

平成22年度学融合推進センター学融合研究事業 成果報告書

研究テーマ名称	素粒子物理学における高精度演算専用システムの開発研究
応募事業区分	公募型共同研究
申請代表者氏名	石川 正

○ 研究状況報告

高エネルギー加速器研究機構(KEK)においては、素粒子物理学の摂動論に基づき素粒子衝突反応の断面積を自動的に計算するためのシステムを開発している。他方国立天文台を中心としたグループでは独自に重力多体問題を数値計算するために専用システム(GRAPE)を数々開発してきている。天文台・KEKとの共同研究で素粒子物理学の数値計算のために4倍精度浮動小数点演算器のGRAPE-MP(Multi Precision)チップ(4倍精度演算として約1.2GFlopsの性能を有する)を製作し、GRAPE-MPの単体での性能評価を行ったところである。GRAPE-MPのマルチボードでの性能評価については今後進める予定である。

4倍精度のより長い精度の演算器の専用化のプロトタイプとして、6倍精度演算チップ(GRAPE-MP6)をFPGAで試作した。またGRAPE-MP, GRAPE-MP6を同じインターフェースで使うためのソフトウェアを用いて、性能評価を行ったところである。

○ 当該事業年度において達成された研究成果

素粒子物理学の摂動理論で現れるFeynmanループ積分を直接数値的に求めることを目標としている。赤外発散がある場合には、微小量の光子の質量を与え、長い精度を保持すれば数値的にも計算可能である。重力多体問題とFeynmanループ積分問題を例として性能評価をおこなった。

GRAPE-MPではFeynmanループ積分問題は、4倍精度演算で540MFLOPSの性能が得られた。これはIntel core i7の約5倍の性能である。

また、GRAPE-MP6は、6倍精度演算専用として、Altera社の40nmのFPGA(Stratix IV GX EP4SGX230)を用い、GRAPE-MPの設計を拡張したものである。1チップに14個の演算器セットを搭載することができた。重力多体計算およびFeynmanループ積分では、6倍精度演算でIntel core i7の約70倍程度の性能を有することを確認したところである。

○ 本研究を基に発表した論文と掲載された雑誌名等のリスト(論文があれば添付)

- (1) H. Daisaka, N. Nakasato, J. Makino, F. Yuasa, T. Ishikawa, "GRAPE-MP: An SIMD Accelerator Board for Multi-precision Arithmetic", International Conference on Computational Science, ICCS 2011 (投稿中)
- (2) 小池寿紀, 近匡, 川井敦, 石川正, 湯浅富久子, 濱口信行, "グラフィックボードを用いたフェインマン・ループ積分の高速化", 第66回日本物理学会年会(開催は中止)

平成23年度学融合推進センター学融合研究事業 成果報告書

研究テーマ名称	素粒子物理学における高精度演算専用システムの開発研究
応募事業区分	公募型共同研究
申請代表者氏名	石川 正

○ 研究状況報告

高エネルギー加速器研究機構(KEK)においては、素粒子物理学の摂動論に基づき素粒子衝突反応の断面積を自動的に計算するためのシステムを開発している。他方国立天文台を中心としたグループでは独自に重力多体問題を数値計算するために専用システム(GRAPE)を数々開発してきている。天文台・KEKとの共同研究で素粒子物理学の数値計算のために4倍精度浮動小数点演算専用システム GRAPE-MP を開発してきている。

4倍精度より長い精度の演算器の専用化のプロトタイプとして、昨年度は6倍精度演算チップ(GRAPE-MP6)をFPGAで試作したが、今年度は、4倍、6倍、8倍精度演算ができるように拡張したGRAPE-MP 4/6/8を試作して性能評価を行った。

○ 当該事業年度において達成された研究成果

素粒子物理学の摂動理論で現れるFeynmanループ積分を直接数値的に求めることを目標としている。赤外発散がある場合には、微量の光子の質量を与え、長い演算精度を保持すれば数値的にも計算可能である。重力多体問題とFeynmanループ積分問題を例として性能評価をおこなった。

FPGAとして、Altera社の40nmのStratix IV GX EP4SGX230を用い、1個あたりの実装として、4倍、6倍、8倍精度演算は、それぞれ10、14、16 Processor Elementを搭載できた。Feynmanループ積分問題をベンチマークとして、4倍、6倍、8倍精度演算で609、550、421 MFLOPSの性能が得られた。これらの性能はintel XEONを使ったソフトウェアエミュレーションより格段に高速である。

素粒子物理学の高次補正で必要な計算は積分に帰着する。その際の並列化のためのアルゴリズムは比較的簡単である。われわれが必要とする積分計算では多倍長計算があれば、数値的に求められると考えられる。計算器の実装上に関しては、多倍長計算になればなるほど、演算器の部分の比率が大きくなり、メモリ部分は相対的に少なくてよいので、より演算器に配分することができる。多倍長演算の数値積分に特化したFPGAでの評価であるが、商用の汎用のCPUを使うより、数10倍から100倍以上、計算を加速できることを実証した。

○ 本研究を基に発表した論文と掲載された雑誌名等のリスト(論文があれば添付)

(1) H. Daisaka, N. Nakasato, J. Makino, F. Yuasa, T. Ishikawa, "GRAPE-MP: An SIMD Accelerator Board for Multi-precision Arithmetic", *Procedia Computer Science*, Volume 4, 2011, Pages 878-887.

(2) 石川正, 湯浅富久子, 濱口信行, "ファインマン・ループ積分の多倍長精度計算とその高速化", 第67回日本物理学会年会