

2.1.6 データに基づく問題解決

(1) 研究開発領域の定義

人工知能（Artificial Intelligence：AI）・ビッグデータ解析が可能にする大規模複雑タスクの自動実行や膨大な選択肢の網羅的検証等による、問題解決手段の質的变化、産業構造・社会システム・科学研究等の変革を生み出す研究開発領域である。本節では、「データ駆動」「AI 駆動」を冠して呼ばれることが多い、さまざまな問題解決に共通的な考え方やフレームワーク・基盤技術を中心に俯瞰し、個別的・具体的なアプリケーションは最近の注目トピックのみ取り上げる。

(2) キーワード

ビッグデータ、Cyber Physical Systems（CPS）、IoT（Internet of Things）、データサイエンス、オープンデータ、データ連携基盤、データ駆動、AI 駆動、デジタルトランスフォーメーション（DX）、計測、新型コロナウイルス感染症、COVID-19

(3) 研究開発領域の概要

[本領域の意義]

ビッグデータ（Big Data）^{1), 2)} は、元来は膨大な量のデータそのものを指す言葉だが、その収集・蓄積・解析技術は、大規模性だけでなくヘテロ性・不確実性・時系列性・リアルタイム性等にも対応できる技術として発展している。また、センサー、IoT（Internet of Things）デバイスの高度化と普及によって、さまざまな場面で実世界ビッグデータが得られるようになり、その収集・解析技術は、実世界で起きる現象・活動の状況を精緻かつリアルタイムに把握・予測するための技術としても期待されている。今日、さまざまな社会課題が人間の手に負えないほどに大規模複雑化しており、実世界ビッグデータの収集・解析による状況の把握・予測は、そのような課題の解決に共通的に貢献し得る有効な手段になる。ここにさらにAI 技術が加わり、AI

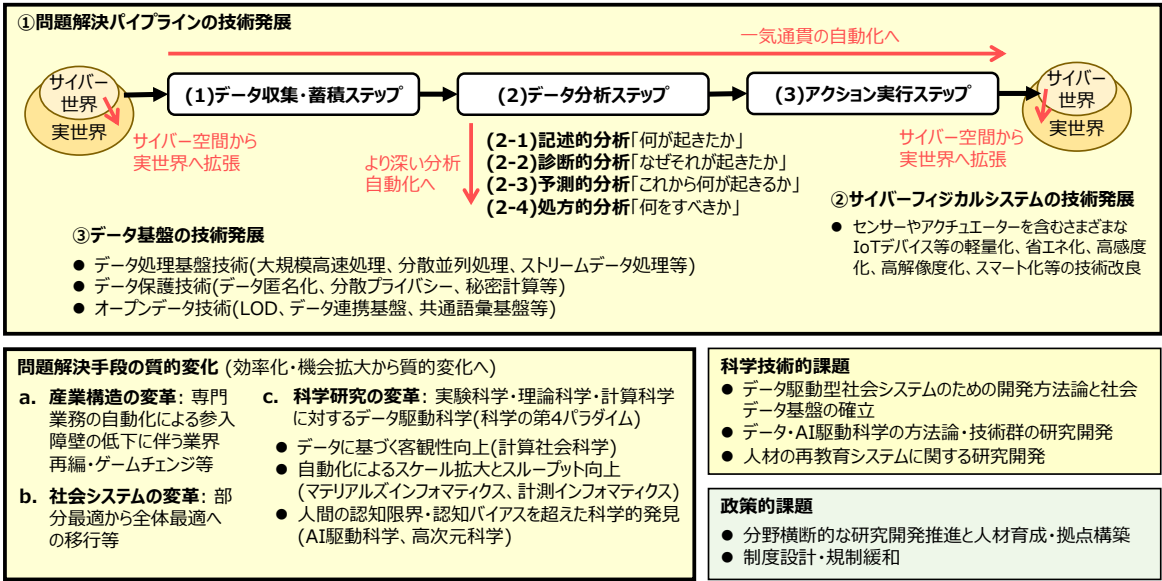


図2-1-9 領域俯瞰：データに基づく問題解決

技術とビッグデータ（データそのもの、および、処理技術）が深く関係し合いながら発展している。すなわち、ビッグデータが集められることでAI技術（特に機械学習技術）は高度化し、精度を高め、そのAI技術を用いて実世界のビッグデータを解析することで、実世界の現象・活動のより深く正確な状況把握・予測が可能になってきた。

具体的なアプリケーションは、当初、Google等のサーチエンジンにおける検索連動型広告や、Amazon等のショッピングサイトにおける商品レコメンデーションのように、インターネット上のサービスに集まるビッグデータを売上向上に活用するものが中心であった。しかし、現在は、実世界から集まるビッグデータを活用した社会課題解決へと広がってきており^{1), 2)}、その社会的価値はますます高まっている。例えば、電力・エネルギーの需要を予測して最適に制御したり、実店舗のさまざまな商品の品ぞろえや仕入れを最適化したり、防犯のため不審な人や振る舞いを検知・通知したり、病気の疑いや機器の異常を早期に検知したりといった実世界のアプリケーションが広がっている。

わが国がビジョンとして掲げる「Society 5.0」は、内閣府によると、「サイバー空間とフィジカル空間（現実）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会（Society）」であり、サイバー空間とフィジカル空間の高度な融合は「フィジカル（現実）空間からセンサーとIoTを通じてあらゆる情報が集積（ビッグデータ）、人工知能（AI）がビッグデータを解析し、高付加価値を現実空間にフィードバック」によって実現するとされている。これにより、交通、医療・介護、ものづくり、農業、食品、防災、エネルギー等、さまざまな分野で新たな価値創出が目指されている。昨今、産業界を中心にデジタルトランスフォーメーション（DX）の推進が叫ばれているが、Society 5.0と方向性を同じくする動きであり、産業構造、社会システム、科学研究等に変革をもたらす。そして、これらをドライブするのが、本節で述べるAI・ビッグデータを活用した「データ駆動型」あるいは「AI駆動型」と呼ばれるアプローチである。

〔研究開発の動向〕

「データに基づく問題解決」（データ駆動型・AI駆動型の問題解決）の基本的な枠組みを踏まえて、その研究開発の動向を、①問題解決パイプラインの技術発展、②サイバーフィジカルシステムの技術発展、③データ基盤の技術発展、という3面から述べる。次に、このような発展が生み出す問題解決手段の質的変化が、産業構造の変革、社会システムの変革、科学研究の変革をもたらす可能性とその状況について述べる。

① 問題解決パイプラインの技術発展

「データに基づく問題解決」の基本的な処理の流れは、（1）データ収集・蓄積ステップ、（2）データ分析ステップ、（3）アクション実行ステップ、という順に進む。ここでは、これを「問題解決パイプライン」と呼ぶことにする。（2）のデータ分析ステップは、さらに、データ分析の深さによって段階がある。米国の調査・アドバイザリー企業であるGartnerは、データ分析の段階を、（2-1）記述的分析（Descriptive：何が起きたか）、（2-2）診断的分析（Diagnostic：なぜそれが起きたか）、（2-3）予測的分析（Predictive：これから何が起きるか）、（2-4）処方的分析（Prescriptive：何をすべきか）という4段階としている³⁾。（2-4）によってアクションが計画され、（3）のアクション実行が可能になる。

問題解決パイプラインで、（1）→（2-1）→（2-2）→（2-3）→（2-4）→（3）とステップを深めるほど、問題の解決に近づく、社会価値・ビジネス価値が高くなる。つまり、例えば（1）（2-1）しか自動化されなければ、（2-2）以降は人間が行うことになるが、（1）から（3）まで一気通貫で自動化されれば、

人間は実行状況をモニタリングしていればよいことになる。電力マネジメントの例で具体的に説明するならば、前者のケースは、電力消費状況の計測・可視化までが自動化され、その状況に基づいて人間が今後の必要量を判断し、アクションを考えることになる。後者のケースは、電力消費状況を自動計測し、今後の必要量を自動予測し、最適な状況になるように自動制御も行われる（人間はその様子を見ていけばよい）。

このような（１）から（３）まで一気通貫での自動化を可能にする方向で、技術開発が進められている。そのために使われる具体的な技術としては「2.1.1 知覚・運動系のAI技術」に記載されている機械学習・パターン認識・運動生成等の技術が挙げられる。

② サイバーフィジカルシステムの技術発展

前述したように、問題解決パイプラインは、当初、インターネット上のサービスに集まるデータを収集・解析し、そのサービスを改良・強化するために使われた。つまり、サイバー空間に閉じたパイプラインであった。しかし、現在は実世界（フィジカル空間）からデータを収集し、その解析結果に基づいて、実世界のシステムにフィードバックをかけるような応用へも広がっている。つまり、サイバーフィジカルシステム（Cyber Physical Systems：CPS）としての問題解決パイプラインへと拡張されている。

この拡張は、問題解決パイプラインにおける、（１）データ収集・蓄積ステップと（３）アクション実行ステップが、サイバー空間から実世界に広がったということである。そのために、センサーやアクチュエーターを含むさまざまなIoTデバイス、あるいは、ロボットが（１）や（３）に導入されるようになった。軽量化、省エネ化、高感度化、高解像度化、スマート化等の技術改良が進められている。その具体的な技術内容は「2.2.4 システム化技術」「2.5.5 IoTアーキテクチャー」に記載している。

③ データ基盤の技術発展

上記①②のような問題解決パイプラインを支える技術として、データ基盤の研究開発も進められている。ここでいうデータ基盤は、a.データ処理基盤技術、b.データ保護技術、c.オープンデータ技術を含む。

a. データ処理基盤技術：

大規模なデータを高速に処理するための技術群である。ますます大規模化するデータを、より高速に処理するという要求が高まり、分散並列処理技術、圧縮データ処理技術、ストリームデータ処理技術等が発展している。その具体的な技術内容は「2.5.4 データ処理基盤」に記載した。

b. データ保護技術：

分析対象となるデータの保護のための技術群である。暗号化等のセキュリティー技術に加えて、分析対象データが個人属性や行動履歴のようなパーソナルデータである場合に、そのプライバシーを保護するための技術、さらには、データの分析と保護を両立させるプライバシー保護データマイニング技術が開発されている。匿名化、差分プライバシー、秘匿計算等の技術がある。それらの詳細は「2.4.3 データ・コンテンツのセキュリティー」に記載した。

c. オープンデータ（Open Data）：

最小限の制約のみで誰でも自由に利用、加工、再配布ができるデータのことである。さまざまな問題解決にデータ利用が促進され、また、他のデータと組み合わせた新しい価値創出・サービス創出が活性化さ

2.1

俯瞰区分と研究開発領域 人工知能・ビッグデータ

れる。そのために、共通的なデータ形式や付加的な情報（メタデータ等）の記述形式等がデザインされている。特に、セマンティックWeb分野で開発・標準化された技術を用いたリンクト・オープンデータ(Linked Open Data: LOD)⁴⁾がよく知られている。さらに、分野・組織をまたいだデータの連携を容易にするため、共通語彙の設定も含むデータ連携基盤の構築が推進されている。米国では2005年にNIEM (National Information Exchange Model)、欧州では2011年にSEMIC (Semantic Interoperability Community) がデータ連携標準の取り組みとして始まった。わが国でも「未来投資戦略2018」で描くデータ駆動型社会の共通インフラとしてデータ連携基盤の構築が掲げられ、共通語彙基盤 (Infrastructure for Multilayer Interoperability: IMI) が構築された⁵⁾。IMI、NIEM、SEMICの間の国際的な相互運用性も検討されている。

④ 問題解決手段の質的变化

①②③で述べたような「データに基づく問題解決」の枠組みの発展によって、大規模複雑タスクの自動実行や膨大な選択肢の網羅的検証等が可能になり、問題解決手段の質的变化が起き、産業構造の変革、社会システムの変革、科学研究の変革にもつながる。

「データに基づく問題解決」の枠組みは、既に多くの業種・分野に広がっており、さまざまな種類、多数の事例が生まれている⁶⁾。それらの事例では、従来人手で行っていた作業を自動化することで効率化が進んだり、自動化に加えて、膨大なデータを精緻に観察・分析することによる精度向上によって適用場面（ビジネス機会）が拡大したりと、効率化・機会拡大の効果がまずは見られる。しかし、それにとどまらず、産業構造・社会システム等の変革を引き起こすような質的变化も起こる。効率化（コスト削減等）と機会拡大（売上拡大等）は従来の土俵の上での競争だが、この質的变化は土俵を変える（ゲームチェンジが起きる）。このゲームチェンジに備えるための打ち手、さらには、ゲームチェンジを主導するための打ち手が、技術開発と制度整備の両面から求められる。以下、a. 産業構造の変革、b. 社会システムの変革、c. 科学研究の変革という3つの面で、質的变化の可能性に着目する。

a. 産業構造の変革：

産業構造の変革については、人工知能技術戦略会議が2017年に公開した「産業化ロードマップ」⁷⁾が参考になる。このロードマップは、主要分野として、生産性分野、健康・医療・介護分野、空間の移動分野という3分野を取り上げ、各分野でのAI利活用の進展を3つのフェーズでとらえている。フェーズ1では、各領域においてデータ駆動型のAI利活用が進み、フェーズ2では、個別の領域の枠を越えてAI・データの一般利用が進み、フェーズ3では、各領域が複合的につながり合っテエコシステムが構築されるとしている。フェーズ1・2は概ね効率化と機会拡大に相当し、フェーズ3はゲームチェンジが起こり得る質的变化の段階に相当する。AI技術（特に機械学習技術）によって各業界の専門的業務が自動化され得る。これはその業界にとって業務効率化だが、業界外から見れば参入障壁の低下になるため、業界構造が変わり、ゲームチェンジが起こり得る。例えば、動画の効果的な加工はかつて専門業者に依頼するしかなかったが、今では個人がスマートフォンで簡単に加工操作でき（その裏ではAI的な技術が使われている）、それを用いた新たなサービスも生まれている。また、UberやLyftに代表されるような自家用車によるオンデマンドのライドシェアも、従来の業界構造を変えた事例だが、このゲームチェンジを可能にしたのは、一般ドライバー（自家用車の所有者）と車で移動したい一般ユーザー（乗客）とを、リアルタイムに把握して最適マッチングする仕組みが、AI・ビッグデータ活用によって実現されたからである。

b. 社会システムの変革：

AI・ビッグデータの活用によって、社会システムの部分最適から全体最適への移行が考えられる。IoT技術の進化と普及によって、社会のさまざまな事象がビッグデータとして精緻かつリアルタイムに観測できるようになる。その一方で、さまざまな社会システムが相互に接続し合ったり、影響を与え合ったりするようになり、大規模で複雑な系をAI技術で全体最適化する方向が考えられる。大規模複雑なシステムを個別で精緻な観測に基づきながら全体最適化を行うことは、人間には困難であり、質的变化が生まれると考えられる。このような社会システムデザインに関わる技術群や研究開発課題については「2.3 社会システム科学」で取り上げている。なお、何を最適と考えるかという価値観は国・地域・文化や個人個人によって異なるため、電力・水道・交通等のライフライン系は共通的な方針のもとでの全体最適な供給制御が考えられるが、より個人の生活スタイルに関わる部分は各自の価値観に任せるべきものとなる。

c. 科学研究の変革：

科学には4つのパラダイムがあると言われる⁸⁾。第1のパラダイムは実験科学（あるいは経験科学）、第2のパラダイムは理論科学、第3のパラダイムは計算科学（あるいはシミュレーション科学）、第4のパラダイムはデータ駆動科学（あるいはEサイエンス）と呼ばれる。データ駆動科学は、データに基づいて科学的な知見や社会的に有益な知見を導き出そうとするアプローチを取る。これはAI・ビッグデータ技術を活用した「データに基づく問題解決」の発展によって生まれた、新しい科学のパラダイムだと言える。以下、データ駆動科学によってもたらされ得る科学の質的变化として考えられる点を挙げる。

第1点として、さまざまな現象・事象についてビッグデータが取得できると、従来は人間の主観や限られた観察に強く依存していたタイプの学問や施策設計が、データに基づく客観性の高い分析・検証を行えるようになる。計算社会科学（Computational Social Science、「2.3.5 計算社会科学」参照）のような研究分野が立ち上がっているのがその一例である。

第2点として、AI技術とロボット・IoT機器等を活用した高度な自動化によって、人間には不可能なスケールとスループット、すなわち組み合わせ的に膨大な数の条件・ケースに対して高速な実験・仮説検証の繰り返しが可能になる。例えば、マテリアルズインフォマティクス⁹⁾や計測インフォマティクス^{10), 11)}と呼ばれる取り組みでは、このような面が生かされている。

第3点として、人間の認知限界・認知バイアスを超えた科学的発見がもたらされる可能性がある。科学研究においても、自分の研究に関連したすべての論文を読むことは不可能であり、自分の仮説に合うデータのみに着目したり、想定に合わなかったケースのみ厳しくチェックしたりといった認知限界や認知バイアスがあり、それが科学的発見の可能性を狭めているという指摘がたびたびなされている^{12), 13), 14)}。AI技術を活用すれば、このような限界・バイアスを超えた仮説探索・検証が可能になり、これまでと質的に異なる科学的発見が生まれるかもしれない。

この第3点（および第2点を含めることもある）を強調して「AI駆動科学」¹⁵⁾や「高次元科学」¹⁴⁾と呼ばれることもある。この取り組みについては「新展開・技術トピックス」②で述べる。

(4) 注目動向**[新展開・技術トピックス]****① 計測インフォマティクス**

計測は「科学の母」(Mother of Science)と言われ、さまざまな科学研究を支えている。また、現在の

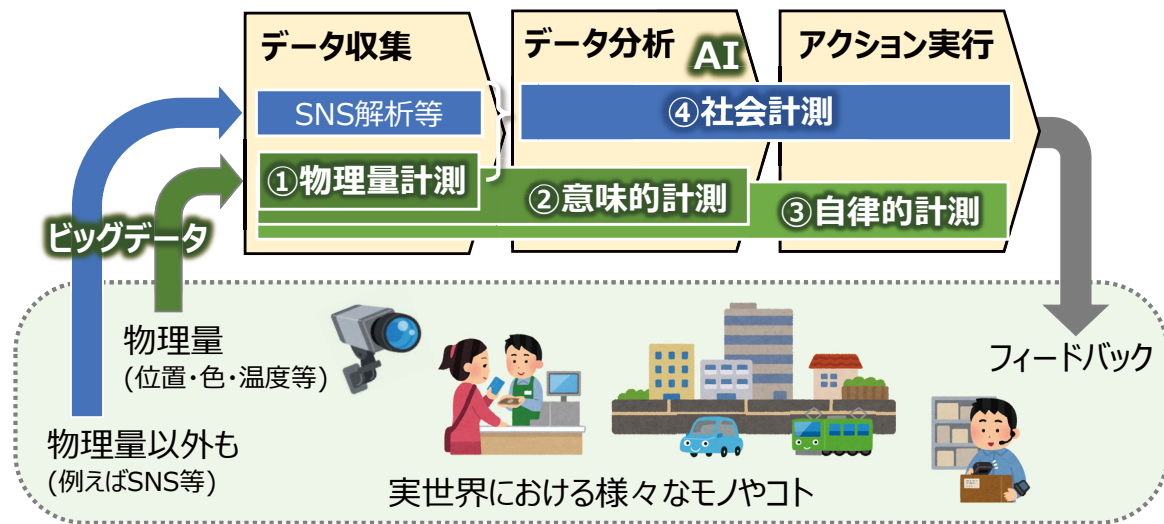


図2-1-10 計測の高次化と問題解決パイプラインとの対応

状況を把握することは問題解決（ソリューション）の出発点であり、計測技術はさまざまなソリューションビジネスを左右する。今日、計測は、AI・ビッグデータ技術と結びついて、その概念を広げている。いわば「狭義の計測」から「広義の計測」へと概念を広げ、これがさまざまな研究・ビジネスに波及している。

「狭義の計測」は物理量計測である。従来の計測機器は、温度・重量等の物理量を直接計測して出力するものであった。しかし、いまでは、計測機器（あるいは計測システム）の中で、物理量データの統計処理・データ分析処理等の情報処理（AI・ビッグデータ技術の適用を含む）まで行い、その結果を計測結果として出力するものが増えている。そのような情報処理を加えることで、a.物理量計測の高性能化、b.「意味的計測」、c.「自律的計測」が可能になってきた。ここで、「意味的計測」と「自律的計測」が「広義の計測」に相当する。以下、これらa・b・cについて簡単に説明する（詳細は調査報告書¹¹⁾にまとめた）。

- a.物理量計測の高性能化は、従来と同様に物理量を計測結果として出力するが、情報処理を加えることで、精度や効率を高めるものである。例えば、カメラ画像の超解像（画像処理によって解像度を高める）等がある。
- b.「意味的計測」は、計測結果として得られた物理量データを分析することで、その計測結果に意味を与える（上位概念に変換する）ものである。位置の計測データ（座標）の住所・ランドマークへの変換や、指紋認証・顔認証等のバイオメトリクス認証機器・システムがその一例である。
- c.「自律的計測」は、物理量データの分析結果に基づいて、次のアクションの決定・実行まで行うものである。例えば、現在の計測結果に基づいて、次に何を計測するかを決定するような、ロボットやドローンをベースとした自律的な計測システムがこれに該当する。

また、上記a・b・cは、物理量計測を出発点とした計測の高次化であるが、物理量計測だけでなく、人々がSNS（Social Networking Service）やCGM（Cosumer Generated Media）で発信する情報も集めて、人々の行動や社会現象を把握しようというアプローチ（「社会計測」とも呼ばれる）も生まれている。さらに、「広義の計測」や「社会計測」で得られた人間や社会に関するビッグデータを分析して、人間の行

動や社会の現象を定量的に理解しようとする計算社会科学も、近年、取り組みが活発になっている。

このような計測の高次化と合わせて、その自動化によって、規模の大きな現象・活動のリアルタイムな計測という方向への発展も進んでいる。

② AI 駆動科学・高次元科学

科学の4つのパラダイムでは第4のパラダイム「データ駆動科学」に含まれるとみなせるものだが¹⁾、特にAI・機械学習を活用して科学的発見の可能性を拡大する取り組みは、「AI駆動科学」¹⁵⁾や「高次元科学」¹⁴⁾と呼ばれている。囲碁の世界において、AI技術(特に深層学習・深層強化学習)を活用したコンピューターソフトウェアであるAlphaGoが世界トップクラスの棋士に圧勝した(「2.1.1 知覚・運動系のAI技術」参照)。その際、AlphaGoが行っていた膨大な可能性の探索から導出された打ち手は、人間の棋士には思いもよらなかった手を含んでいたが、それはその後、新手として人間の棋士も取り入れるようになった。同様のことは、今後、科学的発見においても起こり得る。

このような科学的発見の可能性の拡大にむけてキーとなる技術チャレンジは、a.人間の認知能力を超えた仮説生成・探索のための技術開発と、b.仮説評価・検証のハイスループット化と考えられる。aに関しては、超多次元の現象(非常に多くのパラメーターで記述される現象)から規則性を見いだすことは人間には困難だが、深層学習を用いれば¹⁴⁾、それが可能になりつつある。また、複数の異なる専門分野の知識をつなぎ合わせた推論による仮説の生成・探索は人間には困難だが、論理推論の枠組み¹⁶⁾を分野横断で実行すれば、それが可能になるかもしれない。bに関しては、ロボット等による物理的な実験の自動化技術¹⁷⁾も含め、科学的発見プロセスを構成するさまざまな技術を1つのプラットフォーム上に統合^{13), 15)}するとともに、計算量や物理的操作を抑える効率の良い処理フローや絞り込みアルゴリズムが必要になる。このような方向のグランドチャレンジとして「ノーベルチューリングチャレンジ」が提唱され¹³⁾、研究開発プロジェクトが立ちあがりつつある([注目すべき国内外のプロジェクト] ①参照)。

一方で、人間の認知能力を超えた超多次元の規則性の発見は、もし人間に理解できないとしたら、それを科学として許容してよいのかという議論も起きている²⁾。科学とは何かという基本的な問題や、科学コミュニティや社会による受容の問題も併せて考えていくことが必要である。

[注目すべき国内外のプロジェクト]

① ノーベルチューリングチャレンジ (Nobel Turing Challenge)

2016年に北野宏明がAIを活用した科学的発見のためのエンジンを作るという新たなグランドチャレンジを立ち上げた¹³⁾。「2050年までに生理学・医学分野でノーベル賞級の科学的発見をできるAIシステムを作る」ことを目標に掲げ、「ノーベルチューリングチャレンジ」と名付けられた。仮説として「科学的発見は、仮説空間の網羅的探索と検証によってなされる」と考えており、マテリアルズインフォマティクスと通じるところがあるが、ノーベル賞級の科学的発見を行うために道具としてAIを使うという立場ではなく、科学的

1 AI駆動科学を第5のパラダイムと位置付ける立場もある¹⁵⁾。

2 超多次元の現象に規則性を見いだすことは人間に困難であっても、発見されてしまえば、その規則性を人間は理解し得るのかもしれないという見方や、直感的理解が困難でも、その規則性に反するものが見つからなければ受容し得るのかもしれないという見方もある。いずれにせよ、研究コミュニティや社会による受容という面から継続的に考えていく必要がある。また、この受容性を高めるための補助的な枠組み(モデルの解釈性、数学的な枠組み、能動的検証の仕組み等)も研究課題になり得る。

発見の本質を解明し、人間の知識の飛躍的拡大をサポートするAI技術の実現によって、人類が直面する問題の解決につなげることを狙った取り組みである。そのための基盤として、システム・バイオロジー研究機構（The Systems Biology Institute：SBI）では、ソフトウェア間のインターオペラビリティを確保するためのプラットフォームとしてGaruda Platformを開発し、これにAI機能を連動させるためのGandhara AI Frameworkを開発している。

このグランドチャレンジは国際的な目標になりつつあり、英国のアラン・チューリング研究所（The Alan Turing Institute）では、The Turing AI Scientist Grand Challengeプロジェクトを2021年1月にスタートさせた（グランドチャレンジ提唱者の北野もメンバーとして招聘されている）。これに先立ち2020年2月にはロンドンにてAI Scientist Grand Challenge Workshopが開催された。2020年10月には、米国ThoughtWorks社の主催によるEngineering for Research Symposium「Towards the Logic of Scientific Discovery：Will AI ever win a Nobel Prize?」も開催された。米国国防高等研究計画局（DARPA）も2020年8月に"Voices from DARPA" Podcastにてこのグランドチャレンジを取り上げ、関心を示した。日本国内でもSBI以外の関連する取り組みとして、科学技術振興機構（JST）の未来社会創造事業の共通基盤領域で本格研究フェーズに入った「ロボティックバイオロジーによる生命科学の加速」（研究開発代表者：高橋恒一）、ムーンショット型研究開発事業のムーンショット目標3に採択された「人とAIロボットの創造的共進化によるサイエンス開拓」（プロジェクトマネージャー：原田香奈子）等が推進されている。

② 新型コロナウイルス対策へのAI技術活用

2020年はパンデミックを引き起こした新型コロナウイルス感染症（COVID-19）への緊急対応が必要になり、「1.3.3 新型コロナウイルス対策でのICT利用」にまとめたようなさまざまな対策が講じられた。2021年1月時点では終息に至っておらず、いっそうの対策強化が必要とされている。そのためにさまざまな技術開発と対策プロジェクトが推進されている¹⁸⁾。ここではプロジェクトを個々に取り上げることはせず、AI・ビッグデータによる問題解決がどのような場面で活用されているか、代表的な場面をいくつか挙げるにとどめる。

まず、診断支援AIが挙げられる。感染者の急増に対して医療現場の負荷は甚大であり、医療崩壊の危機が叫ばれた。この負荷を少しでも軽減するため、最終的な医療診断は人間の医師が行うが、AIによる診断・トリアージ判定の結果を医師に参考情報として提供することが試みられている。深層学習等を用いて、胸部X線画像から正常か否かを診断したり、血液検体から死亡リスクを予測したりといった事例がある。また、スマートフォンのアプリを介して、オンライン問診や遠隔診察をしたり、チャットボットが応対したりして、病院に来る以前に適切な振り分けをすることで、病院側の負荷軽減を図ることも試みられている。

次に、治療支援AIという面では、新型コロナウイルスに効く治療薬・ワクチンの発見・開発を加速するために、AI技術を用いた新薬候補の探索や効果予測が試みられている。機械学習やシミュレーションによって選別・予測を行うことで効率化・期間短縮を図る。既に人間での安全性や体内動態が確認されている既承認薬について、新たな薬効を見だし、別の疾患に対する治療薬として開発するドラッグリポジショニングというアプローチも有効である。

また、感染拡大抑制のためのAI技術も、さまざまな面から取り組まれている。一つは感染状況を把握・予測することで、感染拡大の抑制策の検討につなげるというアプローチである。インターネット上のさまざまな情報を自然言語処理や機械学習の技術を用いて解析し、世界中の感染症の発生状況を監視するシステムが開発されている。また、感染症の数理モデルはクラスター対策等の基礎となっている。別なアプローチ

として、感染拡大の要因に着目して、注意を呼びかけるアプローチがある。感染症の陽性者との接触可能性についてプライバシーを保護しつつ判定する接触確認アプリや、カメラ映像解析によってソーシャルディスタンスが保たれているかを判定するシステム等が開発されている。

他にも、感染症に関するデマや扇動をインターネット上で検出したり、テレワークや遠隔業務の支援に関わる通信品質の最適化や遠隔作業の自動化したり、AI・ビッグデータ技術が貢献する場面は幅広く、さまざまな取り組みが進められている。

(5) 科学技術的課題

① データ駆動型社会システムのための開発方法論と社会データ基盤の確立

「データに基づく問題解決」は、データ駆動型の社会システムの開発方法論でもある³⁾。「2.3 社会システム科学」において関連する取り組みをまとめているほか、サイバーフィジカルシステムの開発方法論としてのReality 2.0²⁰⁾や、AI応用システムの開発方法論としてのAIソフトウェア工学²¹⁾(詳細は「2.1.4 AIソフトウェア工学」参照)も関わりが深い。

また、国連で採択されたSDGs (Sustainable Development Goals: 持続可能な開発目標) に掲げられているさまざまな社会課題に対しても、「データに基づく問題解決」は共通的に貢献する手段となる。ただし、貢献できる程度は社会課題の種類によって異なる。その差が生まれる要因として大きいのは、その社会課題の状況に関わる実世界ビッグデータを取得できるかという点と、状況把握・分析の結果を実世界へフィードバックして状況改善に結び付ける制御手段が整っているかという点だと考える。そのため、そのような仕組みを強化した社会データ基盤の整備も重要課題である。

② データ・AI 駆動科学の方法論・技術群の研究開発

本節に示したようなデータ駆動型やAI駆動型と呼ばれる問題解決の方法論・技術群をいっそう強化していくことが求められる。[研究開発の動向] ④で科学研究の変革について、科学の4つのパラダイムを取り上げた。実験科学・理論科学・計算科学がなくなることはないが、データ・AI駆動科学が、科学研究・技術開発の国際競争力を左右するものになりつつある。そして、産業構造の変革や社会システムの変革にもそれが及ぶ。米国エネルギー省 (Department of Energy: DOE) は2020年2月に「AI for Science」と題したレポート²²⁾を公開し、AI技術がさまざまな科学分野に波及し、その戦略的強化の必要性を示した。日本国内でも2020年4月に科学技術振興機構研究開発戦略センターから「デジタルトランスフォーメーションに伴う科学技術・イノベーションの変容」と題する同様のレポート²³⁾を公開している。2021年3月に答申される第6期科学技術・イノベーション基本計画においても、データ駆動型研究の推進が掲げられる見込みである⁴⁾。マテリアル⁹⁾、バイオ²⁴⁾、物理学²⁵⁾等の科学分野を中心に、AI・機械学習技術の科学研究への活用が進んでいるが、[新展開・技術トピックス] ②で述べたように、人間の認知能力を超えた仮説生成・探索のための技術開発と、仮説評価・検証のハイスループット化をいっそう進めていくことが必要である。

3 「データ・ドリブン・エコノミー」¹⁹⁾を支える枠組みと捉えてもよいかもしれない。

4 本稿の執筆時は、2021年1月に公開された答申素案に基づいている。

③ 人材の再教育システムに関する研究開発

社会や産業の質的变化が起こってくる中で、「なくなる職業・仕事」に関する報告書²⁶⁾が話題になった。なくなる職業・仕事の一方で、新たな生まれる職業・仕事があることも指摘される。しかし、なくなる職業・仕事から新たな生まれる職業・仕事へ、必ずしも同じ人間が移行できるわけではない。社会や産業の質的变化に伴い、そこで働く人々に求められる能力・スキルも変化する。しかも、その変化がはやいため、人間の能力・スキル獲得のスピードが追いつかないことが問題になる。社会制度（ベーシックインカム等）や人材の再教育機会の整備を検討していく必要があるが、人材の再教育に関して、制度面の施策だけでなく、情報技術を活用した、よりの確で効率のよい再教育システムの研究開発も必要と考えられる。

(6) その他の課題

① 分野横断的な研究開発推進と人材育成・拠点構築

データ駆動型・AI駆動型のアプローチがさまざまな技術分野・産業分野に取り入れられるようになり、各分野のもとの知識・技術と、AI・ビッグデータ技術の両方がわかる人材・組織の育成が重要になっている。また、「データに基づく問題解決」において、データ分析やAI・ビッグデータ技術は手段であり、問題解決・価値創造の側からの発想が重要である。分野横断的な技術者・研究者と、価値創造を牽引するリーダー人材と両面から人材育成を進めていくことが求められる。前者については、研究分野の異なる学会間の交流^{27), 28)}が盛んになりつつあり、同様の動きの広がりが期待される。

また、さまざまな技術を統合し、科学的発見のプロセスや問題解決のプロセスの全体を一気通貫で動かすために拠点を構築することも有効と思われる。これは人材育成面にも寄与する。

② 制度設計・規制緩和

社会・産業等の質的变化に向けて、制度設計・規制緩和は必要になる。その際に、社会受容性に配慮した導入設計が重要になる。また、日本の社会適性という面だけでなく、グローバルな調和と競争環境も意識した設計が求められる。

(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	○	↗	ノーベルチューリングチャレンジを提唱する中核的人材の存在や、AI戦略2019、第6期科学技術・イノベーション基本計画等で、AI人材育成やデータ駆動型研究推進が掲げられ、取り組みが強化されている。しかし、現時点では、人材育成やデジタル化の遅れが見られ、底上げが必要である。
	応用研究・開発	○	↗	実世界ビッグデータへの取り組みは強化されてきているが、社会・産業の変革に対する社会受容・制度設計等には課題がある。
米国	基礎研究	◎	↗	適切なグランドチャレンジの設定等、長期視点での変革につながる基礎研究への投資が国によって行われている（DARPA・DOEによる推進等）。
	応用研究・開発	◎	↗	GAFAを中心とした産業界がAI・ビッグデータ技術の開発と社会・産業等の変革を牽引している。

欧州	基礎研究	○	↗	英国のアラン・チューリング研究所でThe Turing AI Scientist Grand Challenge プロジェクトがスタートした。
	応用研究・開発	○	→	インダストリー 4.0 等、ドイツでの取り組みが注目される。
中国	基礎研究	○	→	国がAI・ビッグデータ研究開発に大型投資を行い、強力に推進している。深層学習を中心としたAI研究は米中二強となっており、中国の基礎研究は強化されている。
	応用研究・開発	◎	↗	国がAI・ビッグデータ技術を活用した監視・管理社会の構築を推進している。日本・欧米とは異なる文化・価値観だが、独自の社会変革を推進している。
韓国	基礎研究	△	→	特筆すべき点はない。
	応用研究・開発	○	→	特筆すべき点はないが、デジタル化は推進されている。

(註1) フェーズ

基礎研究：大学・国研などでの基礎研究の範囲

応用研究・開発：技術開発（プロトタイプの開発含む）の範囲

(註2) 現状 ※日本の現状を基準にした評価ではなく、CRDS の調査・見解による評価

◎：特に顕著な活動・成果が見えている

○：顕著な活動・成果が見えている

△：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 ※ここ1～2年の研究開発水準の変化

↗：上昇傾向、→：現状維持、↘：下降傾向

関連する他の研究開発領域

- ・ 計算工学（環境・エネ分野 2.1.18）
- ・ 複雑系材料の設計・プロセス（ナノテク・材料分野 2.5.7）
- ・ MEMS・センシングデバイス（ナノテク・材料分野 2.3.4）
- ・ ロボット基盤技術（ナノテク・材料分野 2.3.5）
- ・ マテリアルズ・インフォマティクス（ナノテク・材料分野 2.5.3）
- ・ AI創薬・インシリコ創薬（ライフ・臨床医学分野 2.1.4）
- ・ 計測×AI（ライフ・臨床医学分野 2.5.4）

参考文献

- 1) 喜連川優, 「ビッグデータ」, 『學士會会報』 No. 918 (2016年), pp. 78-83.
- 2) 城田真琴, 『ビッグデータの衝撃—巨大なデータが戦略を決める』(東洋経済新報社, 2012年) .
- 3) Yannick de Jong, “Levels of Data Analytics”, IThappens.nu (20 March 2019) . <http://www.ithappens.nu/levels-of-data-analytics/> (accessed 2021-02-03)
- 4) 大向一輝, 「オープンデータとLinked Open Data」, 『情報処理』(情報処理学会誌) 54巻12号 (2013年12月), pp. 1204-1210.
- 5) 加藤文彦・他, 「IMI 共通語彙基盤」, 『デジタルプラクティス』(情報処理学会デジタルプラクティス論文誌) 9巻1号 (2018年1月) .
- 6) 情報処理推進機構 AI白書編集委員会 (編), 『AI白書2020』(KADOKAWA, 2020年) .

- 7) 人工知能技術戦略会議, 「人工知能技術戦略」(2017年3月31日) .
<https://www.nedo.go.jp/content/100862413.pdf> (accessed 2021-02-03)
- 8) Tony Hey, Stewart Tansley and Kristin Tolle, *The Fourth Paradigm: Data-Intensive Scientific Discovery* (Microsoft Research, October 2009) .
- 9) 岩崎悠真, 『マテリアルズ・インフォマティクス: 材料開発のための機械学習超入門』(日刊工業新聞社, 2019年) .
- 10) 鷲尾隆, 「計測指向情報処理技術と情報処理指向計測技術の共進化」, 『Readout - HORIBA Technical Report』53号(2019年10月), pp. 62-67.
- 11) 科学技術振興機構 研究開発戦略センター, 「調査報告書: 計測横断チーム調査報告書 計測の俯瞰と新潮流」, CRDS-FY2018-RR-03 (2018年12月) .
- 12) Regina Nuzzo, “How scientists fool themselves – and how they can stop”, *Nature* Vol. 526, Issue 7572 (8 October 2015), pp. 182-186. DOI: 10.1038/526182a
- 13) 北野宏明, 「人工知能がノーベル賞を獲る日, そして人類の未来-究極のグランドチャレンジがもたらすもの」, 『人工知能』(人工知能学会誌) 31巻2号(2016年3月), pp. 275-286.
- 14) 丸山宏, 「高次元科学への誘い」, CNET Japan ブログ(2019年5月1日) . https://japan.cnet.com/blog/maruyama/2019/05/01/entry_30022958/ (accessed 2021-02-03)
- 15) 高橋恒一, 「AI 駆動科学とその社会と人間性への影響」, 『ここまで 来ました: 右巻き左巻き・AI 駆動科学・がん医療の革新』(武田計測先端知財団編, 丸善プラネット, 2020年), pp. 41-77 (第2章) .
- 16) 井上克巳, 「人工知能による科学的発見」, 『電子情報通信学会誌』98巻1号(2015年), pp. 35-39.
- 17) 夏目徹・高橋恒一・神田元紀(企画), 「特集: 新型コロナで変わる時代の実験自動化・遠隔化」, 『実験医学』39巻1号(2021年1月), pp. 1-52.
- 18) 日経BP編, 『日経テクノロジー展望: 新型コロナに立ち向かう100の技術』(日経BP, 2020年) .
- 19) 森川博之, 『データ・ドリブン・エコノミー: デジタルがすべての企業・産業・社会を変革する』(ダイヤモンド社, 2019年) .
- 20) 科学技術振興機構 研究開発戦略センター, 「戦略プロポーザル: IoTが開く超スマート社会のデザイン-REALITY 2.0-」, CRDS-FY2015-SP-02 (2016年3月) .
- 21) 科学技術振興機構 研究開発戦略センター, 「戦略プロポーザル: AI 応用システムの安全性・信頼性を確保する新世代ソフトウェア工学の確立」, CRDS-FY2018-SP-03 (2018年12月) .
- 22) Rick Stevens, et al., “AI for Science”, Report on the Department of Energy (DOE) Town Halls on Artificial Intelligence (AI) for Science (February 2020) .
- 23) 科学技術振興機構 研究開発戦略センター, 「デジタルトランスフォーメーションに伴う科学技術・イノベーションの変容」(-The Beyond Disciplines Collection-), CRDS-FY2020-RR-01 (2020年4月) .
- 24) 科学技術振興機構 研究開発戦略センター, 「AI×バイオ DX時代のライフサイエンス・バイオメディカル研究」(-The Beyond Disciplines Collection-), CRDS-FY2020-RR-03 (2020年9月) .
- 25) 田中章詞・富谷昭夫・橋本幸士, 『ディープラーニングと物理学: 原理がわかる、応用ができる』(講談社, 2019年) .
- 26) Carl Benedikt Frey and Michael A. Osborne, “The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?”, (September 17, 2013) . https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf (accessed 2021-02-03)

2.1

俯瞰区分と研究開発領域
人工知能・ビッグデータ

- 27) 小林亮太・岡本洋・山川宏 (編), 「特集:物理学とAI」, 『人工知能』(人工知能学会誌) 33 巻4号 (2018 年7月), pp. 391-448.
- 28) 「シリーズ:人工知能と物理学」, 『日本物理学会誌』 74 巻1号～11号 (2019年).
<https://www.jps.or.jp/books/gakkaishi/seriesai.php> (accessed 2021-02-03)

2.1

俯瞰区分と研究開発領域
人工知能・ビッグデータ