

戦略的創造研究推進事業 SPPEXA(CREST)  
研究領域「ポストペタスケール高性能計算に資する  
システムソフトウェア技術の創出」  
研究課題「高性能・高生産性アプリケーションフレ  
ームワークによるポストペタスケール高性能計算の  
実現」

## 研究終了報告書

研究期間 平成 28 年 1 月～平成 30 年 3 月

研究代表者：丸山 直也  
(理化学研究所、チームリーダー)

## § 1 研究実施の概要

### (1) 実施概要

本研究課題では、SPPEXA 日独仏国際共同研究プロジェクトとして気象気候シミュレーションのポストペタスケールシステムに向けた拡張に取り組んだ。具体的には、ポストペタスケール計算機システムでは GPU 等のアクセラレータを用いたヘテロジニアスシステムが電力効率の観点からますます重要になり、アプリケーションのアクセラレータ対応が必須になる。一方で既存のアプリケーション、特に古くから開発が続けられているアプリケーションではその対応にプログラムの大幅な変更が必要になることからアクセラレータ対応が十分に進んでいないことが問題になっている。また、実際にアクセラレータへの移植が行われたとしても、そのハードウェアの性能を十分に活かすためにはハードウェア独自の最適化が必要になる。我々はドメイン特化型フレームワークにより、将来の様々なシステムにおいてアプリケーションを変更することなくプログラムを動作可能とし、かつ高い実行効率を達成することを狙った研究開発を実施した。具体的には、まず正 20 面体全球気候モデルである NICAM を対象に、スイススーパーコンピューティングセンターおよびスイス気象庁を中心に開発されているフレームワーク GridTools の評価を行った。NICAM は国内において長らく開発が続けられている気候シミュレーションコードであり、現在は主に京コンピュータ等で様々な用途に用いられている。一方で GPU や Xeon Phi 等のアクセラレータやメモリアーキテクチャへの対応は十分にはされておらず、他のアーキテクチャへの対応が問題になっている。我々は GridTools 開発チームと共同で NICAM の GridTools への移植およびその有効性の評価を行っている。GridTools は気象気候シミュレーションにおいて標準的に用いられるデータ構造や操作を C++ のテンプレートフレームワークとして提供しており、通常の C++ のコンパイラによって CPU や GPU 等で動作するコードが自動的に生成される。また、それぞれのアーキテクチャに適したデータ構造や局所性最適化の種々の最適化も自動的に施される。一方で GridTools は正 20 面体全球モデルには対応していないことや、Fortran から C++ への変更など実際のアプリケーションを移植する際には課題も大きい。我々は NICAM のコンポーネント毎に適切な移植方針を設定し、それに従って GridTools への移植をすすめて来た。移植は現時点では完了していないが本研究課題の実施期間内に NICAM 全体を GridTools を用いて動作させることを目標に移植作業を進行中であり、その有効性を今後評価していく予定である。

また、フレームワークによるアプリケーションの高度化の研究として Hybrid Fortran フレームワークの研究も実施した。本フレームワークは本研究課題においてこれまで開発してきたものであり、拡張 Fortran によるプログラムから CPU や GPU 向けコードを自動生成するものである。気象庁・数値予報課では日々の気象予報を行うために、気象モデル ASUCA を開発し、運用している。本フレームワークについては気象庁との共同研究により気象予報モデルである ASUCA の Hybrid Fortran への移植（指示行の導入）と Hybrid Fortran の気象モデルの様々なコードの構造への対応を実施し、実運用モデルでの完全移植を完了した。これにより ASUCA のソースコードを一切変更せずに GPU 計算を行えるようになった。また、NVIDIA 等が中心になって開発している OpenACC も、ソースコードに指示行を挿入するだけで GPU 計算を行えるようにする目的のコンパイラであるが、実際には OpenACC が有効に機能するためにソースコードをかなり改変する必要があり、また GPU 計算の実行性能も十分ではない。Hybrid Fortran のコード生産性についても OpenACC と比較を行い優位性を示した。さらに残りの期間で指示行の挿入を低減して生産性をさらに高める取り組み、Hybrid Fortran から出力される GPU コードの実行性能を高めるコード最適化を進める予定である。また、ASUCA に類似したプログラム構造を持ちヨーロッパで利用されている気象モデルへの Hybrid Fortran の適用性についても検討を行う。

本日独仏共同研究のサブ課題として正 20 面体シミュレーションコードのベンチマーク作成にも取り組んだ。ベンチマークパッケージには 2 種類あり、一つはカーネル群パッケージ、もう一つはミニアプリである。前者は GridTools の初期評価のために切り出されたコンポーネントを束ねたものであり、気象モデル、特に正 20 面体気象シミュレーションコードが備える典型的な演算パターンやデータアクセスパターンを網羅的に扱うことを目指した。後者は実際の気象シミュレーションのワークロードを模した形で並列計算を行い、特に本共同研究で独仏のチームが研究を

行うファイル入出力の高度化(変数ごとの精度指定によるファイル圧縮効率の向上)について性能評価を行うために整備を進めた。両方のパッケージは BSD-2 あるいはそれに準ずるライセンスでの配布を行う予定である。カーネル群パッケージは本研究だけでなく、今後新たなドメイン特化型言語やフレームワークを適用する研究のテストベッドとして広く用いられることを期待し、ミニアプリについても演算だけでなく通信やファイル I/O のテストベッドとして活用されることを期待する。

(2) 顕著な成果

< 優れた基礎研究としての成果 >

1.

概要:

気象気候シミュレーションはスパコン等を活用した計算科学が進展した分野の一つであり、計算資源を多く使うアプリケーションである。本研究ではそのような重要なアプリケーションをポストペタスケールに限らず将来的に異なるアーキテクチャへの移植コストを大幅に削減するものであり、これによってシミュレーションによる科学への発展に大きく寄与するものである。

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

1.

概要:

該当なし

## § 2 研究実施体制

### (1) 研究チームの体制について

#### ① 「丸山」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
丸山 直也	理化学研究所	チームリーダー	H23.4～
Mohamed Wahib Mohamed Attia	産業総合技術研究所	研究職員	H24.11～
佐藤 正樹	東京大学	教授	H28.1～
富田 浩文	理化学研究所	チームリーダー	H28.1～
八代 尚	理化学研究所	研究員	H28.1～
吉田 龍二	理化学研究所	特別研究員	H28.1～

研究項目

- 地球システムシミュレーションのための先進的な計算および I/O 手法

#### ② 「青木」グループ

研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
青木 尊之	東京工業大学	教授	H23.4～
Michel Müller	東京工業大学	研究補助員	H27.4～
Marlon Arce ACUNA	東京工業大学	研究員	H23.4～
黄遠雄	東京工業大学	特任助教	H24.10～

高橋 千恵子	東京工業大学	研究補助者	H26.4～
長谷川 雄太	東京工業大学	研究補助員	H26.4～
渡辺 勢也	東京工業大学	研究補助員	H26.4～
杉原 健太	東京工業大学	研究員	H26.9～
Sitompul Yos Panagaman	東京工業大学	研究補助員	H26.10～
松下 真太郎	東京工業大学	研究補助員	H27.4～
Gestrich Michael	東京工業大学	研究補助員	H27.5～
津川 祐美子	東京工業大学	研究補助員	H27.5～
Conti Christian Naoto	東京工業大学	科学研究費研究 員	H29.1～
外丸 慎之介	東京工業大学	研究補助員	H29.4～
岩崎 颯	東京工業大学	研究補助員	H29.4～
渡邊 達也	東京工業大学	研究補助員	H29.4～
河原 淳	東京工業大学	研究補助員	H29.4～
多田 エリック	東京工業大学	研究補助員	H29.4～
渡邊 郁弥	東京工業大学	研究補助員	H27.4～H29.3
下川辺 隆史	東京工業大学	助教	H24.4～H29.3

#### 研究項目

- ・ 地球システムシミュレーションのための先進的な計算およびI/O手法

#### (2)国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

本研究は日独仏国際共同研究として実施しているものであり、ドイツ気候計算センターおよびフランスEcole Polytechniqueと共に日独仏の気候シミュレーションモデルの高度化に向けた研究開発を実施している。本枠組みにはスイススーパーコンピューティングセンターやベンダー等も参加しており、特にGridToolsによるNICAMの高度化はスイススーパーコンピューティングセンターおよびスイス気象庁との共同研究である。

また、Hybrid Fortranの研究開発は気象庁の予報モデルを用い、気象庁との共同研究として実施している。

### § 3 研究実施内容及び成果

#### 3.1 日独仏気候モデル調査(理化学研究所丸山グループ)

##### (1)研究実施内容及び成果

日独仏の研究者に対して、エクサスケールマシンが登場すると想定される 2021 年近辺での計算規模に関するアンケートを実施した。ターゲットとする問題は2種類を設定し、一つは全球気候実験、もう一つは全球気象予報である。前者は格子解像度が比較的粗く 100 年以上の長期のシミュレーションであるのに対し、後者は短期のシミュレーションを高解像度・多アンサンブルで実行するという特徴がある。調査項目は空間解像度、格子数、シミュレーション内の経過時間、ステップ数、アンサンブル実行数、プロセス並列度、スレッド並列度、出力する変数の個数、ファイル出力の容量、出力間隔、同時出力ファイル数、メモリアクセラレータへの対応状況、等であった。現在、これらのアンケート結果をまとめ、カーネルベンチマークの問題サイズおよび独仏機関が進めているファイルI/Oに関する研究

開発への情報提供を行う予定である。

本調査結果はエクサスケール時代における気候モデルのアプリケーションとしての要求をまとめたものであり、エクサスケールシステム構築に重要な知見となりうるものである。

### 3.2 評価用ベンチマークの整備(理化学研究所丸山グループ)

#### (1)研究実施内容及び成果

日独仏3つの正 20 面体モデルより、それぞれ特徴的なカーネルを抽出し、ベンチマークプログラムとして動作するよう整備を進めた。これらのカーネル群を IcoAtmosBenchmark と名付けたパッケージにまとめる作業を継続している。このパッケージは利用方法だけでなく、各カーネルの計算する内容と離散化手法についてのドキュメントを備え、実シミュレーションから得られた入力データと検証データを含むものである。これまでの成果として、特に NICAM のカーネル・ミニアプリに関する整備と評価を重点的に行ってきた。正 20 面体モデルを特徴づけるステンシルカーネルについて6本を抽出し、結果検証のための入出力部分の更新、OpenMP デイレクティブの挿入やリファクタリングおよび性能最適化を進めた。一部のカーネルは GridTools や CUDA で実装したバージョンを作成した。さらに MPI での袖通信部分と、諸物理過程からのカーネル切り出しを行なった。DYNAMICO に関しては、フルモデルのポーティングと実行を完了し、カーネル化の作業を継続して行なっている。ICON に関しては、ドイツのグループが並行して行なっているカーネル化と性能最適化の作業と協調して、統一的なパッケージ化を進める予定である。

次にミニアプリに関しては、日独仏研究者間での検討の結果、物理的に意味のあるシミュレーションを行うことが出来る最小構成として3次元力学コアパッケージをスリム化したものを用いることを決定した。これに該当する NICAM-DC(NICAM 力学コアパッケージ)と DYNAMICO ver.1.0 をまとめたものをパッケージ化する作業を進めている。特に NICAM-DC はドイツ研究チームが開発する圧縮ライブラリ SCIL に対応し、性能評価を完了させるべく作業を進めている。

#### (1)公開予定の成果物

##### ・正 20 面体カーネルパッケージ IcoAtmosBenchmark(v1)

本ソフトウェアは正 20 面体大気シミュレーションモデルが持つ特徴的なステンシル計算をテストするためのカーネル群である。それぞれの演算区間の意味と離散化手法について解説し、用意された入力データを該当するサブルーチンに入力することで結果を得る。計算結果は検証用データを用いて検証を行うことが可能である。

各プログラムは Fortran で記述されているが、他の言語への移植をスムーズに行うために、データの入出力部分は C を用いて記述されている。カーネルは異なる3つの正 20 面体モデルからそれぞれ抽出されており、構造格子での実装、非構造格子での実装、コロケート格子での離散化、スタッガード格子での離散化を網羅している。

##### ・正 20 面体ミニアプリパッケージ IcoAtmosBenchmark(v2)

本ソフトウェアは正 20 面体大気シミュレーションモデルの特徴的な演算と通信の出現パターン、通信トポロジー、シミュレーション内でのファイル入出力を備えたミニアプリ群である。基本的な境界条件を入力データとして与え、初期場を内部的に生成することで、全球大気モデルの流体力学計算コア部分に関する古典的な理想実験を行うことが出来る。雲過程や大気放射過程のような現実の気象シミュレーションを行うための諸物理コンポーネントは含まれない。

エクサスケールシステムの評価に利用可能である。

### 3.3 フレームワークの日独仏気候モデルへの適用と評価(理化学研究所丸山グループ、東京工業大学青木グループ)

#### (1)研究実施内容及び成果

フレームワークとしてスイス国立スーパーコンピューティングセンター(CSCS)で開発されている GridTools とこれまで当チーム青木グループにて開発を進めてきた Hybrid Fortran の適用および評価を進めた。

丸山グループでは、CSCS と連携し GridTools の NICAM への有効性検証を進めてきた。GridTools はスイス気象庁の予報モデル用に開発されたフレームワークであり、ステンシル計算用 DSL や袖領域通信モジュールなどから構成される C++ テンプレートフレームワークである。比較的簡易な記述から CPU や GPU 用コードを自動生成することができ、CSCS の GPU スーパーコンピュータを主な対象マシンとして開発されている。従来の GridTools は直交格子による領域モデルのみを対象としていたが、現在 CSCS およびスイス気象庁にて正 20 面体全球モデルへの拡張が進められており、我々は CSCS とこれまでテレビ会議や双方への訪問を通じて NICAM を GridTools 上で動作させるための機能要件の洗い出しや初期評価を進めてきた。これまでのところ NICAM 力学過程の一部の代表的なルーチンを用いた予備評価を実施し、またそれをもとにした全体の GridTools への移植をほぼ完了した。予備評価ではプログラミングモデルおよび性能の評価を行った。当初の GridTools プログラミングモデルでは一部 GPU に依存した書き方がとられていたが、CSCS 側にフィードバックを行い現在はそのような問題は解決されている。性能については GPU では人手による記述と同程度の性能が達成できることを確認した。現在力学過程全体の移植を進めており、近々その検証も含めて完了する見込みである。また、物理過程については CSCS 側にて代表的なカーネルの移植を完了している。これは GridTools の Python インターフェイスを用いて移植したものであり、C++テンプレートに比べてよりアプリケーションサイエンティストにも親和性のあるプログラミングモデルとなっている。

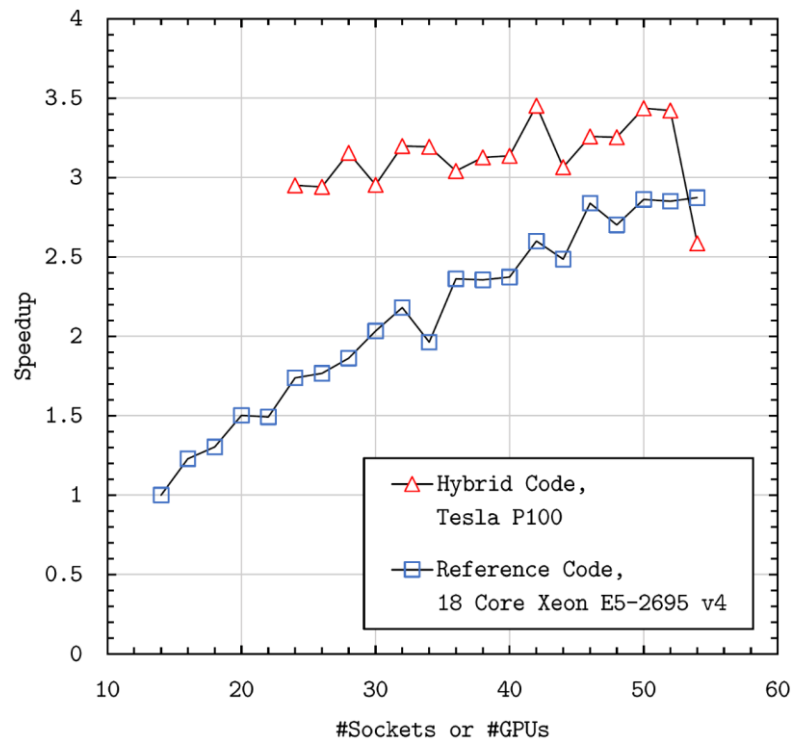
NICAM 全体を動作させるためには通信や全球シミュレーションの極の扱い等が必要である。我々はそれらについては NICAM の元のプログラムを流用したプロトタイプを平成 29 年度内に構築する予定である。これは GridTools では NICAM の通信パターンや極の扱いを直接サポートするためには未だ機能的に不十分であり、プロジェクト期間内のプロトタイプ作成が非現実的であるためである。元のコードを流用することによって、移植のコストを削減することができるが、一方で GridTools とのデータの受け渡しのオーバーヘッドが発生する可能性があり、効率についてはこれから評価していく予定である。

また、フレームワークによる高度化について ICON や DYNAMICO を含めた本連携プロジェクトの気候モデル全体についてその有効性や課題の洗い出しを行う予定である。さらに、ドイツ側で開発されているより個々の気候モデルに特化した DSL との連携についても検討する。

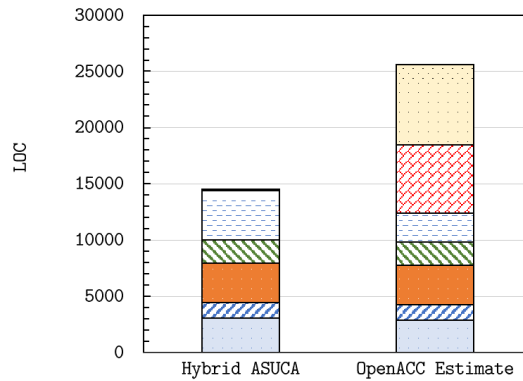
青木グループではこれまで開発してきた Hybrid Fortran について引き続き拡張および適用評価を継続した。気象予報を目的とした気象コードの開発・維持は国家レベルの安全保障につながり、果たす役割が大きい。気象コードの GPU 化は気象予報の高度化にとって重要であり、各国で取り組みが進められている。気象コードは力学過程と物理過程から構成され、物理過程は気象学者らにより開発されるモデルの更新が頻繁であり、ある一時期に CUDA 等で GPU 化しても業務を進めながら維持することができない。気象分野では FORTRAN 言語で記述されることが多く、オリジナルのコードから容易に GPU コードを生成できることが必須である。そこで、コードの生産性と管理を維持したままの GPU 計算向け指示行ベースのフレームワーク Hybrid Fortran の開発を進め、気象庁の現業コード ASUCA を GPU スパコンで効率的に実行できるようにすることを目的とした。気象コード向けに限定したフレームワークであるため、最終的には指示行を可能な限り減らし、ポータリング作業を大幅に軽減することも目指している。

1 年半の具体的な実施内容としては、これまで OpenACC に頼って GPU 化を行ってい

た部分について、十分な安定性が得られないために CUDA FORTRAN を出力するように変更した。また、未対応だった数多くのモジュールを Hybrid Fortran へポーティングし、ASUCA 全体の完全なポーティングを完了した。これにより、現業の気象予報を GPU スパコンでも行える状況となり、オリジナルの FORTRAN ソースコードを完全に保存したまま Hybrid Fortran フレームワークから GPU コードを出力し、GPU スパコンで気象予報の計算が実行できるようになった。気象庁が現業で用いている 2km 水平格子で日本全域をカバーする  $1581 \times 1301 \times 58$  格子の計算では、東大・基盤センターの ReedBush-H の Pascal core GPU である Tesla P100 と Intel E5-2695 v4 (Broadwell 18 core) の同数ソケットでの比較を行い、強スケーリングにおいて最大 3.5 倍の高速化を達成している 3)。平成 29 年 8 月からは東京工業大学の TSUBAME3.0 が可能開始し、ノード間インターコネクトが 2 倍高速なシステムでの強スケーリングを確認する予定である。



指示行挿入による Hybrid Fortran フレームワークの生産性についての OpenACC との比較を行った。ASUCA の 15 万 5000 行から空白行やコメント行を除いた 8 万 7000 行に対し、Hybrid Fortran は 1 万 5000 行の挿入で済むが、OpenACC では 2 万 5000 行の挿入になる 4)。



□ CPU-only physics	0	7122
▨ storage order macros	116	6098
▤ parallelization & data layout DSL	4398	2521
▧ long-wave radiation	2059	2059
■ modified data spec./init	3519	3519
▨ routine & call signatures	1381	1381
□ other	3046	2884

また、C++テンプレートを使うステンシル計算向けフレームワークの開発も進め、ASUCAの力学過程に適用し、十分な実行性能が得られた 1)。

今後は、Hybrid Fortran により出力される GPU コードのカーネル関数のチューニングやノード間通信の効率化の検討を進める。また、OpenACC よりコードの移植性は良いものの依然として移植コストは高く、より生産性を高めるために挿入する指示行を少なくする取り組みを進める。さらに、類似の構造をしているヨーロッパの気象コード、全球の気候モデルへの適用可能性の検討を行う。

(開発ソフトウェア)

#### 1. GridTools 版 NICAM(非公開)

正 20 面体全球気候モデル NICAM の GridTools による実装。オリジナルの NICAM の一部機能のみ実装したプロトタイプ。GPU やメニーコア等複数機種上でアプリケーションコードの変更なしに動作可能。

#### 2. Hybrid Fortran(公開)

FORTTRAN 言語の指示文による拡張により GPU やメニーコア向けコードを自動生成。気象庁予報モデルのフル GPU 対応を実現

エクサスケールに向けて複数機種への対応は必須であり、本研究のようにフレームワークによるアプローチはそれに向けた有望な手法の一つである。本研究において実際のアプリケーションレベルにおいてもフレームワークによる対応が可能であることを示した。

## § 4 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 0件、国際(欧文)誌 3 (5)件)

1. Takashi Shimokawabe, Takayuki Aoki, Naoyuki Onodera, "High-productivity Framework for Large-scale GPU/CPU Stencil Applications," IHPCES/ICCS 2016, San Diego, USA, 2016
2. Hisashi Yashiro, Masaaki Terai, Ryuji Yoshida, Shin-ichi Iga, Kazuo Minami, Hirofumi Tomita, "Performance Analysis and Optimization of Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM) on the K Computer and Tsubame2.5," PASC '16 Platform for Advanced Scientific Computing Conference, 2016



3. Michel Müller and Takayuki Aoki, "New High Performance GPGPU Code Transformation Framework Applied to Large Production Weather Prediction Code", ACM Transactions on Parallel Computing (TOPC) (*submitted*)
4. Michel Müller and Takayuki Aoki, "Hybrid Fortran: High Productivity GPU Porting Framework Applied to Japanese Weather Prediction Model", Fourth Workshop on Accelerator Programming using Directives (WACCPD), November 13, 2017, co-located with SC17 (*submitted*).
5. Takashi Shimokawabe, Toshio Endo, Naoyuki Onodera and Takayuki Aoki, "A Stencil Framework to Realize Large-scale Computations Beyond Device Memory Capacity on GPU Supercomputers", IEEE Cluster 2017, Sep 5th - 8th, 2017, Hawaii, USA (accepted)

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 青木尊之, "GPUを用いた超並列高速計算入門-IV-GPUスパコンによる大規模物理シミュレーション," システム制御情報学会誌, Vol.60 No.8, pp350--357, 2016
2. 青木尊之, "GPUスパコンによる大規模LBM計算," 伝熱, Vol.55, No. 233, pp. 22--28, 2016

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 1件、国際会議 5件)

1. Takashi Shimokawabe, Large-scale GPU-based CFD Applications based on a High-productivity Stencil Framework, Parallel CFD 2016, Kobe, 5/10/16
2. Takayuki Aoki, Large-scale Complex Flow Simulations using Particle and Mesh Methods on a GPU supercomputer, WCCM XII & APCOM VI 2016, Seoul, Korea, 7/25/16
3. 青木尊之, GPUスパコンによる大規模粒子法・格子法シミュレーション, RIMS 研究集会 現象解明に向けた数値解析学の新展開 II, 京都, 京都大学数理解析研究, 10/19/16
4. Hisashi Yashiro, Towards Extreme-Scale Weather/Climate Simulation: The Post K Supercomputer & Our Challenges, ISC High Performance Conference, Frankfurt, Germany, 6/21/17
5. Takayuki Aoki, Green Supercomputer TSUBAME and Large-scale Applications on Computational Fluid Dynamics, ASPIRE FORUM 2017 Nanyang Technological University, Singapore, July 13, 2017
6. Takayuki Aoki, Large-scale Multiphase Flow Simulations on a GPU Supercomputer, The 24th National Computational Fluid Dynamics Conference, Hsinchu, Taiwan, August 31, 2017

② 口頭発表 (国内会議 4件、国際会議 3件)

1. Michel Muller, Unified CPU+GPU Programming for the ASUCA Production Weather Model, GTC 2016, San Jose, CA, USA, 4/5/16
2. 下川辺隆史, 遠藤敏夫, 青木尊之, GPU デバイスメモリを超える計算を可能とするためのステンシル計算フレームワークの拡張とその性能評価, 日本計算工学会第21回計算工学講演会, 新潟, 6/1/16
3. Anna Brown, Takashi Shimokawabe, Aoki Takayuki, A GPU implementation for high performance stencil calculations on an adaptively refined mesh, 日本計算工学会第21回計算工学講演会, 新潟, 6/2/16
4. 下川辺隆史, 大規模 GPU/CPU 計算に向けた高生産フレームワークの構築とこれ

を用いた都市気流計算コードの開発，学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第7回 シンポジウム，品川，7/15/16

5. Takayuki Aoki, CFD Applications Using Adaptive Mesh and Space-Filling Curves on a GPU Supercomputer, 2017 SIAM Conference on Computational Science and Engineering, Atlanta, USA, 2/27/17
6. Hisashi Yashiro, Benchmarking for weather/climate, UIOP workshop, Hamburg, Germany, 3/23/17
7. 下川辺隆史、青木尊之、小野寺直幸，高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの開発，第 22 回計算工学講演会，埼玉，大宮ソニックシティ，2017/6/2

③ ポスター発表 (国内会議 1件、国際会議 1件)

1. Takashi Shimokawabe, Advanced High-productivity Framework for Large-scale GPU/CPU Stencil Computations, GTC 2016, San Jose, CA, USA, 4/4/16
2. 下川辺隆史，高精細計算を実現する AMR 法フレームワークの構築，学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点第7回 シンポジウム，品川，7/14/16

(4)知財出願

- ①国内出願 (0件)
- ②海外出願 (0件)
- ③その他の知的財産権

(5)受賞・報道等

- ①受賞  
該当なし
- ②マスコミ(新聞・TV等)報道  
該当なし
- ③その他  
該当なし

(6)成果展開事例

- ①実用化に向けての展開  
該当なし
- ②社会還元的な展開活動  
該当なし

## 5 研究期間中の活動

### 5.1 主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
平成 27 年 1 月 26 日	AIMES キックオフミーティング	ミュンヘン工科大学	約 10 名	本プロジェクトのキックオフミーティング
平成 28 年 3 月 20 日	AIMES 進捗ミーティング	ミュンヘン工科大学	約 10 名	本プロジェクトの進捗および今後の予定を議論