

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

理研での所属研究室名 :

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

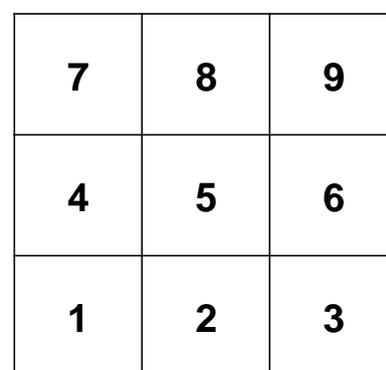
私たちは、次世代計算科学研究開発プログラムにおいて、「京」スーパーコンピューター用の重粒子線治療シミュレーターの開発を進めている。その一部として、粒子・重イオン輸送コード PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) を用いて人体全身ボクセルデータに対する線量計算を行っているが、1 ミリ角のボクセルの場合、プロセッサあたり数ギガバイトのメモリーを必要とする。さらに、ボクセルデータの高精細化が進むとデータ量はより大きくなり、専用の大容量メモリー計算機でなければ全身ボクセルデータに対する線量計算の実行は不可能である。そこで、私たちは、京や汎用の 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、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る。

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ある。

## 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する (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する。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) と仮定する。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、その並列化を行う。



重粒子線入射

Figure 1 Schematic of the domain division.

## 3. 結果

人体ボクセルデータに対する領域分割計算を実施し、ヒストリー数 (入射粒子数) を変えながら計算をくり返し、データのファイルへの読み書きによる時間のロスを評価した。ヒストリー数が 50,000 と少ないときには、15.9%のロスがあるものの、実際の線量計算で一般的な 1,000,000 ヒストリー以上ではロスは 7%以下に抑えられ、実用上問題のないレベルであり、領域分割計算の有効性が示された。

次に、16~1024 processing elements (PE) の範囲での並列化のウィークスケーリングを測定した。開始時と最後の集計時以外は PE 間の通信がないため、原理の上からは 100%に近い効率が期待される。測定結果を見ると、実計算部分のスケ

ーリングは比較的良好であるが、それでも、若干、PE 数の増加につれて計算時間の増加がみられる。

これの理由としては、

① 計算の世代数が PE によって異なり、世代数の多い少数の PE だけが計算している時間帯がある恐れがある。ロードバランスの改善や、そのような少数のヒストリーを無視するなどの改善が必要と考えられる。

② 多数の PE が、マテリアル情報、色指定情報など、共通のファイルにアクセスすることによるスケーリングの悪化の可能性がある。

があげられる。

#### 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、その性能の測定を行った。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、ウィークスケーリング測定で明らかになった上記の課題の解決に取り組む予定である。

#### 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

大規模並列環境での領域分割計算の有効性を示し、その性能を測定することができた。継続利用では、ウィークスケーリング測定で明らかになった上記の課題の解決や、ボクセルデータの読み込み時間の低減に取り組む予定である。

平成 23 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文】

- [1] K. L. Ishikawa, K. Niita, K. Takeda, N. Fukunishi, and S. Takagi, *Domain-division Monte Carlo dose calculation method for particle therapy*, Prog. Nucl. Sci. Tech. **2**, 197-200 (2011).