JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	MPS法を用いた赤血球周りの流れに関する研究
Author(s)	足立，伸之
Citation	
Issue Date	2005-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/1904
Rights	
Description	Supervisor:松澤　照男，情報科学研究科，修士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

MPS法を用いた赤血球周りの流れに関する研究

足立　伸之 (310004)

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

2005年2月10日

キーワード: MPS法，赤血球，弾性変形，数値解析，計算流体力学.

流体の運動は，質量の保存を表す連続の式，運動量保存を表すナビエ・ストークス方程式等の偏微分方程式で表される．これらの偏微分方程式に対し，従来の差分法・有限要素法・有限体積法等の解析手法は，支配方程式を格子を用いて離散化する事により計算を行っている．

一方，数値解析において格子を全く用いない解析手法も存在する．代表的な手法が粒子法である．粒子法は空間を構成する流体を，粒子の集まりのみで表現する．格子を用いないため，従来手法の特に三次元複雑形状において問題となっていた格子生成に要する手間が不要となる．本研究で用いたMPS (Moving Particle Semi-implicit) 法は，1997年に越塚誠一らにより非圧縮性流体解析手法として開発された粒子法の一つである．MPS法では粒子法の格子生成が不要となる利点により，従来課題となっていた格子の破綻や格子の再生成が必要となる，界面の大変形を伴う計算モデルにおいても計算が可能である．一方で，ナビエ・ストークス方程式の格子における離散化の代わりに，別の支配方程式の離散化手法を用いる必要がある．MPS法では，新たに導入する離散化手法として粒子間相互作用モデルを導入している．粒子間相互作用モデルはナビエ・ストークス方程式の圧力項・粘性項を離散化するためのモデルであり，圧力項を勾配モデル・粘性項をラプラシアンモデルとしてそれぞれ置き換える．MPS法は，この粒子間相互作用モデルで陽的に解き，圧力ポアソン方程式を陰的に解き，これらを組み合わせることにより計算を行う半陰的なアルゴリズムである．

これまでに報告されているMPS法を用いた計算例は，水柱の崩壊・ジェットの潜り込み・砕破・構造物の破壊等がある．これらは特に複雑形状における計算や界面の大変形を伴う計算であり，連続体の運動が粒子の運動によって表現される利点を生かした計算形状による解析である．しかしながら，生体シミュレーション分野においてはMPS法を用いた計算はまだ多くない．そこで本研究では，赤血球の変形能の高さに注目し，MPS法弾性体モデルに適用し，赤血球周りの流れに注目した赤血球弾性変形の検討を行う．また，Immersed Boundary methodを用いた微細血管内における赤血球の弾性変形の数値シミュレーションとの比較を行うことにより，MPS法の正当性を検証する．

Copyright © 2005 by Nobuyuki　Adachi

本研究で取り扱う赤血球は，変形能が非常に高い事で知られており，特に微細血管内を流れる場合，その血管の管径に応じて，高い変形能で変形を行う．これらは主に，赤血球の中央部が凸型に変形するパラシュート型，複数の赤血球が重なりながら変形する場合に見られるジッパー型等の形状として知られている．このように大きく赤血球の形状に変形が見られる計算は，MPS 法が得意とする界面の大変形を伴う計算であり，また従来の計算手法では計算コストが高かった解析対象である．本研究ではこれら赤血球周りでの大変形を伴う計算を行うため MPS 法を弾性体モデルに適用するための改良を行う．

本手法では，弾性体に対する支配方程式を，MPS 法の考え方を用いて離散化する．具体的には，まず，弾性体の支配方程式を拡散項・回転項・体積項について変形する．次に支配方程式を行列で記述する事により，各粒子に変位・回転・発散を与える．更に，支配方程式における拡散を，MPS 法のラプラシアンモデルを用いてモデル化する．同様に，回転・発散についてもモデルを与える．最後に，支配方程式のその他の項を加え，行列の式に代入し，行列の式を陰的に解く．これにより，ある点における粒子の分布が与えられる．以上の手法により構築されたモデルを用い，赤血球粒子の変形を解析した．

結果について述べる．いずれの計算においても細管内に配置した赤血球粒子に対する変形を観察した．まず予備実験として円形粒子を配置した計算を行った．次に，赤血球の二次元近似である楕円形粒子及び両凹型粒子を配置して計算を行った．いずれの計算形状においても，管内中央に配置したケースと y 軸方向上部へずらしたケースの計算を行い，非対称な場合における変形の違いを検証した．更に，変形中の赤血球粒子の圧力の分布についても検証を行った．

計算の結果，次のような事が分かった．中心部に配置した場合，赤血球はほぼ左右対称に，折れ曲がるようにして変形を行った．これは，赤血球粒子がパラシュート形状を示していると考えられる．次に，上下非対称に配置した場合，変形は，対象に配置した場合と全く異なるものが得られた．どのケースにおいても下部が大きく変形し，やがて流れに従うような変形を行っていた．