

AVEC CFD 2016 理化学研究所 計算工学開発ユニット

深作和明^{***}, 野田茂穂^{*}

^{*} 理化学研究所 情報基盤センター 計算工学応用開発ユニット

[〒100-1111 埼玉県和光市広沢 2-1]

^{**} 碑文谷病院 脳神経外科

1. 緒言

我々は理化学研究所情報基盤センター計算工学応用開発ユニット深作和明、野田茂穂の2名で解析に当たっている。

2. 方法

理化学研究所 VCAD システム研究プログラムで開発したボクセル法を用いる熱流体解析システムをもとにして、それを血流解析システムに拡張したソフトウェア群¹⁾を利用している。このシステムでは、形状の入力からシミュレーションの実行、結果の可視化までの全てをボクセルデータのみで完結することができる。そのため、原則として医療画像のデータから形状を抽出する必要がない。

・セグメンテーション

セグメンテーションは、輝度地の Window Width と Window Level を指示することによって行った。ボクセル作成に用いたプリシステムである VXgen での Window 情報設定に先立ち、ImageJ により、近接する血管を分離可能なできるだけ高い輝度値を下限とした。近接した、あるいは、接触した血管が連続した血管となってしまう点は、セグメンテーションにおいて常に大きな問題である。血管と動脈瘤が連続してしまう部分では、動脈瘤が形状を保てるように、血管側に境界を移動して境界を作成した。血管同士の接触ではなるべく本来の境界に境界を設定したが、一部の小径の血管は削除した。

解析領域は必要最小限とした。近位部の構造から動脈瘤近傍に旋回流の発生が予想される場合には、その構造は解析領域に加えた。

・計算格子

計算格子のサイズは DICOM のボクセルサイズをそのまま用いている。したがって、課題1では 0.14 mm、課題2では、0.23 mm である。ただし、各ボクセルには血液がボクセルに占める体積率、開口率が設定され、血管壁部分の構造も反映されている。ボクセル法では階段近似による形状再現性の低下が懸念されるが、体積率開口率を用いることで、体積積分及び面積積分において形状を正確に表現することができる。

課題1の前大脳動脈遠位部では 87 x 91x144 ボクセル、脳底動脈先端部 210 x 108 x 309 ボクセル、課題2右内頸動脈系 200 x 132 x 131 ボクセル、左内頸動脈系 199 x 131 x 130 ボクセルである。

・境界条件

血液は非圧縮性ニュートン流体とし、比重 1.05、粘性係数 3.5 cP とした。血液血管壁はリジッドなものとし、流体-構造連成解析は行っていない。入り口は直径を代表長さとして、ハーゲンポアズ

イユ分布を作成した上で、レイノルズ数 700 程度の流れを流入させている。出口はフリーフローとしている。

・計算

流体解析ソフトウェアである V-FLOW3D を用いた。V-FLOW3D は非圧縮流体方程式の離散化として対流項を三次精度風上である QUICK 法、時間項を二次精度の Adamsbashforth 法、その他の項には二次精度中心差分を用いている。解法として HSMAC 法を用いており、圧力の境界条件を指示する必要がない。方程式の離散化時に体積率及び開口率を用いることで、形状を正しく表現している。

・ポストプロセッシング

得られたデータは、可視化ソフトウェア Viso にて可視化した。瘤内の流線の差を表現できるように心がけた。

3. 結果

定常流での流速の分布までの計算は終了したが、代表値の算出には至らなかった。

課題1では、脳底動脈瘤では瘤の近位部に振動する流れが形成され、瘤内部にも影響が及んでいた。一方の前大脳動脈末梢部ではきれいな定常流が形成され、瘤内部全体に広がっていた。

課題2では左中大脳動脈瘤では、瘤全体に流れが分布していた。右前大脳動脈起始部では、瘤内の流れは乏しく、底部の流れは不良であった。右交通動脈部では、bleb での流れが極めて悪く、ほとんど停滞していた。

4. 考察

血管壁が維持されるには、ある一定の安定したずり応力が必要と思われる。したがって、定常流解析の段階では、課題1では、脳底動脈瘤が、課題2では右後交通動脈が破裂したものと判断した。

5. 結言

課題1では、脳底動脈瘤が、課題2では右後交通動脈が破裂したものと判断した。

文 献

- 1) <https://vcad-hpsv.riken.jp>