サイバーサイエンスセンター
ユーザの研究紹介

リカレント型ビット演算による マルチスケール縦渦創発解析

技術士事務所AIコンピューティングラボ　　松岡　浩
(東北大学電気通信研究所計算システム基盤技術(客員)研究室)

研究の背景と目的（手軽な流体工学設計手法の開発）

【背景】流下方向に回転軸をもつ"縦渦"は、時として非常に遠方まで伝わり、ものづくりにおける流体工学設計では重要な検討対象！

[例1] 風力発電ファームの各風車翼から発生する縦渦乱流が風下側風車の発電性能と構造安全性を低下。
[例2] 航空機の主翼両端から発生する縦渦乱流へのエネルギー移行が燃料消費を過剰に増大。
[例3] 航行中の船舶の船首で発生した１対の縦渦が船尾まで到達することでプロペラを損傷。
[例4] 他方、縦渦を利用する側の研究例では、縦渦の発生で風車をまわす"円柱軸縦渦風車"の可能性。

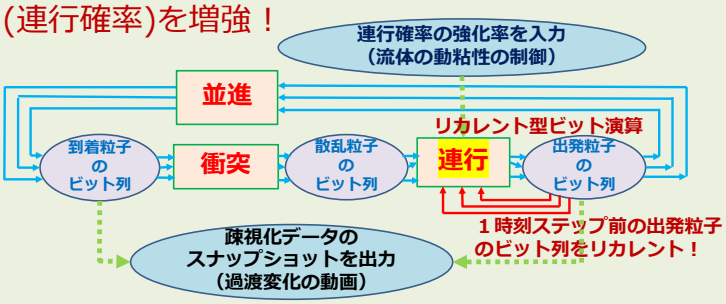
【目的】
"仮想粒子の極めて簡単な衝突散乱規則"から多様な縦渦乱流を自由に創発できる"マルチスケール縦渦創発解析"の原理を確立し、高解像度なものづくり流体工学設計を手軽に実現！

縦渦発生の発端流動 → せん断流中での渦の強化 → 工学システム挙動への影響

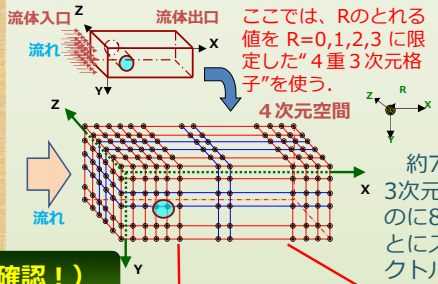
発端流動発生の局所スケール ~~~ 工学機器のまるごとスケール

研究方法（格子ガス法のビット演算とニューラルネット学習）

1. 格子ガス法により流体を粒子集団挙動で模擬。
⇒C. M. Teixeira考案の54速度FCHCモデルを採用。
2. 粒子挙動をビット演算で誤差なく高速に計算。
⇒１ベクトルコアで最大16384格子点並列計算可能。
3. 激しい乱流も模擬できる"連行"過程を導入。
⇒前回の出発粒子と同じ向きに粒子が出発する確率(連行確率)を増強！



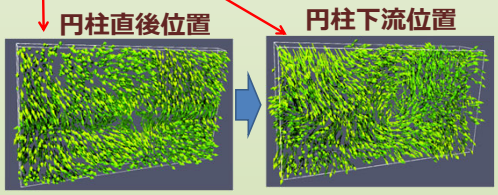
4.円柱後流における縦渦の創発過程を動画観察。



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

東北大学サイバーサイエンスセンターのベクトル型スーパーコンピュータAOBA-A（SX-Aurora TSUBASA）の 8コア×16CPU（128並列）を利用。

約7.55億格子(1280×768×768) の3次元体系を76800ステップ計算するのに8時間30分程度。128ステップごとにスナップショットをとり運動量ベクトル分布をPara Viewで動画観察。

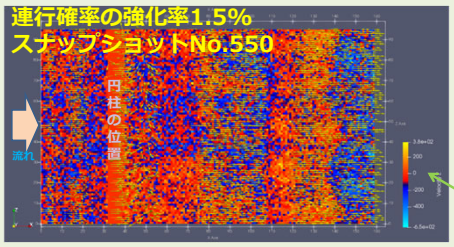


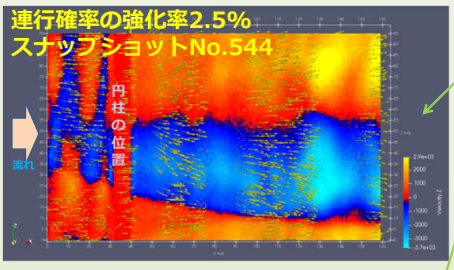
← 流下方向(X軸)に垂直な薄い直方体内の流体運動量ベクトル：（下流ほど縦渦が発達。）

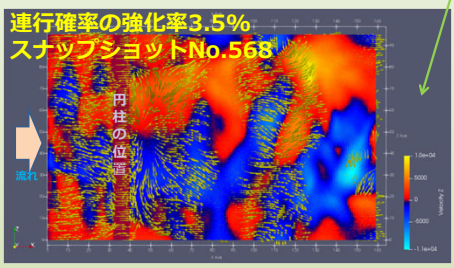
（連行確率の強化率3.5%、スナップショットNo.600）

現在の成果（連行確率で縦渦挙動を広範囲に制御可能なことを確認！）

Y軸(鉛直軸)に垂直で円柱軸を含む水平面上の流体運動量ベクトルの分布







円柱後流のカルマン渦の速度ベクトルは、本来は円柱軸方向(Z軸方向)の成分を持たないので、±Zペア成分の出現領域から縦渦の存在領域を推測できる。

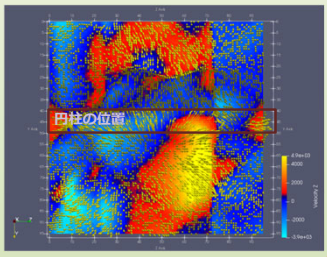
結果は、連行確率に大きく依存。

○強化率1.5%の場合：
±Z領域はランダム変動で出現し、連続領域での縦渦発生なし。

○強化率2.5%の場合：
流下方向にきれいな帯状をなした領域に縦渦成分の分布を確認。

○強化率3.5%の場合：
カルマン渦（ローラ渦）と縦渦の相互作用が大きく、帯状が乱れて縦渦成分が分布することを確認。

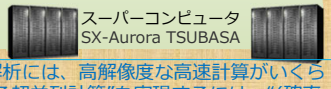
左と同じ条件で、流下方向(X軸)に垂直で円柱直後に位置する鉛直面上の流体運動量ベクトル⇒



将来の目標（流体構造連成の実時間計算）

今後、以下の工夫で、計測データ等の"実時間データ同化機能"をもつ流体構造連成解析の手軽な実現方法開発を目指す。

○ 格子ガス法向けの"埋め込み境界法"の開発により流体構造連成解析の原理を確立。
○ リカレント型ニューラルネットワークの学習方法を用いて連行確率の実時間学習を実現。
○ 格子ガス法向けの"マルチグリッド"を導入。
○ 量子計算機による"確率ビット演算"の超高速な実現。


スーパーコンピュータ
SX-Aurora TSUBASA

【基本的視点】　ものづくりの工学解析には、高解像度な高速計算がいくらでも必要。"膨大な数の格子点における超並列計算"を実現するには、"(確率的)ビット演算"と"ベクトル演算"の利用が最も効果的と考えます。この意味で、東北大学サイバーサイエンスセンターの方々が、NECとともにユーザ利用を第一に考えたSXシリーズの開発と運用を長年続けられ、常に最先端の利用環境を提供してくださることは大変意義深いと思い、感謝しています。