

氏 名	いし かわ まさ より 石 川 正 純
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学位記番号	論エネ博第 26 号
学位授与の日付	平成 14 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	Development of New Absorbed Dose Estimation System for Boron Neutron Capture Therapy (ホウ素中性子捕捉療法における新しい吸収線量評価システムの開発)
論文調査委員	(主 査) 教授 神田啓治 教授 中込良廣 教授 今西信嗣

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、これまで治療が困難とされていた悪性脳腫瘍を治療できる可能性の高いホウ素中性子捕捉療法に対する新しい吸収線量評価法を提案するもので、5章からなっている。

第Ⅰ章は緒言で、ホウ素中性子捕捉療法の理論と歴史について説明し、現在日本で行われているホウ素中性子捕捉療法の概要とその吸収線量評価法について述べている。

現在行われている吸収線量評価法では、患部付近の中性子束と血中ホウ素濃度から患部の吸収線量を推定しているが、①中性子束は原子炉の出力に応じて変動する、②患部のホウ素濃度は時間とともに減少する、③血中ホウ素濃度と患部のホウ素濃度は必ずしも一致しない等の理由から、現在の測定法では十分な精度が得られているとは言えないため、より精度の高い吸収線量評価法が必要であることを提言している。

第Ⅱ章では、緒言でその必要性を提示した新しい吸収線量評価法について提案し、その測定装置である PG-SPECT (Prompt Gamma-ray Single Photon Emission Computed Tomography) について基本的な設計及び検討を行っている。

ホウ素中性子捕捉療法では、ホウ素と中性子の核反応によるエネルギーを利用して腫瘍を死滅させているが、その反応の際に 478keV の即発 γ 線も発生することから、PG-SPECT では、この即発 γ 線に対して、核医学の分野で活躍している SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) の技術を応用することによって、照射範囲全体の吸収線量分布をオンラインで評価しようとしている。

PG-SPECT を実現するための条件として、シグナルとなる即発 γ 線の発生量が十分であることが挙げられるが、現在行われている治療の条件からその発生量を計算し、十分な量が発生していることを計算により確認している。また、PG-SPECT システムで測定する γ 線のエネルギー (478keV) がアニヒレーション γ 線 (511keV) に近いことから、エネルギー分解能の良い HP-Ge 半導体検出器と CdZnTe 半導体検出器を用いた測定実験を行い、照射室内でもホウ素からの即発 γ 線を測定可能であることを確認している。特に、CdZnTe 半導体検出器が PG-SPECT の検出器として有効であることを述べている。

第Ⅲ章では、PG-SPECT の実現可否を左右する、検出器およびコリメータに関する検討を行っている。

PG-SPECT は、治療中の吸収線量を測定することが目的であるため、検出器部分は照射室内に設置される。照射室内は中性子線及び γ 線などのバックグラウンド放射線が多量に存在しているので、PG-SPECT による測定を有効に行うには、検出器の周囲に十分な遮蔽を施す必要がある。しかしながら、コリメータ部分では、患部で発生する即発 γ 線を検出するための穴が空いていることから、バックグラウンド放射線の存在下でも有効な測定のできる検出器の選定及び、バックグラウンド γ 線を遮蔽し、かつ、十分な測定性能を得るためのコリメータシステムに関する検討を行っている。コリメータシステムの検討では、あらゆる検出器に対して有効な最適指数を提案し、コリメータの最適形状を計算によって導出することを可能とした。

第Ⅳでは、PG-SPECT 測定の統計誤差を削減する方法として、統計的手法を用いた方法について検討している。

$^{10}\text{B}(n, \alpha\gamma)^7\text{Li}$ 反応で放出される 478keV の γ 線は、高速で運動しているリチウム原子核から放出される。そのため、放出される γ 線は、ドップラー効果の影響により、特有のエネルギースペクトルを持っている。この特有のエネルギースペクトルを理論的に導出し、最尤推定法を用いて測定データを解析することにより、従来の TEW (Triple Energy Window) 法と比べて、即発 γ 線測定の精度を最大約20%削減することに成功している。

第V章は結論で、本研究により得られた成果のまとめと、今後の課題の総括を行っている。

PG-SPECT が完成すれば、これまで困難とされていたホウ素中性子捕捉療法中の吸収線量評価が実現できる可能性がある。照射中にオンラインで吸収線量分布を評価することはホウ素中性子捕捉療法にとって究極的な吸収線量評価法であり、治療成績は飛躍的に向上するものと思われる。

PG-SPECT 開発のための基礎的な検討が終了し、実現の可能性を十分に見いだせたことから、今後は試作機を製作し、さらなる検討を継続していく予定である。

論文審査の結果の要旨

本論文は、悪性脳腫瘍の治療に有効とされるホウ素中性子捕捉療法のための新しい吸収線量評価法について提案したもので、得られた主な成果は次のとおりである。

まず、現在行われているホウ素中性子捕捉療法の吸収線量評価法とその方法が直面している問題について述べ、治療成績を向上させるために、より精度の高い吸収線量評価法が必要であることを示した。

より精度の高い吸収線量評価法として、ホウ素中性子捕捉療法では、ホウ素と中性子が反応する際に即発 γ 線が発生することから、この即発 γ 線を測定することによって吸収線量分布を評価する装置 (PG-SPECT) を提案した。

PG-SPECT は治療照射場に設置されるので、バックグラウンド放射線が多量に存在する中での測定となるため、代表的な数種類の検出器の中から、測定環境から要求される条件に見合う検出器の選定を行った後、遮蔽を兼ねたコリメータシステムについて検討を行った。統計的な導出から得られた最適指数を新たに提案し、この指数を用いることによって、条件が変化しても簡便にコリメータシステムの設計が行えるようになった。

さらに、PG-SPECT での測定は、厳しい環境で行われるので、測定の統計精度が問題になると予測されることから、即発 γ 線のエネルギースペクトルを統計的に解析することにより、測定の統計精度を向上させる方法を開発し、従来の測定方法に比べて誤差を最高約20%低減することに成功した。

以上、本研究はホウ素中性子捕捉療法の治療成績を向上させるための新しい吸収線量評価システムを具体的かつ定量的に提案し、それを実現するために解決しなければならない問題点について具体的な解決案を提示したものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士 (エネルギー科学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成14年1月9日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。