

実施報告書

素粒子・原子核・宇宙物理のためのアルゴリズムと計算手法の研究

グループ名: scbridge

責任者: 松古栄夫 (hideo.matsufuru@kek.jp)

2009年11月6日

1 研究組織

- 松古栄夫 (まつふるひでお) 高エネルギー加速器研究機構 計算科学センター・助教
責任者: 全体統括
- 櫻井鉄也 (さくらいてつや) 筑波大学システム情報工学研究科・教授
役割分担: 応用数学の立場からの線形アルゴリズムの応用
- 多田野寛人 (ただのひろと) 筑波大学システム情報工学研究科・助教
役割分担: 応用数学の立場からの線形アルゴリズムの応用
- 住吉光介 (すみよしこうすけ) 沼津工業高等専門学校 教養科・准教授
役割分担: 超新星爆発シミュレーションへの分野横断的なアルゴリズムの応用
- 仁尾真紀子 (におまきこ) 理化学研究所・仁科センター研究員
役割分担: 数値計算アルゴリズムの分野横断的応用
- 青山龍美 (あおやまたつみ) 高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所・PD
役割分担: 数値計算アルゴリズムの分野横断的応用
- 野秋淳一 (のあきじゅんいち) 高エネルギー加速器研究機構 素粒子原子核研究所・PD
役割分担: 数値計算アルゴリズムの分野横断的応用

2 実施報告の詳細

素粒子・原子核・宇宙物理における数値計算では、様々なアルゴリズムが使われているが、分野間の連携や分野を横断した応用についてはまだ十分行われていない。また並列計算手法や効率的なプログラミング、高速化のためのチューニング手法などの情報を共有し、計算機の性能を最大限引き出すための協力体制を築くことも重要である。この申請課題では以上のような研究を、素核宇の研究者と、計算科学や応用数学の研究者が協力して行うことを目指している。

この研究の背景としては、平成20年度より科研費の新学術領域研究（研究領域提案型）としてプロジェクトが開始された、「素核宇宙融合による計算科学に基づいた重層的物質構造の解明」（領域代表者・青木慎也）[1]がある。これは計算科学の手法に基づいて、素粒子から原子核、宇宙物理にいたるスケールの異なる

物理の融合を目指すものである。その計画研究のひとつとして、「分野横断アルゴリズムと計算機シミュレーション」という研究課題があり、松古はその研究代表者である。この計画研究班の目的を達成するために、本研究課題の申請を行った。

平成 21 年度 (4-9 月) においては、以下のような研究に着手した。

- **格子 QCD におけるオーバーラップ演算子の線形問題としての構造の理解と高速化**

格子 QCD においてオーバーラップ・フェルミオンは、厳密なカイラル対称性を持つ作用として注目されているが、その数値的コストは従来の作用に比べて $O(100)$ 倍大きい。従って、シミュレーション時間のほとんどを占める線形問題の高速化は、研究を速やかに進めるために不可欠である。この演算子の行列としての構造を線形解法アルゴリズムの専門家と共同で理解し、高速化の可能性を探る研究を行う。

- **超新星爆発シミュレーションのための並列アルゴリズムと線形問題の高速化**

超新星爆発は、数値シミュレーションでしかその詳しいメカニズムを解明できない、計算科学として挑戦的な課題である。二次元、三次元的シミュレーションを行うためには、大きな計算リソースを必要とするため、超並列化を行うことが望ましい。また、アルゴリズムの中では線形問題が占める時間が大きい。これらの課題を解決するために、超新星爆発シミュレーションの研究者、格子 QCD などでの並列化の経験を持つ研究者、線形問題アルゴリズムの研究者が共同で、高速な手法を開発することを目指している。

本研究期間においては、上の二つの課題をスタートさせるための準備を行った。格子 QCD や超新星爆発の研究者とアルゴリズムの研究者が同じ問題に取り組むためには、共通の言語で問題を定義することが不可欠である。このため、解くべき問題を明確にし、高速化すべき部分を切り出して、それ以外の部分と分離して扱うことができる体制を整える必要がある。具体的には、格子 QCD、超新星爆発シミュレーションの線形問題について、典型的な行列を切り出し、これから様々なアルゴリズムを適用してゆくにあたって出発点となるプログラムを用意した。これらを、典型的な条件の下で解き、検証用の結果を作成することによって、プロトタイプ問題を準備した。今後、線形問題の解法として有効と期待されている種々の Krylov 部分空間法や、前処理法を検討してゆく予定である。また上記の課題以外の素粒子・原子核・宇宙の問題にも、応用を広げていきたいと考えている。

References

- [1] 「素核宇宙融合による計算科学に基づいた重層的物質構造の解明」 <http://bridge.kek.jp/>.