Developments of Models for Radionuclides Transfer in the Environment and Methodologies for Dose Assessments

(環境における放射性核種移行モデルおよび被曝線量評価手法に関する研究)

学位論文内容の要旨

核燃料サイクルを構成する原子力諸施設から周辺環境への放出が予想される放射性核種に起因する公衆への放射線影響を把握することにより、これら諸施設の設計と立地を決定する上で不可欠な情報が得られる。この影響を推定する方法は、様々な環境媒体と生態圏における核種移行、及びそれらに起因する被曝線量または健康影響リスクを推定するための計算モデル及びモデル計算に用いられるデータベースとから構成される。これまで日本で整備された手法の多くは、元来軽水炉に使用するために欧米で開発され、そのままあるいは多少の改良を施して日本に導入されたものであった。そのため、日本における他の原子力施設、例えば再処理施設や放射性元素取扱施設などに適用することが困難な場合があった。本研究では、これらの困難を解決するため、環境における放射性核種移行及び被曝線量評価に関する新しい手法を開発した。この開発では、軽水炉のみならず他の原子力施設、特に再処理施設へ適用すること、大気及び海洋への核種放出による放射線影響を一貫して評価すること、日本の環境条件及び日本人の体格・代謝的特徴に関する最新の情報をできるだけ取り入れること、線量またはリスク評価に対してより現実的な結果を与えることを考慮した。

再処理施設に起因する被曝線量評価手法の開発と適用では、大気及び海洋へ放出される放射性核種の移行及び公衆への被曝線量を評価する計算コードシステムを開発した。また、開発した手法を東海モデル施設へ適用して集団線量の推定を試みた。推定結果は、再処理施設に起因する日本人公衆の集団線量評価としては我が国初の試みであり、大気及び液体放出物の集団線量に対する相対的重要度、及び各放出物に対する重要な放射性核種と被曝経路を明らかにした。

原子炉事故時放射線影響評価手法の開発では、原子炉の確率論的安全評価研究の一環として、事故時放射線影響解析コードシステムに組み込む健康影響評価コードを開発した。本研究では、我が国における最新の発癌動態調査、及び広島・長崎における原爆線量再評価結果とそれに基づいた被爆生存者の疫学調査結果を用いることにより、日本人への適用を考慮した健康影響評価モデルを構築した。また、開発したモデルを日本人集団へ適用して癌死亡率を推定し、米国人集団に対する推定結果と比較・検討した。このモデルの開発により、原子炉事故時放射線影響解析コードシステムは完成し、原子炉事故に伴う潜在的影響評価を実施することが可能となった。

チェルノブイル事故に起因する日本への影響評価では、1986年に発生したチェルノブイル事故に起因する我が国への放射線影響を評価するため、これまで開発した被曝線量評価手法及び事故後に全国で実施された放射能測定データを使用して、日本における最大個人線量及び集団線量を評価した。本研究は、事故に起因する線量評価を包括的及び系統的に実施した例としては、我が国では唯一のものである。評価の結果、事故による放射線影響は自然放射線と比較して無視できるほど小さく、その地域的・時間的変動の範囲内である

ことを明らかにした。

都市環境における被曝評価モデルの開発では、デンマークの Risø 国立研究所と協力し、原子炉事故時放射線影響評価の際に重要となる都市環境における核種移行及び被曝線量評価モデルを開発することを目的とした。ここでは、事故時に実施すべき被曝低減化対策のうち、最も効果的であると考えられる庭の除染による線量率低減を推定する計算コードを開発した。この計算コードによるモデル予測とチェルノブイル周辺地域の野外実験結果には相違が見られたが、庭の除染は事故時の外部被曝線量率を低減するのに大きな効果を持つことが計算上でも確認された。

放射性核種の生態圏中移行モデルの妥当性検証では、国際共同研究 BIOMOV5 への参加を通じて、主として生態圏核種移行モデルの検証・改良とパラメータの最適化を行った。ここでは、湖の生態圏における放射性核種または安定微量元素の水中移行と生体濃縮に関する 2 種類のモデル検証シナリオの結果について記述した。本研究は、計算モデルとパラメータ値を如何に検証するか、核種移行及び生体濃縮をより正確に予測するために如何にそれらを改良・最適化するかを示した。

内部被曝線量換算係数の整備では、元来欧米の職業人を対象として開発されたモデルを日本人公衆へ適用するため、換算係数を基礎データから系統的に一貫して算出する計算コードシステムを整備した。開発したコードシステムを使用し、放射性ヨウ素の内部被曝線量換算係数について、日本人の代謝特性を考慮した値を算出した。日本人に対する値は、実効線量及び甲状腺線量とも欧米人に対する値より小さく、特に長半減期核種ほどこの差違が顕著になることを明らかにした。

日韓露共同海洋調査では、旧ソ連及びロシアによる海洋への放射性廃棄物投棄の現時点での放射線影響を評価するため、海水及び海底土試料に含まれる放射性核種濃度を測定・解析した。この結果、投棄海域で検出された人工放射性核種は核実験によるファールアウトに起因することを確認した。一方、将来に渡る潜在的な放射線影響を評価するため、日本海のウラジオストック沖に投棄された液体放射性廃棄物に対して、海産物摂取による日本人への集団線量を推定した。核実験におけるフォールアウト及び自然放射性核種に起因する集団線量の推定結果と比較し、液体放射性廃棄物による線量は無視できるほど小さいものであることを示した。

世界海洋における放射性核種濃度に関する研究では、IAEA で実施された国際プロジェクトを通じて、外洋における放射性核種の分布と挙動を測定・解析した。ここでは、世界海洋放射能データベースを開発し、西部北太平洋及びその周辺海域における放射性核種濃度分布の特徴を明らかにした。また、海水中の ^{14}C 濃度の測定値と 1973 年の観測結果との比較により、核実験起源の中層水における ^{14}C インベントリは 24 年間に 20%以上増加していることを明らかにした。

ムルロア及びファンガトオーファ環礁における核種移行の推定では、IAEA ムルロア・プロジェクトに参加し、日本近海を対象として開発した核種移行モデルを環礁周辺海域に適用してモデルの適用性と妥当性を検証するとともに、線量評価に資するために環礁周辺における放射性核種の移行・拡散を推定した。現実的な 4 種類のソースタームに対する推定結果より、核実験に起因する放射性核種濃度はバックグラウンド濃度と同等あるいはそれより低い値であることを示し、周辺環境に重大な放射線影響を及ぼさないことを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 澤 村 晃 子

副 査 教 授 島 津 洋 一 郎

副 査 教 授 佐 藤 正 知

副 査 教 授 大 西 俊 之 (北海道大学大学院医学研究科)

学 位 論 文 題 名

Developments of Models for Radionuclides Transfer in the Environment and Methodologies for Dose Assessments

(環境における放射性核種移行モデルおよび被曝線量評価手法に関する研究)

近年、工学が社会に与える影響評価に関心が高まっており、原子力工学においてもその安全性や環境影響の高精度な評価への要請が一層強くなっている。原子力施設による一般公衆の被曝評価の信頼性を高めることは、この要請に応えるうえで大変重要である。しかし、被曝評価には、放射性核種発生源、核種移行経路等が多岐かつ広範囲に渡り、また、天候その他の自然環境要素、その他様々な確率統計的要素が複雑にからみあい、評価量を得るための作業は膨大なものとなる。本論文では、これらの評価に要する基礎的データの集積を基に、現実的な作業量をもって最良の評価値を得る手法の確立を目指すものである。

本論文で提案する手法は、様々な環境媒体と生態圏における核種移行、それらに起因する被曝線量または健康影響リスクを推定するための計算モデル及びモデル計算に用いられるデータベースとから構成されている。本研究では、大気及び海洋への核種放出による放射線影響を一貫して評価すること、日本の環境条件及び日本人の体格・代謝的特徴に関する最新の情報をできるだけ取り入れることにより、原子力施設およびその他の放射性核種放出源による影響についてより現実的な評価を与えることを目標としている。本論文は以下の7章から構成され、第2章以下に本研究の成果が示されている。

第1章では本研究の目的と全体の構成について述べている。

第2章では再処理施設に起因する被曝線量評価手法および計算コードシステムの開発とモデル施設へのその適用について述べている。その結果、わが国の集団線量、大気及び液体放出物の集団線量に対する相対的重要度、及び重要な放射性核種と被曝経路を明らかにした。また、我が国における最新の発癌動態調査、広島・長崎における原爆線量再評価結果とそれに基づいた疫学調査結果を用いて健康影響評価モデルを構築した。これらのコードは原子炉事故時放射線影響解析コードシステムに組み込まれ、原子炉事故に伴う潜在的影響評価を実施することを可能とした。本研究結果はわが国の原子力諸施設の安全指針策定に寄与する最新の情報として採用されている。

第3章ではチェルノブイル事故後に日本全国で実施された放射能測定データを使用し、第1章で開発された評価コードを用い、事故に起因する公衆への影響評価について述べて

いる。日本における最大個人線量及び集団線量の評価の結果は、事故による放射線影響が自然放射線と比較して無視できるほど小さく、地域的・時間的変動の範囲内であることを明らかにした。また、事故サイトにおける被曝の低減化対策の評価においても本開発手法が有効であることを明らかにした。

第4章では、2、3章および本章に続く第5章で用いられている被曝線量評価に必須な被曝線量換算係数について詳述している。本研究では、従来の欧米職業人を対象として開発されたモデルを日本人公衆へ適用するため、基礎データから系統的に一貫して換算係数を算出する計算コードシステムを整備した。本コードシステムを使用し、特に被曝評価に重要な放射性ヨウ素について内部被曝線量換算係数を算出し、日本人に対する値は、実効線量及び甲状腺線量とも欧米人に対する値より小さく、特に長半減期核種ほどその差違が顕著になることを明らかにした。

第5章では海洋への人為的放出による放射線影響に関する国際共同研究について述べている。旧ソ連及びロシアによる海洋への放射性廃棄物投棄放射線影響評価（日韓露共同海洋調査）、ムルロア及びファンガトオーファ環礁における核実験に起因する放射性核種濃度、外洋における放射性核種の分布と挙動（IAEA 国際プロジェクト）の研究により、投棄海域で検出された人工放射性核種は核実験によるファールアウトに起因し、液体放射性廃棄物による線量は無視できるほど小さいこと、核実験に起因する放射性核種濃度はバックグラウンド濃度と同等あるいはそれより低い値であることを示した。また、2・3章及び本章で用いた等分割コンパートメントモデルが海洋での核種移行の記述に有効であることを検証した。

第6章では国際共同研究 BIOMOVS への参加を通じて行った生態圏核種移行モデルの検証・改良とパラメータの最適化について述べている。本研究では、計算モデルとパラメータ値を如何に検証するか、核種移行及び生体濃縮をより正確に予測するために如何にそれらを改良・最適化するかを示している。第7章では2～6章までの成果を総括している。

これを要するに、著者は、原子力施設やその他の放射能放出源から環境中への放射性核種移行およびその結果一般公衆がこうむる被曝線量・健康影響の評価法を開発・検証し、さらにわが国の集団線量等の評価・解析に新知見を得たものであり、原子力工学特に原子力安全工学・放射線環境学等へ貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。