OpenAI「Working with academic communities to build scientific understanding」調査報告

― AI による 3 成果（局所平滑化/カケヤ予想・ETH 反証・ヤン–ミルズ/QCD 存在証明）の評価・批判・影響 ―

2026 年 10 月 28 日（発表から 2 日後の時点の調査）

Claude Opus 5.5

凡例：本文中の上付き番号は、末尾の参考文献の番号に対応する。第 1〜4 章は確認済みの事実を中心に記述し、第 5・6 章は分析・推論である。事実の章で評価を加える箇所には「（分析）」と明記した。

要旨

- OpenAI は 2026 年 10 月 26 日、名称非公表の内部モデルが数学・計算機科学・物理学で 3 つの成果を出したと発表した。あわせて、外部専門家を「シェパード」とする分野別の公開方式と、連携の 4 原則を示した[1]。
- 発表から 2 日の時点で、いずれの成果も査読・独立検証を経ていない。数学と ETH は論文と Lean 証明が GitHub で公開済みだが[2]、物理は資料が非公開である[3,4]。
- 検証可能性には差がある。ETH は原提唱者らが公開検証を組織し[5]、Anthropic も同日発見とする独立の反証を公開した[6]。数学は資料公開済みだが専門家の検証は始まったばかりで、物理は外部から検証できない。
- 主な批判は 4 点ある。①シェパード指名による情報の非対称性（OpenAI の打診を機に組織された独立の諮問グループ AGMAI の勧告と衝突）[4,7]、②物理資料の非公開[7,8]、③Lean の定理文が元の予想を正しく表しているか（statement fidelity）[9]、④先行研究者の「スクープ」[4,10]。
- （分析）ETH 反証は、正しければ多数の条件付き下界の見直しを迫る。ただし改善幅は「指数のわずかに下」にとどまり、実用や暗号への即時の影響は小さい。長く残るのは、AI 生成成果の公開・功績帰属・アクセス公平性をめぐる規範形成と、知財面での先行技術化・発明者の問題である。

1. 発表の概要

1.1 発表の骨子と公開方式

OpenAI は、AI が出力した原稿は「生の研究データ」として理解するのが適切だとし、これを科学的理解に変えるため、外部専門家に「シェパード」を依頼して検証・解説のグループを組織する方式を試行した[1]。専門家の助言により、分野ごとに異なる 3 つの公開戦略を採った（表 1）。どの方式が最も有用かは未定とし、意見を募っている[1]。

表 1　3 成果の内容と公開方式（日付は OpenAI の申告）[1]

分野	主張内容	AI 出力・Lean 形式化	公開方式	シェパード
数学	Sogge（1991）の局所平滑化予想を全次元で証明。これによりカケヤ予想と Stein の制限予想も全次元で解決。新規の補助的偏微分方程式に基づく。先行研究は 2 次元（Guth・Wang・Zhang、2019 年）、3 次元カケヤ（Wang・Zahl、2025 年）まで	出力 10/18 Lean 10/19	AI 出力（自然言語の解説）と Lean 証明を GitHub で公開し、研究者が自由に解説に取り組む（10 月 6 日の公開と同じ方式）	指名なし
計算機科学	指数時間仮説（ETH）は偽。ETH は数百本の論文で条件付き計算困難性の導出に使われてきた	出力 10/16 Lean 10/17	外部グループが解説しつつ、AI 出力を即時公開。全生データの公開と OpenAI による検証会議の費用負担は、グループの要請に応じたもの	R. Impagliazzo、R. Paturi（UCSD）、R. Williams（MIT）
物理学	4 次元でゲージ場とフェルミオンを含む特定の量子場理論（QCD、標準模型の統一的完成）の厳密な存在証明。副問題として純粋ヤン–ミルズ理論の存在証明を含む。Balaban の構成的場の量子論の手法に依拠	YM 9/9、QCD 9/18 YM の Lean 10/16	公開の判断をグループに委ねる。グループは AI 生成物の公開を見合わせ、自ら論文化する方針	D. Gross、M. Douglas、A. Jaffe、I. Klebanov、N. Nekrasov

連携の 4 原則は次のとおりである[1]。

- **透明性**：参加者に NDA を求めず、議論・中間成果の共有・結論の公表は自由。
- **学術的功績を主張しない（No Academic Credit）**：内部モデルの発見について学術的功績を主張しない。シェパードの招聘は、その研究者が原発見をしたことを意味しない。なお、日本語機械翻訳版ではこの見出しが「単位は付与されません」と訳されているが、誤訳である。
- **評価**：グループが生み出した知見・報告書等は評価されるべきであり、依拠した研究者・技術・アイデアを適切にクレジットする。
- **独立性**：参加は任意かつ無報酬。メンバーは個人として参加し、OpenAI を代表しない。

OpenAI は、初期シェパードの選定が「誰が最初に関与するか」を決め、情報の非対称性を生むことをトレードオフとして自ら認めている。また、サイモンズ財団への 500 万ドル拠出により、AI 成果を理解・発展させるワークショップ等を支援するとした[1]。

1.2　一次資料の確認状況

表 2　一次資料と関連資料の確認状況

対象	状況	要点
OpenAI 公式ページ	実在は報道と検証グループのブログのリンクで確認。本調査では直接取得できず	本文はユーザー提供の PDF（英語原文・日本語機械翻訳版）で確認した[1,5]
ETH 論文（openai/math）	実在を確認	67 頁。10 月 17 日付で、25 日に改訂。k≥2 固定の k-CNF の充足割当を、決定的・多項式領域・準指数時間で厳密に数え上げるアルゴリズムを示す[2,11]
ETH の Lean 範囲文書（378.md）	内容を確認	Lean が証明する上界は $(L+1)^{O_k(1)}\cdot 2^{O_k(n(\log\log n)^2/\sqrt{\log n})}$（標準符号化の入力に限る）。論文が主張する $2^{O_k(n\log\log n/\sqrt{\log n})}$ より弱い形である[9]
局所平滑化論文と範囲文書（079.md）	実在を確認（報道による照合）	59 頁、10 月 25 日付。Lean の対象は n≥2、2≤p<∞、$s=\max(0,(n-1)/2-n/p)+\varepsilon$ の局所平滑化評価、カケヤ極大作用素の L^n 評価、全方向の単位線分を含む集合のハウスドルフ次元が n であること[3]

対象	状況	要点
使用公理・検証手順	二次情報	OpenAI のリポジトリは各形式化結果に Comparator の設定を付けている[12]。Comparator は、同名の定理が同じ命題を証明し、許可された公理（標準は propext、Quot.sound、Classical.choice）のみを使い、カーネルに受理されることを検査する[13,14]。Anthropic は独立カーネル nanoda でも検証し、OpenAI は標準カーネルのみと報じられている[15]
物理（ヤン–ミルズ/QCD）	非公開	Lean 範囲文書も未公開で、QCD の形式化の有無も記載がない[3]
使用モデル・計算条件	非公表	README は名称を明かさない内部モデルと記載[2]。プロンプト、計算時間、思考過程も公開されていない[4]。公式ページ下部の GPT-6.1 Sol 等のモデル名は製品ナビゲーションであり、使用モデルを示すものではない

2. 肯定的評価

- ETH 検証グループ（Impagliazzo、Paturi、Williams）は公開書簡で、主張が正しければ理論計算機科学の重要な部分が変わるとし、コミュニティに検証と規範の議論への参加を呼びかけた[5]。Williams は、NDA なし・無報酬であり、全生データ公開の要求に OpenAI が応じたことを明らかにしている[16]。TechCrunch には、一部は定型的だが「異質に見える」部分が 2〜3 か所あり、分野全体で取り組むべきだと感じたと語った[10]。
- Fortnow は、アプローチは有望だが現時点では保証できず、実用的な SAT ソルバーへの影響は小さいとの見方を示した[17]。
- Aaronson は、P=NP の主観確率を 3%から 5%に引き上げると述べたとされる（Hacker News での引用による）[18]。
- 物理シェパード委員会は KITP で声明を公表し、OpenAI の証明は量子場理論を厳密な数学的基盤に載せる重要な一歩に見えるとした。一方で、委員会は OpenAI に対して責任を負わないと明記している[19]。
- 調和解析では、Alex Iosevich（ロチェスター大学）が Al Jazeera に対し「歴史的」と評した（Quartz による）[20]。Guth、Wang、Zahl、Sogge、Tao らの公的な反応は、本調査では確認できなかった。
- 主要メディアは大きく報じつつ、いずれも「主張」として慎重に扱っている[4,10,20,21]。

3. 否定的評価・論点

3.1 シェパード指名方式への批判（最大の論点）

AGMAI（IAS 拠点の独立グループ。Charles、De Lellis、Gowers、Hairer、Srivastava、Tillmann、Vakil、Witten、Wood の 9 名）は、発表前日の 10 月 25 日、AI 企業による数学者の指名をやめるよう勧告していた。理由は、アクセスの遅延と不平等、コミュニティの主体性の剥奪、選定の偏りと不透明さ、指名された研究者の名声が企業を批判から守る「借りた評判」、そもそも不要であること、の 5 点である[7]。OpenAI 自身も記事で情報の非対称性を認めているが、翌日に指名方式で発表した。Scientific American はこれを、AGMAI の声明に反するものと報じている[4]。ETH 検証グループ自身も、早期アクセスが他者にない機会を生むこと、検証・解説の労働が十分に評価されない恐れがあることを問題提起している[5]。

3.2 物理資料の非公開

AGMAI は 10 月 26 日、Lean による形式化が完了した以上、公開を遅らせる科学的理由はないとして、ヤン–ミルズ/QCD 等の自然言語出力と Lean 出力の即時公開を求めた[4,7]。Woit は「Secret Unified Physics Slop」と題する記事で批判し、ヤン–ミルズの「存在」が何を意味するのかすら示されていないと指摘した[8]。Buckmaster は、ヤン–ミルズの Lean 検証に 1 か月かかったという説明に疑問を呈した[4]。これに対し Gross 委員会は、正しさを確信してから公開するとし、まず定義と問題設定が物理・数学の標準と一致するか、形式化が非形式的な議論と整合するかを確認するとしている[19]。

3.3 先行研究者の「スクープ」問題

Ethan Sussman（ノースウェスタン大学）と Levent Alpöge（Anthropic）は、Balaban プログラムに基づくヤン–ミルズ存在証明を公開リポジトリで進めていた。Sussman は Scientific American に対し、失望していないとは言えず、数週間差だったかもしれないと語った[4]。Alpöge は X 上で、OpenAI が協業を申し出る代わりにこうした発表を選んだと批判した[22]。TechCrunch はこれを、OpenAI が既存研究に依拠したことを示唆したものと要約している[10]。なお、OpenAI はヤン–ミルズの自然言語証明の生成日を 9 月 9 日としており[1]、Sussman のリポジトリ公開（10 月 6 日とされる）より前になる。ただし、この日付は OpenAI の自己申告で、検証されていない。

3.4 Lean の範囲と statement fidelity

Lean が保証するのは、形式化された命題が許可された公理のもとで証明されていることまでである。その命題が元の予想を正しく表しているかは、人間が別に確認する必要がある[13,14]。9 月

のナビエ–ストークス証明については、論文と Lean コードが意味的に忠実な対応になっていないとする論文も出ている[12]。ETH については、OpenAI の範囲文書自身が、Lean で証明される上界は論文の主張より弱いと明記している[9]。（分析）準指数性（$2^{o(n)}$）を示すには足りる形だが、計算モデルや符号化の妥当性は人間の確認を要する。Anthropic も、Lean の定理文が論文と一致するかは機械では確認されないと README で明記している[23]。

3.5　ETH 反証の意味の限定

Anthropic 版の証明を公開前に読んだ Jelani Nelson は、両証明ともおよそ $\exp(O(n/\sqrt{\log n}))$ の時間に達すると述べている[24]。これはどんな 2^{cn} よりも速いが、多項式時間からは程遠い。P≠NP 問題は決着しておらず、一般の多項式時間帰着では準指数性が保存されないため、全 NP 問題が準指数時間で解けることにもならない[2]。Anthropic も、結果は純粋に漸近的なもので、実用的な SAT 求解の高速化を意味しないと注記している[23,25]。他方、ETH に依拠する条件付きの結果は、Anthropic の文献調査で 800 本を超えるとされる[6]。

3.6　ミレニアム懸賞の要件

クレイ数学研究所の公式問題は、任意のコンパクト単純ゲージ群について、R^4 上の量子ヤン–ミルズ理論の存在と、質量ギャップ $\Delta>0$ の両方を求めている[26]。OpenAI は「存在」を懸賞問題の「一部」と表現し、質量ギャップには触れていない[1,3]。Scientific American も、懸賞問題のうち質量ギャップの部分は未解決のままだと整理している[4]。Gross 委員会も、閉じ込めと質量ギャップは依然として重要な未解決課題だと述べている[19]。クレイ研究所の公式な反応は、本調査では確認できなかった。

3.7　誇大宣伝・ラボ間競争との見方

Woit は 10 月 6 日の大量公開を「Slopocalypse」と呼んで批判した[8]。Williams も、10 月初旬の大量公開を「数学者への DDoS 攻撃」と批判していた[10]。9 月には、フィールズ賞受賞者 25 名が、AI 企業の急ぎの発表は適切な論文化や先行研究の引用を損なうとする公開書簡を出している[27]。今回は 3 成果が同日に発表され、Anthropic の ETH 反証がその数時間後に出たことから、ラボ間の先陣争いと見る報道もある[28]。また、全成果が査読もプレプリントサーバーも経ずに自社 GitHub で公開されており、ラボが管理しないリポジトリへの掲載を求める AGMAI の指針にも沿っていない[7]。

4. 過去の発表との比較・競合・国内の反応

表 3　OpenAI の数学・科学成果発表の推移

時期（2026 年）	発表	プロセス上の特徴・批判
8 月 1 日	Astra 内部版による 10 の未解決問題（Lean 証明付き、openai/ten-proofs）	論文と Lean を公開。プロンプトの非公開が指摘された[29]。外部監査論文も出た[30]
9 月 8 日	ナビエ–ストークス（外力付き）の爆発解	Buckmaster/Alpöge との優先権紛争が起き、クレイ研究所は慎重な姿勢を取った[31,32]
9 月 21〜29 日	AGMAI の発足と一般指針	モデル名、プロンプト、思考過程、試行回数、計算量の開示と、ラボ管理外のリポジトリへの掲載を求めた[7]
10 月 6 日	722 本の原稿を一括公開	「slop drop」と批判され、一部の証明に誤りがあった[2,8,33]
10 月 26 日（今回）	3 成果を分野別の方式で公開	NDA 不要、功績の不主張、検証会議への資金提供は前進。一方で指名方式と物理の非公開が新たな火種になった[1,7]

（分析）改善点ははっきりしている。成果ごとに原提唱者級の専門家を巻き込み、Lean 範囲文書で形式化の限界を自ら示し、功績を主張しないと宣言した。一方で、モデル名、プロンプト、思考過程、試行回数を開示するという AGMAI の中核的な要求は、依然として満たされていない[4,7]。

競合との比較：Anthropic は 10 月 26 日付の論文「A $2^{o(n)}$ Time Algorithm for 3-SAT」を著者「Claude（Anthropic）」名義で公開し、Lean 証明を 10 月 27 日 03:07（UTC）に GitHub へ掲載した[6,24]。中核アルゴリズムは 10 月 16 日に内部 Claude モデルが人間の入力なし、出力 1,400 万トークンで発見したとしている[6]。独立カーネル nanoda での追加検証も報じられている[15]。前述の Nelson は Anthropic に参加しており[34]、評価の独立性にはその点を考慮する必要がある。帰属の方針は対照的で、OpenAI が功績を主張しないのに対し、Anthropic は著者表記を Claude としている。Google DeepMind の同時期の動きは確認できなかった。

国内の反応：GIGAZINE（10 月 27 日）と CNET Japan（Yahoo!ニュース転載）は、発表内容を中立的に報じた[35,36]。XenoSpectrum（10 月 28 日）は範囲文書と論文を照合し、物理の非公開や質量ギャップへの言及がないことを整理している[3]。ITmedia は 10 月 6 日の一括公開を報じたが[37]、今回分の記事は確認できなかった。日経・Impress の報道や、名前の分かる日本人研究者の公的なコメントも確認できなかった。

5. 影響（分析）

5.1 学術コミュニティ

最も大きいのは規範形成への影響である。争点は 4 つある。①AI 生成成果を誰がいつ見るか（早期アクセスと公平性）、②検証・解説の労働をどう功績として扱うか（OpenAI の原則「評価」と ETH 書簡の問題提起は同じ方向を向いている）[1,5]、③AI の著者資格（OpenAI は功績を主張せず、Anthropic は著者表記を Claude とする）、④ラボ管理外のリポジトリと査読への接続[7]である。AGMAI の指針は数学向けであり、物理や理論計算機科学には直接は適用されない[7]。分野ごとのルールが並立する時期がしばらく続くとみられる。

5.2 計算複雑性・暗号

反証が正しければ、ETH を仮定した条件付き下界（グラフ理論、パラメータ化計算量、データベース、計算幾何など）の解釈が変わる。Williams も、多くの論文を見直す必要が出てくると述べている[10]。ただし、帰着や技法そのものの価値は残る[5]。暗号については、Williams が最初に確認したのは既存の暗号系への影響であり、OpenAI の科学責任者 Dan Roberts は既存の暗号系を破らないことを確認したと伝えられている[10,38]。主要な暗号方式の安全性は 3-SAT の困難性ではなく素因数分解や格子問題などに依拠しているため、即時の影響はないと考えるのが妥当である。一方で Williams は、アルゴリズムがさらに改良されれば、一部の鍵長の想定が破られうると指摘している[10]。細粒度計算量の議論や鍵長設計の前提は、今後の改良次第で見直しの対象になりうる。

5.3 理論物理（構成的場の量子論）

4 次元で相互作用する非可換ゲージ理論の厳密な構成は、数十年来の目標である。成立すれば、Balaban プログラムの完遂を意味する。Bauerschmidt（ニューヨーク大学）は、Balaban は「ほぼやり遂げていた」が、その論文を理解して正否を判断できる人はいないと述べている[4]。AI が「人間には読めない巨大な証明」を完成させ、人間の理解が後追いになるという構図が、物理でも現実になりつつある。質量ギャップと閉じ込めは未解決のままである[19]。

5.4 AI for Science・研究資金・政策

サイモンズ財団・Anthropic・OpenAI の 3 者による総額 1,500 万ドルの枠組み（10 月 15 日発表）は、検証・理解の作業に資金を流す仕組みとして重要であり、資金の管理と採択は財団が単独で行う[39,40]。ただし Anthropic の拠出額については、500 万ドルとする報道と、内訳は非公表とする報道がある[39,40]。一方、ETH の検証会議のように OpenAI が直接資金を出す形は、資金

配分を独立した非営利機関に委ねるべきとする AGMAI の考え方と緊張関係にある[7]。検証作業の資金源は、利益相反の観点から今後の政策論点になるとみられる。

5.5　知的財産・知財実務（法的評価は未確定であり留保付き）

(1) 特許適格性：定理や証明そのものは、日米ともに特許の対象外である（日本では「自然法則を利用した技術的思想の創作」に当たらず、米国では抽象的アイデアとして扱われる）。準指数 SAT アルゴリズムも、具体的な情報処理として請求すればソフトウェア関連発明として議論の余地はある。しかし、純粋に漸近的な結果で実用上の高速化は見込まれないため[23]、権利化の実益は乏しい。

(2) 先行技術化：GitHub で公開された資料は 10 月 26 日時点で公知の文献となり、関連する改良発明の新規性・進歩性の判断で引用されうる。結果として、防衛的公開と同じ効果を持つ。物理資料は非公開のため、この効果は生じていない。

(3) 発明者：AI は発明者になれないとする判断が、米国[41]、英国[42]、日本[43]でそろっている。AI が単独で生んだ成果に基づいて出願する場合、人間の発明者としての適格性が問題になる。

(4)「功績を主張しない」の射程：この宣言は学術上のクレジットに関するものであり[1]、特許権、著作権、リポジトリのライセンス上の権利を放棄する意思表示とは別物と解すべきである。リポジトリのライセンス条項は本調査では確認していないため、利用前の確認を勧める。

(5) 著作物性：AI が生成した文章そのものについては、米国で人間の著作者性を要件とする判断が出ている[44]。

(6) 進歩性の水準：長期的には、AI が短時間で非自明な結果を量産できるようになれば、「当業者」の水準や進歩性の判断に圧力がかかる可能性がある。ただし、現時点では推測の域を出ない。

6. 総合評価と今後の注目点（分析）

公開プロセスは、9 月のナビエ–ストークス騒動から明らかに改善した。一方で、シェパード方式そのものは AGMAI の勧告と正面から衝突しており、手続きの正統性が新たな争点になっている。成果の検証可能性は「ETH＞数学＞物理」の順に高い。今後の注目点は次の 4 つである。

① **ETH**：検証グループの最初の所見と、OpenAI が費用を負担する検証会議[1,5]。OpenAI 版と Anthropic 版の 2 系統がほぼ同じ上界に達している点は正しさを支持する材料だが[24]、それぞれ同等に精査する必要がある。最初に決着する可能性が最も高い。

② 数学：調和解析の専門家による、59 頁の論文と Lean の定理文の照合結果。それまでは「全次元のカケヤ予想が解決した」と確立した事実として引用しないことを勧める。

③ 物理：Gross 委員会の検証と公開時期、AGMAI の公開要求への OpenAI の対応、クレイ研究所の公式見解。それまでは「ミレニアム問題を解いた」という表現は不正確である。

④ 実務：暗号の安全性評価を変える必要は現時点ではない。知財の観点では、公開資料を先行技術として記録しておくこと、AI の関与を含む研究成果について発明者・著作者の記録を残しておくことを勧める。

7. 本調査の留意事項

- OpenAI 公式ページは直接取得できなかったため、本文はユーザー提供の PDF と、報道・関係者ブログで照合した。Scientific American も自動取得が拒否されたため、検索結果の抜粋と転載版で確認した。
- 使用公理や nanoda による検証の有無などは二次情報であり、独立には検証していない。
- サイモンズ財団の拠出内訳は、報道によって食い違っている。
- 証明の正しさ、懸賞の扱い、知財上の評価はいずれも未確定である。第 5・6 章の影響分析は推論を含む。
- 発表から 2 日しか経っておらず、専門家の反応はまだ限られている。名前を挙げた人物は、公的な反応が確認できた人に限った。

参考文献

注：URL は 2026 年 10 月 28 日の調査時に検索結果等から得たものである。† は、本文書作成時に本文を直接取得できず（アクセス制限等）、提供資料・検索結果の抜粋・転載版等で内容を確認したもの。‡ は、集約・解説サイト等の二次情報であり、一次情報との照合を勧めるもの。無印の URL についても、本文書作成時点で全件の再閲覧は行っていない。判決は URL を省略した。

[1] OpenAI, “Working with academic communities to build scientific understanding”, OpenAI（Research / Publication）, 2026 年 10 月 26 日. https://openai.com/index/building-scientific-understanding-with-academic-communities/ †（本文はユーザー提供の PDF（英語原文・日本語機械翻訳版）で確認）

[2] OpenAI「openai/math（README、論文「The Exponential Time Hypothesis is False」等）」, GitHub, 2026 年 10 月. https://github.com/openai/math

[3] XenoSpectrum, “OpenAI Claims AI Produced New Results in Math, Computer Science and Physics, but Withholds the Physics Proofs”, XenoSpectrum（英語版）, 2026 年 10 月 28 日. https://xenospectrum.com/en/openai-yang-mills-kakeya-eth-release/

[4] Scientific American, “Dueling proofs from OpenAI and Anthropic astound scientists”, 2026 年 10 月. https://www.scientificamerican.com/article/dueling-proofs-from-openai-and-anthropic-astound-scientists/ †（自動取得が拒否されたため、検索結果の抜粋および Yahoo!転載版で確認）

[5] R. Impagliazzo, R. Paturi, R. Williams「ETH に関する公開書簡（open letter）」, ETH discussion blog, 2026 年 10 月. https://ethdiscussion.blog/

[6] FourWeekMBA, “Anthropic Says Claude Also Refuted ETH, Using 14M Tokens”, 2026 年 10 月. https://fourweekmba.com/ai-anthropic-says-claude-also-refuted-eth-using-14m-tokens/ ‡

[7] Advisory Group on Mathematics and Artificial Intelligence（AGMAI）「公式サイト（発足告知、一般指針、10 月 25 日・26 日の声明）」, agmai.org, 2026 年 9〜10 月. https://agmai.org/

[8] Peter Woit「Not Even Wrong（ブログ。「Secret Unified Physics Slop」等の記事）」, Columbia University, 2026 年 10 月. https://www.math.columbia.edu/~woit/wordpress/（個別記事の URL は未特定）

[9] OpenAI「lean/docs/378.md（ETH 形式化の範囲文書）」, GitHub openai/math, 2026 年 10 月. https://github.com/openai/math/blob/main/lean/docs/378.md

[10] TechCrunch, “Frontier AI labs say their models refuted the Exponential Time Hypothesis. What does that mean?”, 2026 年 10 月 27 日. https://techcrunch.com/2026/10/27/frontier-ai-labs-say-their-models-refuted-the-exponential-time-hypothesis-what-does-that-mean/

[11] Technology.org, “OpenAI Says Its AI Disproved the Exponential Time Hypothesis”, 2026 年 10 月 28 日. https://www.technology.org/2026/10/28/openai-exponential-time-hypothesis-disproof-lean-kakeya/ ‡

[12] redreamality, “OpenAI Math's Correction Week: What a Passing Lean Proof Actually Verifies”, ブログ, 2026 年 10 月. https://redreamality.com/blog/ai-math-verification-lean-faithfulness/ ‡（Hansen「Navier–Stokes lost in translation」（arXiv、10 月 6 日投稿）の紹介を含む）

[13] Lean FRO, “Comparator”, Lean Reservoir. https://reservoir.lean-lang.org/@leanprover/Comparator

[14] Lean FRO, “Validating a Lean Proof”, The Lean Language Reference（4.30.0-rc2）. https://lean-lang.org/doc/reference/4.30.0-rc2/ValidatingProofs/

[15] lilting.ch, “OpenAI and Anthropic Refute ETH on the Same Day: Complexity Formulas, Lean Proofs, and Verification Status”, 2026 年 10 月. https://lilting.ch/en/articles/eth-exponential-time-hypothesis-refuted-openai-anthropic ‡

[16] Ryan Williams「X 投稿」, X, 2026 年 10 月. https://x.com/rrwilliams/status/2114833321675112826 †

[17] Lance Fortnow, “Open No More”, Computational Complexity（ブログ）, 2026 年 10 月. https://blog.computationalcomplexity.org/2026/10/open-no-more.html

[18] Hacker News「関連スレッド（Scott Aaronson のブログ発言の引用を含む）」, 2026 年 10 月. https://news.ycombinator.com/item?id=50251661 ‡

[19] D. Gross, M. Douglas, A. Jaffe, I. Klebanov, N. Nekrasov, “Proof by OpenAI of the Existence of Quantum Yang-Mills theory”, KITP（UC Santa Barbara）, 2026 年 10 月. https://www.kitp.ucsb.edu/sites/default/files/YM_working_group.pdf

[20] C. Tolomia, “OpenAI said its AI cracked major problems in math, computing, and physics”, Quartz, 2026 年 10 月 27 日. https://qz.com/openai-ai-discoveries-math-computer-science-physics-102726

[21] The Next Web, “OpenAI says its AI model has disproved the Exponential Time Hypothesis”, 2026 年 10 月 26 日. https://thenextweb.com/news/openai-exponential-time-hypothesis-false-kakeya-yang-mills

[22] Levent Alpöge「X 投稿」, X, 2026 年 10 月. https://x.com/__alpoge__/status/2114838067953770981 †

[23] Latenode News, “Anthropic posts Claude-linked 3-SAT claim to refute ETH”, Latenode, 2026 年 10 月. https://latenode.com/news/anthropic-posts-claude-linked-3-sat-claim-to-refute-eth ‡

[24] CellCog, “Claude Refuted ETH Too: Anthropic's 3-SAT Paper Explained”, CellCog Blog, 2026 年 10 月. https://cellcog.ai/blog/claude-refutes-eth-3-sat/ ‡

[25] R&D World, “OpenAI says its AI models produced major proofs in mathematics, computer science and physics”, 2026 年 10 月. https://www.rdworldonline.com/openai-ai-refuted-exponential-time-hypothesis-math-physics-proofs/

[26] A. Jaffe, E. Witten「Quantum Yang–Mills Theory（公式問題記述）」, Clay Mathematics Institute.（URL 省略）

[27] TechCrunch, “OpenAI's feud with mathematicians is only escalating”, 2026 年 9 月 11 日. https://techcrunch.com/2026/09/11/openais-feud-with-mathematicians-is-only-escalating/

[28] RuntimeWire「Anthropic posts its own ETH refutation hours after OpenAI（以下略）」, 2026 年 10 月. https://runtimewire.com/article/anthropic-posts-its-own-eth-refutation-hours-after-openai-as-lance-fortnow-says- ‡（表題は URL から推定）

[29] Simon Willison, “Ten advances in mathematics and theoretical computer science”, Simon Willison's Weblog, 2026 年 8 月 1 日. https://simonwillison.net/2026/aug/1/ten-advances-in-mathematics

[30] 「arXiv:2608.14673（Astra 10 問に関する外部監査論文とされる）」, arXiv, 2026 年 8 月. https://arxiv.org/pdf/2608.14673（表題は未確認）

[31] Wikipedia, “Navier–Stokes priority controversy”, Wikipedia（英語版）. https://en.wikipedia.org/wiki/Navier%E2%80%93Stokes_priority_controversy ‡

[32] XenoSpectrum「OpenAI のナビエ–ストークス特異点主張とクレイ研究所をめぐる記事」, XenoSpectrum（英語版）, 2026 年 9 月. https://xenospectrum.com/en/openai-navier-stokes-singularity-clay-dispute/（表題は URL から推定）

[33] Scientific American, “The most exciting claims from OpenAI's heap of new proofs”, 2026 年 10 月. https://www.scientificamerican.com/article/the-most-exciting-claims-from-openais-heap-of-new-proofs/ †

[34] Wikipedia, “Jelani Nelson”, Wikipedia（英語版）. https://en.wikipedia.org/wiki/Jelani_Nelson ‡（Anthropic 参加の記載は SFGate の報道を出典とする）

[35] GIGAZINE「OpenAI の 3 つの新発見に関する記事」, GIGAZINE（英語版 URL）, 2026 年 10 月 27 日. https://gigazine.net/gsc_news/en/20261027-openai-three-new-discoveries/（表題は未確認）

[36] CNET Japan（Yahoo!ニュース転載）「OpenAI の発表に関する記事」, Yahoo!ニュース, 2026 年 10 月 27 日. https://news.yahoo.co.jp/articles/f9fbb964b0086e7ebd44c9455f8f02cbf650b527（表題・転載元は調査時の情報による。未確認）

[37] ITmedia NEWS「OpenAI の数学成果一括公開に関する記事」, ITmedia, 2026 年 10 月 7 日. https://www.itmedia.co.jp/news/article/2610/07/2000002071/（表題は未確認）

[38] The AI Insider, “OpenAI Advances Proactive Agents and AI Math Breakthroughs While Facing Lawsuit Over ChatGPT Medical Advice”, 2026 年 10 月 28 日. https://theaiinsider.tech/2026/10/28/openai-advances-proactive-agents-and-ai-math-breakthroughs-while-facing-lawsuit-over-chatgpt-medical-advice/ ‡

[39] FourWeekMBA, “OpenAI and Anthropic back Simons' $15M AI-for-math push”, 2026 年 10 月 15 日. https://fourweekmba.com/ai-openai-and-anthropic-back-simons-15m-ai-for-math-push/ ‡（表題は URL から推定）

[40] GrantedAI「Simons Foundation・Anthropic・OpenAI の 1,500 万ドル枠（10 月 15 日公募）に関する解説」, GrantedAI Blog, 2026 年 10 月. https://grantedai.com/blog/simons-foundation-anthropic-openai-15-million-ai-mathematics-october-15-2026-open-call-workshops-722-manuscripts-compute-in-kind-not-research-grants-strategy ‡（表題は URL から推定）

[41] Thaler v. Vidal, 43 F.4th 1207 (Fed. Cir. 2022)（米国連邦巡回区控訴裁判所、2022 年 8 月 5 日）

[42] Thaler v Comptroller-General of Patents, Designs and Trade Marks [2023] UKSC 49（英国最高裁判所、2023 年 12 月 20 日）

[43] 知財高判令和 7 年 1 月 30 日（令和 6 年(行コ)第 10006 号）（知的財産高等裁判所、2025 年 1 月 30 日）（最高裁が 2026 年 3 月 4 日に上告を退けたとの報道があるが未確認）

[44] Thaler v. Perlmutter, No. 23-5233 (D.C. Cir. Mar. 18, 2025)（米国コロンビア特別区巡回区控訴裁判所、2025 年 3 月 18 日）（2026 年 3 月の裁量上告不受理は単一の二次情報によるもので未確認）