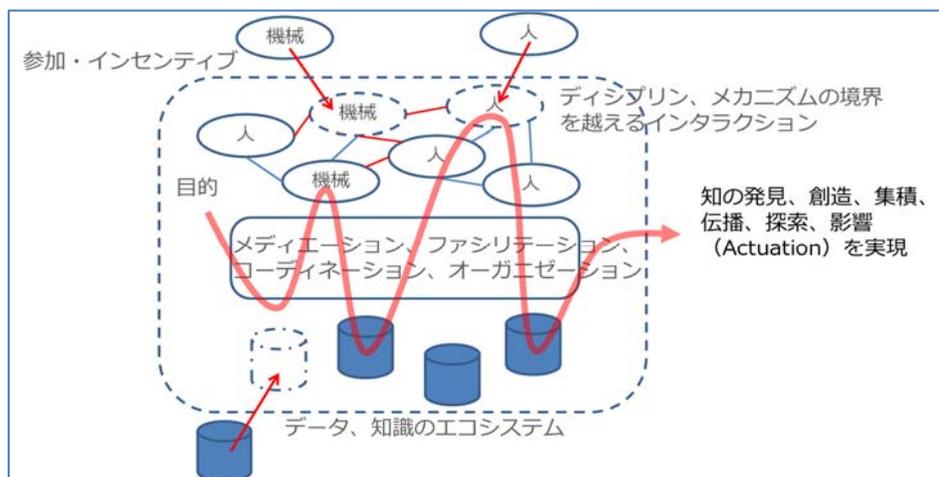


図 3.12.5 知のコミュニティーの構造

- ① コミュニティーへ参加を促す、インセンティブを提供する
- ② データや知識のエコシステムを構築する
- ③ ディシプリン、メカニズムの境界を越えるインタラクションを実現する
- ④ コミュニティーの参加主体（人や機械）間のメディエーション、ファシリテーション、コーディネーション、オーガニゼーション

さらに、コミュニティのなかで与えられた問題を解く過程だけでなく、その前段となる新しいアイデアや問題を見出すこと、後段である具体的なコミュニティとしての行動に結びつけることも「知のコミュニティ」の重要な機能である。

#### <国内外の動向>

米国には、Wikipedia、Zooniverse、InnoCentive など、知のコミュニティのさきがけとなる事例が多数存在する。クラウドソーシングという表現自体も 2006 年 6 月に WIRED 誌で Jeff Howe が提唱したものである。彼の著作<sup>1)</sup>によるとクラウドソーシングは主に 3 つのタイプに分類される。

##### 1) 予測市場あるいは情報市場

選挙の当選者やアカデミー賞の受賞作などの予想を投資家が購入する。

##### 2) 問題解決ネットワークあるいはクラウドキャスティング・ネットワーク

なんらかの課題を解決者になりうる不特定多数の大規模ネットワークに公表する。

##### 3) アイデアジャム

オンラインで大々的に行うブレインストーミング。特定の問題を解決しようとするのではなく、種類を問わず、新しいアイデアを求める際に使われる。

こうした分類は知のコミュニティの重要な側面を捉えていると考えられる。

科学的・学術的な観点の取り組みとしては、例えば、MIT Center for Collective Intelligence<sup>2)</sup> が 2006 年に設立され、集合知の計測やデザインパターン” the genomes of collective intelligence” の特定など学問的体系化が試みられている。また、集合知を主要テーマとした学術的な会議 Collective Intelligence が開催されている。

人や集団の行動を対象とした例としては、Computational Behavior Science などの分野に対して NSF がファンディングを行っている。

感情や行動を変容させる研究としては、必ずしも集団を対象としたものではないが、MIT Media Lab の Affective Computing Group<sup>3)</sup>、Stanford の Persuasive Tech Lab<sup>4)</sup> などが存在する。

欧州では、米国ほどではないが、特に英語圏を中心としてクラウドソーシングなどのサービスが数多く存在すると推察される。

EU の研究プロジェクトとしては、FP7 の FET (Future Emerging Technology) のなかで 2011 年～2012 年にかけて FuturICT の Pilot project が実施された。参加型センシング、可視化、シミュレーションのプラットフォームを構築して、複雑な社会システムを理解・管理し、社会のサステナビリティとレジリエンスを高めることを目的としたものである。Pilot の後、Flagship project には採択されなかったが研究としては継続しており、複雑系の科学をコアに政策決定支援や教育支援などの応用も想定されている。

また、FP7のSOCIENTIZEプロジェクト<sup>5)</sup>（2012年～2014年）では、市民科学を促すためのステークホルダ間の交流や組織化、プロモーション、情報共有などの取り組みに加え、市民科学の可能性と政策提言がWhitePaperとして取りまとめられた。

コンピュータサイエンスよりの研究としては、例えば、チューリッヒ大では大規模なHuman Computation Systemを構築するプロジェクト<sup>6)</sup>が進められており、プログラミング言語やフレームワーク、ヒューマンリソースの割り当てや契約・支払いのためのインフラとしてのOSなどが提案されている。また、チューリッヒ工科大ではヒューマンリソースをデータベースシステムに取り込んだ新しいクエリの実現を目指している。

我が国でも2008年頃より商業的なクラウドソーシングサービスが始まっている。

科学的・学術的な取り組みとしては、科学的なアプローチによるクラウドソーシングのデザインを目指してクラウドソーシング研究会<sup>7)</sup>が2012年に発足している。具体的には、クラウドソーシングやHuman Computationのプログラミング言語、統計的品質管理、参加と品質向上のためのインセンティブデザイン、メカニズムデザインなどの取り組みが行われている。また、非営利・公益・学術目的のクラウドソーシングプラットフォーム<sup>8)</sup>が運営されており、言語学研究や図書館の書誌情報のクレンジングなどに活用されている。

#### （4）科学技術的・政策的課題

CRDSが主催となり2013年12月17日に「知のコミュニティ」ワークショップ<sup>9)</sup>を開催して、「知のコミュニティ」の実現に必要な知識、技術、制度の洗い出しを行った結果を下記に記載する。

必要な知識、技術としては、コミュニティに参加する人々同士や人と機械のインタラクションのセンシング、周囲の状況のセンシングを、行動の意図、情動や社会性を含む深いレベルで行う必要がある。研究分野としては、生体計測技術、画像情報技術、自然言語処理のほか、コミュニティの構造や動態把握のためのネットワーク分析、シミュレーション技術とコミュニティを理解するベースとなる社会認知科学などが関連する。センシングされた主観的な知、暗黙知を外在化する技術も必要である。

そして、価値を生み出すための適切な系や場を構築するためには、参加者のリクルーティングやマイクロなコミットメントの評価や交換の仕組みが必要となる。特にインターネット上に構築されたコミュニティにおいては、コミュニティが不安定にならないように、取引のメカニズムや意思決定のやり方に理論的な頑健性が求められる。研究分野としてはマイクロ経済学、ゲーム理論、行動経済学の知見にもとづくインセンティブ設計、マーケットデザイン・制度設計、コミットメントを評価するための統計的品質保証などが関連する。また、多言語環境などインタラクションのためのプラットフォームも必要である。さらに、より複雑で困難な目標に対して知のコミュニティが取り組んでいくためには、集合知創出メカニズムと問題構造の解明が重要である。

必要な制度としては、生み出された知の社会還元に向けて、知の所有権や責任、公正性や健全性を担保する知の評価といった創造的な活動を妨げない法制度や、新たな知の社会適用が人間や集団の行動に与える影響の倫理的側面などELSI（Ethical, Legal and Social Issues）の観点から人文社会系研究者を巻き込んだ議論が必要であるとした。

### （5）注目動向（新たな知見や新技術の創出、大規模プロジェクトの動向など）

Computational behavioral Science、Computational Social Science といった分野で用いられる人や集団の活動の精密な計測とデータ処理、脳科学的な計測手法の進展などが相俟って、コミュニティを形成する人間の社会性の仕組みを解明する試みである社会認知科学、社会生物学、発達心理学などの研究が世界的に進展している。今後、これらの研究から様々なアイデアやインプリケーションが得られるであろう。

さらに、我が国においては以下のような取り組みが進んでいる。

最先端・次世代研究開発プロジェクト「環境社会最適化シミュレーションを可能にする社会最適化アルゴリズム創出とその応用」<sup>10)</sup>、CREST「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」などにおいてエージェントシステムの最適化アルゴリズムやシミュレーション基盤高度化の取り組みが進められており、大規模な社会シミュレーションが可能になりつつある。また、日本ソフトウェア科学会、電子情報通信学会、情報処理学会、人工知能学会の各関連研究会の共同により、2002年より合同エージェントワークショップ&シンポジウム<sup>11)</sup>が継続的に開催されている。

社会的なつながりをネットワークとして分析する手段については、最先端研究開発支援プログラム「複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその分野横断的科学技術応用」<sup>12)</sup>、ERATO「河原林巨大グラフプロジェクト」<sup>13)</sup>など理論的基盤や高速に解析するためのアルゴリズムが整備されつつある。

### （6）キーワード

市民科学、クラウドソーシング、ネットワーク分析、社会認知科学、ミクロ経済学、メカニズムデザイン、社会ネットワーク、グラフ理論、複雑ネットワーク、行動経済学、ゲーム理論、インセンティブ設計、集合知、Human Computation

（7）国際比較

国・地域	フェーズ	現状	トレンド	各国の状況、評価の際に参考にした根拠など
日本	基礎研究	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>科学的アプローチによるクラウドソーシングのデザインの研究会<sup>8)</sup>などが発足している</li> <li>HumanComputationのプログラミング言語の研究開発、非営利・公益・学術目的のプラットフォーム運営<sup>9)</sup>などの取り組みがある</li> </ul>
	応用研究・開発	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>産学の共同研究の取り組みがはじまっている</li> <li>音声認識のための語彙収集にクラウドソーシングを活用するなど企業でも研究開発の取り組みが活発化している</li> </ul>
	産業化	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lancers、クラウドワークス、Yahoo!クラウドソーシングなど商業的サービスが立ち上がっている</li> <li>日本初のクラウドファンディングREADYFOR?など新たなタイプの取り組みも始まっている</li> </ul>
米国	基礎研究	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>科学研究にコミュニティの力を活用する取り組みが数多く存在する。（Citizen Scienceという表現はCornel大の鳥類学教授 Rick Bonney が初めて使ったといわれている）</li> <li>MITのCenter for Collective Intelligence<sup>2)</sup>などで集合知の計測やデザインなど学問的体系化が試みられている</li> <li>MIT Media Lab の Affective Computing Group<sup>3)</sup>、Stanford の Persuasive Tech Lab<sup>4)</sup>など人間の感情や行動の変容技術の研究が行われている</li> </ul>
	応用研究・開発	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>ACMのSGCHIなど水やエネルギーなどの省資源や健康的なライフスタイルへ行動変容を起こすための研究開発などの取り組みが数多く行われている</li> <li>MITのCenter for Collective Intelligence<sup>2)</sup>では地球温暖化問題へ取り組むための新しいWebベースの議論と意思決定の場の構築を目指している</li> </ul>
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>マイクロタスク型のAmazon Mechanical Turk、企業がR&amp;Dを委託するInnoCentive、画像映像の共有を通じたコミュニティ形成と取引のプラットフォームiStockphotoなど多様なビジネスが存在する</li> </ul>
欧州	基礎研究	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>FP7 FETのFuturICTで参加型センシングとシミュレーションにより複雑な社会技術システムを理解・管理しようとする取り組みがある</li> </ul>
	応用研究・開発	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>EUのICTを活用した科学研究プラットフォームとして市民科学が注目されつつあり、政策提言のためのWhite Paper<sup>6)</sup>が取り纏められた</li> </ul>
	産業化	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>仏のeYekaなどクラウドソーシングビジネスが立ち上がってきている</li> <li>クラウドファンディングではFundeByMe（スウェーデン）などが立ち上がっている</li> </ul>
中国	基礎研究	○	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>発論文数が米国や欧州を越える勢いで伸びている</li> </ul>
	応用研究・開発	○	↑	
	産業化	◎	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>猪八戒（zhubajie）などのクラウドソーシングビジネスが存在しており、人口に連動して世界最大規模の参加者数を擁している</li> <li>中国の他にインド、オーストラリアなど英語圏でクラウドソーシングのビジネスが活発化している</li> </ul>
韓国	基礎研究	△	→	
	応用研究・開発	△	→	
	産業化	△	↑	<ul style="list-style-type: none"> <li>クラウドソーシングの翻訳サービスのFlitto、デザインを提供するLoud Sourcingなどのビジネスが立ち上がってきている</li> </ul>

## (註1) フェーズ

基礎研究フェーズ：大学・国研などでの基礎研究のレベル

応用研究・開発フェーズ：研究・技術開発（プロトタイプの開発含む）のレベル

産業化フェーズ：量産技術・製品展開力のレベル

## (註2) 現状

※我が国の現状を基準にした相対評価ではなく、絶対評価である。

◎：他国に比べて顕著な活動・成果が見えている、○：ある程度の活動・成果が見えている、

△：他国に比べて顕著な活動・成果が見えていない、×：特筆すべき活動・成果が見えていない

## (註3) トレンド

↑：上昇傾向、→：現状維持、↓：下降傾向

## (8) 引用資料

- 1) みんなのパワーが世界を動かす クラウドソーシング ジェフ・ハウ 中島由華訳ハヤカワ新書
- 2) MIT Center for Collective Intelligence  
<http://cci.mit.edu/index.html>
- 3) MIT Media Lab Affective Computing Group  
<http://affect.media.mit.edu/>
- 4) Stanford Persuasive Tech Lab  
<http://captology.stanford.edu/>
- 5) Socientize citizen science project  
<http://www.socientize.eu/>
- 6) CrowdLang and CrowdOS  
<http://www.ifi.uzh.ch/ddis/research/CrowdLang.html>
- 7) クラウドソーシング研究会  
<https://sites.google.com/site/crowdsourcingresearch/>
- 8) Crowd4U  
<http://crowd4u.org/index>
- 9) 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：知のコミュニティ」報告書  
<http://www.jst.go.jp/crds/pdf/2013/WR/CRDS-FY2013-WR-12.pdf>
- 10) 環境社会最適化シミュレーションを可能にする社会最適化アルゴリズム創出とその応用（マルチエージェント技術による社会の最適化）  
<http://www.itolab.nitech.ac.jp/next/>
- 11) JAWS : Joint Agent Workshops & Symposium  
<http://jaws-web.org/jp/>
- 12) 複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその分野横断的科学技術応用  
<http://www.sat.t.u-tokyo.ac.jp/first/>
- 13) 河原林巨大グラフプロジェクト  
<http://www.jst.go.jp/erato/kawarabayashi/index.html>