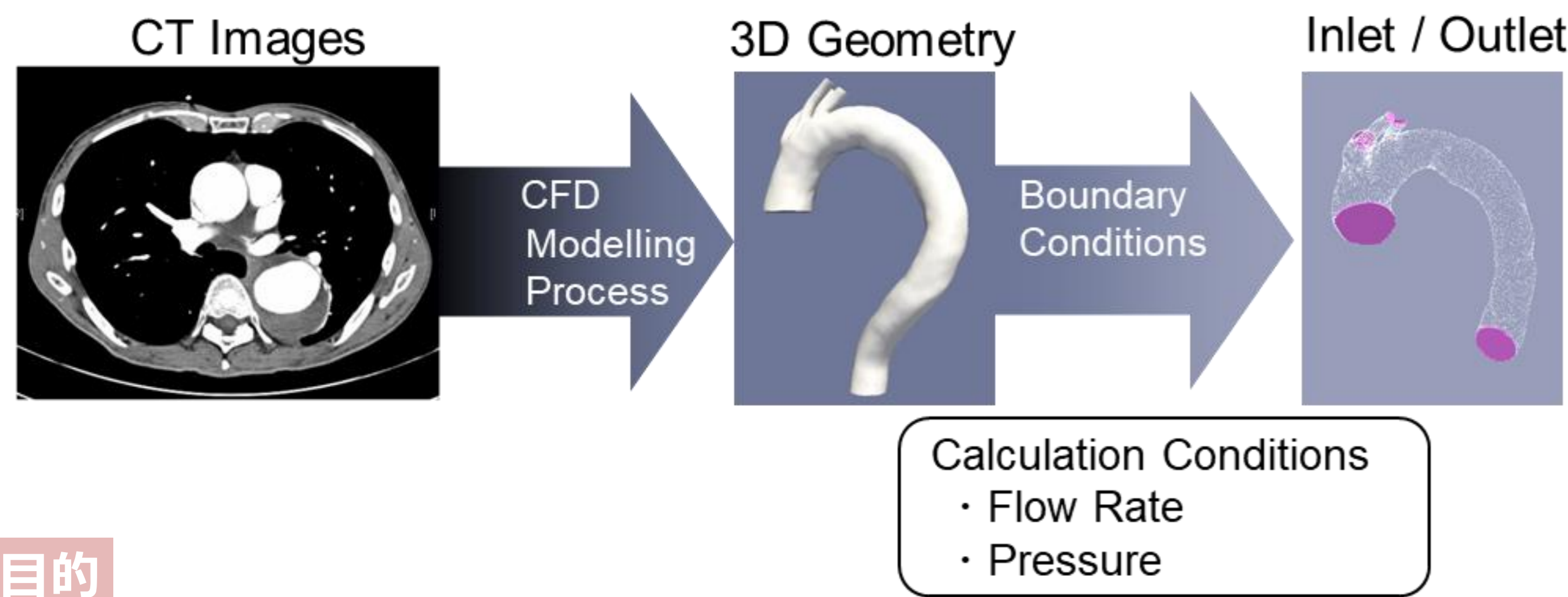


# 流体-構造連成解析を基にした大動脈解離シミュレーションモデルの構築 Aortic Dissection Simulation Model based on Fluid-Structure Interaction Analysis

○武田量<sup>1\*</sup>, 佐々木克彦<sup>1</sup>, 大島伸行<sup>1</sup>, 横山博一<sup>2</sup>, 黒田明慈<sup>1</sup>, 柴田良一<sup>3</sup>, 高橋 裕介<sup>1</sup>, 高嶋 英巖<sup>4</sup>, 李 辰宇<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>北海道大学, <sup>2</sup>旭川医科大学, <sup>3</sup>岐阜工業高等専門学校, <sup>4</sup>株式会社AIS北海道

## 研究背景

医療画像群から大動脈の形状データを取得し、このデータを汎用のCADソフトにインポートし3次元の大動脈表面モデルを作成する。表面形状モデルより上行大動脈・下行大動脈をそれぞれ入口と出口とした血流部分の流体 (CFD) モデルを構築する。また、表面モデルに血管壁の厚さ分の要素を追加して血管壁の有限要素 (FE) 構造モデルを構築する。さらに、流体モデルと構造モデルの変化の相互作用を計算可能な弱連成による流体-構造連成 (FSI) 解析用の開発環境を構築する。FSIを構築することにより、それぞれCFDとFE単体の数値計算では考慮できない、心臓脈動時における血管壁の変形が血流の流れ場に影響を及ぼす影響を推定可能とする。

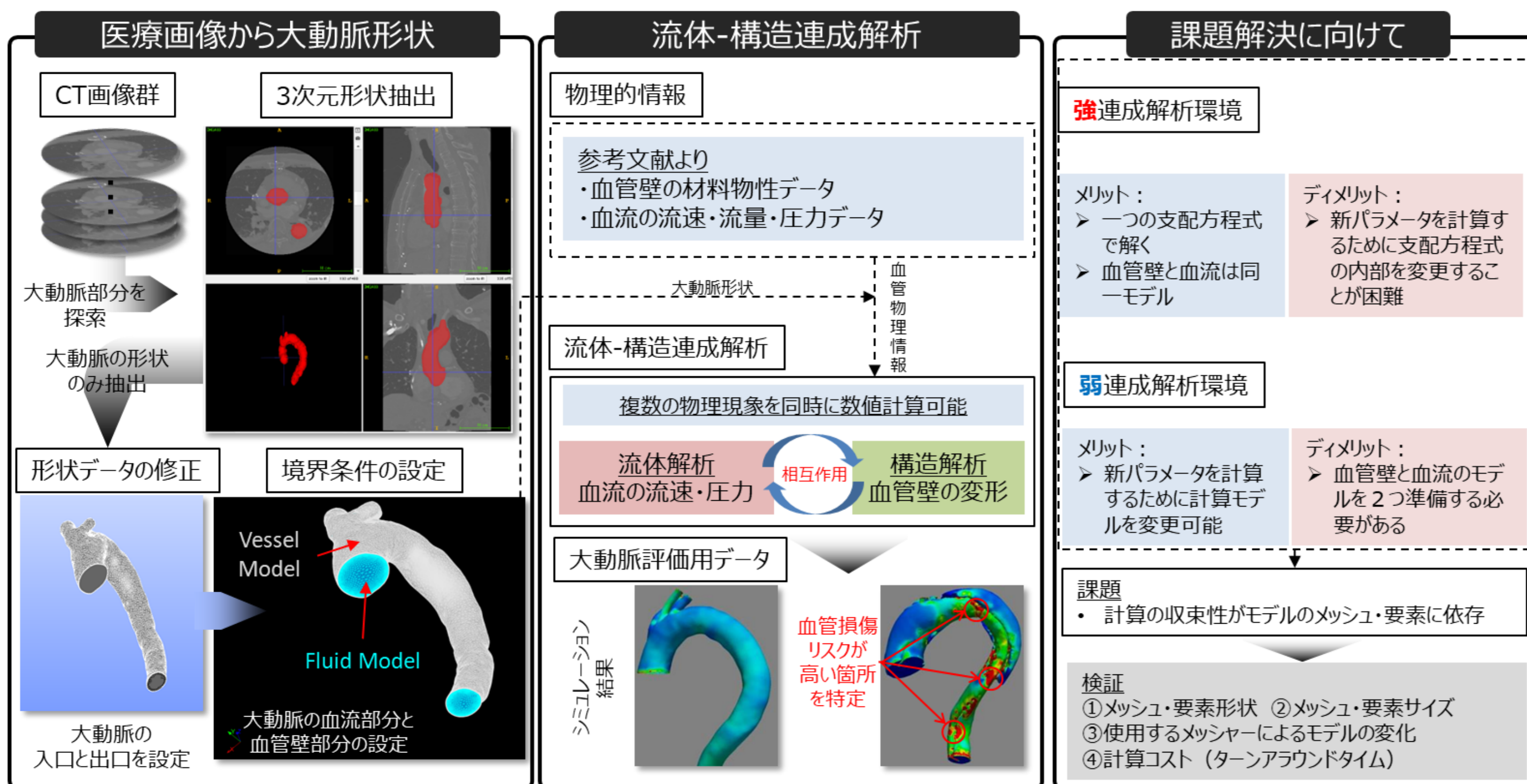


### 目的

大動脈疾患に関するリスク及びその治療方法の評価可能な数値解析シミュレーション方法を開発

## 研究の実施方法

### 研究計画



### 研究目標 A) 大動脈の血流モデルと血管壁モデルの構築

CT画像群から大動脈の3次元形状を抽出する。本研究では、公開されているソフトウェアより胸部CT画像群から大動脈の境界閾値を特定し、大動脈部分のみの3次元形状セグメンテーションを行う。得られた形状データ (STL形式) をCADのソフトウェアにエクスポートして、計算簡略化のための形状表面スムージング処理を実施する。その後、形状データの内側部分を血流モデルとし、外側部分に血管壁の厚さ分の要素を追加したものを血管壁モデルとする。また、血流モデルの流れの入口・出口の境界条件を設定する。形状および境界条件については共同研究者でもある旭川医科大学の下で行う。

### 研究目標 B) FSI解析環境によりモデルの要素品質の検証

FSI解析環境ではそれぞれ異なる大動脈モデルを用意する必要があった。強連成解析環境では一つの支配方程式で流体と構造をまとめて計算するため、血管壁と血流が一つとなったモデル (血管壁+血流) を用意する必要があった。それに対して弱連成解析では構造部分と流体部分では異なるソフトウェアが並列して計算するため、血管壁モデルと血流モデルを別々のファイルで別々のデータ形式で作成する必要がある。

これまでのJHPCN課題 (jh200035, jh210029, jh220026) の成果から両解析環境では異なる課題が見つかった:

#### 強連成解析環境

- 計算の収束性がモデル (血管壁+血流) のファイルサイズによる依存

#### 弱連成解析環境

- 計算の収束性が血流モデルと血管壁モデルのメッシュと要素の種類に依存

本研究では計算精度の検証を実施する。

- ① メッシュ・要素形状
- ② メッシュ・要素サイズ
- ③ 使用するメッシャーによるモデルの変化

## これまでの研究成果

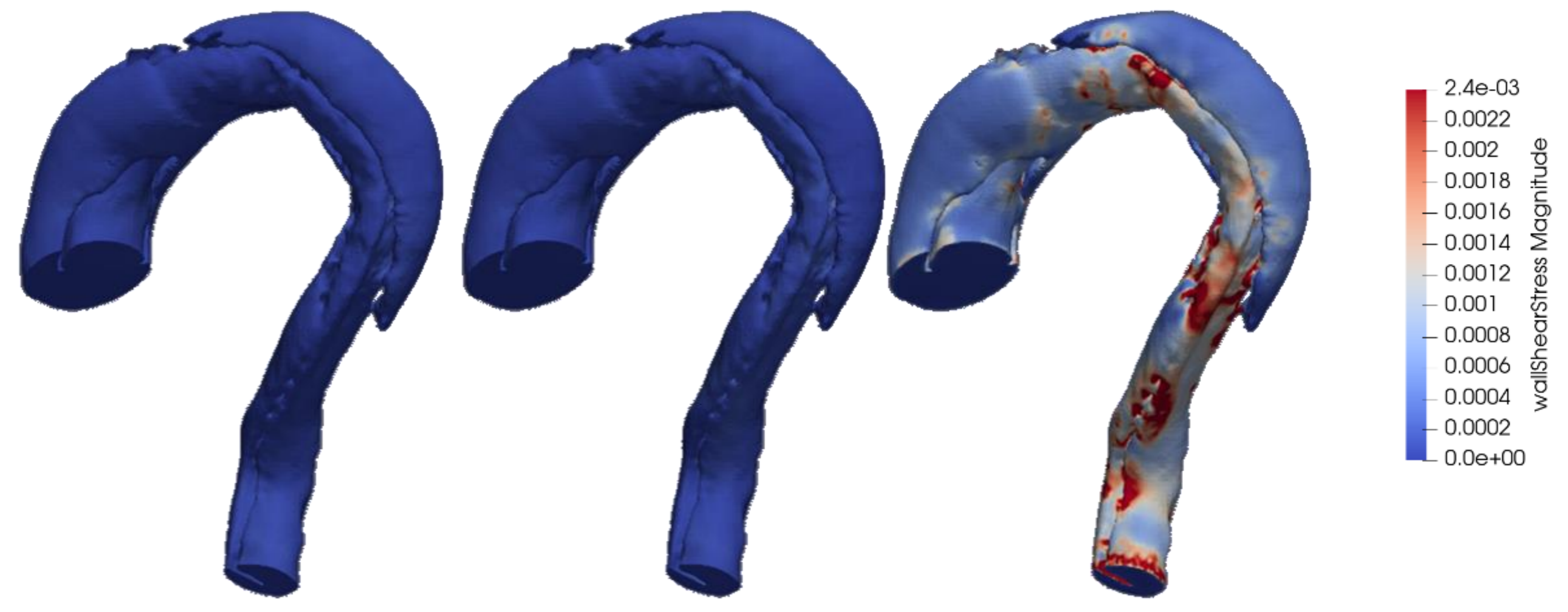
JHPCN課題 (jh200035, jh210029) の成果はAnnals of Vascular Surgeryに論文1編を投稿した[1]。更に医工学分野での課題[2], 数値計算手法の課題[3, 4]やその航空工学分野[5] [6] [7]への応用についても数多く報告した。

### 医療ツールとしての成果 [1]

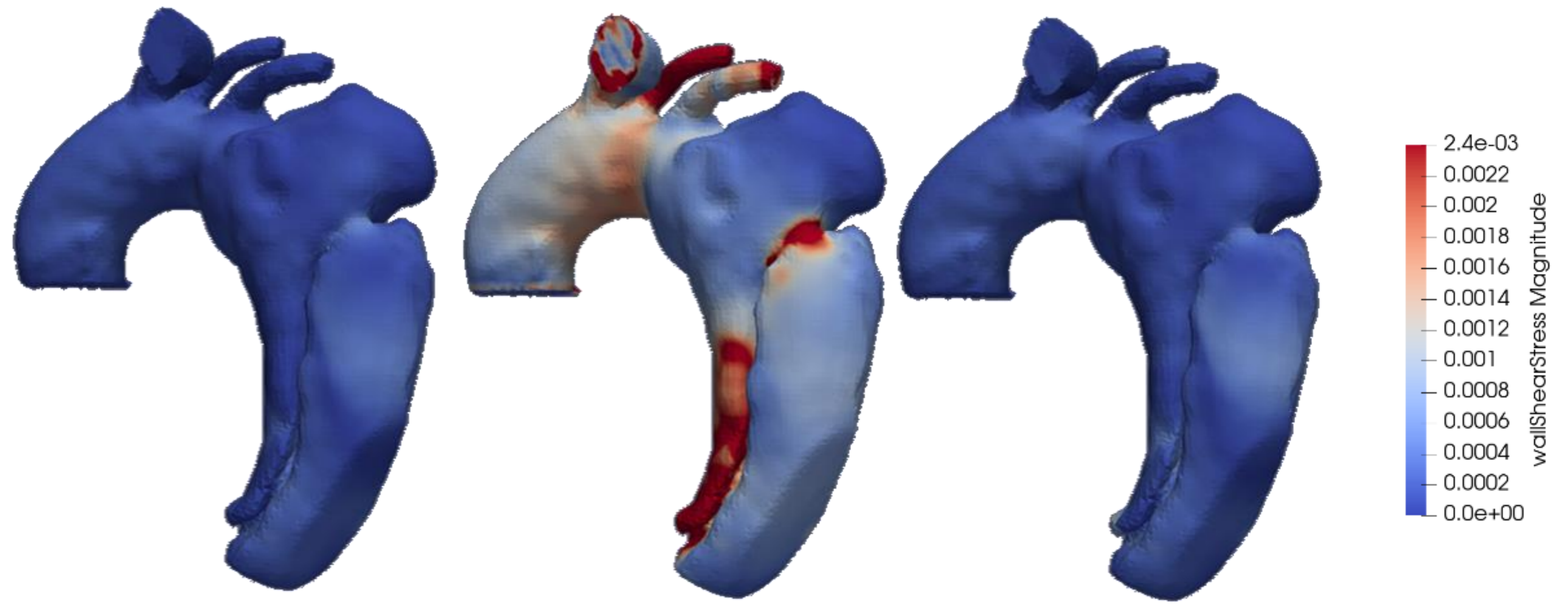
#### 健全な大動脈モデル



#### Stanford A型 大動脈モデル



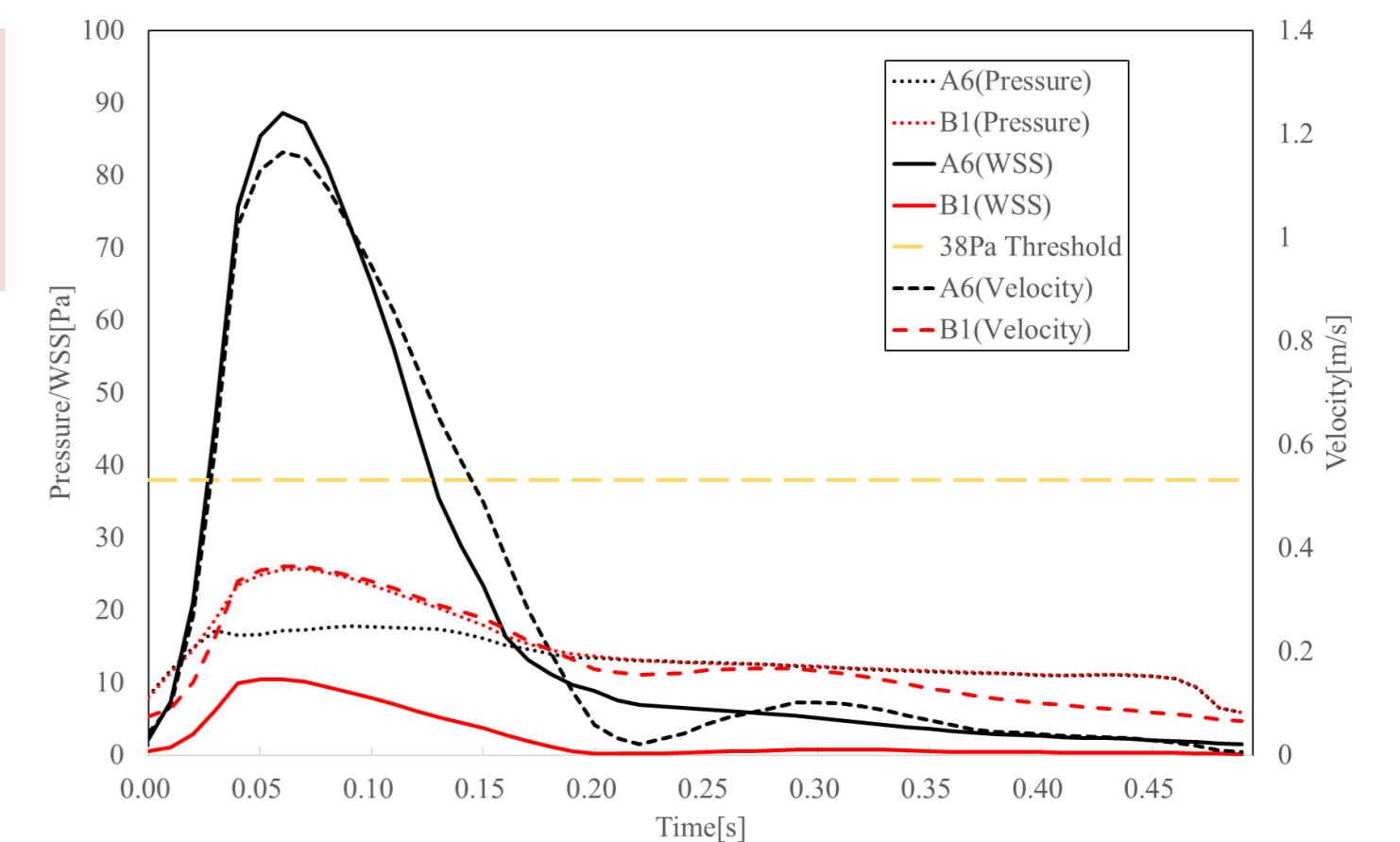
#### Stanford B型 大動脈モデル



## 健全 vs. 解離が発生した大動脈モデルによる壁面せん断応力 (WSS)

解離が発生した大動脈モデルはWSS > 38Paを超えることが判明

※38Pa以上: 血管壁損傷リスク



## 参考文献

[1] R. Takeda, F. Sato, H. Yokoyama, K. Sasaki, K. N. Oshima, A. Kuroda, H. Takashima, C. Li, S. Honda, H. Kamiya, "Investigations into the Potential of Using Open Source CFD to Analyze the Differences in Hemodynamic Parameters for Aortic Dissections (Healthy versus Stanford Type A and B)", Ann Vasc Surg. 2021 Oct 12;50890-5096(21)00686-5. doi: 10.1016/j.avsg.2021.08.007.  
[2] 横山博一, 大島伸行, 佐々木克彦, 黒田明慈, 武田量 他. "医療者のための流体力学入門". INNERVISION, 2019~2020 (連載).  
[3] 北嶋航太, 佐々木克彦, 武田量, 本田真也, 横山博一, 大島伸行, 黒田明慈, 高嶋英巖, 李辰宇. "胸部大動脈解離の真腔・偽腔間壁に関する流体構造連成解析". オープンCAEシンポジウム 2021. A-14, 12/3, 2021.  
[4] 北嶋航太, 佐々木克彦, 武田量, 本田真也, 横山博一, 大島伸行, 黒田明慈, 高嶋英巖, 李辰宇. "Elmerによる胸部大動脈解離を対象とした流体-構造連成解析". 第35回計算力学講演会, 15-04, 11/16-18, 2022.  
[5] 戸張純希, 高澤 秀人, 高橋裕介, 大島伸行, 柴田良一. "柔軟構造エアロシェルと流体構造連成シミュレーション". 第65回宇宙科学技術連合講演会, 1E08, 11/9-12, 2021.  
[6] Y. Takahashi, "Numerical Simulation of Fluid-Structure Interaction for Thin Flat Delta Wing at Transonic Speed based on Opensource Software", 307, 9th edition of the International Conference on Computational Methods for Coupled Problems in Science and Engineering (COUPLED PROBLEMS 2021), 14-16 June, 2021.  
[7] S. K. Saha, J. Tobari, Y. Takahashi, N. Oshima, T. Moriyoishi, K. Yamada, and R. Shibata. "Fluid-Structure Interaction Characteristics of Inflatable Reentry Aeroshell at Subsonic Speed", Aerospace Science and Technology, 2023. (in press)