

自己評価報告書

平成 23 年 5 月 13 日現在

機関番号：82118

研究種目：新学術領域研究

研究期間：2008～2012

課題番号：20105005

研究課題名（和文） 分野横断アルゴリズムと計算機シミュレーション

研究課題名（英文） Interdisciplinary algorithms and computer simulations

研究代表者

松古 栄夫 (Matsufuru Hideo)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・計算科学センター・助教

研究者番号：10373185

研究分野：素粒子物理学（理論）

科研費の分科・細目：

キーワード：シミュレーション、素粒子論、理論核物理、宇宙物理

1. 研究計画の概要

本計画研究は、新学術領域研究「素核宇宙融合による計算科学に基づいた重層の物質構造の解明」において、他班が推進する物理研究の基盤となる数値計算手法の開発や環境整備を目的としている。数学的、アルゴリズム的視点から物理現象を分析することにより、階層の異なる物理の統一的な理解に迫る。以下のような計画に従って研究を進める。

(1). 分野を横断した数値計算アルゴリズムの応用と開発：素粒子、原子核、宇宙の分野で研究されているアルゴリズムや最適化の知見を融合し、応用数学の専門家等とも共同で改良し、それぞれの分野に応用する。

(2). 高速計算のためのアーキテクチャの検討と高速化手法の開発：近年発展の著しいグラフィックカードなどの演算アクセラレータや、大規模並列計算機など、様々なアーキテクチャの計算機の持つ能力を最大限に利用するための研究を行う。

(3). データ共有のための環境整備：大容量化するデータを効率的に利用するため、異なった研究機関の間での高速なデータ転送を行い、データを公開、共有するための環境を整備する。格子 QCD 分野におけるデータグリッド「JLDG (Japan Lattice Data Grid)」を運用し、これをより使いやすいシステムに発展させるとともに、同様の仕組みが有効な他分野への支援を行う。

(4). 格子 QCD のための共通コードの開発：領域内で要望や、(1)-(3)のテーマに対する

共通基盤の必要性に答えるため、格子ゲージ理論の共通コードを開発するプロジェクトを 2009 年度より開始した。初心者にとって理解しやすく、また同時に高性能な計算も可能なプログラム体系の構築を目指す。多くの研究者が参加する開発体制のテストケースとなることも期待している。

2. 研究の進捗状況

上に挙げた各項目の進捗状況をまとめる。

(1). 分野を横断した数値計算アルゴリズムの応用と開発：これまで、分野を横断した研究者間で共通の問題を扱えるような基盤を作ることを中心に進めてきた。このため格子 QCD や超新星爆発のように、線形方程式の解法的高速化により計算時間を大幅に短縮できる場合について、ターゲットとなる行列を抜き出し線型問題として定義することによって、応用数学の研究者との協力体制の基礎とした。Block Krylov 法の格子ゲージ理論への応用に進展があった。また超新星爆発シミュレーションの大規模並列化を進めている。

(2). 高速計算のためのアーキテクチャの検討と高速化手法の開発：2008 年度に導入した GPGPU (NVIDIA Tesla S1070) 並列クラスタサーバを含め、AMD 社の GPU や Cell B.E. などのアクセラレータを備えた計算サーバを導入し、これらの性能を引き出すためのプログラミング技法の開発を行っている。既に格子 QCD 分野では実際の計算にも利用され重要な戦力となっている。多体問題や 4 倍精度計算での活用例についても、これらの分野の研究

者との連携を進めている。

(3). データ共有のための環境整備： 毎年度 JLDG のためのファイルサーバを導入し、データ共有環境の増強を行いながら、より便利なシステムを目指した開発を続けている。Gfarm グリッドファイルシステムのバージョンアップに伴い、研究グループ内のデータ共有・高速転送サービスを開始した。PACS-CS や JLQCD コラボレーションによって生成されたデータの公開も進めている。

(4). 格子 QCD 共通コードの開発
これまでに、需要調査と設計の基本方針の策定を行った。オブジェクト指向に基づいて設計し、C++で実装することを決定し、2011 年度前半に最初の実行バージョンの完成を目指して、実装を行いながら設計方法の研究を続けている。

以上の課題について、領域内の広い分野で連携と共同研究の実現に向けて、勉強会や講習会を適宜を開催している。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。
(理由)

上記項目 (1)については目に見える成果は得られていないが、分野間の連携は確実に進み、共同研究の基盤は整備されつつある。(2), (3)については、既に新学術領域内の他班での研究に貢献している。(4)のコード開発については、最初の実動バージョンの完成にかなり近づいており、残りの研究期間には十分な成果が得られるものと期待できる。

4. 今後の研究の推進方策

当初計画からの大きな変更はない。それぞれのテーマについて、以下のような計画である。

(1). 分野を横断した数値計算アルゴリズムの応用と開発については、連携体制をより大きく進める必要がある。格子 QCD や超新星爆発では線形方程式の解法の高速化を実際の計算に応用する。線形問題についての協力体制を他分野まで含めて更に進め、固有値計算、発展方程式、モンテカルロ法、変分原理等のアルゴリズムにも拡げてゆく必要がある。

(2). 演算アクセラレータを用いた高性能計算については、実際の計算へ応用しつつ、2010 年に登場した NVIDIA の Fermi 等、アーキテクチャの進歩に対応してゆく。コードジェネレータ等、よりコードの移植を容易にする技術を取り入れてゆく。一方で 2011 年以

降に稼働を開始する大規模並列計算機の利用のために、超並列・マルチレベル並列のプログラミング技術も確立する。

(3). JLDG については既に実用段階に入っているため、ユーザ数を増やし広範なグループの意見を反映させて、より使いやすいシステムへ改良を続ける。他拠点へのシステムの伸長とスパコンとの連携を図る。データ公開を容易にするためのツールの開発も検討する。

(4). 2011 年度前半に実行可能なバージョンの完成を目指している。これを研究現場の計算に応用し、利用者からのフィードバックを反映させることにより、より使いやすいコードへと洗練させてゆく。ドキュメントの整備や保守体制の構築も重要な課題である。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 25 件)

- ① PACS-CS collaboration (S.Aoki, K.-I.Ishikawa, N.Ishizuka, T.Izubuchi, K.Kanaya, Y.Kuramashi, K.Murano, Y.Namekawa, M.Okawa, Y.Taniguchi, A.Ukawa, N.Ukita, T.Yoshié), "Non-perturbative renormalization of quark mass in $N_f=2+1$ QCD with the Schroedinger functional scheme", JHEP 08(2010) 101, 1-27, 査読有.
- ② JLQCD collaboration (H. Fukaya S. Aoki, S. Hashimoto, T. Kaneko, J. Noaki, T. Onogi, N. Yamada), "Determination of the chiral condensate from 2+1-flavor lattice QCD," Phys. Rev. Lett. 104, 122002 (2010) (4 pages), 査読有.
- ③ T. Sakurai, J. Asakura, H. Tadano and T. Ikegami, et al., "Error analysis for a matrix pencil of Hankel matrices with perturbed," JSIAM Letters 1, 76-79 (2009), 査読有.
- ④ JLQCD and TWQCD collaborations (J. Noaki, T.W. Chiu, H. Fukaya, S. Hashimoto, H. Matsufuru, T. Onogi, E.Shintani, N.Yamada), "Non-perturbative renormalization of bilinear operators with dynamical overlap fermions," Phys. Rev. D 81 034502 (2009) (22 pages), 査読有.
- ⑤ JLQCD and TWQCD collaborations (S.Aoki, T.W.Chiu, H.Fukaya, S.Hashimoto, T.H.Hsieh, T.Kaneko, H.Matsufuru, J.Noaki, T.Onogi, E.Shintani, N.Yamada), "Pion form

factors from two-flavor lattice QCD with exact chiral symmetry," *Phy. Rev. D* 80, 034508 (2009). (20 pages), 査読有.

〔学会発表〕 (計 5 6 件)

- ① T.Kaneko, "Lattice studies of hadron physics with disconnected quark loops", 35th International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2010), Palais des Congres, France, July 22-28, 2010
- ② 松古栄夫, 格子 QCD シミュレーションにおける固有値問題(招待講演), 特異値固有値合同ワークショップ, 2009年11月21-22日, エポカルつくば、つくば市
- ③ T.Kaneko, "Pion form factors from lattice QCD with exact chiral symmetry", 6th International Workshop on Chiral Dynamics (Chiral Dynamics 2009), University of Bern, Switzerland, July 6-10, 2009
- ④ 吉江友照, 格子 QCD データグリッド ILDG/JLDG (基調講演), 平成 21 年度 ITBL シンポジウム, 2009 年 5 月 29 日, 海洋研究開発機構 横浜研究所
- ⑤ T.Yoshie, "International Lattice Data Grid" (invited talk), HackLat2009, 7 May 2009, NeSC, Edinburgh, UK

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ウェブサイト : <http://bridge.kek.jp/A04/>