

# 基礎プロジェクトレポート(第2週分)

システム創成学科3年  
西村弘平(160946)

## 1.目的

2次元体系のシミュレーション例題として2次元ポアズイユ流れ、2次元クエット流れ、円柱周りの流れのシミュレーションを行う。

シミュレーションの結果を見るために、動画作成、解析データ取得方法を学ぶ。

## 2.解析条件・体系(寸法(図),条件(表)などを記入)

例題1.2次元ポアズイユ流れ(定常解析)

x方向の長さ10m,y方向の長さ1m,z方向の長さ1mの直方体にてx=0を流入面としxの正方向に0.1m/sの速度を与えた。

密度は1.0kg/m<sup>3</sup>、粘性率0.01Pa・sとした。

y方向の格子分割数による数値解の変化を見るためにメッシュ数を変化させて2つのシミュレーションを行った。

条件1:x方向の分割数100、y方向の分割数10

条件2:x方向の分割数100、y方向の分割数100

また厳密解を求めると

$$u(y) = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} \right) (y^2 - Ly) \text{ の厳密解を考える。}$$

定常解析なので圧力勾配は一定となり

( $p_1, p_2$  をそれぞれ流入、流出圧力とする)

$$\frac{dp}{dx} = \frac{p_2 - p_1}{L} = C_1 \text{ (定数)}$$

1秒間で流入した水の体積と流出する水の体積は同じなので

$$1 \times 0.1 \times 0.1 \times 1 = 0.1 \times \int_0^1 u(y) dy$$

これを計算すると

$$C_1 = -1.2\mu$$

$$\text{従って } u(y) = -0.6(y^2 - y)$$

例題2.2次元クエット流れ

x,y方向の長さ1m,z方向の長さ0.1mの直方体にてy=1の平面上でxの正方向に1.0m/sの速度を与えた。y=0,y=1の平面のみ周期境界とし、その他の平面は滑りなし境界としてシミュレーションを行った。また、密度は1.0kg/m<sup>3</sup>、粘性率は0.01Pa・sとした。

また厳密解を求めるとU=1.0m/s、L=1.0mなので、 $u(y)=y$

### 例題3.円柱周りの流れの解析(レイノルズ数の変化と流れ場の変化、非定常解析)

x方向の長さ13m、y方向の長さ6m、z方向の長さ1mで、x=0を流入面とした直方体を考えた。また(x,y)=(3,3)を中心として半径0.5m、高さ1mの円柱を立てて円柱周りの流れを解析した。従って円柱の代表長さは1m。全ての条件において、動画作成ではnmax=1000,nintpo=20として動画を作成した。

レイノルズ数を比較するために以下の3つの条件下でのシミュレーションを行った。

条件1(レイノルズ数:0.5) 密度1.0kg/m<sup>3</sup>、粘性率=2Pa・s、速度1.0m/s

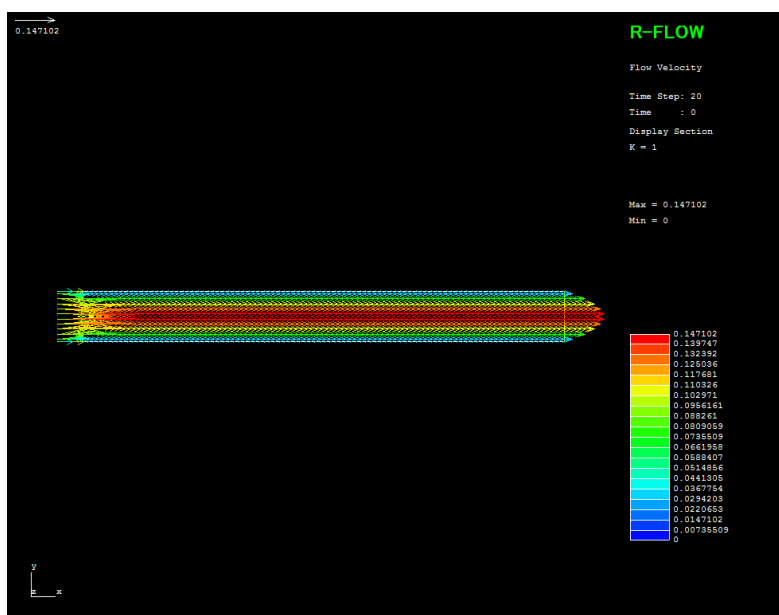
条件2(レイノルズ数:5) 密度1.0kg/m<sup>3</sup>、粘性率=0.2Pa・s、速度1.0m/s

条件3(レイノルズ数:200)密度1.0kg/m<sup>3</sup>、粘性率=0.005Pa・s、速度1.0m/s

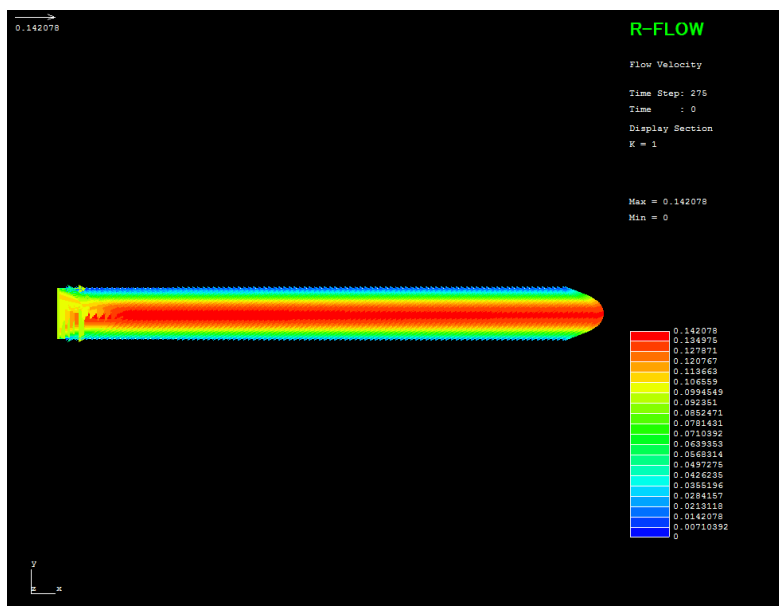
## 3.解析結果(コンター図、グラフなどを使用)

### 例題1.二次元ポアズユ流れ

条件1での速度を示した図は下図

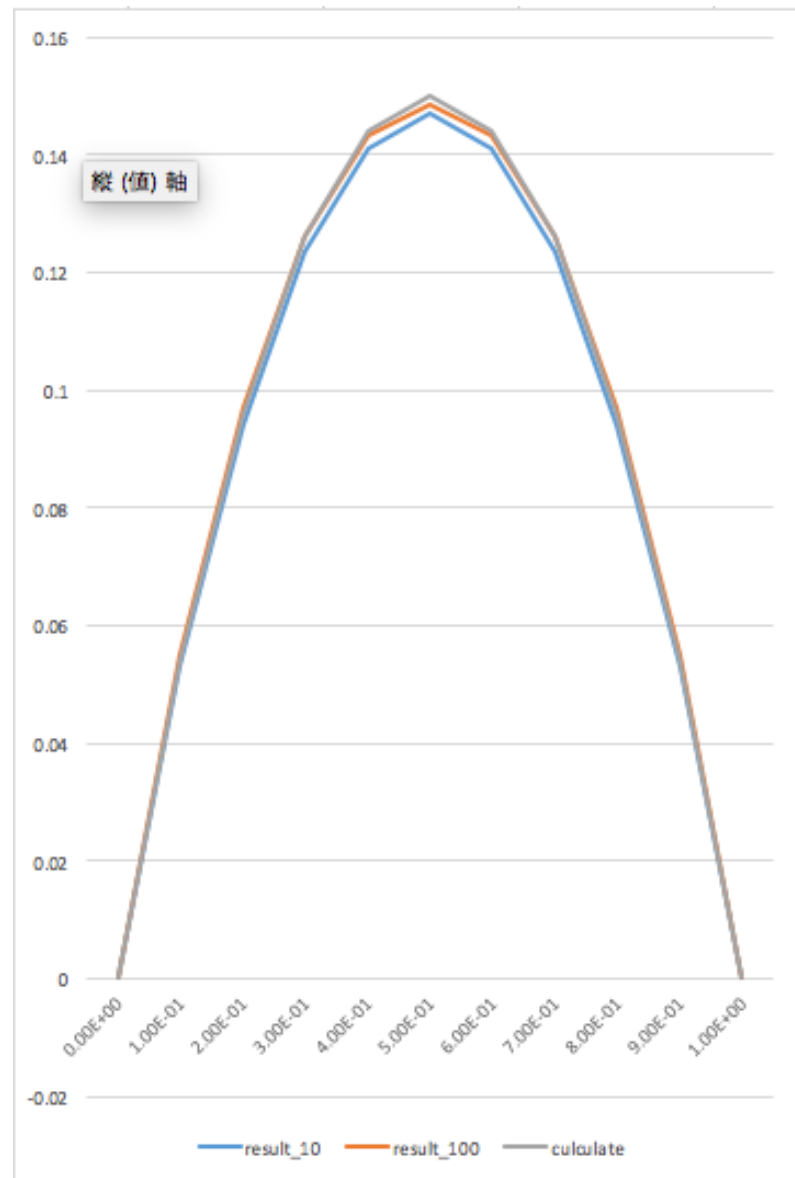


条件2での速度を示した図は下図

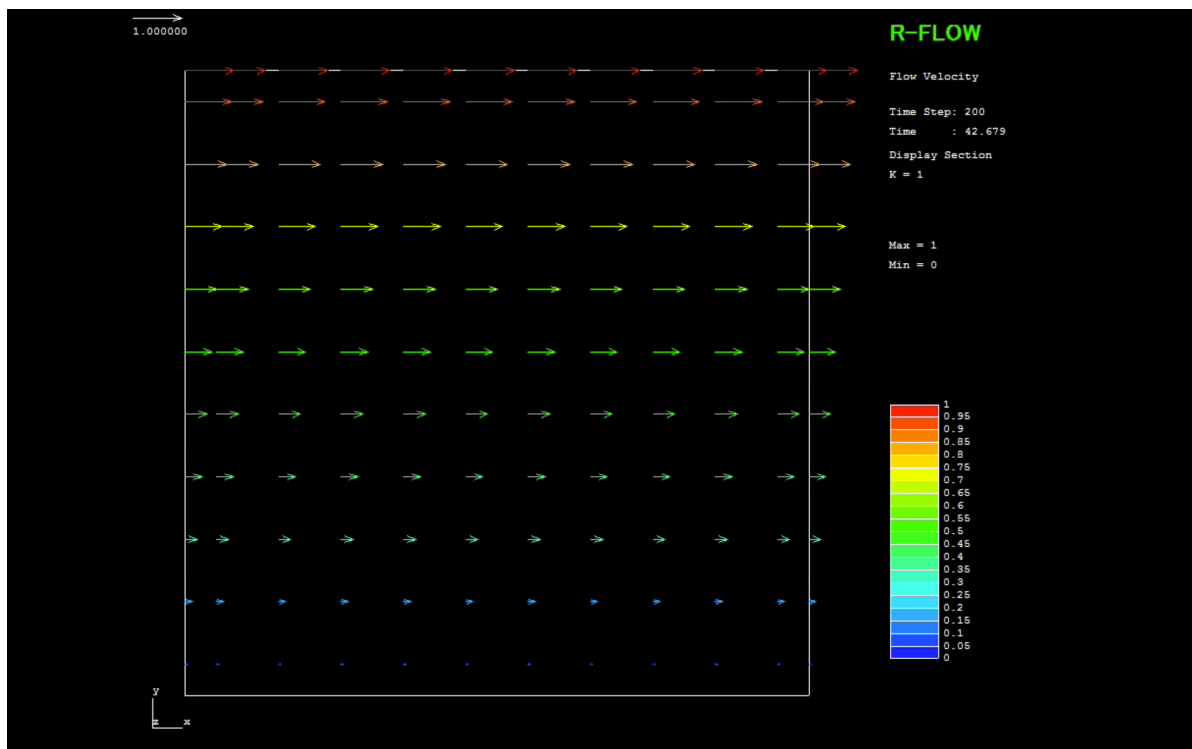


条件1、条件2での速度の数値解と厳密解を示した表とグラフは下図の通り

	y	result_10	result_100	calculate
0	0.00E+00	0.00E+00	2.91E-11	0.00E+00
1	1.00E-01	5.29E-02	5.48E-02	5.40E-02
2	2.00E-01	9.41E-02	9.70E-02	9.60E-02
3	3.00E-01	1.24E-01	1.26E-01	1.26E-01
4	4.00E-01	1.41E-01	1.43E-01	1.44E-01
5	5.00E-01	1.47E-01	1.49E-01	1.50E-01
6	6.00E-01	1.41E-01	1.43E-01	1.44E-01
7	7.00E-01	1.24E-01	1.26E-01	1.26E-01
8	8.00E-01	9.41E-02	9.70E-02	9.60E-02
9	9.00E-01	5.29E-02	5.48E-02	5.40E-02
10	1.00E+00	-1.16E-10	3.97E-08	0.00E+00

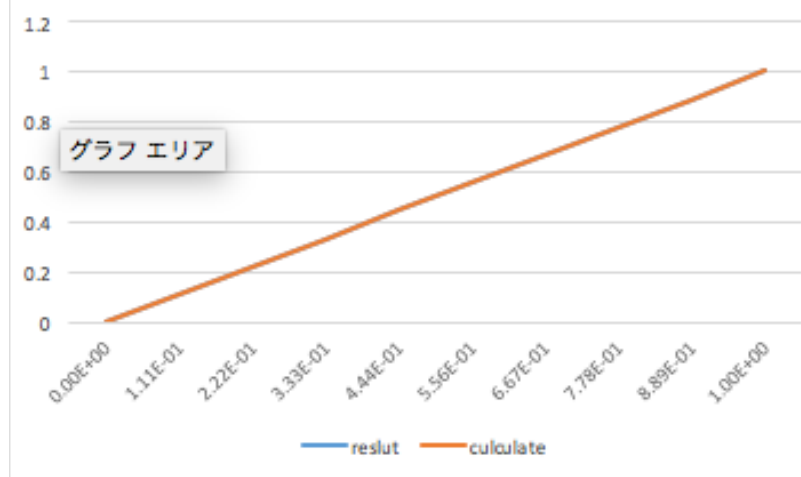


例題2.2次元クエット流れ  
速度分布を示した図は下図



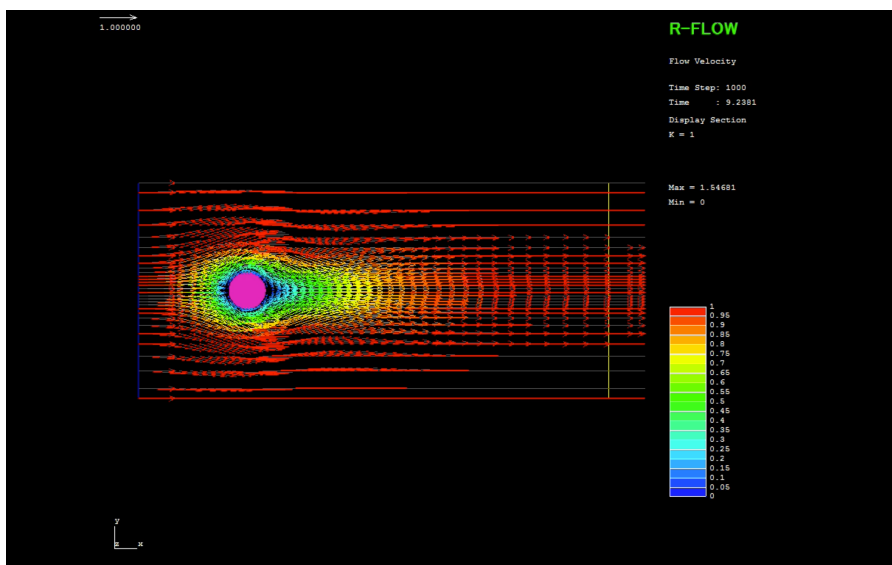
また、速度の数値解と厳密解を示した表とグラフは下図の通り

y	reslut	culculate
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.11E-01	1.11E-01	1.11E-01
2.22E-01	2.22E-01	2.22E-01
3.33E-01	3.33E-01	3.33E-01
4.44E-01	4.44E-01	4.44E-01
5.56E-01	5.56E-01	5.56E-01
6.67E-01	6.67E-01	6.67E-01
7.78E-01	7.78E-01	7.78E-01
8.89E-01	8.89E-01	8.89E-01
1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00

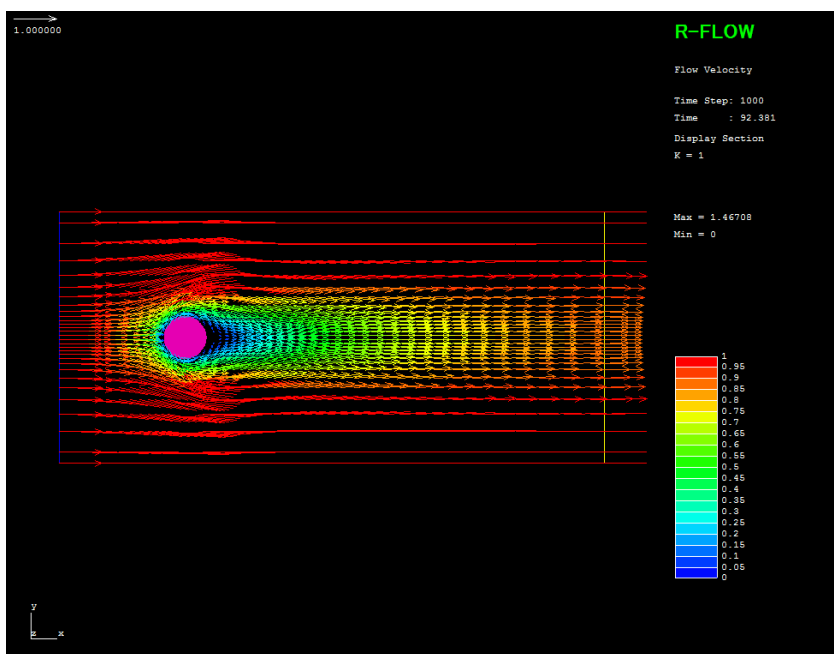


例題3.円柱周りの流れの解析(レイノルズ数の変化と流れ場の変化、非定常解析)

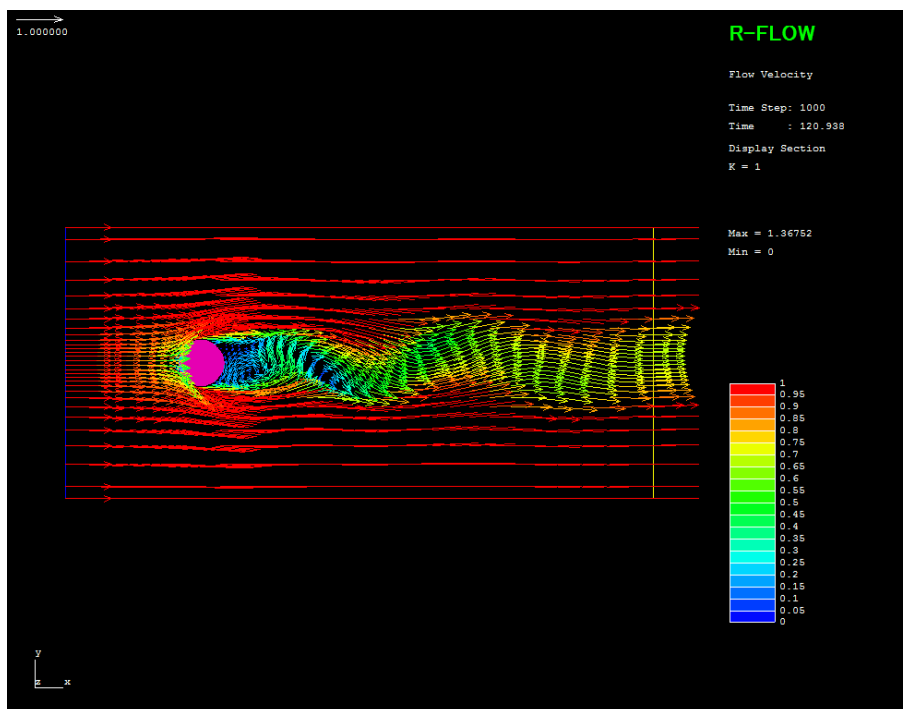
条件1での流れ場の様子を示したのは下図(レイノルズ数0.5)



条件2での流れ場の様子を示したのは下図(レイノルズ数5)



条件3での流れ場の様子を示したのは下図(レイノルズ数200)



#### 4.考察(得られた結果に対する考察を行う)

##### 例題1.二次元ポアズイユ流れ

y方向の格子分割数を変化させてシミュレーションを行ったが両方の条件において、速度がyについての放物線になることを確認することができた。

また、得られた速度の数値解と厳密解をプロットしたところ、y方向の格子分割数が大きくなるにつれて数値解が厳密解に近づくことを確認できた。

これはy方向の格子分割数が大きくなるにつれてメッシュの幅が小さくなり、より正確な近似ができるようになったからだと考える。

y方向の格子分割数を増やしても厳密解とは誤差が生じている。これは境界を滑りなし境界と設定してもシミュレーションでは $y=0, y=1$ での速度が正確には0にはなっておらず、誤差が生じてたと考えられる。

境界は滑りなし境界と設定してシミュレーションを行った結果なのでこの誤差はRFLOWの計算制度の問題なのか、設定を他に変更して修正できる誤差なのかがわからなかった。

##### 例題2.二次元クエット流れ

シミュレーションの結果、流速とy座標が比例関係になることを確認できた。またシミュレーションで得られた速度の数値解と厳密解をプロットしたところ、完全に両者が一致することを確認できた。

例題1と違い、例題2では数値解と厳密解で誤差は生じなかった。これは $y=0$ の境界においてもシミュレーション上でも厳密解と同様に0となっており誤差が生じていなかったからだと考えられる。

### 例題3.円柱周りの流れの解析(レイノルズ数の変化と流れ場の変化、非定常解析)

解析条件に記したように、レイノルズ数が0.5,5,200の条件でシミュレーションを行ったが、配布資料の図と同様な流れ場の状態を確認できた。

流体力学において慣性力 $F_1$ ,粘性力 $F_2$ は流体密度 $\rho$ 、流体の粘性係数 $\mu$ 、流速 $v$ ,特性長さ $L$ を用いて  $F_1 = \rho v^2$ 、 $F_2 = \frac{\mu v}{L}$  であり、

$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\rho v L}{\mu} = Re$ (レイノルズ数)となることからレイノルズ数は慣性力と粘性力の比だと言える。

従って3つの条件におけるシミュレーションは最初は粘性力>慣性力だったのが慣性力が粘性力よりもはるかに大きくなるにつれてカルマン渦を生じるようになるまでの状態推移を示したと言える。

---

## 5.結論(まとめ)

今回の例題3つに取り組むことによってRFLOWを用いた二次元体系のシミュレーションとシミュレーションから任意の座標での速度などの値取得、動画作成の手法を学んだ。

さらに、数値解と厳密解の比較、レイノルズ数の変化と流れ場の変化をシミュレーションすることで座学で学んだ内容とシミュレーション結果が一致することを確認できた。

例題1における誤差をより小さくする方法について引き続き考えてみようと思う。