

# 流体力学講話・つまみ食い(その1～10)(Contents)

KENZOU

2008年・盛夏～初秋

以前から流体力学の勉強をしようと思っていたのですが、ちょっとしたきっかけでこのレポートをまとめる気になりました。まとめるにあたり、今井功「流体力学(前編)」, 原田幸夫「基礎流体力学・水力学演習」, 前川博・山本誠・石川仁「例題で分かる基礎・演習流体力学」, 中山泰喜「改訂版流体の力学」, 木田重雄「なっとくする流体力学」をはじめ、ネット上の公開されている講義ノート<sup>1</sup>等を参考にさせていただきました。

最初は、よく知られている主な話題だけをトピック的に取り上げて簡単なレポートに仕上げる積もりだったのですが、第2話, 第3話と話を進めていくうちに次第に盛り込み、振り返ると結構な枚数となってしまいました(ボロが出るまえにやめておけばよかったと後悔しきり:汗;;)。ただ、私は流体の中でも"液体"が身近なものとして親しいので(学生時代, 卒論で流体力学を専攻された先輩のところによく遊びにいきましたが、あるとき  $\iint \dots \int dP$  と がやたら沢山並んでいる専門書を見せていただき、なんと難しいことを勉強されているのかと吃驚したり、またある日は、じっと水槽と睨めっこをされ、首をかきながらブツブツと意味不明の独り言をつぶやかれていたのを思い出します), いわゆる「翼理論」は特に触れていません、これはまた別の機会にでもまとめようかなと思っています。

ネットで「流体力学」関連を検索すると非常に多くヒットしたことに最初は驚きました。そして公開されている講義ノートを参考にさせていただきました。ただ、講義ノートという性格上だと思いますが、話題によって、端折らずにもう少し詳しい議論、詳細な計算プロセスが欲しいなあ(恐らく講義でされるのでしょね)と、少し尻の落ち着かない思いをしたこともあり(己の力のなさを棚に上げて:笑い), そこでというわけではないのですが、このレポートではわかりにくい点や自分が疑問に思ったことはできる限り明解にしよう、まっ自己満足的でOKというスタンスで書き進めました。もっとも、素人に毛の生えたようなものがまとめたレポートですから、ひょっとしたらこれを読まれた方の知識を却って混乱させることになるかもしれません。ということで、このレポートを読んでやるういう方は寛容の精神で読んでいただければと思います。とはいっても、考え間違いや誤り、おかしな点、ミススペル等を見つけられれば気軽に一報いただくとありがたいです。

ということで、このレポートの特長を以下にまとめておきますのでご参考にしてください。

## 特長

- 難しい数学は使わない, 大学初年級の微積の知識で十分。複素関数の知識等はレポート内で補足してある。
- 式の導出・変形が馬鹿丁寧なほど詳しい。(粘れば必ずわかる!(笑い))
- 著者の興味により少し突っ込んで話題にとり上げているところがある(逆にすっ飛ばしたところも多い。つまみ食いの精神で。汗;;)
- できるだけ物理的イメージがつかめるようにした(つもり)。(感想やコメントなどお気軽にご一報いただけるとうれしい)
- 例題を豊富にとりあげ、理解を深められるようにした(つもり)

2008年9月14日

KENZOU

<sup>1</sup>主なものとして、名古屋大学: Fluid Dynamics Laboratory <http://fluid.nuae.nagoya-u.ac.jp/lecture/>, 工学院大学流体光学研究室: <http://fluid.mech.kogakuin.ac.jp/> 北海道大学・大気海洋物理学 <http://www.woa.ees.hokudai.ac.jp/people/kubok/> 九州大学大学院総合理工学府・大気海洋環境システム学専攻 <http://www.esst.kyushu-u.ac.jp/>: 有難うございました。

# 1 流体の記述 (第1話)

## 1.1 連続体近似

## 1.2 応力

## 1.3 完全流体と粘性流体, 圧縮性流体

# 2 流体のふる舞い

## 2.1 レイノルズ数

## 2.2 力学的相似則

### 2.2.1 次元解析

### 2.2.2 バックingham (Buckingham) の定理

### 2.2.3 その他の力学的相似則

# 3 完全流体の基礎方程式 (第2話)

## 3.1 ラグランジュの方法とオイラーの方法

### 3.1.1 ラグランジュの方法

### 3.1.2 オイラーの方法

## 3.2 連続方程式 (質量保存の法則)

### 3.2.1 ラグランジュの方法による連続方程式の導出

### 3.2.2 オイラーの方法による連続方程式の導出

## 3.3 運動方程式 (運動量保存の法則)

### 3.3.1 オイラー的立場からの運動方程式の導出

### 3.3.2 ラグランジュ的立場からの運動方程式の導出

## 3.4 熱力学的エネルギーの方程式 (エネルギー保存の法則)

### 3.4.1 状態方程式

### 3.4.2 熱力学的エネルギーの方程式

## 3.5 境界条件

### 3.5.1 固定表面での境界条件

### 3.5.2 変形する境界面での境界条件

## 3.6 流れの図化

### 3.6.1 流線・流跡線・流管

## 3.7 流体粒子の運動

## 3.8 渦運動と渦なし運動

### 3.8.1 速度ポテンシャル

## 4 運動方程式の展開 (第3話)

### 4.1 渦なしの流れ

### 4.2 ベルヌイの定理の応用 - 定常流の場合 -

#### 4.2.1 気体への応用

### 4.3 ベルヌイの定理の応用 - 非定常流の場合 -

#### 4.3.1 一様な太さの管の中を流れる非定常流

#### 4.3.2 断面が緩やかに変化する管の中の非定常流

#### 4.3.3 流線曲率の定理

### 4.4 ラグランジュの渦定理

### 4.5 渦度と循環

#### 4.5.1 循環

#### 4.5.2 渦管の強さ

#### 4.5.3 ケルビンの循環定理

## 5 非圧縮性2次元流体の渦なし運動 (第4話)

### 5.1 流れ関数と流線

### 5.2 複素速度ポテンシャル

#### 5.2.1 速度ポテンシャル

#### 5.2.2 複素速度ポテンシャルと複素速度

#### 5.2.3 一様な流れ

#### 5.2.4 角を回る流れ

#### 5.2.5 湧き出しと吸い込み

#### 5.2.6 半無限物体

#### 5.2.7 2重湧き出し

#### 5.2.8 渦糸

### 5.3 静止円柱を過ぎる一様な流れ

#### 5.3.1 円柱周り流れ・その1 (循環のない場合)

#### 5.3.2 円柱周り流れ・その2 (循環のある場合)

## 6 ブラジウスの公式 (第5話)

### 6.1 運動量保存則 (復習)

### 6.2 ブラジウスの第1公式

## 6.3 ブラジウスの第2公式

# 7 クッタ・ジューコフスキーの定理

# 8 ジューコフスキー変換

## 8.1 等角写像

## 8.2 ジューコフスキー変換

### 8.2.1 円柱を過ぎる流れ

### 8.2.2 平板を過ぎる流れ

# 9 渦運動から循環まで(復習)(第6話)

## 9.1 渦運動

## 9.2 循環

## 9.3 渦の周りの流れ

### 9.3.1 渦糸の複素速度ポテンシャル

### 9.3.2 ビオ・サバールの法則

# 10 渦列

## 10.1 渦の層と渦列

### 10.1.1 渦列

## 10.2 渦を動かす流れ

## 10.3 カルマンの渦列

### 10.3.1 対称型渦列と非対称型渦列

### 10.3.2 渦列の安定性

### 10.3.3 ストローハル数

# 11 粘性流体の力学(第7話)

## 11.1 粘性

## 11.2 粘性流体の運動方程式

### 11.2.1 ナビエ・ストークスの方程式(その1)

### 11.2.2 ナビエ・ストークスの方程式(その2)

## 11.3 非圧縮性粘性流の例

### 11.3.1 ポアゼイユ流れ

### 11.3.2 クエット流れ

11.3.3 ハーゲン・ポアゼイユ流れ

11.4 2次元ナビエ・ストークス方程式の無次元化と相似則

## 12 乱流の速度分布とレイノルズ応力 (第8話)

12.1 運動量輸送理論 (プラントルの混合距離)

12.2 プラントルの仮定

12.3 対数速度分布則 (円管内の乱流)

12.4 カルマン - プラントルの  $1/7$  乗則 (円管内の乱流)

## 13 境界層理論

13.1 境界層

13.2 境界層の運動方程式

13.2.1 2次元層流境界層内の  $x$  方向の圧力勾配

13.2.2 境界層厚さ

13.2.3 2次元境界層の運動量 (積分) 方程式

13.3 平板に沿う乱流境界層 (ブラジウスの厳密解法)

## 14 境界層の剥離 (第9話)

14.1 境界層の定義 (復習)

14.2 境界層剥離

14.2.1 圧力勾配と境界層剥離

14.3 拡大管の剥離点 (層流の場合)

14.4 拡大管の剥離点 (乱流の場合)

## 15 粘性流の遅い流れ

15.1 ストークス近似

15.2 ストークス近似の基本解

15.2.1 ストークス源

15.2.2 軸対称な流れ - ストークスの流れ関数 -

15.3 一様な流れの中の球 (ストークスの抵抗法則)

## 16 球のまわりの流れ

16.1 静止流体中を球が運動する場合のまわりの流れ

## 16.2 速度 $U$ の一様な流れの中に球が固定されている場合のまわりの流れ

### 16.2.1 軸対称渦なし流れの「流れ関数」

## 16.3 Butler の球定理

## 17 水の波（微小振幅波理論）

### 17.1 仮定と境界条件

### 17.2 速度ポテンシャルを求める

### 17.3 分散関係

#### 17.3.1 浅水波と深水波

### 17.4 水の運動

#### 17.4.1 群速度

#### 17.4.2 定在波