

論文の要旨

博士学位請求論文

A Hydrologic-based Lumped Methodology for the Internal Dose Calculation

水文学的集中化法による内部被曝量評価手法の研究

要旨

本博士学位請求論文は水文学において用いられている集中化法に基づき、人体を単一の組織とみなすことで **lumped model** として人体の放射線内部被曝量を容易に計算する手法を提案したものである。放射線医学において内部被曝線量を計算するための標準的な手法として広く採用されている数理ファントム法は人体を忠実に再現した 3次元デジタルデータを用いて各臓器の被曝線量を求めるものであり、この手法が流域をサブ流域で分割して各サブ流域での状態量を計算する水文学における **distributed model** に相当することを指摘している。それに対し、人体を単一の組織とみなして内部被曝線量を計算する本論文において提案された手法は水文学における **lumped model** に相当する。流域の下端等、懸案地点の流量を求めたい場合には必ずしも精緻な **distributed model** を用いる必要はなく、簡便な **lumped model** によって基準点流量を再現できることは、水文学の分野で長年培われてきた重要な知見である。放射線防護を目的とする場合、個々の臓器ごとの線量ではなく全身で受ける線量が重要となることから、人体を忠実に再現した数理ファントムを用いずに、人体を単一の組織とみなす **lumped model** によって十分に精度よく全身における内部被曝線量を計算出来ることを示したことが、本論文によって得られた重要な成果である。論文の構成・内容は下記に示す通りである。

第 1 章では福島第一原子力発電所事故によって拡散した放射性同位体の経口摂取による内部被曝による健康被害を多くの人が不安を訴えている現状に対して、一般の科学技術者にとって理解容易な内部被曝を計算する手法の必要性を主張した。

第 2 章では人体における放射性同位体の原子数の保存則にのみ基づいて連続式を立式し、人体における放射性同位体の原子数、人体における放射能強度、原子核崩壊の累積回数の計算を行った。チェルノブイリ原子力発電所事故後のドイツで行われたホールボディカウンタによる調査と比較し、本論文の手法が人体の放射能強度を十分に精度よく計算できることを示した。

第 3 章では **Fermi** のベータ崩壊の理論にもとづいて原子核崩壊図から 1 回の原子核崩壊あたりで人体に吸収される放射線のエネルギーを求め、それに基づき実効線量の計算を行った。国際放射線防護委員会の先行研究によって計算された預託実効線量と、本論文で提案された実効線量を計算する手法で得られた預託実効線量との比較を行い、本論文で提案された水文学的集中化法に基づいた手法が放射線医学の先行研究と同等の精度を持つことが確認された。

第 4 章では人体における放射能強度を計算する手法と同様の手法を用い、土壌における放射能強度と、その農作地で収穫された農作物を摂取した時に受ける実効線量を第 3 章で提案した手法に基づいて計算した。放射性降下物が沈着した農作地で収穫された農作物を 50 年間摂取し続けた場合にもたらされる線量が自然放射線による被曝と同程度であることを示した。

第 5 章では放射能の摂取量と生物学的半減期の分布と不確実性を取り入れて、確率解析を用いて人体における放射能強度と実効線量の確率密度関数を求めた。第 2, 3 章における決定論的な方法論は公衆の平均的な被曝線量を求めるには有益な手法であることに対し、第 5 章の結果は一定の基準値を超える線量を受ける確率の計算を可能にし、放射線防護に関するリスク解析を行うことが出来る点において重要な成果である。

第 6 章では本論文で得られた知見をまとめ、研究全体の位置付けと応用性を示している。

論文審査の結果の要旨

1. 博士学位請求論文題目

A Hydrologic-based Lumped Methodology for the Internal Dose Calculation

水文学的集中化法による内部被曝量評価手法の研究

2. 論文審査結果の要旨（当該分野での位置づけ、論文構成、独自性及び成果、課題、評価）

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震が引き起こした津波によって福島第一原子力発電所の原子炉格納容器から放射性同位体の漏洩、拡散が起こり、多くの国民が放射線による健康被害について不安を訴えている。その現状に対して、内部被曝を計算するための標準的な手法として用いられているモンテカルロシミュレーションを取り入れた数理ファントム法は放射線医学の専門家以外にとってその全体を理解することが困難であるのが現状である。本博士学位請求論文は放射線防護の目的、あるいは防護計画を立案するに当たって必要となる内部被曝を計算する手法を提示することを目的としている。本論文においては水文学において用いられる集中化法に基づき人体を単一の組織とみなしている。この考え方に基づき **lumped model** として人体の放射線内部被曝量を容易に算出できるようになった。さらに放射能汚染された土壌から食物への移行過程をモデル化し、さらにそれらを摂取したときの被曝量分布とリスク評価を理論的に算出する手法を示している。

論文の構成とそれぞれの成果は以下のとおりである。

第1章では先述の数理ファントム法が一般の科学技術者にとってその全体を理解することが困難であることを指摘し、一般の科学技術者にとって理解容易な内部被曝を計算する手法の必要性を主張した。

第2章では人体における放射性同位体の原子数の保存則にのみ基づいて連続式を立式し、人体における放射性同位体の原子数、人体における放射能強度、原子核崩壊の累積回数の計算を行った。本論文の手法で計算された人体における放射能強度の解析解とホールボディカウンタによる実測を比較し、本研究の人体における放射能強度を計算手法が十分な正確性を持つことを示した。

第3章では **Fermi** のベータ崩壊の理論にもとづいて原子核崩壊関から1回の原子核崩壊あたりで人体に吸収される放射線のエネルギーを求め、それを第2章で求めた原子核崩壊の累積回数と掛け合わせることで実効線量の計算を行った。国際放射線防護委員会の先行研究によって計算された実効線量と比較することで、本研究で提案された実効線量を計算する手法が放射線医学の先行研究と同等の正確性を持つことを示した。

第4章では人体における放射能強度を計算する手法と同様の手法を用い、土壌における放射能強度と、その農作地で収穫された農作物を摂取した時に受ける実効線量の計算を第3章で提案した手法に基づいて行った。

第5章では確率解析を用いて放射能の摂取量と生物学的半減期の分布と不確実性を取り入れて、人体における放射能強度の連続式に揺動項を加える事で得た **Langevin** 方程式を数学的に等価な **Fokker-Planck** 方程式に書き換え、それを解くことで人体における放射能強度と実効線量の確率密度関数を求め、放射線防護に関するリスク解析を行う手法を提案した。

第6章では本論文で得られた知見をまとめ、研究全体の総括を行った。

以上、本博士学位請求論文は水文学における知見を放射線防護に応用し、内部被曝線量を計算するための理解容易な手法を提供した、新規性と独自性を持つ学術的に重要な論文であると認められる。

最終試験の結果も踏まえ、審査員一同は佐々木翔太氏の博士学位請求論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものと判断した。