

課題名 (タイトル) : データ同化血流シミュレーションの研究開発

利用者氏名 : 伊井 仁志*

所属 : *情報基盤センター 計算工学応用開発ユニット

1. 本課題の研究の背景, 目的, 関係するプロジェクトとの関係

近年, 医療計測により非侵襲的に患者個別の血流速度場を取得することが可能となっている. しかしながら, 計測による速度誤差, 空間解像度の荒さから, 計測速度場のみを用いた壁面せん断応力などの血行力学因子の評価は信頼性に欠けてしまう. 数値シミュレーションと計測データを組み合わせたデータ同化血流シミュレーション手法の確立により, それぞれが持つ問題点を克服し, 患者個別を考慮した血流場の詳細な評価が可能となる. 本研究では, フィードバック手法に基づく血流データ同化シミュレーションの妥当性検証を目的とし, 円管ポアズイユ流れの同化結果を議論する.

なお本研究は, ポスト「京」開発事業 (フラッグシップ 2020 プロジェクト: FLAGSHIP2020 Project), 重点課題 2・サブ課題 B と関連しており, 実データを用いたデータ同化血流シミュレーション開発の基礎的研究として実施されている.

2. 具体的な利用内容, 計算方法

非定常非圧縮性 Navier-Stokes 方程式に対しボクセル格子に基づく数値流体解法を適用する. 任意形状を持つ剛体壁は, Boundary data immersion method (Weymouth and Yue, 2011, J Comput Phys, 230, 6233-6247) により陰的に表現される. 解法には圧力プロジェクション法を採用し, 有限差分法により離散化を行う. また, 領域分割に基づく OpenMP+MPI のハイブリッド並列により計算が実行される.

3. 結果

円筒ポアズイユ流れに対してデータ同化解析を行う. 図 1 に解析で用いる疑似計測速度データを示す. ここで計測データを模擬するために, 任意の空間解像度を指定し等間隔に疑似データを配置し, その点におけるポアズイユ流れの解析解に

正規乱数に従うノイズを加えることで速度ベクトルを得ている.

図 2 に速度場の同化結果を示す. ポアズイユ流れの特徴である二次分布が再現されていることが確認できる. また本結果から, データノイズに対するロバスト性が示された. 数値シミュレーションでは, 計測の空間解像度より細かい解像度を採用し解を得ることが可能であり, 壁面せん断応力など局所速度場に依存する物理量を評価することが可能となる.

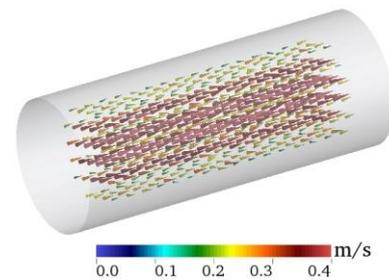


図 1 疑似計測速度ベクトル.

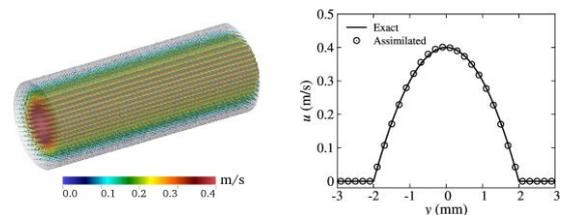


図 2 データ同化解析による全格子点での速度ベクトル (左図) および主流方向速度に関する解析解との比較 (右図) .

4. まとめ

本研究では, フィードバック手法に基づく血流データ同化シミュレーションの妥当性を円管ポアズイユ流れを通じて検証した.

5. 今後の計画・展望

実際の血流現象は拍動性が無視できないため, 今後は時系列計測速度データを用いた解析手法の発展を行う計画である.