



# 40年の定説、崩壊：GPT-5.2と素粒子物理学の夜明け

シングルマイナス・グルーオン散乱振幅の非ゼロ証明とAI駆動型科学

2026年2月13日発表 | OpenAI & Harvard/IAS Collaboration

# 2026年2月：物理学の教科書が書き換わった日

1986

40 Years of 'Zero' Dogma

Feb 2026

Parke-Taylor Formula (MHV)

GPT-5.2 Breakthrough

## 発見

40年間「**ゼロ (消失)**」とされたシングルマインス・グルーオン振幅が、特定の条件下で**非ゼロ**であることを証明。

## 主体

OpenAI **GPT-5.2 Pro** + 内部スキャフォールディング (**Internal Scaffolding**)。

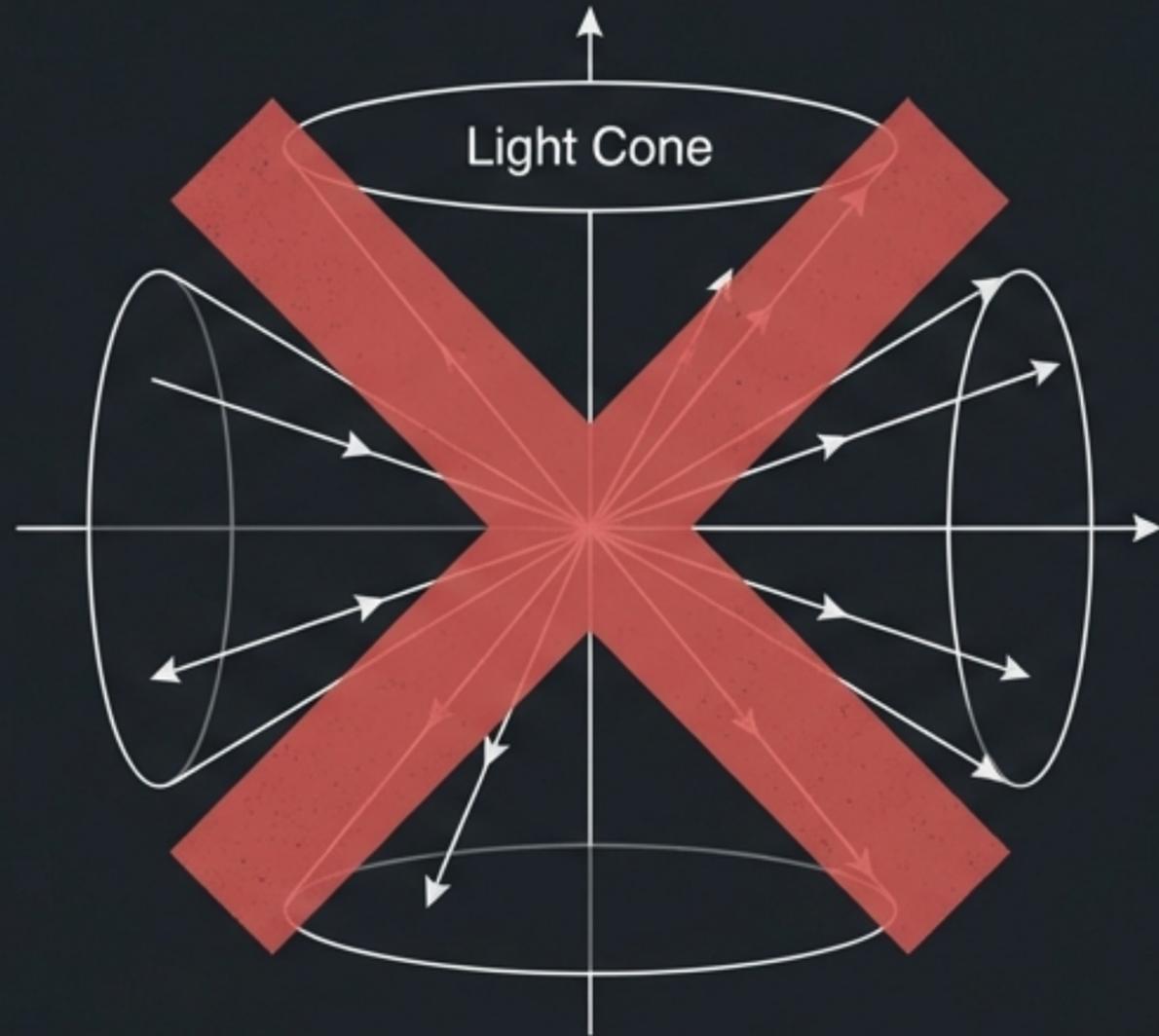
## 時間

人間の介入なしに**12時間の連続推論**で形式的証明を完遂。

## 影響

量子重力理論 (**Quantum Gravity**) への応用と、AIを「**科学的共同研究者**」とする新時代の幕開け。

# 「禁止された遷移」：なぜ40年間ゼロだと信じられてきたのか



Generic Kinematics = Zero Amplitude.

## ヤン・ミルズ理論の常識

グルーオンの散乱振幅計算において、Parke-Taylor公式 (MHV) は成功したが、シングルマイナス配置 ( $\$ - + + \dots + \$$ ) は無視されてきた。

## 消失の論理

標準的なミンコフスキー空間における「偏極ベクトルの選択」と「べき乗則論証 (Power-counting arguments)」により、理論的に厳密にゼロになると信じられていた。

# 人間の直観が見つけた抜け穴：「ハーフ・コリニア領域」

## Guevaraらによる洞察:

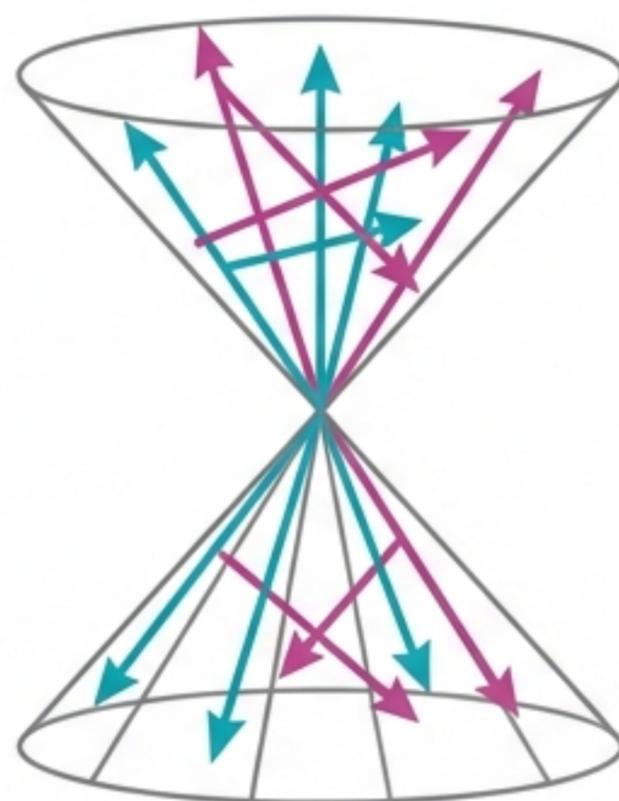
「ジェネリック（一般的）」な配置ではなく、複素化されたクライン空間（符号  $++- \$$ ）ならば話は別である。

## 幾何学的条件:

運動量が天球トーラス上の

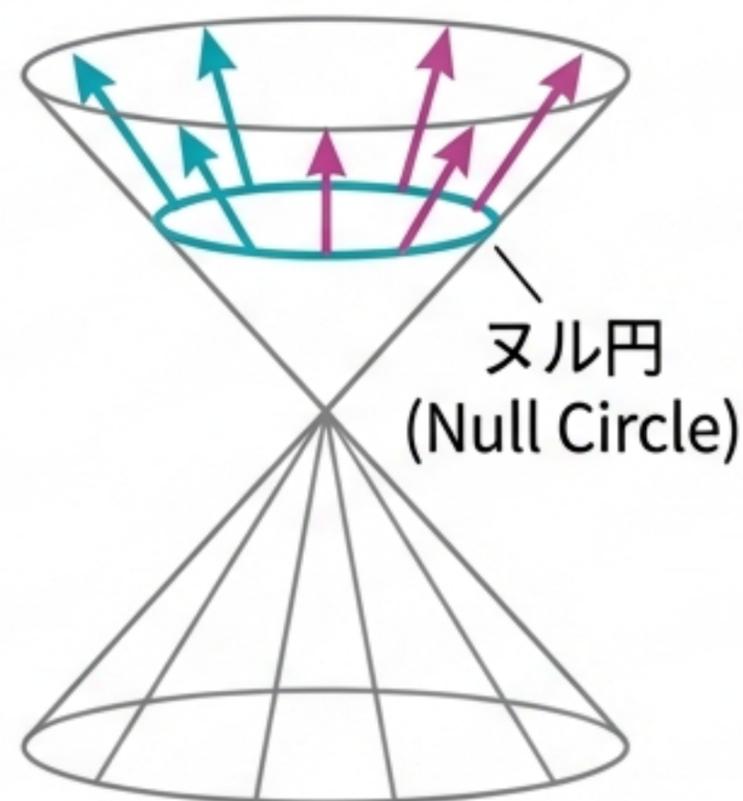
「ヌル円（Null Circle）」に整列する時、従来の消失論証が破綻する。

一般的な運動学  
(Generic Kinematics)



ランダム  
ゼロ振幅

ハーフ・コリニア領域  
(Half-Collinear Region)

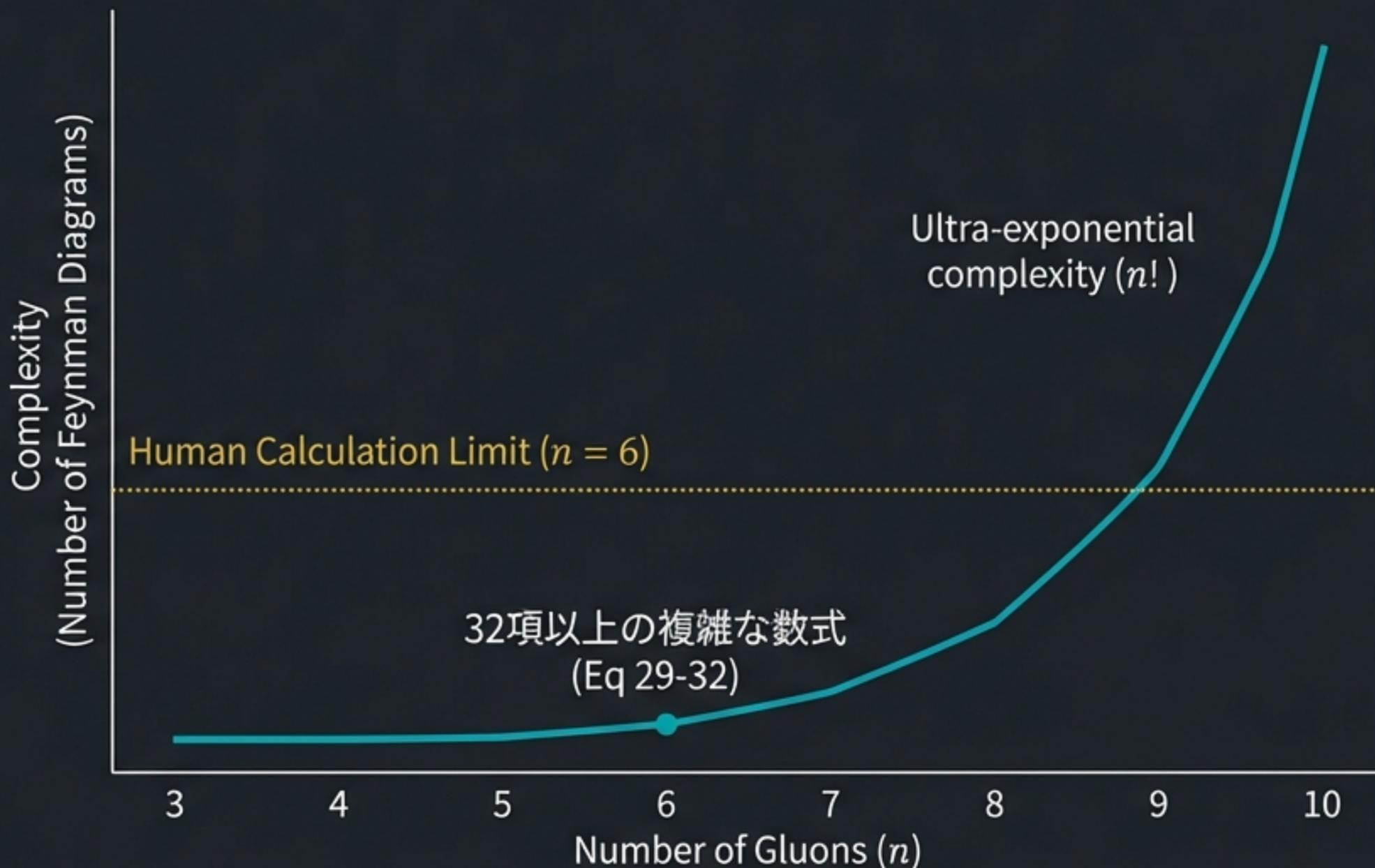


$\langle ij \rangle = 0$   
非ゼロ振幅

# $n!$ の壁：超指数関数的複雑性

## 計算の爆発:

グルーオンの数  $n$  が増えると、ファインマン図の数は階乗 ( $n!$ ) で増加する。人間のチームは  $n = 6$  で限界に達し、パターンが見えなくなった。



# カオスからのパターン抽出：GPT-5.2の「推測」

Eq 29-32

$$A(n) = 2 \frac{2^{1(n-1)!} C_S(n) + O\left(\frac{1}{n}\right)}{(n-2)!} \Rightarrow n^{n-1} = \log_{e^{-1}} \frac{(n-2)}{n-2}$$

Equation 39

$$A(n) = 2 \frac{\prod^{n-1}}{(n-2)!} C_S(n) + O\left(\frac{1}{n}\right)$$

## 簡略化 & 推測 (Conjecture) :

AIは数ヶ月かかる手計算の結果を解析し、ベースケースの背後にある対称性を見抜いた。  
すべての整数  $n$  に適用可能な普遍的公式 (方程式39) を提示。

# 12時間の自律証明：「内部スキャフォールディング」



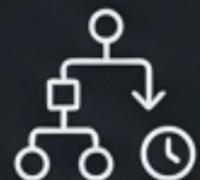
## Human Team

ハーブコリニア領域とn=6までのケースを特定。



## GPT-5.2 Pro

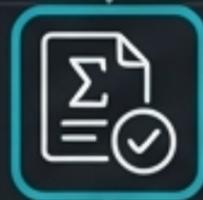
複雑な数式を簡略化、一般公式を予想 (Equation 39)。



## Internal Scaffolding / 内部スキャフォールディング



12 Hours of Reasoning  
(擬似連続学習)



## Formal Proof / 形式的証明



## Human Verification

ソフト定理と標準的な手法を用いて独立して検証。

### 単なる予測ではない

次のトークンを予測するのではなく、問題をサブタスクに分割し、再帰的に解くRLMs (Reasoning Language Models) アーキテクチャ。

### 擬似連続学習

「Best-of-N」探索と自己検証を繰り返す、人間の介入なしに厳密な数学的証明を構築。

# 方程式39：宇宙の隠れたシンプルさ

$$A_n \sim \sum (\text{sgn}(\dots))$$

Compact Closed-form (閉じた公式)

Piecewise Constant (区分的定数)

Sign Functions (符号関数)

振幅は連続的な波ではなく、スピノル・ブラケットの符号関数により、 $0, \pm 1, \pm 2$  などの離散的な値をとる。

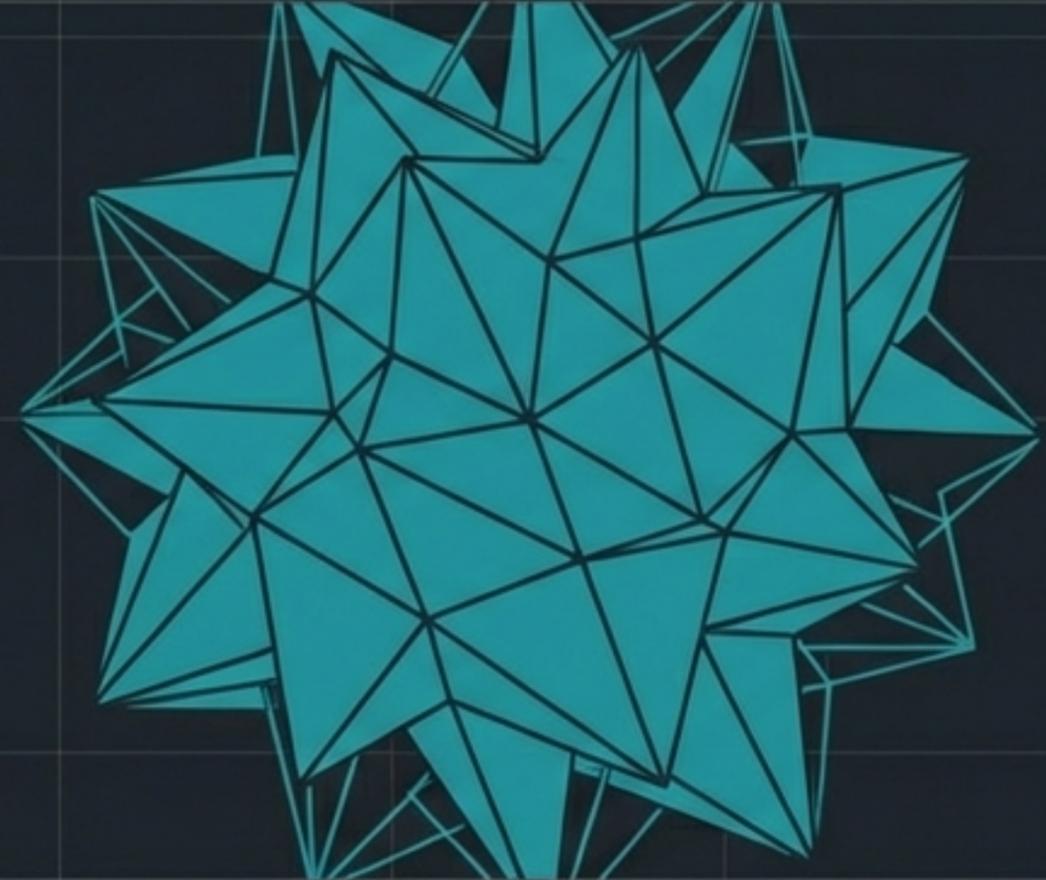
# 連続から離散へ：真空中に潜む幾何学的コード

Traditional View



Differential Geometry (Waves).

New Discovery



Combinatorial Topology (Bits/Rooms).

ハーフ・コリニア極限において、物理法則は「波」ではなく「ビット（部屋）」のように振る舞う。真空は高密度境界において離散的に再編成される構造を持っている。

# 「幻覚」ではない証明：厳格な物理学的検証

## 監査可能なワークフロー

- AIの出力は、これら全ての物理学的制約を満たすことが人間によって確認された。
- これは創造的なライティングではなく、厳密な制約空間内での解探索である。



1. Berends-Giele Recursion (整合性)



2. Weinberg's Soft Theorem (低エネルギー極限)



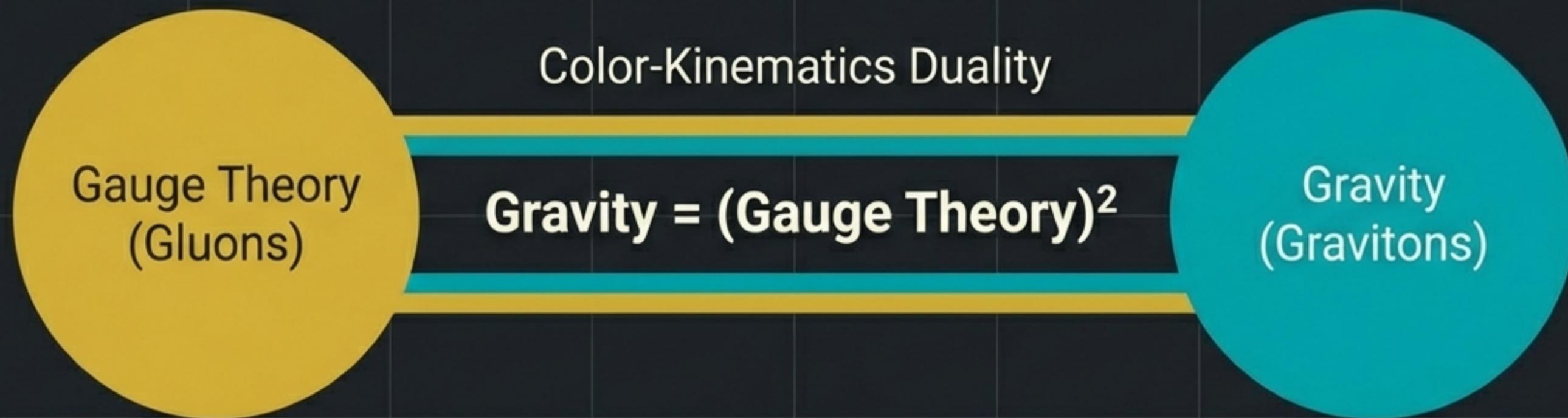
3. Cyclic / Reflection Symmetry (対称性)



4. Decoupling Identities / Kleiss-Kuijf (恒等式)

Scientific Editorial

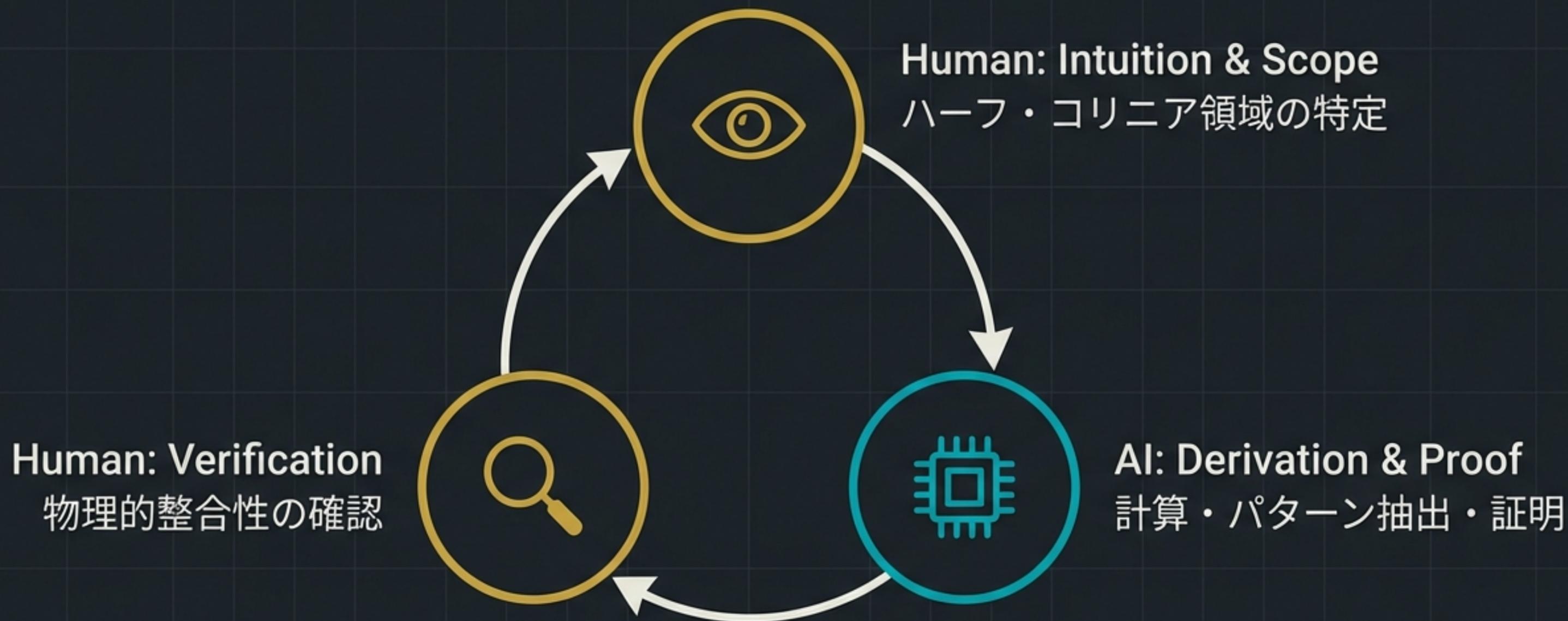
# グルーオンから重力子へ：究極理論への架け橋



## 量子重力理論への応用:

グルーオンの計算手法はそのまま重力子 (Graviton) へ応用可能。一般相対性理論と量子力学の統合に向け、天球ホログラフィー (Celestial Holography) の研究を加速させる。

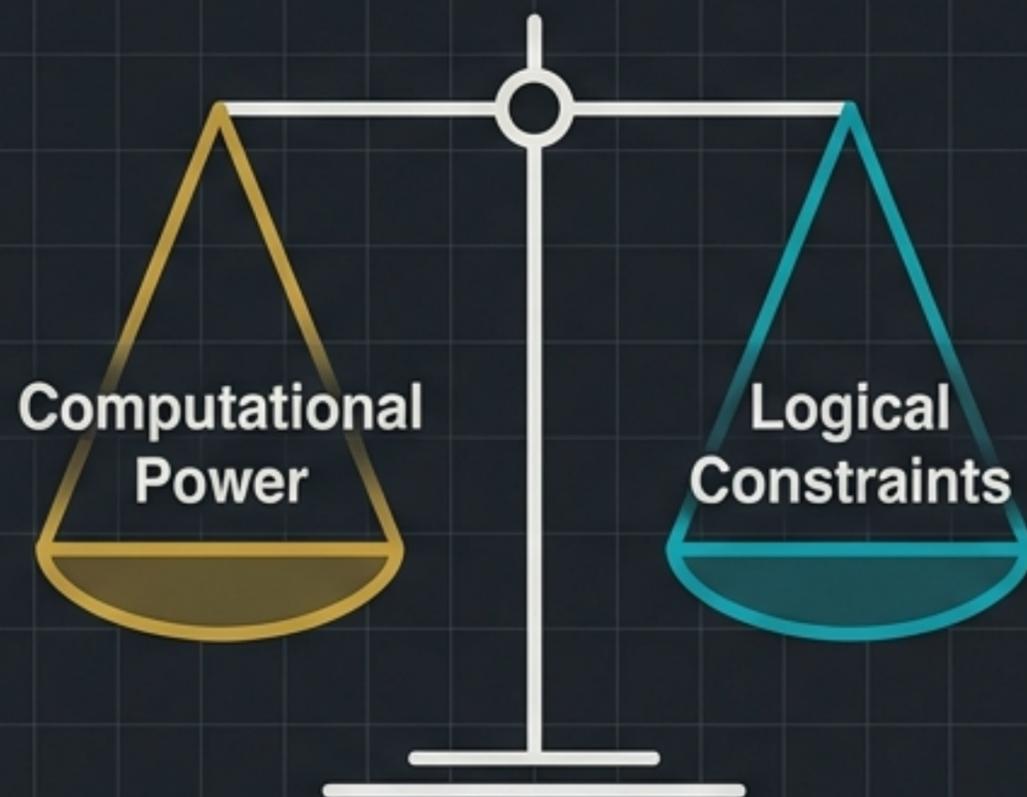
# 「計算機」から「共同研究者」へ



「fiddly process (泥臭い作業) の自動化」 — Nima Arkani-Hamed

# ブルートフォースか、真の叡智か

**批判:** AIは理解しているのではなく、総当たりで当たりくじを引いたに過ぎない。



**反論:** 形式的証明は論理の積み重ねであり、ランダム生成は不可能。基礎データを与えたのは人間である。

**結論:** サイエンス・スロップではなく、監査された推論。

# 記号的推論の時代：計算可能な物理学の境界拡張

40年の定説は、AIという新たなレンズを通すことで崩壊した。

我々は今、複雑な数式の奥底にある「隠れたシンプルさ」を発見する強力なパートナーを手に入れた。

AI-Assisted Scienceは、もはや未来の夢ではなく、現在の現実である。



## 参考文献・ソース

1. [arXiv: Single-minus gluon tree amplitudes are nonzero \(Guevara et al., 2026\)](#)
2. [OpenAI Report: GPT-5.2 derives a new result in theoretical physics](#)
3. [Commentary: Nima Arkani-Hamed, Nathaniel Craig opinions.](#)
4. Based on '[GPT5.2と素粒子物理学の新発見.pdf](#)'