

# 建築数理工学

第8回 (2009年6月11日)

建築学コース2年次第1学期

担当: 大嶋拓也

本日の内容

- メッシュの非等間隔化

$(x, y) = (0.2344, 0.5)$  mにおける速度のy成分の値の相対誤差が、Ghiaと比較して2%以下となるよう、シミュレーションの条件(メッシュの細かさ、 $\Delta t$ 、計算終了時刻など)を変えてスタディし、結果を1枚のExcelワークシートに見やすくレイアウトしてまとめよ。

(1) 変更した条件、スタディの経過をわかりやすく記すこと。メッシュを変更した場合は、その画像を掲載すること。

(2) シミュレーション結果は以下を掲載すること。

2.1) 最終的なシミュレーション結果のベクトルプロット画像

2.2)  $y = 0.5$  mにおける速度のy成分を、Ghiaと比較してプロットしたグラフ

(前回課題と同様の図)

2.3)  $(x, y) = (0.2344, 0.5)$  [m]に最も近い点における相対誤差の値

2.4) 考察

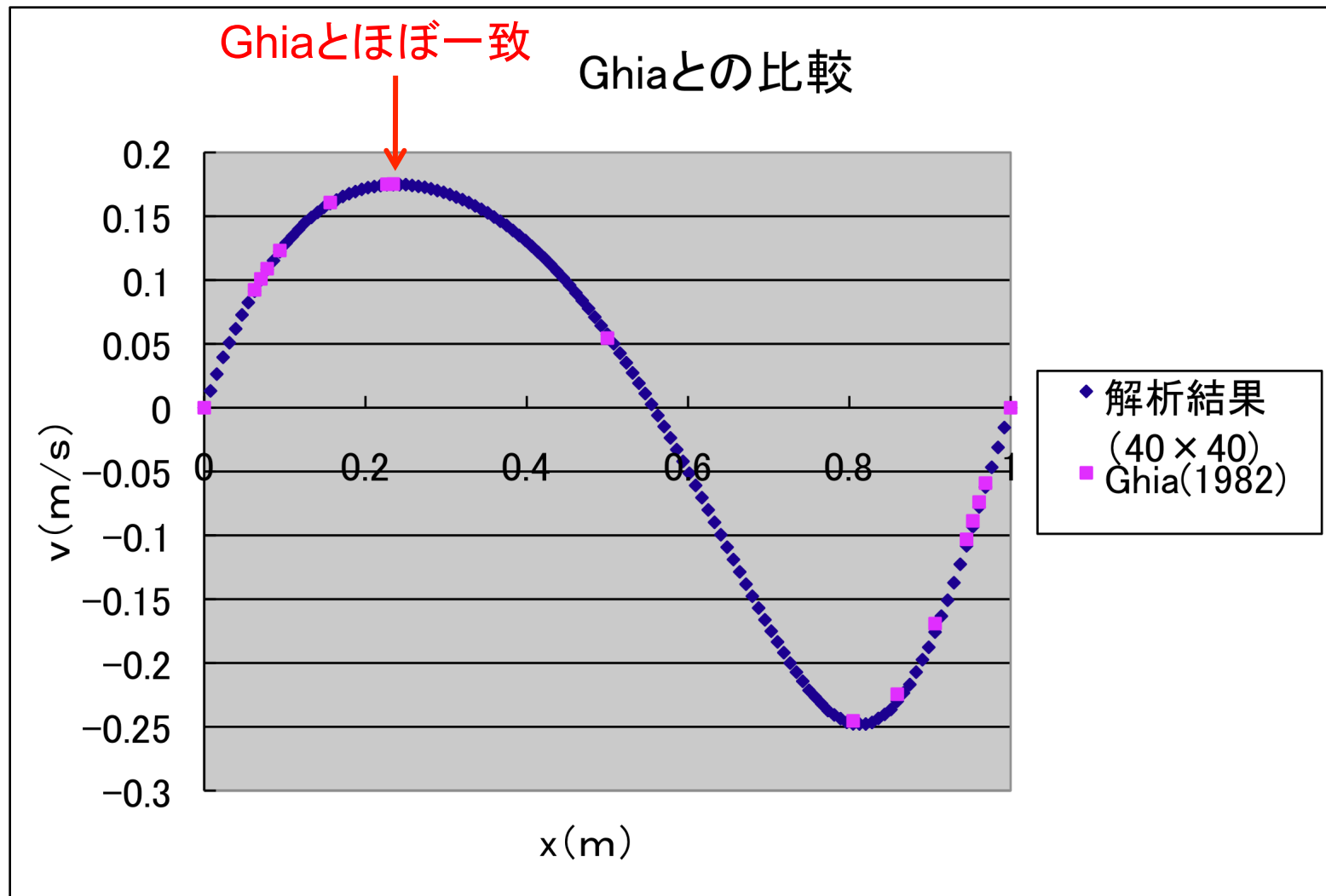
※その他注意事項は、前回までと同様。

締切: 6日(土) 12:00

- メッシュ分割 $30 \times 30$ 、 $\Delta t = 0.025 \sim 0.033$  [s]、計算終了時刻10 [s]
  - $(x, y) = (0.2344, 0.5)$  [m]における $v$ の相対誤差  $\rightarrow$  1.6 %前後
- メッシュ分割 $40 \times 40$ 、 $\Delta t = 0.025$  [s]、計算終了時刻10 [s]
  - $(x, y) = (0.2344, 0.5)$  [m]における $v$ の相対誤差  $\rightarrow$  0.3 %前後

# 前回の課題: $y = 0.5$ [m]における $v$ のプロット

- メッシュ分割 $40 \times 40$ 、 $\Delta t = 0.025$  [s]、計算終了時刻10 [s]の場合



# 本日のお題目: 不等間隔メッシュの導入 (1)

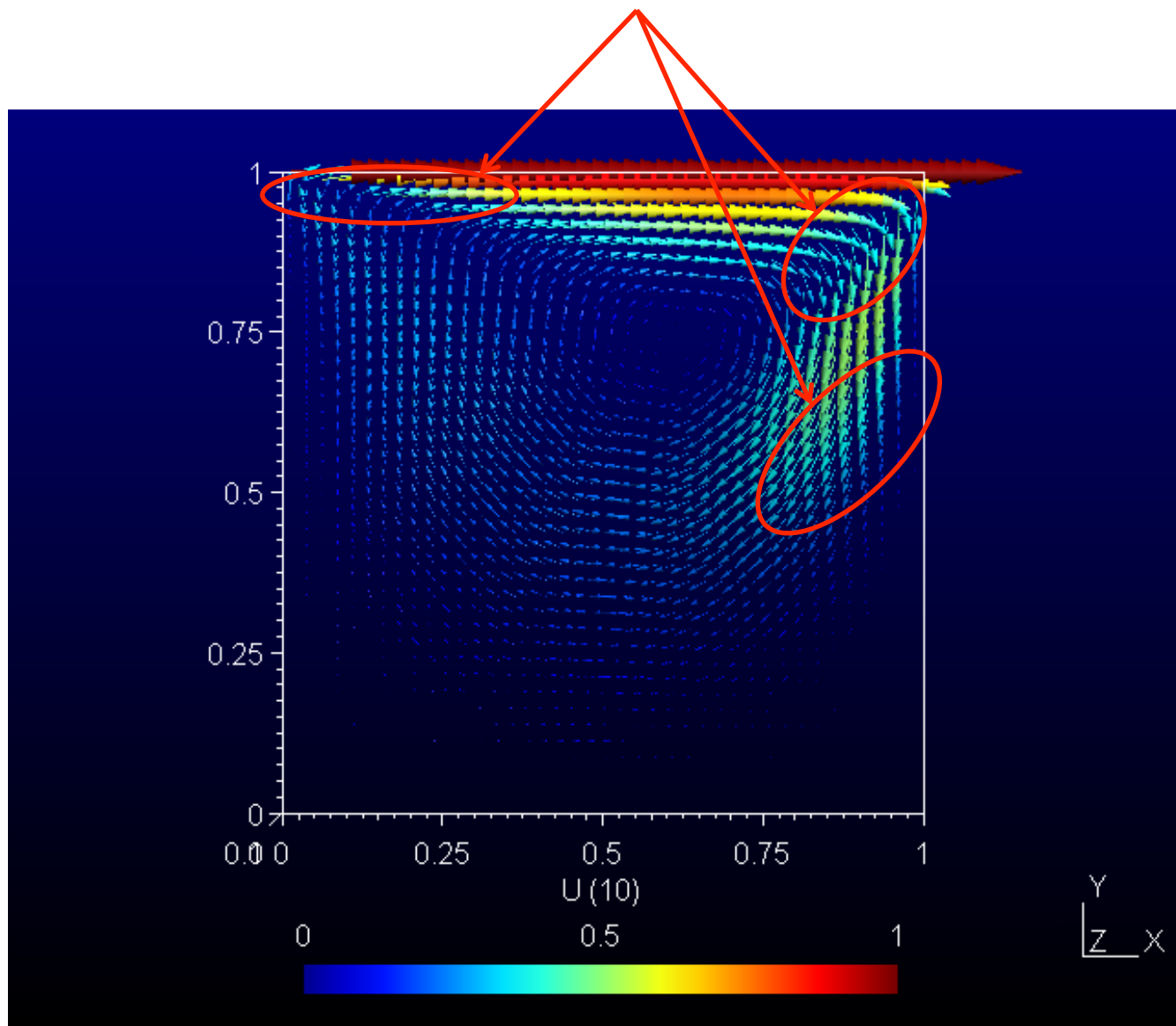
- メッシュの分割数が増えるほど解は正確になるが、計算時間がかかる。
- 一般に計算時間は、(セル数) $\times$ (時刻ステップ数)に比例する。
- 例えば、メッシュ分割を縦横2倍、 $\Delta t$ を半分、終了時刻を倍にした場合、
  - メッシュ分割を縦横2倍 →セル数は $2 \times 2 = 4$ 倍 (3次元の場合は $2 \times 2 \times 2 = 8$ 倍)
  - $\Delta t$ を半分 →同じ終了時刻でも、時刻ステップ数は2倍
  - 終了時刻を2倍 →時刻ステップ数も2倍→結局、 $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$ 倍の時間がかかることになる。



- セル数を増やさずに、計算精度を上げたい。

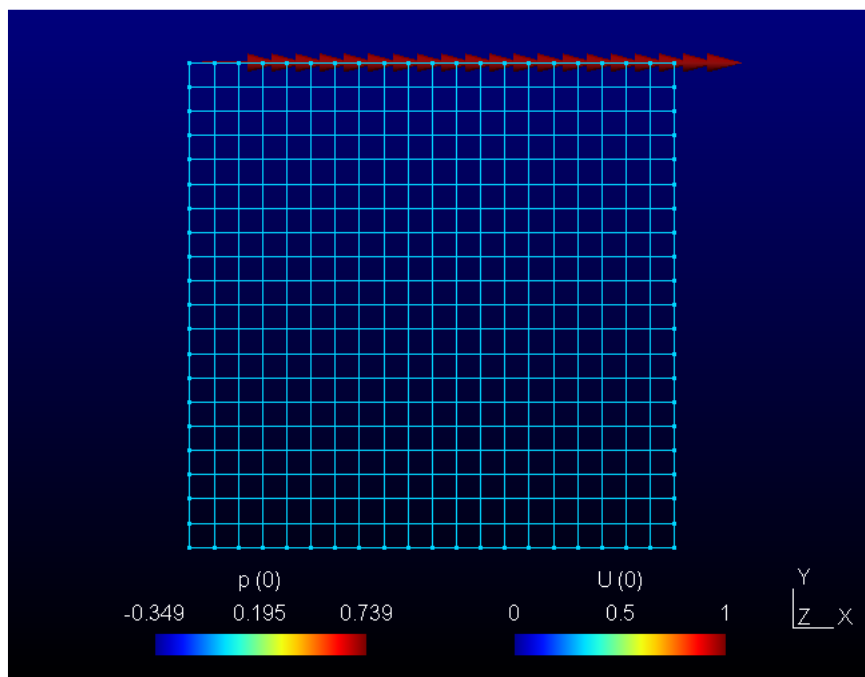
# 不等間隔メッシュの導入 (2)

- ・一般に精度に大きく影響するのは、流速ベクトルの時空間的変化が大きな部分。

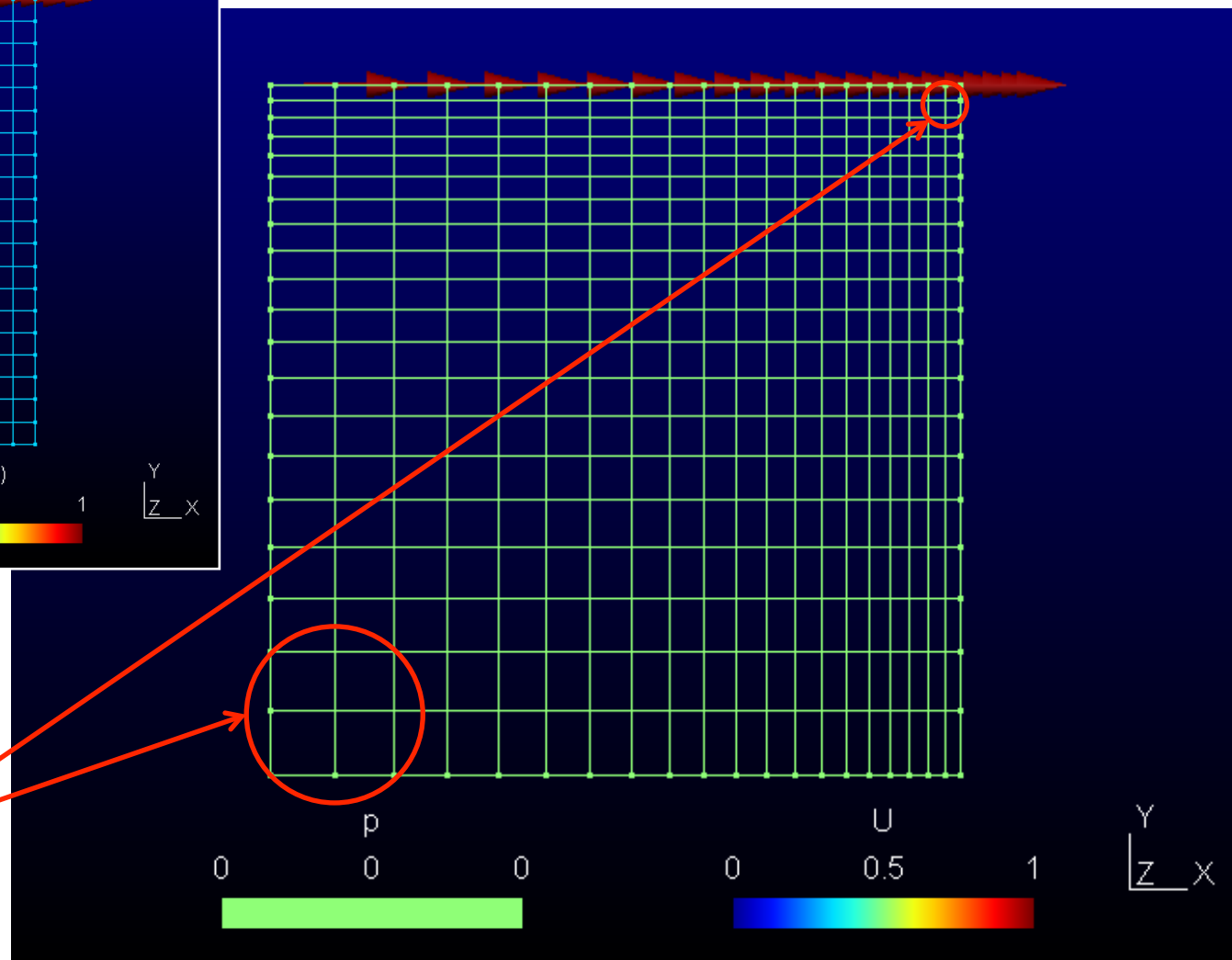


# 不等間隔メッシュの導入 (3)

- ・流速が大きく変わる部分のメッシュを、細かく切ってはどうか？



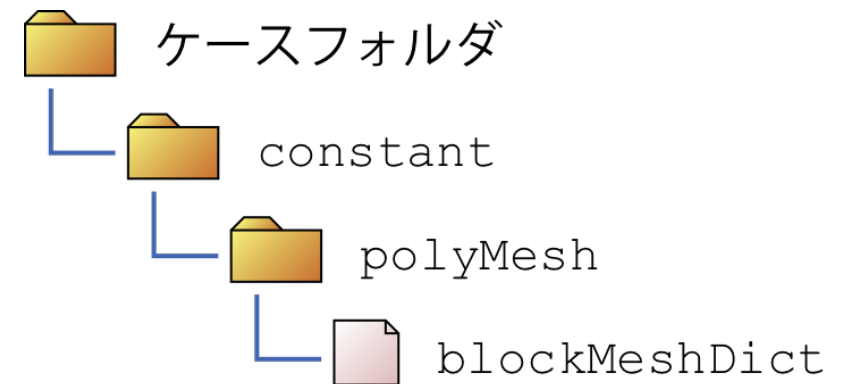
左下を粗く、  
右上を細かく



# 不等間隔メッシュの導入 (4)

- 分割数を $20 \times 20$ としたまま、メッシュの間隔を変えてみよう。
- blockMeshDictの、この部分を変更する。

```
blocks  
(  
  hex (0 1 2 3 4 5 6 7) (20 20 1) simpleGrading (1 1 1)  
);
```

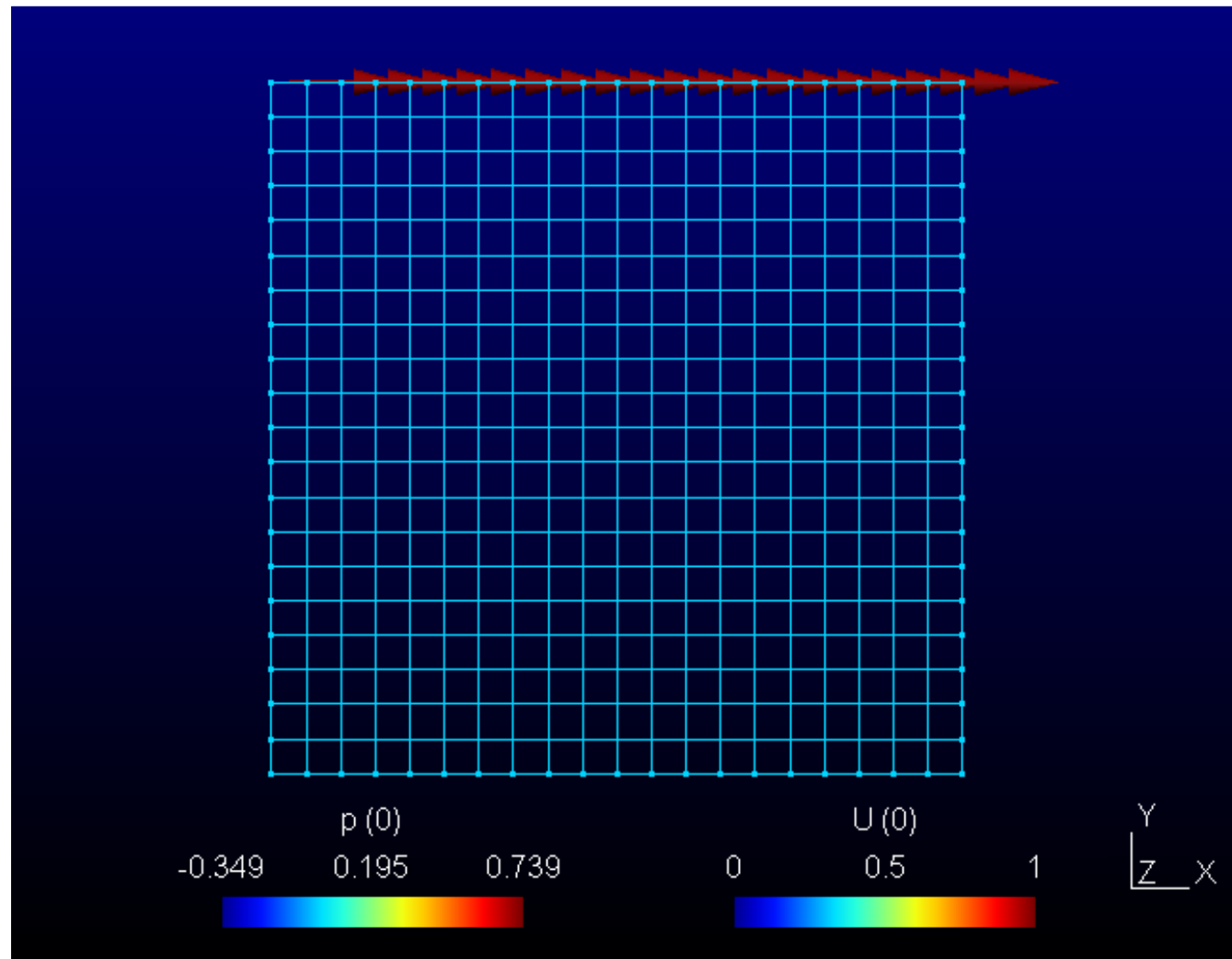




# 不等間隔メッシュの導入 (5)

```
hex (0 1 2 3 4 5 6 7) (20 20 1) simpleGrading (1 1 1)
```

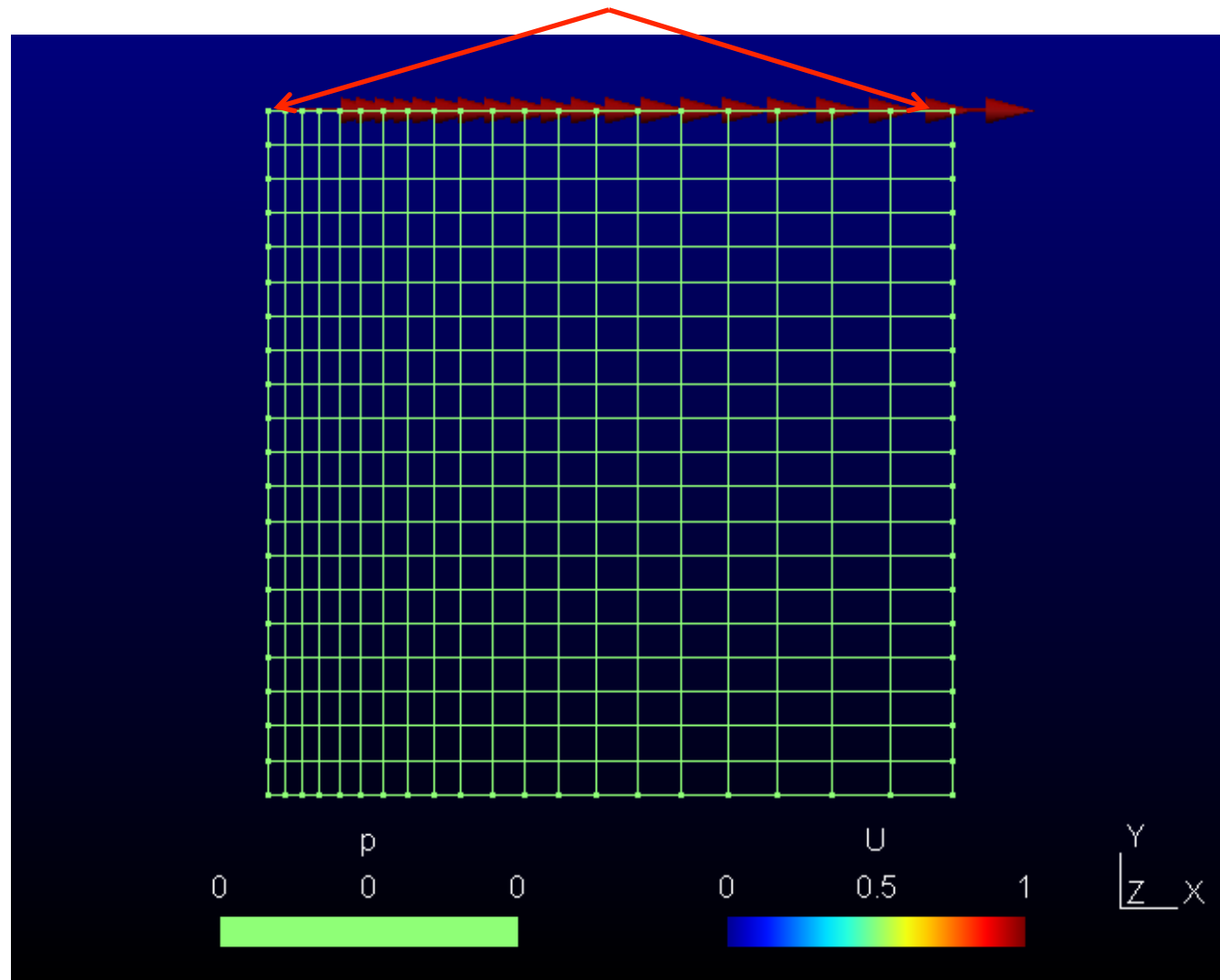
- 今までどおりの等間隔メッシュ



# 不等間隔メッシュの導入 (6)

hex (0 1 2 3 4 5 6 7) (20 20 1) simpleGrading (4 1 1)

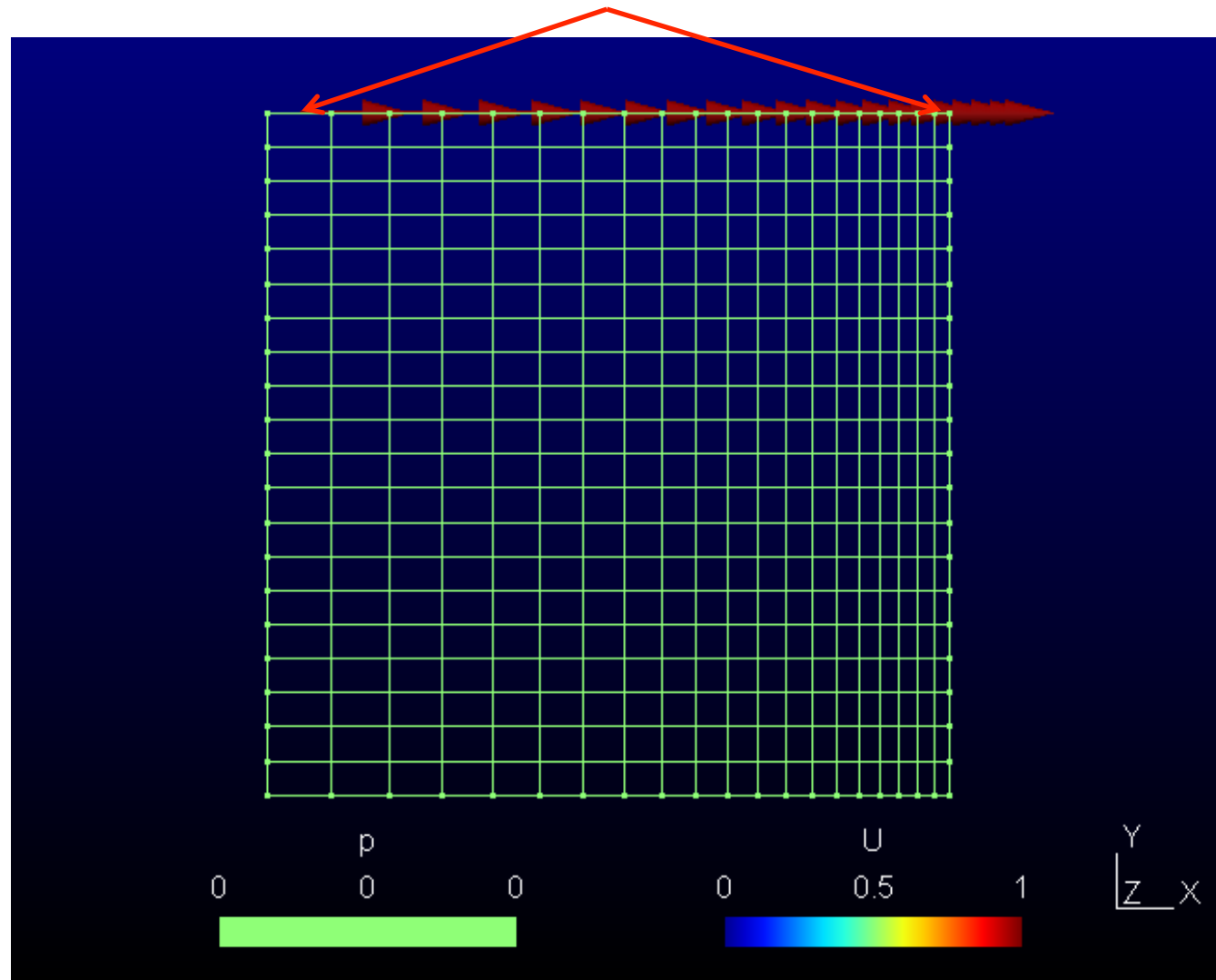
- x座標値の一番大きなセルの幅が、x座標値の一番小さなセルの幅の4倍



# 不等間隔メッシュの導入 (7)

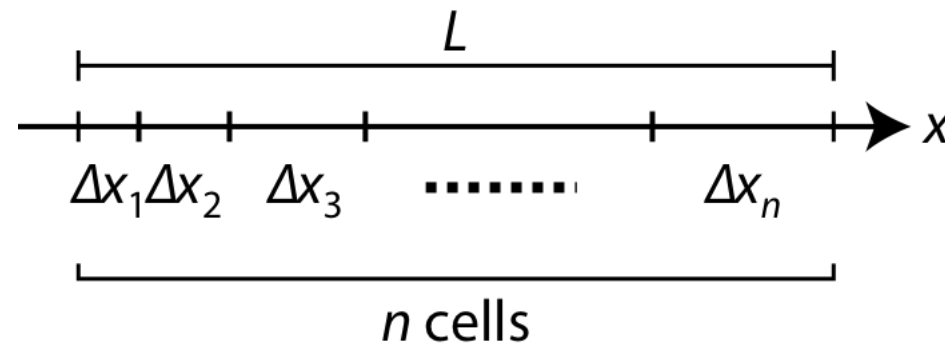
```
hex (0 1 2 3 4 5 6 7) (20 20 1) simpleGrading (0.25 1 1)
```

- x座標値の一番大きなセルの幅が、x座標値の一番小さなセルの幅の0.25 (=1/4)倍



# 最小セル幅の計算(1)

- クーラン条件は、最も厳しい(= $\Delta x$ 、 $\Delta y$ の小さい)セル幅に対して適用される。
- $\Delta t$ の値を決めるには、最も幅の狭いセルのセル幅を計算する必要がある。
- セル分割する辺の長さ全体を $L$ 、セル分割数を $n$ 、セル幅を座標値の小さなセルから順に $\Delta x_1$ 、 $\Delta x_2$ 、 $\dots$ 、 $\Delta x_n$ 、セル1に対するセル $n$ の幅(blockMeshDictの設定値)を $R = \Delta x_n / \Delta x_1$ とし、隣り合うセル幅の比 $r$ を一定とする。



$$R = \Delta x_n / \Delta x_1$$

$$r = \Delta x_2 / \Delta x_1 = \Delta x_3 / \Delta x_2 = \dots = \Delta x_n / \Delta x_{n-1}$$

- 求めるべきセル幅は、 $R > 1$ のとき $\Delta x_1$ 、 $R < 1$ のとき $\Delta x_n$ となる。

# 最小セル幅の計算(2)

等比数列の定義式より

$$\Delta x_n = \Delta x_1 r^{n-1} \quad \text{よって} \quad \frac{\Delta x_n}{\Delta x_1} = r^{n-1} = R \quad \cdots(1)$$

さらに両辺の $n-1$ 乗根を取ると

$$r = R^{\frac{1}{n-1}} \quad \cdots(2)$$

また、等比級数の公式より

$$L = \sum_{k=1}^n \Delta x_k = \sum_{k=1}^n \Delta x_1 r^{k-1} = \frac{\Delta x_1 (r^n - 1)}{r - 1} \quad \text{整理すると} \quad \Delta x_1 = \frac{L(r-1)}{r^n - 1} \quad \cdots(3)$$

式(3)に式(1)を代入すると、 $R > 1$ における最小セル幅 $\Delta x_1$ が以下のように求められる。

$$\Delta x_1 = \frac{L(r-1)}{Rr-1} \quad \cdots(4)$$

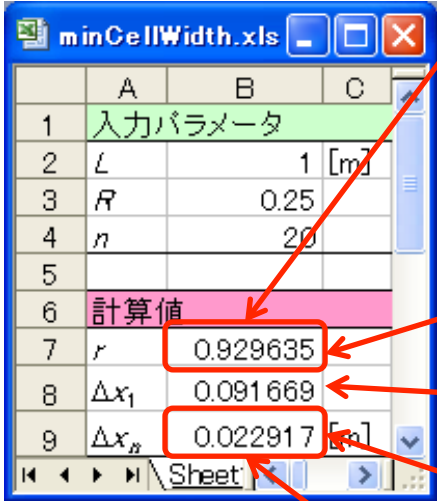
$R < 1$ のときは、式(1)より $\Delta x_n$ が以下のように求められる。

$$\Delta x_n = R\Delta x_1 = \frac{LR(r-1)}{Rr-1} \quad \cdots(5)$$

# 最小セル幅の計算(3)

- ここでは $R = 0.25$ として、Excelで最小セル幅を計算してみよう。

$r$ の値は経験的に、 $0.9 \sim 1.1$ の間に収めるのが良いとされる



それぞれの数値を入力

式(2)を入力

式(4)を入力

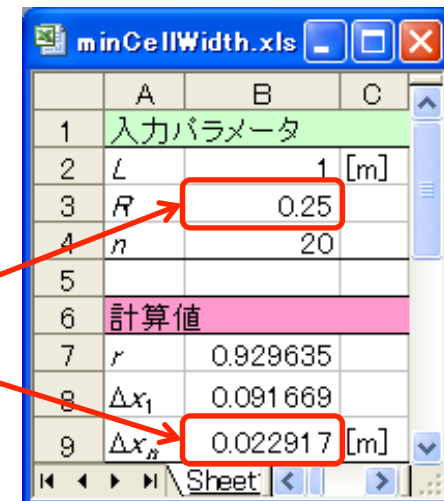
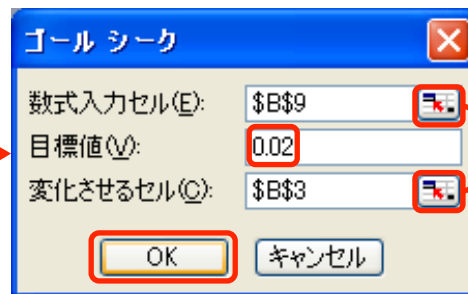
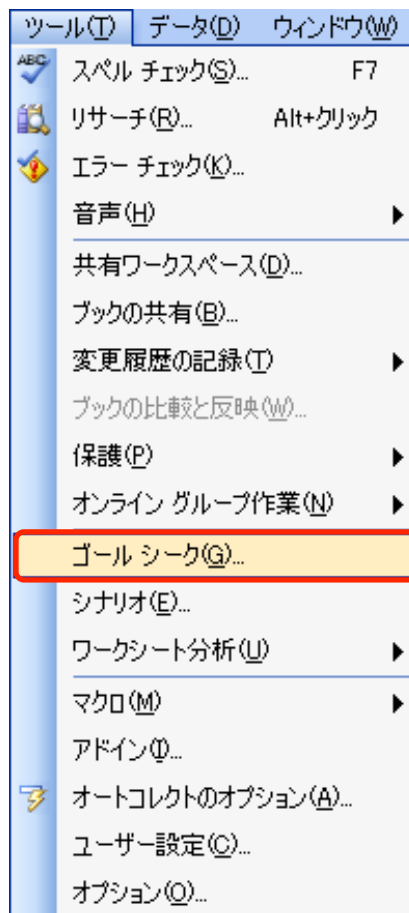
式(5)を入力

最小セル幅

	A	B	C
1	入力パラメータ		
2	L	1 [m]	
3	R	0.25	
4	n	20	
5			
6	計算値		
7	r	0.929635	
8	$\Delta x_1$	0.091669	
9	$\Delta x_p$	0.022917 [m]	

# 最小セル幅の計算(4)

- ただし実務的には、最小セル幅をあらかじめ設定することが多い。
- ここではExcelの「ゴールシーク」を使って、「最小セル幅が0.02 mとなるRの値」を設定してみよう。



The spreadsheet shows the results of the Goal Seek calculation. The 'Goal Seek' dialog box settings are reflected in the spreadsheet cells. The 'By Changing Variable Cell' (\$B\$3) is now 0.25, and the 'Set Cell' (\$B\$9) is now 0.022917. The spreadsheet is titled 'minCellWidth.xls'.

	A	B	C
1	入力パラメータ		
2	L	1	[m]
3	R	0.25	
4	n	20	
5			
6	計算値		
7	r	0.929635	
8	$\Delta x_1$	0.091669	
9	$\Delta x_R$	0.022917	[m]

➡ 実行結果のチェックは各自で！

# 課題: 不等間隔メッシュでの解析

以上によって求めた $R$ の設定値によって $x$ 、 $y$ 方向ともに不等間隔のメッシュを作成し、 $t = 10$  [s]までの解析を実行し、 $(x, y) = (0.2344, 0.5)$  [m]における速度の $y$ 成分の値の相対誤差を、Ghiaとの比較によって求めよ。

(1)設定条件を記述し、メッシュ画像を掲載せよ。

(2)解析結果は以下を掲載すること。

2.1)  $t = 10$  [s]における解析結果のベクトルプロット画像

2.2)  $y = 0.5$  [m]における速度の $y$ 成分を、Ghiaと比較してプロットしたグラフ

(前回課題と同様のグラフ)

2.3)  $(x, y) = (0.2344, 0.5)$  [m]における相対誤差の値

2.4) 考察

注意: 数値の単位、画像・表のキャプション、在籍番号・氏名などを必ず記載すること。

考察の参考:  $20 \times 20$ の等間隔メッシュでの相対誤差は、概ね $\Delta t$ の値によらず6%である。

締切: 12日(金) 23:55



- OpenFOAMの操作は、キーボードからのコマンド入力でも可能。
- 「スタート」→「すべてのプログラム」→「OpenFOAM」→「OpenFOAM Terminal」



```
c:\ ~\OpenFOAM\run\tutorials\icoFoam\cavityFine
Executing: /opt/OpenFOAM/OpenFOAM-1.4/.bashrc
Executing: /opt/OpenFOAM/OpenFOAM-1.4/.OpenFOAM-1.4/apps/ensightFoam/bashrc
Executing: /opt/OpenFOAM/OpenFOAM-1.4/.OpenFOAM-1.4/apps/paraview/bashrc

tjtc-065@tjtc-065 ~
$ cd OpenFOAM/run/tutorials/icoFoam/cavityFine

tjtc-065@tjtc-065 ~/OpenFOAM/run/tutorials/icoFoam/cavityFine
$
```

- “cd OpenFOAM/icoFoam/cavity”と入力し、Enterを押す(以下同様)。
- メッシュの生成: “blockMesh . .” (“blockMesh”と2つのピリオド(「.」)の間は、それぞれスペースで区切る。以下同様)
- 解析の実行: “icoFoam . .”
- サンプリングの実行: “sample . .”
- gmshFoamの実行: “gmshFoam . .”