

GPGPUコンピューティングによるLES乱流モデルに基づいた数値風況予測技術の高速化

内田, 孝紀
九州大学応用力学研究所新エネルギー力学部門風工学分野

<https://hdl.handle.net/2324/7364795>

出版情報 : Wind Energy. 37 (4), pp.533-536, 2013. Japan Wind Energy Association
バージョン :
権利関係 : © 2013 JWEA

GPGPUコンピューティングによる LES乱流モデルに基づいた数値風況予測技術の高速化

九州大学応用力学研究所
新エネルギー力学部門 風工学分野
内田 孝紀

連絡先: takanori@riam.kyushu-u.ac.jp, 092-583-7776

1. はじめに

我々の九州大学グループでは、RIAM-COMPACT[®] (リアムコンパクト)と称する数値風況診断技術の開発を進めている(図1を参照). そのコア技術は、九州大学応用力学研究所で開発が続けられており、2006年に著者らが起業した九州大学発ベンチャー企業の(株)リアムコンパクト(<http://www.riam-compact.com/>)が、(株)産学連携機構九州(九大TLO)から独占的ライセンス使用許諾を受けている. 2006年にRIAM-COMPACT[®]の商標と実用新案も取得した.

非定常な乱流LESシミュレーションに主眼を置いたRIAM-COMPACT[®]では、計算時間の問題が懸念されてきた. 現行の流体計算ソルバーは、Intel Core i7などのマルチコアCPU(Central Processing Unit)に対応しており、計算時間は劇的に短縮され、実用面での利用において特段の問題は無くなってきた²⁾.

前報^{3, 4)}では、GPGPUコンピューティングへの対応を報告した. GPGPU (General Purpose computing on GPU: GPUによる汎用計算)のコンセプトとは、グラフィック・レンダリングに限らず、GPU(Graphics Processing

Unit)が有する浮動小数点演算能力を、他の数値演算にも幅広く利用することである.

本報では、2012年11月12日(米国時間)にNVIDIA社が発表したGPUアクセラレータ「NVIDIA[®] Tesla[®] K20ファミリ」のフラッグシップモデル「Tesla[®] K20X」に関して、RIAM-COMPACT[®]によるベンチマーク結果を報告する.

2. 実地形版RIAM-COMPACT[®]ソフトウェアの概要

本研究では、数値不安定を回避し、複雑地形上の局所的な風の流れを高精度に数値予測するため、一般曲線座標系のコロケート格子に基づいた実地形版RIAM-COMPACT[®]ソフトウェアを用いる. ここでコロケート格子とは、計算格子のセル中心に物理速度成分と圧力を定義し、セル界面に反変速度成分にヤコビアンを乗じた変数を定義する格子系である. 数値計算法は(有限)差分法(FDM; Finite-Difference Method)に基づき、乱流モデルにはLES(Large-Eddy Simulation)を採用する. LESでは流れ場に空間フィルタを施し、大小様々

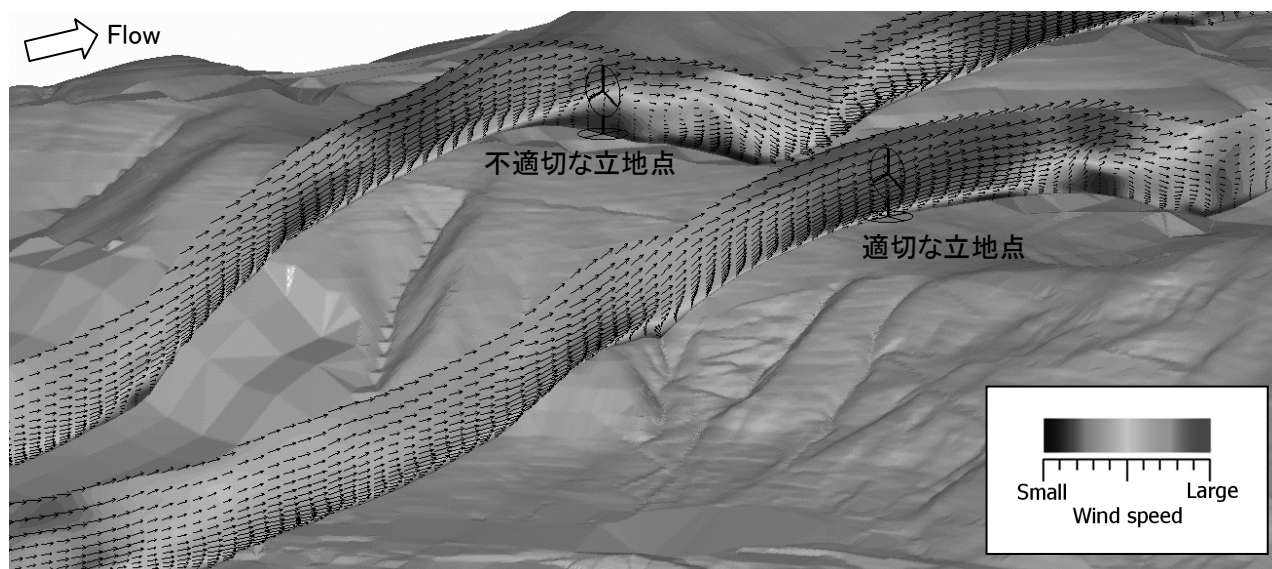


図1 RIAM-COMPACT[®]による数値風況診断の実例

なスケールの乱流渦を，計算格子よりも大きなGS(Grid Scale)成分の渦と，それよりも小さなSGS(Sub-Grid Scale)成分の渦に分離する．GS成分の大規模渦は，モデルに頼らず直接数値シミュレーションを行う．一方で，SGS成分の小規模渦が担う，主としてエネルギー消散作用は，SGS応力を物理的考察に基づいてモデル化される．数値計算手法の詳細は前報²⁻⁴⁾を参照して頂きたい．

3. 本研究で使用した計算機環境の概要

ここでは，本研究で使用した計算機環境を簡単に説明する．図2には，「NVIDIA® Tesla® K20X 6GB (2688CUDAコア)」の写真を示す．本研究では，K20Xを一枚搭載した環境でベンチマークを実施した．なお，比較のため，「NVIDIA® Tesla® M2090 6GB (512CUDAコア)」が4枚搭載された計算機の結果も示す(図3を参照)．

図4には，本研究で比較のために使用したベクトル計算機の概要を示す．NEC製SX-9Fは，九州大学応用力学研究所が所有している汎用計算機であり，現在も稼働中である．



図2 本研究で使用したGPU,
Tesla® K20X (2688CUDAコア, 6GBメモリ) x 1枚

【構成】

- 製品: HPC5000-XIGPU4TS-KPL
- CPU: Intel Xeon E5-2670 v2 (2.50GHz, 10コア, 25MB Cache, 22nm, 8.0GT/s) x 2CPUs
- Mem: 64GB (8GB DDR3-1866 ECC Registered x 8)
- GPU: NVIDIA® Tesla® K20X (2688CUDAコア, 6GB GDDR5) x 1基
- OS: CentOS 6.4
- Compiler: Intel Composer XE 2013 (13.1.3)
- GPGPU: CUDA 5.5



図3 本研究で使用したGPU,
Tesla® M2090 (512CUDAコア, 6GBメモリ) x 4枚
【構成】

- CPU: Intel Xeon E5690 (3.47GHz, 6コア, 12MB Cache, 32nm, 6.40GT/s) x 2CPUs
- GPU: NVIDIA® Tesla® M2090 (512CUDAコア, 6GB GDDR5) x 4基
- Mem: 48GB (8GB DDR3 1333MHz Registered ECC x 6)
- OS: Windows 7 Professional 64bit版
- Compiler: PGI Accelerator Workstation
- GPGPU: CUDA 4.0



【構成】

- CPU: 6CPU (92.16GFLOPS/単体x6=552.96GFLOPS)
- Mem: 256GB
- 外付けディスク装置: iStorage D3-10 4TB (RAID5)

図4 本研究で使用したNEC製SX-9F
(ベクトル計算機, 2007年リリース)

4. 本研究で対象とした流れ場と計算条件

本研究では、前報²⁻⁴⁾と同様、3次元の孤立峰を過ぎる流れ場を対象として計算時間の比較を行った(図5を参照)。表1には、本ベンチマークテストに使用した計算格子数、メモリサイズ、計算ステップ数を示す。実地形版 RIAM-COMPACT®ソフトウェアでは、使用するメモリサイズが極めて小さいのも大きな特長の一つである。

5. K20XシングルGPUの驚異的な計算速度

本研究では、1,000万点の計算格子を使った孤立峰周辺気流($t=50h/U$)を初期値とし、そこから5,000ステップの計算(時間 $t=50\sim60h/U$)を実行し、その経過時間を比較した。得られた結果を表2に示す。

その結果、最新の「NVIDIA® Tesla® K20X 6GB (2688CUDAコア)」のシングルGPUを用いた計算では、驚異的な演算速度が達成されていることが示された。すなわち、同社の「NVIDIA® Tesla® M2090 6GB (512CUDAコア)」を4枚用いたマルチGPUの並列計算、

またスーパーコンピュータNEC製SX-9Fの6CPUを利用した並列計算の結果よりも、計算時間が速い結果となった。これはCUDAコア数が大幅に増加したことによる。

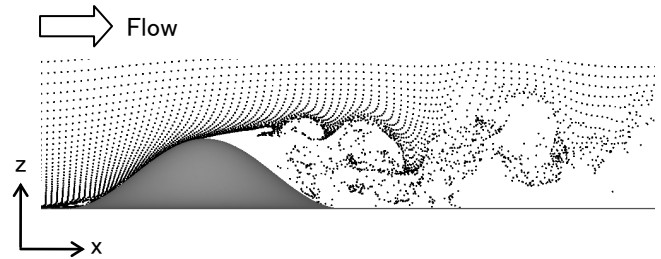


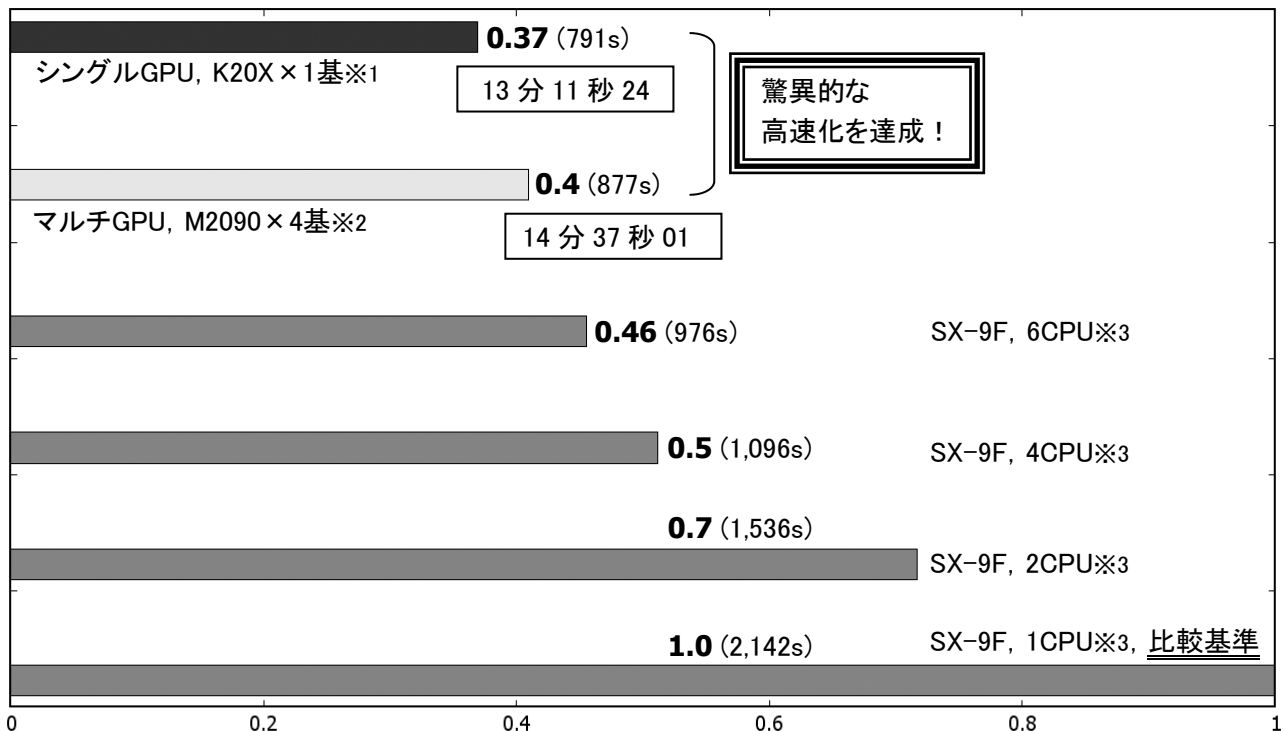
図5 孤立峰近傍における流れ場の可視化、瞬間場、パッシブ粒子追跡法、数値計算

表1 計算格子数とメモリサイズなど

計算格子数	1,165 × 121 × 71点 (約1,000万点)
メモリサイズ	3,190MB
計算ステップ	5,000ステップ

表2 計算速度の比較, 1,000万点の計算, メモリサイズ3,190MB

(太数字はSX-9Fの1CPUに対する速度比を表す。括弧内の数字は実際の計算時間を表す)



※1

Intel Fortran: -ipo -O3 -no-prec-div -xHost -assume buffered_io

CUDA nvcc: -O4 -arch=sm_35 -Xcompiler="" -march=native -ffast-math -ftree-vectorize"

本研究では、nvccの -arch=sm_35 の部分のみを変更した。これは「Compute Capability 3.5向けに最適化を行う」というコンパイルオプション。ECC(Error Checking and Correcting)設定=OFF。

※2 「CUDA CとFortranを組み合わせたマルチGPU対応コード」を使用。ECC設定=OFF。

CUDAの部分はNVIDIA CUDAコンパイラを適用。Fortranの部分はPGIコンパイラを適用。

※3 FORTRAN90/SXの「-Pauto」を適用。

6. おわりに

本研究では、最新の「NVIDIA® Tesla® K20X 6GB (2688CUDAコア)」のシングルGPUを用いたRIAM-COMPACT®の大規模計算(約1,000万格子点)を試みた。その結果、最新の「NVIDIA® Tesla® K20X 6GB (2688CUDAコア)」のシングルGPUを用いた計算では、驚異的な演算速度が達成されていることが判明した。すなわち、同社の「NVIDIA® Tesla® M2090 6GB (512CUDAコア)」を4枚用いたマルチGPUの並列計算、またスーパーコンピュータNEC製SX-9Fの6CPUを利用した並列計算の結果よりも、計算時間が速い結果となった。これは「NVIDIA® Tesla® K20X 6GB (2688CUDAコア)」のCUDAコア数が大幅に増加したことによると言える。

ここで改めて強調しておきたい点がある。実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアでは、使用するメモリサイズが極めて小さいのも大きな特長の一つである。その結果、シングルGPU(メモリサイズ6GB)の環境下であっても、約1,000万格子点もの大規模計算が実現した。なお、K20X単体では1,800万格子点までは計算が可能であると推測された(別のマシンで計測した1,800万格子点のメモリ使用量が約5,674MBであったため)。

現在、K20Xの上位モデルの「NVIDIA® Tesla® K40 ATLAS 12GB (2880CUDAコア)」の開発が計画されている。これが実現すれば、1GPU(シングルGPU)の環境下において、より大規模かつ高速な数値風況診断が可能になることが期待される。

謝 辞

本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤B「震災特区の大気環境改善と風力発電の適切な普及に資す

る狭域数値風況予測技術の開発(研究課題番号: 24310120)」、および挑戦的萌芽研究「数値風況予測技術リアムコンパクトをコア技術とした風車の安全運転に関する研究開発(研究課題番号: 25560166)」の援助を受けました。

HPCシステムズ(株)には、計算時間の評価などで多大な協力を得ました。

ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 内田孝紀: LESに基づいたRIAM-COMPACT® CFDモデルの紹介—風車の安全運転に資する数値風況診断技術の確立へ向けて—, 日本風力エネルギー学会誌, Vol.36, 通巻105, pp.6-9, 2013
- 2) 内田孝紀: インテル次世代ハイエンドCPU「Sandy Bridge-EP」を用いたRIAM-COMPACT®のOpenMP並列風況シミュレーション—ここまで来た! デスクトップPC1台による大規模計算とその高速化—, 日本風力エネルギー学会論文集, Vol.36, 通巻101, pp.82-85, 2012
- 3) 内田孝紀, 大屋裕二: GPGPUコンピューティングによる数値風況予測技術RIAM-COMPACT®の高速化, 風力エネルギー協会誌, Vol.35, 通巻98, pp.78-84, 2011
- 4) 内田孝紀: GPGPUコンピューティングによる数値風況予測技術RIAM-COMPACT®の高速化—第2報 マルチGPUによる大規模計算の試み—, 日本風力エネルギー学会誌, 通巻103, 2012