

# AlphaEvolve : AIが切り拓く科学的発見とアルゴリズム革新の新時代

Google DeepMindが開発したAlphaEvolveは、科学的発見とアルゴリズム最適化の分野に革命をもたらす進化的コーディングエージェントです。2025年5月14日に発表されたこのAIシステムは、56年間改善されなかった数学的難問を解決するだけでなく、Googleのデータセンターやチップ設計の効率化にも貢献しています。本レポートでは、AlphaEvolveの仕組み、実績、技術的特徴、限界、そして将来性について詳細に分析します。

## AlphaEvolveとは：概要と技術的基盤

AlphaEvolveは、Google DeepMindが開発した先進的なコーディングエージェントで、Gemini言語モデル群と進化的アルゴリズムを組み合わせた革新的なAIシステムです。このシステムは数学や現代コンピューティング分野における根本的かつ複雑な問題の解決を目的としています<sup>[1]</sup>。

AlphaEvolveの核となる技術的要素は以下の3つです：

### 大規模言語モデル (LLM) のアンサンブル

システムは複数のGeminiモデルを活用しています。高速で効率的な**Gemini Flash**が多様なアイデアを探索する役割を担い、より強力な**Gemini Pro**が深い洞察に基づいた提案を生成します。これらのLLMがアルゴリズム的な解決策をコンピュータプログラムとして提案します<sup>[2]</sup>。

### 自動評価メカニズム

生成されたプログラムの正確性と品質を客観的かつ定量的に評価するシステムが実装されています。この評価システムは、数学やコンピュータサイエンスのように進捗を明確かつ体系的に測定できる分野で特に有効です<sup>[2] [3]</sup>。

### 進化的フレームワーク

システムは生物の進化のプロセスにヒントを得た「進化的アルゴリズム」を採用しています。プロセスの流れは以下の通りです：

1. LLMが初期のプログラム（個体群）を生成
2. これらのプログラムを評価し、性能の良いもの（適応度の高い個体）を選択
3. 選択されたプログラムを元に、LLMが新たなプログラム（子孫）を生成
4. この「生成→評価→選択→新たな生成」というサイクルを繰り返す<sup>[2] [4]</sup>

このアプローチの有効性は、Google DeepMindが実施したアブレーション研究によって実証されています。進化的アプローチと「進化なし」設定を比較した結果、AlphaEvolveの進化的方法は、計算リソースが増えるにつれて性能が継続的に向上することが示されました<sup>[4]</sup>。

## AlphaEvolveの運用サイクル

AlphaEvolveの運用サイクルは、複数の相互接続されたコンポーネントで構成されています：

1. **問題定義 (人間)**：人間の専門家が問題を定義し、初期バージョンのアルゴリズム、評価基準、ターゲットコード領域を提供します<sup>[3]</sup>。
2. **プログラムデータベースとプロンプトサンプリング**：過去に生成・評価されたすべてのプログラム変種をパフォーマンススコアと共に保存するデータベースから、「親」プログラムを選択します。そのデータを基にLLM向けの豊富なプロンプトを構築します<sup>[3] [5]</sup>。
3. **LLMによるコード生成と変異**：構築されたプロンプトはGeminiモデル群に送られ、親プログラムに対する「変異」（追加、削除、修正など）を生成します。これらの変更は単純なパラメータ調整から大幅なアルゴリズム再構築まで多岐にわたります<sup>[3]</sup>。
4. **自動評価**：新たに生成された「子」プログラムは厳密なテストにかけられ、パフォーマンスが測定されます。最も優れたプログラムがデータベースに追加され、次の世代の親候補となります<sup>[3] [5]</sup>。

この閉ループシステムにより、プログラムコードの「デジタル的な適者生存」が実現され、プログラムが世代を経るごとに改善されていきます<sup>[3]</sup>。

## AlphaEvolveの実績と成果

AlphaEvolveはすでに数学の未解決問題からGoogleのインフラ最適化まで、幅広い分野で目覚ましい成果を上げています。

### 数学的成果

#### Strassen行列乗算アルゴリズムの改善

AlphaEvolveの最も注目すべき成果の一つは、56年間改善されなかったStrassen行列乗算アルゴリズムを改良したことです。1969年にVolker Strassenが発見した方法では、 $4 \times 4$ の複素行列乗算に49回のスカラー乗算が必要でしたが、AlphaEvolveは48回で実行可能な方法を発見しました<sup>[6] [7]</sup>。

一見小さな改善に見えるかもしれませんが、行列計算はAIの訓練や科学計算など多くの分野で毎日何億回も実行されるため、この1回の削減が全体では膨大な資源と時間、電力の節約につながります<sup>[8]</sup>。さらに、AlphaEvolveは14種類の異なる行列乗算構成で最先端技術を改善しました<sup>[9] [7]</sup>。

#### キッキング数問題の前進

AlphaEvolveはキッキング数問題（同じ大きさの球が中心の球にいくつ接触できるかという300年以上数学者を魅了してきた問題）において、11次元空間で593個の球の配置を発見し、新たな下限を確立しました<sup>[6] [10]</sup>。

#### 広範な数学問題への適用

AlphaEvolveは50以上の数学的問題（解析学、組合せ論、数論、幾何学にわたる）に適用され、75%のケースで最先端の解法を再発見し、20%のケースでは従来の最良解を上回る新しい解決策を発見しました<sup>[7] [6]</sup>。

## 実用的成果：Googleインフラの最適化

AlphaEvolveはGoogle内部で既に実用的な成果を上げています：

### データセンター効率の向上

AlphaEvolveはGoogleの巨大な分散コンピューティングインフラを管理するBorgシステムのスケジューリングヒューリスティックを改良し、平均で0.7%のGoogleの世界的なコンピューティングリソースを継続的に回収することに成功しました。一見小さな数字ですが、Googleのような巨大データセンターでは膨大なコスト削減になります [9] [6] [11]。

### チップ設計の最適化

AlphaEvolveはTPU (Tensor Processing Unit) の回路設計を最適化し、行列乗算のための高度に最適化された算術回路から不要なビットを削除するVerilogの書き換えを提案しました。この提案は次世代TPUに統合されています [6] [12]。

### AI学習の効率化

AlphaEvolveは大規模な行列乗算操作をより効率的なサブ問題に分割する方法を見つけ、Geminiアーキテクチャの重要なカーネルの速度を23%向上させ、Geminiの学習時間を1%削減しました。また、Transformer型AIモデルのFlashAttentionカーネル実装で最大32.5%の高速化を達成しました [6] [9]。

## AlphaEvolveの革新性：FunSearchからの飛躍

AlphaEvolveはGoogle DeepMindが以前開発したFunSearchを大幅に拡張したシステムです。両者を比較することで、AlphaEvolveの革新性が明らかになります。

### FunSearchからの主な改良点

- **コード規模:** FunSearchが10~20行の単一関数のみを進化させられたのに対し、AlphaEvolveは数百行のコードファイル全体を進化させることができます [5] [8]。
- **言語対応:** FunSearchがPythonのみに対応していたのに対し、AlphaEvolveはPython、C++、Verilog、JAXなど多様なプログラミング言語をサポートしています [5] [3]。
- **計算効率:** FunSearchは数百万のLLMサンプルを必要としましたが、AlphaEvolveは数千のサンプルで済み、複数の評価指標を同時に最適化できます [8] [5]。
- **評価の複雑さ:** AlphaEvolveは数時間かかる評価も並列実行できるようになり、より複雑な問題に対応可能になりました [5]。

この革新性により、AlphaEvolveはFunSearchよりもはるかに広範な問題に適用できるようになり、未知のアルゴリズムの発見や未解決問題の解決において優れた能力を発揮しています [13] [12]。

### AlphaEvolveの技術的特徴と強み

AlphaEvolveの成功を支える技術的特徴と強みは以下の通りです：

## 進化的コードの直接操作

AlphaEvolveの差別化要因は、コード自体に直接作用する進化的フレームワークと、Geminiのような洗練されたLLMを組み合わせた点、そしてあらゆる問題に適用できる一般性にあります<sup>[3]</sup>。

## 豊富なコンテキストとフィードバック

プロンプトには過去に発見された複数のソリューションや、数式、コードスニペット、関連文献など問題に関する詳細な情報を含めることができ、これが効果的な解探索を可能にしています<sup>[5]</sup>。

## 分散パイプライン

多数の計算を非同期かつ並行して実行する最適化された分散パイプラインにより、限られた計算予算内でより多くのアイデアを提案・評価できます<sup>[5]</sup>。

## 自己進化のループ

AIが自ら生成したプログラムコードの性能を客観的に評価し、その結果をフィードバックとして活用することで、より優れた解決策へと自律的に改良を重ねていく「自己進化のループ」が実装されています<sup>[14]</sup>。

## AlphaEvolveの限界と課題

AlphaEvolveは革新的なシステムですが、いくつかの技術的限界と課題も抱えています：

### 自動評価メカニズムの必要性

最も重要な制約は、自動評価メカニズムが設計できる問題にのみ適用できる点です。プログラムの良し悪しを明確に数値化できる必要があり、この評価メカニズム自体の設計が難しい場合も多いです<sup>[8] [15]</sup>。

例えば、科学実験のように実際に手を動かさないと評価できない問題には現状では適用が困難です。「機関サーバー」のブログによると、AlphaEvolveは数学や計算科学のように自動評価ができる問題に対して非常に有効ですが、それ以外の分野では限界があります<sup>[16] [15]</sup>。

### 計算リソースの要求

AlphaEvolveは大量の計算リソースを消費します。「新しい解決策を見つけるのに100時間規模の計算が必要」とされており、慎重な並列化と容量計画が求められます<sup>[11]</sup>。

### 大規模コードベースへの拡張性

非常に大規模なモノリシックなコードベース（例：オペレーティングシステムのカーネル全体）や、深くネストした進化コンポーネント間の相互作用への対応には課題が残されています<sup>[3]</sup>。

## 真の再帰的自己改善への道

AlphaEvolveは自身の基盤となるモデルのトレーニングを最適化していますが、人間の介入なしにすべての自身のコアアルゴリズムを強化できる真に自律的な自己改善AIの実現にはまだ距離があります<sup>[3]</sup>。

## 課題への対応策

研究者たちは既にこれらの課題に取り組んでいます。LLMによる評価と機械によるフィードバックを組み合わせたハイブリッドアプローチや、シミュレーション技術を向上させて実験の代わりにコンピュータ上で再現する方法などが研究されています<sup>[8] [15]</sup>。

## AlphaEvolveの将来性と社会的影響

AlphaEvolveは科学的発見とアルゴリズム最適化の自動化において重要な一步を記しました。その将来性と社会的影響は広範囲に及びます。

## 科学研究の加速

AlphaEvolveのような技術により、数学や物理学の未解決問題がより早く解かれる可能性があります。科学研究のスピードが加速し、従来の人間の研究者だけでは到達できなかった領域での発見が期待されます<sup>[8] [15]</sup>。

## 広範な応用分野

現在は数学やコンピューティング分野で目覚ましい成果を上げていますが、将来的には材料科学、創薬、気候変動対策といった、アルゴリズムによる解決が求められるあらゆる分野への応用が期待されます<sup>[15]</sup>。

例えば、新しい触媒の設計や、より効果的な治療薬の分子構造の発見、あるいは地球温暖化を抑制するための革新的なプロセスの開発などに貢献する可能性があります<sup>[15]</sup>。

## インフラの効率化

Googleのようなインターネットやクラウドサービスを支えるインフラがより効率化され、消費電力の削減やサービスの高速化につながります。特にAIモデルのトレーニングや推論プロセスの最適化は、今後のAI技術発展において極めて重要です<sup>[8] [6]</sup>。

## 人間とAIの協働の新時代

AlphaEvolveはAIと人間の新たな協働モデルを示唆しています。VentureBeatの記事によれば、「人間とAIの最適な協力が解決されていない科学的課題に取り組み、これらのソリューションをGoogleのスケールで適用できる」とされています<sup>[9]</sup>。

Googleのエンジニアリングプロセスでも、AlphaEvolveによって「数ヶ月かかっていた専門家の作業が数日の自動実験で済むようになり、エンジニアの生産性も大幅に向上している」という報告があります<sup>[8]</sup>。

重要なのは、AlphaEvolveが科学者やエンジニアの代替ではなく、共同研究者としての役割を果たすことです。外部の専門家から問題定義や評価のアドバイスを受けることで、より良い成果が得られる

ケースが多いとされています<sup>[8]</sup>。

## 結論：AIによる科学的発見の新時代

AlphaEvolveは、AIが人間の設定した枠組みの中で最適解を探索する能力を持ち始めたことを示す重要なマイルストーンです。56年間改善されなかった数学的難問の解決や、Googleのインフラ最適化における目覚ましい成果は、AIが科学的発見とアルゴリズム革新の新時代を切り拓きつつあることを示しています。

しかし、現時点でのAlphaEvolveの発見は、あくまで人間が設計した評価基準の中での探索であることも忘れてはなりません<sup>[8]</sup>。自動評価メカニズムの必要性という制約は依然として存在し、今後の研究課題となっています。

将来的には、AlphaEvolveのようなシステムがさらに進化し、より広い分野での科学的発見や技術革新を加速することが期待されます。重要なのは、AIと人間それぞれの強みを理解し、協力して問題に取り組むことで、どちらか単独では到達できない新たな科学的発見の地平を開くことでしょう。

AlphaEvolveは、AIがただの予測ツールから、創造性を持ち科学的発見を主導する存在へと進化しつつあることを示す重要な一歩と言えます。

✻

1. <https://gigazine.net/news/20250515-google-ai-algorithm-alphaevolve/>
2. <https://jobirun.com/google-alphaevolve-future-of-problem-solving/>
3. <https://apidog.com/blog/google-alphaevolve/>
4. <https://chatgpt-enterprise.jp/blog/google-deepmind-alphaevolve/>
5. [https://note.com/it\\_navi/n/n6fb3dae84ad3](https://note.com/it_navi/n/n6fb3dae84ad3)
6. <https://deepmind.google/discover/blog/alphaevolve-a-gemini-powered-coding-agent-for-designing-advanced-algorithms/>
7. <https://www.linkedin.com/pulse/ai-math-breakthrough-googles-alphaevolve-improves-strassens-borish-umgdc>
8. [https://www.youtube.com/watch?v=uX\\_wl0JT7NE](https://www.youtube.com/watch?v=uX_wl0JT7NE)
9. <https://venturebeat.com/ai/meet-alphaevolve-the-google-ai-that-writes-its-own-code-and-just-saved-millions-in-computing-costs/>
10. [https://www.reddit.com/r/Al\\_Agents/comments/1kmjfhg/googles\\_llm\\_agent\\_alphaevolve\\_solved\\_the\\_famous/](https://www.reddit.com/r/Al_Agents/comments/1kmjfhg/googles_llm_agent_alphaevolve_solved_the_famous/)
11. <https://venturebeat.com/ai/googles-alphaevolve-the-ai-agent-that-reclaimed-0-7-of-googles-compute-and-how-to-copy-it/>
12. <https://www.nature.com/articles/d41586-025-01523-z>
13. <https://deepmind.google/discover/blog/funsearch-making-new-discoveries-in-mathematical-sciences-using-large-language-models/>
14. <https://note.com/sakamototakuma/n/n66f77bef6a80>
15. <https://xenospectrum.com/google-announces-alphaevolve-a-super-sophisticated-ai-that-can-also-develop-new-algorithms/>

16. <https://www.system-server.com/wp/blog/848/>