

# 数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D の GPU 高速化への検討

総合情報基盤センター 講師 奥村 弘

汎用 3 次元自由表面流れシミュレータである数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D が Fortran90 によりコードされたオープンソースとして（独）港湾空港技術研究所／（財）沿岸技術研究センターから公開されているが、所望される海洋構造物の耐波設計に対する CS3D の大規模シミュレーションでは膨大な計算時間を要するといった問題が残されている。本研究では、近年注目されている GPU（Graphics Processing Unit）を用いた CADMAS-SURF/3D の高速化を目的とし、その適用性と検証結果を報告する。

キーワード：数値波動水槽、CADMAS-SURF/3D、GPU、CUDA 並列化

## 1. はじめに

海洋構造物の耐波設計を行う際、水理模型実験やそれを基にした設計公式に代わる方法として、3次元自由表面の運動を計算機上でシミュレートできる数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D（以下 CS3D と略）が Fortran90 によりコードされたオープンソースとして（財）沿岸技術研究センターから公開され、海岸工学の研究者から実務レベルでの耐波設計においても広く利用されている。CS3D により得られる数値計算結果は一定以上の精度まで高まってはいるが、一般に普及している単一の PC や高速計算機では CPU の演算処理能力に限界があるため、所望される海洋構造物の耐波設計に対する CS3D の大規模シミュレーションでは膨大な計算時間を要するといった問題が残されている。この問題に対し、CS3D では分散メモリ型の MPI による並列計算処理機能が実装されているものの、複数台以上の並列計算機を研究者や実務者レベルで購入あるいは所有しているケースは少ないため、単一の計算機による CS3D の高速化が望まれている。そこで、本研究では、近年注目されている GPU（Graphics Processing Unit）を用いた CS3D の高速化を目的とし、その適用性と検証結果を報告する。NVIDIA が提案したプラットフォーム／統合開発環境 CUDA（Compute Unified Device Architecture）において、シンプルな演算ユニットを多数搭載している

GPU の大量データ並列処理（CUDA 並列化）に着目し、少数で複雑な構成を備えた CPU と比べて高い処理能力が期待できる。2012 年には開発コードネーム「kepler」が発表され、現時点で GPU 内のコア数は 1000 を超え、一般に普及している CPU 内のコア数の数百倍を所持するようになっている。今後、GPU のコア数は増大傾向にあり、本研究では CS3D を CUDA 並列化したソースコードは後継の新型 GPU に交換するだけで、移植することなく CS3D の理想的な高速化が得られる。

## 2. 研究の内容

並列化の前に各サブルーチンの実行割合を知るためプロファイリングを行い、その結果 m1bcgs サブルーチン以下の BiCG 法による連立一次方程式ソルバが実行時間の約 70～80%を占めることがわかった。そのほかに水滴の自由落下と流れ落ちを計算する fdropf サブルーチンも 5～10%と、無視できない割合を占めることがわかったが、場に存在する物体と特性に応じた多くの条件分岐の集合であるため、SIMD 形式の GPU には不向きな計算と判断し、この部分の CUDA 化は行わないこととし、BiCG 法部分のみを CUDA 化した。主として用いたデータは沿岸技術ライブラリー No.39 の CD-ROM データ集 4-4-1 に収められた case34\_構造物有り.in である、（独）港湾空港技術研究所の大規模地盤総合水路を用いて実施された立方体（1辺 1.60m）模型に作用する津波波圧

に関する実験データである。

### 3. 主要な結論

GPUに限らず並列プログラムでは計算順序が異なることによる丸め誤差の積算の違いから、解が完全に一致することはまれである。本研究ではオリジナルFortranプログラムの計算結果を正として、各変数の内容全てを実行時にプロセス間通信を用いて逐次比較することで解の正当性を検証した。Tesla GPUによる実行結果はBiCG法ソルバ部分においてCPUに比べて約20~30%の高速化が達成された。今回用いたデータではまだTesla GPUの持つメモリ容量5GBのうち400MB程度しか使用していないため、さらに大規模なデータでは高速なメモリバンド幅を持つGPUの特徴がさらに引き出され、CPUに比べてより2倍以上高速になることが期待できる。

表1. 実行所要時間

	1 タイムステップ 実行時間	10 タイムステップ 実行時間	差
CPU	14.2 秒	74.1 秒	59.9 秒
GPU	13.6 秒	70.5 秒	56.9 秒

### 並列性の抽出

(要素・節点配列NC)の各カラム毎に重複を排除

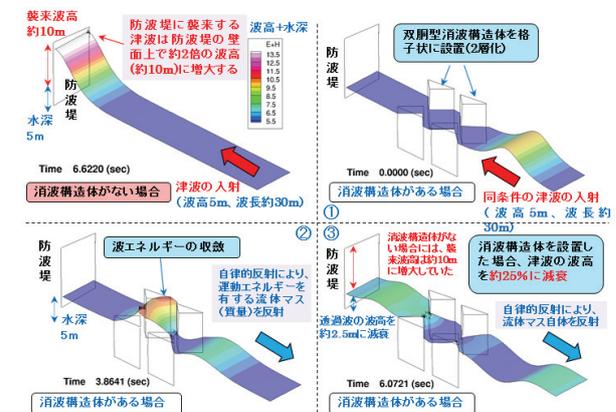
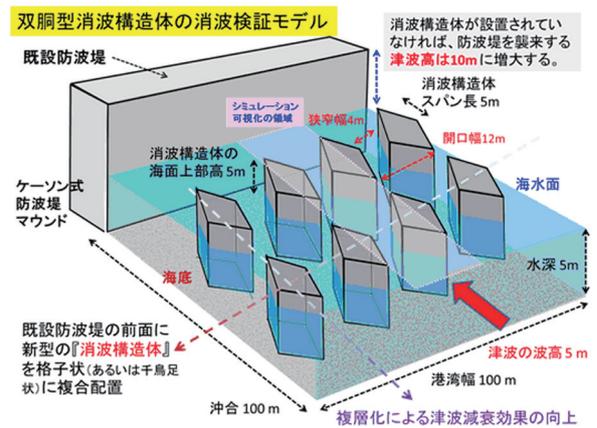
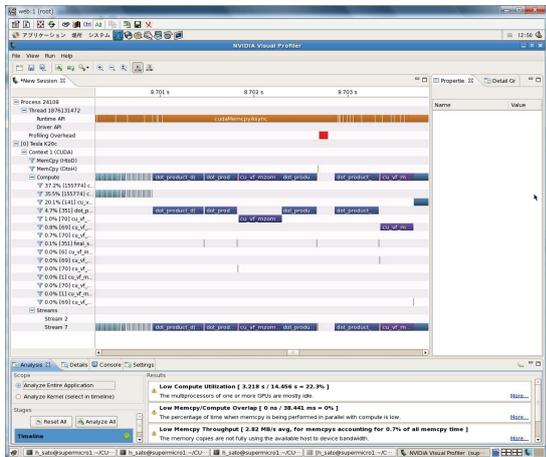
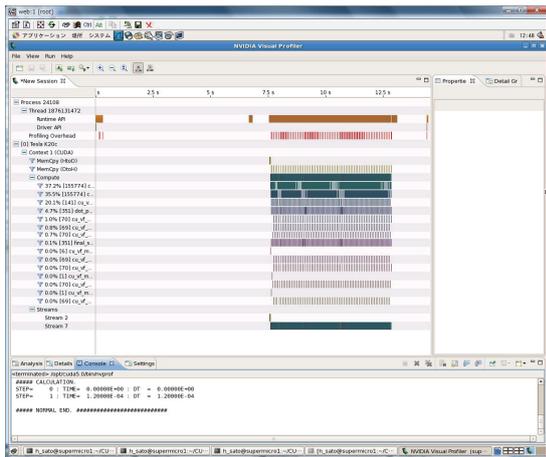
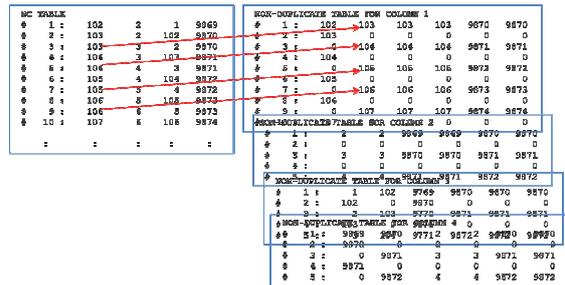


図1. CUDA プロファイル結果