

2025 年 12 月 11 日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学

## 脳動脈形状の「仮想集団」モデルを開発 — 大規模データなしでも多様な脳血管構造を再現可能に —

### 【発表のポイント】

- 脳動脈中心線の各点における 3 次元座標 (XYZ) と半径データを統計的に扱い、実際の患者集団を模倣した「仮想脳動脈集団」を生成する手法を開発しました。
- 本手法により、個人差の大きい脳血管形状を、座標と太さの相関を保ちながら多数生成することが可能です。
- 血流解析や疾患リスク評価、医用 AI の学習データ拡張に応用が期待されます。

### 【概要】

脳血管疾患は血管形状の個人差が疾患リスクに影響することが知られており、将来的な AI モデルの開発や医療機器開発などの応用に向けて、その多様性を反映した血管モデルの構築が求められていました。

東北大学流体科学研究所の安西眸 准教授らは、脳動脈の中心線に沿った各点の XYZ 座標と半径データを統計モデルとして扱い、患者集団の多様性を再現した「仮想脳動脈集団」を生成する手法を開発しました。中心線の空間位置と血管半径を多変量正規分布 (MVND) で同時にモデル化することで、限られた実測データから多数の仮想血管形状を生成可能としました。生成形状は、血管長や屈曲度、半径分布などが実患者データとよく一致し、個人差の大きい脳血管構造を高精度に再現できることが確認されました。

本手法は、血流シミュレーション、疾患リスク評価、医用 AI の学習データ拡張を強力に支援し、未病解析やデジタルツイン医療、臨床試験シミュレーションへの応用が期待されます。

本成果は International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering に 2025 年 11 月 15 日付で掲載されました。

## 【詳細な説明】

### 研究の背景

脳動脈瘤や脳梗塞などの脳血管疾患は、血管形状の個人差によって血流刺激が大きく変化し、発症リスクにも影響を及ぼすことが知られています。一方で、患者ごとの脳血管構造は非常に多様であり、分岐位置や屈曲の程度、血管の太さなどが複雑に組み合わさるため、その個体差を十分に反映した大規模データの整備は容易ではありません。

医療画像から詳細な血管形状を取得するには手間と専門知識が必要で、施設間の画像差や倫理的制約も相まって、統計的に意味のある規模のデータセットを収集することは困難です。そのため、血流シミュレーション（CFD）や疾患リスク評価、深層学習を用いた自動解析モデルの構築において、「個人差を反映した十分なデータ数」が研究のボトルネックとなっていました。

この課題を解決するアプローチとして、「限られた実測データから、実際の患者集団の多様性を模倣した仮想血管データを生成する技術」への期待が高まっていました。特に、脳血管の形状を数理的にモデル化し、座標と太さの関係性を保ったまま、できる限りシンプルかつ妥当な方法で、新しい形状を多数生成できれば、研究・臨床の双方で大きな価値を生むと考えられていました。

### 今回の取り組み

本研究では、脳動脈の三次元形状を表す中心線<sup>(注1)</sup>上の各点のXYZ座標と半径値を統一的な数値ベクトルとして扱い、これらの多次元データの分布を理論的・実用的に扱いやすい多変量正規分布<sup>(注2)</sup>（MVND）によりモデル化しました。

中心線の形状は、単なる長さや角度ではなく、空間位置と太さの変化が密接に関係しているため、座標（XYZ）と半径（r）を同時に扱うことが、形状の「自然さ」を維持するうえで重要となります。

研究グループは、複数の患者データから得られた中心線ポイント群を整列・標準化し、各点の（X, Y, Z, radius）を連結した高次元ベクトルを形成しました。これらのベクトルの平均・分散・共分散をMVNDにより推定することで、血管の曲がり方（空間的な方向変化）、半径の変化パターン、座標と半径の相関構造を保持したまま、新しい脳動脈中心線を生成できる仕組みを構築しました。

生成された仮想血管群を実測データと比較したところ、血管長、屈曲度、半径分布などが高い精度で一致することが確認されました。これは、座標と太さの相関を含む「形状の自然さ」を統計モデルが適切に再現できたことを示しています。

## 今後の展開

本手法は脳血管にとどまらず、冠動脈、腎動脈、下肢動脈など、個人差の大きい他の血管系にも応用が可能です。生成した仮想血管集団は、多数の血管形状を対象とした血流シミュレーション（CFD）に利用でき、血流刺激と疾患リスクの統計的関係を高精度に評価することができます。さらに、形状の多様性を備えた大規模データを容易に生成できるため、医用 AI モデルの学習データとして活用すれば、認識・分類・予測といったアルゴリズムの性能向上に寄与します。また、形状のわずかな変化が血流に与える影響を体系的に検討できることから、未病段階の評価においても有用であり、疾患発症メカニズムの理解を深める基盤となります。加えて、仮想血管群を用いることで、集団レベルでの試験設計の最適化やリスク評価に関する概念実証が可能となり、臨床試験の計画立案を支援する「デジタルツイン医療」への展開も期待されます。

今後は、深層学習による血流即時予測技術や医療画像ビッグデータとの連携を図り、本手法を臨床現場でも利用可能なプラットフォームへと発展させることを目指します。

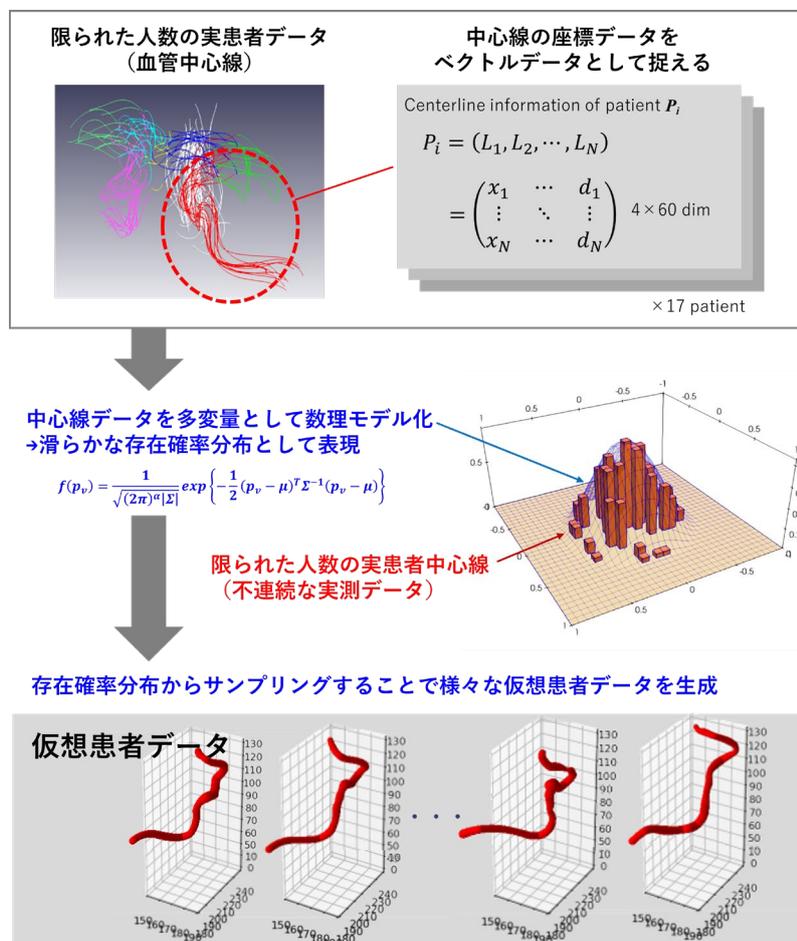


図 1. 少人数の実測データから大量の仮想データを生成

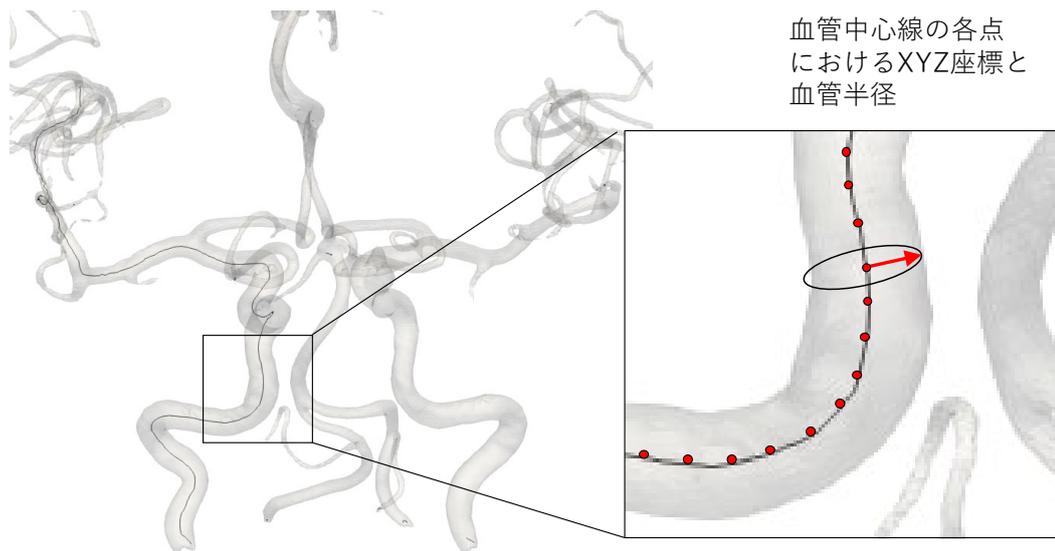


図 2. 統計モデルに入力する脳内頸動脈の中心線データ  
(中心線を構成する各ランドマーク点の座標と血管半径)

### 【謝辞】

掲載論文は『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. 中心線 (Centerline) : 血管の立体的な形状を一本の線として表現したもの。血管の位置、曲がり具合、長さといった幾何学情報を簡潔に扱うための基盤となる。今回の研究では、中心線上の各点の 3 次元座標 (X, Y, Z) を用いた。

注2. 多変量正規分布 (Multivariate Normal Distribution : MVND) : 複数の特徴量 (今回は XYZ 座標と半径) を同時に扱い、それらの平均・分散・相関構造をまとめて表す統計モデル。形状の空間配置と太さの関係性を維持したまま仮想血管の生成を可能にする。

### 【論文情報】

タイトル : Multivariate Normal Distribution Method for a Virtual Cerebral Arterial Population

著者 : Kazuyoshi Jin, Ko Kitamura, Shunji Mugikura, Naoko Mori, Stephen Payne, Makoto Ohta, Hitomi Anzai

\*責任著者 : 東北大学流体科学研究所 准教授 安西眸

掲載誌 : International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering

DOI : 10.1002/cnm.70117

URL : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41239999/>

#### 【問い合わせ先】

(研究に関すること)

東北大学流体科学研究所

准教授 安西眸

TEL: 022-217-5224

Email: [hitomi.anzai.b5@tohoku.ac.jp](mailto:hitomi.anzai.b5@tohoku.ac.jp)

(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)

TEL: 022-217-5873

Email: [ifs-koho@grp.tohoku.ac.jp](mailto:ifs-koho@grp.tohoku.ac.jp)