

Title	陽子線の飛程による水の平均励起エネルギーの決定
Author(s)	熊崎, 祐
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48897">https://hdl.handle.net/11094/48897</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	熊崎祐
博士の専攻分野の名称	博士（保健学）
学位記番号	第 21668 号
学位授与年月日	平成 20 年 2 月 21 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 医学系研究科保健学専攻
学位論文名	陽子線の飛程による水の平均励起エネルギーの決定
論文審査委員	(主査) 教授 手島 昭樹 (副査) 教授 春名 正光 教授 村瀬 研也

### 論文内容の要旨

陽子線の水に対する阻止能 (stopping power) は陽子線の水の吸収線量と飛程を決定するため、陽子線治療において重要なものである。IAEA や ICRU は  $^{60}\text{Co}$  で校正された空気電離箱を用いて水の吸収線量を決定している。陽子線によって生じた電荷は水と空気の阻止能比を用いて、水の吸収線量に変換される。現在、阻止能は ICRU によって与えられており、Bethe-Bloch 理論式から得られる。また、この理論式から飛程が決定される。この理論式で最も重要なパラメータは平均励起エネルギー (I-value) である。ICRU は水の I-value を  $75 \pm 3 \text{ eV}$  と公表している。ICRU の I-value は誘電応答関数を使用して得られたものと、実験的に求めた阻止能から得られたものの平均である。ICRU49 レポートが完成した後に、Bichsel と Hiraoka は ICRU が公表しているアルミニウムの I-value を基準にして、水の I-value を相対的に決定し、 $80 \pm 2 \text{ eV}$  と報告している。また、Dingfelder は水の I-value を  $81.8 \text{ eV}$  と報告し、さらに Krämer は  $77 \text{ eV}$  と報告している (不確定さはどちらも記述されていない)。いずれも ICRU より大きな I-value が報告されているが、I-value が  $75 \text{ eV}$  と  $80 \text{ eV}$  では  $10 \sim 250 \text{ MeV}$  の陽子線の阻止能に  $0.8 \sim 1.2\%$  のずれを生じさせることになる。阻止能のずれは吸収線量のずれだけでなく、飛程のずれ ( $250 \text{ MeV}$  で約  $3 \text{ mm}$ ) も生む。また、ICRU は水の I-value を基準としてその他の物質の I-value を相対的に決定しているため、I-value のずれは広範囲に及ぶ。さらに、電子線の阻止能もこの I-value の値を使用しているため、電子線の吸収線量にも影響する。従って、より高精度な治療を行うためには、現在の I-value を検証し、正確な I-value を決定する必要がある。そこで、本研究では陽子線の飛程から水の I-value を絶対的に決定する方法を開発し、それを用いて I-value を検証した。

陽子線の Bragg Peak に対する 80%線量レベルが陽子線の飛程に一致するという経験則を用いて、150、190、230 MeV の陽子線の飛程を決定した。飛程と線量レベルの関係は解析的モデルとモンテカルロシミュレーションによって検証し、 $\pm 3.0\%$  で一致することを確認した。I-value は、測定した飛程が Bethe-Bloch 理論式を用いて得られる CSDA (Continuous-Slowing Down Approximation) 飛程に一致するように決定された。新しく求められた I-value は  $78.4 \pm 1.0 \text{ eV}$  で、これは最近の結果と矛盾しない。不確定さにおいても、従来の I-value の不確定さより小さくすることができた。主な不確定さは線量レベルの選択の不確定さ、水ファントム内電離箱の設置誤差、ビームライン機器の水等価厚の不確かさによるものであった。

## 論文審査の結果の要旨

学位申請者は、陽子線の深部線量分布から飛程を絶対的に決定する方法を開発して、その方法を用いて陽子線治療において重要である阻止能（飛程や吸収線量に影響を及ぼす）を決定する最も重要なパラメータである水の平均励起エネルギー（I-value）の値を決定した。近年、報告されている I-value の値は相対的に決定したものばかりで、陽子線における飛程の絶対値から I-value を報告した論文はない。求めた I-value ( $78.4 \pm 1.0$  eV) は ICRU の値 ( $75.0 \pm 3.0$  eV) より大きく、近年報告されている値（ICRU の値より大きな値）と矛盾せず、それらの信頼性を高めるものである。また、近年報告された論文には不確定さについての記述はないが、学位申請者は不確定さの様々な要因（飛程の決定方法のあいまいさ、測定系の誤差など）を洗い出し、検証して不確定さを見積もっており、しかも、従来の I-value の不確定さより小さくした。さらに、近年放射線治療領域で使用されているモンテカルロシミュレーションについて、すべての物理現象を再現できていないことを発見し、その問題点についても述べている。

陽子線の水に対する阻止能は陽子線の水吸収線量と飛程を決定するため、この I-value の相違は陽子線治療に対するずれを生じさせる。この ICRU より大きな I-value を治療計画装置にフィードバックすることによって、より高精度な治療が可能となると考えられる。また、ICRU は水の I-value を基準としてその他の物質の I-value を相対的に決定しているため、この水の I-value のずれは広範囲に及ぶ。さらに、電子線の阻止能もこの I-value の値を使用しているため、電子線治療にも影響すると考えられる。つまり、本論文で正確な水の I-value を決定したことは、放射線治療・放射線計測における貢献度は大きいものである。

よって、本論文は博士論文として十分に価値があるものと認める。