

# MRI 画像を用いた脳脊髄液の数値シミュレーション

Numerical simulation of cerebrospinal fluid using MRI images

- 川田英央, 岡山大環境, 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1, E-mail : kawata@s.ems.okayama-u.ac.jp
- 水藤寛, 岡山大環境/JST, 岡山県岡山市北区津島中 3-1-1, E-mail : suito@ems.okayama-u.ac.jp
- 植田琢也, 千葉大医, 千葉市中央区亥鼻 1-8-1, E-mail : takueda-rad@umin.ac.jp
- Hideo Kawata, Grad. Sch. of Env. Sci., Okayama University, Okayama, 700-8530
- Hiroshi Suito, Grad. Sch. of Env. Sci., Okayama University/JST, Okayama, 700-8530
- Takuya Ueda, Chiba University Hospital, Dept. of Rad., Chiba, 260-8670

In this study, A pulsate flow of cerebrospinal fluid (CSF) is simulated numerically. The field of brain surgery requires knowledge of CSF flows because that flow behavior seems to affect several deceases of the central nervous system. Finite element method is adopted for representing brain and skull geometry because that geometry is very complicated.

## 1. はじめに

脳や脊髄などの中枢神経系と、頭蓋骨や脊椎骨などの骨の間は脳脊髄液で満たされている。この脳脊髄液によって中枢神経系は外部からの衝撃に対して守られている。脳の内部には多くの血管が張り巡らされており、心臓の拍動に伴ってそれらの血管床も拍動し、脳実質も拍動を繰り返す。これが脳脊髄液の流れを誘起し、その流れは脊髄の周囲にまで至る。脳脊髄液の流れは、クモ膜下腔の圧力亢進、脳脊髄液減少症、脳ヘルニアなど、中枢神経系における多くの病態に関係するものと考えられているため、その解析により種々の病態の解明や低侵襲な診断・治療法の開発につながることを期待されており、実際の形状を用いた数値計算も報告されてきている<sup>1, 2, 3</sup>。本研究では、MRI で得られた脳及び脊髄の画像を、医用画像処理ソフトウェアである ScanIP/ScanFE(Simpleware Ltd.) を用いて処理した。そして、加工した画像を元にメッシュ生成を行い、有限要素法を用いて Navier-Stokes 方程式を数値的に解くことで脳脊髄液流れのシミュレーションを行った。

## 2. 計算領域とメッシュ生成

まず、MRI 画像に対し ScanIP を用いて、計算領域となる範囲の指定やノイズの除去等の処理を行った。次に、処理した画像を元に ScanFE を用いて四面体要素でメッシュ生成を行った。本研究の計算対象領域となる脳脊髄液腔と、その内側境界となる脳実質の形状を組み合わせた断面を Fig.1, 2 に示す。青い部分が計算対象領域となる脳脊髄液腔、白い部分が脳実質である。

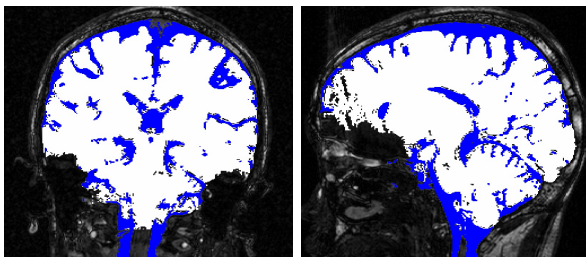


Fig. 1: frontal section Fig. 2: sagittal section

## 3. 数値解析手法

支配方程式には Navier-Stokes 方程式と連続の式を用いた。これらの式から導かれる弱形式に、SUPG 法と PSPG 法を適用した。代表長さに脳脊髄液腔の厚みの最大値、代表速度に脳の拍動によって生じる速度の最大値をとった

レイノルズ数は約 10 である。また、計算機のメモリ節約のため、Element-by-Element による計算を行った<sup>4, 5</sup>。

## 4. 計算結果例

計算結果を Fig.3 に示す。図中の矢印は速度ベクトルを表す。今後は、脳脊髄液流れと脳実質の拍動とによる連成解析により、様々な脳の病態に対して効果的な治療法が発展することが期待される。

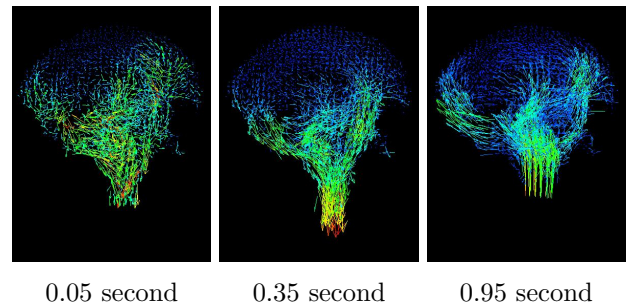


Fig. 3: velocity vector

## 参考文献

- Jacobson, E.E., Fletcher, D.F., Morgan, M.K., Johnston, I.H. :Computer modelling of the cerebrospinal fluid flow dynamics of aqueduct stenosis, *Medical & Biological Engineering & Computing*, Vol.37, pp.59-63, 1999
- Alperin, N.J., Lee, S.H., Loth, F., Raksin, P.B., Lichtor, T. :MR-Intracranial pressure (ICP): A method to measure intracranial elastance and pressure noninvasively by means of MR imaging: Baboon and human study, *Radiology*, Vol.217, pp.877-885, 2000
- 水藤寛, 植田琢也 :脳脊髄液の拍動流シミュレーション, 第 22 回数値流体力学シンポジウム講演要旨集, p.83, 2008
- Shakib, F., Hughes, T.J.R., Johan, Z. :A new finite element formulation for computational fluid dynamics:X. The compressible Euler and Navier-Stokes equations and a multigrid method, *Journal of Computational Physics*, Vol.48, pp.387-411, 1982
- 日本計算工学会流れの有限要素法研究委員会 :続・有限要素法による流れのシミュレーション, シュプリンガー・ジャパン株式会社, 2008