

審査の結果の要旨

氏名 宮武 彩

論文は、国立がんセンター東病院で研究開発された Beam ON-LINE PET system mounted on a rotating gantry port (BOLPs-RGp) によって取得された照射領域画像情報を利用した陽子線治療の高精度化に関するものである。陽子線の特徴を活かしたより高精度な陽子線治療を患者に提供するため、現在の実臨床での BOLPs-RGp の運用法における課題が検討され、実臨床で利用可能な治療計画照射領域の Activity 分布シミュレーションシステムの構築の必要性が熟慮されている。更にその理念に基づき、シミュレーションシステムの実臨床での利用を可能にする、高速・高精度の Activity 分布の計算アルゴリズムの研究開発を行ったものである。

第一章では、がんの治療法の一つである放射線治療の中の陽子線治療について説明されている。

第二章では、陽子線の特徴である線量集中度を最大限に活かすより高精度な治療を実施するためには照射領域の可視化が必要であるとし、陽子線照射によって患者体内で起こる標的原子核破砕反応により生成されるポジトロン放出核の分布・強度を PET (Positron Emission Tomography) システムで測定し画像化する手法について、原理から実臨床での一つの利用形態である BOLP-RGp の概要まで説明されている。

第三章では、論文の根幹である照射領域可視化シミュレーションに必要とされる人体元素別化、及び実臨床での利用を目的として考案された計算アルゴリズムの特徴と共に、研究開発された Activity 分布シミュレーションについて論じられている。日々取得される Activity 分布画像の相対比較によって腫瘍への照射精度を担保するという現在の BOLPs-RGp の運用法に対し、陽子線が腫瘍への確に照射されたかを定量的に評価するため、患者体内における陽子線の線量分布と Activity 分布の相関を正確に把握し、生成されるポジトロン放出核の種類・位置・強度を精度良く算出する必要があるとしている。この Activity 分布のシミュレーションを実施する方法の一つにモンテカルロ法の利用があるが、計算精度と計算時間を考慮すると現状では実臨床での利用は不可能としている。そこで、臨床利用が十分可能な計算速度・精度を実現する、新たな Activity 分布の計算アルゴリズムとして Activity Pencil Beam 法を考案した。この手法は、標的原子核破砕反応で対象となりうる人体構成原子核より生成される Activity 分布の計算を、化合物中での陽子線の多重クーロン散乱効果を考慮してペンシルビームカーネル化させて取扱う手法である。この手法で利用する反応断面積情報は、ターゲットに陽子線を照射し、生成されたポジトロン放出核の深部依存（エネルギー依存）の Activity 分布を全て BOLPs-RGp で実測することで取得するため、モンテカルロ法に対して精度の向上が期待できる。また、取得した Activity 分布をペンシルビームカーネル化して取り扱うことで、計算時間の大幅な短縮が可能となる。従って、考案した Activity Pencil Beam 法は、モンテカルロ法の課題であった精度と計算時間の両方が改善され、実臨床での利用が見込まれたとしている。

第四章では、前章で考案したシミュレーションシステムの実装データとなるペンシルビーム化した Activity 分布について、変換係数の導出を初め、様々な検証を重ねて確立した取得法が述べ

られ、必要とされる実装データを全て取得したことが示されている。

第五章では、前章までに得られた知見を基に、シミュレーションシステム全体の計算精度に影響する様々な項目について、詳細な考察がなされている。更に、エネルギー閾値によって標的原子核破碎反応では観察できないレンジ周辺部の照射領域可視化についても検討されている。第六章では、本論文で提案されたシミュレーションシステムの今後の展開と共に結論が述べられており、今後の発展を期待させ、非常に貴重且つ重要な見解であると言える。

以上のように本論文は、Activity 分布シミュレーションシステムに関して、実臨床で利用可能な高精度・高速である新たな計算アルゴリズム Activity Pencil Beam 法を考案したものである。また、考案した Activity 計算アルゴリズムを搭載したシミュレーションシステムを構築することで、照射領域可視化を利用した高精度陽子線治療を患者へ提供することが可能になることが示唆されている。陽子線照射領域可視化の研究においてこのような例は無く、本論文で考案している Activity 分布計算アルゴリズムを搭載した照射領域可視化シミュレーションシステムの実用が、照射領域可視化を利用した陽子線治療においてスタンダードになると期待できる。実用性は極めて高く、新規性も適当に盛り込まれ、工学での研究成果が国民生活へ貢献できることを示した非常に意義のある論文であると言える。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。