
ミシガン大学（アメリカ合衆国） 研修報告書

（研修テーマ）高精度界面捕獲法を用いた気液界面挙動機構の解明

工学研究科 機械システム工学専攻 秋山 京介

1. はじめに

2018年8月27日から同年9月24日の間、アメリカのミシガン大学において研究を行った。以下にその報告内容を示す。

2. 共同研究テーマ

ミシガン大学の Computational Flow Physics Laboratory では乱流や衝撃波、多相流などの CFD が盛んに行われている。気液二相流の気液界面捕獲の方法として以前までは 'THINC/WLIC 法' を用いていたが、今回は 'Discontinuous Galerkin 法' を試みた。また、二年前につくられたコードで、メッシュサイズ等を変更し比較を行った。

3. 共同研究スケジュール

8月27日 出国
8月28日～9月21日 研究, プレゼンテーション
9月24日 帰国

4. 共同研究派遣先の概要

大学名: University of Michigan College of Engineering
所在地: アメリカ合衆国 ミシガン州 アナーバー
指導教員: Associate. Prof. Eric Johnsen

5. 共同研究内容

5. 1 概要

現在、私は広島大学において矩形管流路内で気液二相流の液滴挙動について実験を行っている。しかし、派遣先のミシガン大学では気液二相流の数値計算を行った。数値流体力学 (CFD) ではナビエストークス方程式の近似解を求める。私の研究内容の場合、気液二相流の非圧縮ナビエストークスを解いていくのだが、この方程式には時間微分、移流項、圧力項等いくつかの項があり、それぞれに対して異なったスキームを用いる。今回はその中でも界面捕獲の部分に注目し、以前までは 'THINC/WLIC 法' を用いていたが 'Discontinuous Galerkin 法 (DG 法)' を用いることを試みた。DG 法は有限要素法であり、今までは有限差分法を用いていたので有限要素法の勉強から始めた。次に DG に関する論文を頂き読み進めた。論文を読み終えると、一次元での移流方程式を DG 法を用いて解くコードをつくろうとしたが時間が足りなかった。

また、DG 法とは別に二年前に作られたコードで、メッシュサイズ等を変更して二年前のものと比較した。

5. 2 結果

5. 2 (A) Discontinuous Galerkin 法 (DG 法)

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \phi = 0$$

Discontinuous Galerkin 法 (DG 法) を用いて上式の保存方程式を解いていく。φ は VOF 関数で

ある.
ここで,

$$\nabla \cdot (\mathbf{u}\varphi) = \mathbf{u} \cdot \nabla \varphi + \varphi \nabla \cdot \mathbf{u}$$

であり, 非圧縮性流体を考えているから,

$$\nabla \cdot (\mathbf{u}\varphi) = \mathbf{u} \cdot \nabla \varphi + 0$$

となり,

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \nabla \cdot (\mathbf{u}\varphi) = 0$$

とおけ, 保存方程式を保存形であらわせる.

以上から, 一次元で考えると以下のように弱形式で表される.

$$\int_A w \frac{\partial u}{\partial t} dx + \int_{dA} ((\widetilde{\mathbf{u}}\varphi) \cdot \mathbf{n}^-) w dx - \int_A (\mathbf{u}\varphi) \cdot \nabla w dx = 0$$

w は重み付け関数.

この弱形式を解くプログラムをつくることを試みた.

5. 2 (B) メッシュサイズ変更

今回, 二年前につくられたコードにおいて, メッシュサイズを4分の1のサイズににして比較した. メッシュサイズ以外の計算条件を表1に示す.

表 1. 計算条件

気相密度 ρ_g	1.0	X方向気相速度 u_g	1.0
液相密度 ρ_l	10.0	X方向気相速度 u_l	0.5
格子間隔	0.05×0.05	Y方向気相速度 v_g	0.0
計算範囲	8.0×4.0	Y方向気相速度 v_l	0.0
時間間隔 Δt	1.25×10^{-3}	ウェーバー数 We	20
気相レイノルズ数 Re_g	100		

またメッシュサイズは, 0.05×0.05 (12800 Mesh) と 0.025×0.025 (551200 Mesh) である.

結果は, 0.025×0.025 (551200 Mesh) の方が, より小さい液滴が見られた. メッシュサイズを小さくする必要があることがわかったが, メッシュサイズを小さくすることで計算時間がより長くなってしまう. 計算負荷を小さくするために, 等間隔格子ではなく気液界面の周りのみメッシュを細かくするような不等間隔格子を用いる必要がある.

6. 感想

最終発表を行った際に質問が多いことに驚いた。納得するまで質問は終わらず、また、こうした方がいいのではないか等の意見も頂き、議論が活発に行われた。このような姿勢は見習わなければいけないと感じた。

7. 謝辞

海外共同研究を通し、初めて一人で海外へ行き、渡航の準備から研究まで普段経験できないような貴重な数多くの経験ができました。このような機会を与えてくださった先生方、並びにサポートしてくださった皆様に感謝の意を表します。特に研究を行うにあたり、様々な指導、ご鞭撻を頂いた尾形先生、西田先生並びに現地で指導および世話してくださった Eric Johnsen 先生、研究室の方々に深く感謝します。皆様のおかげで1ヶ月充実した日々を過ごすことができました。本当にありがとうございました。
