

## 令和元年度 情報工学コース卒業研究報告要旨

片桐 研究室	氏 名	森 下 誠
卒業研究題目	OpenACC を用いた GKV ベンチマークの並列化	
<p>次世代のエネルギー源として磁場閉じ込め核融合が注目されている。これは、およそ 1 億度の燃料プラズマを強力な磁場で閉じ込めて核融合反応を生じさせるものであるが、その際に引き起こされるプラズマの乱流によって閉じ込め性能が左右される。この乱流現象を解明するために核融合科学研究所ではプラズマ乱流解析コード GKV (GyroKinetic Vlasov code) が開発された。GKV は、スーパーコンピュータ「京」を用いた大規模シミュレーションにより、電子/イオンスケール乱流の両者の相互作用を発見した研究などに活用されている。そのため、GKV の高速化は当分野の研究に大きく貢献することが期待される。</p> <p>本研究では、GKV の高速化に向けて名古屋大学情報基盤センターで開発した、GKV のカーネル部分を抜き出して作成した GKV ベンチマークを並列化した。GKV ベンチマークのうち、速度空間積分の演算に関するベンチマークである kernel2, 有限差分法に関するベンチマークである kernel3, kernel4 の 3 つを取り扱った。いずれも OpenMP によるマルチコア CPU 向けの並列化は行われていたが、GPU 向けの並列化が行われていないため、OpenACC による GPU 向けの並列化を行った。</p> <p>OpenACC による基本的な並列化は、OpenMP と同様にループ制御構文 (Fortran では do 文) の直前にディレクティブを挿入することで行われる。GKV ベンチマークは既に OpenMP により並列化されているため、基本的にはその部分を置き換えることで OpenACC 化を行った。さらに OpenACC ではハードウェア構成を考慮した並列化を行うことができ、外側ループの並列性を gang, 最も内側のループの並列性を vector と指定することで高い性能が出やすくなる。そこでループ長に合わせた並列性の指定などの工夫を行った。ただし、kernel4 は OpenMP 化されていた箇所のサブルーチン呼び出しの階層が深く、単純にディレクティブを置き換えるだけではメモリ不足による実行時エラーが発生する。そのため、全体の実行時間に対して特に時間がかかる部分のみ並列化を行った。</p> <p>性能評価は名古屋大学情報基盤センターに設置されている GPU サーバ sx40 にて行った。逐次、CPU によるスレッド並列、GPU 並列の 3 つの形態で実行し性能を比較した。CPU によるスレッド並列ではスレッド数を 8 とし、いずれも 1 プロセス実行である。</p> <p>結果として、kernel2, kernel3 では GPU 並列、kernel4 では CPU によるスレッド並列が最も高速であった。逐次と GPU 並列の処理時間を比較すると、kernel2 で 29.5 倍、kernel3 で 6.7 倍、kernel4 で 2.7 倍高速化された。また、CPU によるスレッド並列と GPU 並列を比べても、kernel2 で 8.1 倍、kernel3 で 1.3 倍高速化されており、GPU による性能向上が確認できた。反対に、kernel4 では CPU によるスレッド並列と比べて GPU 並列の実行時間が 2.0 倍増加した。kernel4 のみ GPU 並列の性能が CPU に及ばなかった理由は、並列化したサブルーチンが繰り返し呼ばれているためにデータ転送の占める時間が大きくなったためであると考えられる。これは、サブルーチン呼び出しの階層が深いことに起因する。こういった複雑なプログラムを GPU 化する際は、より厳密なデータ転送の最適化が求められる。</p> <p>今後の課題としては、GKV 本体に OpenACC を適用することが考えられる。その際は、GPU 搭載のスーパーコンピュータを実行環境とし、マルチ GPU 実行できるようにコードを書き換え、OpenMP/MPI ハイブリッド並列の場合の実行時間と比較し、性能を評価することが必要である。</p>		