



血管-血液応力相互作用の解明に向けた固-液応力場可視化技術の創成

流体工学、熱工学
およびその関連分野



研究者所属・職名 : 工学研究科・助教

ふりがな むとう まさかず
氏名 : 武藤 真和

主な採択課題 :

- [基盤研究\(B\)「光弾性法と超音波ドプラ法の複合計測が拓く血液-血管応力集中部の可視化技術の創成」\(2023-2025\)](#)
- [若手研究「脳動脈瘤の応力集中部の特定に向けた4D流体応力場計測システムの開発」\(2020-2023\)](#)
- [研究活動スタート支援「非定常流体応力場の可視化に向けた光弾性計測システムの開発」\(2019-2020\)](#)

分野 : 流体工学、光学、生体医工学

キーワード : 血行力学、可視化技術、応力計測、偏光計測、光弾性法、複屈折

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？(研究の背景・目的)

日本はクモ膜下出血の発症が世界的に高く、死者は毎年1万人を超え、その約95%は脳動脈瘤の破裂が原因である。この原因解明には、瘤内部を脈動する血液と、それに起因する血管壁の応力相互作用の調査が鍵となるが、その現象を高時空間分解能で捉える実験的な可視化手法は存在せず、数値解析手法(流体-構造連成解析)に頼らざるを得なかった。本研究では、模擬血管内を脈動する模擬血液の固-液応力場を、高速度偏光カメラを用いた非定常・非接触計測により可視化することで、瘤破裂の原因の実験的解明を目的とする。

●研究するにあたっての苦労や工夫(研究の手法)

本手法では、応力に比例関係のある複屈折の光学データを取得できる。したがって、応力場の可視化では複屈折を応力に変換する必要があるが、ここで2つの困難な点がある。1つ目は、応力に対する複屈折の感度(応力光学係数)が物質ごとに異なる点である。2つ目は、本手法で計測できる光学データ(位相差)は複屈折の光軸方向の積算量であるため、三次元応力場の可視化に向けては三次元再構成法を導入する必要がある点である。これらの解決に向け、応力光学係数の計測システムの開発や三次元再構成法の構築も並行して進めている。

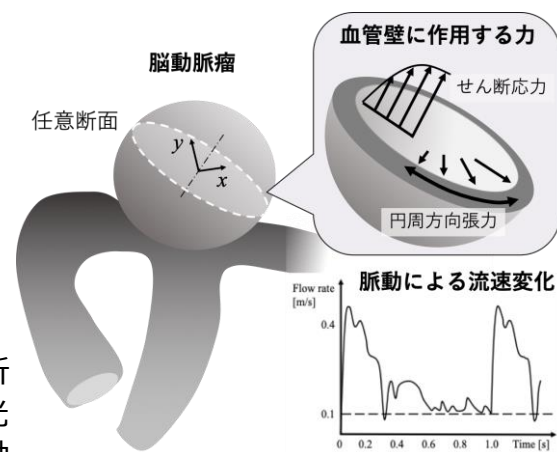


図1 血液の脈動流により脳動脈瘤に作用する応力の種類

血管-血液応力相互作用の解明に向けた固-液応力場可視化技術の創成

流体工学、熱工学
およびその関連分野

研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

高速度偏光カメラを用いた複屈折場計測システムを構築したことで、下記2つの研究項目について世界に先駆けて成功した。

- 伸長する複雑液体に作用する伸長応力と位相差の同時計測を達成した (図2(b))。応力は液糸の時系列画像より算出できる。従来計測が困難とされた液体の伸長流動下での応力光学係数を取得でき、液体の位相差データを流体応力に変換可能となった。
- ガラス製矩形管内を流れる複雑流体の位相差場の実験的可視化に成功し、その空間強度分布が流体応力場の数値解析結果と一致することを示した。また、流体のインデックスマッチング法と複屈折性高分子ゲルを本手法に適用することで、模擬血管 (高分子ゲル製円管) 内を脈動する模擬血液 (液体高分子) の固-液応力場の可視化と非定常計測を達成した (図2(c))。

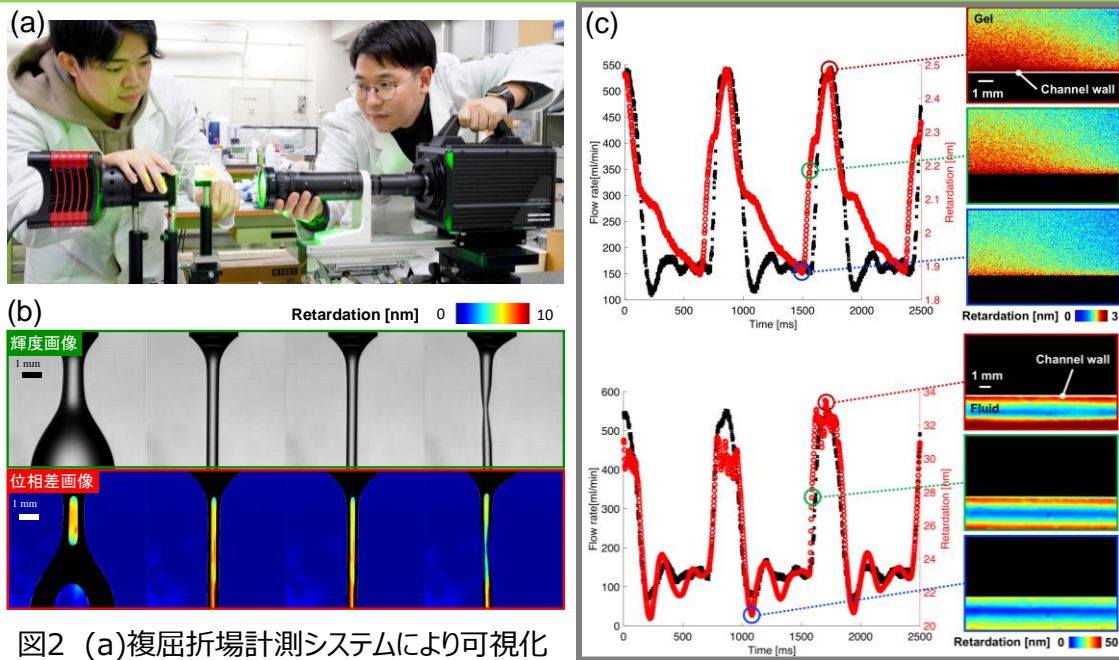


図2 (a)複屈折場計測システムにより可視化した (b)複雑流体と (c)固体・液体の位相差場

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

本手法による固-液応力場計測データを活用することで、血行力学分野への貢献が期待される。例えば、血管内に留置されたステント (医療器具) 内部を流れる血液の流体応力場を実験的に直接計測できるツールは存在しないが、模擬血管と模擬血液の応力相互作用の計測データを学習した機械学習モデルの導入により、模擬血管の固体応力計測データから、ステント内部の血液の流体応力場を予測できる未来が訪れるかもしれない。

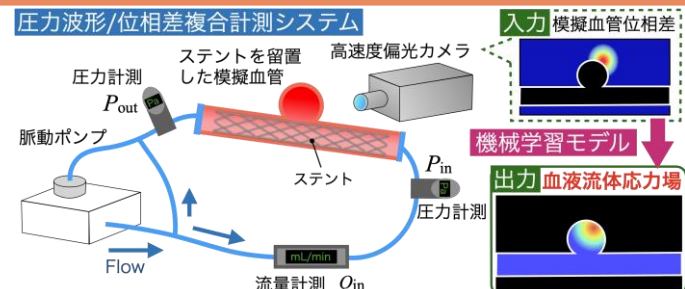


図3 血液流体応力場を予測する機械学習モデルのコンセプト