

AletheiaとAI研究者の時代の幕開け

Google DeepMindによる自律的科学発見の包括的分析

2026年2月、科学的探究のプロセスは不可逆的に変化した

CONTENTS:

- 01. The Dawn
- 02. The Engine (Gemini 3 Deep Think)
- 03. The Proof (Erdős Problems)
- 04. The Expansion (Physics / Econ)
- 05. The Application (IsoDDE)
- 06. The Future

「検索」から「探究」へ： 幻覚の壁を超えた論理的厳密性

これまでのAI（LLM）は既知情報の検索や要約に長けていたが、科学研究に不可欠な

「論理的厳密性」に課題を抱えていた。

AletheiaとGemini 3 Deep Thinkは、推論プロセス自体の再設計によりこの壁を突破。

「自律的な研究者（Autonomous Researcher）」としての地位を確立し始めた。

THE ENGINE: 推論時計算量

「推論時スケーリング則」による思考の深化と、システム2思考の実装。



THE PROOF: 数学的実証

エルデシュ問題を含む難問の解決。数学的「自律性レベル2（出版可能）」の達成。



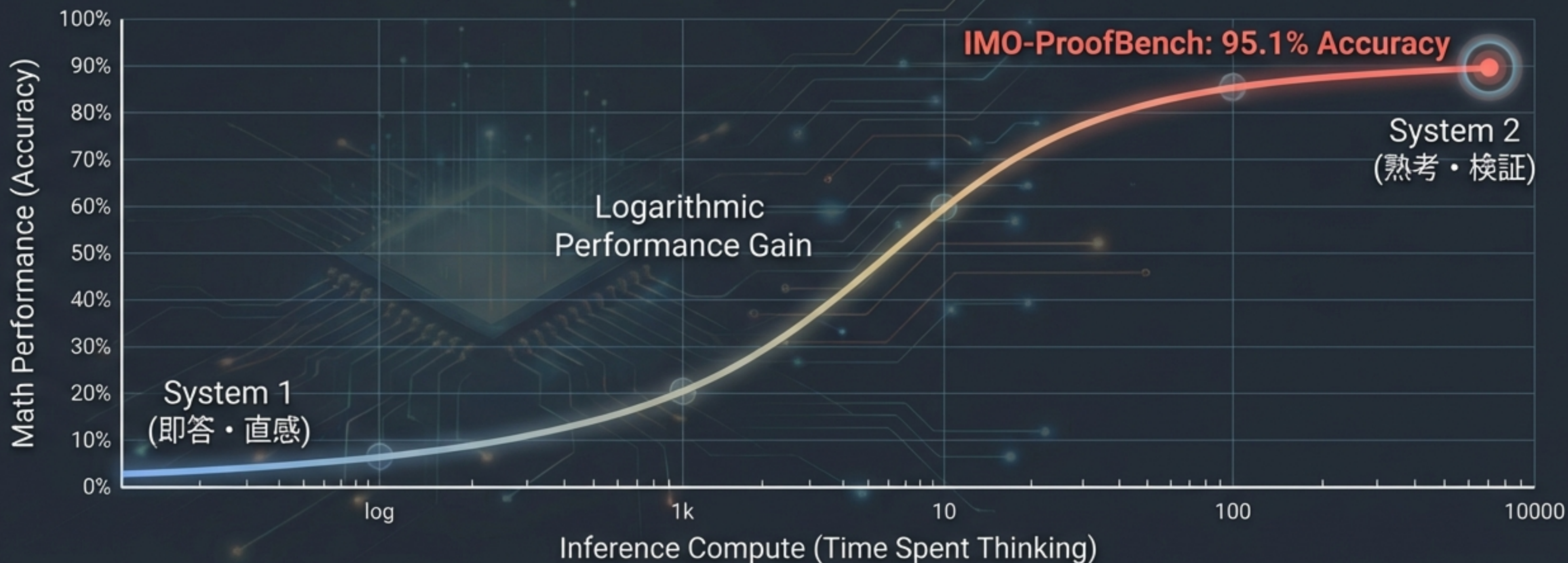
THE APPLICATION: 創薬への実装

IsoDDEによる「予測」から「設計」への進化。未踏の創薬ターゲットの攻略。

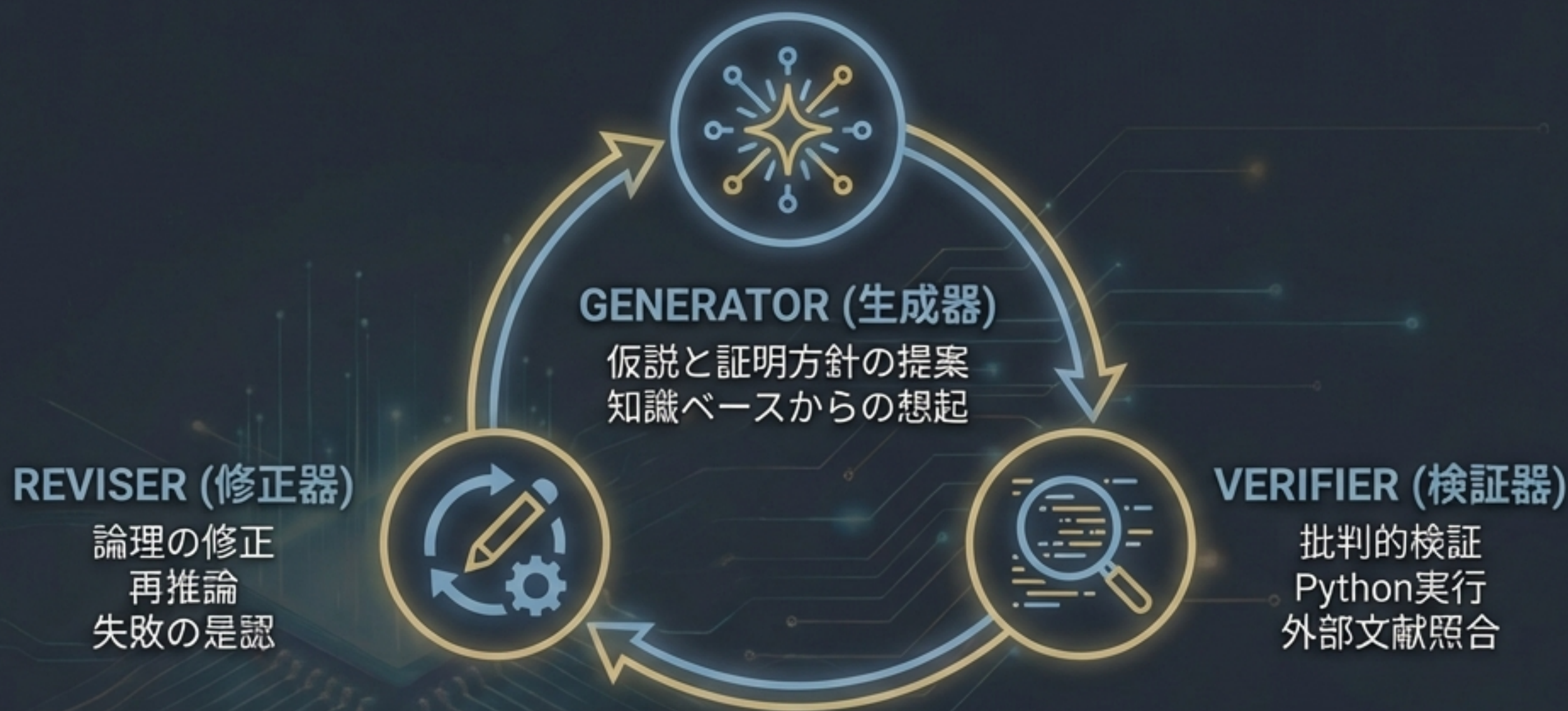


Gemini 3 Deep Think : 推論時スケーリング則の確立

推論時スケーリング則 (Inference-time scaling law):
従来の「学習量」競争に加え、「考える時間」を投資することで、回答の質が対数的に向上することを実証。
競合モデル (OpenAI o3, Claude Opus 4.5) を引き離し、専門的な数学研究における有効性を証明。



Aletheiaの核心：GVRループによる自律性とメタ認知



CRITICAL FEATURE: 失敗の是認 (Admission of Failure)

「解けない」と判断した場合、正直に報告する能力を持つ。これにより、人間の研究者が誤った証明の検証に時間を浪費することを防ぐ。

形式言語から自然言語へ：柔軟性と厳密性の融合

AlphaProof / AlphaGeometry (Legacy)

- Language: 形式証明言語 (Lean等)
- ✓ Pros: 絶対的な厳密性
- ✗ Cons: 記述コストが高く、扱える問題範囲が限定的

```

theorem prime_factorisation (n : ℕ) : n > 1 → ∃ (p : ℕ) (m : ℕ)
  det prime_factorisation (m : ℕ)
  taxgrear: endosjl : as sm
  salroare locatien realt: n
  nexnolx lintaxes (n: (n > 1 we ane ns tyce sj
    ifseallnastooas
    1f 1) s practorization n * ) x {4 35
  Uiasye ewngleonl
  eritpdefscorization: (nz >) sritil
  if addcoto n ss liaestorey |:
    modelst s nen; reme_facrlslx; movxrlx 2 |)
    pratund prikevirozofeint
  nrsomp: rfectsian(n)
  geturend (n : pn) → nadelvfl. ru34)

```

Aletheia (New Standard)

- Language: 自然言語 (Natural Language)
- ✓ Pros: 既存の数学文献を直接扱い、広範な問題に対応可能
- Assurance: GVRループとツール (Python/検索) による事後検証

定理：任意の整数 $n > 1$ は、素数の積として一意に表される。これは算術の基本定理であり、証明には、`{\LaTeX comarant {with promdxceensrcus}3}` として

$$\sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{i^2} = \frac{\pi^2}{6}.$$

これは、 $K_2\text{TeX}$ $n \in \mathbb{N}$ の問題圏をんでいるこという意味。

自然言語の柔軟性を維持しつつ、エージェントアーキテクチャにより形式言語並みの信頼性を獲得したことがブレイクスルーの要因。

エルデシュ問題への挑戦：解決に至るファネル分析

700問 - 評価対象の未解決問題

200問 - AIによる解決主張

63問 - 一次審査通過（技術的に正解）

13問 - 最終認定（真に有意義な解決）

Insight: 量から質へ

生成された解の多くは自明
あるいは解釈ミスであったが
、厳格なフィルタリングを
経た13問は数学的に本物の価
値を持つ。

ケーススタディ：Erdős-1051の解決と一般化

Problem Definition: 解析的整数論

条件を満たす正の整数列 a_n に対し、級数 $\sum \frac{1}{a_n a_{n+1}}$ は無理数になるか？

$$\liminf_{n \rightarrow \infty} a_n^{1/2^n} > 1$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{a_n a_{n+1}}$$

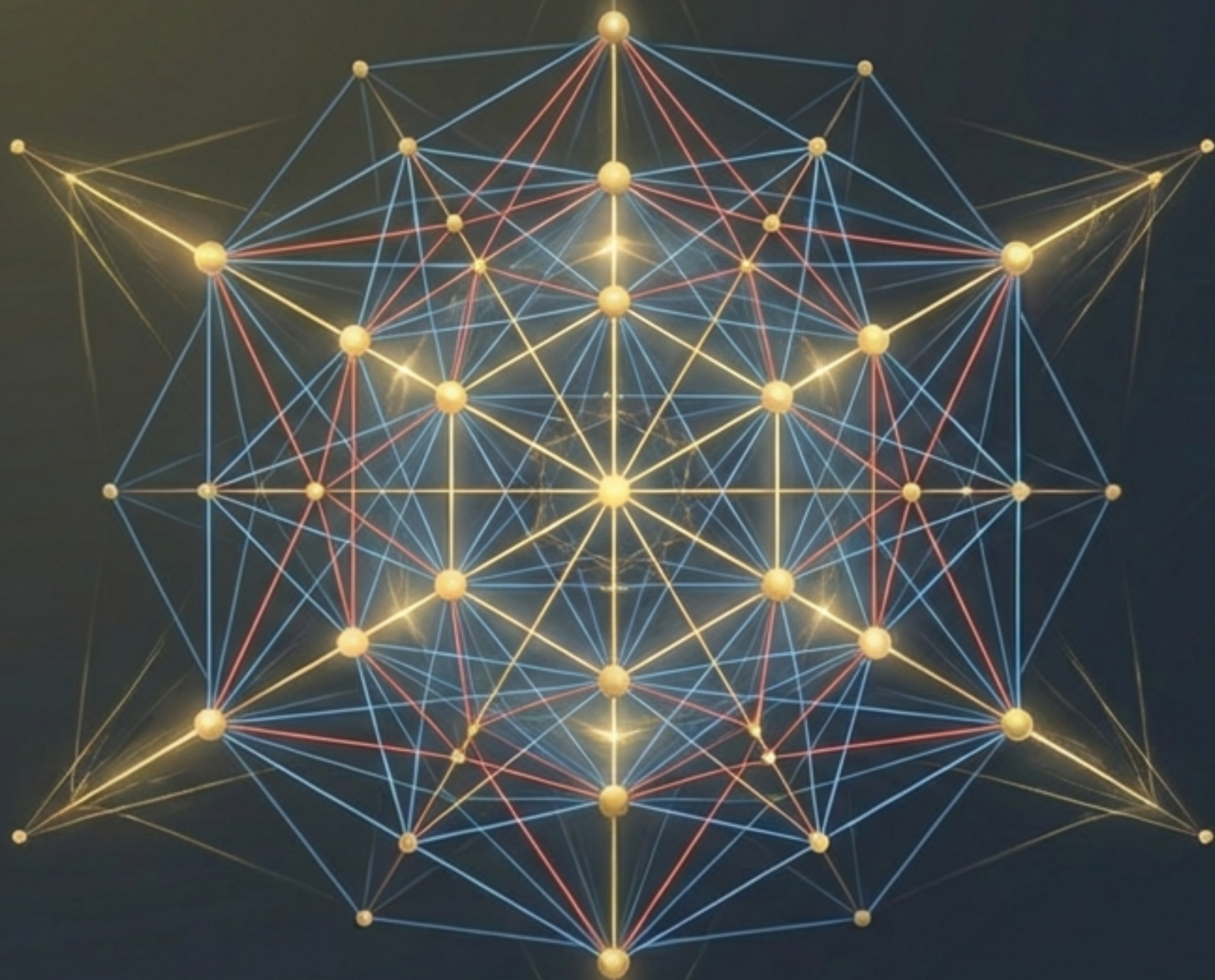
Aletheia's Contribution:

1. マーラーの判定法 (Mahler's criterion) を特定の問題設定に自律的に適応。
2. 2ページの簡潔な証明を生成。

Human-AI Collaboration:

人間の研究者 (Kim教授ら) がAIの証明から着想を得て、より広い条件へと定理を「一般化」し、論文 (BKKKZ26) として発表。

完全自律型研究の実現：Feng2026とアイゲンウェイト



Context: 算術幾何学における算術的ヒルツブルフ比例原理

The Achievement:

- アイゲンウェイト (Eigenweights) の導出
- 全ての古典群 (Type A, C, D) に対する閉じた形式 (closed-form description) を導出
- 代数的組合せ論や対称群の表現論を駆使

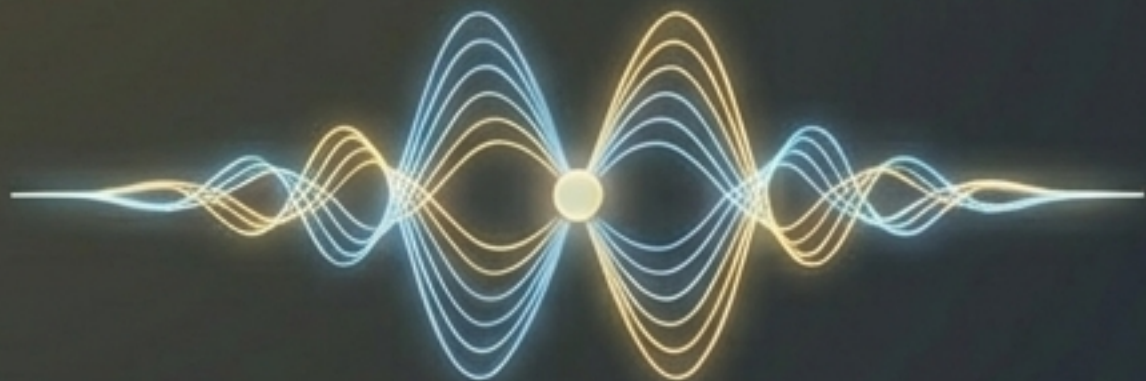
LEVEL 2 AUTONOMY

Essentially Autonomous & Publishable

人間の介入なしに生成された成果が、そのまま査読付き論文として成立。

領域横断的な発見：物理学とCSにおけるブレイクスルー

PHYSICS: 宇宙ひもと重力波



- 課題: 特異点を含む複雑な積分計算。
- AIのアプローチ: ゲーゲンバウアー多項式 (Gegenbauer polynomials) の適用を提案。
- 成果: 無限級数を「閉じた有限和」に変換。物理学者が想起しなかった数学的ツールの発見。

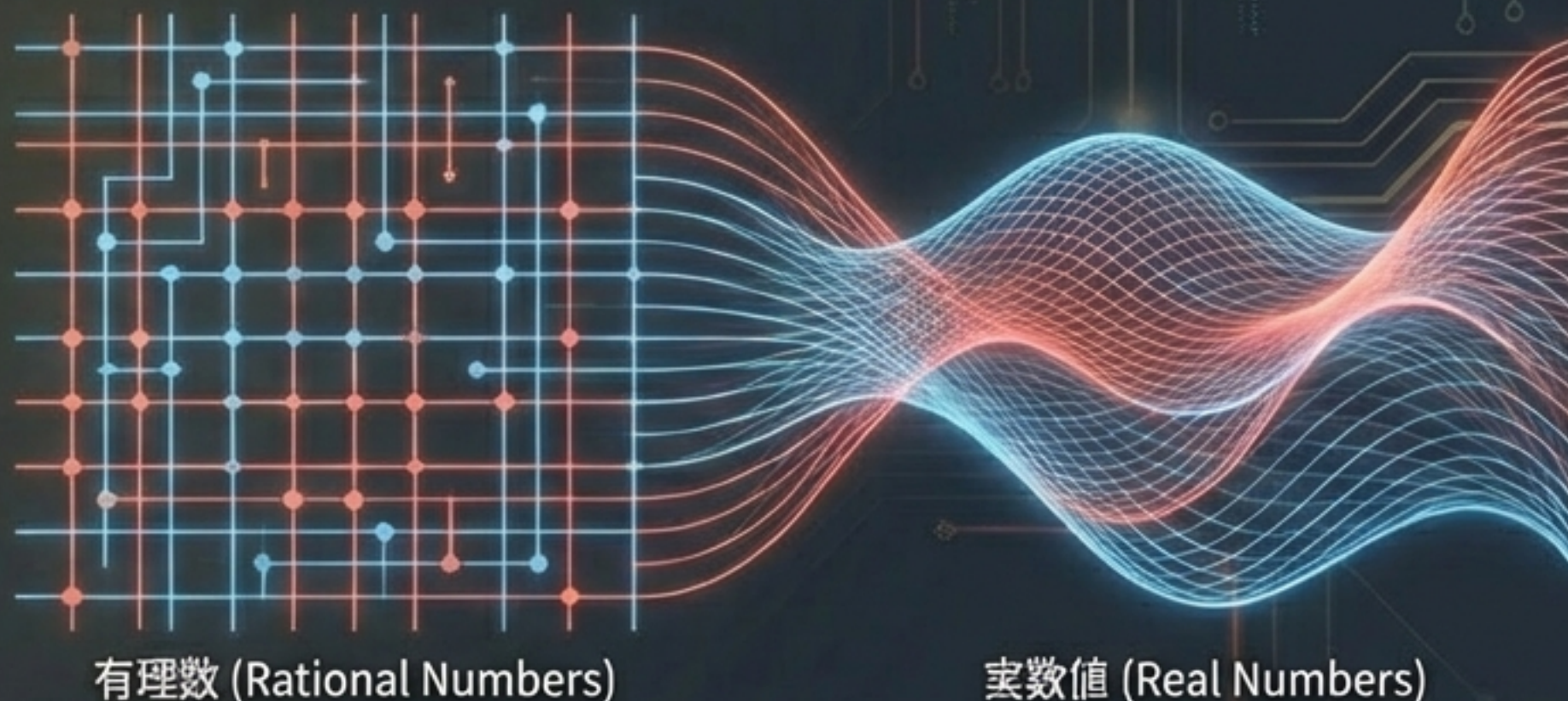
CS: オンライン劣モジュラ最適化



- 課題: 10年来の予想 (アイテムコピー vs 移動)。
- AIのアプローチ: 直感に反する反例 (Counterexample) の構築。
- 成果: 予想を「偽」と証明。人間が見逃しやすいエッジケースの体系的探索。

経済学：啓示原理の位相幾何学的拡張

Conventional
Theory:
有理数 (Rational
Numbers)
限定の証明

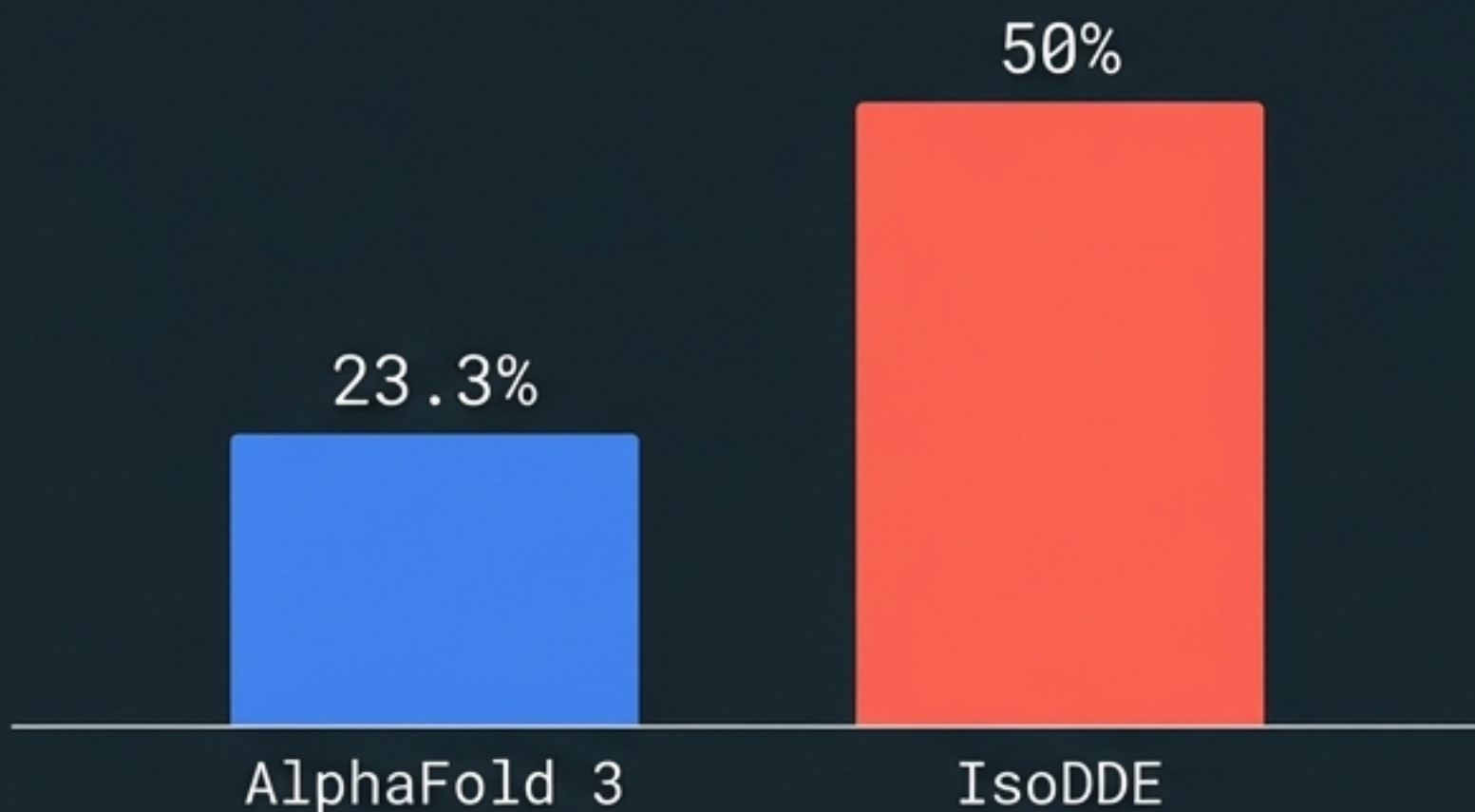


AI Extension:
実数値 (Real
Numbers)
への拡張

- **Achievement:** 位相幾何学 (Topology) と順序理論を用いて、連続的な実数値においても啓示原理が成立することを証明。
- **Implication:** AIエージェント経済圏の基盤となる理論を、AI自身が強化した再帰的進化。

IsoDDE：構造予測から「薬物設計」への質的転換

新規構造への汎化性能 (Generalization)



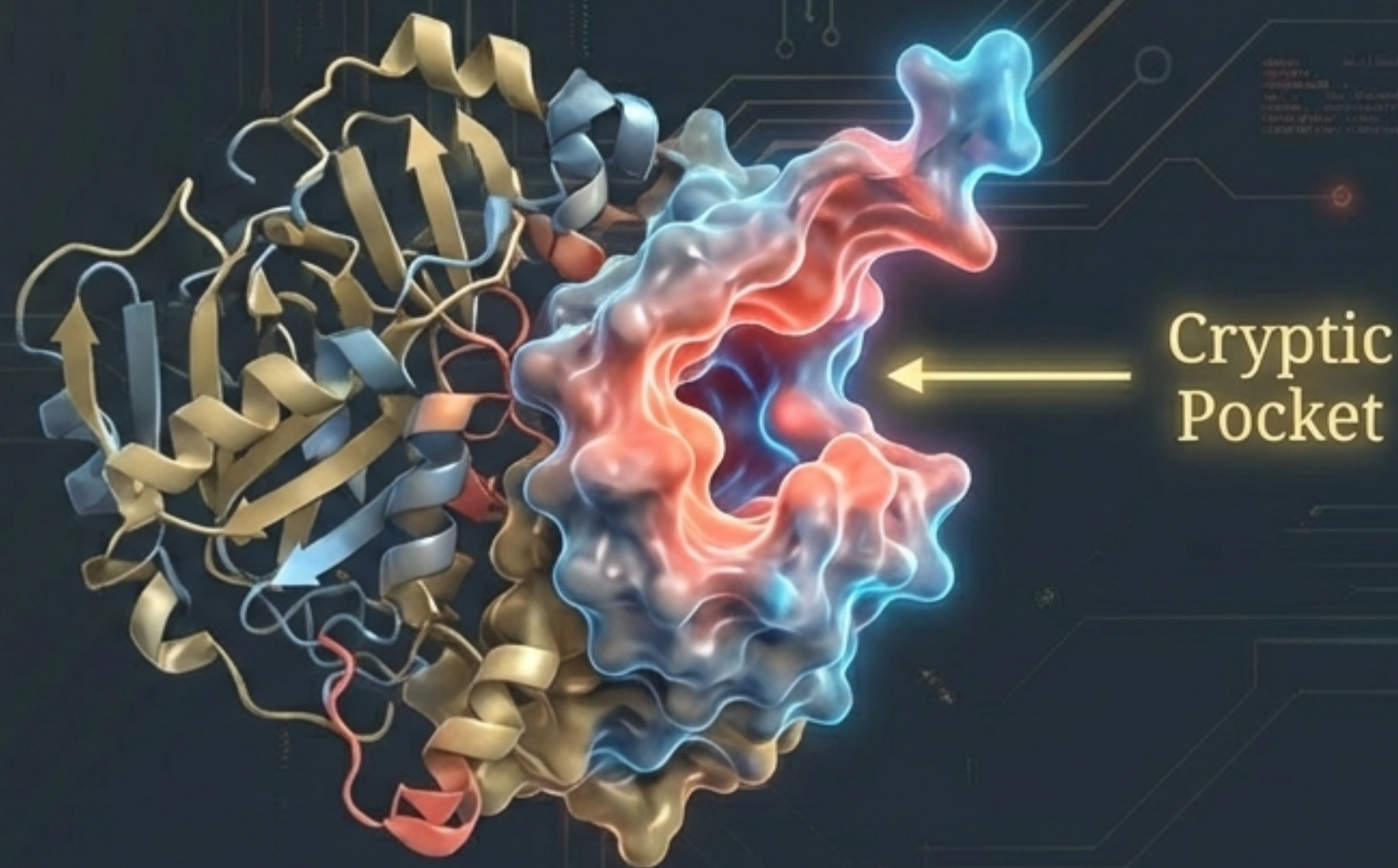
抗体-抗原相互作用 (High Fidelity)



Out-of-distribution (訓練データと異なる分布) への汎化性能に特化。未知のウイルスや新規ターゲットに対しても機能する「真の設計エンジン」。

創薬の聖杯：クリプティックポケットと結合親和性

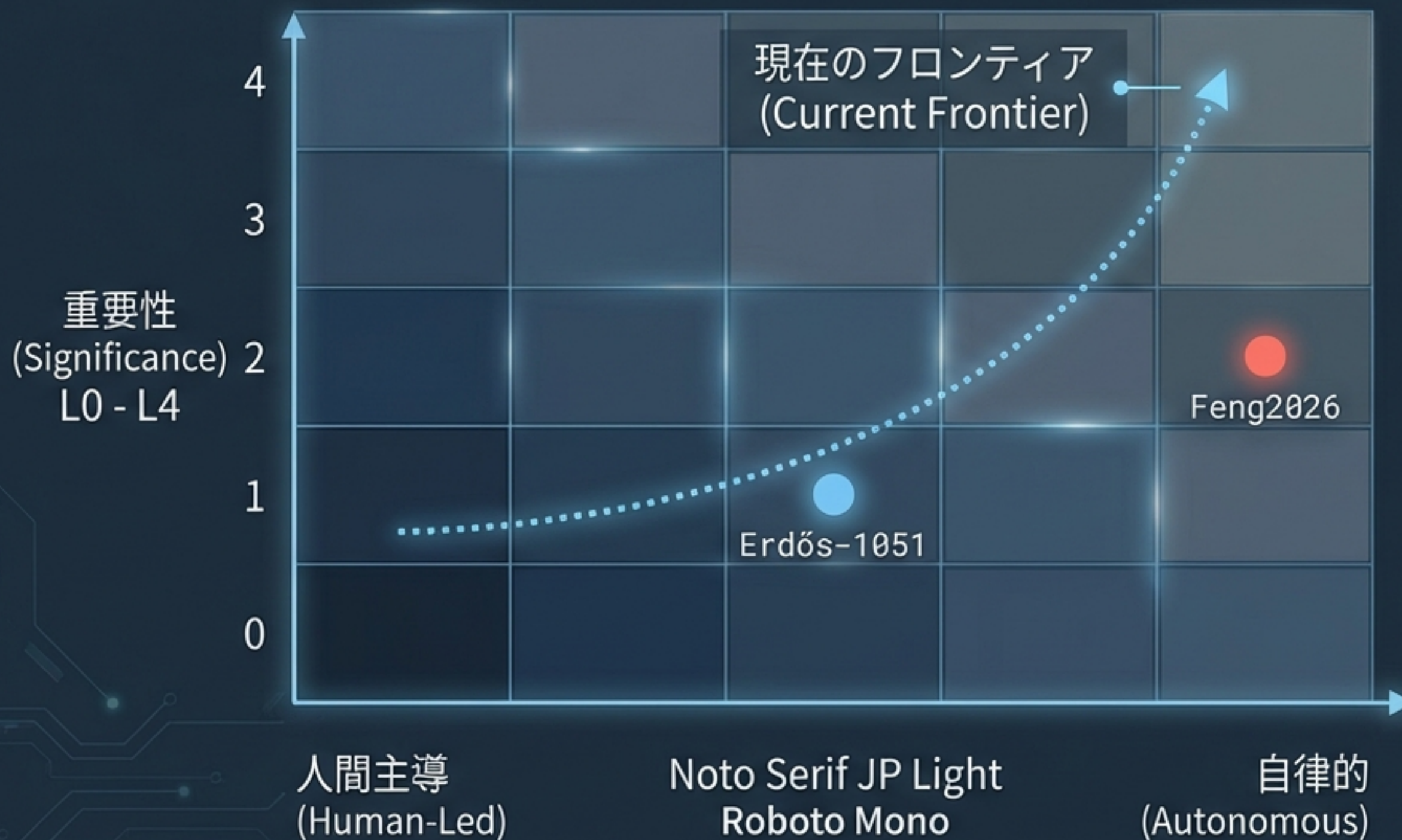
- 1. 結合親和性 (Binding Affinity):
物理シミュレーションより高速に予測し、数千の候補を即座にスクリーニング。
- 2. クリプティックポケット (Cryptic Pockets):
通常は閉じているが、特定条件下で開く「隠れたポケット」をアミノ酸配列のみから特定。



Case Study: Cereblon

従来「Undruggable」とされたターゲットに対し、計算のみで新たなアロステリックサイトを特定。

数学的研究の自律性レベル (Autonomous Levels)



Level 0: 自明な結果

Level 1: 有意義だが主要ではない

Level 2: 一流誌に出版可能なレベル (現在の到達点)

Level 3: 分野を前進させる主要な進歩

Level 4: 歴史的難問の解決

新しい研究様式：「Vibe-Proving」と協働モデル



「信頼のギャップ」を埋めるため、人間は「監督者」としての役割を担う。
関係性は『ツールとユーザー』から『優秀な大学院生と指導教官』へ。

結論：共進化する知性と科学の未来

AletheiaとGemini 3 Deep Thinkは、
AIを「検索」から「発見」のフェーズへと押し上げた。



シリコンの知性と炭素の知性のパートナーシップが、科学の未踏領域を切り拓く。
我々に求められるのは、新しいツールの習熟と評価システムの社会的アップデートである。