

「シミュレーション技術の革新と実用化基盤の構築」

平成15年度採択研究代表者

佐々木 節

(高エネルギー加速器研究機構計算科学センター 助教授)

「高度放射線医療のためのシミュレーション基盤の開発」

## 1. 研究実施の概要

放射線医療の高度化に貢献可能なシミュレーション基盤の開発を目標に研究を行っている。放射線医療の中でも、我が国の得意分野である、粒子線治療(陽子、炭素などの重粒子)に重点を置き、汎用に利用可能なソフトウェアの開発および、シミュレーション結果の正当性の検証を精力的に行っている。また、 $\gamma$ 線治療、X線治療など他の医療、宇宙など多分野に応用すること考慮にいれ、できるだけ多目的に利用可能であるように設計を行い、再利用可能なソフトウェアツールキットとして開発している。国内にある7箇所の粒子線治療施設を訪問し、要求要件の聞き取りを行った。それを元にユースケースを作成するとともに、ソフトウェアの骨格となるフレームワークの設計と実装、ソフトウェア部品の関係を示すクラス図の作成を行っている。

シミュレーションの高速化のために並列化、GRIDコンピューティング対応にも取り組んでおり、必要な環境の整備を続けている。これをフレームワークとインテグレーションする予定である。また、結果の可視化のためのツールの開発も平行して行われており、画像診断装置からの出力を読み取り、シミュレーションの結果、解析の結果を重ねて表示するためのソフトウェアの仕様が固まり、実装に取り組んでいる。シミュレーションの正当性の検証に関しては、実験結果との比較を行い、陽子線に関しては、双方がよく合致していることが示された。この結果は、ローマで行われたIEEE Nuclear Science and Medical Imaging Conference 2004で発表された。炭素線に関しても、検証が進められている。現状では、全体として、ほぼ予定通り開発が進んでおり、プロトタイプを作成し、機能の検証を行いつつ、研究を進める予定である。

## 2. 研究実施内容

世界中で稼動している粒子線治療施設は、計26箇所あり、そのうち7箇所が国内にある。特に、炭素線治療の行える施設は4施設中、2施設が国内にある。国内の施設のうち、1施設は、陽子線、炭素線両方の治療が行える。以下に各施設名を記す。

- ・ 陽子線
  - 国立がんセンター東病院 (千葉県柏市)

- 兵庫県立粒子線医療センター（兵庫県）
- 筑波大陽子線医学利用研究センター（茨城県つくば市）
- 若狭湾エネルギー研究センター（福井県敦賀市）
- 県立静岡がんセンター（静岡県長泉町）
- ・ 炭素線
  - 放射線医学研究所（千葉県千葉市）
  - 兵庫県立粒子線医療センター（兵庫県、治験終了、承認待ち）

2003年度に研究開始後、各施設を訪問し、装置の詳細な情報を頂くとともに、シミュレーションに関する要求要件の聞き取りを行ってきた。全ての施設の訪問と聞き取りを終了し、各施設の調査を2004年度中に一通り終了した。必要があれば、再度、聞き取りを行うことにしている。

これらの施設の聞き取りの結果、主たる要求要件は以下の通りである。

- ・ 粒子線(陽子、炭素)に対し、数パーセントの精度で実測の線量分布を再現すること
- ・ 画像診断装置、治療計画装置と連携すること
- ・ 使いやすいインターフェースで設定項目を変更可能であること
- ・ 可視化を行うこと
- ・ オープンソースのソフトウェアを利用し、本研究の成果も公開すること(研究に重点を置く施設からの要望)

これらを満足させるべく、各部の設計と実装を行っている。

ソフトウェアの機能と使い勝手を記述するユースケースの作成に前年度から取り組んでおり、今年度で、ほぼ作成が終了した。



図1 筑波大陽子線医学利用研究センターで用いられているボーラス

図1に示したのは、筑波大学陽子線医学利用研究センターで用いられているボーラスで

ある。陽子線のエネルギーを減衰させ、治療すべき患部の形状内で停止させるために用いられている。この形状をシミュレーションに正確に取り込む必要がある。この形状も画像診断装置の出力形式であるDICOMで記述され、画像診断装置からの情報とともにシミュレーションに取り組む必要がある。

炭素線の相互作用に関しては、今後、さらに研究開発が必要なので、まずは、陽子線に関して、プロトタイプソフトウェアを作成し、実験との比較をしてみる事となった。各施設では、ファントムと呼ばれる擬似人体を用い、線量分布の測定が行われている。兵庫県立粒子線医療センターのケースを実装し、実験データとの比較を行った。

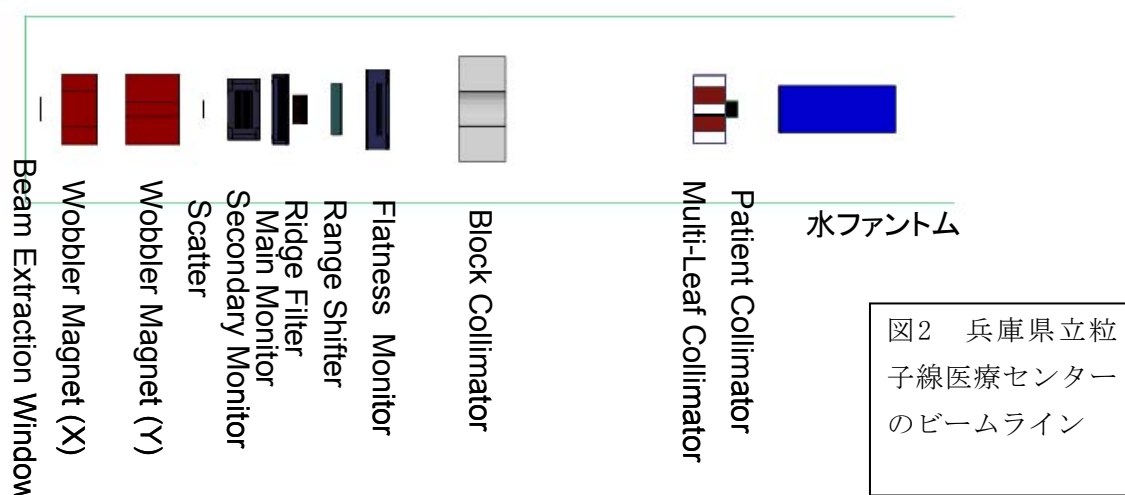


図2 兵庫県立粒子線医療センターのビームライン

図2は、実際にシミュレーションに入力した形状を可視化したものである。複雑な形状を持ち多くの物質で構成されている装置を正確に入力した。

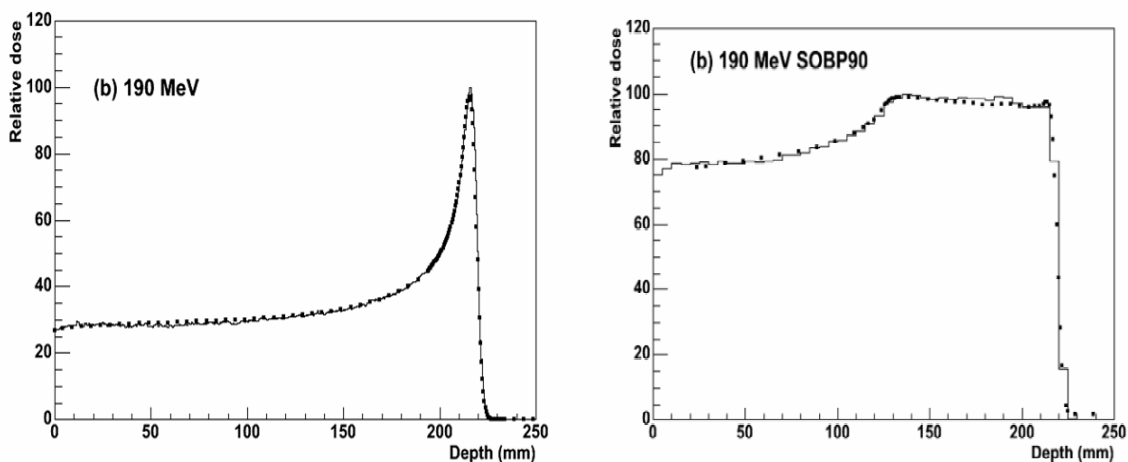


図3 190MeV/cの陽子線を水ファントムに入射し線量分布を求めたものである。点は線量計による測定値、実線はシミュレーションの結果である。左側は、ビームの運動量が一定の場合、右側はリッジフィルターを挿入し、運動量分布に幅を持たせた場合である。

図3に示したように、陽子線に関しては、良い一致を見ることができた。このプロトタイプ作成の知識を生かして、クラス図の作成を行っている。

画像診断装置とのインターフェースのためにDICOM形式のファイルをシミュレーションに取り組むソフトウェアを作成した。現在利用されている画像診断装置からは、一辺が5mmの立方体毎に情報を得ることができきる。たとえば、CTの場合、ほぼその位置の物質の密度に相当する値を得ることができる。この値から、器官を組成している物質構成を参考に物質組成を決定することになる。非常に多数のボクセルをシミュレーションで扱う必要があるので、シミュレーションに時間がかかることが問題となっている。粒子の飛跡を追跡することにも時間がかかるが、それぞれの立方体において、放射線が物質に対して相互作用した影響をスコアリングするために、かなりの時間が費やされてしまう。これを解決するために、粒子の飛跡追跡と別のジオメトリにおいて、スコアリングを行う方法の開発を行っている。

シミュレーションの高速化のために並列化、GRIDコンピューティング対応にも取り組んでおり、必要な環境の整備を続けている。これをフレームワークとインテグレーションする予定である。また、結果の可視化のためのツールの開発も平行して行われており、画像診断装置からの出力を読み取り、シミュレーションの結果、解析の結果を重ねて表示するためのソフトウェアの仕様が固まり、実装に取り組んでいる。グラフィカルユーザーインターフェースに関しては、 $\gamma$ 線治療装置を例としてプロトタイプを作成し、評価を行っている。

### 3. 研究実施体制

#### 総括グループ

- ① 研究分担グループ長： 佐々木 節（高エネルギー加速器研究機構、助教授）
- ② 研究項目： 研究の総括およびインターフェースの設計と実装

#### 重粒子コード検証グループ

- ① 研究分担グループ長： 金井 達明（放射線医学総合研究所、室長）
- ② 研究項目： 重粒子線及び陽子線コードの実験的検証、重粒子線の生物効果

#### 粒子線治療モデリンググループ

- ① 研究分担グループ長： 田中 覚（立命館大学、教授）
- ② 研究項目： Geant4と画像診断装置および治療計画装置とのインターフェースの基礎となるモデル化

#### GRIDグループ

- ① 研究分担グループ長： 佐々木 節（高エネルギー加速器研究機構、助教授）
- ② 研究項目： シミュレーションの並列化およびデータの共有

#### 4. 主な研究成果の発表

##### (1) 論文発表

- 「適応的四面体格子に基づく並列領域分割アルゴリズム」  
木村彰徳 電子情報通信学会 和文論文誌 H17.8発行予定
- 「Total Reaction Cross Sections of Con Plastic Scintillator in the Energy Range of 100-345 MeV/u」  
丸山浩一 Journal of Physical Society of Japan H16.10.13投稿 掲載日未定