

国立大学法人東北大学
国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）

**AIで「刻々と変化する風」を低コストで正確に予測
—航空機や風車の設計を革新する、
低コストかつ高精度な流体解析技術—**

【発表のポイント】

- 航空機の振動や風力発電の騒音など、非定常現象が引き起こす課題の解決において重要となる時間変化する空気の流れを、AI（人工知能）を用いて、直接数値計算の約0.55%（およそ180分の1以下）という極めて低い計算コストで、高精度に予測する技術を実証しました。
- 従来のAI流体シミュレーションの多くは「定常（平均的）」な流れを対象としていましたが、「渦の放出周波数」などを直接学習させました。
- 本技術により、航空機や風力発電機の開発速度が飛躍的に向上し、安全で高効率な次世代製品の早期実用化への貢献が期待されます。

【概要】

航空機や自動車、風力発電機などの開発現場では、空気抵抗や騒音を予測するために流体シミュレーションが不可欠です。自然界の風は、常に強さや向きが変化する「非定常」なものです。しかし、近年盛んなAI流体シミュレーションの多くは、時間変化しない「定常」な流れを対象とし、現場が知りたい「振動」を扱える技術は確立されていませんでした。

東北大学流体科学研究所の川端敦仁大学院生、焼野藍子准教授らの研究グループは、メルボルン大学のリチャード・サンドバーグ教授らとの共同研究で、シミュレーションを実行しながらAIが学習する「CFD駆動型機械学習」を進化させ、渦の放出周波数などをAIに直接学習させました。これにより、設計現場で使える軽い計算負荷のまま、高い精度で非定常現象（渦の発生や変動）を再現することに成功しました。本成果は、計算コストの壁を取り払い、安全性や静粛性に優れた製品開発を劇的に加速させるものです。

本研究成果は、2026年1月29日付（現地時間）で、計算流体力学分野で世界トップクラスの評価（Q1）を得ている国際学術誌『Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics』に掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

流体シミュレーションにおいて、一定の速度で流れる「定常流」の予測は比較的容易であり、既存の低コストな計算手法（RANS モデル）で対応可能な場合が多くありました。しかし、航空機の翼がガタガタと揺れる現象（バフェット）や、風車の騒音などは、時間の経過とともに流れが激しく変化する「非定常」な現象によって引き起こされます。これまでの産業界標準の手法（URANS モデル^{（注1）}）では、この「時間変化する複雑な渦」を正確に捉えることが苦手で、例えば空気抵抗を 25%も過大に見積もってしまうなどの課題がありました。また、近年の AI ブームにより登場した多くの流体 AI モデルも、静止画のような「定常流」の補正にとどまる例が多く、動画のように動く「非定常流」を低コストで予測することはいまだ簡単ではありません。

今回の取り組み

本研究は、低コストな URANS に AI 補正を加えることで、DNS^{（注1）}並みの精度を実現しました。本研究チームは、生物の進化を模倣した AI 技術「遺伝的プログラミング（GEP）^{（注2）}」を用い、単に流れの平均的な形だけでなく、渦が生まれては消える「時間的なリズム（周波数）」を AI の学習ターゲットに組み込む新しいフレームワークを構築しました。これにより、AI は「流れの平均的な形を整える数式（非線形項）」と「渦のリズムを整える数式（線形項）」の両方を自ら発見し、最適な計算モデルを自動生成することに成功しました。検証の結果、四角柱周りの非定常な流れにおいて、従来手法では 25.4%あった空気抵抗の誤差をわずか 1.27%にまで激減させ、かつ渦の放出周期も正確に一致させることができました。さらに特筆すべきは、この高精度な非定常解析にかかる計算コストが、正解データを得るためのスーパーコンピュータを用いた DNS と比較して、わずか約 0.55%で済むという点です。

今後の展開

本技術により、これまでではスーパーコンピュータを使わなければ分からなかったような「風の動的な振る舞い」を、設計者が手元のコンピュータで短時間に把握できるようになります。今後は、より複雑な 3 次元形状（実際の航空機や自動車など）への適用を進めます。本技術が実用化されれば、振動や騒音といった「非定常」な課題を設計の初期段階で解決できるようになり、開発期間の短縮やコスト削減、さらにはエネルギー効率の高い製品設計に大きく貢献することが期待されます。

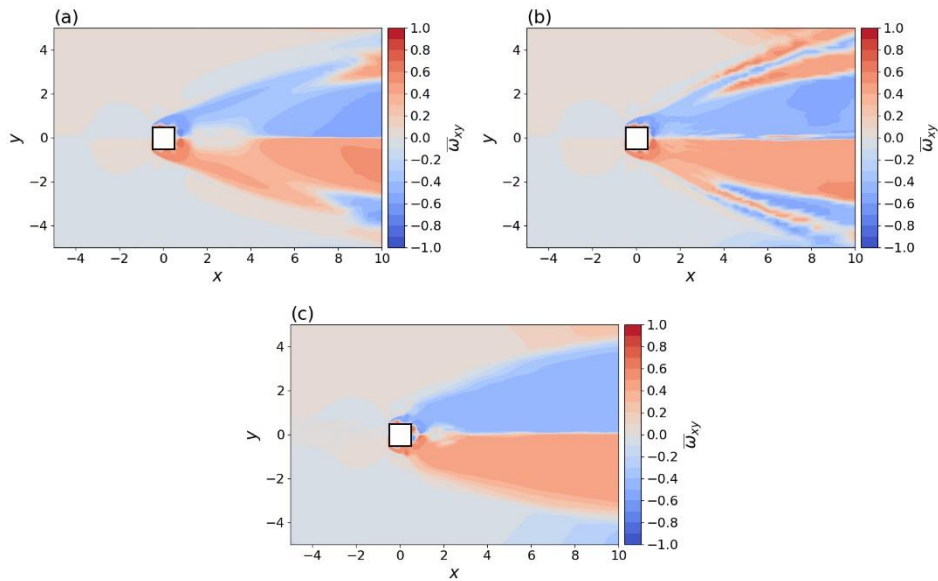


図 1. AI が捉えた「風の渦」のシミュレーション比較

(a) スーパーコンピュータを用いた DNS による正解データ。(b) 従来の低コスト手法によるベースライン。渦の構造がぼやけてしまっている。(c) 今回開発した AI モデルによる結果。低コストな計算でありながら、正解データ(a)と同様に、物体背後の複雑な渦の構造を鮮明に再現できている。

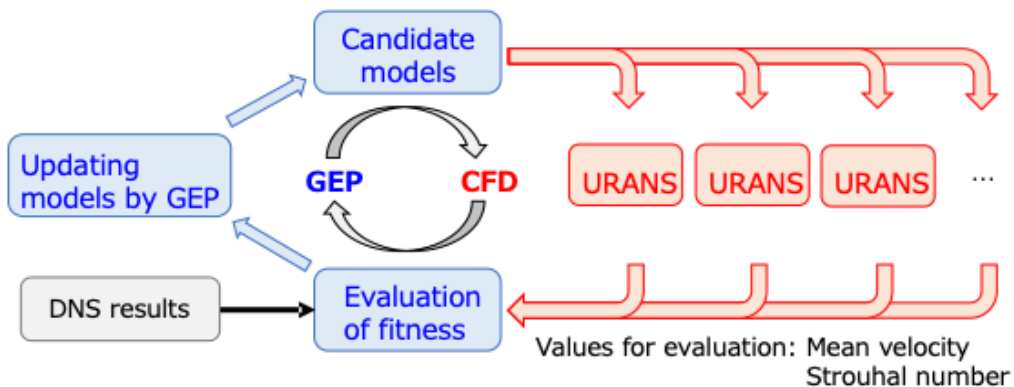


図 2. 本研究の「CFD 駆動型機械学習」の仕組み

AI (左) が計算モデルの数式を提案し、CFD (右) で実際にシミュレーションを行って評価する。このサイクルを繰り返すことで、生物が進化するように、AI が自律的に「最適な物理法則 (方程式)」を発見していく。

【謝辞】

本研究は、科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 CREST (JPMJCR24Q6)、創発的研究支援事業 (JPMJFR222R)、日本学術振興会

(JSPS) 科学研究費助成事業 (JP23K26030)、研究拠点形成事業 (JPJSCCA20210005)、オーストラリア研究会議 (ARC) Linkage Project (FT190100072)、および東北大学流体科学研究所共同利用・共同研究プロジェクト (J24I050) の支援を受けて行われました。また、本研究の数値シミュレーションには、東北大学流体科学研究所のスーパーコンピュータシステム「AFI-NITY II」が使用されました。なお、本論文は『東北大学 2025 年度オープンアクセス推進のための APC 支援事業』の支援を受け、Open Access となっています。

【用語説明】

注1. DNS (直接数値計算) と URANS (非定常レイノルズ平均モデル) 流体シミュレーションの計算手法。

DNS (Direct Numerical Simulation) : 乱流の微細な渦の動きまで省略せずに全て計算する手法。精度は極めて高いが、スーパーコンピュータを用いても膨大な計算時間がかかるため、産業利用は困難である。

URANS (Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes) : 細かい渦の動きを平均化 (モデル化) して計算負荷を大幅に下げる手法。産業界で標準的に使われていますが、複雑な非定常現象の予測精度が低いという課題があった。

注2. 遺伝的プログラミング (GEP : Gene Expression Programming) 生物の進化 (選択・交叉 (こうさ)・突然変異など) のメカニズムを模倣して、最適なプログラムや数式を自動的に生成する AI (機械学習) の手法。一般的な AI による統計モデルは、計算過程の中身が見えない「ブラックボックス」になりがちなのに対し、GEP はある程度の物理的な意味を持つ「数式」として結果を出力できるため、人間がメカニズムを理解しやすい (解釈性が高い) という特徴がある。

【論文情報】

タイトル: A Machine Learning-Based Closure for Unsteady RANS Simulations of Vortex Shedding

著者: Atsuhito Kawabata, Aiko Yakeno*, Shigeru Obayashi, Richard D. Sandberg

*責任著者: 東北大学 流体科学研究所 准教授 焼野藍子

掲載誌: Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics

DOI: 10.1080/19942060.2026.2619155

URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19942060.2026.2619155>

【問い合わせ先】

(報道に関すること)

東北大学 流体科学研究所
国際研究戦略室 広報担当

TEL: 022-217-5873

Email: ifs-koho*grp.tohoku.ac.jp

科学技術振興機構 広報課

TEL: 03-5214-8404

FAX: 03-5214-8432

Email: jstkoho*jst.go.jp

(JST 事業に関すること)

科学技術振興機構 戦略研究推進部
ICT グループ 櫻間 宣行

TEL: 03-3512-3526

FAX: 03-3222-2066

Email: crest*jst.go.jp

(メールアドレスは*を@に置き換えてください)