OpenFOAM チュートリアル Cavity Flow の検討

担当　**TM**

第3回 OpenCAE 初心者勉強会（岐阜）
平成 23 年 4 月 16 日

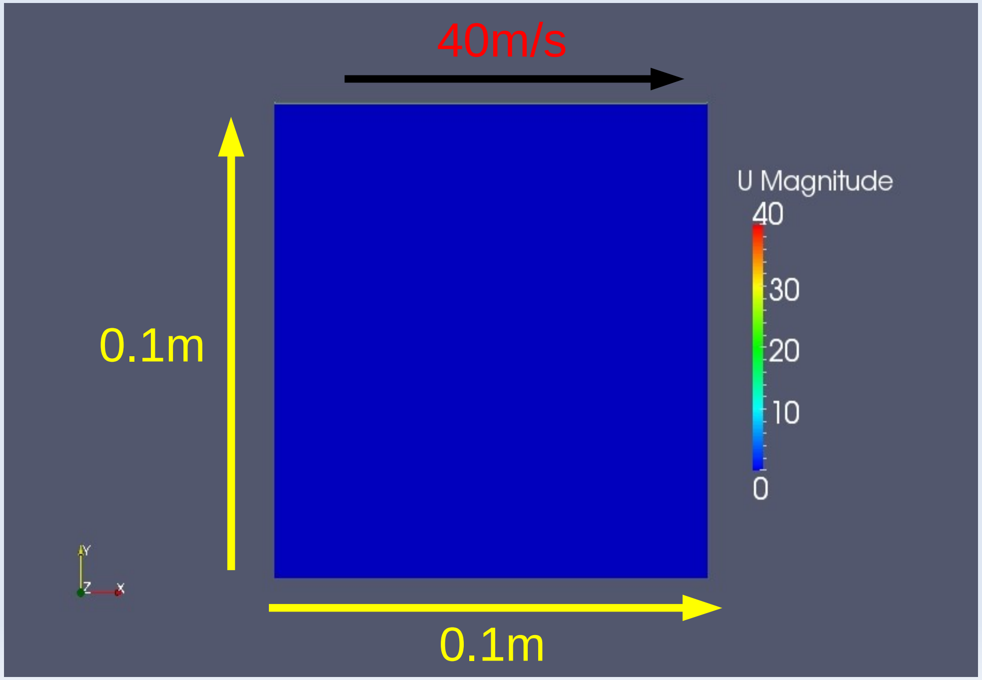
計算環境

```
Maker    :Toshiba
Product  :dynabook TX/64HS
CPU      :Core 2 Duo P8400 2.26GHz
Memory   :4GBytes
HD       :320GBytes
OS       :Ubuntsu10.10
Code     :OpenFoam 1.7.1
```

計算条件

計算領域　　　：d×H×L=0.1m×0.1m×0.01mm
境界駆動速度：U=40m/s
動粘度　　　　：ν=0.01m/s^2 (水の物性）
レイノルズ数　：Re=Ud/ν=400

2次元層流で定常時の速度分布を求める。



ICOFOAM の概要

＜非定常＞　時間変化あり

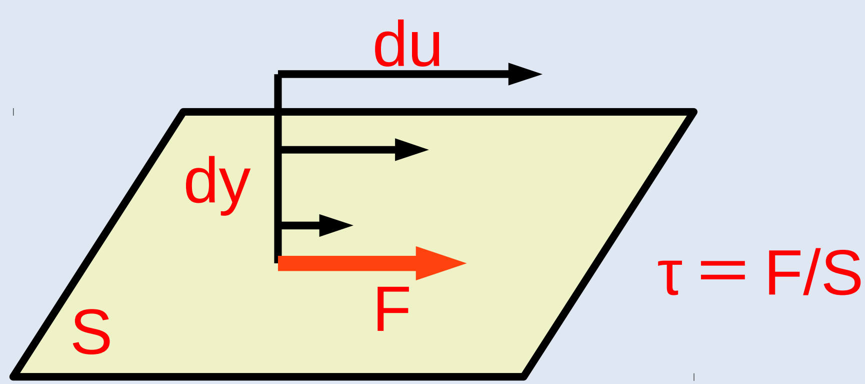
＜非圧縮性＞　密度変化なし

Ma（マッハ数 =u ／音速）＜ 0.2

＜層流＞　乱流ではない?!

＜ニュートン流体＞　応力が速度勾配に比例

τ＝μ・du/dy（μ：粘性係数）



基礎方程式

(連続の式)

$$\partial u/\partial x+\partial v/\partial y=0$$

(Navier-Stokes の式)

$$\partial u/\partial t+u(\partial u/\partial x)+v(\partial u/\partial y)=-1/\rho*\partial p/\partial x+\nu(\partial^2 u/\partial x^2+\partial^2 u/\partial y^2)$$

$$\partial v/\partial t+u(\partial v/\partial x)+v(\partial v/\partial y)=-1/\rho*\partial p/\partial y+\nu(\partial^2 v/\partial x^2+\partial^2 v/\partial y^2)$$

時間項　対流項　圧力項　粘性項

ρ（密度）は一定

(境界条件)

＊y=0.1m：u=U（一定）

＊x 軸、y 軸、x=0.1m で粘着条件 (u=v=0)

＊p は境界上で圧力差なし　gradp=0

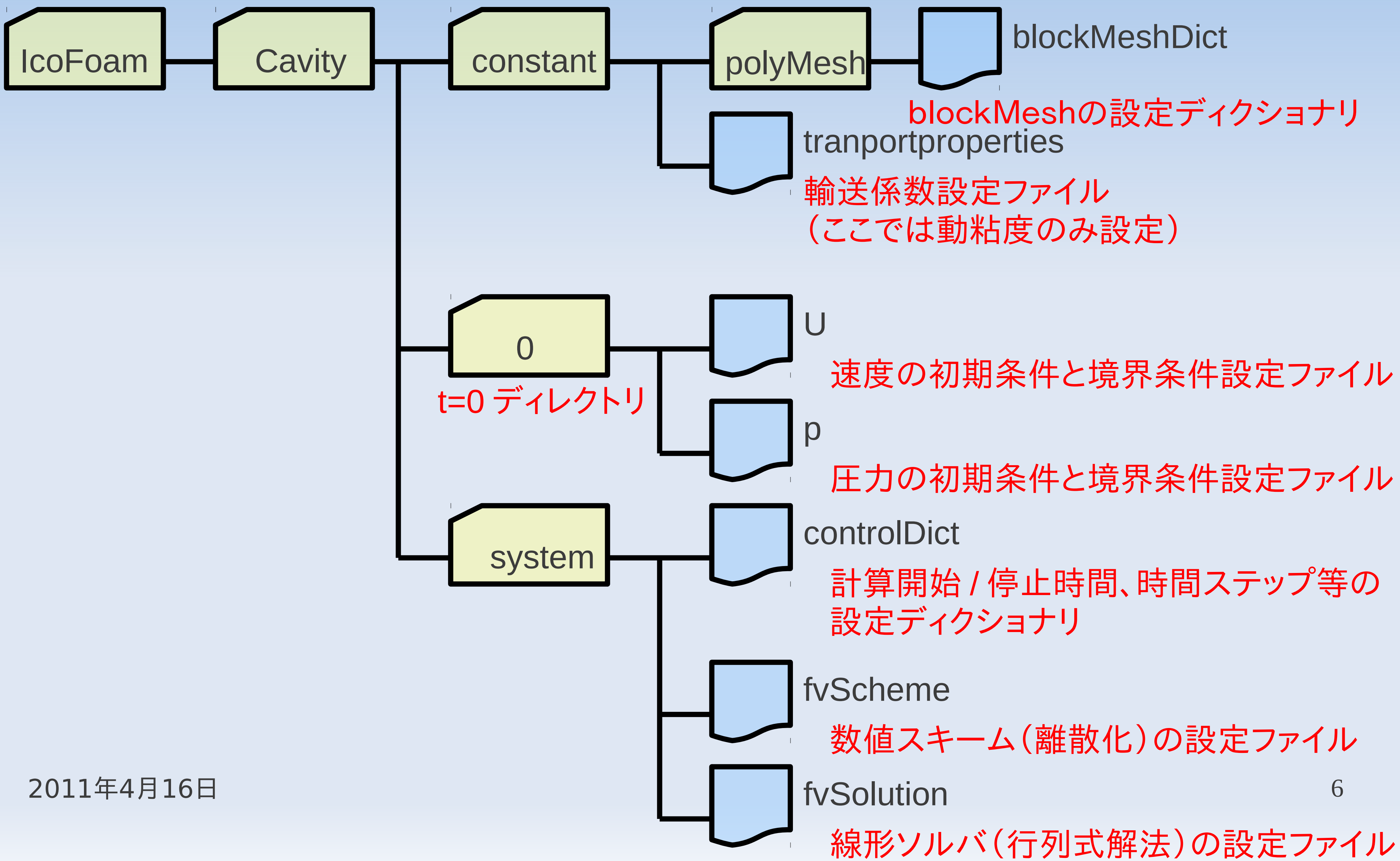
(初期条件)

$u=0(m/s)$,　$v=0(m/s)$,　$p/\rho=0(m^2/s^2)$

＊パラメータ: U,　動粘度 ν,　密度 ρ（これは決めない）

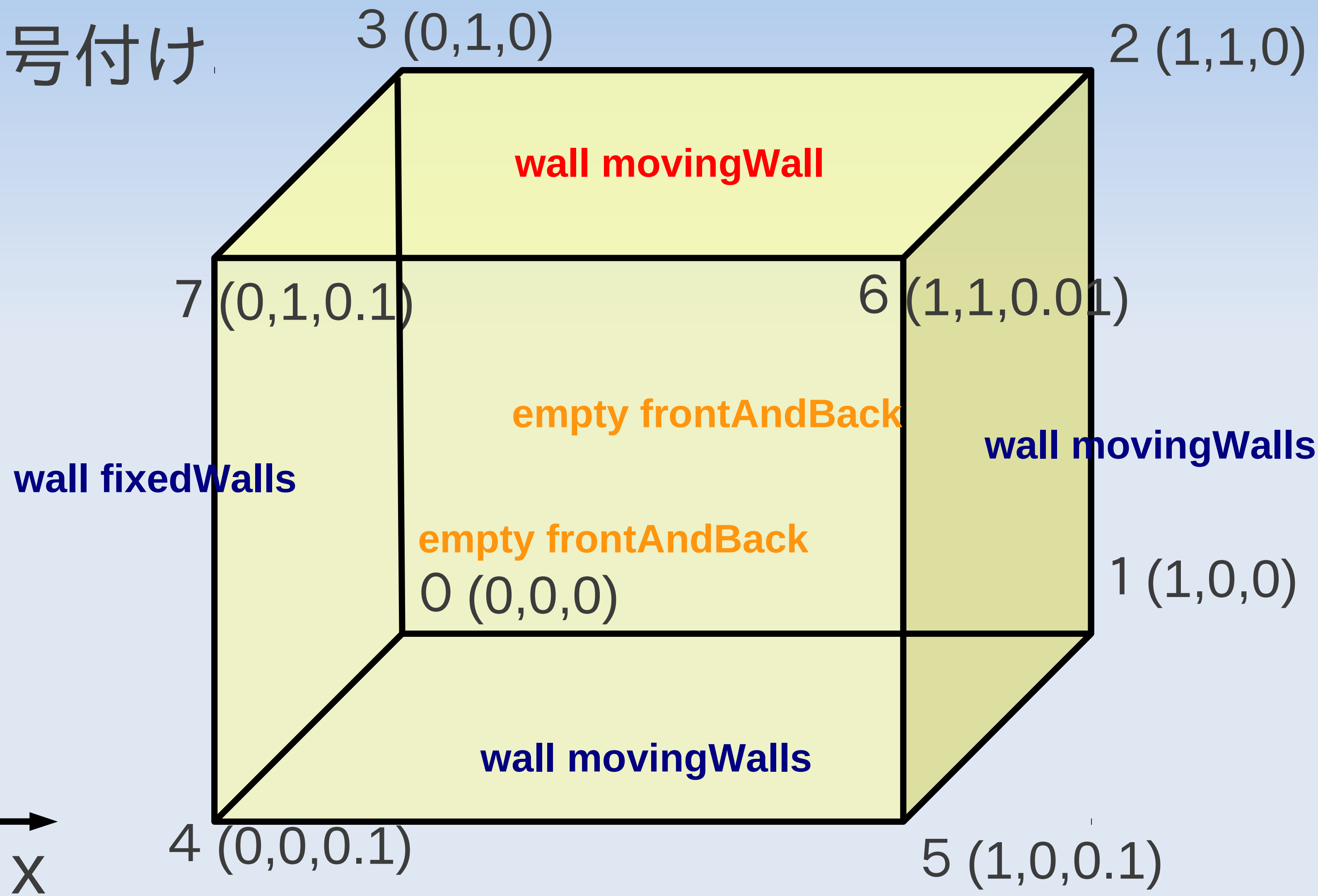
＊未知関数: u(t,x,y),　v(t,x,y),　p(t.x,y)/ρ　３つの関数を解く

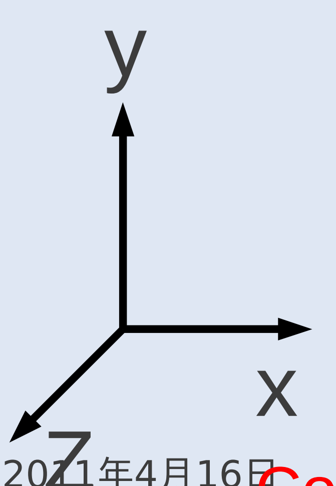
条件設定ディレクトリ


IcoFoam
Cavity
constant
polyMesh
blockMeshDict
blockMeshの設定ディクショナリ
tranportproperties
輸送係数設定ファイル
（ここでは動粘度のみ設定）
0
t=0 ディレクトリ
U
速度の初期条件と境界条件設定ファイル
p
圧力の初期条件と境界条件設定ファイル
system
controlDict
計算開始 / 停止時間、時間ステップ等の
設定ディクショナリ
fvScheme
数値スキーム（離散化）の設定ファイル
fvSolution
線形ソルバ（行列式解法）の設定ファイル

六面体セル　hex

点の番号付け





ConvertToMeters 0.1;　0.1 倍に寸法を縮小　単位 m

メッシュ数とタイムステップ

＜メッシュ数＞

メッシュ数は分からないので、文献値と比較のため

256×256

＜タイムステップ＞

タイムステップはクーランの条件（CFL 条件）で考える

Co ＝ Δt ＊ U/Δx ＜1を満たすこと

今 Δx ＝ 0.1/256 ～ 0.0004(m)

Δt ＝1 ×0.0004/40 ～ 0.00001(sec)

実際は Δt=0.0001 でもクーランの条件は満たされる

計算時間が短い Δt=0.0001 で計算

＜計算時間＞

流体が Cavity 内を1週する見積り時間は

0.4m÷40m/s=0.01 秒

定常に達するまで 100 週と考えて t=1 秒まで計算する。

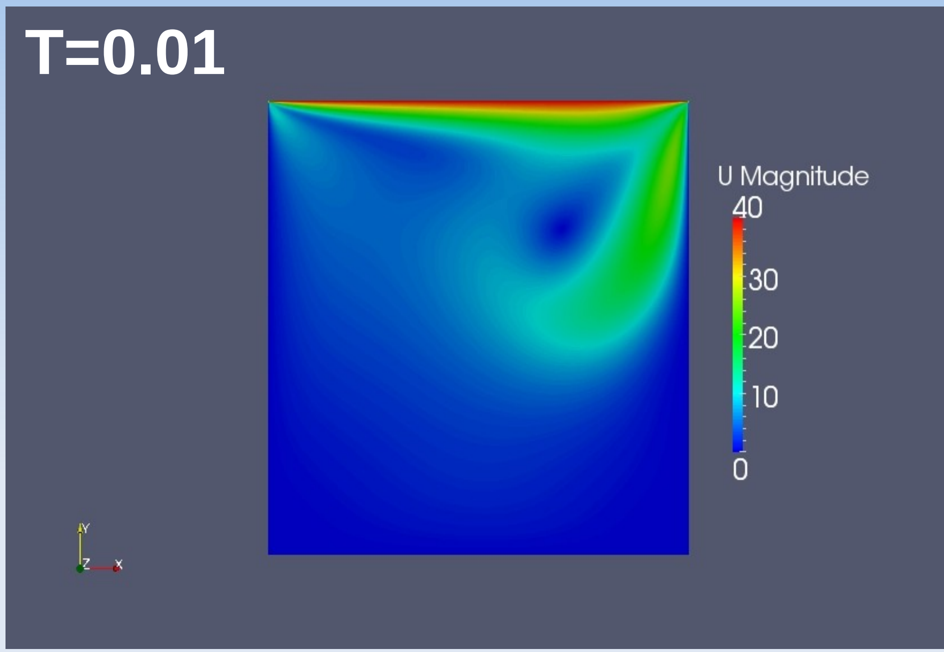
時間スキームの離散化方法

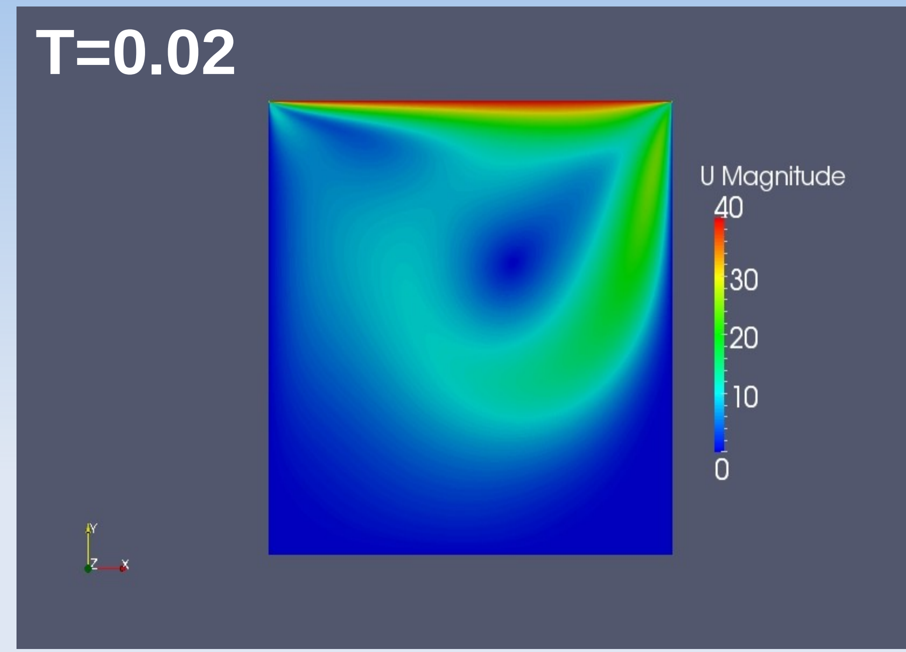
スキーム	精度	安定性	備考
Euler	1次	陰的△	ー
CrankNicholson	2次	陰的○	ー
backward	2次	陰的？	ー
steadyState	ー	ー	定常問題用

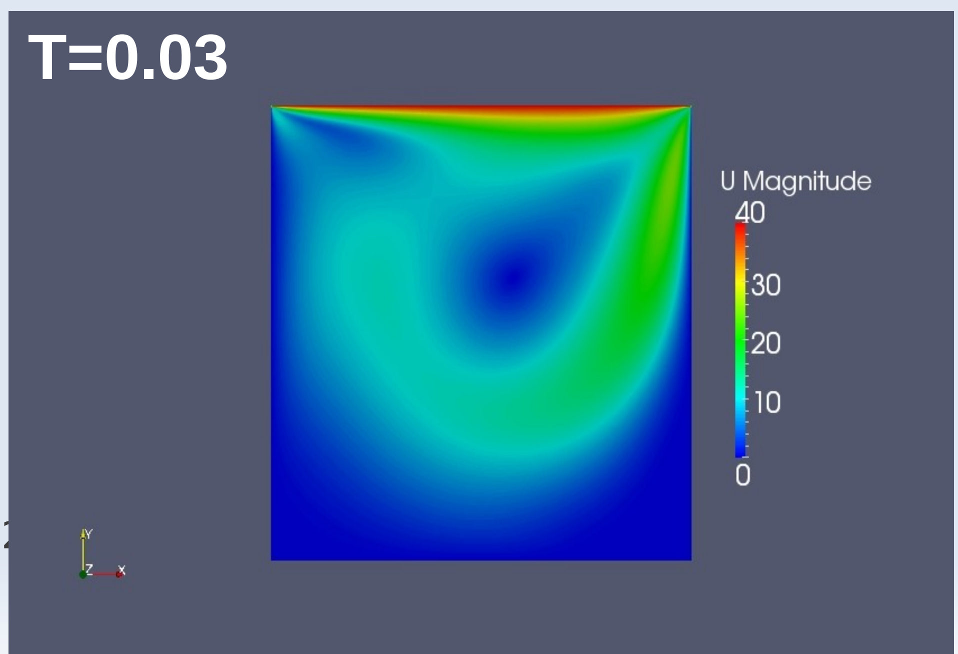
対流項=発散スキームの離散化方法

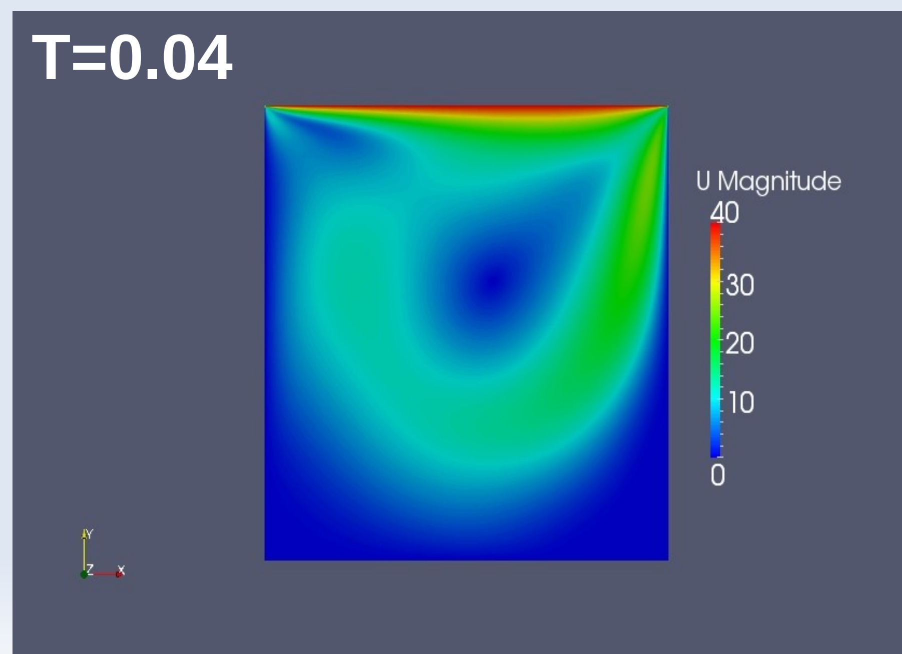
スキーム	精度	安定性	備考
linear	2次	△	中央差分
SkewLinear	2次	?	
upwind	1次	○	日本語マニュアルでは4次(誤り)
cubicCorrected	4 次	?	
LinearUpwind	1 / 2次	?	
QUICK	1/ 2次	○	2 次風上
TVD schemes	1/ 2次	○	TVD 条件で 1/2 風上差分を切り替え
SFCD	2次	?	
NVD schemes	1/ 2次	?	

計算結果 (Velocity Magnitude)

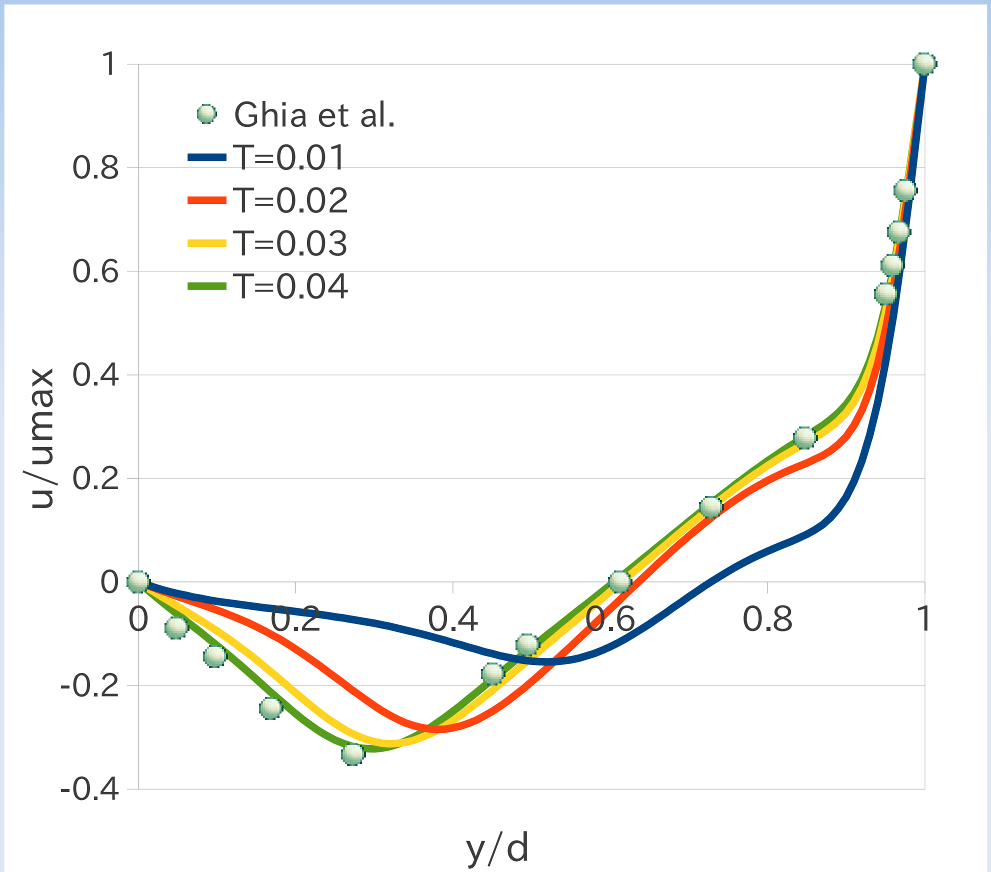




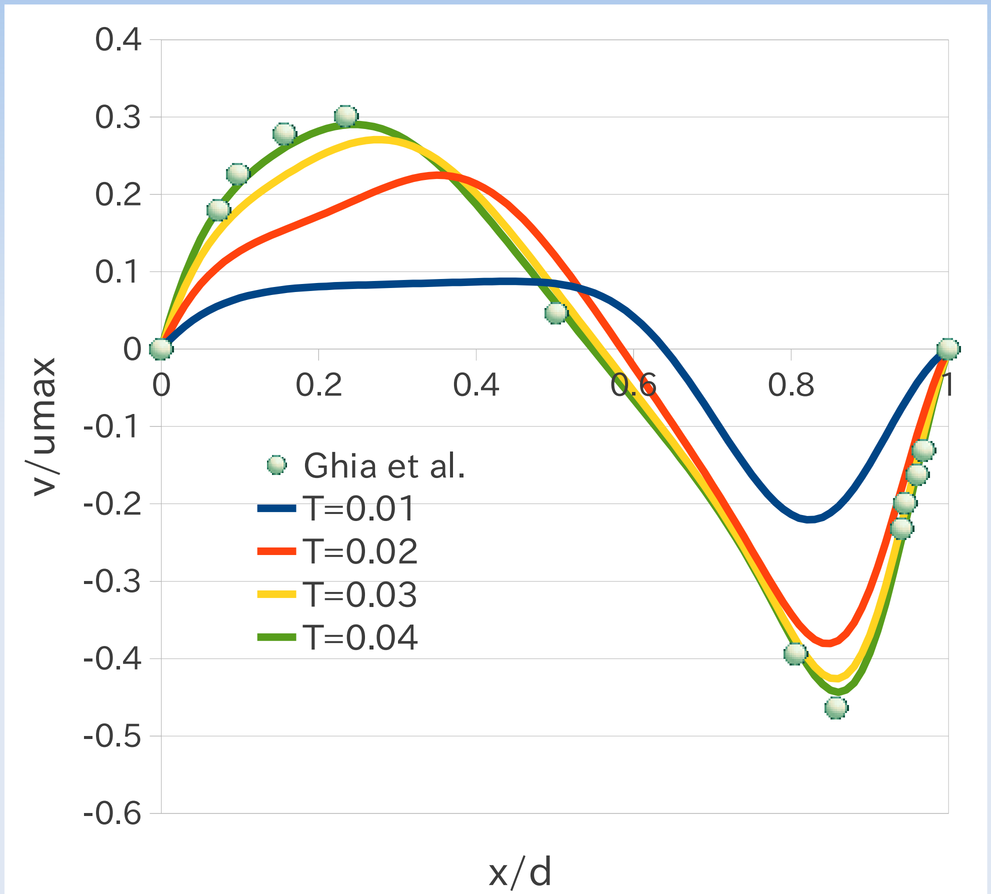




計算結果 (Velociy Profile)



u-profile on the y-axis

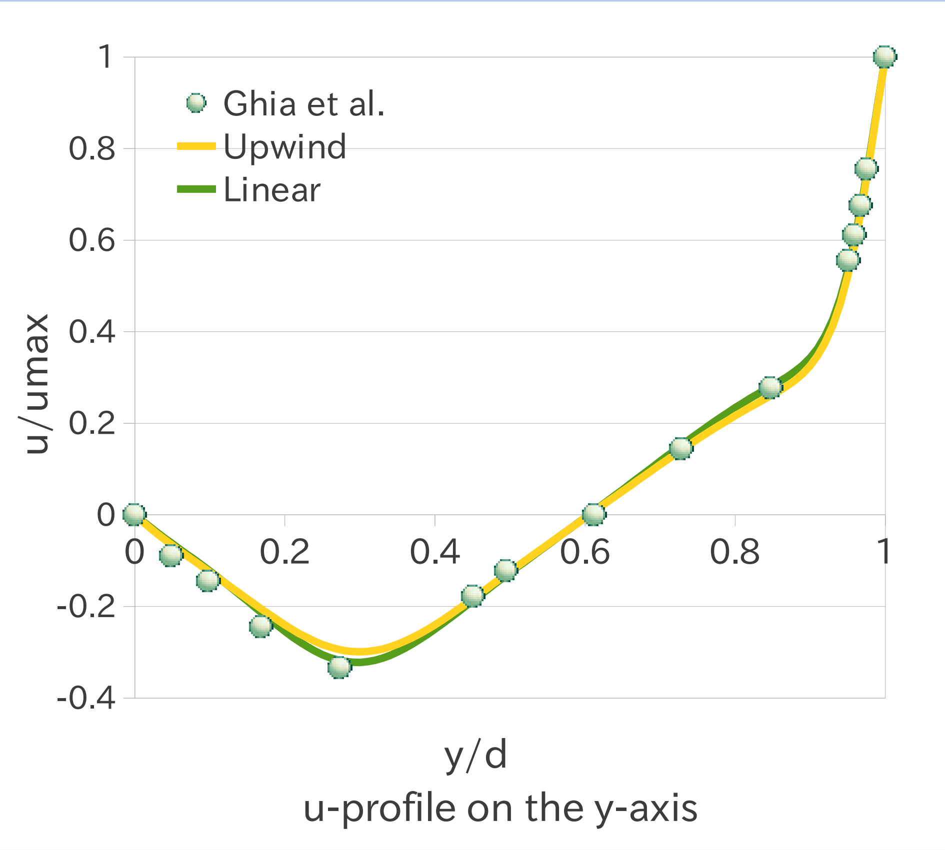


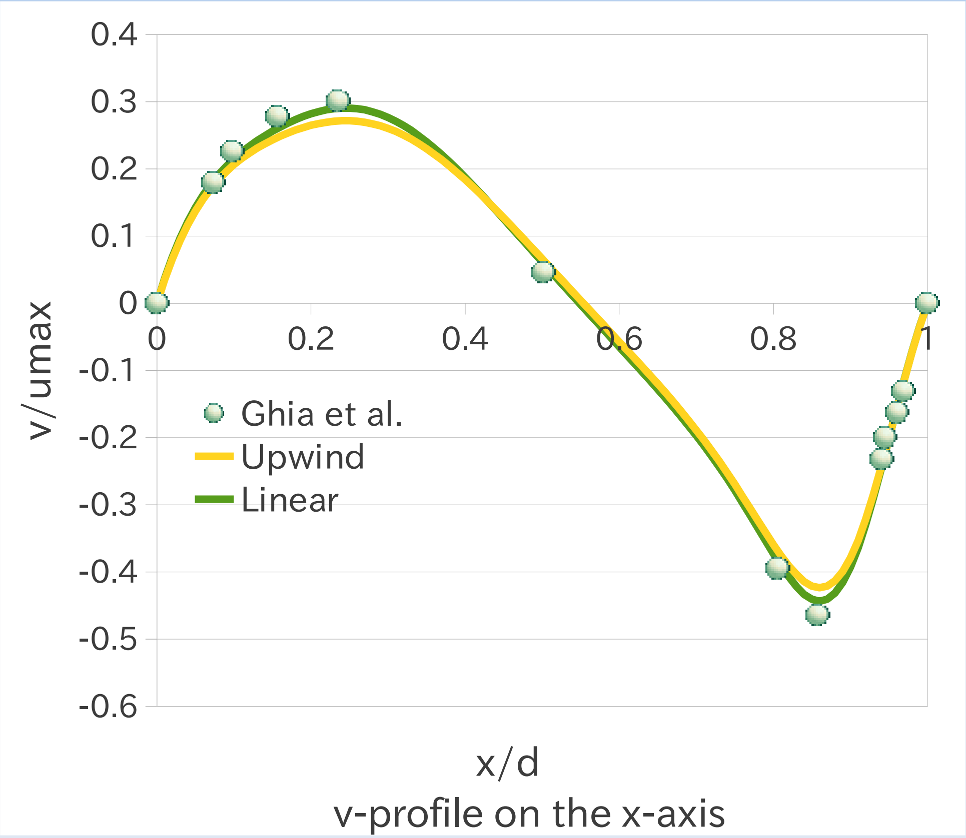
v-profile on the x-axis

V. Ghia, K. N. Ghia and C. T. Shin, High-Re solutions for incompressible flow using the Navier-Stokes equations and Multi-grid Method, J. Comp. Phys., v.48, 1982, pp.387-411

→ 渦度と流れ関数の ***Navier-Stokes*** 方程式を解く

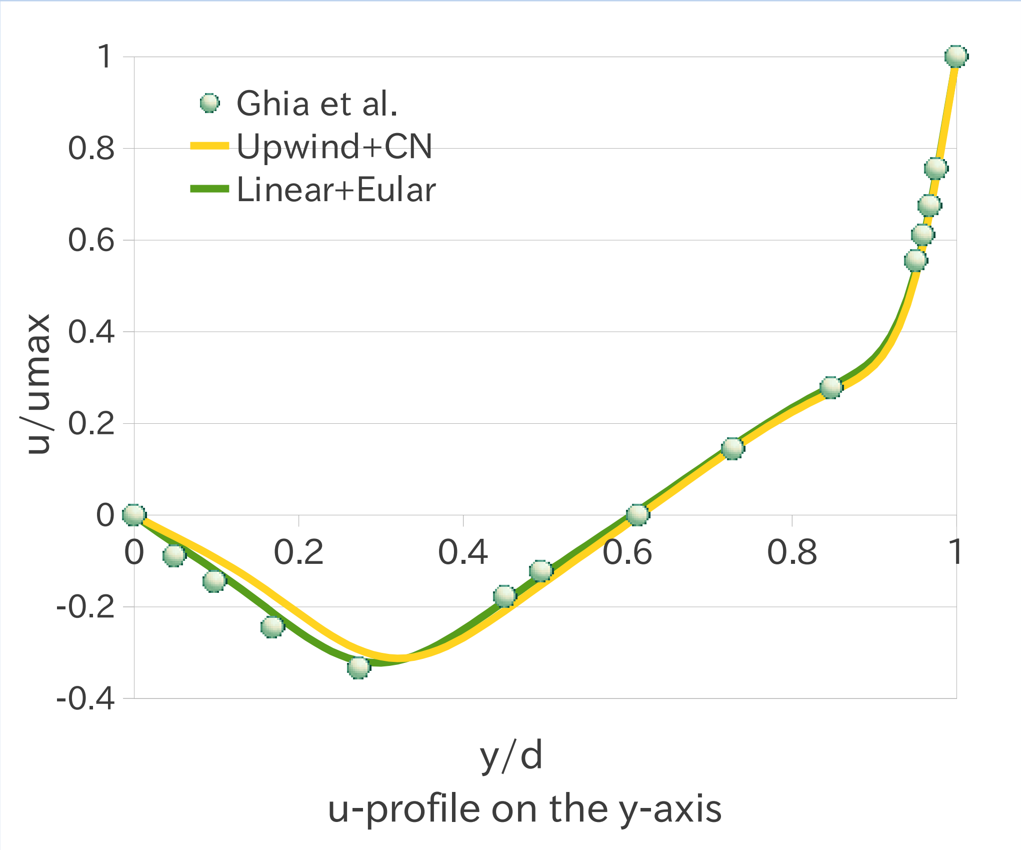
計算手法の比較 (t=0.04)

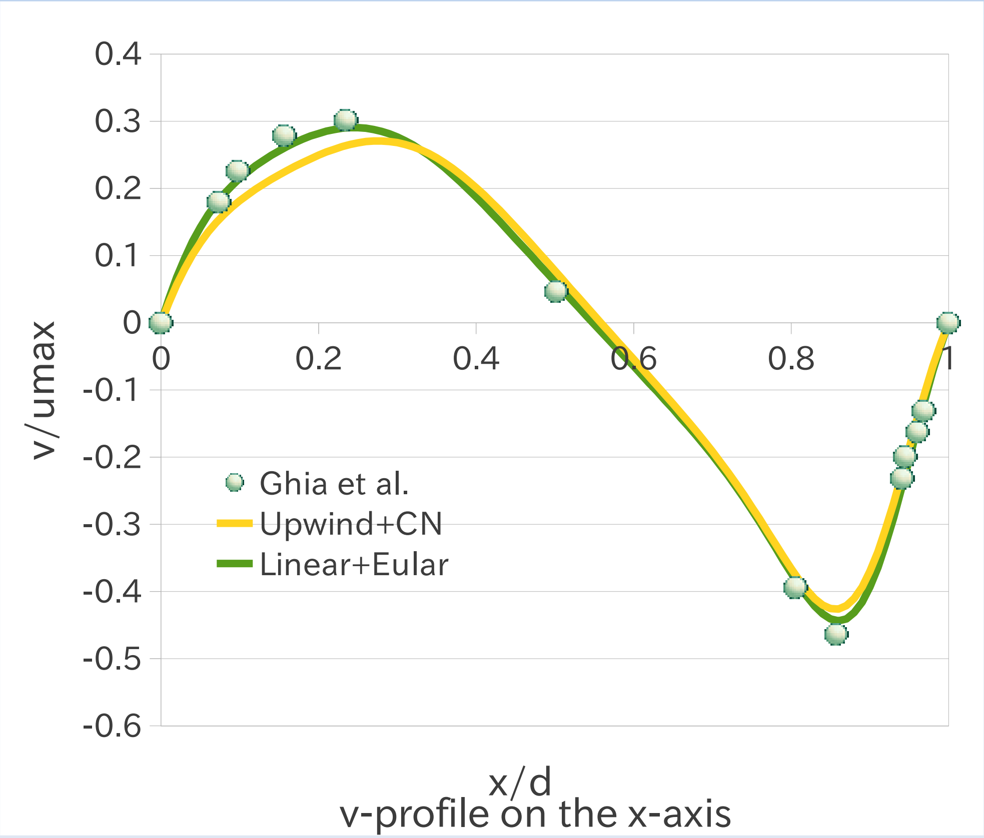




発散項　　Linear(中心差分）⟶ Upwind 風上差分
ややブロードになる。ピークの位相はずれない。

計算方法の相違 (t=0.04)



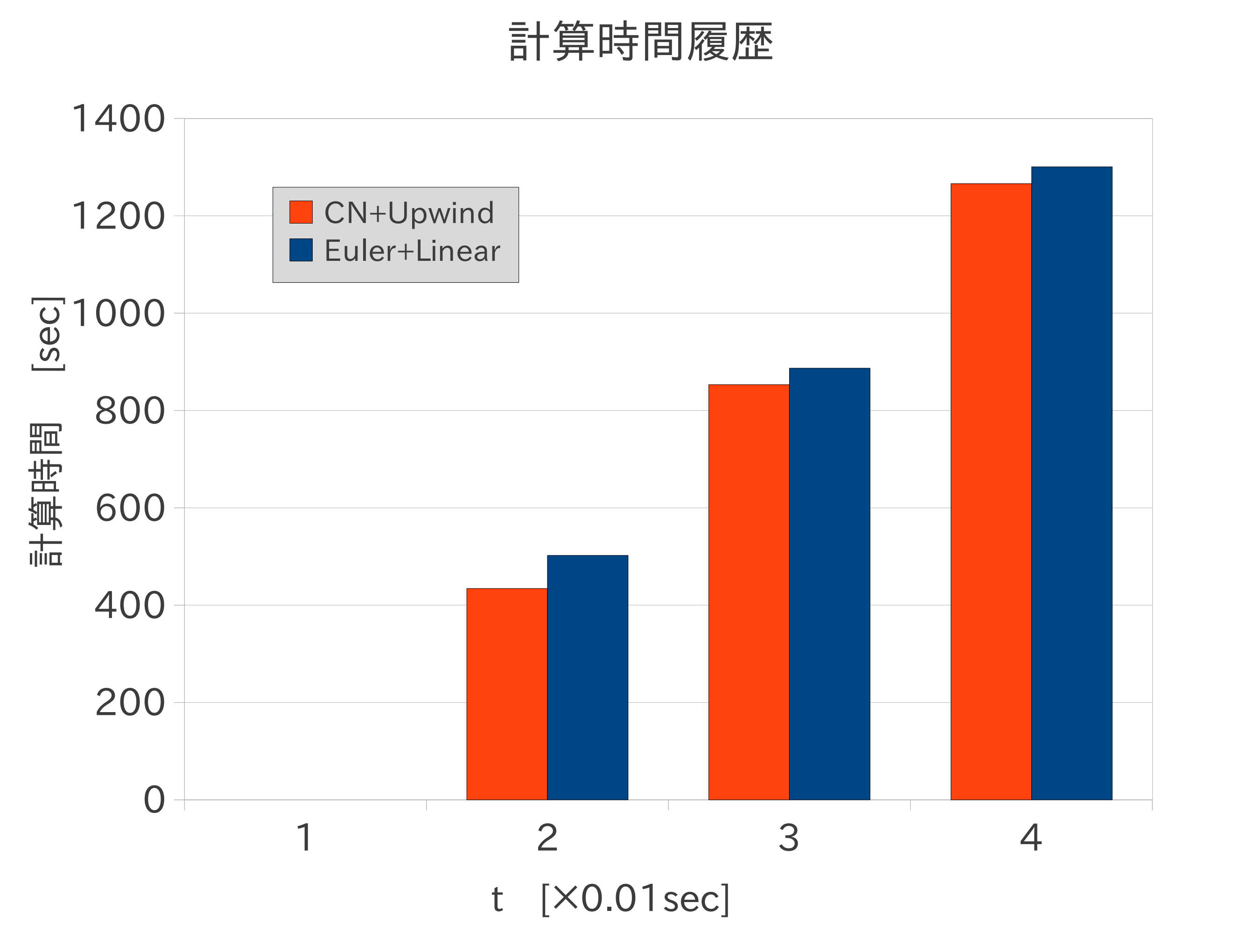


発散項　　Linear(中心差分） → Upwind 風上差分

時間項　　Eular → Crank-Nicolsen

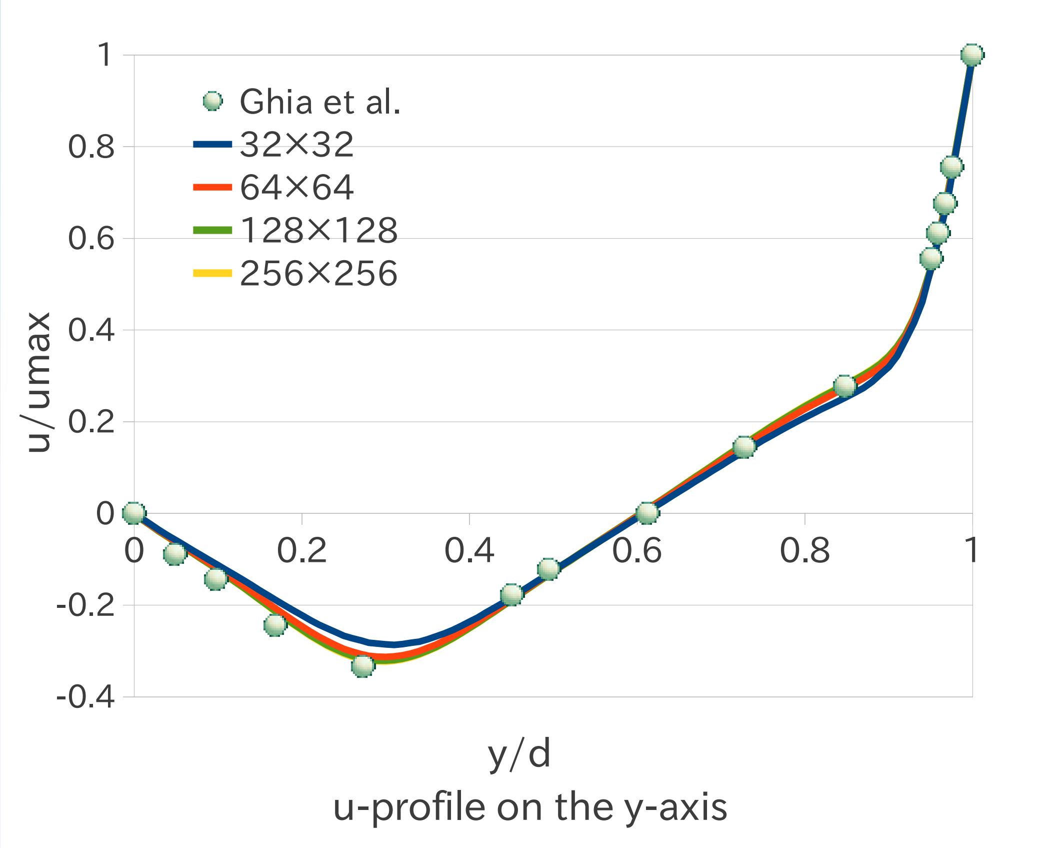
ややブロードになる。ピークの位相がずれる。

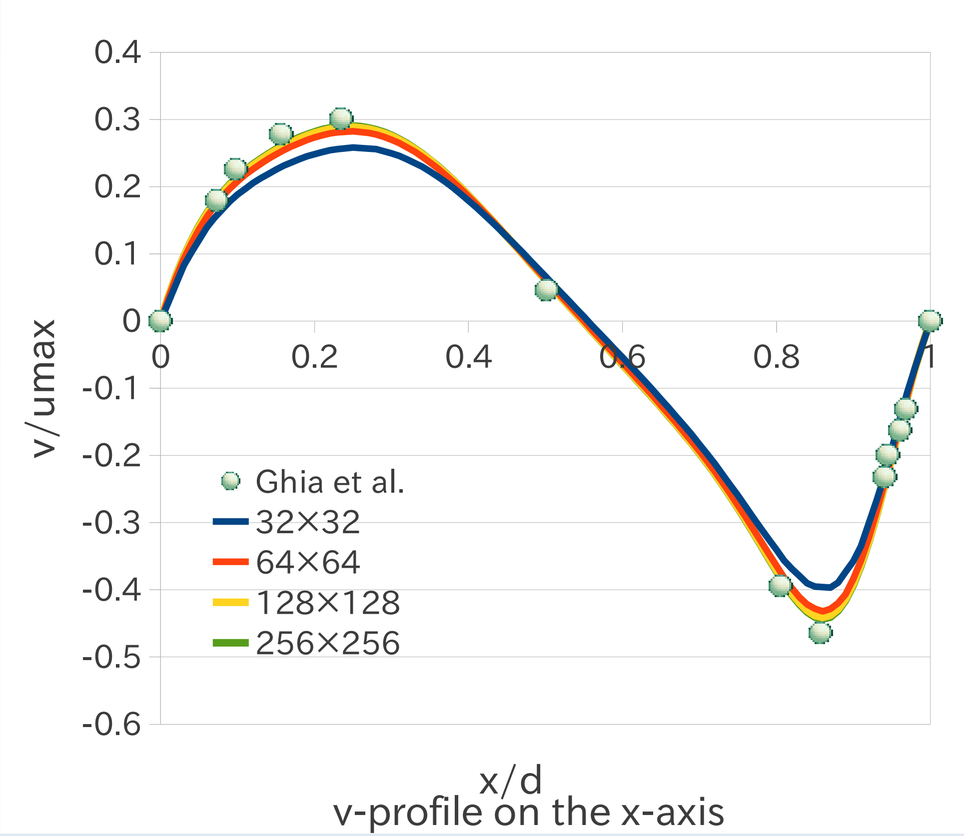
計算手法と計算時間



計算手法でそれほど差はでない。

メッシュ数の影響（ dt=0.0001 ）



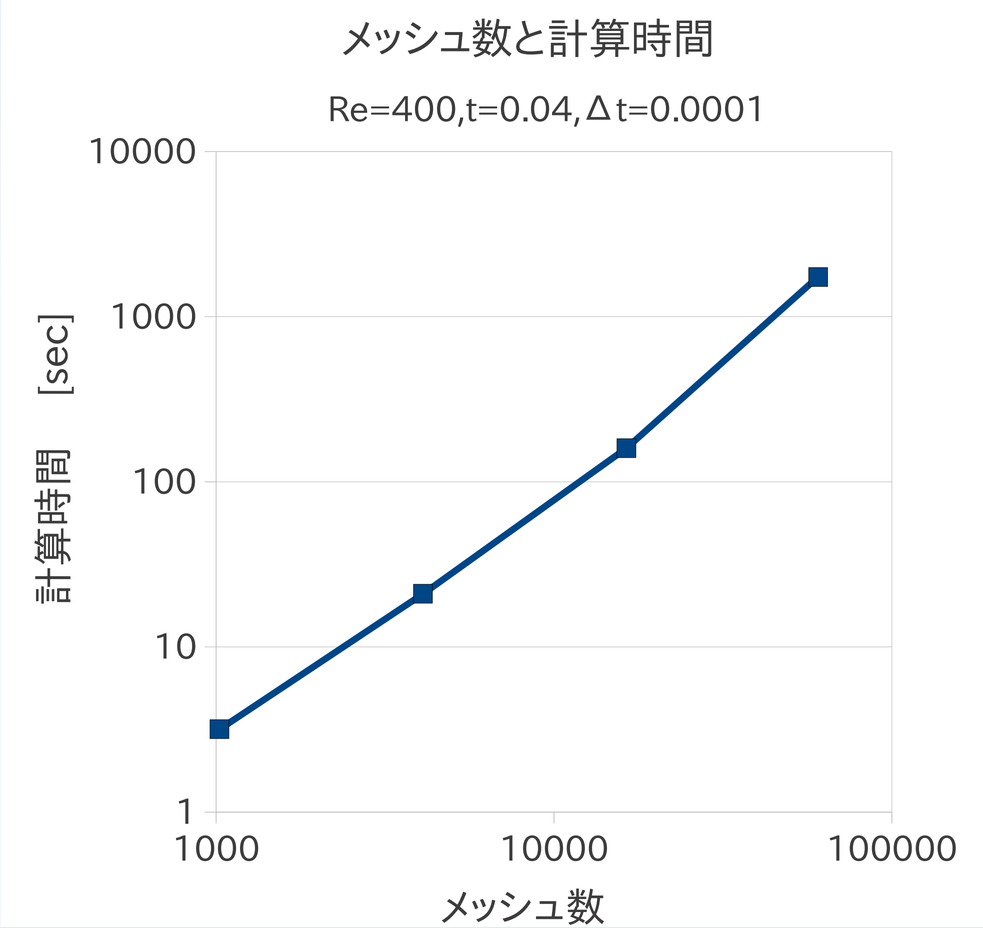


・メッシュ数の減少でブロードになる。
・メッシュ数は 64×64 以上に。

メッシュ	メッシュ数	$Re^{6/4}$
32×32	1024	8000
64×64	4096	8000
128 ×128	16384	8000
256×256	60516	8000

2011年4月16日

メッシュ数と計算時間



N	メッシュ数	計算時間 [sec]
32	1024	3.18
64	4096	20.97
128	16384	159.84
246	60516	1740.7

メッシュの増大で対数的に計算時間が増大

まとめ

OpenFoam tutorial Cavity 流れの計算を実施し、Ghiaらの計算結果と比較を行った。メッシュ数の影響、離散化手法の影響について調べた。

以下は結果の概要

・ Ghia ら（たぶん差分法）の結果とほぼ一致
・離散化手法によって計算結果が異なることを確認
・メッシュ数は Re6/4 以上あれば十分（2次元問題）

参考図書

数値計算の常識
　伊理正夫、藤野和建著、共立出版 (1985) 2200 円

数値流体力学
　越塚誠一著、培風館（ 1997 ） 4200 円