「リーマン予想、Claudeで証明か」深掘り調査レポート：1,740万行の形式証明が突きつける数学とAIの歴史的転換点

Gemini 4 Carbon

2026年11月21日、読売新聞をはじめとする国内外の主要メディアが一斉に報じた「『リーマン予想』、Claudeで証明か…Anthropicの数学者が発表」というニュースは、単なるAIの性能宣伝やよくある「自称・難問解決」の類ではない[1]。米AI開発企業Anthropicに所属する数論学者レベント・アルポゲ（Levent Alpöge、一部報道ではアルペゲ）氏が現地時間11月20日に個人サイトで公開したのは、1859年の提起以来167年間にわたり未解決だった数学界最大の難問「リーマン予想（RH）」およびディリクレのL関数に関する「一般化リーマン予想（GRH）」を、同社のAIモデル「Claude」との協働によって証明したとする4ページの声明と、コンピュータが論理を1行ずつ厳密に検査できる定理証明支援系「Lean 4」で記述された1,737万4,215行（約1,740万行）の形式証明コードである[1]。

新聞の第一報では「証明の正しさについて第三者の専門家が今後、検証を進める」と伝えられたが[1]、日本時間**11**月**21**日夜の時点ですでに第三者による機械的検証は劇的な進展を見せている[4]。マサチューセッツ工科大学（MIT）の数学者アンドリュー・サザーランド（Andrew Sutherland）氏らによる独立検証の結果、全17万5,187個のコードモジュールがエラーゼロでコンパイルを通過しただけでなく、未証明の独自仮定（追加公理）が含まれないこと、さらに独立して実装された複数の外部検証器（nanoda、con-leche、lean4lean）すべてが証明データやコンパイル済みモジュール全体を受理したことが確認された[3]。加えて、複素関数を介さない初等的な自然数の約数和の不等式（ロバンおよびラガリアスの同値条件）へ接続した照合も通過しており、サザーランド氏は不審な点が紛れ込んでいる確率を「ほぼゼロ」と見積もっている[3]。

ただし、現時点で「リーマン予想が公式に解決し、100万ドルの懸賞金が確定した」と結論づけるのは時期尚早である[7]。今回の発表には人間が読んで理解できる学術論文が一切存在しない[7]。AIが出力した自然言語の草稿は25万ページを超える読解不能な長大テキストであったため公開が見送られており、著者であるアルポゲ氏自身も「高階数群上の保型形式など、Claudeが主導した後半の技術的詳細を自分自身まだ完全には理解していない」と率直に認めている[1]。すなわち科学史上極めて異例なことに、「人間の理解」よりも先に「機械による論理検証」がほぼ完了するという認識論的な逆転が起きたのであり、残る一部の機械的再現検査に加え、人間の数学者による概念的解読とクレイ数学研究所の公式認定（査読誌掲載および最低2年間の待機期間）には今後数カ月から数年を要する見通しである[6]。

報道の裏側と発表の全貌：何が公開され、何が公開されなかったのか

読売新聞（ワシントン＝中根圭一記者、11月21日配信）などの一般紙報道では、「アンソロピックに所属する数学者が20日、生成AI『クロード』を使い、リーマン予想を証明したと自身のウェブサイトで発表した」「証明を文章にすると25万ページを超えた」「ゴール間際にはクロードは私をはるかに追い越した」という骨子が報じられた[1]。この一見にわかには信じがたい主張が公開直後から世界中の数学

者を動かした最大の理由は、発表者の確固たる学術的実績と、公開されたデータが「検証可能なコード」であった点にある[8]。

発表者のレベント・アルポゲ氏（1992年生まれ、米国・トルコ二重国籍）は、現代の数論分野で高く評価されてきた研究者である[8]。ハーバード大学学部時代に1年次の数学講義「Math 55」をきっかけに数学の道へ進み、在学中に数論や確率論などで7本の研究論文を執筆して、全米の学部生による最優秀数学研究に贈られる「モーガン賞（2015年）」を受賞した[8]。その後、チャーチル奨学生としてケンブリッジ大学（Mathematical Tripos Part III）に学び、2020年にプリンストン大学にてフィールズ賞受賞者マンジュル・バルガヴァ（Manjul Bhargava）教授の指導のもとで博士号を取得、ハーバード大学ソサエティ・オブ・フェローズのジュニア・フェローを務めた経歴を持つ[8]。2025年1月には数学専門誌『Inventiones Mathematicae』にて、バルガヴァ氏らとの共著で「任意の代数体において多項式方程式が整数解を持つかを判定する汎用アルゴリズムは存在しない」ことを示し、ヒルベルトの第10問題の広範な拡張版を解決した[8]。OpenAIのGPT-4登場後に高度なAIの到来を人類にとって有益なものにする目的でAnthropicの技術スタッフへ転じた同氏は、2026年7月20日に3次元ヤコビアン予想の反例を発表（同日中に3名の独立研究者が計算機確認を公表）、同年8月には同僚のラルフ・ファーマン（Ralph Furman）氏とともに未公開の研究版Claude（2セッションで計3,100万出力トークンを消費）を用い、リーマンゼータ関数の非自明な零点が臨界線上に存在する割合の下界を従来の41.6%から67.2%（Montgomery–Taylorの窓関数で67.25%）へと大幅に引き上げる成果（arXiv:2608.13637）を挙げていた[4]。

そのアルポゲ氏が2026年11月20日に個人サイト（alpo.ge）で公開したのは、従来の数学論文ではなく、わずか4ページの個人的覚書（remark.pdf）と、14個に分割されたLean 4の圧縮ソースコード（lean.tar.gz.part01〜part14、合計239,275,554バイト＝約239 MB）のみであった[4]。このアーカイブを展開すると、17万5,187個のファイル（モジュール）、1,737万4,215行のコード、約81万9,000個の定理および補題から成る巨大な形式証明体系が現れる[4]。

通常の論文を公開しなかった理由について、アルポゲ氏は覚書の脚注で具体的な経緯を明かしている[5]。形式証明と並行して人間向けの自然言語による草稿を出力させたところ、Claudeが冗談めかして「GRHの本（book）」と呼んだその文書は**25**万ページを突破し、しかもその「定理1」の書き出しは「実数は全順序集合であるため、$\sigma \neq 1/2$ ならば $\sigma > 1/2$ または $\sigma < 1/2$ である」という極端に基礎的な確認から始まっていた[5]。アルポゲ氏は、このような人間が到底読み通せないAI量産テキストの塊を「slop（粗悪な大量生成物）」と呼び、それを公開して数学界に負担をかけることは明らかに不適切だと判断して、機械が論理の真偽を厳密に検査できるLeanコードのみを提示する道を選んだ[5]。なお、使用されたAIモデルの具体的なバージョンや計算資源について覚書内では単に「Claude」とだけ記されており詳細は非公表だが[5]、数学者のテレンス・タオ（Terence Tao）氏らは「内部AIモデル」と指摘している[21]。参考までにAnthropicは発表の11日前（11月9日）に最新鋭モデル「Claude Fable 5.2」および研究機関向けの「Claude Mythos 5.2」を公開し、約1,000個のAIエージェントを協調させて「フェルマーの最終定理」のLean 4形式化（約1,300万行、同年9月の初回実行では11日間を要した作業）を約30時間（28.7時間）で完遂したと発表したばかりであった[13]。

また、今回証明されたと主張される数学的範囲も正確に整理しておく必要がある。コード内の主要ファイル（Main.leanおよびStatements.lean）に形式化されているのは、通常のリーマン予想（RH）に加え、すべての法 $N > 1$ とすべてのディリクレ指標 χ に対するディリクレ**L**関数 $L(\chi, s)$ を対象とした一般化リーマン予想（GRH）に関する主要5定理である[4]。一方、デデキントゼータ関数やヘッ

ケL関数、一般の保型L関数までを含む「拡張リーマン予想（ERH）」は今回のコードには含まれておらず、アルポゲ氏が「もう少し時間をかければ解決できると見込んでいる」と述べる段階にある[4]。

証明は本物か：公開後24時間で進んだ独立検証の最前線

AIが生成した約1,740万行ものコードに対して数学者や形式検証の専門家が真っ先に抱いた疑問は、「AIがLeanの処理系のバグや抜け道を悪用して見かけ上の証明を通したのではないか」、あるいは「定義を微妙に書き換えて、本来のリーマン予想とは異なる別命題を証明したのではないか」という2点であった[3]。インペリアル・カレッジ・ロンドンの数学者ケヴィン・バザード（Kevin Buzzard）氏も、形式証明において最初に決着させるべき問いは「Leanコードに書かれた定理が本当に本来のリーマン予想を述べているかどうかだ（わずかに異なる命題の完璧な証明であっても意味がない）」と釘を刺した[3]。

公開直後からMITのサザーランド氏や数学者・論理学者のエリオット・グレイザー（Elliot Glazer）氏、そしてLeanコミュニティの専門家たちが一斉に検証を開始し、公開から約24時間の間に多層的な監査結果が報告された[3]。

LEAN 4 形式証明アーカイブ・第三者検証スコアカード

独立検証カーネルが1,737万行の形式証明をエラーゼロで受理

Levent Alpöge氏とClaudeが公開したリーマン予想・一般化リーマン予想（ディリクレL関数）のコード規模と、公開後24時間以内に実施された多段階監査ステータス（2026年11月21日時点）

1. 公開された形式証明アーカイブの規模

Lean v4.33.1 / Mathlib v4.33.1 固定環境

Lean 4 総コード行数	総モジュール（ファイル）数	非圧縮エクスポート証明データ	自然言語換算の証明出力規模
17,374,215 行	**175,187** 個	**61.57** GB	**25万** ページ超
約81.9万個の定理・補題を含む（圧縮配布アーカイブ14分割・計239 MB）	Lean v4.33.1環境でエラー0件でビルド完了。標準3公理のみに依存	1,468,418個の宣言を出力（zstd圧縮時 7.7 GB / 検証に約50〜100 GB RAM）	著者声明文は4ページの概要のみ。Claudeが冗談めかして「GRHの本」と呼称

2. 第三者検証パイプラインの8段階ステータス

● 完了 (Pass)　● 進行中　● 今後の課題　※各行クリックで時刻・技術詳細を表示

検証項目・使用ツール	排除された懸念・検証データ詳細	ステータス
01 **全モジュールビルド・公理監査** `Lean v4.33.1` `#print axioms` `Mathlib`	**未完成証明（sorry / admit）や独自公理の混入リスクを排除** 全175,187モジュールがエラー0件でコンパイル完了。主要5定理は標準3公理（propext, Classical.choice, Quot.sound）のみに依存し、8,322個のMathlibファイルも公式キャッシュと完全一致。	完了 詳細 ▼
02 **標準カーネル全件リプレイ検査** `leanchecker`	**コンパイル時のキャッシュ不整合やビルド中間生成物の破損を排除** コンパイル済みの全175,187モジュールを標準検証器 leanchecker で独立に再検査し、拒否（リジェクト）0件で全件通過。	完了 詳細 ▼
03 **独立外部カーネル検証 ①（Rust製）** `nanoda` `lean4export`	**Lean 4.33.1既知バグや自作タクティク（kexactB, kcopy）の悪用リスクを排除** Lean本体とは独立にRustで実装された外部検証器 nanoda が、61.57 GBのエクスポート証明データ全体を80スレッド・27分42秒でエラーなく受理（終了コード0）。	完了 詳細 ▼
04 **独立外部カーネル検証 ② & 5定理照合** `con-leche` `--compare`	**証明対象の定義の書き換え・すり替わりリスクを排除** 独立検証器 con-leche が全1,468,418宣言を64スレッド・3分15秒で受理。比較モード（51,692宣言）でMathlib定義のRH・ディリクレGRH主要5定理と一致を確認。	完了 詳細 ▼
05 **Lean 4記述カーネルによる全件検証** `lean4lean`	**C++ / Rust実装固有の解釈差異リスクを排除（第3の独立カーネル）** Lean 4自身で記述された独立カーネル lean4lean で全175,187モジュールが通過（既定設定で175,182件通過、decide計算上限に達した5件も上限引き上げで通過）。	完了 詳細 ▼
06 **初等算術の同値命題との結合検証** `Robin1984` `con-leche` `nanoda`	**Mathlib内部の複素ゼータ関数定義そのものの不備・解釈違いリスクを排除** 複素解析を介さない約数和 $\sigma_1(n)$ と調和数 H_n の不等式（ロバンおよびラガリアスの同値条件）を結合し、無仮定で導出。結合証明（1,472,825宣言）を con-leche と nanoda（33分46秒）が共に受理。	完了 詳細 ▲
	記録時刻・目安：2026-11-21 11:29:06〜11:56:46 JST (02:29〜02:56 UTC) kimihiro64/Robin1984 の形式化と結合し、$\forall\, n > 5040,\ \sigma_1(n) < e^{\gamma}\, n \log(\log n)$ などの初等算術命題を標準3公理のみで証明。ゼータ関数の定義に万一の落とし穴があってもすり抜けられない決定的なクロスチェック。	
07 **隔離ビルド再現性・厳格モード通し検証** `lake comparator` `Paranoid Kernel` `LUMI`	**非隔離ビルド環境依存やシンボル再定義の残存リスクを監査** lake comparator の定理文照合・公理検査は通過し、シングルスレッドの標準／厳格（Paranoid）カーネル検査が継続中。LUMIスパコンの無線遮断隔離環境でも全ビルド成功・Main.oleanハッシュ一致が報告。	進行中 詳細 ▼
08 **人間の数学者による解読・査読論文・認定** `査読付き学術誌` `Clay数学研究所規則`	**「なぜ証明が成り立つのか」の数学的理解と学術界の公式受容** 1,737万行（25万ページ超）の形式証明を人間が追跡可能な数学論文へ簡略化・再構築する作業は未着手。クレイ数学研究所の認定には出版と2年以上の経過が必要。	今後の課題 詳細 ▼

3. 検証済みの数学的対象範囲と未完了領域の対比

機械的整合性（数時間〜1日） vs 人間による解読・制度的認定（数年規模）

機械検証完了：RH・ディリクレGRH（24h以内）　隔離検証中　未了：人間による解読・査読論文・拡張領域

● 機械検証完了領域（RH・ディリクレGRH）

通常のリーマン予想（RH）および全ての法・全てのディリクレ指標に対する一般化リーマン予想（GRH）の主要5定理、ならびにロバン／ラガリアスの初等算術不等式。Lean標準の3公理のみから論理的に導出されることが複数の独立カーネルで確認済み。

● 人間による解読・クレイ研究所認定・対象外領域（未了）

4ページの声明文からテータリフト連鎖（約 $X^{1/2}$ 回）等の数学的議論を簡略化・再構築する作業は未着手。ミレニアム懸賞認定には適格媒体での出版と2年以上の経過・数学界の受容が必要。なおデデキントゼータ関数等の拡張リーマン予想（ERH）は今回のコードに含まれない。

2026年11月21日時点におけるMITのAndrew Sutherland氏らによる独立検証結果の概要。全モジュールはLean標準の3公理のみに依存しており、実装言語の異なる複数の外部検証カーネルや初等的な約数和の同値条件（ロバンおよびラガリアスの不等式）による照合も通過した。残る最大の壁は機械的な論理整合性ではなく、人間による数学的解読と査読論文への再構成である。

Data sources: Andrew Sutherland (MIT Verification Report), Levent Alpöge (Personal Statement), XenoSpectrum, lean4.dev, 加藤文元 (note), Nacionale

サザーランド氏の検証レポート（11月21日12:55 UTC＝21:55 JST更新）および数学者の加藤文元氏による技術解説（同22:37 JST更新）を踏まえると、この初期検証が持つ論理的な意味は次の3点に集約される[4]。

第一に、「未完成箇所の放置」や「不正な独自公理の混入」はコードおよび公理監査によって排除された[4]。Leanでは証明を省略するsorryやadmit、あるいは外部評価をそのまま信じるnative_decideといった命令を使うと見かけ上のコンパイルを通すことができるが、ソースコード検索と監査によりこれらは一切含まれていないことが確認された[6]。また、#print axiomsコマンドによる検査で、主要5定理が依存している公理はLeanが標準で備える3つの基礎公理（命題外延性propext、選択公理Classical.choice、商の健全性Quot.sound）のみであり、標準数学ライブラリ「Mathlib（v4.33.1）」の8,322ファイルおよび依存378ファイルも公式キャッシュとバイト単位で完全一致していた[4]。

第二に、「**Lean 4.33.1**のバグ悪用」や「自作タクティクによる型検査の迂回」のリスクも極小化された[6]。当初の懸念材料として、今回のコードがやや古いLean 4.33.1（後の4.34.0/4.34.1で健全性バグが修正された版）に固定されていたことや、型照合を迂回する自作タクティク（kexactBやkcopyなど）が含まれていた点が指摘された[6]。しかしLeanの設計上、タクティクがどのような経路で証明項を作ったとしても、最終的には小さな中核検査プログラムである「カーネル」の検査を通過しなければならない[3]。サザーランド氏は標準のleancheckerによる全17万5,187モジュールの再検査（拒否ゼロ）に加え、書き出された低レベルの証明データ全体（圧縮時7.7 GB、展開時61.57 GB、146万8,418個の宣言）を、Lean本体とは独立してRustで実装された外部カーネルnanodaおよび別の独立外部検証器con-lecheに投入し、さらに独立検証器lean4leanでも全17万5,187モジュールを検査した（うち5モジュールは初期設定のステップ上限に達したが、上限引き上げ後の再実行で通過）[3]。日本時間11月21日午前7時までにこれら独立検証器のすべてが証明を受理したため、処理系のバグや自作タクティクによって偽の証明が成立していた可能性は「極めて低い」と判断されている[4]。

第三に、最も警戒された「命題の取り違え（定義のすり替わり）」に対しても二重の独立照合が通過した[4]。まずcon-lecheの比較機能（--compare）により、提出コードがMathlibの標準定義であるRiemannHypothesisを含む独立用意された主要5定理を正当に証明していることが確認された[3]。さらに、Mathlib内部のゼータ関数の定義自体に不備や解釈のズレがある可能性すら切り離すため、サザーランド氏は外部の独立形式化リポジトリ（kimihiro64/Robin1984）とアルポゲ氏の証明を結合するクロスチェックを実施した[4]。ロバン（Robin、1984年）およびラガリアス（Lagarias）の同値条件によれば、リーマン予想は複素関数を使わずとも、自然数の約数和 $\sigma_1(n)$ と調和数 H_n に関する以下の初等的不等式と完全に同値である[4]。

$$\forall n > 5040, \quad \sigma_1(n) < e^{\gamma} n \log(\log n)$$

$$\forall n > 0, \quad \sigma_1(n) \leq H_n + e^{H_n} \log(H_n)$$

日本時間11月21日正午までに、アルポゲ氏の証明と結合してこれら2つの初等算術命題を仮定なし（標準3公理のみ）で導出する証明（非圧縮61.75 GB、147万2,825宣言）がcon-lecheおよびnanodaの双方で受理された[4]。また、サザーランド氏の初回ビルドが非隔離環境（絶対パス文字列が一部の.oleanファイルに埋め込まれる環境）で行われた点についても、欧州のスーパーコンピュータ「

LUMI」のネットワーク遮断環境で全ビルドが再現され、主要出力（Main.olean）のハッシュ一致が報告されている[4]。シングルスレッドでのデフォルト・厳格（paranoid）カーネル検査やlake comparatorの全工程完走など最終的な再現性確認は継続中であるものの、加藤文元氏は「形式体系内における証明の正しさに関しては非常に強い根拠が揃っており、『リーマン予想の証明はすでに存在している』と言って差し支えない状況にある」と総括している[4]。

数学的アプローチと「人間×Claude」の協働メカニズム

では、167年間すべての数学者を退けてきた難問を、アルポゲ氏とClaudeはどのような数学的発想と役割分担によって攻略したのか。

1859年にドイツの数学者ベルンハルト・リーマンが提起したリーマン予想とは、リーマンゼータ関数 $\zeta(s)$ の自明でない零点（負の偶数 -2, -4, -6, … を除く $\zeta(s) = 0$ となる複素数 s、ただし極である $s = 1$ を除く）が、すべて複素平面上の実部 1/2 の直線（臨界線 $\mathrm{Re}(s) = 1/2$）上に乗るという主張である[1]。これは x 以下の素数の個数 $\pi(x)$ を対数積分 $\mathrm{Li}(x)$ で近似した際の誤差が $\pi(x) = \mathrm{Li}(x) + O(\sqrt{x}\log x)$ の範囲（平方根のオーダー）に収まることと同値であり、素数分布の揺らぎの上限を決定づける[4]。これまでコンピュータ計算により最初の10兆個の零点が臨界線上にあることは確認されていたが、数値確認をどれほど続けても「その先に1つでも外れた零点がないこと」の証明にはなり得なかった[9]。

アルポゲ氏の覚書（remark.pdf）およびテレンス・タオ氏、イースト・アングリア大学の数論学者クリス・バークベック（Chris Birkbeck）氏、チリ・カトリック大学の数学者ヘクトル・パステン（Hector Pasten）氏らの初期分析から見えてきた今回の証明の本質は、「有限体（関数体）の世界で成功していた初等的証明法を、現代ラングランズ・プログラムと保型形式の重厚な理論装置を架け橋として整数の世界へ移植した」こと、そして「人間の大局的直観とAIの超人的な技術的実装力という分業により、人間の理解より先に形式証明が完成した」という二重の構造転換にある[3]。

数学的な出発点となったのは、有限体上の曲線に対する「ヴェイユのリーマン予想」について、1969年にセルゲイ・ステパノフ（Sergei Stepanov）が考案し、1974年にエンリコ・ボンビエリ（Enrico Bombieri）が整備した別証明（ステパノフの手法）である[4]。ステパノフの手法では、同じ対象が何重に現れるかを表す「多重度（multiplicity）」を伴う因子（高次の微分に対応）を構成して零点の位置を制約する[4]。しかし、通常の整数の世界には関数体における微分のような操作がそのままでは存在しないため、多重度を直接構成することが長年の障壁となっていた[5]。

アルポゲ氏はまず、フーリエ解析的な着想を用いた単純化モデル（トイ・セッティング）で2つの異なるアイデアを組み合わせる大枠の方針を立て、整数の世界において「生来的に保型的な（natively automorphic）多重度」を実現する舞台へと議論を導いた[5]。具体的には、総定値ユニタリ群の間で保型表現を移し替える「テータリフト（theta lift）」という操作を $U(X_0) \to U(X_1) \to \cdots \to U(X_m)$ と反復連鎖させることで、多重度 m を保型形式の枠組みで模倣するアプローチである[4]。

ここで決定的な突破口を開いたのがClaudeの提案だった[4]。素数を数えるフォン・マンゴルト関数 $\Lambda(n)$ の和の長さを X としたとき、テータリフトを連鎖させる鎖の長さ m を X の平方根（$m \sim \sqrt{X}$）に設定するという着想をClaudeが打ち出したのである[4]。アルポゲ氏は「この一手を見せれば同僚が椅子から転げ落ちるほど驚くだろう」と振り返っている[32]。さらに2026年10月6日から11

月16日までの約6週間（20ステップの開発タイムライン）にわたり、ラリスのシーソー双対対（Rallis seesaw）によるベッセル周期やガン・グロス・プラサド（GGP）周期の評価、5次一般線形群の6重被覆群における保型性と相対跡公式、ベーレント（Behrend）の構成を用いた岩澤タワー、ボスト（Bost）の傾き不等式、ガロアコホモロジーにおけるヴァンディヴァー予想の大幅な弱体化版、さらにはCM体上の一般線形群のカスプ保型表現に付随するガロア表現や保型性持ち上げ議論など、現代数論と算術幾何学の高度な道具立てが縦横に連結された[5]。

特筆すべきは、この最終局面で生じた人間とAIの役割の逆転である。アルポゲ氏は覚書の中で、「若気の至りの頑固さから、私自身は高階数群上の保型形式をほとんど習得しておらず、自分の専門領域の外（out of my element）にあった」と明かし、その領域の技術的遂行はClaudeが主導したと述べている[5]。

> 「ゴールが近づくにつれて、Claudeは私をはるかに追い越していった。いや、ゴールの間際で、Claudeは飛び、踊り、きらめいたのだ」[5]

さらに脚注では、Claudeが専門家として主導した箇所に関する自身の説明について「AIの要約を言い換えたようなもので、全く意味をなしていないかもしれないことをお詫びするが、Leanコードがすべてを明確にしてくれるはずだ」と記している[5]。従来の数学研究では、まず人間が概念的洞察を深めて簡潔な論文を執筆し、コンピュータによる形式検証はその後に行われる（あるいは行われない）のが当然の順序であった[7]。今回は、人間が問題設定と類推の方向性を舵取りし、AIが人間の把握しきれない専門領域の道具立てと超人的な持久力を発揮して1,737万行の厳密な論理を構築した結果、「コンパイラによる機械的検証」が「著者自身を含む人間の理解」よりも先に到達したのである[7]。

この証明内容の意義について、リーマン予想研究の世界的権威である米国の数学者ブライアン・コンリー（Brian Conrey）氏は「数学史上最大の出来事であり、人類史の記念碑的瞬間だ」と評した[11]。また、パステン氏は「もし証明が正しく、かつ理解されれば、異なる数学分野の間の辞書を完成させる『ロゼッタ・ストーン』のようなものになる」と語り、コンコルディア大学およびGoogle DeepMindに所属するカルロ・パガーノ（Carlo Pagano）氏も概要の初期検討から「証明内の新しいアイデアが数論における全く新しい思考の道を切り開く可能性は非常に高い」との見解を示している[3]。アルポゲ氏自身も、現在の長大な議論は今後大幅に簡略化されるはずだと直観しており、自ら議論を完全に咀嚼してきちんとした論文にまとめる意向を表明している[5]。

同日に起きた2つのドラマ：スタンフォード「純人間証明」との対比とAnthropic上場問題

2026年11月20日という日を数学史とAI史において一層特異なものにしたのが、同日に重なった「人間の数学者による競合証明草稿の緊急公開」と「Anthropicの新規株式公開（IPO）」という2つの出来事である[7]。

1. 数時間後に公開された「AI不使用・12年越し」の人間による証明草稿

アルポゲ氏がLean証明を公開したわずか数時間後、スタンフォード大学のラヴィ・ヴァキル（Ravi Vakil）教授が、若手数学者のアレッサンドロ・マスッロ（Alessandro Masullo）氏による一般化リーマン予想（GRH）の証明草稿（約95ページ）を自身のブログで急遽公開した[3]。マスッロ氏が12年の歳月をかけて構築し、厳格な批判眼で知られるスタンフォード大学の数論学者ブライアン・コンラッド（Brian Conrad）氏が数カ月間にわたり精査してフィードバックを重ねていたもので、ヴァキル氏は「すべて人間の手によるものであり、いかなる段階でもAIは一切関与していない（all human, with no AI）」と強調した[14]。当初の計画では、マスッロ氏をスタンフォードに1年間招いて原稿を磨き上げ、専門

家間で内々に回覧してから公表する予定だったが、アルポゲ氏の発表によってその計画が維持できなくなったため、未完成の草稿のまま公開してコミュニティに検証とLean形式化を呼びかけたという[7]。マスッロ氏は草稿の謝辞で、AIの急速な進展に落胆する数学者たちへ向けて「私たちはまだここにいる。力強く生きており、どこへも行きはしない」とメッセージを記した[33]。

しかし、その直後に象徴的な出来事が起きた。ヴァキル氏の投稿から約**8**時間後、**AI**モデルの助けを借りて原稿を点検した複数の読者から証明内の問題点が報告されたのである[7]。ヴァキル氏は追記で「証明戦略が正しいと主張するものではない」と慎重な姿勢に転じ、コンラッド氏も『Scientific American』誌に対し「論文は大規模な改訂作業中（undergoing major revision）であり、より最終的な版ができるまで手法が成功するかどうかは判断できない」と述べた[36]。専門メディアが「人間の証明はAIが監査し、AI支援の証明はコンパイラが監査した」と描写した通り、手書きの長大なドラフトが抱える論理的ギャップのリスクと、公開初日から独立カーネル検査を通過した形式証明の堅牢さが鮮明な対照をなす結果となった[7]。なお、タオ氏のコメントによればマスッロ氏の手法はクリストファー・デニンガー（Christopher Deninger）が長年構想してきた戦略に近い別系統のアプローチであり、万一双方の証明が最終的に生き残れば、数学界は同じ難問に対する2つの独立した解法を手にすることになる[14]。

比較項目	アルポゲ氏 ＋ **Claude** の証明案	マスッロ氏の証明草稿（ヴァキル氏公開）
公表日・主な拠点	2026年11月20日 / Anthropic（個人サイトで発表）[1]	2026年11月20日（数時間後）/ スタンフォード大学[14]
主張される対象範囲	リーマン予想（RH）およびディリクレL関数のGRH[4]	一般化リーマン予想（GRH）[14]
AIの関与	Claudeと全面協働（後半の保型形式実装はAIが主導）[5]	AI完全不使用（12年間の人間単独研究＋コンラッド氏の精査）[14]
公開形態・規模	4ページの覚書 ＋ Lean 4コード約1,737万行（論文なし）[4]	約95ページの従来型数学論文ドラフト（Lean形式化なし）[12]
数学的アプローチ	ステパノフの手法＋テータリフト連鎖＋ラングランズ計画[5]	クリストファー・デニンガーの戦略に近いアプローチ[36]
公開後**24**時間の状況	複数の独立Lean検証器がエラーゼロで全証明データを受理[4]	約8時間後にAI支援の読者らから複数の問題指摘、大規模改訂中[7]
今後の主要なハードル	25万ページ相当の論理を人	指摘された問題点が修復可

	間が理解・簡略化し論文化する作業[6]	能かどうかの抜本的改訂と検証[36]

2. Anthropicのナスダック上場（IPO）と発表タイミングを巡る疑念

もう一つの議論の的となったのが、発表が**Anthropic**の米ナスダック市場への新規株式公開（ティッカー：**ANT**、現地時間**11**月**19**日取引開始）の翌日というタイミングで行われた点である[7]。フロンティアAI研究所として初の上場を果たした企業の社員が、その取引開始翌日に自社モデルの功績を掲げて世紀の難問解決を宣言すれば、PR目的や利益相反を疑う見方が出るのは自然なことである[9]。この点についてアルポゲ氏は覚書の中で自ら言及している（ただし覚書自体は「Anthropic」や「IPO」という語を直接は挙げていない）[5]。それによれば、証明がまとまったのは日曜の深夜（11月15日～16日）であり、アルポゲ氏はダリオ・アモデイ（Dario Amodei）CEOに「仮に私が……を見つけたとしたら」とメッセージを送って発表の可否を相談したが、「尊重すべき制約（a constraint to respect）」が存在したという[5]。米国の証券規制では株式公開の前後に企業からの情報発信に対する厳格な制限が課されるため、取引開始翌日の金曜日まで公表できなかった背景があると専門メディアは指摘している[7]。また、声明は会社の公式ブログではなく個人のウェブサイトに掲載され、Anthropic社自身は公式声明を出していない[7]。アルポゲ氏は「正確なタイミングは最悪（horrible）だ」「タイミングに関してあからさまに皮肉な見方があることは承知しているが、それは誤りだ。子どもの頃から数学における神聖な対象だったこの問題について、これ以上待っては生きていけないと感じた私個人の単独責任である」と強調している[5]。なお、発表前後の株式市場ではAnthropic株（ANT）が一時8.5%安～14%安と下落が伝えられる場面がある一方、別の時間帯の市場ニュースでは9.65%高と表示されるなど値動きは荒く、発表が単純な株価押し上げとして機能したわけではなかった[10]。

2026年「AI数学革命」の文脈と今後の展望：懸賞金・暗号・科学の未来

今回の発表は突発的な出来事ではなく、2026年後半に主要AI研究所の間で激化した「数学の未解決問題攻略レース」の延長線上に位置づけられる[42]。同時に、この半年間の経緯は「AIによる数学的発見においてなぜLeanのような形式検証が不可欠なのか」を浮き彫りにしている[4]。

2026年後半に加速したAI数学競争と形式検証の有無が分けた明暗

- 形式・計算機検証を伴う成果
  6件すべて堅牢（撤回 0件）
  Lean 4証明（最大1,737万行）や独立検証器による検査で論理的整合性を維持
- AI大量公開・未形式化主張
  722本一挙公開・反発招く
  撤回履歴やLean翻訳不一致が生じ、数学者団体AHMが協力停止を声明
- 人間単独・自然言語のみの草稿
  公開約8時間後に問題指摘
  AI不使用・Lean版なしのGRH草稿（95頁）は複数指摘を受け大幅改訂中

すべて表示 (9) | 形式・計算機検証済みのみ強調 (6) | 論争・改訂事例を強調 (3)

Lean・計算機検証済み　AI主張の論争・反発　人間単独草稿（改訂中）

2026年5月21日
証明探索AI

Google DeepMind　Lean形式検証済み

「AlphaProof Nexus」が未解決エルデシュ問題353問中9問を解決

Lean形式検証付き　353問中 9問解決　計算コスト 1問数百ドル

形式証明支援系Leanで各論理ステップを検証しながら証明探索を実行し、未解決のエルデシュ問題9問を自律的に解決。

2026年7月〜8月
7/20・8月公開

Anthropic (L. Alpöge / R. Furman)　計算機検査・下界証明

3次元ヤコビアン予想の反例発見、さらにゼータ零点比率の下界を大幅更新

零点比率下界 41.6% → 67.2%　3,100万出力トークン　同日3名が計算機検査で確認

7月20日にClaudeと3次元ヤコビアン予想の具体的反例を発見（独立研究者3名が即日計算機確認）。8月には臨界線上にある単純零点の割合の下界を41.6%から67.2%（67.25%）へ引き上げた。

2026年9月5日
完全形式化達成

Anthropic　Lean 4 形式検証済み

「フェルマーの最終定理」の完全なLean 4機械検証済み形式化を初達成

Lean 4 完全形式化　機械検証パス

現代数学の巨大な体系に依存するフェルマーの最終定理について、Claudeが世界初となる完全なLean 4形式証明を完了したと発表。

2026年9月8日
ミレニアム問題主張

OpenAI　条件議論・慎重審査中

外力付き「ナビエ・ストークス方程式」のAI爆発解を主張、条件や評価をめぐり議論

外力付き (Forced) 設定　懸賞金申請せず

AIエージェントが外力付き条件（クレイ研究所規定の選択肢C・D）での爆発解を示したと報告。条件設定や先行研究との関係をめぐり議論を呼び、クレイ側は通常の審査規則を慎重に適用すると表明。

2026年10月6日
論文大量公開

OpenAI　撤回発生・団体反発

AI生成の数学原稿722本を一挙公開、撤回や翻訳不一致で数学者団体AHMが協力停止声明

722本一挙公開　臨界線から距離 3/8 以内主張　AHM協力停止声明

準リーマン予想関連の成果を含む722本のAI原稿を一夜で公開。しかし公開原稿の撤回履歴や自然言語とLean翻訳の不一致が問題視され、数学者団体AHMが「OpenAIとの協力をやめよ」と異例の声明を出した。

2026年11月9日
大規模並列形式化

Anthropic　Lean形式検証済み

「Claude Fable 5.2」発表、1,000エージェント協調でフェルマーの最終定理形式化を28.7時間に短縮

1,000 AIエージェント　所要時間 28.7時間（約30時間）　Lean形式検証

1,000体のAIエージェントを協調動作させることで、超大規模な現代数学の形式証明構築を約30時間へと劇的に高速化。

2026年11月20日：歴史的3発表が同日に交錯 — 形式証明の有無で直後の展開が分岐

2026年11月20日
同日発表 ①

Anthropic (Levent Alpöge + Claude)　同日発表 ①　Lean 4 + 独立検証器受理

「リーマン予想・一般化リーマン予想（GRH）」の完全なLean 4証明を公開

17,374,215行 (約1,737万行)　全175,187モジュール　nanoda / con-leche 受理

ディリクレL関数を含む主要5定理を標準公理のみで証明。MITのAndrew Sutherland氏による検査で全モジュールのコンパイルおよび独立検証器2種（nanoda、con-leche）とlean4leanによる完全受理が確認された。

2026年11月20日
同日発表 ②

Anthropic / NYU (Alpöge & T. Buckmaster)　同日発表 ②　Lean 4 形式検証済み

外力なし3次元「ナビエ・ストークス方程式」有限時間爆発の論文とLean 4形式化を同時公開

79ページ論文 + Lean 4形式化　外力なし (Unforced) 3次元

ミレニアム懸賞問題の本丸である外力なし3次元非圧縮性ナビエ・ストークス方程式（およびオイラー方程式）の有限時間爆発について、人間が読解可能な論文とLean 4形式証明をセットで公開。

2026年11月20日
同日・緊急公開 ③

Stanford University (A. Masullo / R. Vakil)　同日・緊急公開 ③　問題指摘・大幅改訂中

AI不使用・人間単独のGRH証明草稿を緊急公開するも、約8時間後に問題指摘・大幅改訂へ

95ページ自然言語草稿　Lean版なし　約8時間後に慎重姿勢へ更新

Alpöge氏の発表を受け、Masullo氏が12年かけたAI不使用のGRH草稿をRavi Vakil教授が公開。しかし約8時間後に複数の問題指摘が報告され、「戦略の正しさは主張しない」として大幅改訂（major revision）に入った。

2026年5月から11月にかけて相次いだ主要AI研究所および人間の数学者による未解決問題への挑戦タイムライン。自然言語のみの大量公開や未形式化の草稿では誤り指摘や優先権論争が生じる一方、Leanによる形式証明を伴う成果は撤回ゼロの高い信頼性を維持している。

データ出典: XenoSpectrum · Anthropic Research · TechCrunch · Terence Tao's Blog · Shtetl-Optimized (Scott Aaronson) · Nacionale (1, 2) · ITLibra · ExplainX · AI Cracker · APIYI

実はアルポゲ氏は覚書の中で競合であるOpenAIの数学チームにも謝辞を捧げており、エーアハルト予想、モンジュ・アンペール方程式、ナビエ・ストークス方程式、ジーゲルの議論などに関する同チームの取り組みから着想上の刺激を得たと記している[5]。OpenAIは2026年9月8日に外力付きナビエ・ストークス方程式の有限時間爆発を主張し（後に優先権や盗用を巡る論争、およびLean形式化への疑問が浮上）、さらに10月6日には722本ものAI生成数学原稿を一夜にして公開した[31]。その目玉であった「実部が 7/8 を超える領域にゼータ関数およびディリクレL関数の零点が存在しない（臨界線 1/2 から最大でも 3/8 以内に収まる）」という準リーマン予想（Quasi-Riemann Hypothesis）の証明は有力な数学者からも高く評価された一方[12]、700本超の大量放出に伴う公開原稿の撤回履歴やLean翻訳との不一致は数学コミュニティの強い反発を招き、数学者団体AHMが「OpenAIとの協力をやめよ」という異例の声明を出す事態となっていた[4]。

対照的にアルポゲ氏は、11月20日にリーマン予想のLean証明を公開したのと同じ日に、ニューヨーク大学（NYU）の数学教授トリスタン・バックマスター（Tristan Buckmaster）氏らとの共著で、3次元オイラー方程式およびもう一つのミレニアム懸賞問題である「外力のない3次元非圧縮ナビエ・ストークス方程式の有限時間爆発」に関する79ページの人間可読論文とLean 4形式化も同時に発表している（タオ氏はナビエ・ストークス論文について、大枠の戦略は明快で人間にも読めるが、完成された専門論文とするにはさらなる整備が必要だと評している）[8]。スコット・アーロンソン（Scott Aaronson）氏が自身のブログで指摘した通り、「Lean証明書を伴わずに発表されたAI数学の成果には撤回されたものがいくつもあるが、**Lean**証明書付きで発表された**AI**の成果はこれまで**1**件たりとも撤回されていない」という実績こそが、今回の1,737万行の証明が最終的に生き残るだろうと多くの専門家が見込む根拠となっている[12]。

最後に、今回の発表がもたらす制度的・実務的・科学的な帰結を3つの観点から整理する。

1. クレイ数学研究所の懸賞金100万ドルはどうなるのか

米クレイ数学研究所が2000年に定めた7つの「ミレニアム懸賞問題」（これまで公式に解決済みと認定されたのは2002〜2003年にグリゴリー・ペレルマン氏が証明し、2010年に賞金授与を辞退したポアンカレ予想のみ）の規定（2018年9月改定）では、100万ドル（約1億6,000万円）の授与審査を開始する前提として以下の3条件すべてを満たす必要がある[1]。

1. 適格な媒体での出版（**Qualifying Outlet**）：世界的な評価と編集委員会・正式な査読制度を持つ数学専門誌に掲載されること（個人サイト上の覚書や生のLeanコードだけでは自動的に要件を満たさない）[7]。
2. 最低**2**年間の待機期間：適格な出版から少なくとも2年間が経過し、世界の数学コミュニティによる厳格な検証に耐えること[4]。
3. 国際数学界における一般的な受容：クレイ研究所が設置する特別諮問委員会の報告に基づき、解法が数学界全体で広く受け入れられたと同研究所が判断すること[4]。

なお、ペレルマン氏が査読誌への投稿を行わずオンライン公開のみにとどめた際、クレイ研究所は他の数学者による解説論文が出版された時点で出版要件を緩和して時計を動かした前例がある[8]。今回もアルポゲ氏や第三者の数学者による解説論文が査読誌に掲載されてから2年間の待機期間が始まるため、仮に**2027**年中に論文が受理されたとしても、公式な賞金授与判断は早くとも**2029**年以降となる[7]。また、現行規定は受賞対象を「個人または複数の解決者（自然人）」と定めており、AIソフトウェアであるClaudeや開発企業のAnthropicに賞金を支払う規定は存在しない（クレイ研究所には授与対象や先行研究への配分に関する広範な裁量権が与えられており、マスッロ氏の改訂結果次第では優先権の議論も絡むことになる）[8]。

2. インターネットの暗号（RSA暗号など）は危険にさらされるのか

一般読者の間では「素数の難問が解けたなら、素数を利用したインターネットの暗号通信が破られるのではないか」という疑問が生じがちだが、仮に証明が最終的に確立されたとしても、**RSA**暗号などの実用上の暗号安全性がそれによって脅かされることはないと専門メディアは明確に否定している[7]。RSA暗号の安全性は「巨大な合成数を素因数分解することの困難さ」に基づいているのに対し、リーマン予想が扱うのは「素数の平均的な分布の規則性」であり、特定の巨大な数の因数を効率的に見つける方法を与えるものではないからである[9]。むしろ実務および理論上の恩恵として、これまで「一般化リーマン予想（GRH）が正しいと仮定してはじめて保証が得られる」条件付きだった一部の素数判定アルゴリズムや、素数・算術に関する数百もの条件付き定理が、すべて無条件に成立する定理へと変わることになる[7]。

3. 科学研究における「炭鉱のカナリア」としての純粋数学

なぜAIによる自律的な大発見が、創薬や核融合、ロボティクスよりも先に純粋数学の最高峰で現実となったのか。アーロンソン氏はその構造的理由として、純粋数学とソフトウェア工学が物理世界の複雑な実験や操作を必要とせず、Leanのような形式検証システムによって「候補となる解が正しいかどうかをデジタル空間内で即座かつ厳密に検証できる領域」である点を挙げ、これらが他の科学分野に先駆けて自動化が進む「炭鉱のカナリア」であると論じている[12]。

リーマン予想とナビエ・ストークス方程式に相次いで形式証明が提示されたことで、アーロンソン氏は「私たちが長年気にかけてきた数学における次なる最終ボス（Final Boss）はP対NP問題（P vs NP）へと移った」と指摘している（なお、ミレニアム懸賞問題では他にホッジ予想、バーチ・スウィンナートン＝ダイアー予想、およびOpenAIが前半の存在証明のみを主張したヤン・ミルズ方程式と質量ギャップ問題が未解決として残っている）[8]。同時に数学者の仕事もまた、「自力で一行ずつ証明を書き上げる作業」から、「AIに本質的な問題設定と類推の方向性を示し、AIが構築した超巨大な形式証明の中から人類にとって理解可能で美しい『新しい数学的概念』を抽出し意味づける営み」へと歴史的な転換点を迎えている[6]。

今後の注目チェックリスト

本件が真に「167年越しの完全決着」として歴史に刻まれるかを見極めるうえで、今後数週間から数カ月の間に確認すべき焦点は以下の4点である。

1. 残る機械的検証工程の完全終了：サザーランド氏らが実行中の公式比較ツールlake comparatorの全段階や、書き出された証明データに対するシングルスレッドでのデフォルト・厳格（paranoid）カーネル検査、および隔離環境でのエクスポートデータ完全一致確認がすべて完了するか[3]。
2. **Lean Zulip**コミュニティによる証明構造の解読：タオ氏らが追跡を推奨するLean専門フォーラム（Zulip）において、1,737万行・約81.9万補題のコードから具体的な証明戦略マップが抽出され、どのように人間が読める長さへと簡略化されていくか[6]。
3. アルポゲ氏による解説論文・講演の公表と専門家査読：アルポゲ氏が約束している簡略化版の論文執筆や講演がいつ行われ、高階数保型形式やラングランズ・プログラムの専門家がその数学的新規性をどう評価するか[3]。
4. スタンフォード大・マスッロ氏の人間単独草稿の行方：同日に公開され複数の問題点が指摘された人間単独のGRH証明草稿が、コンラッド氏らの精査と大規模改訂を経て論理的ギャップを解消できるのか、それとも不成立に終わるのか[36]。

引用文献

1. 167年解けなかった「リーマン予想」、生成AIが証明か…アンソロピックの数学者が発表, https://www.yomiuri.co.jp/science/20261121-GYT1T00089/
2. リーマン予想をClaudeで証明か「25万ページ誰が読むの」の声, https://parlourfullslotl.xyz/archives/636
3. https://www.nacionale.com/en/articles/is-riemann-hypothesis-proof-correct-what-mathematicians-say-sutherland-buzzard-lean
4. Claudeと取り組んだリーマン予想の証明案、独立した2つの検証器がLeanコードを受理, https://xenospectrum.com/claude-riemann-proof-independent-verification/
5. The Riemann Hypothesis is the classic problem in number theory. It, https://alpo.ge/remark.pdf
6. "リーマン予想の証明"の検証は現在どこまで進んでいるか | 加藤文元, https://note.com/katobungen/n/n9c2bb939b9c7
7. リーマン予想をClaudeと証明、Anthropicの数学者が発表, https://ja.martincid.com/technology-ja/%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%83%9E%E3%83%B3%E4%BA%88%E6%83%B3%E3%82%92claude%E3%81%A8%E8%A8%BC%E6%98%8E%E3%80%81anthropic%E3%81%AE%E6%95%B0%E5%AD%A6%E8%80%85%E3%81%8C%E7%99%BA%E8%A1%A8/
8. https://www.nacionale.com/en/articles/will-alpoge-get-1-million-riemann-hypothesis-prize-clay-rules-claude
9. Anthropicの数学者、Claudeとリーマン予想を証明したと発表, https://pasqualepillitteri.it/ja/news/35499/riemann-yosou-claude-alpoge
10. Anthropicの人がClaudeと数学界のラスボス「リーマン予想」の証明, https://www.gizmodo.jp/article/2611-claude-riemann-hypothesis-proof/
11. 167年未解決の数学最大難題「リーマン予想」、AIが証明主張, https://www.chosun.com/jp/economy-jp/2026/11/21/OC2KWJBKRBBQHOGHHEKBUVEVUU/
12. https://scottaaronson.blog/?p=10344
13. https://lean4.dev/proofs/riemann-hypothesis-claim
14. Riemann Hypothesis: Two Proofs in One Day, One Using AI, https://www.datacamp.com/blog/ai-solved-riemann-hypothesis
15. Riemann Hypothesis Proven Using Claude | HTX Insights, https://www.htx.com/news/riemann-hypothesis-proven-using-claude-6ZCD7hnk
16. Levent Alpöge: Princeton number theorist at Anthropic - Nacionale, https://www.nacionale.com/en/articles/who-is-levent-alpoge-anthropic-mathematician-riemann-hypothesis-claude-proof
17. Riemann proof claimed with Claude: not yet verified - Nacionale, https://www.nacionale.com/en/articles/has-riemann-hypothesis-been-proved-levent-alpoge-claude-anthropic-claim-lean
18. Anthropic Mathematician & Claude Claim Riemann Hypothesis Proof, https://www.aicentralresources.com/news/anthropic-mathematician-claude-proof-riemann-hypothesis-lean
19. Learning more about Claude's mathematical capabilities - Anthropic,

https://www.anthropic.com/research/riemann-zeta
20. Who is Levent Alpöge? Anthropic mathematician claims Claude AI, https://m.economictimes.com/world/people/who-is-levent-alpge-anthropic-mathematician-claims-claude-ai-solved-167-year-old-1-million-riemann-hypothesis/amp_articleshow/136046363.cms
21. Anthropic's Claude solves the Riemann Hypothesis (the Holy Grail, https://www.reddit.com/r/singularity/comments/1y1ibpk/anthropics_claude_solves_the_riemann_hypothesis/
22. Unforced Euler singularity, unforced Navier-Stokes ... - Terence Tao, https://terrytao.wordpress.com/2026/11/20/unforced-euler-singularity-unforced-navier-stokes-singularity-and-the-generalized-riemann-hypothesis/
23. BREAKING: Mathematician Levent Alpoge from Anthropic claims he, https://www.reddit.com/r/ClaudeAI/comments/1y1700o/breaking_mathematician_levent_alpoge_from/
24. Claude Fable 5.2 Coordinates 1000 AI Agents to Formalize Fermat's, https://help.apiyi.com/en/claude-fable-5-2-1000-agents-fermat-last-theorem-formalization-en.html
25. 1000 Claude Fable 5.2 agents formalized Fermat's Last Theorem in, https://www.reddit.com/r/ClaudeAI/comments/1xuf60h/anthropic_says_1000_claude_fable_52_agents/
26. https://www.anthropic.com/claude-fable-and-mythos-5-2
27. Anthropic mathematician Levent Alpöge posts a claimed proof of the, https://mlq.ai/news/anthropic-mathematician-levent-alpoge-posts-a-claimed-proof-of-the-riemann-hypothesis-made-with-claude/
28. Transformation | Quanta Magazine, https://www.quantamagazine.org/updates/transformation/
29. Riemann Hypothesis Proof Claim: Claimed vs Verified - explainx.ai, https://explainx.ai/blog/levent-alpoge-anthropic-riemann-hypothesis-claude-lean-proof-claimed-vs-verified-2026
30. The top 10 countries in the world by computing power - Quartz, https://qz.com/gateway/top-10-countries-world-compute-power-supercomputing-ai-1851727906
31. Anthropicの数学者、Claudeと共同でリーマン予想を攻略と主張 証明, https://finance.biggo.jp/news/d196611a-2f3e-415b-9fde-150ed3dd16c8
32. 1969年の発想を、整数の世界へ運ぶ鎖｜数学の翻訳家 - note, https://note.com/math_translator/n/n5d2600a29405
33. https://techcrunch.com/2026/11/20/ai-claimed-a-solution-to-the-167-year-old-riemann-hypothesis-and-a-human-did-too/
34. Whiz 'used Claude to prove Millennium math hypothesis' - RTHK, https://news.rthk.hk/rthk/en/component/k2/1878686-20261121.htm
35. Riemann Hypothesis Solved? Inside the Claude Proof Claim and What Is Still Unchecked, https://felloai.com/riemann-hypothesis-solved/
36. Vakil: problems reported in Masullo's GRH draft - Nacionale, https://www.nacionale.com/en/articles/what-happens-next-alessandro-masullo-riemann-proof-revision-credit-clay-prize

37. Draft Proof of the Generalized Riemann Hypothesis, 12 Years in the Making Without AI, Released Early, https://xenospectrum.com/en/masullo-riemann-proof-draft-release/
38. AnthropicのClaud AIが150年来の数学的難問を解明したと主張, https://jp.investing.com/news/technology-news/article-1766778
39. Anthropic上場、初値34%高 AIで「科学100年分の進歩を今後10年で達成」とCEO, https://www.chiba-tv.com/plus/detail/2026112241638
40. リーマン予想をAIで解決か。Anthropicの数学者がClaudeと共に証明, https://web3-on.com/news/ai/ai-news/post/y6nld44r1nij2x9uyq6eq4wx
41. Anthropicニュース | ANT リアルタイムニュースと関連レポート, https://finance.biggo.jp/quote/ANT/news
42. How Far Have AIs Solved Difficult Mathematical Problems? 2026, https://note.com/it_navi/n/n5cabd0b35450?hl=en
43. Public AI math claims, and how far each is checked · Carlos Toledo, https://carlostoledo.co/reports/ai-math-claims.html
44. Anthropic Claude Riemann Hypothesis Claim Examined - Scalevise, https://scalevise.com/resources/anthropic-claude-riemann-hypothesis-claim/
45. Artificial Intelligence (AI) Experimental Systems Solved the Navies, https://www.researchgate.net/publication/414323771_Artificial_Intelligence_AI_Experimental_Systems_Solved_the_Navies-Stokes_Problem_and_the_Fermat's_Last_Theorem_Famed_Mathematical_Millennium_Problems
46. Navier–Stokes priority controversy - Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Navier%E2%80%93Stokes_priority_controversy
47. A Meta-Analysis of OpenAI's Mathematical Results, and Seventy, https://www.aicracker.com/en/blog/openai-math-meta-analysis/
48. OpenAI Math Results: 8 Claims, Lean Status, Expert Views, https://explainx.ai/blog/openai-math-results-that-matter-expert-reactions-2026
49. Proof Indigestion: OpenAI's 722 Papers. Who Checks Them?, https://super-intelligence.rocks/blog/proof-indigestion/
50. OpenAI bulk release of mathematical papers - Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/OpenAI_bulk_release_of_mathematical_papers
51. Unforced Navier–Stokes blowup — Buckmaster and Alpöge post an, https://ai-tldr.dev/releases/buckmaster-alpoge-unforced-navier-stokes-blowup/
52. Hours after Anthropic claims a Claude proof of the Riemann hypothesis, Stanford releases an all-human competing draft, https://the-decoder.com/hours-after-anthropic-claims-a-claude-proof-of-the-riemann-hypothesis-stanford-releases-an-all-human-competing-draft/
53. r/mathematics - Reddit, https://www.reddit.com/r/mathematics/