

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、次世代スーパーコンピューター用の重粒子線治療シミュレーターの開発を進めています。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ます。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します。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す。そこで、私たちは、次世代スーパーコンピューターや汎用の PC クラスタなどプロセッサあ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、計算領域を分割してモンテカルロシミュレーションを行う手法を開発しています。

大容量のメモリーを積むより計算機本体を買い増す方が安価であること、CT 等の医療診断機器の分解能が今後も向上するであろうことを考えると、近い将来の病院での治療計画の立案への応用という観点からも、領域分割モンテカルロシミュレーションの開発は有意義です。

2. 具体的な利用内容、計算方法

図 1 に示す様に計算領域全体を複数の領域に分割します (実際には、紙面に垂直な方向にも分割する)。各領域のサイズは、与えられたメモリーで線量計算できるデータ量におさまるようにします。重粒子線は領域 2 に直接入射する (ソースが領域 2 の表面にある) と仮定します。PHITS に実装されている計算領域を出た粒子の情報を

ファイルにダンプする機能、およびダンプファイルを線源として入力する機能を利用し、分割領域のうち、粒子線入射領域から周辺領域へと、順次モンテカルロシミュレーションを実行し、線量等をタリーします。また、その並列化を行います。

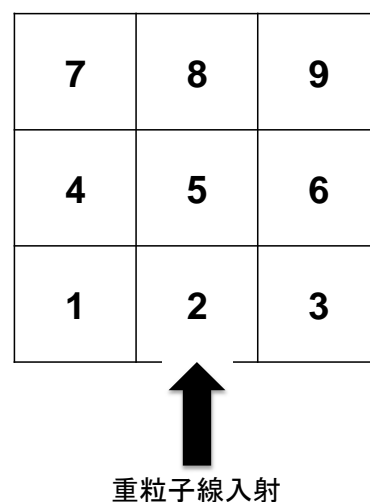


Figure 1 Schematic of the domain division.

3. 結果

まず、シングルプロセッサで、領域分割による計算結果の妥当性および計算時間の増加について評価した。一辺 30cm の立方体の空気中に半径 10cm の水の球がある体系に、130MeV の陽子が入射した場合 (10^6 ヒストリー) の線量分布について、通常的全領域計算と領域分割計算 (b) (27 分割) の結果は統計誤差の範囲内で一致することを確認した。分割計算は 10 世代まで到達し PHITS の起動回数は 93 回であったが、これによる計算時間の増加は意外にも 8% と十分小さく、領域分割計算が現実的であることが分かる。

次に、並列計算機上での人体ボクセルデータに対する領域分割計算も、正常に作動していることを確認した。この場合も、データのファイルへの読み書きによる時間のロス は 10% 以下で、領域分

割計算の有効性が示された。

4. まとめ

計算領域を分割して、少ないメモリーで大規模ボクセルデータに対するモンテカルロ線量計算を行う手法の開発とその並列化に成功した。本手法は、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

今後は、ハイブリッド並列、ボクセルデータの読み込みや、各ノードへの配分の改良を進める計画である。

6. RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況（どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか）や、継続して利用する際に行う具体的な内容

RICC 利用によって、大規模並列環境での領域分割計算の有効性を示すことができた。現在は MPI 並列になっており、メモリーを有効利用できていない状況であるので、ハイブリッド並列や、ボクセルデータの読み込み時間の低減を進めている計画である。

平成 22 年度 RICC 利用研究成果リスト

国際会議口頭発表

[1] K. L. Ishikawa, K. Niita, K. Takeda, N. Fukunishi, and S. Takagi, *Domain-division Monte Carlo dose calculation method for particle therapy*, Joint International Conference on Supercomputing in Nuclear Applications + Monte Carlo 2010, Tokyo, Japan, Oct. 17-21, 2010

学会口頭発表

[1] 石川顕一, 仁井田浩二, 武田和雄, 福西暢尚, 高木周, *重粒子線治療のための領域分割モンテカルロ線量計算手法の開発*, 第 99 回日本医学物理学会学術大会、パシフィコ横浜、2010/4/9-11