



文部科学省次世代IT基盤構築のための研究開発  
 「革新的シミュレーションソフトウェアの研究開発」  
 M-SPhyR Circulation 3次元大規模血流解析ツール MC-BFlow  
 Research and Development for Next-generation Information Technology of MEXT,  
 "Revolutionary Simulation Software"  
 MC-BFlow simulation program for 3D blood flow analysis

東京大学生産技術研究所 ————— 計算科学技術連携研究センター

分類	生命現象シミュレーション
キーワード	イメージベース血流解析、大規模3次元流体解析
開発者	畝村 毅、徳田茂史、関井雄一郎、張 会来、大島まり
公開年月	2007年6月
コード名	MC-BFlow
使用言語	Fortran90

◇ 3次元血流解析ツール MC-BFlow

血管病変の発症・進行には血液の流れや壁面せん断応力などの血行力学的因子が影響を与えていると考えられている。血管病変の発症・進行のメカニズム解明に役立てるべく、器官・組織・細胞レベルに着目したマルチスケール・フィジクス・シミュレーションを実現するシミュレーションシステムとして M-SPhyR (Multi-Scale and Physics simulator) Circulation システム (図1) を開発している。MC-BFlowは、M-SPhyR Circulationの主要コンポーネントの一つであり、MC-Modeling により作成した血管形状を用いてイメージベースの大規模3次元血流解析を行うソフトウェアである。またアドインモジュールの使用によりマルチスケール・マルチフィジクスシミュレーションを実現している。

◇ MC-BFlow の特徴

MC-BFlow は文部科学省 IT プログラム戦略的基盤ソフトウェア開発プロジェクトにおいて開発された流体解析ソフト FrontFlow/red をベースとした有限体積法に基づく3次元流体解析プログラムである。基本的な流体解析についての精度・性能は

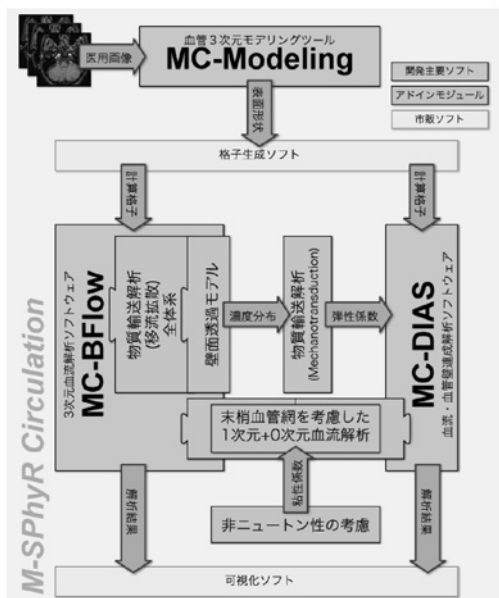


図1 M-SPhyR Circulation システム概要

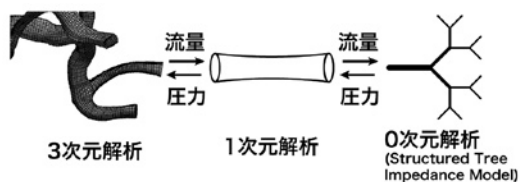


図2 1次元・0次元解析モジュール概念図

FrontFlow/red に準じており、大規模な流体解析を PC クラスタ上で効率よく実行することができる。

また MC-BFlow 特有の機能として、末梢血管網の効果を模擬するために、1次元・0次元解析モジュールを装備しており、3次元解析の流出境界条件として接続することができ(図2)、数mm オーダーの血管から毛細血管網にわたるマルチスケールシミュレーションが実行できる。マルチフィジックスシミュレーションとして、血流による物質の輸送および血管壁への物質透過を解析する物質輸送解析モジュールも装備しており、例えばコレステロールの血管壁への沈着を解析することができる。さらに得られた濃度分布を基に、血管の長期的変性をモデル化し、血管壁の弾性係数として血流・血管壁連成解析ソフト MC-DIAS と接続することも可能である。

#### ◇シミュレーション実行例

ここでは、MC-BFlow を用いた血流解析の実例を示す。

解析で使用する血管モデルとしては、M-SPhyR Circulation の主要ソフトである MC-Modeling を用い、ある患者の実際の頭部 MRA 画像から構築した血管の表面形状を使用している。ここでは直径2~3mm までの脳動脈を解析対象としており、図3に示したように Willis 動脈輪全体が解析対象となっている。なおこの被験者の Willis 動脈輪では一部の血管に狭窄が発生している。

本解析ではアドインモジュールとして末梢血管網の1次元・0次元解析を接続した。解析結果を図4、5に示す。MC-BFlow の解析により流速分布や壁面せん断応力分布(図4)などを得ることができる。

壁面せん断応力分布は動脈瘤や動脈硬化症などの血管病変発生・成長と関連があるとされており、重要である。また流量分配(図5)を見ると、1次元・0次元解析による末梢血管網の効果を加味することで、Willis 動脈輪の一部における狭窄に対して、流量が均一するような流れが発生しているのが分かる。【畝村】

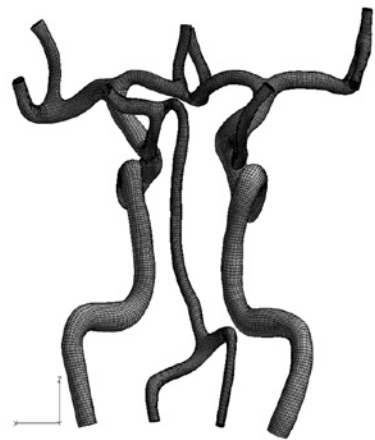


図3 計算格子

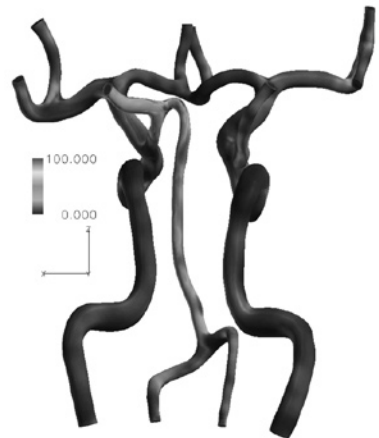


図4 壁面せん断応力分布

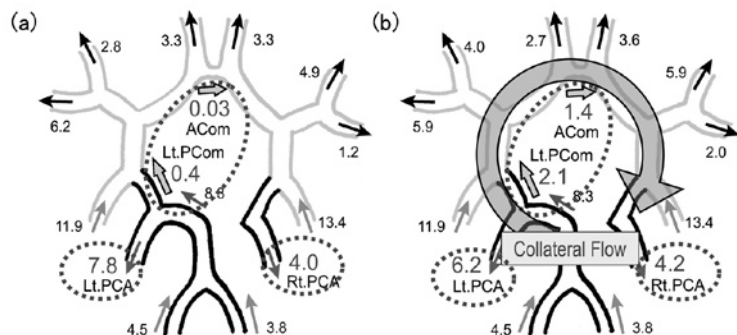


図5 Willis 動脈輪における血流流量分配  
(a) 1次元・0次元解析と接続しない場合  
(b) 1次元・0次元解析と接続した場合