

課題名 (タイトル) :

重粒子線治療のためのモンテカルロ線量計算

利用者氏名 : 石川 顕一

所属 : 社会知創成事業 次世代計算科学研究開発プログラム

次世代生命体統合シミュレーション研究推進グループ 臓器全身スケール研究開発チーム

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

私たちは、次世代計算科学研究開発プログラムにおいて、「京」スーパーコンピュータ用の重粒子線治療シミュレーターの開発を進めている。その一部として、粒子・重イオン輸送コード PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) を用いて人体全身ボクセルデータに対する線量計算を行っている。また、戦略的研究展開事業 (理事長ファンド) で、その精度検証を進めている。

1 ミリ角のボクセルの場合、プロセッサあたり数ギガバイトのメモリーを必要とする。さらに、ボクセルデータの高精細化が進むとデータ量はより大きくなり、専用の大容量メモリー計算機でなければ全身ボクセルデータに対する線量計算の実行は不可能である。そこで、私たちは、京や汎用の PC クラスタなどプロセッサ当たりの搭載メモリーが制限されている環境で、大規模ボクセルデータを用いた線量計算を可能にするための改良を進めている。

2. 具体的な利用内容、計算方法

現行の PHITS の並列化は、メモリー分散型の MPI 並列である。各 processing unit (PE) は独立のメモリー領域を利用するため、ノード内の  $n$  コアが並列計算をする場合、ノード当たり単独計算の  $n$  倍のメモリーが必要であり、全身ボクセルデータの場合にはこれは京のスペック (コア当たり 2GB) をも超えてしまう。このような問題を克服するため、我々は、ノード内では OpenMP を用いたメモリー共有型並列、ノード間では MPI 並列を用いて、PHITS のハイブリッド並列化を行った。

3. 結果

基本的にはハイブリッド並列の実装を済ませ、その検証を進めている。

OpenMP の検証として、1 ミリ角のボクセルで表現した一辺 10 センチの立方体形状の水ファントムに、100 MeV/u の炭素ビームが入射した場合のテストで、メモリー共有並列を使用した場合とそうでない場合で全く同じ結果が得られていることを確認した。また、12 スレッド並列でも 87% という高い並列化効率が得られている。

また、OpenMP-MPI ハイブリッド並列を用いた全身線量計算の実行にも、全身 1 ミリ角の 251,349,504 ボクセルからなるファントムに対して、RICC の 32 ノード  $\times$  30,000 ヒストリー/ノードでの計算に成功した。従来であれば、コア当たり 4GB のメモリーを要する計算であり、今回のような計算はハイブリッド並列で初めて可能になった。

4. まとめ

昨年度開発した領域分割モンテカルロ法や今年度開発した MPI-OpenMP ハイブリッド並列の PHITS への実装は、専用の大容量メモリー計算機を使うことなく、汎用のスパコンやグリッド環境、そして京での大規模線量計算への道を拓くものと期待される。

5. 今後の計画・展望

開発したコードを用いた全身線量計算を通して、小児がんの治療が始まった陽子線治療における 2 次発がんリスクの評価など、実際の治療の場で必要な知見を得る研究へと進むことが期待される。

平成 24 年度 RICC 利用研究成果リスト

**【国際会議などの予稿集、proceeding】**

- [1] T. Furuta, K. L. Ishikawa, N. Fukunishi, S. Noda, S. Takagi, T. Maeyama, K. Fukasaku and R. Himeno, “Implementation of OpenMP and MPI hybrid parallelization to Monte Carlo dose simulation for particle therapy,” World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Beijing, China, May 26-31, 2012.
- [2] T. Furuta, K. L. Ishikawa, S. Takagi, N. Fukunishi, T. Maeyama, S. Noda, R. Himeno, and K. Fukasaku, “Toward whole-body dose simulation for particle therapy using K computer,” 10th World Congress on Computational Mechanics, São Paulo, Brazil, July 8-13, 2012. (謝辞の記載欄がなかったため)
- [3] K. L. Ishikawa, T. Furuta, T. Maeyama, N. Fukunishi, S. Noda, S. Takagi, K. Fukasaku, R. Himeno, “Dose evaluation for particle therapy by Monte Carlo simulation and gel dosimetry,” 13th Symposium on Advanced Photon Research, Kizu, Japan, Nov. 15, 2012. (謝辞の記載欄がなかったため)

**【国際会議、学会などでの口頭発表】**

- [1] 古田琢哉, 石川顕一, 福西暢尚, 野田茂穂, 高木周, 前山拓哉, 深作和明, 姫野龍太郎 「OpenMP-MPI ハイブリッド並列導入によるモンテカルロシミュレーションコード PHITS の改良」 第 104 回日本医学物理学会学術大会、2012/9/13-15、つくば国際会議場
- [2] 古田琢哉、前山拓哉、石川顕一、福西暢尚、深作和明、野田茂穂、高木周、姫野龍太郎 「高精度粒子線治療シミュレータ開発に向けたモンテカルロ輸送計算コードの精度検証」 日本物理学会第 68 回年次大会、2013/3/26-29、広島大学東広島キャンパス