OpenAI「学術界と連携して科学的知見を構築する」に関する包括的調査報告：AI主導の科学的発見と学術ガバナンスの地殻変動

Gemini 4 Argon

1. エグゼクティブ・サマリーと歴史的文脈：2026 年秋の「マソカリプス」と学術界の衝突

2026 年 10 月 26 日、OpenAI は「Working with academic communities to build scientific understanding（学術界と連携して科学的知見を構築する）」と題する研究発表を公開した。この発表は、同社の内部フロンティア AI モデルが、数学（調和解析における局所平滑化予想と掛谷予想の全次元解決）、コンピュータサイエンス（計算複雑性理論における指数時間仮説［ETH］の反証）、および理論・数理物理学（4 次元における純粋ヤン・ミルズ理論、量子色力学［QCD］、および標準模型の統一的完成形の数学的に厳密な存在証明）という基礎科学の 3 大領域において、人類が数十年にわたり未解決であった歴史的難問を解決したと主張するものである。さらに同発表は、AI が生成した長大かつ複雑な証明をいかにして人類の「科学的理解（scientific understanding）」へと変換するかという問題に対し、外部の著名研究者を「シェパード（shepherd：案内人・世話役）」として委嘱し、分野ごとに異なる 3 つの公開戦略を実験的に導入するという新たな学術連携プロトコルを提示した。

この発表の真の意味と、それが引き起こした激しい賛否両論を理解するためには、2026 年 8 月から 10 月にかけて純粋数学および理論計算機科学のコミュニティを襲った未曾有の激震――計算機科学者のスコット・アーロンソンが「マソカリプス（Mathocalypse）」あるいは「マサカー（Mathacre：数学の大虐殺）」と呼んだ一連の出来事――の文脈に位置づける必要がある。

OpenAI は 2026 年 8 月 3 日に次期主力モデル「GPT-6 Astra」による未解決数学問題 10 件の解決を発表したのに続き、8 月 28 日には新たな内部モデルの学習を開始した。そして 9 月 8 日、同社は 1 万体の AI エージェントを 11 日間にわたり稼働させ、約 1,500 万ドルの計算コストを投じて 30,300 個の定理を形式化することで、クレイ数学研究所のミレニアム懸賞問題の一つである「ナビエ・ストークス方程式の解

の存在と滑らかさ」を解決（爆発解の構成）したと発表した。しかしこの発表は、先行研究を行っていたニューヨーク大学（NYU）の数学者からの優先権や引用の不備に関する抗議、古典的なミレニアム問題の定式化（外力なし）と AI が解いた設定（外力あり）の乖離、さらには自然言語の証明と形式検証言語「Lean」のコードとの間の不整合が指摘されるなど、学術界との間に深刻な摩擦を引き起こした。
この事態を受け、2026 年 9 月 11 日にはテレンス・タオ、ティモシー・ガワーズ、マルティン・ハイラーら 25 名のフィールズ賞受賞者が連名で公開宣言「A Severe Misalignment of AI in Mathematics（数学における AI の深刻な目的のずれ）」を発表し、公開からわずか 5 日間で 7,200 名以上の数学者の署名を集めた。同宣言は、AI 企業が未解決問題をモデルの性能誇示のための「ベンチマーク」として消費し、文脈の解説や先行研究への適切な帰属（クレジット）を欠いたまま「真／偽」の命題を大量生産して拙速に発表する行為は、数学という学問の土壌を破壊し、次世代の研究者育成と知識伝達の連鎖を断ち切るものであると強く警告した。
この批判に直面した OpenAI は、9 月 21 日にプリンストン高等研究所（IAS）を拠点とする独立組織「数学・人工知能諮問グループ（AGMAI：Advisory Group on Mathematics and Artificial Intelligence）」（ガワーズ、ハイラー、エドワード・ウィッテンら 9 名が初期メンバー）との連携を発表した。しかしその直後の 10 月 6 日、OpenAI は内部モデルが約 4,000 件の未解決問題に対して 1 問あたり平均約 3 時間の「GPT-Pro」レベルの計算資源を投じ、その約 10%にあたる約 370 件の「問題群（problem families）」を一挙に解決したとして、GitHub 上に大量の原稿と Lean コードを一括公開した。1960 年代以来の壁を破る $O(n \log^{0.9999999999999} n)$ での高速フーリエ変換（FFT）・整数乗算や、有理数体上のディオファントス方程式の決定不能性（ヒルベルトの第 10 問題の有理数版）、量子計算複雑性におけるユニタリ合成問題の解決など、本来であれば 1 つでもキャリアを決定づける成果が数百本も同時に放出されたことで、学術界は消化不良と深刻なアイデンティティの危機に陥った。
2026 年 10 月 26 日の「学術界と連携して科学的知見を構築する」は、まさにこの「10 月 6 日の大量一括公開」に対する学術界からの困惑と反発を受け、OpenAI が公開プロセスの軌道修正を図った実験的試みである。しかし皮肉なことに、OpenAI が導入した「シェパード制度」と物理学証明の非公開措置は、同社が助言を求めていたはずの AGMAI から即座に真正面から批判される結果となった。

2. 発表された 3 大科学的発見の技術的解剖と 3 つの公開実験

OpenAI は 10 月 26 日の発表において、社内モデルが生成した証明原稿を「完成された論文」ではなく「研究の生データ（raw research data）」と位置づけた。そして、こ

の生データを人類の科学的知見へと変換するため、数学・コンピュータサイエンス・物理学の 3 分野において、意図的に異なる 3 つの公開・検証アプローチを採用した。OpenAI が提示した外部連携の「4 つの原則」は、すべての共同研究の基盤として位置づけられている。第一に「透明性（Transparency）」として、参加者に秘密保持契約（NDA）への署名を求めず、中間成果物の共有や自由な議論・公表を保証する。第二に「学術的功績の不主張（No Academic Credit）」として、OpenAI は自社モデルが生み出した発見に対して学術的クレジットを要求せず、またシェパードとして招かれた研究者も最初の発見者とはみなされない。第三に「評価（Recognition）」として、ワーキンググループが構築した理解や執筆した解説論文・資料の功績は正当に評価され、同時に AI の証明が依拠した過去の人間による研究・手法・アイデアへの適切な引用を保証する。第四に「独立性（Independence）」として、参加は任意かつ無報酬であり、グループの見解は OpenAI から完全に独立した個人の結論とされる。さらに同社は、AI の成果を研究者が独自に検証・発展させるためのワークショップや会議の資金として、サイモンズ財団（Simons Foundation）への 500 万ドルの寄付（および同財団を通じた独立管理・配分）を表明している。
以下の表は、3 つの発見の技術的詳細と検証体制を整理したものである。

領域・対象問題	**核心的主張と技術的アプローチ**	**証明の規模・検証ステータス**	**採用された公開・検証戦略と主要関与者**
数学（調和解析） 局所平滑化予想・掛谷予想・スタインの制限予想	新規の補助偏微分方程式（PDE）を導入し、空間次元 $d \geq 2$ のすべてにおいてユークリッド波動方程式のソッゲの局所平滑化予想を証明。系として全次元の掛谷最大・次元予想およびスタインの球面制限予想を解決。	自然言語原稿：59 ページ（10 月 18 日生成） Lean 形式化：10 月 19 日完了（lean/docs/079.md）	**戦略 1（直接全面公開）**：外部シェパード組織を設けず、AI の自然言語出力と Lean 証明を GitHub（openai/math）に即時公開し、コミュニティの自律的検証に委ねる。

領域・対象問題	核心的主張と技術的アプローチ	証明の規模・検証ステータス	採用された公開・検証戦略と主要関与者
コンピュータサイエンス（計算複雑性理論） 指数時間仮説（ETH）の反証	固定幅 CNF 論理式の充足割当数を決定論的・多項式空間かつ準指数時間 $2^{O\left(n(\log\log n)^2/\sqrt{\log n}\right)}$ で厳密数え上げするアルゴリズム（#3-SAT）を構成し、ETH が偽であることを証明。	自然言語原稿：67 ページ（10 月 16 日生成） Lean 形式化：10 月 17 日完了（lean/docs/378.md）	**戦略 2（ハイブリッド型）**：ETH 提唱者の R. インパリアッツォ、R. パトゥリ（UCSD）および R. ウィリアムズ（MIT）がシェパードとなり検証グループを結成。要請に基づき全生データを GitHub に即時公開し、検証会議の開催費用を OpenAI が負担。
物理学（構成的場の量子論） 4 次元ヤン・ミルズ理論・量子色力学（QCD）・標準模	バラバンの繰り込み群アプローチを拡張し、4 次元時空における純粋ヤン・ミルズ理論、フェルミオンを含む QCD、および最も単純な大統一理論（GUT）の連続極限の数学的に厳密な存在を証明（閉じ込めと質量ギャップは未解決）。	自然言語原稿：1,147 ページ（9 月 9 日ヤン・ミルズ、9 月 18 日 QCD 生成） Lean 形式化：10 月 16 日完了（ヤン・ミルズのみ、範囲文書は非公開）	**戦略 3（非公開・委任型）**：D. グロス（座長）、A. ジャッフェ、M. ダグラス、I. クレバノフ、N. ネクラソフからなるシェパード委員会に資料を預託。委員会の判断により AI 出力と Lean コードの一般公開

領域・対象問題	核心的主張と技術的アプローチ	証明の規模・検証ステータス	採用された公開・検証戦略と主要関与者
型の完成形の存在証明			を見送り、定義の検証と独自論文の執筆を優先。

2.1 数学（調和解析）：局所平滑化予想と掛谷予想の全次元解決

調和解析における中心的な未解決問題であった「局所平滑化予想（Local Smoothing Conjecture）」は、1991 年にクリストファー・ソッゲ（Christopher Sogge）によって提唱された。この予想は、波動方程式に従う波が空間的に集束（focusing）する際のエネルギー集中現象を記述するものであり、「波の最も極端な集束は極めて短命でなければならず、時間平均をとった典型的な時刻における集束の度合いは、最悪の時刻（worst-case time）に起こり得る集束よりも常に著しく小さい」ことを主張する。この現象は解析学および幾何学的測度論の根幹に関わっており、局所平滑化予想が証明されれば、長年の難問である「掛谷予想（Kakeya Conjecture：ニードル問題に端を発する掛谷集合のハウスドルフ次元・ミンコフスキー次元に関する予想）」および「スタインの制限予想（Stein's Restriction Conjecture：フーリエ変換の球面への制限評価）」が自動的に導かれるという強力な包含関係（マスターキーとしての性質）を持っていた。

人間の数学者による進展としては、2019 年にラリー・グス（Larry Guth）、ホン・ワン（Hong Wang）、ルオシアン・ジャン（Ruixiang Zhang）が空間 2 次元における局所平滑化予想を証明し、2025 年にはホン・ワンとジョシュア・ザール（Joshua Zahl）が 3 次元における掛谷予想を解決していたが、一般の高次元における解決は依然として遠い目標と見なされていた。これに対し、OpenAI の内部モデルは 2026 年 10 月 18 日、「斬新な補助偏微分方程式（novel auxiliary partial differential equation）」を導入する手法によって、空間次元 2 以上のすべての次元（every spatial dimension at least two）においてユークリッド波動方程式の局所平滑化予想を証明する 59 ページの原稿を生成し、翌 10 月 19 日には Lean による形式化を完了させた。これにより、掛谷最大関数予想・掛谷次元予想、および予想範囲の内部全体にわたるスタインの球面制限評価が一挙に解決されたと主張されている。ソッゲの弟子でありロチェスター大学の調和解析研究者であるアレックス・イオセヴィッチ（Alex Iosevich）は、査読前であることを留保しつつも、この成果を「歴史的な進展（historic development）」と評している。

この数学的成果に対して OpenAI は、外部専門家に協業のあり方を相談した結果、10 月 6 日の数学リリースと同様に、特定のシェパード・グループを組織せず、AI が生成した自然言語の解説原稿と Lean 形式証明を GitHub リポジトリに直接公開する「戦略 1」を選択した。これは、後述する AGMAI のガイドライン（特定研究者への先行配布を行わず、コミュニティ全体の自律的な検証に委ねる方針）に部分的に適合する対応であったと分析される。

2.2 コンピュータサイエンス（計算複雑性理論）：指数時間仮説（ETH）の反証

3 つの発表の中で、理論計算機科学コミュニティに最大の衝撃を与えたのが「指数時間仮説（ETH：Exponential Time Hypothesis）は偽である」という 67 ページのプレプリントと Lean 証明の公開である。1999 年にラッセル・インパリアッツォ、ラマモハン・パトゥリ、フランシス・ゼインによって提唱された ETH は、ブール充足可能性問題（特に各節が最大 3 つのリテラルを持つ 3-SAT）の計算複雑性に関する基本仮説であり、「n 変数の 3-SAT を解くいかなる決定論的アルゴリズムも、最悪ケースにおいて $2^{\Omega(n)}$ 時間（すなわち真の指数時間）を要する」と予想していた。過去約 30 年間にわたり、ETH は「真である」と広く信じられ、グラフ理論、計算生物学、データベース、計算幾何学、パラメータ化計算量理論など数百本以上の論文において、「もし ETH が真ならば、問題 X はこれ以上高速化できない」という条件付き計算困難性（conditional computational hardness）の下界を導出するための土台として使われてきた。

OpenAI のモデルは 2026 年 10 月 16 日に ETH の自然言語による反証を発見し、翌 10 月 17 日に Lean での形式化（lean/docs/378.md）を完了した。なお、計算機科学ニュースサイトの報告によれば、OpenAI の発表の数日前に競合企業である Anthropic の内部モデルも独自に ETH を反証していたとされ、ナビエ・ストークス方程式に続くフロンティア AI 研究所間の熾烈な先陣争いが浮き彫りとなっている。

カーネギーメロン大学（CMU）の理論計算機科学者ライアン・オドネル（Ryan O'Donnell）が公開翌日の 10 月 27 日に執筆した技術解説書によれば、OpenAI のモデルが構築したアルゴリズムの核心は、3-CNF 論理式の充足割当の総数を数え上げる #3-SAT 問題（したがって決定問題である 3-SAT も含む）を、決定論的（deterministic）**かつ**多項式空間（polynomial space）において、以下の準指数時間（subexponential time）で厳密に解く点にある。

$$2^{O\left(n\frac{(\log\log n)^2}{\sqrt{\log n}}\right)}$$

オドネルの解析が明らかにした AI の証明構造は、既存の組合せ論・代数的手法の極めて精緻かつ予想外の結合である。まず第一段階として、ヴァリアント（Valiant, 1979）の古典的帰着（Ben-Dor–Halevi 定式化）と次数分割（degree splitting）を用

い、n 変数 m 節の #3-SAT インスタンスを、各行・各列の非ゼロ要素が最大 3 個である疎な行列 $A \in \{-1,0,1\}^{N\times N}$（ただし $N = O(n+m)$、すなわち最大次数 3 の 2 部グラフの隣接行列に対応）のパーマネント（permanent）$\mathrm{per}(A)$ の計算へと線形オーバーヘッドで帰着させる。第二段階として、この 2 部グラフに対し、文字列集合 $[d]^l$ を用いた「均衡調和彩色（balanced harmonious coloring）」を多項式時間の貪欲法で構成する。ここで各辺の両端点のカラーはすべての座標 $i \in [l]$ で異なる値をとるように設計され、中間構造が欠落方向のない完全なブール超立方体（Boolean cubes）の直和となるように行列を $A = PJQ$（J は対蹠置換行列、P, Q は疎行列）へと因数分解する。第三段階として、ブール・フーリエ変換行列 $F_g[S,T] = \hat{g}(S \oplus T)$ を用いた「行列の多項式変形（Matrix Deformation）」$A(\theta)$ を導入する。具体的には、超立方体上の典型的な入力においてパリティ関数と一致する次数 $b = O\left(\sqrt{l}\log l\right) = o(l)$ の有理多項式 $p \in \mathbb{Q}[u]$ を有理補間によって明示的に構成し、各座標に $(1-\theta/i)$ の重みを与えることで、パラメータ値 $\theta = t (t = 1, \ldots, l)$ において第 t 座標への依存性が完全に消去されるように設計する。そして最終段階として、各評価点 $\theta = t$ において、変形された行列は「ブロックサイズが最大 $s \le 3N/d$ のブロック対角行列 D_t」と「ランクが最大 r の低ランク行列 R」の和 $A(t) = D_t + R$ に分解される。これにより、各点 t における $H(\theta) = \mathrm{per}\, A(\theta)$ の値およびその高階導関数 $H'(t), \ldots, H^{(q)}(t)$（ここで $q = \lfloor Nb/l \rfloor$）を、ライザー（Ryser）のアルゴリズムと和のパーマネント恒等式を用いて $2^{O(s)}N^{O(r)}$ 時間で高速に計算し、最終的にエルミート補間（Hermite interpolation）によって $\mathrm{per}(A) = H(0)$ を多項式空間内で厳密に復元する。

この驚異的な結果の検証と解説のため、OpenAI は ETH の提唱者自身であるインパリアッツォとパトゥリ（ともにカリフォルニア大学サンディエゴ校［UCSD］）、および強指数時間仮説（SETH）の反証やアルゴリズムと下界の接続で知られるライアン・ウィリアムズ（MIT）の 3 名が率いる外部シェパード・グループを編成した（「戦略 2」）。同グループは OpenAI に対し、コミュニティによる独立検証を容易にするため全生データ（自然言語原稿と Lean 証明）を即時公開すること、およびこの成果が計算機科学全体に及ぼす影響と AI によるブレイクスルーが提起する検証・アクセス・功績帰属の諸問題を議論するための公開会議の開催費用を OpenAI が負担することの 2 点を要求し、OpenAI はこれに同意した。

2.3 理論・数理物理学（構成的場の量子論）：4 次元ヤン・ミルズ理論と量子色力学（QCD）の存在証明

第 3 の成果は、現代の理論物理学において重力を除く 3 つの基本相互作用（電磁気力、弱い力、強い力）を記述する最も重要な枠組みである「場の量子論（QFT: Quantum Field Theory）」を、数学的に厳密な公理系の上に基礎づける試みである。素粒子物理学の標準模型（Standard Model）や強い相互作用を記述する量子色力

学（QCD）は、実験と驚異的な精度で一致する予測を与えるものの、無限の自由度を持つ 4 次元時空における相互作用する場の量子論が「数学的に厳密な対象として本当に存在するのか（紫外発散や赤外発散を制御して連続極限が定義できるか）」という問いは、半世紀以上にわたり数理物理学の最大の未解決問題であった。
OpenAI の発表によれば、同社のモデルはケネス・ウィルソン（Kenneth Wilson）が 1974 年に導入した格子正則化（lattice regularization）と、タデウシュ・バラバン（Tadeusz Balaban）が 1980 年代に展開した構成的場の量子論（constructive QFT）における繰り込み群（renormalization group）のアプローチを基盤として、格子間隔をゼロに近づけ体積を無限大にとる連続極限（continuum limit）を追跡することに成功した。その結果、AI モデルは 3 つの理論領域にわたる数学的に厳密な存在証明を達成したと主張している。第一の対象は「純粋ヤン・ミルズ理論（Pure Yang–Mills Theory）」であり、クォークなどの物質場を含まず、力の伝達粒子であるグルーオンの自己相互作用のみを記述する 4 次元非可換ゲージ理論である。これはクレイ数学研究所のミレニアム懸賞問題「量子ヤン・ミルズ理論の存在と質量ギャップ（Quantum Yang–Mills Theory and Mass Gap）」の前半部分（存在証明のサブ問題）に該当する。第二の対象は「量子色力学（QCD）」であり、ゲージ群 $SU(3)$ のヤン・ミルズ場にフェルミオン（クォーク）を結合させた 4 次元相互作用理論である。第三の対象は「標準模型の統一的完成形（A Unified Completion of the Standard Model）」であり、標準模型自体は電弱セクターのランダウ・ポール（Landau pole）等の問題により任意の短距離まで外挿できないため、標準模型のゲージ場とフェルミオンを含み漸近的自由性（asymptotic freedom）を満たす「最も単純な大統一理論（simplest grand unified theory）」に対して存在証明を与えたとしている。
時系列を見ると、AI モデルは 2026 年 9 月 9 日に純粋ヤン・ミルズ理論の存在に関する自然言語証明を生成し、9 月 18 日に QCD の証明を生成した。その原稿の分量は実に **1,147 ページ**という途方もない長大さと複雑さに達しており、OpenAI は Lean による形式化が完了するまで公表を延期した。そして 10 月 16 日に純粋ヤン・ミルズ理論の存在定理の Lean 形式化が完了したことを受け、外部シェパード委員会が組織された。
この物理学のシェパード委員会は、1973 年にヤン・ミルズ理論の漸近的自由性を発見して 2004 年にノーベル物理学賞を受賞したデイヴィッド・グロス（David Gross、座長）をはじめ、エドワード・ウィッテンと共にミレニアム懸賞問題のヤン・ミルズ問題を定式化しクレイ数学研究所を共同設立したアーサー・ジャッフェ（Arthur Jaffe）、過去 20 年にわたり同問題のレビューを主導し 2026 年初頭にも『Nature Reviews Physics』に包括的総説を発表したマイケル・ダグラス（Michael Douglas）、ゲージ・弦双対性による閉じ込め研究の先駆者であるイーゴリ・クレバノフ（Igor Klebanov）、およびヤ

ン・ミルズ理論の厳密解法で 2023 年にダニー・ハイネマン数理物理学賞を受賞したニキータ・ネクラソフ（Nikita Nekrasov）という 5 名の重鎮で構成されている。
しかし、数学やコンピュータサイエンスとは対照的に、この物理学委員会は「戦略 3」として、1,147 ページの AI 生成原稿および完了したはずの Lean 形式化コードの一般公開を完全に差し止める（hold off on releasing）という決定を下した。カリフォルニア大学サンタバーバラ校（UCSB）のカブリ理論物理学研究所（KITP）のウェブサイトに掲載された同委員会の声明（YM_working_group.pdf）によれば、委員会はまず Lean 形式化における定義や問題設定が物理学・数学の標準的な非形式的定義と一致しているかを検証し、検証完了後に Lean 証明を公開し、その後コミュニティと共に証明を分析して自分たちで解説・評価論文を執筆し、品質と正確性に納得した最終段階で初めて 1,147 ページの LLM 原稿を公開するという段階的計画を採っている。また同声明は、連続極限の存在は証明されたものの、ミレニアム懸賞問題の後半の核心である「クォークの閉じ込め（confinement）」および「質量ギャップ（mass gap: $\Delta > 0$）の存在」は依然として未解決の課題として残されていることを明記している。

3. 肯定的評価：科学史的ブレイクスルーと「生データ」概念への方法論的成熟

OpenAI の 10 月 26 日の発表に対して寄せられた肯定的な評価は、大きく「AI の科学的推論能力の質的飛躍と形式検証の統合」および「学術コミュニティの批判を吸収したガバナンス上の改善」の 2 軸に集約される。

3.1 人類の知的限界の突破と形式検証（Lean）の統合による信頼性担保

第一の肯定的評価は、AI が単なる「既存知識の要約・検索ツール（2022 年段階）」や「人間の研究者の補助アシスタント（2024 年段階）」を超え、「人間が数十年間立ち往生していた基礎科学の最難関問題に対して、自律的に新しい証明や反証アルゴリズムを発見する主体（2026 年段階）」へと決定的な進化を遂げたことに対する畏敬と歓迎である。
特に、局所平滑化予想における「新しい補助偏微分方程式の発見」や、ETH 反証における「疎行列のパーマネントへの帰着とブール・フーリエ多項式変形・エルミート補間の絶妙な組み合わせ」は、AI が単に既存の文献を切り貼りしているだけではなく、人間が直感的なバイアス（「ETH は当然真であるはずだ」という思い込み）ゆえに探索してこなかった広大な組合せ論的・代数的空間を、先入観なしに徹底探索して突破口を開く能力を持つことを実証した。また、構成的場の量子論におけるバラバンの 1980 年代の論文群は、その極端な技術的難解さゆえに人間の数理物理学者ですら細部を完全に追跡・拡張することが困難であったが、LLM はまさにそうした「既存の

手法を極限まで精緻に積み上げる構成的証明（constructive proofs）」において超人的な強みを発揮した。
さらに決定的なのは、これらの自然言語による主張が、対話型定理証明支援系「Lean」による機械的検証とセットで提示されている点である。従来、LLM が生成する数学的テキストはもっともらしいハルシネーション（幻覚）を含むため、人間の査読者が誤りを探すために膨大な時間を浪費する（いわゆる「ブランドリーニの法則：デタラメを論破するには、それを生み出すより 1 桁多くのエネルギーが必要となる」）ことが最大の懸念であった。しかし、局所平滑化予想と ETH 反証において自然言語証明の生成からわずか 1 日で Lean による形式化が完了し、GitHub 上で誰もがコードを実行して論理的整合性を確認できるようになったことで、「証明のステップに論理的飛躍や計算ミスがないか」という低次の検証コストは劇的に圧縮された。実際、オドネルが ETH 反証の公表からわずか 1 日で明快な数学的解説（exposition）を書き上げることができたのは、AI の出力と Lean コードが即座に公開されたことの直接的な恩恵である。

3.2 「AI 出力＝研究の生データ」という認識論的転換と 4 原則の提示

第二の肯定的評価は、OpenAI が 9 月のフィールズ賞受賞者 25 名による宣言（「問題を解くことは概念的理解のための手段に過ぎない」）を真摯に受け止め、AI の出力を「完成した科学的知見」ではなく「研究の生データ（raw research data）」と再定義した謙虚かつ現実的なスタンスに向けられている。
AI がいかに正しい Lean コードと自然言語テキストを出力しようとも、そこから「なぜその定理が成り立つのか」「どの概念が本質的で、他のどの問題に応用可能なのか」という人間にとっての直感的理解（conceptual understanding）を抽出し、学術体系の文脈に位置づける作業は、人間の研究者コミュニティにしか成し遂げられない。
OpenAI が自社の学術的クレジット（論文の著者権など）を一切主張せず、NDA を課さない完全な透明性と無報酬・独立の原則を掲げ、さらにサイモンズ財団への 500 万ドルの資金拠出を通じて「AI が生み出した生データを人間が咀嚼・検証するためのエコシステム」に財政的支援を行ったことは、AI 企業とアカデミアが敵対するのではなく「共創の新しい研究プロトコル」を模索する建設的な一歩として、多くの技術アナリストや一部の研究者から高く評価されている。

4. 否定的評価と激しい論争：情報非対称性、秘匿主義、および学問の空洞化

こうした肯定的な受け止めがある一方で、純粋数学、理論計算機科学、および数理物理学の第一線の研究者からは、OpenAI の公開プロセス（特にシェパード制度と物

理学の秘匿措置）、技術的主張の誇張、さらには AI による基礎科学の「産業的収奪」に対する極めて厳しい批判と存在論的危機感が噴出している。

4.1 「シェパード制度」に対する AGMAI の勧告と物理学コミッティの秘匿主義への批判

OpenAI が 10 月 26 日の発表で目玉として導入した「外部シェパード（案内人）制度」は、発表の前日（10 月 25 日）および当日（10 月 26 日）に、ほかならぬ OpenAI 自身の諮問機関である AGMAI から公然と否定されるという異例の事態を招いた。AGMAI は 10 月 25 日、「Disadvantages of Designating Mathematicians for AI Output Releases（AI 出力の公開において特定の数学者を指名することの不利益）」と題する公式声明を発表した。この声明の中で AGMAI は、過去に AI 企業から指名された数学者たちが誠実に価値ある作業を行ったことは認めつつも、AI 企業が特定の研究者を「シェパード」として選抜し公開プロセスを主導させる方式には、利益を上回る **5 つの重大な弊害**があると結論づけた。第一の弊害は「アクセスの遅延と不平等（Delayed or Unequal Access）」であり、指名された特定の研究者が、他の研究者が長年心血を注いできた未解決問題の AI 出力に対して不当な「先行アクセス（head start）」を得ることになり、選ばれなかった研究者の参画意欲を削ぐ点にある。OpenAI 自身も 10 月 26 日の発表文の中で「初期のシェパードを選定することは、必然的に誰が最初に参画するかを決定づけ、情報の非対称性（asymmetry of information）をもたらす」とこの構造的欠陥を認めている。第二の弊害は「コミュニティの主体性の剥奪（Denied Agency）」であり、学術的クレジットの規範が激変している過渡期において、誰が AI の成果をレビューし解説論文を書くかという決定権を民間 AI 企業が握ることは、学術コミュニティ自身の学問的自治（agency）を奪う行為にほかならない。第三の弊害は「選抜のバイアス（Biased Selection）」であり、AI 企業は自社の内部ネットワークや企業としての優先事項に基づいて研究者を選抜するため、プロセスが不透明かつ説明責任を欠き、研究者が AI 企業の意向に迎合する歪んだインセンティブを生む。第四の弊害は「名声の借用（Borrowed Reputation）」であり、指名された著名な科学者の名前が結果として AI 企業の発表の「お墨付き（vouching）」として機能し、企業を批判から守る盾として利用される危険性である。実際、Hacker News や Reddit 等の議論では、タバコ産業や化学産業が科学者を雇って自社製品を擁護させた構造や、金融界の有名無実な諮問委員会になぞらえる辛辣な批判も見られる。そして第五の弊害は、そもそもそのような指名制度が「不必要（Unnecessary）」であるという事実である。これまでの経験から、AI の出力をすべての人に同時に一般公開すれば、数学者コミュニティは自律的かつ効率的に読書会やワークショップを立ち上げ、明快な解説論文（オドネルの ETH 解説やタオによるジーゲル零点不在証明の解説など）を執筆できることが実証されており、特権的なシェパードを介在させる合理性は存在しない。

さらに AGMAI は、10 月 26 日の OpenAI の発表を受けて即座に「Recommendation for Immediate Release of Yang–Mills AI Output（ヤン・ミルズ AI 出力の即時公開を求める勧告）」を発表した。AGMAI は、4 次元ヤン・ミルズ理論や構成的場の量子論は物理学の中心問題であると同時に数学の重要問題（ミレニアム懸賞問題）でもあると指摘した上で、「OpenAI は Lean による形式化が完了するまで公開を延期したと述べていたが、彼ら自身の報告によれば形式化はすでに完了している。したがって、これ以上公開を遅らせる科学的理由は一切存在しない」と断じ、1,147 ページの自然言語出力と Lean コードの遅滞なき全面公開を強く要求した。

この物理学の非公開方針に対しては、コロンビア大学の数理物理学者ピーター・ウォイト（Peter Woit、ブログ『Not Even Wrong』主宰）やカリフォルニア大学リバーサイド校のジョン・バエズ（John Baez）らからも痛烈な批判が浴びせられている。ウォイトは大きく 3 つの観点から、グロス座長ら 5 名の物理学シェパード委員会の対応を批判している。 第一に、委員会の人選と検証能力のミスマッチである。委員会の中で構成的場の量子論の厳密な数学的構成に関する専門知識を持つのは 88 歳のアーサー・ジャッフェのみであり、座長を務める 85 歳のデイヴィッド・グロスはそもそも数理物理学者ではない。さらに、委員会のメンバーは誰一人として定理証明支援系「Lean」の専門家ではないにもかかわらず、「AI の自然言語証明が間違っている可能性があるため、まず自分たちで Lean コードの定義を検証してから公開する」と主張している。ウォイトや数学者のデイヴィッド・ロバーツ（David Roberts）が指摘するように、Lean の定義が標準的な数学的定義と一致しているかどうかを検証する最も確実かつ迅速な方法は、Lean コードを即座にインターネット上で公開し、世界中の熟練した Lean コミュニティの目に晒すことであり、「80 代の物理学者たちに秘密裏に AI の Lean コードを精査させるのは最も非効率極まりない方法」である。 第二に、主張の曖昧さと誇大宣伝の疑いである。バエズやウォイトは、バラバンの 1980 年代の研究はコンパクトな時空（4 次元トーラス $\mathbb{T}^4$）上の構成を扱ったものであり、それを無限体積極限であるユークリッド空間 $\mathbb{R}^4$ へと拡張し、かつ自明な自由場（trivial free theory）に陥らないことを示すには、赤外領域のランダウ・ポールや閉じ込めに関わる本質的な困難が伴うと指摘する。もし OpenAI が単に有限体積上の議論を完成させただけであれば、プレスリリースは極めてミスリーディングであり、また「標準模型の統一的完成形」という表現も、一般読者に「量子重力を含む万物の理論（TOE）が発見された」かのような誤解を与える不適切なレトリックであると批判されている。 第三に、学問の「インサイダー化（密室化）」への懸念である。ウォイトや複数のポスドク研究者は、物理学委員会が 1,147 ページの原稿を非公開にしている真の動機は、AI の出力を独占的に利用して自分たちの名義で場の量子論の解説・発展論文を執筆し、キャリア上の名誉やテック企業からの資金・注目を独占することにあるのではないかと疑念を呈している。実際、UCSB の KITP で開催された OpenAI 関連の理論高エネルギー物理

学（hep-th）ワークショップが、通常の 2 年間の審査待ちをバイパスして招待制・参加者リスト非公開・スケジュール秘密裏に組織されたことも相まって、「AI への社会的対応が、理論物理学をごく少数の特権的インサイダーのサークルへと収縮させている」との強い反発を招いている。

4.2 技術的限界：「銀河的アルゴリズム（Galactic Algorithm）」と可読性なき「AI スロップ」

公開された数学・計算機科学の証明内容そのものに対しても、冷静な技術的精査が進むにつれていくつかの限界が指摘されている。

まず ETH の反証について、理論計算機科学コミュニティ（Hacker News や Reddit の r/compsci 等）では、このアルゴリズムが実用上はまったく機能しない「銀河的アルゴリズム（Galactic Algorithm）」の典型であることが指摘されている。漸近的計算量こそ $2^{O\left(n(\log\log n)^2/\sqrt{\log n}\right)}$ であり、真の指数時間 $2^{\Omega(n)}$ をわずかに下回る（準指数時間である）ものの、次数分割、巨大な色空間 $[d]^l$ でのグラフ彩色、有理補間によるパリティ近似、およびエルミート補間に伴う定数係数と多項式空間オーバーヘッドが天文学的（galactic）に巨大であるため、現実的な問題サイズにおいては既存のヒューリスティックな SAT ソルバー（CDCL 等）の方が比較にならないほど高速である。これは、10 月 6 日に公開された $O(n\log^{0.9999999999999}n)$ の FFT・整数乗算アルゴリズムと同様に、「人間が美しいと信じていた漸近的な大文字 O（Big-O）の境界線を、巨大な定数ペナルティと引き換えに力技でわずかに突破する」という、現在のフロンティア AI モデル特有の推論パターンを反映している。また、ETH の反証はあくまで準指数時間アルゴリズムの発見であり、P = NP を証明したわけでは決してない。さらに、シェパードの一人であるライアン・ウィリアムズが X（旧 Twitter）上で明言した通り、既存の暗号システム（公開鍵暗号や共通鍵暗号）がこのアルゴリズムによって破られることもない。

次に、AI が生成する証明の「可読性」と「形式的妥当性の乖離」の問題がある。ナビエ・ストークス方程式の際には、自然言語の主張と Lean の形式化コードとの間に定義上の不一致が存在することが後日判明した。Lean は「定義された命題から結論が論理的に導かれること」は 100%保証するが、「その Lean 上の定義が、人間が意図した物理的・数学的概念を正しく捉えているか（例えば自明なケースや外力項の抜け道を使っていないか）」までは自動的に保証しない。さらに、物理学の 1,147 ページの原稿に代表されるように、AI が出力する未編集の証明テキストは、人間にとっての美的感覚（G. H. ハーディが説いた「数学の美」）や教育的洞察を欠いた冗長で不透明な計算の羅列——批判者が呼ぶところの「AI スロップ（AI slop：AI の粗悪な大量出力）」あるいは「サイケデリック薬物を摂取した者が書いたような支離滅裂な文章」——になりがちであり、人間がそれを読み解くこと自体が苦行となっている。

4.3 認識論的危機：グッドハートの法則、「灯台問題」の喪失、および知のオーウェル主義

より根源的なレベルにおいて、今回の発表は「人間が科学や数学を営む意味とは何か」という哲学・認識論的な危機（Epistemic Crisis）を先鋭化させている。

第一に、**グッドハートの法則（Goodhart's Law：「指標が目標になった瞬間、それは良い指標ではなくなる」）による学問生態系の破壊**である。9 月 11 日の 25 名のフィールズ賞受賞者宣言が的確に指摘した通り、歴史上の有名な未解決問題（フェルマーの最終定理、ポアンカレ予想、掛谷予想など）は、数学という広大な風景を探検するための「灯台（lighthouse）」として機能してきた。人間がそうした難問を解くためには、必然的に新しい概念、抽象化、中間的な補題や理論体系（例えば類体論や保型形式、リッチ・フローなど）を何世代にもわたって発明・整備する必要があり、その「登山の過程で生まれた副産物のツール群」こそが科学と社会を豊かにしてきた。しかし、OpenAI が 1 万体のエージェントや膨大なテスト時計算量（test-time compute）を投入して「未解決問題の解決数」をベンチマークとして最適化・直接攻略することは、『Quanta Magazine』のジョルダナ・セペレウィッツ（Jordana Cepelewitz）が比喩したように「登山道を歩くことも道具を作ることもなく、ヘリコプターで霧深い山頂にいきなりテレポートさせられる」ようなものである。山頂の旗（真偽の証明）だけが AI によって次々と回収されてしまえば、周辺の尾根や谷を探索して新しい理論体系（地図）を描く人間の動機は失われ、学問の土壌は塩害（salt the earth）に遭ったように不毛化する危険がある。

第二に、**研究コミュニティの信頼崩壊と若手育成の断絶**である。テレンス・タオは 10 月 8 日に公開されたコミュニティ反応集（『100+ reactions to 100+ solutions』）の中で、「最も胸が痛むのは、OpenAI がこの結果そのものには何の関心も持っていないことだ。彼らは、私たちのコミュニティ、知的思考、そして知識が『生きた有機体』であることを知らない。率直に言って、私は自分が生きているこの社会に強い嫌悪感（disgusted）を覚える」と極めて激しい言葉で憤りを吐露している。また、ガーディアン紙の取材に対して数学者のバックマスター（Buckmaster）が「今の数学界の最大の話題は、誰もが自分のアイデアを共有したがらなくなったことだ」と語ったように、研究者がセミナーやプレプリントで中間的なアイデアを公開すると、AI ラボが即座にそれをスクレイピングして 1 万体のエージェントを投入し、最終定理だけを「解決」して手柄を奪う（実際、ヤコビアン予想の反例とされる AI 出力が、偶然公開されていた研究者の渡航助成金申請書からのスクレイピングであった事例も指摘されている）という恐怖が蔓延し、オープンな学術交流が萎縮している。さらに、シニア研究者が AI を使って生産性を上げる一方で、大学院生やポスドクが自力で試行錯誤して直感を養うための「適度な難易度の未解決問題」が AI によって根こそぎ刈り取られてしまうため、次世代の数学者が育たないという育成連鎖の崩壊が危惧されている。スコット・アー

ロンソンはこの状況を、「熱帯雨林の奥深くで暮らしていた狩猟採集民の隣に、突然ヘリポートと温水プールを備えた巨大リゾートホテルが建設され、『よしわかった、今日から私の新しい仕事は観光客向けのジャングル体験ツアーのガイドだな』と呟くような感覚」と表現している。
第三に、学術制度の自己矛盾と「認識論的オーウェル主義（Epistemic Orwellianism）」である。ルートヴィヒ・マクシミリアン大学ミュンヘン（LMU）のポスドク研究者レヴェント・ドアン（Levent Doğan）は、フィールズ賞受賞者宣言に対する批判的応答の中で、鋭い逆説を提示した。すなわち、数学界は今になって「数学の本質は結果（定理の生産）ではなく人間の理解（exposition）にある」と主張しているが、これまで数十年にわたり「Publish or Perish（出版か死か）」のスローガンのもと、わかりやすい解説論文ではなく「新しい定理を証明した論文の本数」によってポスドクの採用やテニュア審査を行ってきたのは学術機関自身ではないか、という批判である。自ら「出力の最大化」を報奨する制度を作っておきながら、機械がその出力において人間を凌駕した途端にルールを変えようとするのは欺瞞であり、むしろ AI の登場を機にアカデミア自身の評価制度を根本から改革すべきだとドアンは論じる。さらに、哲学・科学論の観点からは、モデルの重み、学習データ、システムプロンプト、推論の内部過程（とりわけ「Astra」で導入されたとされる、思考の連鎖［CoT］を言語化せず潜在空間内で抽象推論を行う不透明な推論手法）が巨大テック企業の企業秘密（ブラックボックス）として隠蔽されたまま、人類の基礎科学のフロンティアが企業の PR 戦略や株主価値の最大化に従属させられる事態を「認識論的オーウェル主義」と呼ぶ批判も登場している。

5. 科学・産業・学術エコシステムへの長期的影響と展望

OpenAI の今回の発表とそれを取り巻く一連の動向は、単なる個別問題の解決を超え、基礎科学の方法論、計算機科学の理論体系、および産学連携のガバナンス構造に不可逆的な地殻変動をもたらしている。

影響領域	**短期的影響（現在～1 年）**	**中長期的・構造的インパクト（1 年～5 年以降）**
純粋数学・数理物理学	局所平滑化・掛谷予想（59p）およびヤン・ミルズ存在証明（1,147p）の Lean コードと自然言語定義の整合性検証。AGMAI と物理学シェパード委員会の間の公	「定理の証明（AI が主導）」と「概念の抽出・体系化・教育的解説（人間または次世代 AI が主導）」の分業化。構成的場の量子論の厳密化を足がかりとした「閉じ込め」と

影響領域	短期的影響（現在〜1 年）	中長期的・構造的インパクト（1 年〜5 年以降）
	開プロトコルをめぐる対立の激化。	「質量ギャップ（$\Delta > 0$）」への挑戦。
理論計算機科学・アルゴリズム設計	ETH を前提（"Assuming ETH..."）としていた数百本の条件付き計算困難性論文の総点検と再定式化。オドネルの解説等を起点とした、#3-SAT 準指数時間アルゴリズムの定数改善・簡略化の試み。	計算量クラスに関する直感の歴史的転換（下界・分離の絶対視から、ドナルド・クヌース的な「未知の巧妙なアルゴリズムが広大な空間に存在する」という探索重視への回帰）。NP 完全問題内部の微細な帰着階層（線形サイズ帰着 vs 多項式膨張帰着）の再編。
産業界・R&D・セキュリティ	既存の暗号システムや実務上の組合せ最適化ソルバーへの直接的影響は限定的（銀河的アルゴリズムのため）。一方、国家安全保障機関（情報機関）による AI の暗号解読能力への監視強化。	ソフトウェア検証、半導体設計、数値シミュレーション、創薬（GPT-Rosalind 等）における「フロンティア LLM＋形式検証（Lean/Coq）」パイプラインの標準実装。AI 生成結論を第三者形式検証なしに実務投入することを禁じる企業ガバナンスの確立。
学術制度・科学政策	サイモンズ財団（500 万ドル拠出）や新リポジトリ「Hexagon」等を通じた、AI 生成証明の検証・解説ワークショップの乱立。プレプリント公開前の「AI によるスクープ」を防ぐための研究秘匿化の進行。	学術評価指標（テニュア・助成金審査）における「定理証明偏重」から「概念構築・問題設定・解説・統合」への移行。AGMAI の「Pathway 2B（プロンプト・計算量・失敗試行の完全開示と独立リポジトリ公開）」の国際標準化をめぐる攻防。

5.1 計算複雑性理論の再構築とアルゴリズム探索のパラダイムシフト

ETH の反証が理論計算機科学に与える二次的・三次的影響は計り知れない。第一に、微細計算量理論（Fine-Grained Complexity）およびパラメータ化計算量理論（Parameterized Complexity）において、ETH を仮定して導かれていた無数のタイト

な下界（例えば、グラフの独立集合数え上げ、k-彩色問題、部分グラフ同型問題などの計算時間下界）が、その前提を失うことになる。結果として、これまで単一の「NP 完全」という枠組みに一括りにされていた問題群が、「3-SAT へ変数数を線形（linear）に保ったまま帰着できるため準指数時間で解ける問題群」と、「帰着の際に変数数が多項式（例えば n^2 や n^3）に膨張するため準指数時間性が失われる問題群」という新たな 2 つの階層（tiers）へと分裂・再編成される可能性が浮上している。

第二に、計算機科学者の「直感（intuition）」の歴史的な振り子の揺り戻しである。計算機科学の黎明期（ドナルド・クヌースらが活躍した時代）には、次々と高速なアルゴリズムが発見されたため、「ほとんどの難問にはまだ見ぬ巧妙なアルゴリズムが存在する（クヌース自身、長大な指数を持つ多項式時間アルゴリズムによって P = NP が成り立つ可能性を排除しなかった）」という楽観的直感が存在した。しかしその後の数十年は、NP 完全性の概念や回路計算量の下界証明が中心となり、「既存の標準的アルゴリズムはすでに最適であり、これ以上の高速化は不可能である（ETH や SETH は真である）」という悲観的・分離主義的な直感が学界を支配してきた。今回、AI が $o(n \log n)$ の整数乗算に続いて #3-SAT の準指数時間アルゴリズムを現実に構成してみせたことで、「人間の思考の枠組みでは見落とされていた高次元の代数的・組合せ論的恒等式の空間に、未知の高速アルゴリズムが眠っている」という方向へ、研究者の探索パラダイムが大きく転換しつつある。

5.2 科学研究プロトコルの構造転換と企業・研究機関への戦略的インプリケーション

産業界および研究開発機関にとって、今回の OpenAI の発表が示す最大の教訓は、「AI が論文執筆やコーディングを補助する段階」から「AI が自律的に命題を生成し、形式証明器（Lean）とループを回して厳密な証明を完結させる段階」へと科学研究の構造が完全に転換したという事実である。

この構造転換は、企業の R&D 部門や国の科学技術政策（日本の JST や NEDO 等を含む）に対して以下の 3 つの戦略的要請を突きつけている。 第一に、**形式検証ツール（Lean、Coq 等）の評価・導入の必須化**である。LLM が生成する自然言語の論理展開がいかに高度化しても、そこには常にハルシネーションや隠れた前提のすり替えのリスクが伴う。OpenAI が数学・CS・物理のすべてのフロンティア成果において Lean による形式化を公開の前提条件としたことは、今後のミッションクリティカルな研究開発（ソフトウェア品質保証、暗号プロトコル検証、物理シミュレーション、さらには OpenAI が米国大学向けに展開を開始した生命科学特化モデル GPT-Rosalind のような領域）において、自然言語推論と形式検証チェッカーを統合したパイプラインがデファクトスタンダードになることを示している。 第二に、**情報アクセスの非対称性への対処**である。OpenAI が物理学において特定の 5 名の重鎮にのみ 1,147 ページの証明を預託し、また KITP で非公開の招待制ワークショップを開催した事例が示す

通り、フロンティア AI ラボと直接的なパイプを持つ一部のエリート大学・研究者グループと、それ以外の研究機関・企業との間に、決定的な「知の格差（先行アクセス権の非対称性）」が生まれつつある。 第三に、**AI 研究ガバナンスとオープンサイエンス規範の再設計**である。AGMAI が 10 月 25 日の声明で提唱した「Pathway 2B」の基準——すなわち、企業管理下ではない独立した学術リポジトリへの公開（バージョン履歴と引用可能な識別子の付与）、使用したモデル名・プロンプト・思考の連鎖（CoT）・試行回数・投入計算量・金銭的コスト・問題選定基準と総試行問題数の完全開示、および特定研究者の恣意的な指名（シェパード化）の廃止とサイモンズ財団のような独立非営利機関を通じた透明な研究資金配分——は、AI 時代のオープンサイエンスが守るべき最低限の防波堤として極めて高い規範的価値を持っている。

6. 結論：人間による「理解」の再定義とオープンサイエンスの再設計に向けて

OpenAI が 2026 年 10 月 26 日に発表した「学術界と連携して科学的知見を構築する」は、人類の知の歴史における二つの巨大な潮流が衝突する分水嶺である。一つは、フロンティア AI モデルと形式検証システム（Lean）の結合が、調和解析の局所平滑化予想・掛谷予想、計算複雑性理論の指数時間仮説（ETH）、そして構成的場の量子論における 4 次元ヤン・ミルズ理論・QCD の存在証明という、人間が数十年かけても到達できなかった頂きをわずか数日から数週間の計算で制覇し得るという、圧倒的な技術的現実である。もう一つは、そのような「機械による真理の大量生産」が、人間の科学者コミュニティが何世紀にもわたって育んできた「直感的理解の深化」「試行錯誤を通じた新概念の創出」「師弟間の知識継承」「万人に開かれた平等な検証プロセス」という学問の生態系そのものを根底から揺るがしているという、深刻な社会・認識論的現実である。

OpenAI が AI の出力を「研究の生データ」と定義し、学術的クレジットを放棄してサイモンズ財団に 500 万ドルを拠出したことは、9 月のフィールズ賞受賞者宣言に対する一つの誠実な応答であったと評価できる。しかし同時に、物理学の成果において 1,147 ページの原稿と完了済みの Lean コードを非公開とし、一部の高名な「シェパード」に独占的な管理権を委ねた「戦略 3」は、情報の非対称性と学問の密室化を招くものとして AGMAI や数理物理学者から正当かつ厳しい批判を浴びており、ガバナンス実験としてはすでに重大な綻びを露呈している。

今後の科学的発見のエコシステムがディストピア的な「知の独占と空洞化」に陥るのを防ぎ、AI の推論能力を真に人類全体の共有財産へと昇華させるためには、3 つの方向性が不可欠であると結論づけられる。 第一に、物理学のヤン・ミルズ／QCD 存在証明を含むすべての AI 生成証明および Lean 形式化コードは、AGMAI の勧告通

り、特定のシェパードによる囲い込みを排して即座に独立した公開リポジトリへと全面公開されるべきである。コンピュータサイエンス（ETH 反証）において生データの即時公開がオドネルらによる迅速な数学的解説を生み出した事実は、完全なオープンアクセスこそが最も効率的に「生データを人間の理解へと変換する」手段であることを雄弁に物語っている。 第二に、AI 企業は結果（定理の証明）のみを華々しく発表するのではなく、その発見に至ったプロンプト、探索ログ、失敗した試行の割合、および投入された計算資源（Pathway 2B 基準）を透明に開示し、ブラックボックス化による「認識論的オーウェル主義」を回避する責任を負う。 第三に、学術界自身もまた、単なる「定理の証明者」としてのアイデンティティや「論文生産数」に依存した旧来の評価制度を脱却し、AI が生み出した巨大な生データの海から「人間にとって意味のある概念的枠組み、美しい単純化、そして次に問うべき本質的な問い（新しい言語と問題設定）」を紡ぎ出すことへと、自らの学問的価値を再定義していかなければならない。