

“仮想粒子”を变幻自在にあやつる 高解像度流体シミュレーションアプリの開発

-----“整数型格子ボルツマン法”による超並列格子点演算とマクスウェルの達人操作

東北大学電気通信研究所(客員), RIST参与,
技術士事務所AIコンピュータングラボ 松岡 浩

サイバーサイエンスセンター
ユーザの研究紹介

本研究がめざすもの

目的: 台風・津波等の高精度予測、実験・試作を不要にする高精度なものづくり設計などで社会貢献できる「高解像度流体シミュレーション」について、その活躍の場を、“(全ての境界条件等が既知であることが前提の)サイバー空間”から“(全ての境界条件等の完全計測や変化予測が不能な)フィジカル空間”に対しても強力に拡大できるリアルタイム認識即応技術を創造開拓する。

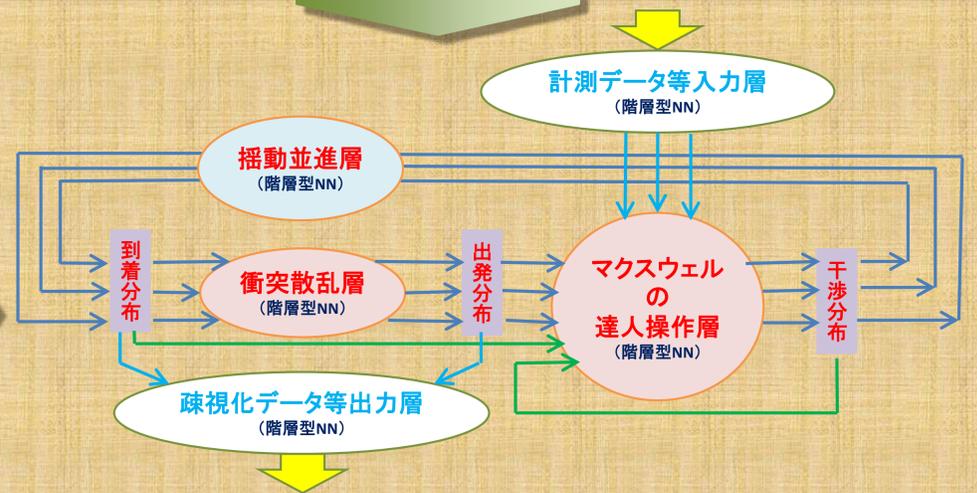
1. 新しい“物理場変動追跡モデル”が必要! :
物理現象を支配する微分方程式の数値解法では全ての境界条件等が既知なことが数学的な大前提。
⇒ 物理場の変動を追跡計算するにあたって、不完全な情報下でも推論可能で、かつ、断片的な計測情報からも学習可能な新モデルが必要。
⇒ “ニューラルネットによる物理場変動計算の記述”

2. 電子回路レベルから超高速計算を極限追求! :
フィジカル空間の予測不能な状況変化対策は結局計測データの超高速フィードバック即応しかない。
⇒ 高解像度な時間発展計算をリアルタイム実現するには、トランジスタ数が極力少ない超低消費電力超高速電子回路で超並列エッジコンピューティングが必要。
⇒ “物理場変動計算の超並列ビット演算による実現”

3. 高解像度データ同化に使う広域計測情報の取得!
レーザ、赤外線等の遠隔広域センシングを活用。

出発点: “ニューラルネット物理場変動追跡モデル”

“整数型格子ボルツマン法(4次元FCHCモデル)”に基づく物理場変動追跡計算を“階層型ニューラルネット格子”で記述する。



【参考】整数型格子ボルツマン法(4次元FCHC格子)

○格子点上を並進・衝突しながら移動する多数の仮想粒子の動きを平均化して流体挙動を求めるシミュレーション手法。仮想粒子がとりうる速度の種類を増やすほどE・I・T・K方程式に一層正確に収束し、ノイズも実際上問題にならない。(←C. M. Teixeira(MIT, 1993)の博士論文に基づく。)

1. 格子点間の並進規則:

時刻Tに格子点位置 (X, Y, Z, R) に存在し速度 $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta R)$ をもつ粒子は、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。(Rは0,1,2,3の周期座標)

2. 格子点上での生成・消滅規則:

仮想粒子は、格子点上における生成・消滅の前後で“粒子数”、“各成分ごとの運動量”、“エネルギー”が保存されるとともに、同じ格子点位置では、同じ速度をもつ仮想粒子は、2個以上存在できないという条件下で、格子点上において移動の向きや速さを変える。

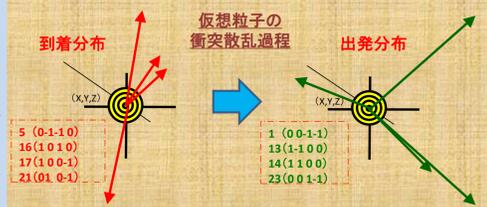
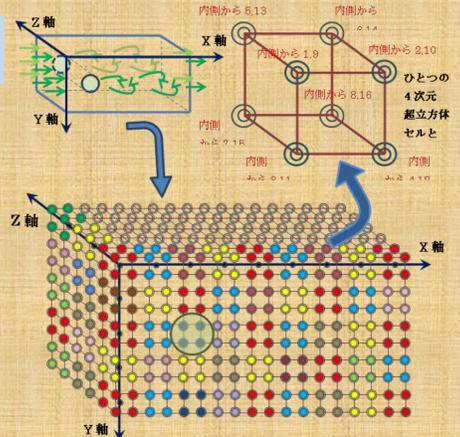
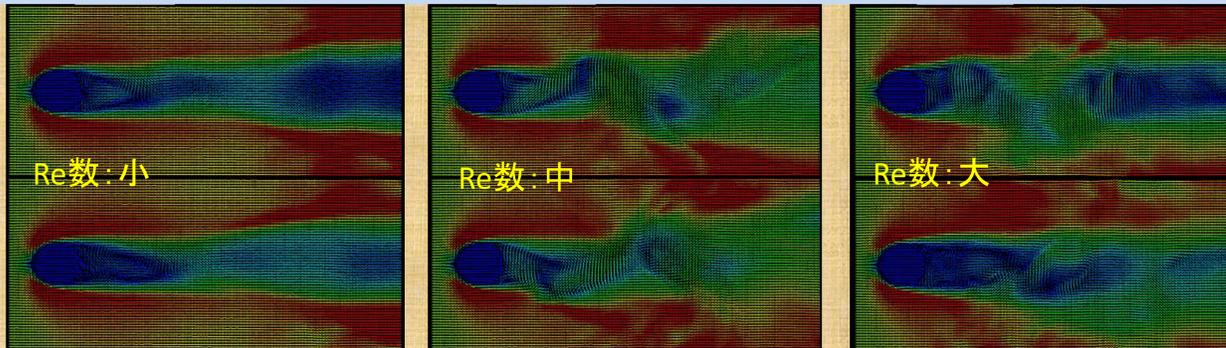


図. 3次元円柱後流: 達人操作層で仮想粒子の揺動並進経路を意図的に制御して様々な流体粘性を再現させた例 of. SENAC Vol.52, No2, (2019.4) 格子点数を増やすことなくRe数の高い状態を実現することができる。



将来の目標、期待される成果

- “ニューラルネット物理場変動追跡モデル”により、実世界における不完全な計測情報からリアルタイム学習を行い、仮想世界において、超高速で超低消費電力な“高解像度物理シミュレーション”をコンパクトに実現する。
⇒ 産業競争力の強化、安全・安心な未来社会の構築に貢献

スーパーコンピュータ SX-ACE: 流体計算等で非常に高い性能を発揮!



ものづくり, エネルギー, 医療, 地球科学, 防災・減災, 基礎科学

- ①航空機, 自動車など交通手段の高い安全性を確保する。(離着陸時の航空機設計、異常走行時の空力解析等)
 - ②船舶輸送、風力発電システム等の経済性・耐環境性を探る。(船舶プロペラ設計・風力発電ファーム運用設計等)
 - ③原子力, 火力などのエネルギーシステムを長期安定に動かす。(熱交換器、タービン中の流動設計等)
 - ④循環器系手術などで、より高度な医療技術を確立する。(血流解析による動脈瘤手術の緊急性判定等)
 - ⑤地球温暖化, 異常気象, 自然災害等から身を守る。(災害に強い都市計画、港湾設計等)
- [基礎科学] 非平衡統計力学の第1原理的視点を検証