HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	画像データによる流れ解析とGoogle colabを活用した計算工学教育の試み
Author(s)	大島, 伸行
Citation	計算工学講演会論文集, 31, 702-703
Issue Date	2026-06-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99473
Type	conference paper
File Information	D-06-01.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

計算工学講演会論文集　Vol.31 (2026年6月)　　日本計算工学会

画像データによる流れ解析とGoogle colabを活用した計算工学教育の試み

Instructions for Preparation of Manuscripts
for Proceedings of the Conference on Computational Engineering and Science

大島伸行[1)]
Nobuyuki Oshima
1) 工博 北海道大学工学研究院 特任教授（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目, E-mail: oshima@eng.hokudai.ac.jp）

An image data-driven simulation has been developed that uses the immersed boundary Navier-Stokes method to extract object shapes from photographs, illustrations, etc. and perform flow analysis. Because it can reproduce approximate solutions for flows of imagined shapes without requiring skills such as grid generation, it is thought to be useful for teaching fluid mechanics and computational engineering. We will introduce an example of implementation using Google Colab and an attempt to use it in a university lecture on "computational engineering."

Key Words : *Image-data-driven simulation, flow CAE Education, Immersed-Boundary Naver-Stokes*

1.　はじめに

最初のスーパーコンピュータといわれるCray-1が世に出て以来，数値シミュレーションが科学技術へ応用され，さらには工学設計への普及が「計算工学」を支えてきた．やがて計算科学としての基礎研究から実用化視点でのアプリケーション・ソフトウェア開発に関心が向けられている．著者らも流体シミュレーションソフトウェアFrontFlow の開発[1]を通して，オープンソース・ソフトウェア（OSS）の役割を「社会ニーズと技術シーズの関わり」[2]「ソフトウェア開発コスト」[3]などの視点から考察してきた．ソフトウェア開発の視点からオープンソース・ソフトウェアは，基礎研究から実用化へ移行する際の「デスバレー」を乗り越えるための有用な一手段と理解されている．

一方，計算工学が成功をおさめ，数値シミュレーションが機械設計の主要な歯車の一つとして位置づけられた現在，その成果をいかに利用するかユーザ視点の評価に関心が向けられつつある．計算工学が次なるブレークスルーを期待するには，次世代のユーザへ向けて知識・知見の集約と継承が必須といえよう．そこで，オープンソース・ソフトウェアの計算工学の教育資源としての役割に注目したい．

本報では，著者が「計算工学」「情報学」の導入的な学部教育のために活用しているコンテンツ教材を事例紹介して，オープンソース・ソフトウェア活用の議論に供する．

2.　画像データ駆動流れシミュレーション

今回紹介する教育教材では，著者が提案した埋め込み境界ナビエ・ストークス方程式（immersed-boundary Navier-Stokes:IB-NS）[4]に基づく画像データ駆動流れシミュレーションを用いた[5]．これは，物体形状をレベルセット関数となる流体占有率（porosity）で表すことで，固体壁の影響を含む流れ場を予測する．

IB-NSの非圧縮性流れ基礎式は以下で表される．

$$\frac{\partial \rho\varepsilon}{\partial t}+\nabla\cdot\rho\varepsilon\mathbf{v}=0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial \rho\varepsilon\mathbf{v}}{\partial t}+\nabla\cdot\rho\varepsilon\mathbf{v}\mathbf{v}+\varepsilon\nabla p-\nabla\cdot\varepsilon\boldsymbol{\Sigma}-\varepsilon\mathbf{f}_w=0 \tag{2}$$

粘性応力　$\boldsymbol{\Sigma}=\mu_1\left(\nabla\mathbf{v}+\nabla\mathbf{v}^t\right)+\mu_2\left(\nabla\cdot\mathbf{v}\right)\mathbf{I}$

ここで，流体占有率 ε は固体0，流体1となるよう

$$\varepsilon=\frac{1}{2}\tanh\left(\frac{\xi}{\Delta}\right)+\frac{1}{2}\quad（\xi:符号付距離関数）\tag{3}$$

と定義され，これをレベルセット関数みなして$0<\varepsilon<1$に積層する等値面群によって固体境界が**厚さΔ程度の幅**をもって与えられる．また，付加力$\mathbf{f}_w$は

$$\mathbf{f}_w=-\alpha\mu\left\{\varepsilon\left(1-\varepsilon\right)^2/\Delta^2\right\}\mathbf{v} \tag{4}$$

と与えられ，比例定数は付着条件(no-slip)で$\alpha=32$，滑り条件（slip）$\alpha=0$と決定される．

基礎式(1)，(2) では壁境界条件を扱う必要がないため，物体形状に依存する格子生成や補間が不要となり，ナビエ・ストークス方程式の一般的な解法の理解のみで実用的な流れシミュレーションを実行できる利点がある．たとえば，等間隔デカルト格子にてオイラー陽解法と二次精度中心差分近似にて非圧縮流れの基本解法であるMAC法を実装したプログラムはいずれの言語でも公開されており容易に利用できる．

IB-NS実装として写真画像（二次元）やボクセルデータ（三次元）から駆動する流れシミュレーション事例を図１，図２に示す．[5]

© 一般社団法人日本計算工学会

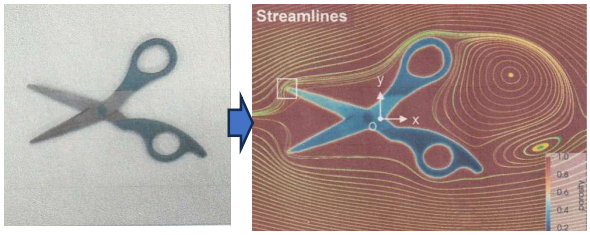

図１　写真データから駆動される流れ計算例

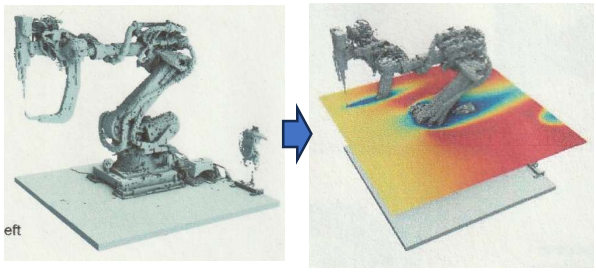

図２　３Ｄデータから駆動される流れ計算例

3.　計算工学教育への取り組み

(1) 流体力学と数値解析

機械工学にて流体力学の学部教育レベルでは，ナビエストークス方程式の基本的特性とその基礎解によって流れの物理を理解する．その際，計算工学の知見・知識を用いて同等の計算解を数値シミュレーションによって得ることは，流れの実験観察とともに「流体力学」入門者が理解を深める有用な手段となろう．

機械工学3年次「計算工学」講義では，数値解析の基礎としてEXCELを用いた偏微分方程式の数値計算プログラムにより一次元流れの時間発展問題を学習させたのち（図３），二次元流路や単純形状（円，多角形）・翼形まわり流れの数値解から「境界層と流れの剥離」「揚力・抗力」など流体力学の基礎知見の画像的理解を図っている．

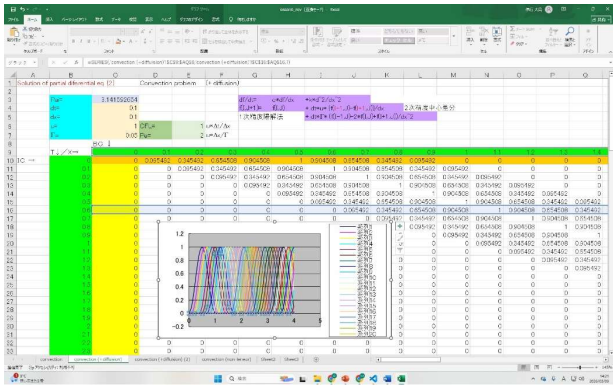

図３　EXCEL を用いた偏微分方程式プログラム例

(2) 画像処理と数値解析

IB-NS方程式ではレベルセットによる物体形状表現を流れシミュレーショに導入することによって，格子生成や境界条件の設定など付加的な処理をすべてレベルセット関数 ε に集約した．これは，（三次元データを含む広義の）画像処理による形状抽出の技術とみなすことができ，微分方程式の数値解法とは独立に，かつ，明示的な手順として学習できる．

容易に入手可能な二次元デジタル画像を用いると，これを等間隔デカルト格子上に配置された輝度データとみなして，流れ（物体）形状抽出の「手順」を一連の画像処理として設計すると，流れ解析における手順は以下のようになる．[6]

入力画像データの設定：
- 画像より不要な情報を削除（平滑化）
- 画像解像度を求める精度に調整
- 画像データを計算領域に拡張し格子点を定義

画像データからレベルセットデータへの変換：
- 色輝度を境界抽出可能なグレースケールに変換
- 境界値を定めて二値化または多階調データに変換
- 拡散処理により連続分布画像εに変換

レベルセットデータから解析データへの変換：
- 物体境界以外の境界条件（流入・流出など）の設定
- MAC アルゴリズムに従い IB-NS 方程式を求解
- IB-NS 方程式の離散化解（速度および圧力）格子点に表示出力

これをもとに，専門課程学修前の学部1年次の一般科目「情報学」にて，画像処理と工学設計の係りを体験する実習としGoogle colab を活用した教材を作成提供した．入力画像にはCADやfree drawingで描画した画像，写真・イラストなどを自由に選ぶことができ，あらかじめ指定した条件を満たすようにレベルセット ε 画像を作成すると，流れ解析を駆動できる．

教材利用は1回90分の講義で，画像処理手順と流れ解析でのレベルセット ε 画像の設定条件を解説したのち（Google colab 利用は習得済），50分程度の実習で画像生成を行った（流れ計算を含む計算機時間は3分程度）．2年間で200名以上受講のうち，ほぼ9割が提供されたサンプル画像（単純図形イラスト）にて流れ画像を得ることができ，1割強の学生は写真や別途提供したfree drawingによる自作画像を実行した．（図４）

教材プログラムはGoogle cola上の統合環境Jupyter notebookに，画像処理をpython，流れ解析をfortran2000で実装した．（図５に抜粋を示す）

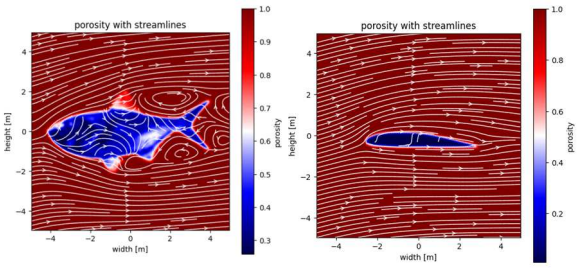

図４　写真（左），free-drawing（右）画像による流れ解析例（学生実習）