

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	現業気象予報モデルをソースコード変換によりGPU計算に適用させる 高生産性フレームワーク
Title(English)	A Framework for High Productivity GPU Acceleration Through Code Transformation Applied to Operational Weather Prediction Model in Japan
著者(和文)	ミュラー ミシェル
Author(English)	Michel Mueller
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10851号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:青木 尊之,奥野 喜裕,末包 哲也,肖 鋒,長崎 孝夫
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10851号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		Mueller Michel	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	青木 尊之	教授	審査員	長崎 孝夫	准教授
	審査員	奥野 喜裕	教授			
		末包 哲也	教授			
		肖 鋒	教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「A Framework for High Productivity GPU Acceleration Through Code Transformation Applied to Operational Weather Prediction Model in Japan（現業気象予報モデルをソースコード変換により GPU 計算に適用させる高生産性フレームワーク）」と題し、英文で書かれており全 6 章から構成されている。

第 1 章「Introduction（序論）」では、気象の数値予報 NWP（Numerical Weather Prediction）の歴史と背景を述べ、予報精度を上げるために計算の高速化が重要であることを述べている。GPU(Graphics Processing Unit)は高い演算性能とメモリ帯域を持つため NWP に適しているが、数値予報モデル（計算コード）は FORTRAN 言語で書かれていて、そのままでは GPU を利用することができず、GPU 計算用の CUDA で全面的に書き換えることは、コードの維持・管理とコストの面で大きな問題があることを述べている。気象庁が現業の気象予報に用いている気象モデル ASUCA に対し、GPU 計算用のソースコードへの変換を行うフレームワークの必要性と意義を示している。

第 2 章「A Method for High Productivity GPU Porting（GPU コードへの変換の方法）」では、Fortran 言語で記述された気象コードに対し、元のコードを維持しながら GPU 計算を可能とするために、指示行を挿入する方法を選んだ理由を述べている。挿入した指示行に基づき Python スクリプトによりソースコードを GPU 計算用に変換して出力する Hybrid Fortran フレームワークの構造を示している。Fortran ソースコードの中から並列計算のループを抽出し、細粒度のデータ並列計算ループを GPU で計算し、粗粒度のループや逐次計算ループは CPU で実行している。GPU 計算には CUDA Fortran のコードを出力し、CPU では Open MP を適用し実行効率を高めている。

第 3 章「Application to Numerical Weather Prediction（気象モデル ASUCA への適用）」では、ASUCA の力学過程と物理過程の両方に Hybrid Fortran を適用したことを述べている。現業モデルの物理過程には大気境界層、太陽輻射、雲物理、降雨モデル等の非常に多くの過程が含まれており、その全てのモジュールに Hybrid Fortran を実装している。また、オリジナルの ASUCA は CPU での実行性能を高めるために最適化されていて、従属変数の配列の外側から水平方向に配列要素（ループカウンター I と J）を取り、鉛直方向は格子点が少なく逐次計算が多いために最内側（連続アドレス）に配列要素（ループカウンター K）を取る KIJ の順となっている。一方、GPU では鉛直方向のループを各演算コアで逐次的に計算し、水平方向の 2 重ループをスレッドで並列化する IJK 順の配列の方が適している。Hybrid Fortran は、配列要素の KIJ から IJK への変更とそれに伴うコードの書き換えを自動的に行い、元のソースコードを維持しつつ高い実行性能が得られるようにしている。また、コードに挿入する指示行の行数についても、汎用的なプログラムに対して GPU 計算を可能にするための OpenACC と比較し、Hybrid Fortran の方が大幅に少ないことも明らかにしている。

第 4 章「Performance Analysis（実行性能の検証）」では、実際に気象予報に用いられる日本全土をカバーする 2km 間隔の 1581×1301×58 格子に対して、24 個の NVIDIA Tesla P100 GPU を用いた Hybrid Fortran による計算が、同世代の Intel Xeon Broadwell E5-2695 v4（18 コア）の同数ソケットによる計算に対して最大で 3.5 倍の実行性能が得られることを示している。

第 5 章「Productivity Review of Hybrid Implementation Methods（生産性に関する他の手法との比較）」では、類似の目的で気象計算に特化して開発された専用プログラム言語やライブラリとの比較を行い、それらに対してソースコード中に指示行を挿入し、GPU 計算用のコードへ変換するフレームワークの位置付けを明確にしている。並列計算の粒度の抽出とメモリ参照の効率化を自動的に抽出する Hybrid Fortran は、プログラムの生産性の観点でも優れていることを示している。

第 6 章「Conclusion and Future Work（結論）」では、本研究で得られた成果をまとめ、課題および今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文は元の Fortran ソースコードを維持しつつ、指示行の挿入により気象モデルを GPU で計算可能なソースコードへ変換するフレームワークを開発し、現業の気象予報コードに適用することにより有効性を実証するものであり、気象の数値予報における有用性と計算科学への貢献を示す論文である。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。