シミュレーション宇宙物理学におけるGPU型計算機の利用の研究

村主崇行(京都大学次世代研究者育成センター)

利用カテゴリ XT4B;

私は申請時点では、CfCAのXT4計算機を利用して研究を行う予定であったが、その後GPUを利用したコストパフォーマンスの良い計算機設計が勃興してきた。そこでこの新しいアーキテクチャの利用法を開拓したほうが数値天文学コミュニティのために役立つと判断し、予定を変更し、本年度の研究は京都大学、東京工業大学、長崎大学にあるGPUクラスタ型計算機を利用して行った。したがってCfCAの計算機は本年度は利用しなかった。

2009年4-8月には、原始惑星系円盤における氷粒子の表面帯電と電荷分離の素過程の研究を行った。この研究では氷ダスト-プラズマ系の電荷平衡方程式を立て、その解を多数のパラメータに対して並列に求めるためにGPUを利用した。この成果は論文 Takayuki Muranushi (2010)“Dust-Dust Collisional Charging and Lightning in Protoplanetary Discs,”MNRAS としてまとめている。

また、9月以降、GPU並列型計算機向けの圧縮性流体コードを開発し、それを用いて星間物質の2相水素ガスの熱的不安定性の研究を行った。コードの開発は京都大学のTENGUクラスタで行った。つぎに東京工業大学のTSUBAMEグリッドクラスタで計算を行い、星間物質の熱的不安定性のシミュレーションとしては世界記録となる、18000^2, 1440^3の解像度で計算を行えることを実証した。さらに、長崎大学超高速メニイコアコンピューティングセンターにて、濱田剛助教が中心となって開発しているDEGIMA GPUクラスタにおいて計算を行った。このときGPU流体コードで576枚のGT200チップを利用し、実効性能を測定したとこ

ろ、40.91Tflops(単精度)であった。ハードウェアコストは\$411,921であったから、コストパフォーマンスは\$10.06/Gflopsになる。またスケーリングを測定したところ、弱いスケーリングはたいへん良いことがわかった。

単精度であるが、40.91Tflopsという値は天文台のXT4全体のピーク性能すら凌駕する。またコストパフォーマンスも比較的良いものと思われる。このコストパフォーマンスと弱いスケーリングの良いコードは、シミュレーション天文学にかぎらず、圧縮性流体シミュレーションを利用する幅広い分野において、高解像度シミュレーションへの道を拓くものである。また、私はつづく研究において磁気流体力学、一般相対性理論など、よりシミュレーション宇宙物理学のフロンティアで利用できるコードをGPUに載せていきたいと考えている。

いっぽうで、GPU型計算機が将来にわたってこの競争力で供給されるかは不透明であること、DEGIMAなどで使用されているGTX 295などは実質赤字覚悟で供給されているものと思われる、したがってこのコストパフォーマンスがどこまでもスケールするとは思われないことに注意せねばならない。ただし、単位演算器の高速化が限界に来ているため、将来、GPUを受け継ぐものかどうかは別にして、並列計算に適したアーキテクチャがつぎつぎに出現するだろう。我々がシミュレーション宇宙物理学において世界をリードする成果を挙げつづけるには、それらをいち早く負担無く利用できるだけのプログラミング力をつけていくこと、必要とあればそのようなアーキテクチャをみずから設計していくことが重要であろう。