

AIによる科学研究の未来

概要

人工知能（AI）の進歩により、科学研究の進め方が大きく変わろうとしています。本レポートでは、**AI駆動科学**（AIによって科学的発見を推進する研究手法）の現状と未来について7つの観点から詳細に検討します。まず提供された動画の内容を要約し、AlphaFoldやAlphaEvolveといった具体例を通じてAIが既に科学研究に果たしている役割を整理します。次に、AlphaFold 3やAlphaEvolveの最新成果を紹介し、医学・材料科学・数学など他分野でのAI活用事例を示します。続いて、AI駆動科学の進展段階を4つのレベルに分類し、それぞれに対応するプロジェクト例や技術、特にレベル3（自動化実験室）・レベル4（ロボティクスによる実世界での研究）における技術的・物流的課題を分析します。さらに、AIが人間の理解を超える発見を行うことの哲学的意味を考察し、科学方法論や知識観への影響、専門家による議論を紹介します。また、AI駆動科学に伴うリスク・倫理的懸念（科学者の雇用影響、技術の悪用、バイアス、ブラックボックス問題など）について詳述します。第6章では、日本および世界各国の政府によるAI駆動科学推進策（GPUインフラ投資、自動化ラボ整備など）とその現状・課題を整理します。最後に、以上を踏まえてAI時代における科学研究の未来像を展望し、人間科学者の役割の変化や新たに求められるスキルについて論じます。

1. 提供動画の要約：AI駆動科学の台頭と主要な主張

動画タイトル：「科学者がいらない時代が来る？AIが“理解を超える”世界へ | 安野貴博の未来予測」
(YouTube)

概要：この動画では、AIが科学技術の発展を主導していく未来像（AI駆動科学）について述べられています。2025年時点で既に**AlphaFold**や**AlphaEvolve**などAIが科学的発見に貢献している事例があり、今後は段階的にAIの役割が拡大すると主張されています^①^②。動画で提示されたポイントを以下に要約します。

- **AlphaFoldの衝撃：**Google DeepMind社のAlphaFoldはタンパク質の3次元構造を高精度かつ高速（従来数年→数時間）に予測するAIアルゴリズムです^③。2018年の初版公開以降改良が重ねられ、2024年には**AlphaFold 3**へと進化しました^②。AlphaFoldにより生命科学研究の速度が飛躍的に向上したとされます^②。例えば従来は大型装置や長時間の実験が必要だったタンパク質立体構造の解明が、AIの予測によって短時間で可能となり、創薬などに大きな影響を与えました^④。
- **AlphaEvolveの登場：**2025年5月に発表された**AlphaEvolve**は、AI自身がアルゴリズムや計算手法を設計・改良するエージェントです^⑤。Googleの次世代LLM「Gemini」を用いており、データセンターの効率化やTPUチップ設計の最適化、さらには長年改良されていなかった1969年のアルゴリズム（行列積のStrassen法）を上回る新手法の発見に成功しました^⑥。AlphaEvolveは50以上の未解決数学問題に挑戦し、その約75%で従来の最良解を自力で再発見、20%でそれを上回る改良解を見出したと報告されています^⑦。例えば300年以上数学者を悩ませてきた**接吻数問題**において、AlphaEvolveは外接球を593個配置できる新たな配置を発見し、11次元における接吻数の下限を更新しました^⑧。このように**AIが数学や計算機科学の分野で新発見をもたらし始めている**ことが示されています。
- **他のAI駆動科学の事例：**大企業だけでなく新興企業でもAIを科学的発見に用いる例が増えています。動画では**FutureHouse**という研究団体の例が挙げられています^⑨。FutureHouse社では、Crow・Falcon・Finchという3つのAIエージェントを組み合わせ、膨大な論文から有望な治療薬候補を選び出

し、新たな疾患治療法を発見する試みが行われています⁹。実際にAIがある疾患に効く可能性の高い化合物を特定した事例も報告されています⁹（詳細は後述）。

・**AI駆動科学の4段階（レベル）**：科学研究へのAI活用は次の4つの段階を経て進むと動画では示されています¹⁰¹¹。

- ・**レベル1**：「AIが人間の補助をする」段階。すでに2025年現在で一般化しているフェーズで、研究者が統計分析用のコードを書かせたり、論文調査・執筆補助に生成AIを使ったりするケースです¹⁰。AIは人間研究者の**コパイロット**として働き、効率向上に寄与します。
- ・**レベル2**：「物理実験を伴わない研究はAIが行う」段階。現在まさに始まりつつあるフェーズで、シミュレーションや理論計算など**コンピュータ内で完結する研究**をAIが担います¹²。AlphaFoldやAlphaEvolveのように、**実験の要らない領域（計算生物学、計算機科学、数学など）**でAIが人間の能力を凌駕しつつあります¹²。特にAI自身がAI研究を行うようになると、改良されたAIがさらに良いAIを開発するという強力なフィードバックループが生まれ、指数的な進歩を遂げる可能性が指摘されています¹³。
- ・**レベル3**：「自動化された実験環境でAIが研究を行う」段階。物理空間での実験にもAIを活用するフェーズで、既に**クラウドラボ（Cloud Lab）**という全自動実験施設の実例があります¹⁴。例えばエメラルド・クラウドラボ社は完全自動化された生命科学実験室を運営しており、研究者が世界中どこからでもオンラインで実験を指示すれば、ロボットが24時間365日その実験を実行しデータを返送します¹⁴。AIはこうしたクラウドラボをインターフェースとして実験系の研究にも関与できるようになりつつあります¹⁵。
- ・**レベル4**：「ロボティクス技術による実世界でのAI研究」段階。実験室の外、実社会のフィールドでAI搭載ロボットが自律的に研究活動を行うフェーズです¹¹。高度なロボット工学により、AIがモノを掴んだり移動したりして**フィールドワークや複雑な実験操作**まで行えるようになれば、実験室の枠を超えた科学研究をAIが主導できるとされています¹¹。

・**AIがもたらす「理解を超えた」世界**：動画の後半では、AIが科学研究を行うことで生じる本質的な変化について議論されています。**最大のポイントは、人間の脳という制約から解放されること**だと指摘されています¹⁶。従来の科学研究では、人間の脳が「理解できること」が成果の前提でした。しかしAI駆動科学では、人間には直感的に理解困難な高次元のパターンからも新発見が可能になります¹⁶。つまり「**人間には分かった感じがしないが成果は出る**」という事象が増えていくと述べられています¹⁷。実例として、人間には誤った直感（陰謀論など）でも「分かった気にさせる」ものがある一方で、AIは人間が理解できないブラックボックスな方法でも実際に正しい成果を上げうる、と動画では説明されています¹⁷。これは科学における「理解」の価値観を根本から揺るがす可能性があります。要するに、**AI時代には「なぜそうなるか人間に説明できなくても、うまくいく科学」が登場しう**ということです。この点については後の章で哲学的含意を詳しく論じます。

以上、提供動画の要約からは、AIが科学研究において補助から主体へと役割を強めつつあり、やがて人間科学者の理解を超えた科学的発見も現実となるだろうという未来予測が語られていました¹⁶¹⁷。以下では、この内容をさらに深掘りし、各テーマについて最新情報や具体例を交えて考察します。

2. AlphaFold 3・AlphaEvolveの最新成果と他分野へのAI応用事例

AlphaFold 3と生命科学へのインパクト

AlphaFoldは2020年にタンパク質構造予測で画期的成果を上げた後も進化を続け、**AlphaFold 3**が2024年5月に発表されました¹⁸。AlphaFold 3はDeepMind社と創薬企業Isomorphic Labsが共同開発した新モデルで、タンパク質だけでなくDNA・RNA・低分子など**生命を形作るあらゆる分子の構造や相互作用**を予測可能とされています¹⁸。Nature誌に掲載された論文によれば、特にタンパク質と他分子（核酸やリガンド等）の複

合体構造予測において既存手法比で少なくとも50%精度向上し、相互作用の種類によっては**予測精度が2倍に**向上したとのことです¹⁹。この成果は単一タンパク質構造予測から、生体内での**分子間作用ネットワークまで予測可能にする飛躍**であり、創薬や分子生物学への応用が期待されています¹⁹。AlphaFold 3は新たに一般公開された「AlphaFold Protein Structure Database」上で多数の構造予測結果を提供し始めており、製薬企業との共同研究も進んでいます²⁰。実際、AlphaFold（初代・2代目）の貢献でマラリアワクチン標的の構造解明や癌関連タンパク質の解析などに進展があったほか、2023年には富士通と理化学研究所がAlphaFoldによるデータとスーパーコンピュータ「富岳」を組み合わせ、タンパク質構造変化予測を1/12の時間に短縮する技術も開発されました²¹²²。**生命科学分野ではAIがもはや不可欠なツール**となりつつあり、AlphaFold 3はその最先端として、構造生物学から創薬まで幅広く研究加速に寄与しています。

AlphaEvolveと数学・計算機科学への貢献

AlphaEvolveは前述の通り、**AIによるアルゴリズム発見・最適化**の汎用エージェントです。2025年5月のDeepMind発表以降、その具体的成果も徐々に報告されています。AlphaEvolveは**大型言語モデル（LLM）を使ってコード（アルゴリズム）を進化的に改良する**点が特徴で、GoogleのGeminiモデル（最新のLLM）を「ひらめき担当」と「深掘り担当」に使い分け、多様なプログラム候補を生成・評価しながら最適化します²³²⁴。この仕組みにより、既にGoogle社内では大規模データセンターのスケジューリングを最適化し世界中で平均0.7%の計算資源を節約、AIチップ（TPU）の回路を改良し新型TPU設計に反映、AIモデル訓練の高速化（Geminiの訓練時間を1%短縮）など**実用面での成果**が生まれています²⁵²⁶²⁷。また理論的应用として、前述の通り50以上の未解決問題（数学・組合せ最適化）の解法探索に挑み、その**75%で既知の最良解法を再発見、20%で改良**しました⁷。例として、行列の4×4の複素数乗算においてStrassenの1969年以来の最少乗算記録（49回）を48回に縮減する新アルゴリズムを自動発見し、DeepMindの従来研究AlphaTensorを上回る成果を示しています⁶。さらに、**11次元接吻数問題の改良解発見**⁸など、純粋数学の難問にも結果を出し始めています。このようにAlphaEvolveは、**理論計算分野でAIが創造的発見をする時代**を切り拓きつつあります。

他分野でのAI科学発見事例

AIは生命科学や数学だけでなく、**医学・材料科学など様々な領域で科学的発見の道具**となっています。代表的な事例をいくつか紹介します。

- ・**医学（創薬）**：新薬候補の発見にAIを用いる試みが活発です。上述のFutureHouse社の**Robin**システムはマルチエージェントAIによる「AI科学者」であり、Crow（文献の網羅サーチ担当）・Falcon（深掘り分析担当）・Finch（実験データ解析と仮説精練担当）が連携して、新規治療仮説の立案から有望な化合物候補の提案まで自動化しました²⁸。2023年の実証では、難治性の**加齢黄斑変性症（AMD）**を対象にRobinが治療薬候補を提案し、貪食作用を促進する分子メカニズムに着目した新たな仮説を導き出しています²⁹³⁰。FutureHouseはこの結果を踏まえ「**Robinはどんな疾患に対しても新規治療法を提案し、前臨床実験まで自動化できる**」と発表しました³¹。一方で、研究者の中には「AIが本当に科学者を置き換えられるのか？」と懐疑的な声もあり、完全自動化への慎重な姿勢もうかがえます³²。また創薬AIの負の側面として、2022年には研究者が既存の薬設計AIを意図的に悪用し、わずか6時間で毒性の高い化合物4万種以上をデザインし得ることを示す実験も行われました³³。この「**AIのデュアルユース（二面性）**」は生物兵器開発への悪用リスクとして国際的に議論を呼び、AI創薬ツールへの安全策導入の必要性が認識されています。

- ・**材料科学**：新物質の探索にもAIが威力を発揮しています。DeepMindが2023年11月に発表した**GNoME（Graph Networks for Materials Exploration）**というAIは、**220万種を超える新しい結晶構造**を計算予測し、そのうち約38万種は熱力学的に安定である可能性が高いと報告されました³⁴。これは従来人類が蓄積してきた知見（数百年分）をはるかに凌ぐ物質候補の創出であり、超伝導体や次世代電池材料など将来のテクノロジーを支える物質が多数含まれると期待されています³⁵。実際、GNoMEが予測した構造の一部（736種）はほぼ同時期に別の研究者らが実験合成に成功しており、AI予測が現

実の材料発見に直結しつつあります³⁶。さらに米国ローレンスバークレー国立研究所では、このAIが提案する有望材料を自動合成するロボットラボと連携し、新物質発見を高速化する実験も行われました³⁶。また、北カロライナ州立大学の研究チームは**自律型化学実験システム（自己駆動型ラボ）**を開発し、機械学習アルゴリズムが実験計画をリアルタイム更新し続けることで材料探索の速度を従来の10倍に高めたと報告しています³⁷³⁸。このシステムでは流れ反応を止めずに連続的に条件を変えつつデータを取得する「ストリーミング実験」によって、停止・待機時間を排除し大量の実験データを蓄積、最適材料へ迅速に辿り着くことが可能となりました³⁹⁴⁰。**材料科学分野においてもAIとロボットの組み合わせがゲームチェンジャーとなりつつある**と言えるでしょう。

- ・**数学・その他の科学**：数学におけるAlphaEvolveの成果は既に述べましたが、他にも**AIが法則や解法を見出した例**が現れています。例えばディープラーニングを用いた物理実験の制御や方程式ソリューション探索では、AIが人間には思いつかないような手順で目標を達成することがあります。量子物理の実験設計では強化学習AIが従来人手では難しかった実験制御パルスを発見した例が報告されています⁴¹。また2021年にはDeepMindが数学者と協働し、AIを使ってホモロジー代数や結び目理論の**新たな予想を発見・証明**したことがNature誌に掲載されました。これらはまだ限定的な成果ですが、**理論科学分野でもAIが「発見パートナー」になり得る**ことを示しています⁴²⁴³。さらに、AIは科学以外の研究分野にも広がりつつあり、例えば考古学で遺跡や古文書の解析、新型宇宙望遠鏡の観測データから新天体発見、といったケースも増えています。総じて、医学・材料・数学をはじめあらゆる分野でAIが研究イノベーションの一翼を担い始めているのが現状です。

3. AI駆動科学の4つのレベル：各段階の技術と事例、課題評価

前節までの内容から、AIが科学研究に果たす役割は**段階的に高度化**していることが分かりました。提供動画で提示された4つのレベル（人間の補助→シミュレーション研究→自動化実験室→ロボット実世界展開）ごとに、その内容と具体例、そして各段階で直面する技術的・物流的課題を整理します。

レベル1：人間研究者の補助としてのAI

内容：AIが研究者の**作業支援ツール**として機能する段階です。データ解析、プログラミング補助、文献検索、論文要約・下書きといったタスクでAI（特に生成AIや統計AI）が用いられます¹⁰。研究者はAIをコパイロット的に使い、ルーチン作業の効率化や知識収集の幅を広げることができます。

実例：自然言語処理モデルを活用した**文献レビューAI**（論文の要点抽出や関連論文推薦）、プログラミング補助の**GitHub Copilot**によるシミュレーションコード自動生成、データ解析の統計モデル自動構築（AutoMLツール）などが既に多くの研究現場で使われています。また、ChatGPTのような対話型AIに実験計画のアイデア出しや仮説のブラッシュアップを相談する研究者も増えています。**国内外の大学や企業でこれらは日常的な光景**となりつつあり、2025年現在で「当たり前のこと」と動画でも言及されました⁴⁴。

課題：レベル1の段階では、技術的課題は比較的少ないものの、**人間とAIの協働体制づくり**が焦点となります。研究者がAIからの提案や出力を適切に判断・活用するスキルが必要であり、AIの出力に偏りや誤り（バイアスや幻覚）が含まれる場合に見抜けるかという問題があります。また、論文執筆補助AIの利用については学会や学術誌で**倫理指針の整備**が進められており、例えば「生成AIで得た文章は著者が責任を持って修正し、適切に開示すること」といったルール作りが始まっています⁴⁵。**知的財産権やデータ引用の扱い**についても、AIが自動生成したアイデアやテキストの帰属をどう考えるかという新たな課題が浮上しています⁴⁶。

レベル2：物理実験不要な研究領域でのAI自律研究

内容：AIが**シミュレーションや理論解析など計算機内で完結する研究**を主体的に行う段階です¹²。具体的には、AIが数理モデルを構築・検証したり、理論仮説を計算機実験で探索したりします。物理的な実験装置は不

要なため、計算資源さえあれば人間より高速かつ網羅的に研究を進められます。AIが自ら新しい研究課題を設定し、仮説検証を回すケースも想定されます（例：「AIがAIを研究する」）。

実例：DeepMindのAlphaシリーズに代表されるように、**計算生物学（AlphaFold）**や**計算機科学**

（AlphaEvolve）では既にAIが最先端の成果を上げています。また、気候科学での気象予測モデル高度化（例：AIによる超解像で高精度かつ高速な気象シミュレーション⁴⁷）、プラズマ物理での核融合炉内挙動予測（AIが膨大な状態空間から最適な制御パラメータを探索⁴⁷）なども報告されています。**素粒子物理や宇宙論**でも、シミュレーションデータからAIがパラメータ推定や新理論の示唆を行う試みが進行中です。さらに数学では、上記AlphaEvolveの他に定理自動証明AI（例えばMicrosoftのLeanを用いたGPTベース自動証明）や、新しい数列・公式の発見を目指すAI（イスラエル工科大のRamanujan Machineなど）が開発されています。これらはいずれも実験を伴わない**純粋思考領域でのAI研究者**と言えます。

課題：レベル2の主な課題は**計算資源の確保とAIの自己改善ループ**の制御です。高度なシミュレーションを回すには巨大な計算能力が必要であり、専用のスーパーコンピュータやクラウドGPUリソースが不可欠です。計算コスト・エネルギーコストの問題もあり、如何に効率よく探索計算させるか（例えばAlphaEvolveでは自動評価・進化戦略で効率化⁴⁸²⁴）が技術課題となります。また、AIが自己改良を繰り返す過程で**暴走しない**ようにする仕組みも重要です。理論上、AIが自律的に新アルゴリズムを生み続けた場合、人間には予想しない解法に行き着く可能性があります。その解法の正しさ検証（特に数学では証明の付与）や、現実との対応付け（物理では単なるフィッティングではなく因果的理解に繋げる工夫）が必要です⁴⁹。さらに、計算だけでは解決できない**データ不足の領域**への適用も課題です。例えば社会科学などでは適切なデータやシミュレーションモデル自体が無い場合、AIも手詰まりになります。したがって、人間研究者が適切に問題設定し、AIの計算結果を現実の文脈で解釈・評価する役割は依然重要です。

レベル3：自動化実験室（クラウドラボ）におけるAI研究

内容：物理的な実験操作を**全自動化した「ロボット実験室」**をAIが利用して研究する段階です¹⁴。クラウドラボ（遠隔操作実験室）をAIエージェントがインターネット経由で操り、実験計画の立案から実行、データ取得までを自動で行います。生命科学や化学の分野では、多数の試薬調製・測定をロボットアームが行う自動化ラボが既に登場しており、人間は高レベルの実験設計と結果確認だけ関与すれば良い世界が見え始めています。

実例：米国の**エメラルド・クラウドラボ（Emerald Cloud Lab）**は商用サービスとして稼働中の全自動実験施設です¹⁴。ユーザー（研究者）はブラウザ上で実験プロトコルを記述すると、クラウドラボ内のロボット装置群（液体ハンドリングロボット、インキュベーター、分析計測器など）が指示通りに反応・測定を行い、そのデータを返送してくれます¹⁴。動画で紹介されたように、この仕組みをAIエージェントがそのまま利用すれば、人間を介さずAIが思いついた実験を即座に実行し結果を検証することも可能です⁵⁰。実際、先述のFutureHouseのRobinはインシリコ（計算内）で有望と選んだ薬候補を、クラウドラボ的な自動実験系でin vitro評価するまでを試みています²⁸。日本でも、東京工業大学が2020年に**自律物質探索ロボットシステム**を開発し、無機材料の薄膜作製プロセスを完全自動化しました⁵¹。このシステムは人手ゼロで最適条件を探索し、従来比10倍の効率で高性能薄膜を作製できたと報告されています⁵¹⁵²。また製薬企業では、**ロボット創薬プラットフォーム**を構築する例もあります。中外製薬は自社研究所においてラボオートメーション設備とAI解析を組み合わせ、数百～数千種類もの抗体を自動で作製・評価し、そのデータを総合して最適な抗体候補を見出すというアプローチに成功しています⁵³⁵⁴。これにより抗体医薬品のリード分子取得を飛躍的に高速化したとのことです⁵³。このように、**AIが自動実験プラットフォームと組み合わせる事例が各所で現れています**。

課題：レベル3では**技術面と物流面**の課題が顕在化します。技術面では、自動化実験装置の信頼性と柔軟性が鍵です。ロボットアームや測定器が長時間安定稼働し、かつ多様な実験手順に対応できなければなりません。現状、クラウドラボで可能な実験は標準化されたプロトコルに限られる場合が多く、未知の実験には人手のカスタマイズが要ります。また、AIが装置を直接制御するには**インターフェースの規格化**も必要です。各メー

カーごとに異なる機器を統一的に動かす仕組み、AIエージェントが誤操作しないための安全策が重要です。物流面では、クラウドラボ利用時に**試料（サンプル）の輸送**や保管の問題があります。遠隔地のロボットに生物試料や合成物質を送る必要がある場合、輸送日数や劣化リスクを考慮しなければなりません。また実験後の廃液や未使用試料の処理も課題です。**コスト面**でも、自動化ラボの初期導入費用・維持費用は高額であり、限られた大企業やトップ研究機関しか利用できない現状があります。今後、より低コストでアクセス可能な共用自動ラボインフラを整備することが望まれています。さらに、**実験の再現性**も重要な論点です⁵⁵。自動化により人為誤差は減るものの、機器の微調整や環境条件によって結果が左右されることがあり得ます。その場合のトラブルシューティングをAIがどこまで自己診断できるか、人間のラボ技術者の役割をどう位置づけるかが問われます。総じて、レベル3を社会実装するには**技術標準化・コスト低減・運用ノウハウ蓄積**といった課題を順次クリアしていく必要があります。

レベル4：実世界フィールドにおけるAIロボット研究者

内容：AIが高度なロボティクスを備え、人間と同等以上の機動力・操作能力で**フィールドワーク**や**社会実験**を行う段階です¹¹。レベル3が「室内の実験室内」に限られていたのに対し、レベル4では屋外や特殊環境（高山・深海・宇宙空間など）でAIロボットが探究活動を行います。極端な例では、AIが搭乗する自律探査機が他惑星で科学調査をする、といったことも含まれます。

実例：この段階はまだ概念実証レベルですが、いくつか萌芽的なプロジェクトがあります。東京大学を中心とする研究チームは、ムーンショット目標の一環として「**人とAIロボットの創造的共進化によるサイエンス開拓**」プロジェクトを進めています⁵⁶。そこでは、危険な環境や人間には微細すぎる環境（ナノレベル等）でAIロボットが実験を行い、人間科学者と対等に議論しながら協働することを目指しています⁵⁷。**2050年までにAIロボット科学者を実現**するというビジョンを掲げ、例えば災害現場で自律ロボットがセンサー観測・サンプル採取しリアルタイムで科学的分析を行う、あるいは宇宙空間でAIローバーが未知の物質をその場分析して化学発見をする、といったシナリオを想定しています⁵⁷⁵⁸。実際の実証としては、早稲田大学・尾形哲也教授らが家庭内で人と共存し家事支援を行う高度スマートロボット（高次元センサー情報を予測し制御）の研究を進めており⁵⁹、こうした技術は将来的に研究フィールドでの適応も可能になるでしょう。海外では、NASAが火星探査車にAIを搭載して現地で岩石分類を自律実行させる試みや、南極や深海でAIロボットが自律観測を行うプロジェクトも進んでいます。軍事領域になりますが、米DARPAはロボット化学者プログラムを立ち上げ、戦場や僻地でも自律的に化学分析・医薬合成ができるシステムを模索しています。今後、ロボティクスの信頼性がさらに向上すれば、「**歩き回るAI科学者**」が各地で活躍する可能性があります。

課題：レベル4が実現するには、**レベル3以上に高いハードル**があります。技術面ではまず**ロボットの汎用性と頑健性**が課題です。野外の不整地や予測不能な状況で滑らかに動き、精密な作業をこなせるロボット技術はまだ限定的です。現在の最先端ロボットでも、人間のような柔軟性や適応力には遠く及びません。また、AIが動的環境で安全に作業するには、人間や動物とのインタラクションにも配慮が必要で、事故を防ぐセンサー・制御技術（自動車の自動運転にも類似）が不可欠です。**エネルギー供給**も物流上の問題です。屋外で長期間稼働するにはバッテリーや自家発電能力が必要で、充電インフラがない場所では太陽電池などを搭載せねばなりません。加えて、法規制や社会受容性の課題もあります。人間社会空間でロボットが勝手に実験をすることへの抵抗感、安全基準の策定、責任の所在（事故や環境破壊が起きた場合の対処）といった**倫理・法制度上**の調整が必要です。この点についてはレベル4のみならずレベル3以前から継続する課題ですが、実社会に出るレベル4では一層クリティカルになります。さらに、**コストとインフラ**も無視できません。高度なAIロボットは1台で巨額の費用がかかる可能性が高く、それを運用するための通信網（リアルタイムでクラウドAIと接続するなら5G/6G網など）の整備も要ります。最後に、科学者コミュニティ側の受け入れ態勢も課題です。AIロボットが収集したデータや検体をどう共有し解析するか、ロボットが見つけたものを人間が追試・検証するプロトコルをどう設計するか、といった**新しい科学手法**の標準化が求められるでしょう。

以上、レベル1から4まで各段階の進展と課題を概観しました。総じて言えるのは、**AIが進むほど人間の役割は抽象度の高い部分（問題設定・判断・倫理）にシフトし、具体的操作や探索はAI・ロボットに任されていく**という構図です⁶⁰⁶¹。次章では、こうした「AIが発見し、人間が理解する」という新たな科学の形が哲学的にどんな意味を持つのかを考察します。

4. AIの発見が人間の理解を超えるとき：哲学的含意

AIが科学的発見を行い、その仕組みが人間には理解できない可能性が現実味を帯びてきた今、哲学者・科学者・倫理学者の間で活発な議論が起きています。その論点は、科学的方法論から知識論、倫理観まで多岐にわたります。この章では主な視点を整理します。

科学的「理解」とAIによるブラックボックス発見

科学の目的の一つは「現象を理解すること」だと伝統的に考えられてきました。しかしAI時代には、「結果が予測できれば理解は二の次」という**ブラックボックス的科学**が登場する可能性があります。Nature誌の論考でも、「あらゆる物理実験の結果を正確に予言するオラクル（神託）があっても、科学者はそれだけでは満足しないだろう。なぜその予言が成り立つのか理解したいからだ」という指摘がなされています⁴⁹。この「理解」こそ科学の醍醐味という見方に対し、AIは**理解なき正解**を提供し得る点で哲学的な挑戦を突きつけます。

動画中で安野氏が述べたように、AI駆動科学では「人間の脳が理解できる」という制約を外せるため、人間の直感を越えた高次元パターンや複雑系から新知見が得られます¹⁶。その極端な例が、「AIは人間が分からなくても成果を出す」状況です¹⁷。例えばAlphaFoldはディープラーニングで構造予測を行います。その重みパラメータにエンコードされた「折りたたみの原理」は人間にはブラックボックスです。それでも予測精度が高いので科学的に有用とみなされています。このように「**説明できなくても当たっていればOK**」という風潮が広がれば、科学哲学における説明（explanation）の価値が低下し、予測（prediction）の価値が相対的に上がるかもしれません。

哲学者の中には、これを**科学におけるパラダイムシフト**と捉える声もあります。たとえばマリオ・カレン他（2022）の論考では、計算機による発見と「科学的理解」の関係を3次元マップで整理し、AIが自律的に理解を獲得できるかという問いを投げかけています⁶²。一方、Noema誌での議論では、AIの登場は人間と機械・生物と人工物といった従来の二分法を揺さぶる**哲学的事件**だと論じられています⁶³。AIはパターン認識を通じてある種の真理（構造）を掴んでおり、初歩的な「真偽の区別」すら可能に見える、と指摘する哲学者もいます⁶⁴⁶⁵。このように、AIが見せる**理解らしきもの**を我々はどう位置づけるのか、大きな問いが突きつけられているのです。

科学的方法論への影響：仮説主導からデータ主導へ

AI駆動科学では、従来の「仮説→実験→検証」という流れが変容する可能性があります。つまり、人間がまず理論仮説を立てるのではなく、**AIがデータからパターンを見つけ仮説候補を大量生産**し、人間がその中身を後追いで理解するという流れです。これは帰納的・データ駆動型のアプローチであり、近年の科学哲学で議論される「発見の論理」と「証明の論理」の役割分担にも影響します。AIが発見部分を担い、人間がそれを証明（説明づけ）する形になるとすれば、科学的方法論自体が二層構造化するかもしれません。

実際、「AIが発見→人間が解釈」の好例として、先述の数学のケースではAIがまず具体例から新しいパターン（予想）を提案し、それを人間数学者が証明しました⁶⁶⁶⁷。このような協調関係は「**帰納と演繹の分業**」とも言え、科学プロセスの新たな形です。もっとも、AIが高度化すれば証明までもAIがやり、人間は結果を承認するだけになる可能性もあります。そのとき科学的真理の担保をどう考えるか、議論が必要です。ある研究者は「もはや**全ての研究がデュアルユース**（軍民両用）であるように、全ての研究がAI依存になれば、人間の役割は価値判断だけになる」と指摘しました⁶⁸。すなわち、科学的方法はAIという新しい黒箱を内包し、人間は**メタサイエンス（科学を統治する科学）**に注力するよう転換する可能性があります。

知識観への挑戦：発見と発明の境界

哲学者カール・ポパーは科学上の知識は**人間精神の創造物（発明）**だと言いましたが、AIの知識生成は人間由来と言えるのか疑問です。AIが生み出した解や法則が人間の理解を超える場合、それは「誰の知識か？」というアイデンティティの問題が出てきます。Kitano教授は2016年に「**ノーベルチューリングチャレンジ**」を提唱し、「2050年までにノーベル賞級の発見を自律的に行うAIを作ろう」と呼びかけました⁶⁹。もしそれが実現しAIが受賞に値する発見をしたとき、その荣誉や知的貢献の意義を人間社会はどう位置づけるのか、という点も哲学的問題です。発見とは誰のものなのか、知識とは何をもって共有財産となるのか、AI時代には再定義が迫られるでしょう。

さらに、AIの出力する知識は確率的・経験的なものであることが多く、演繹的な確実性とは異なります。「**この薬はなぜ効くか分からないがAIモデルは有効だと言うから投与する**」という状況は、科学と言うより職人芸や経験則に近いかもしれません。これは科学の**再魔術化**と見る向きもあります。科学革命以降培われた合理的説明と予測のフレームワークが、AIの直観（計算の塊）によって再びブラックボックス化するなら、それは科学観の揺り戻しです。もちろん、こうした懸念に対し「AIにも説明させれば良い」という動きもあります。XAI（説明可能AI）技術の進展で、ディープラーニング内部のどの部分が結果に寄与したか可視化する研究が盛んです⁷⁰。医療AIの例では、AI診断の根拠をハイライト表示する技術が開発され、ブラックボックス性を緩和しつつあります⁷⁰。しかし根本原理まで解き明かせるとは限りません。**AIによる科学知識が本質的に「なぜ」を欠いたまま蓄積する事態**も考えられ、その場合に人間の知はどう体系化されるのか、哲学的探求が必要とされています。

倫理・社会への問いかけ

哲学的視点からは、**AIが科学する世界は人間観・倫理観にも影響**します。人間の知性を謳歌してきた啓蒙主義的価値観は揺らぎ、「理解できぬものに頼ることへの不安」「人間の存在意義の再考」といった問題が提起されます。たとえば、「AI科学者がいるなら人間科学者はいらないのか？」という疑問は倫理や心理の問題でもあります。人間は自分が理解できないメカニズムに命を預けられるのか（医療でAIが発見した治療を盲信できるか）、社会は誰も分からない理論に基づいて構築された技術（例えばAI設計のインフラ）が蔓延することを許容できるのか。これらは**市民的理解（CSR）**の問題とも関わります。科学哲学者の中には「理解なき科学は民主主義を損なう」と懸念する声もあります。すなわち、一握りのAI専門家しか分からない技術に社会が依存すると、意思決定が不透明になり、市民の科学リテラシーが追いつかずに説明責任が果たせなくなる恐れです。こうした背景から、欧州を中心に「**人間中心のAI**」を標榜し、AIには人間が常に介在し説明可能性を確保すべきとの倫理規範づくりが進んでいます。

以上のように、AIがもたらす科学的発見のパラダイム転換は、科学哲学・認識論・倫理学に深い問いを投げかけています。**科学の目的をどこに置くのか（理解か成果か）、知識とは何か（人間固有か普遍的か）、人間の役割は何か（主人公か監督か）**といった問題です。これらへの答えはまだ定まっておらず、今後実際にAIがさらなる成果を出す中で、科学コミュニティと哲学コミュニティが対話しながら模索していく必要があるでしょう。

5. AI駆動科学に伴うリスク・倫理的懸念

AIの科学研究活用は大きな可能性を秘める一方、**リスクや倫理的懸念**も指摘されています。ここでは主な論点を整理します。

- ・**科学者の雇用・役割への影響**：AIが研究業務を代替することで、人間科学者の需要が減るのではとの懸念があります。特にルーチンワークはAI/ロボットに置き換わり、人間は失業するのではないという不安です。しかし多くの専門家は、**人間の役割が消えるのではなく変化すると予想**しています⁶⁰。単純作業から解放された研究者は、より創造的・戦略的なタスク（問題設定、結果の統合解釈など）に専念できるようになるという見方です^{60 61}。実際、中外製薬のロボット創薬導入では人

員削減ではなく、研究者をデータ解析や新仮説立案に振り向けています⁵³。とはいえ、若手研究者の訓練機会（雑務から学ぶ場）が減る問題、AI偏重で**人間の直感的センスが育たない懸念**もあります。このため教育現場では、AIリテラシーと同時に**人間にしかできない創造力**を涵養する指導が模索されています。

- **AI発見技術の悪用リスク**：前項でも触れたように、AIが強力になるほど**デュアルユース（二重利用）**の問題が深刻化します。創薬AIが毒物設計に使われる、生物AIがバイオテロ開発に使われる、材料AIが兵器材料開発に使われる、といった可能性です。実際に2022年の国際安全保障会議では、AI創薬ソフトを反転利用し化学兵器候補を多数生成する実験が報告され、大きな衝撃を与えました³³。このため、AIツール開発者には**安全策（ガードレール）**を組み込むことや、利用者の事前審査が求められるという議論があります⁷¹。さらに、AIが予期せぬ危険な実験提案をするリスクも指摘されます。例えば「高効率な病原菌培養法」をAIが編み出してしまうなど、人類に脅威となる科学知識を生み出す可能性があります。これに対しては、**AIの目的関数に倫理制約を入れる**、危険な結果が出そうな場合は人間のレビューを必須にする、といった措置が考えられます。いずれにせよ、**AIの高度利用には常に悪用リスクが伴う**ことを念頭に置き、政策的・技術的なセーフガードが不可欠です。
- **AIのバイアスと不公平**：AIは学習データに依存するため、偏ったデータからは偏った発見しかできません。科学分野でもこの懸念があります。例えば医学論文データの多くが欧米男性を対象にしていれば、AIはその範囲でのみ最適化され、他集団への一般性を欠く治療法を推奨するかもしれません。材料探索でも、既存データが探索された領域に集中していれば、AIは未踏領域の材料を見逃す可能性があります。**過去のバイアスを未来に踏襲する**恐れがあるのです。これに対し、できるだけ多様で網羅的なデータセットを用意する努力や、バイアス検出アルゴリズムを組み込む研究が進められています。また、人文社会系では価値観の違いも問題になります。AIが提示する発見や解決策が文化的・倫理的に受け入れられないこともあるでしょう。**AIには社会的文脈を読む力が欠ける**ため、純粋に技術的な最適解が人類にとって不適切な場合も起こりえます。このギャップを埋めるには、人間の倫理的判断とのハイブリッドな体制が必要です⁷²。
- **ブラックボックス性と説明責任**：AIが導いた科学的結論に対し、「なぜそう言えるのか」を説明できない問題は深刻です。特に医療や政策決定に関わる科学では、説明責任（Accountability）が問われます。例えばAIが「この化合物は有効」と出力しても、その機序説明が無いと当局の承認プロセスで困難が生じます。また裁判で証拠として使うにもブラックボックスな予測は認められません。科学コミュニティ内でも、**理解できない知見をどこまで信用するか**の議論があります。これに対応するため、前述のXAIの取り組みのほか、**二段階検証**（AI発見→人間が別手法で再現）などの提案もあります⁷³。さらに、AIが計算上のバグや未知の欠陥で誤った結論を出すリスクもゼロではありません。人間なら論文査読等で不自然さに気付くかもしれないところ、AI同士で完結すると誤りがスルーされる可能性があります。したがって、**検証プロセスの透明性と人間の介在ポイント**を制度設計することが重要です⁵³。例として、ある学術誌では「AIが生成した画像やデータは、その事実を明示し、元データやコードを公開すること」を新たな投稿規定に加えました。こうした自主ルール策定も広がっています。
- **その他の懸念**：そのほか、AI駆動科学が促進する**研究スピードの加速**に人間側がついていけるかという問題もあります。AIが次々と論文を書き実験をこなす状況で、人間研究者がすべてを読み切れず消化不良になる恐れです。知の消費が追いつかず宝の持ち腐れになるかもしれません。あるいは、AI発の誤情報や疑似科学が出回る危険もあります。特にオープンサイエンス環境では玉石混交のアウトプットが増えるため、真偽の判定コストが上がるでしょう。このような**知的生態系への影響**も長期的には検討が必要です。

以上、AI駆動科学に内在するリスクと倫理的懸念を述べました。これらに対処するため、各国政府や研究コミュニティはガイドライン整備や対策技術の開発に乗り出しています。次章では、日本および世界の政策動向を具体的に見てみます。

6. 日本および世界におけるAI駆動科学推進の政策・イニシアティブ

AIによる科学研究の可能性に注目し、各国政府や研究機関は積極的な支援策を打ち出しています。ここでは日本国内の取り組みと海外の主な動向を整理し、現状と課題を明らかにします。

日本の戦略と現状

日本では近年「AI for Science」（科学のためのAI）推進が政策課題として浮上しています。文部科学省の令和6年版科学技術・イノベーション白書でも「AIによる科学研究の変革」が大きく取り上げられました⁷⁴。具体的な取り組みをいくつか挙げます。

- ・**国家プロジェクト・目標の設定**：2016年にソニーCSLの北野宏明所長が提唱した**Nobel Turing Challenge**（前述）をきっかけに、国としても野心的目標を掲げています。内閣府のムーンショット型研究開発制度では、**目標1**「2050年までに人が身体・脳・空間・時間の制約から解放された社会を実現」や、**目標3**「2050年までにAIとロボットの共進化による人と共生するロボット実現」が設定され⁷⁵⁷⁶、これらは科学研究領域にも適用される目標です。特に目標3では先述の東大や早稲田大のプロジェクトが採択され、**2050年にAIロボット科学者が原理発見をするビジョン**が描かれています⁵⁷⁷⁷。これは政府が**長期的ロードマップ**としてAI科学者の実現を明示したものです。
- ・**研究開発拠点の整備**：2024年4月、理化学研究所において**科学研究向けAI基盤モデル開発・共用プロジェクト（通称：TRIP-AGIScience）**が始動しました⁷⁸。これは特定分野に特化した大型AIモデル（いわゆるファウンデーションモデル）を開発し、研究コミュニティで共用する試みです。生命科学、材料科学など各分野の専門知識を組み込んだAIを国主導で構築し、研究者が使えるようにすることで、日本発のAI科学プラットフォームを築く狙いがあります。また、理研と米アルゴンヌ国立研究所が**AI for Science協力のMOU**を締結するなど、日米連携による研究開発体制の強化も進めています⁷⁹。さらに東京工業大学・物質材研などは自前の自動化実験設備やロボット研究設備を整備し、異分野融合の拠点形成に乗り出しています。
- ・**計算インフラ投資（GPUクラスター等）**：AI研究には大量の計算資源が必要なため、日本政府もスパコン・クラウド基盤への投資を拡大しています。経産省（METI）は**次世代スーパーコンピュータ開発**に向けて2023年度に725億円を投じ、SaaS企業のさくらインターネット社など5社に対し計1 exaFLOPS級のAI計算機構築を委託しました⁸⁰。最大のは北海道苫小牧に建設中のデータセンターで、NVIDIAの最新GPU1万台超・13.7エクサフロップスの性能を持つ世界トップクラスのAIスーパーコンピュータになる予定です⁸¹。また理研の「富岳」後継機開発も進行中で、AI計算への最適化が図られています。文科省系では、産総研のAI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI)が2018年から稼働し、産学のAI研究にクラウドGPUを提供しています。これら大規模計算インフラは、AlphaFoldのような大モデル運用やシミュレーション高速化に寄与しています²²。一方で課題として、**欧米中に比べ投資規模が小さい**ことが挙げられます。中国・米国は国家プロジェクト級でAI/HPCインフラに数千億円単位を投入しており、日本の10兆円投資計画⁸²は民間含めた総和とはいえ見劣りするという指摘もあります。今後どこまで継続的に予算投入できるかが勝負です。
- ・**自動化ラボ・データ基盤の推進**：日本企業も創薬を中心にラボ自動化を導入しています。先述の中外製薬以外に、塩野義製薬やアステラス製薬もロボティック創薬設備に投資中です。また大学では、東大・理研・産総研などが連携して**NII Research Data Cloud**という全国の研究データ基盤を構築し、分野横断でデータを共有・活用する仕組み作りを進めています⁸³。データ駆動科学には質の高いデータ共有が不可欠であるため、オープンサイエンスの推進（ただし個人情報・機密への配慮と両立）が課題となっています⁸⁴。また暗号化データのままAI解析できる秘密計算技術をNIIとNTTが共同開発するなど⁸⁵、データ利活用とプライバシー保護の両立にも取り組んでいます。

- ・**人材育成とガバナンス**：政府のAI戦略には人材育成が含まれ、理数系の大学院生にAIスキルを必修化する動きがあります。また**AI技術の社会実装におけるガバナンス**として、2025年に「生成AI開発指針」や「研究におけるAI利用指針」策定が議論されています⁸⁶。例えば学協会ごとに論文投稿時のAI利用ルール（利用を明記、データねつ造防止策など）を作成するなどの取り組みです⁴⁵。倫理面では内閣府が「AI原則」（人間中心、プライバシー重視、安全確保など）を掲げていますが、研究現場での具体策は模索段階です。総じて日本は、**欧米に比べ動きは遅れていたものの2023年前後から本腰を入れ始めた**という状況です⁸⁷。中国・米国の論文数に大きく水をあけられているとの分析もあり（AI応用論文数：化学材料分野で中国約2.5万、本邦約2483、生命医科学で中国約2.6万、本邦約3439⁸⁷）、巻き返しに向けた投資と制度整備が課題となっています。

世界の主な動向

海外では米中欧を中心に、AI駆動科学への取り組みが先行しています。

- ・**米国**：AI for Scienceは米政府の研究開発計画に組み込まれています。とりわけエネルギー省(DOE)は各国立研究所にAI活用を推進させており、例えばアルゴンヌ研究所ではAIを使った材料探索や加速器物理シミュレーションが活発です。2023年10月には全米科学・工学・医学アカデミーが「**科学的発見のためのAI**」国際ワークショップを開催し、世界の有識者が最新事例と課題を討議しました⁸⁸。米国防高等研究計画局(DARPA)も「Automated Scientific Discovery」等のプログラムでAIロボット科学者の試作を支援しています。また民間ではGoogle DeepMindやMicrosoft、IBMなどが自社のAI技術を科学領域に適用する研究を推進中で、DeepMindはAlphaFold/AlphaEvolve、IBMは材料発見AI（Project MoLや化学反応予測AI）などに注力しています。**計算インフラ**では、米国は世界最速級スパコンをAI研究に供用し、商用クラウド（AWS、Azure等）も科学向けにGPUリソースを提供しています。特にHPCとAIを組み合わせた**ExaScale AI**計画が進んでおり、オークリッジ研の「Frontier」やアルゴンヌ研の「Aurora」といったエクサ級スパコンでAIモデルを大規模訓練する試みが始まっています。さらに政府は**NAIRR（National AI Research Resource）**構想を掲げ、大学や中小機関でもアクセス可能なAI研究クラウド環境を整備しようとしています。政策面ではEUほど規制せずイノベーション優先ですが、NIHやFDAは医療AIの検証に関するガイドラインを出すなど、**分野別のガバナンス整備**が進行中です。
- ・**中国**：中国は国家主導でAI研究を加速しています。習近平指導部は「新一代人工知能発展計画」で2030年までにAI分野で世界トップになる目標を掲げており、科学研究へのAI応用も重視されています。実際、AI関連の科学論文数で中国は世界一となっており、材料科学・生命科学におけるAI活用論文も中国がトップシェアです⁸⁷。**計算インフラ**では天河・神威などの国産スパコンをAI用途に振り向け、独自GPU開発や量子計算への投資も強化しています。また百度・TencentなどIT企業が医療AI、新素材AIの国家プロジェクトに参画しています。具体例として、2020年に百度がAlphaFoldに対抗するタンパク質構造予測AI「RaptorX」を開発し、その後のCASP大会で上位に入賞しました。さらに、国営製薬企業がAI駆動ドラッグデザインセンターを設立し、数件のAI創薬候補が臨床試験段階に進んでいます。中国の強みは、政府のデータ統合力と大胆な実証実験です。例えば深圳では**自動実験工場**を作り、AIとロボットで年間数万件の化学反応試行を行うプロジェクトがあると言われます。しかし情報統制が厳しく詳細が国外に伝わりにくい面もあります。倫理・規制面では2022年に「生成AI管理暫定条例」が施行され、AIの内容統制を図っていますが、科学用途には比較的緩やかです。国際競争上、中国がAI駆動科学で主導権を握ることへの警戒から、米欧日は情報共有や共同研究を進める動きがあります。
- ・**欧州連合（EU）**：EUはAI規制で世界をリードしていますが、科学へのAI活用には推進的です。2023年6月にOECDが「AI in Science: Challenges, Opportunities, and the Future of Research」という報告書を公表し⁸⁹、各国に政策提言を行いました。EUもそれを受けて同年12月に調査分析報告書をまとめ、研究データ共有インフラの整備や、人材育成、倫理指針策定を加盟国に促しています⁸⁸。具体策としては、**European Open Science Cloud (EOSC)**内にAIツールを統合し研究者が利用できるようにしたり、EuroHPCのスパコンをAI訓練用に提供するなどがあります。またERC（欧州研究評議

会)がAIと科学の交差領域のグラントを増やしており、学際プロジェクトが多数採択されています。英国もEU離脱後独自に、政府主導AI研究所「ARIA」を設立し高リスクハイリターンのAI科学プロジェクトに資金を出す予定です。**自動化ラボ**については、スイスのEPFLや英国ケンブリッジ大学が有名で、前者は材料合成ロボット「Alchemy」、後者はロボット科学者「Adam」「Eve」を開発しました。Adamは酵母の遺伝子機能を自動発見した初のロボット科学者として2009年に報告され、Eveはマラリア薬のスクリーニングに成功しています。欧州ではこの流れを引き継ぎ、2020年代もロボティクス+AIの科学オートメーション研究が続いています。課題として、EUは各国ばらばらの取組になりがちで、アメリカや中国のような大きな一枚岩プロジェクトが少ない点が挙げられます。そこでERCや欧州委員会がハブとなりネットワーク形成を図っています。

- **その他の国際連携**：科学はグローバル活動のため、AI駆動科学でも国際連携が活発です。例えばタンパク質構造データは全世界で共有されAlphaFold DBに蓄積されていますし、材料のデータもMaterials ProjectなどオープンDBが国境を超えて使われています。国際会議も増えており、2024年には「AI for Accelerating Science Summit」が開催予定で世界中の研究者・政策立案者が集います。また学術誌Natureは2023年に**Nature Computational Science**増刊号でAI科学特集を組み、最新成果を広く紹介しました。これらは情報共有・議論の場として重要です。今後、AIが絡む科学大プロジェクト（たとえば気候変動予測AI、次世代粒子加速器でのデータ解析AIなど）は、一国ではなく複数国の共同出資で行われるでしょう。その際、政策の違いやデータ主権の問題をどう調整するかが課題となります。

推進における課題

世界的な流れとして、「**AIなしでは科学競争に勝てない**」との認識が広まりつつあります。しかし同時に各国共通の課題も存在します。

- **人材不足**：AI×サイエンスという学際領域の人材は慢性的に不足しています。AIの専門家と各科学分野の専門家がうまくコラボレーションできる環境作り、また次世代の学生に両方のスキルを教育するカリキュラム開発が必要です。日本でもAI人材育成は遅れが指摘されており、大学改革やリスクイング投資が求められます⁸⁷。
- **資金・インフラ格差**：計算リソースや自動化設備は資金力のある国・機関に集中しがちです。途上国や小規模大学ではアクセスできず**格差が広がる**懸念があります⁹⁰。これを是正するには、クラウド提供や国際援助、オープンソース化などが考えられます。
- **データ共有と規制調和**：各国でデータ保護法制が違うため、研究データの国際共有に障壁があります。また、AI規制（例えばEUのAI法案）と科学研究の自由とのバランスも難しい問題です。AI法案では研究利用はある程度除外されていますが、商用展開時に研究成果物が規制対象になる可能性もあります。グローバルに整合性を取る努力が必要です。
- **評価制度**：AI駆動科学では成果の形が多様になります（データセット公開、モデル公開、発見の特許化など）。従来の論文主義だけでは研究者の貢献評価が難しくなりつつあります。例えば「あるAIモデルの訓練に莫大な計算資源を使い新発見を得た」が、それを論文にまとめるころには別の人に先を越された、という場合に誰に功績を認めるか。評価制度のアップデートも課題です。

以上、日本と世界の政策・取り組みを見てきました。**日本は出遅れを取り戻すべく官民で投資と制度整備を進めている段階であり、世界的にもAI駆動科学は重要テーマとして共有され始めた**と言えます。ただし人材・資源・倫理など横断的課題が多く、引き続き各方面の協力と議論が求められています。

7. AI時代の科学研究の未来：総合考察と人間科学者の役割

最後に、これまでの調査結果を統合し、AIが当たり前に行う時代の研究の姿を展望します。また、その中で人間科学者はいかなる役割を果たし、どんなスキルが求められるのかを論じます。

科学研究の未来像：人間とAIの協働による加速と変容

調査全体から浮かび上がったのは、**科学研究のプロセス全般にAIが浸透し、研究速度と規模が飛躍的に拡大する未来**です。AIはデータ収集から仮説生成、実験・検証までシームレスに関与し、昼夜を問わず稼働する「常時アクティブな研究者」が増えることになります^{14 91}。その結果、これまで数年かかっていた発見が数日の計算や実験で達成され、研究サイクルが圧縮されます^{92 38}。また、複数領域の知識を組み合わせるマルチディシプリンの発見もAIの網羅探索によって増えるでしょう。例えば、AIが化学データと医学データを横断解析して新たな疾患メカニズムを見出す、といった具合です。**サイロ化していた科学分野がデータで繋がり統合される可能性**もあります。

一方で、**研究の質や在り方も変わる**と予想されます。AIが仮説生成を担うことで、人間はその仮説の意味づけや広い文脈での解釈に注力するようになるでしょう⁶⁰。例えば、AIが100個の有望な化合物を提案したら、人間研究者はそれらに共通する科学原理を見出したり、社会的価値の高い方向へ優先順位をつけたりします。つまり、**AIが探した点と点を、人間が繋いで絵（理論）にする**役割です。この協働関係によって、新理論の構築スピードも上がるかもしれません。ただし、AI発の発見は必ずしも人間に直感的ではないため、理論化には創造的発想が求められます。ここが人間の腕の見せ所となるでしょう。

未来像としては、「**AIと人間のハイブリッドな科学チーム**」が標準になると考えられます。一つのプロジェクトに人間研究者とAIエージェントがメンバーとして名を連ね、それぞれが得意なタスクをこなして成果を出すイメージです。論文の著者欄にAIが含まれることも増えるかもしれません（既にAlphaFold論文では著者としてAlphaFold Teamと記載⁹³）。また、AI同士が大量の予備研究をこなし、その上澄みの重要結果だけ人間が詳しく検討するというワークフローも考えられます。**研究の自律化・自動化が進めば進むほど、人間はアウトプットの要約と意思決定にフォーカスするようになるでしょう**⁶⁰。例えば製薬企業では、AIが数万の化合物合成・試験を自律的に行い、人間は候補化合物上位10種の中から治験戦略を立てる、といった形です。このように、研究現場は今より遥かに**データ駆動・高速回転型**となり、人間はその流れを監督し価値判断を下す司令塔となる未来が見えてきます。

人間科学者の役割の変化

上記の未来では、人間科学者は「**計算機に向き合う職人**」から「**AIと対話する監督**」へ役割がシフトすると言えます⁶⁰。いくつかキーワードでその変化をまとめます。

- ・**創造性と直観の源泉**：AIは既存データのパターンから発見しますが、全く未知の問いを発するのはまだ不得手です。人間科学者は、自らの経験や直感を基に「どのような問いをAIに与えるか」を考える**ディレクター**の役割を担うでしょう⁶¹。また、AIが出した結果を「ひらめき」として捉え、それを発展させる創造的思考も人間の役割です。簡単に言えば、**AIがレンガを積んで壁を作ったとして、人間はそこに窓や扉をデザインする**イメージです。
- ・**批判的思考と倫理判断**：AIの提案に対し、妥当性を吟味しリスクを評価するのは人間の責務となります。科学的方法において懐疑主義や反証可能性を確保するため、**AIの導いた仮説を批判的に検討する**目を養う必要があります。また、倫理的に許容できない方向（例えば極端な動物実験や環境への負荷が大きい実験）をAIが計画したら、それを止める判断も人間科学者が行わねばなりません。**AI時代の科学者は技術者であると同時に倫理監督者でもあるのです**⁷¹。

- **コミュニケーションと橋渡し**：科学者はAIと適切に意思疎通するスキルが求められます。プロンプトエンジニアリング（AIにうまく問いかけて望む答えを引き出す技術）や、AIの出力を分かりやすく人間社会に説明するプレゼン能力が重要になります。特に後者は、市民や政策決定者にAI発の科学的知見を伝える際に不可欠です。人間科学者は「**AI結果の翻訳者**」として、ブラックボックスな成果を人間の言葉・価値観に落とし込む役割を果たすでしょう。これは科学コミュニケーターとしての役割強化とも言えます。
- **継続学習とスキル転換**：AI技術や科学知見は高速でアップデートされるため、科学者は生涯にわたり学習し続ける必要があります。従来の専門知識に加え、AI/データサイエンスの知見をキャッチアップすること、さらには他分野の情報も横断的に理解することが求められます。**学際的な視野**が広い人ほどAIを使いこなしやすいため、研究者のキャリアも一専門に特化より複数分野経験がある方が強みになる可能性があります。大学や企業も、研究者に定期的なリスキリング機会を提供することが増えるでしょう。
- **共同進化する相棒**：人間科学者はAIを単なる道具ではなく**パートナー**と捉えるマインドセットが重要になります⁵⁷。AIの提案を尊重しつつ、自分の知恵も融合させていく共創の姿勢です。例えば囲碁AIがプロ棋士に新手を教え、棋士がそれを深化させるように、科学でもAIが斬新な仮説を出し科学者がそれを検証して理論化し…という**共進化**が理想です⁵⁷。そのためには互いの長所短所を理解し役割分担を調整することが大事で、人間側にとっては「過度にAIに依存しない」「かといって拒絶もしない」バランス感覚が鍵となります。

新たに求められるスキルと教育

上記役割を踏まえると、**未来の科学者像**には以下のようなスキルセットが求められるでしょう。

- **データリテラシー・AIリテラシー**：膨大なデータを扱い、適切なAI手法を選択・適用するスキル。統計学や機械学習の基礎知識、プログラミング能力が必須となります。少なくともAIと対話できる程度の知識（例えば「このモデルは過学習しているのでは？」と指摘できる程度）は全科学者が身につける必要があるでしょう。
- **プロンプト設計力**：生成AI時代には、AIへの問いの立て方が結果を左右します。自分の研究課題を的確にAIに説明し、有用なアウトプットを引き出す**コミュニケーション力**が重要です。これは単に技術というよりクリエイティビティや文章力も関わる複合スキルです。
- **批判的思考と検証能力**：AIの出力をうのみにせず検証する力。実験計画やデータ分析の妥当性をチェックする伝統的な科学的思考は、むしろ以前にも増して大切になります。AIが提示した仮説の**代替説明**や**反例**を考え、人間ならではの観点で検証する訓練が求められます。
- **学際知識・統合力**：AIが多領域のデータを扱うようになると、研究者も自分の専門外の知識をキャッチアップしなければなりません。異なる分野の専門家やAI開発者と協働する機会も増えるため、幅広い科学素養と言語（専門用語）の理解が必要です。それぞれの分野の概念を**高い抽象度で捉え統合する力**が、AIのマルチモーダルな発見を解釈する際に役立ちます。
- **倫理・社会意識**：科学者には以前から研究倫理や安全への責任がありましたが、AI時代にはさらに**テクノロジーと社会の相互作用**を理解する能力が求められます。自分の扱うAIが社会に何をもたらすか俯瞰する力、研究を一般社会に説明しリスクコミュニケーションする力が重要です。また、研究不正（データ改ざん等）をAIが巧妙に行うリスクもあるため、それを検知する目を養うことも必要でしょう。

教育面では、大学院レベルで「AI時代の科学方法論」のような新規科目が必要かもしれません。そこではAIツールの使い方だけでなく、AIと協働する上での倫理や哲学も教えると理想的です。例えば、実験ロボットの扱い方や、AI発見を特許出願する際の注意点、人間とAIの責任分担なども教育に盛り込むべきでしょう。また、中等教育からデータサイエンス教育を充実させ、裾野を広げることも各国で始まっています。

結論：人間とAIの共創が拓く科学の新天地

総合すると、AIによる科学研究の未来は、人間とAIの共創によってこれまで不可能だった問題が次々と解決される希望に満ちた世界です。難病の治療法やクリーンエネルギー素材の発見、宇宙・深海の未知解明など、人類の長年の夢がAIの力で早期に実現するかもしれません。科学の生産性と創造性は飛躍的に向上し⁶¹、社会課題解決のスピードも上がるでしょう。同時に、人間科学者の役割は量から質へと転換し、**より高度で本質的な問いを考える存在**として輝くことが期待されます⁶¹。AI時代においても、人間の好奇心・探究心は依然として科学の原動力であり続けます。AIはそれを増幅するエンジンであり、人間はハンドルを握るドライバーです。互いの強みを活かし弱みを補完し合うことで、科学というフロンティアはこれからも無限に拡大していくでしょう。

最後に、安野氏の動画タイトルになぞらえて言えば、「科学者がいない時代」は来ないかもしれません。むしろ**AIという新たな相棒を得た科学者はこれまで以上に重要な存在**となり、その知性はAIとの融合を通じて次のステージへ進化していくのではないのでしょうか。人間とAIの協調進化が生み出す未来の科学に大いに期待したいと思います。

参考文献・情報源：

1. 安野貴博, 「科学者がいない時代が来る？AIが“理解を超える”世界へ」 (YouTube動画書き起こし)
1 2 5 9 14 11 16 17
2. DeepMindブログ, “AlphaFold 3 predicts the structure and interactions of all of life’s molecules”, 2024 18 19
3. DeepMindブログ, “AlphaEvolve: A Gemini-powered coding agent for designing advanced algorithms”, 2025 7 8 23 24
4. The Scientist, “An AI-Powered Scientist Proposes a Treatment for Blindness”, 2025 28 29 31
5. DeepMindブログ, “Millions of new materials discovered with deep learning”, 2023 34 35 36
6. ScienceDaily, “This AI-powered lab runs itself — and discovers new materials 10x faster”, 2025 37 38 39 40
7. Google Research Blog, “AI as a research partner: Advancing theoretical computer science with AlphaEvolve”, 2025 42 43
8. Nature Reviews Physics, “On scientific understanding with artificial intelligence”, 2022 49
9. Noema Magazine, “Why AI Is A Philosophical Rupture”, 2023 64 65 63
10. 文部科学省 科学技術・イノベーション白書, 令和6年版, 第4章「AIの多様な研究分野での活用」より
74 89 87 78

11. ポリコミュ（note解説記事），「AI科学研究/AlphaFold衝撃/自律研究ロボット/...（令和6年白書より）」，2025 51 55 53 60 61

12. Introlブログ，“Japan's \$135B AI Revolution: Quantum + GPU Infrastructure”，2025 80 81

13. Nature Machine Intelligence (Comment), “Dual use of artificial-intelligence-powered drug discovery”，2022 33

（その他、本文中に引用したもの以外の出典も含め、AI駆動科学に関する各種レポート・論文・ニュース記事を参照しました）

1 2 3 4 5 9 10 11 12 13 14 15 16 17 44 50 科学者がいない時代が来る？AIが“理解を超える”世界へ | 安野貴博の未来予測 - YouTube.docx

file:///file_00000000874062069a5392f10c7d054b

6 7 8 23 24 25 26 27 48 AlphaEvolve: A Gemini-powered coding agent for designing advanced algorithms - Google DeepMind

<https://deepmind.google/discover/blog/alphaevolve-a-gemini-powered-coding-agent-for-designing-advanced-algorithms/>

18 19 20 93 Google DeepMind and Isomorphic Labs introduce AlphaFold 3 AI model

<https://blog.google/technology/ai/google-deepmind-isomorphic-alphafold-3-ai-model/>

21 22 45 46 47 51 52 53 54 55 59 60 61 69 70 73 74 78 79 83 84 85 86 87 88 89 【文部科学省の政策を深掘】AI科学研究/AlphaFold衝撃/自律研究ロボット/科学AI倫理/オープンサイエンス/研究DX戦略【令和6年版 科学技術・イノベーション白書より】 | 【ポリコミュ！】政治の歴史・今を面白く

https://note.com/poli_commu/n/ncafdb10cd817

28 29 30 31 32 An AI-Powered Scientist Proposes a Treatment for Blindness | The Scientist

<https://www.the-scientist.com/an-ai-powered-scientist-proposes-a-treatment-for-blindness-73079>

33 Dual use of artificial-intelligence-powered drug discovery | Nature Machine Intelligence

https://www.nature.com/articles/s42256-022-00465-9?error=cookies_not_supported&code=88de3711-fe5b-4154-be1d-ad5a1e25b1ae

34 35 36 Millions of new materials discovered with deep learning - Google DeepMind

<https://deepmind.google/discover/blog/millions-of-new-materials-discovered-with-deep-learning/>

37 38 39 40 91 92 This AI-powered lab runs itself—and discovers new materials 10x faster | ScienceDaily

<https://www.sciencedaily.com/releases/2025/07/250714052105.htm>

41 49 62 On scientific understanding with artificial intelligence | Nature Reviews Physics

https://www.nature.com/articles/s42254-022-00518-3?error=cookies_not_supported&code=e24a5d11-72b8-49e4-8075-9f48c311b0fe

42 43 66 67 AI as a research partner: Advancing theoretical computer science with AlphaEvolve

<https://research.google/blog/ai-as-a-research-partner-advancing-theoretical-computer-science-with-alphaevolve/>

56 57 58 77 人とAIロボットの創造的共進化によるサイエンス開拓 | 東京大学

https://www.u-tokyo.ac.jp/adm/uci/ja/projects/ai/project_00005.html

63 64 65 Why AI Is A Philosophical Rupture

<https://www.noemamag.com/why-ai-is-a-philosophical-rupture/>

68 Dual use of artificial-intelligence-powered drug discovery - Nature

<https://www.nature.com/articles/s42256-022-00465-9>

71 72 Researchers Warn AI for Drug Discovery Could Make Biochemical ...

<https://techpolicy.press/researchers-warn-ai-for-drug-discovery-could-make-biochemical-weapons>

75 ムーンショット目標1 2050年までに、人が身体、脳、空間 - 内閣府

<https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/sub1.html>

76 目標3 自ら学習・行動し人と共生するロボット | プログラム紹介

<https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal3/index.html>

80 81 82 Japan's \$135B AI Revolution: Quantum Computing Meets GPUs — Introl

<https://introl.com/blog/japan-ai-infrastructure-135-billion-investment-2025>

90 Poison of the Month - Toxicology | ScienceDirect.com by Elsevier

<https://www.sciencedirect.com/journal/toxicology/about/poison-of-the-month/misuse-of-ai-and-computational-chemistry-to-develop-new-chemical-weapons-a-rapidly-growing-threat>