

「シミュレーション技術の革新と実用化基盤の構築」

平成14年度採択研究代表者

齋藤 公明

(日本原子力研究所 計算科学技術推進センター 量子生命情報解析グループ 主任研究員)

## 「放射線治療高度化のための超並列シミュレーションシステムの開発」

### 1. 研究実施の概要

本研究では、放射線がん治療を対象として、詳細人体モデルと電磁カスケード・モンテカルロ法を用いた超並列計算により患者に与えられる線量を短時間に高精度で計算し、治療を支援するシステムを開発することを目指している。さらに、高度な放射線治療を実現するために、本システムを強度変調放射線治療（IMRT）やCT集光治療（CT-RX）へ適用する研究を行なうとともに、レーザー駆動陽子線治療を実現するための医療照射プラン構築デモソフト開発と検討を実施する。

平成14年度には、システム全体の概念設計、基本ソフトの準備、環境整備等を中心に研究を実施した。研究作業は、光子・電子を用いた放射線治療に関する研究、及びレーザー駆動陽子線による放射線治療に関する研究の2つに大別して進められている。以下、それぞれの研究毎にその概要をまとめて記述する。

光子・電子線を用いた放射線治療に関する研究では、線量計算システムIMAGINEに求められる要件を整理し、システム全体の概念設計を行なった。この中で、医療現場で用いられている現行の治療計画装置が所持している機能をできるだけ活用するという基本方針で設計を進めた。システムの中核となる線量計算エンジンに関する研究では、以前にEGS4のユーザーコードとして開発したUCRTPをベースにして、線量計算エンジンのプロトタイプを作成し、日本原子力研究所関西研究所（原研関西研）が所有する超並列計算機上（ITBL計算機）で最大128PEを用いた並列計算試験を行ない、良好な結果を得た。また、国内外のモンテカルロ法人体内線量計算コードをレビューし、そのアルゴリズム等を比較検討し、IMAGINEの高速化に利用可能な手法について整理した。人体モデルに関する研究では、IMAGINEで用いる人体モデルの要件について検討し、ボクセルサイズ、領域の分割方法、組成・密度の取り扱い方、データ授受のフォーマット形式等について具体的な仕様を決定した。さらに、加速器ヘッド部のモンテカルロシミュレーションに関する研究では、NRCC（National Research Council Canada）の開発したBEAMコードをTBL計算機にインストールして試算を行ない、光子スペクトルの基本的性質に関する検討を開始した。

レーザー駆動陽子線治療に関する研究では、システム全体の概念設計ならびに年次展開についての詳細検討を行った。また、基本コード群整備の手始めとして、レーザー-タ

ターゲット相互作用による高速イオン生成評価をねらいとするPIC (Particle-in-Cell)粒子シミュレーションのコードの最適化を原研関西の超並列計算機上 (MPP計算機) にて行った。これにより、レーザー駆動イオンビームのエネルギースペクトル、エミッタンス、輝度等についての定量的評価、ならびにターゲット形状、厚さに対する要件を明らかにすることが可能となった。また、線量評価シミュレーションのための準備研究として、高抵抗酸化物の薄膜が放射線照射によって導電性を示すことを利用した検出器開発に向けたシミュレーション解析を行い、その有効性に対する感触を得た。一方、X線透視による動体追跡装置を用いて陽子線治療における定位性を高めるための検討を行ない、問題点等を明らかにした。さらに、兵庫県立粒子線医療センター (HIBMC) と協力機関にある神戸大学放射線科との間で、兵庫情報ハイウェイとSINET (Science Information Network) を利用して、遠隔医療のための接続試験を開始した。

15年度の計画は以下の通りである。光子・電子線を用いた放射線治療に関する研究では、14年度に行ったシステムの概念設計及び国内外のモンテカルロ人体内線量計算コードのレビュー結果に基づき、システム全体の詳細設計を行う。線量計算エンジンについては、ITBL計算機上にプロトタイプを構築済みであり、加速器ヘッドの部分も含めたシミュレーションが可能となっている。これを用いて、エンジンの高速化の研究ならびに加速器ヘッドの光子スペクトルの特性調査を進める。また、人体モデルについては、14年度に決定した基本的要件に基づき、モデル作成アルゴリズムの検討とソフトの開発に着手する。さらに、IMRT及びCT-RX用のIMAGINE開発を開始する。ここではまず、それぞれの治療における照射条件の特徴を明確にし、これに対応した人体モデル、線量計算手法に関する検討を行う。

レーザー駆動陽子線治療に関しては、PIC粒子シミュレーションにより、レーザー駆動陽子線の特性評価ならびに、諸パラメータ依存性について解析を進める。また、パルス制御X線透視による腫瘍位置のリアルタイム動体追跡照射治療装置について理論的考察を行う。さらに、HIBMC-神戸大学での画像転送、解析ならびにHIBMC-原研接続試験を開始し、モンテカルロ法の治療計画への利用についての検討を進める。

## 2. 研究実施体制

### (1) 光子・電子モンテカルロ計算高速化研究グループ

- ① 研究分担グループ長：齋藤秀敏 (東京都立保健科学大学 放射線学科、助教授)
- ② 研究項目：光子・電子モンテカルロ計算の高速化に関する研究

### (2) 人体モデリング研究グループ

- ① 研究分担グループ長：齋藤公明 (日本原子力研究所 計算科学技術推進センター 量子生命情報解析グループ、主任研究員)
- ② 研究項目：人体モデリング手法に関する研究

### (3) IMRT応用研究グループ

- ① 分担グループ長：成田雄一郎 (千葉県がんセンター 放射線治療物理部、技師)

- ② 研究項目：IMRT線量評価システムの開発
- (4) CT集光治療装置応用研究グループ
  - ① 分担グループ長：国枝悦夫(慶応義塾大学 医学部 放射線科学教室、専任講師)
  - ② 研究項目：CT集光治療装置の線量評価システムの開発
- (5) レーザー駆動粒子線応用グループ
  - ① 研究分担グループ長：田島俊樹(日本原子力研究所 関西研究所、所長)
  - ② 研究項目：レーザー駆動粒子線による医療照射プラン構築デモソフト開発