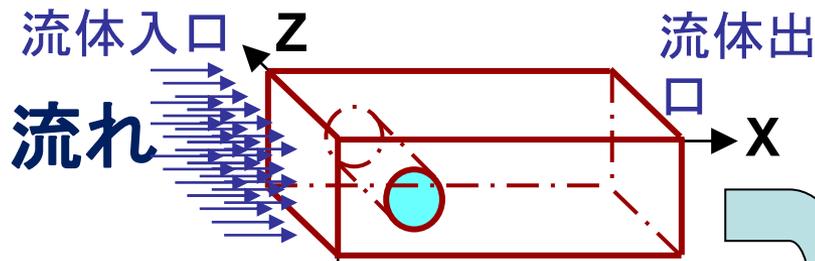


ESを利用した格子ガス法による
円柱後流過渡変化流速場の試計算

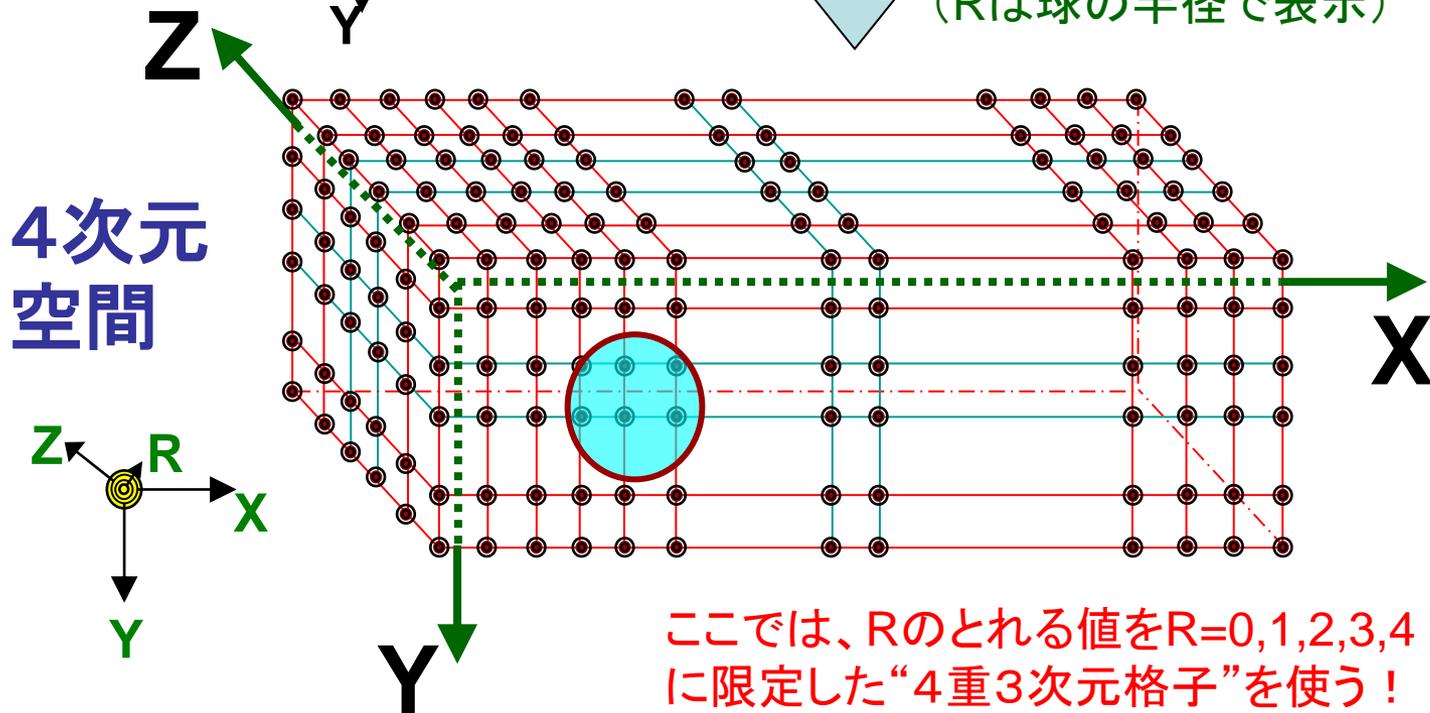
平成22年12月3日

松岡 浩・菊池 範子

3次元格子ガス法の計算方法 (FCHCモデル)



①3次元空間(X, Y, Z)中に格子点を配置する。②格子ガス法FCHCモデルは4次元空間を使うので、各格子点位置において第4の次元Rを考える。(Rは球の半径で表示)



ここでは、Rのとれる値をR=0,1,2,3,4に限定した“4重3次元格子”を使う！

仮想粒子が4重3次元格子上を前進(並進)する

仮想粒子がもちうる24の速度

①FCHCモデルでは、仮想粒子は全て同じ速さをルート2をもつ。

(ただし、格子点間距離=1)

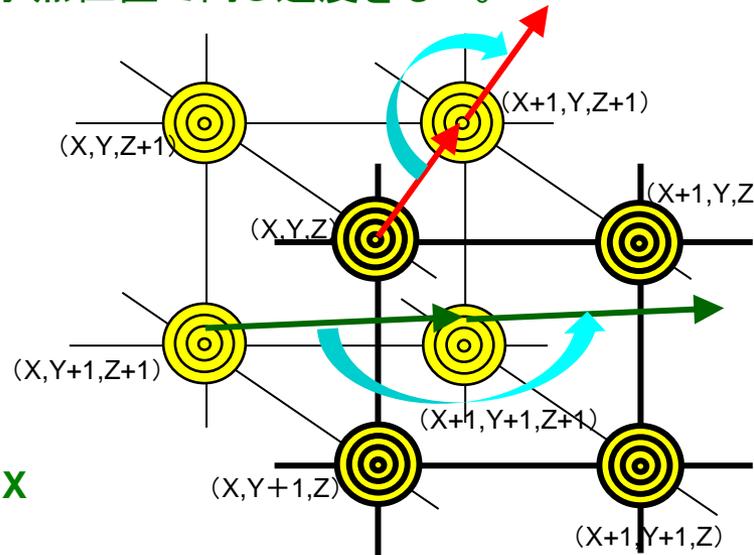
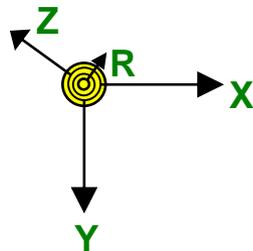
→従って、仮想粒子の速度($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta R$)は、右記の24通りが可能。

②時刻Tに格子点位置(X,Y,Z,R)に存在した速度($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta R$)をもつ仮想粒子は、行き先格子点位置(X+ $\Delta X, Y+\Delta Y, Z+\Delta Z, R+\Delta R$)が流体であれば、時刻T+1に行き先格子点位置で同じ速度をもつ。

(ただし、Rは0,1,2,3の周期座標)

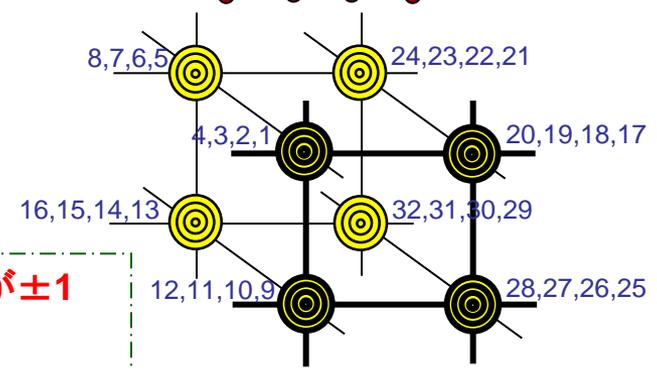
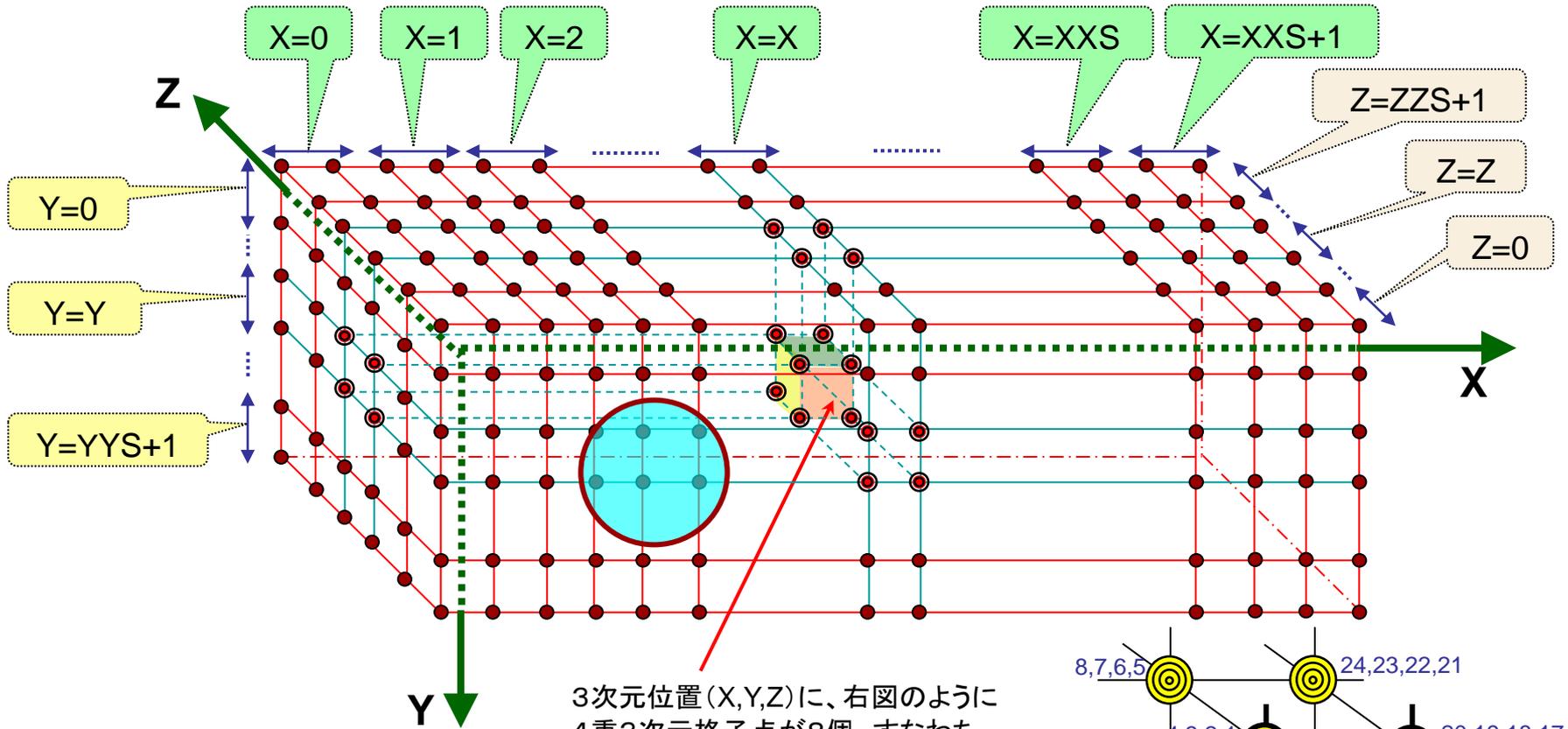
例: 赤矢印: 速度(1,0,1,0)

例: 緑矢印: 速度(1,0,0,1)



- ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta R$)
- 1(00-1-1)
- 2(00-11)
- 3(0-10-1)
- 4(0-101)
- 5(0-1-10)
- 6(0-110)
- 7(-100-1)
- 8(-1001)
- 9(-10-10)
- 10(-1010)
- 11(-1-100)
- 12(-1100)
- 13(1-100)
- 14(1100)
- 15(10-10)
- 16(1010)
- 17(100-1)
- 18(1001)
- 19(01-10)
- 20(0110)
- 21(010-1)
- 22(0101)
- 23(001-1)
- 24(0011)

仮想粒子の存在状態を $2 \times 2 \times 2 \times 4$ 個ずつビット処理する



状態配列 $\text{bit}[D][Z][Y][X]$ の定義

$\text{bit}[D][Z][Y][X] = (1,0,1,0,0,0, \dots, ?, \dots, 1,0)$ の第?ビットの値が ± 1

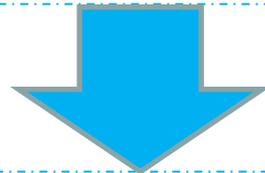
↓↑

3次元位置(X,Y,Z)に存在する第?番目の格子点位置に向きDの粒子が存否

1. 非定常流れに関する考察は難しい

われわれは中高レイノルズ数の定常流に関してはある程度の知識をもっているが、その知識は非定常流に対してはほとんど通用しない。

(cf.「画像から学ぶ流体力学」種子田定俊(朝倉書店))



急出発円柱背面付近の流れ

急出発円柱の背後に形成される一対の渦巻の最大長さもレイノルズ数によって変化する。レイノルズ数が増加するにつれて、はじめは最大長さは急激に増大するが、レイノルズ数100の付近で最大になり、レイノルズ数がそれ以上大きくなると逆に減少する。レイノルズ数100における最大長さは、直径の約4.5倍であるが、レイノルズ数300では約3.0倍、レイノルズ数1000では約1.5倍、そしてレイノルズ数1700では約1.0倍になる。

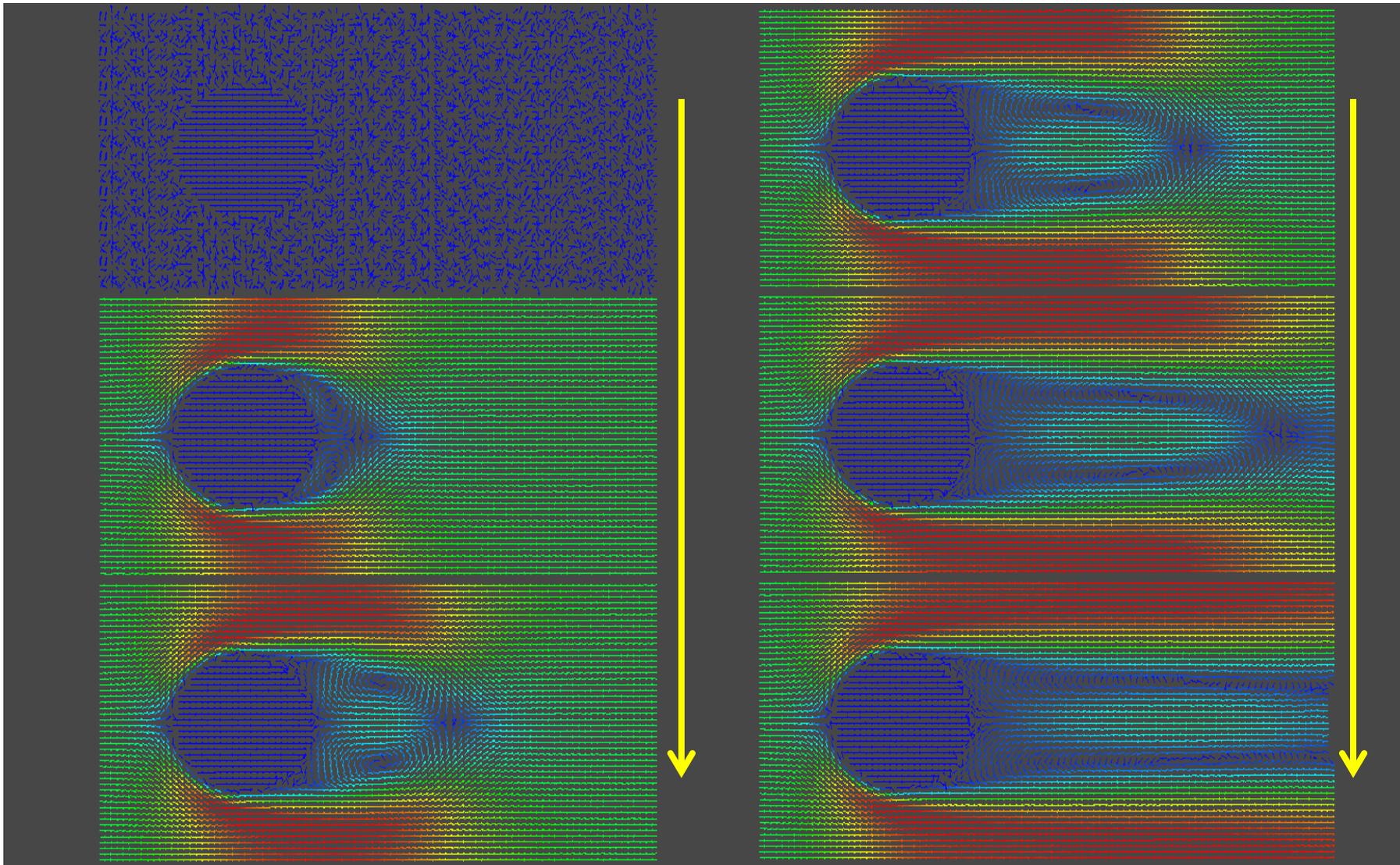
それに対して**定常流の場合**にはレイノルズ数40のときに最も長い渦巻が現われ、その長さは直径の2.1倍である。

(cf.「画像から学ぶ流体力学」種子田定俊(朝倉書店))

2. とりあえず、あるZ断面を計算してみる①

S=8

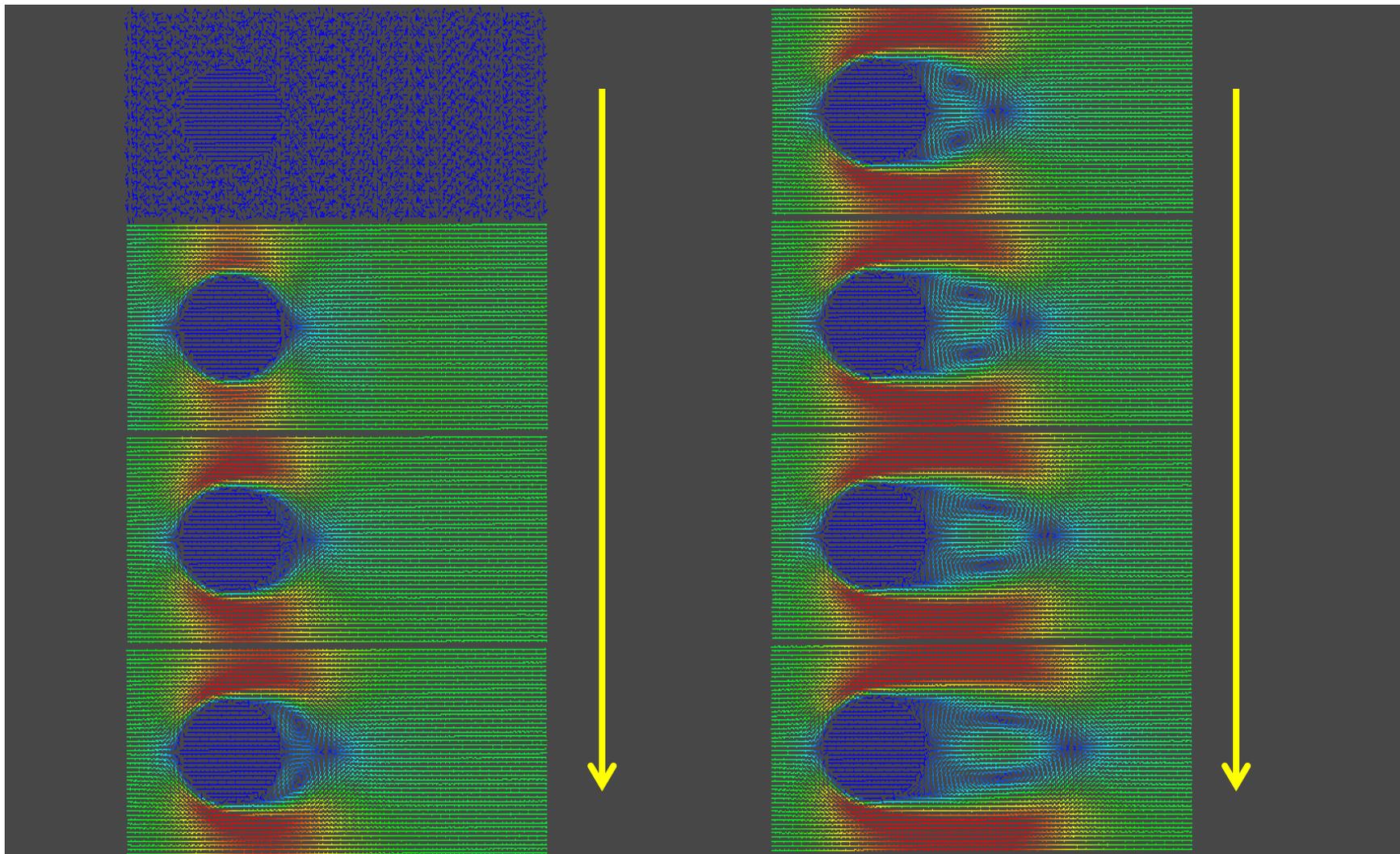
S=8



2. とりあえず、あるZ断面を計算してみる②

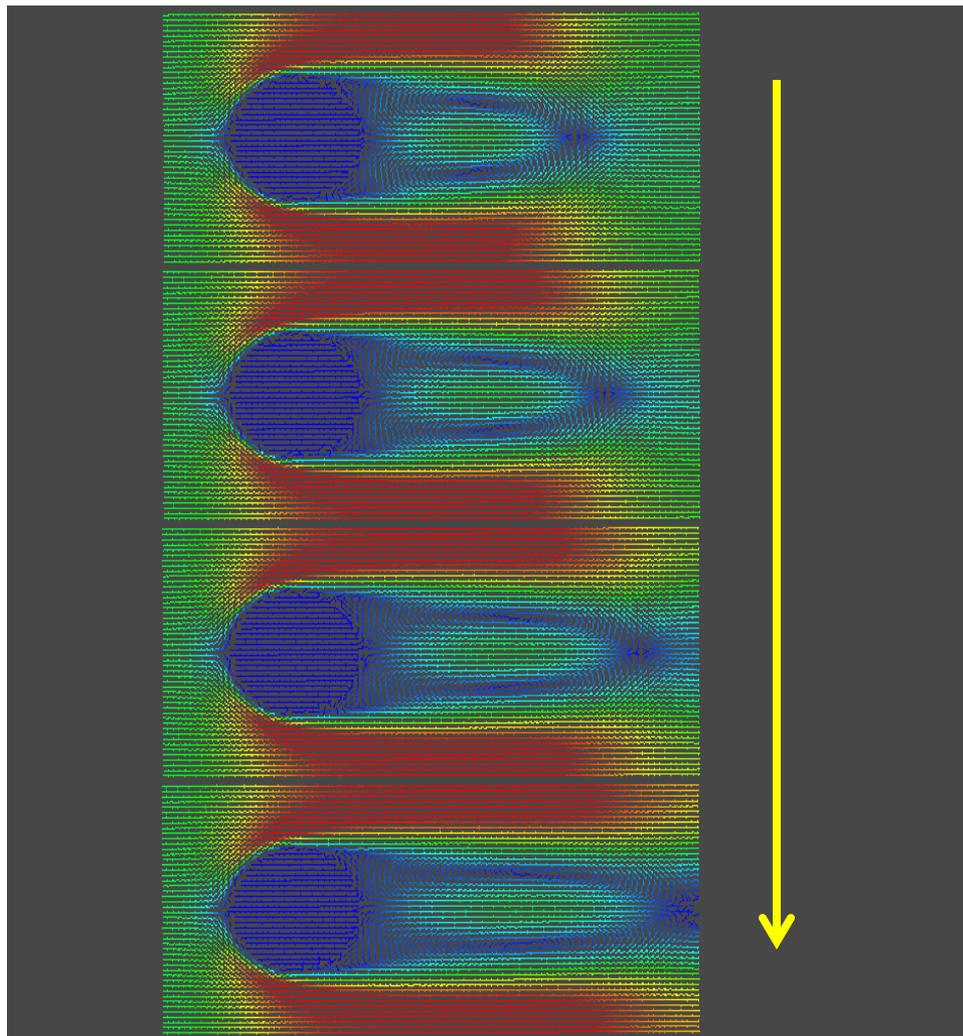
S=12

S=12



2. とりあえず、あるZ断面を計算してみる③

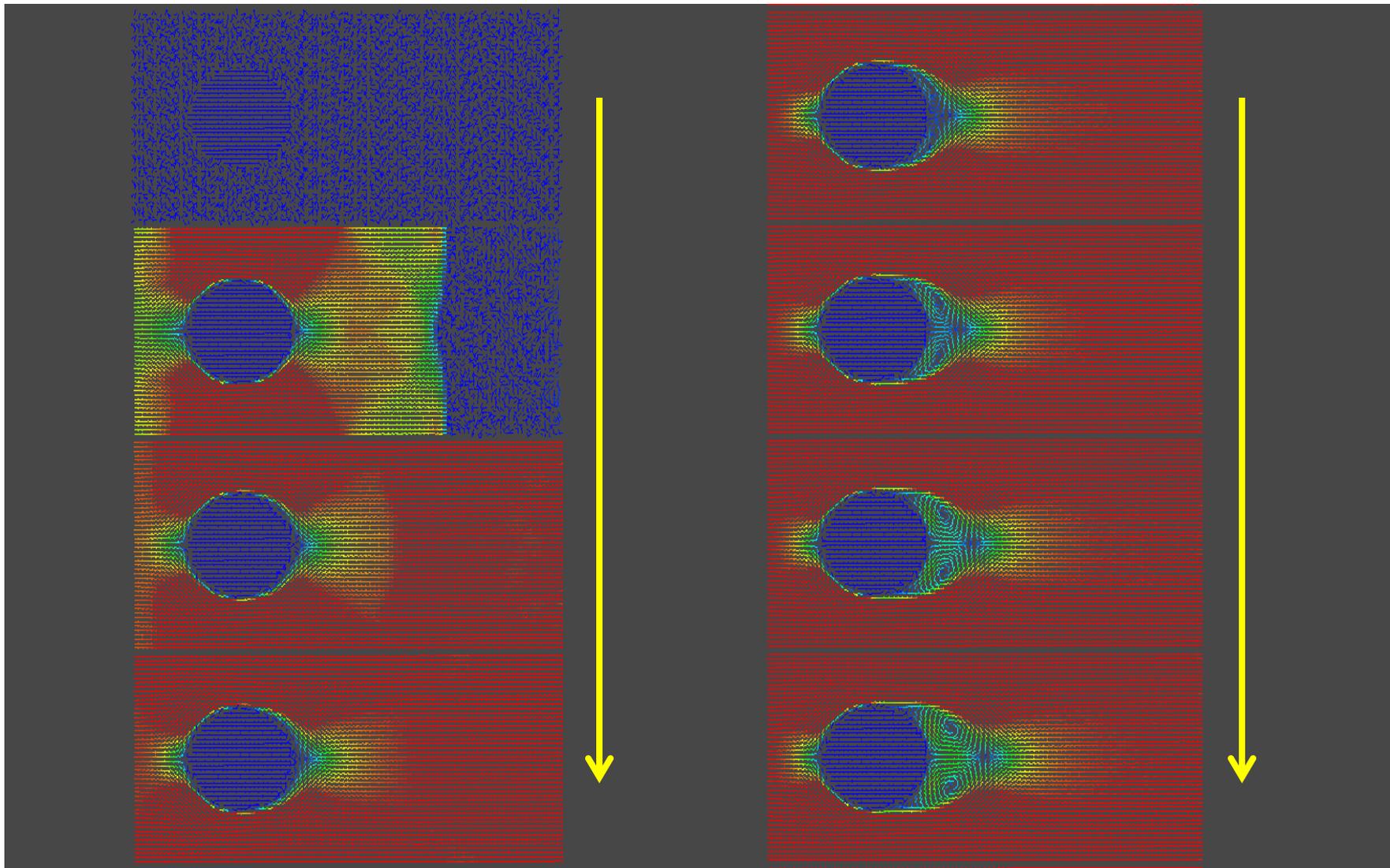
S=12



2. とりあえず、あるZ断面を計算してみる④

S=16

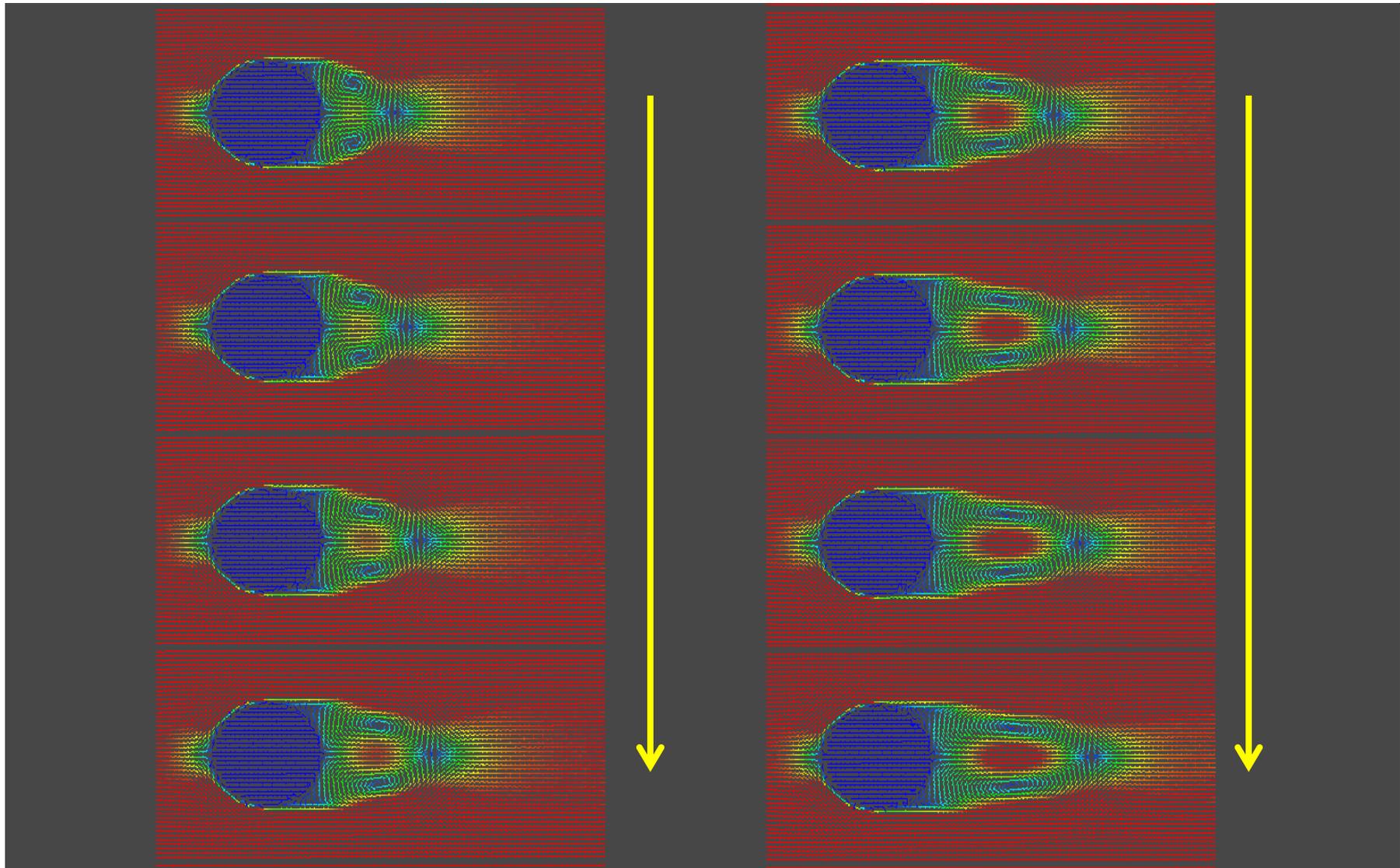
S=16



2. とりあえず、あるZ断面を計算してみる⑤

S=16

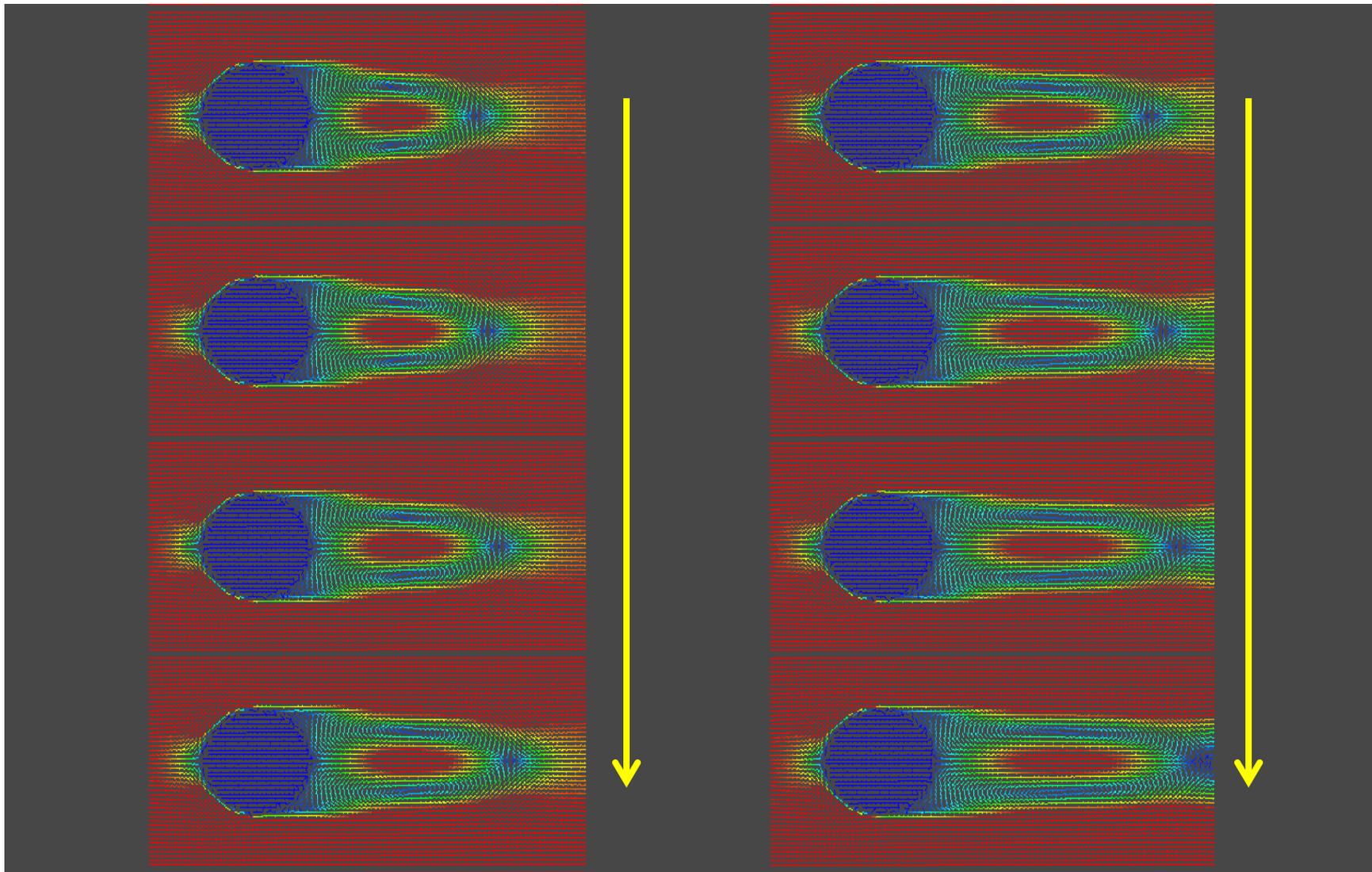
S=16



2. とりあえず、あるZ断面を計算してみる⑥

S=16

S=16



2. とりあえず、あるZ断面を計算してみる⑦

MPI Program Information:

=====
Note: It is measured from MPI_Init till MPI_Finalize.

[U,R] specifies the Universe and the Process Rank in the Universe.

Global Data of 32 processes : Min [U,R] Max [U,R] Average

=====
Real Time (sec) : 559847.961 [0,31] 559848.818 [0,21] 559848.385
User Time (sec) : 559090.718 [0,21] 559185.939 [0,18] 559134.313
System Time (sec) : 171.610 [0,18] 207.687 [0,0] 190.309
Vector Time (sec) : 547154.007 [0,26] 548306.934 [0,13] 547656.631
Instruction Count : 89524083284028 [0,9] 89663018463442 [0,17] 89630335809203
Vector Instruction Count : 79359511037530 [0,9] 79411025111881 [0,17] 79398911437599
Vector Element Count : 20295918535210746 [0,9] 20302513686513201 [0,17] 20300962052460676
FLOP Count : 22331706 [0,3] 23856409 [0,0] 22379358
MOPS : 36315.995 [0,9] 36330.236 [0,21] 36326.144
MFLOPS : 0.000 [0,18] 0.000 [0,0] 0.000
Average Vector Length : 255.664 [0,17] 255.747 [0,9] 255.683
Vector Operation Ratio (%) : 99.950 [0,17] 99.950 [0,9] 99.950
Memory size used (MB) : 7209.499 [0,1] 7209.515 [0,0] 7209.500
Global Memory size used (MB): 64.000 [0,0] 128.000 [0,2] 68.000
MIPS : 160.108 [0,9] 160.365 [0,17] 160.302
Instruction Cache miss (sec): 1227.977 [0,22] 1235.360 [0,5] 1231.007
Operand Cache miss (sec): 4750.843 [0,9] 5391.807 [0,0] 5091.902
Bank Conflict Time
 CPU Port Conf. (sec): 14495.178 [0,20] 14794.486 [0,12] 14624.885
 Memory Net. Conf. (sec): 102222.659 [0,16] 103680.295 [0,9] 102847.665

Overall Data:

=====
Real Time (sec) : 559848.818
User Time (sec) : 17892298.024
System Time (sec) : 6089.874
Vector Time (sec) : 17525012.187
GOPS (rel. to User Time) : 1162.437
GFLOPS (rel. to User Time) : 0.000
Global Memory size used (GB): 2.125

ESではなく、SX9
の2ノード32cpuの
性能評価

3. 今後の予定：

(1) 有限円柱の定常流の計算

→流体科学研究所 井上先生の計算と比較

(2) 共分散モニタープログラム

→粘性を衝突規則で制御できるか？

粘性係数 \propto 相関係数 (揺動散逸定理)

(3) 衝突規則の多段制御方法の感度解析

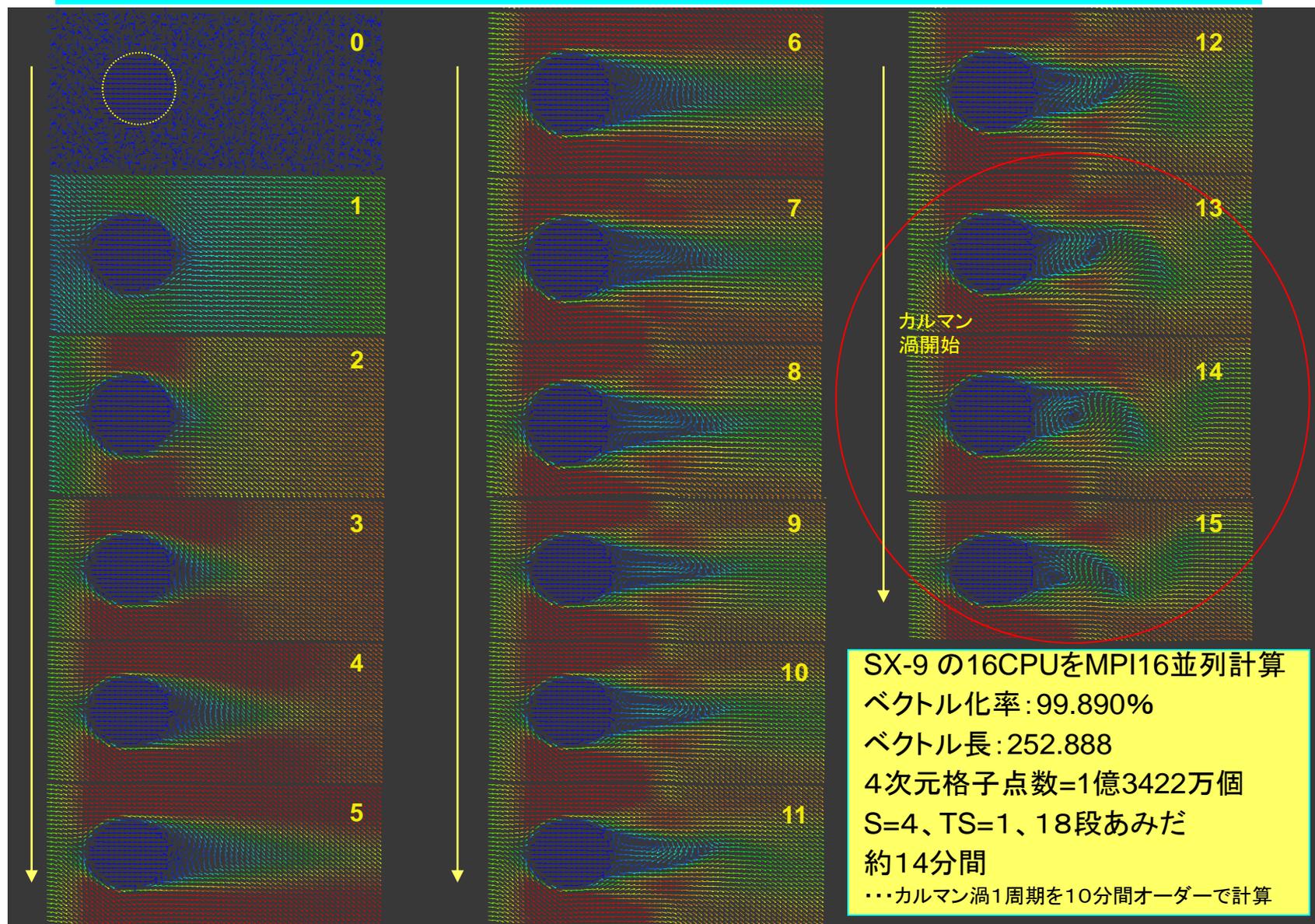
(4) 負の粘性発現シミュレーション

(5) 衝突規則の自動学習

→ニューラルネットモデル

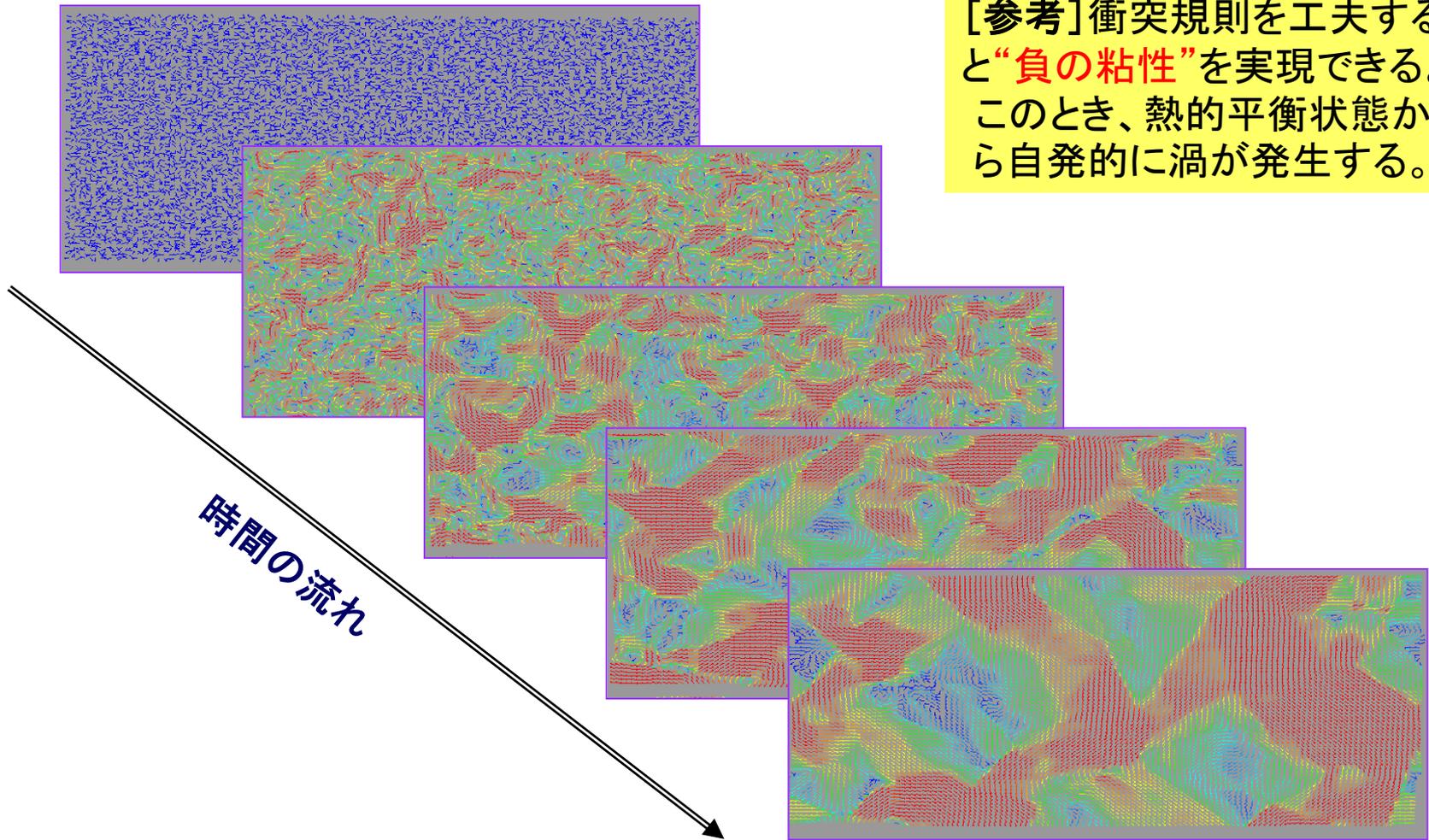
[参考]低粘性流体シミュレーションを実現する2つの方法(多段衝突化)

総格子点 $512 \times 256 \times 256 (\times 4)$ を $8 \times 8 \times 8 (\times 4)$ ごとに総和(あみだ段数18, MPI16並列)



[参考]LGMでも広域粘性制御の実現性あり

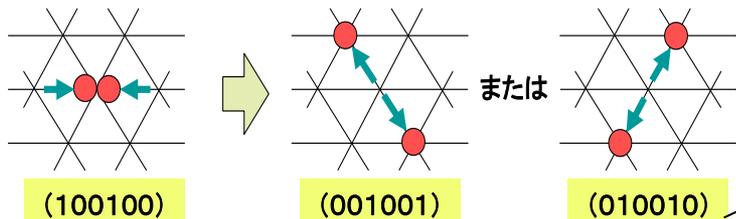
[参考]衝突規則を工夫すると“負の粘性”を実現できる。このとき、熱的平衡状態から自発的に渦が発生する。



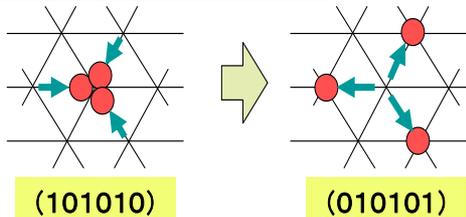
[参考]LGMもニューラルネットワークで計算できる

格子ガス法に基づく衝突規則

2体正面衝突(3通り)



3体対称衝突(2通り)



上記以外は並進

いくつかの方法が考えられるが、例えば、6つ2値入力と6つ2値出力で同じ重みをもつ多数個のニューロンから構成されるフィードフォワード型多層ニューラルネットワークで流体シミュレーションを実行できる。

