



令和3年2月9日

報道機関 各位

東北大学流体科学研究所

### ディープラーニングで血流場を予測

～形状データから3次元的な流れ場を1秒で予測する技術を開発～

#### 【発表のポイント】

- 血管内の流れ場取得には計測や数値流体解析が必要でしたが、ディープラーニング<sup>(1)</sup>技術で血管内の流れ場を推定することを可能としました
- 数値流体解析では約10分かかっていた大動脈・冠動脈の血流解析が、ディープラーニングでは約1秒で行うことが可能となりました

#### 【概要】

血管内で血流が生じる流れ場を知ることが、循環器疾患の病理解明や、治療方針策定、新しい治療デバイス開発等、様々な面で注目を集めています。血管内の流れ場を知るため、これまでは侵襲的/非侵襲的な血流計測や、コンピュータを用いた数値流体力学(CFD)解析<sup>(2)</sup>が行われてきました。しかし、計測における詳細な流れ場を知るための解像度の不十分性や、CFD解析に要する長い計算時間が問題でした。

東北大学流体科学研究所・太田研究室・安西眸助教の研究グループでは、CFD解析に代わる方法としてディープラーニング技術を用い、医療用画像から構築した血管形状に対して流れ場を瞬時に推定する技術を開発しました。

今回開発したディープラーニングネットワークでは、学習済ネットワークに点群の位置情報(血管形状を表す)を入力すると、CFD解析で得られるものと同様の速度場、圧力場を出力します。しかも、CFD解析では約10分を要していたのに対し、ディープラーニングでは約1秒で血流場を得ることが可能です。

本研究結果は2021年1月22日にCommunications Biology誌に掲載され、雑誌ウェブサイトソースコードが公開されています。

## 【研究内容】

血管内の流れ場を知ることは、循環器疾患の病理解明や、治療方針策定、新しい治療デバイス開発等、様々な面で注目を集めています。例えば冠動脈疾患 (Coronary Heart Disease: CHD) は多くの国において主要な死因であり、そのうち 50% 以上が冠動脈狭窄<sup>(3)</sup> に起因すると知られています。冠動脈狭窄を治療するためのプランを立てるためには狭窄の程度を正しく評価することが必要であり、現在臨床現場では冠血流予備量比 (Fractional Flow Reserve: FFR)<sup>(4)</sup> を測定しています。

血管内の流れ場を知るため、これまでは侵襲的/非侵襲的な血流計測や、コンピュータを用いた数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics) 解析が行われてきました。血流計測では計測したその場で流れ場を取得することが可能ですが、複雑な渦を含む血流挙動を解像出来る詳細なデータを得ることは難しいという問題があります。一方 CFD 解析では、数ミクロン単位の解像度で詳細な流れ場を得ることが可能ですが、解析のための高いスキルが必要で、また長い計算時間が必要なことが問題として挙げられます。

そこで東北大学流体科学研究所・太田研究室・安西眸助教の研究グループでは、CFD 解析に代わるものとしてディープラーニング技術を用い、医療用画像から構築した大動脈周り血管形状に対し、流れ場を瞬時に推定する技術を開発しました。研究結果は 2021 年 1 月 22 日に *Communications Biology* 誌に掲載され、雑誌ウェブサイトソースコードが公開されています。

掲載論文では大動脈と冠動脈を含む血管を用いており、CFD によって得られた流れ場をディープラーニングネットワークに学習させています。したがって、学習済ネットワークに点群の位置情報(血管形状を表す)を入力すると、CFD 解析で得られるものと同様の速度場、圧力場を出力します(下図)。しかしながら、CFD 解析では血流場の収束に約 10 分を要していたのに対し、ディープラーニングでは約 1 秒で血流場を得ることが可能となりました。

CFD 結果に対するディープラーニング出力結果の誤差を計算したところ、速度の平均絶対誤差 (Mean Absolute Error: MAE) は 10% 以下であり、特に冠動脈では 5% 以下となりました。圧力の平均絶対誤差は 8% 以下であり、特に冠動脈では 4% 以下となりました。CFD 結果およびディープラーニング出力から冠動脈狭窄部における FFR を算出したところ、強い線形の相関 ( $r = 0.9580$ ) がみられたことから、本研究で開発したネットワークは CFD により得られる流れ場をよく予測していると考えられます。

開発したネットワークは点群データを入力するものであり、事前に入力データの数をそろえたり、順番を並べ替えたりという規格化の処理を必要としません。したがって、どのような複雑な血管形状でも適用が可能です。研究グループでは心血管のみならず、脳やその他の血管でもネットワークを学習させるため、現在検討を行っています。

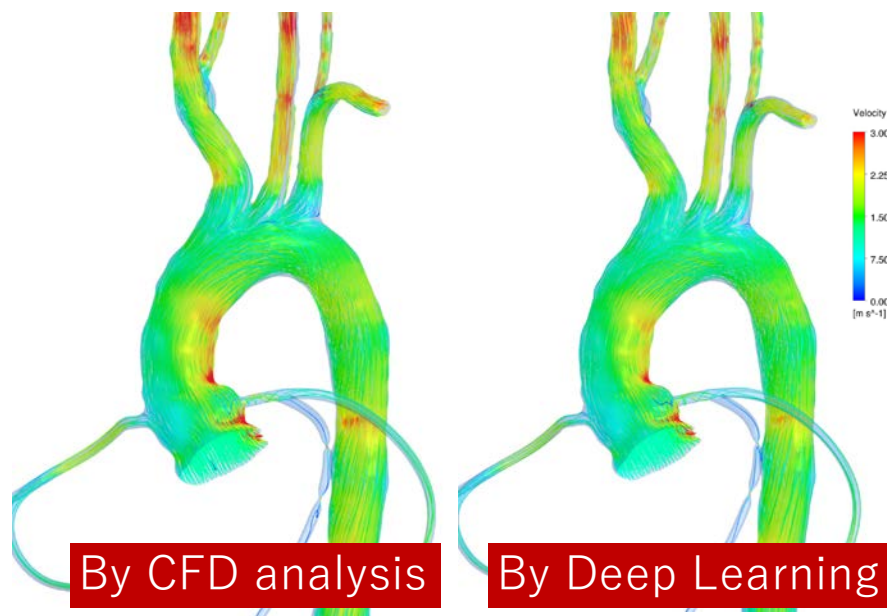


図. CFD 解析で得られる流れ場とディープラーニングで得られる流れ場  
(流線の可視化)

### 【補足】

#### (1) ディープラーニング

機械学習の一種で、深層学習とも呼ばれます。大量の学習データを読み込ませ、そのデータに含まれる特徴を自動的に抽出する技術です。本研究では、PointNet(Qi et al., *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* 652–660 (2017))をベースとしたネットワークを構築しており、点群データを入力します。学習データに用いた CFD 結果は医療用画像 110 名分から再構築された血管形状を基にしており、形状に変形を加えることで人工的に血管形状を作成し、学習データの拡張を行いました。

#### (2) 数値流体力学(Computational Fluid Dynamics)解析

偏微分を含む流体運動の基礎方程式を離散化によって代数方程式で表現し、コンピュータ上で解析することで、流れの物理現象を再現する。

#### (3) 冠動脈狭窄

心臓が全身に血液を送り続けるために、冠動脈が心筋に血液を送り続ける必要があります。冠動脈は大動脈が心臓から出たところから枝分かれし、心臓の表面を這うように走行しています。この血管がコレステロールの蓄積などによって狭くなってしまった状態が冠動脈狭窄です。冠動脈が狭くなると末梢まで血液を送ることが難しくなり、狭心

症や心筋梗塞などにつながる可能性があります。

#### (4) 冠血流予備量比(Fractional Flow Reserve: FFR)

冠動脈内に狭窄病変があるとき、狭窄病変によってどのくらい血流が阻害されているかを推測する指標です。

#### 【論文題目】

掲載誌: *Communications Biology* **4**, Article number: 99 (2021)

題目: Prediction of 3D Cardiovascular hemodynamics before and after coronary artery bypass surgery via deep learning

著者: Gaoyang Li, Haoran Wang, Mingzi Zhang, Simon Tupin, Aike Qiao, Youjun Liu, Makoto Ohta & Hitomi Anzai

出版日: 2021年1月22日

doi: <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01638-1>

#### 【問い合わせ先】

(研究について)

東北大学流体科学研究所

生体流動ダイナミクス研究分野

助教 安西 眸(あんざい ひとみ)

E-mail [hitomi.anzai.b5@tohoku.ac.jp](mailto:hitomi.anzai.b5@tohoku.ac.jp)

(報道について)

東北大学流体科学研究所 広報戦略室

電話 022-217-5873

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

(\*を@に置き換えてください)