

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K07741

研究課題名（和文）放射性物質の形態を考慮した吸入内部被ばく線量計算コードの開発

研究課題名（英文）Development of inhalation internal exposure dose calculation code considering the form of radioactive materials

研究代表者

岩岡 和輝（Iwaoka, Kazuki）

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学研究所 放射線規制科学研究部・主幹研究員

研究者番号：70466051

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：放射線事故等により大気中に放射性物質が放出された場合、人は呼吸によって放射性物質を体内に取り込み被ばくする可能性がある。吸入による被ばく線量は呼吸気道内に取り込まれる放射性物質の形態に大きく関係すると言われている。本研究成果は、放射性物質の形態に応じた吸入被ばく線量を計算するコードの開発を検討したものであり、吸入被ばく事故の際に正確な被ばく線量に応じた防護処置（治療、投薬など）の実施につながるものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

原子力発電所事故等により大気中に放出・拡散された放射性物質は、呼吸によって体内に取り込まれ内部被ばく（吸入被ばく）を引き起こす場合がある。そのような被ばく者に対して適切かつ迅速な処置（安定ヨウ素剤投与、代謝促進薬投与、治療など）を実施し人体への影響を最小限に抑えるためには、吸入被ばく線量を正確に評価することが重要となる。本研究で検討した吸入被ばく線量計算コードは、将来発生するかもしれない吸入被ばく事故等における精密な線量評価に資するものである。

研究成果の概要（英文）：When radioactive materials are released into the atmosphere due to a radiation accident, the public could be exposed to radiation through inhalation. For the estimation of inhalation dose, it is said that the form of radioactive material has a significant factor. In this study, the development of a calculation tool for inhalation doses depending on the form of radioactive materials was considered. The results in this study could be useful for the appropriate implementation of protective measures (treatment, medication, etc.) according to accurate inhalation doses in the event of an unexpected situation like inhalation exposure accident.

研究分野：放射線防護研究

キーワード：放射線被ばく

### 1. 研究開始当初の背景

放射線被ばくによる障害(例えば、急性的なものとして潰瘍、壊死など、晩発的なものとしてがんなど)の発生確率・度合いは被ばく線量に依存する。被ばくには体の外側にある放射性物質から被ばくするもの(外部被ばく)と吸入などによって体内に取り込んだ放射性物質から被ばくするもの(内部被ばく)があるが、吸入による内部被ばくは呼吸気道内に放射性物質が入り体内で長期間被ばくが続く可能性があり、被ばくした際は早い段階で適切に影響低減処置(安定ヨウ素剤投与、代謝促進薬投与、治療など)を行うために被ばく線量を正確に計算することが重要となってくる。

吸入による内部被ばくは、吸入した放射性物質が呼吸気道内の様々な場所に沈着することで生じる。呼吸気道部位の中でも、放射線の感受性は異なりPM2.5のような小さい粒子は感受性が高いと言われている呼吸気道の深部まで入り込み人に影響を与えるとされている。

放射性物質の呼吸気道内壁面への沈着は取り込まれた放射性物質の粒子の物理現象(慣性衝突あるいは拡散付着)により生じるものであり、吸入する放射性物質の形態(粒子の大きさ)に依存するため(図1)放射性物質の形態に応じた吸入被ばく線量を正確に計算するコードを開発することが急がれている。

これまで吸入被ばく線量を計算するための自動計算コードが国内外で開発されてきたが、これらの既存の計算コードは現実とはかけ離れた計算が行われるものであり吸入する放射性物質の形態(粒子の大きさ)に応じた線量を計算するものではなかった。その問題を解決するために、放射性物質の形態に応じた吸入被ばく線量計算コードの開発の検討が本研究で実施された。

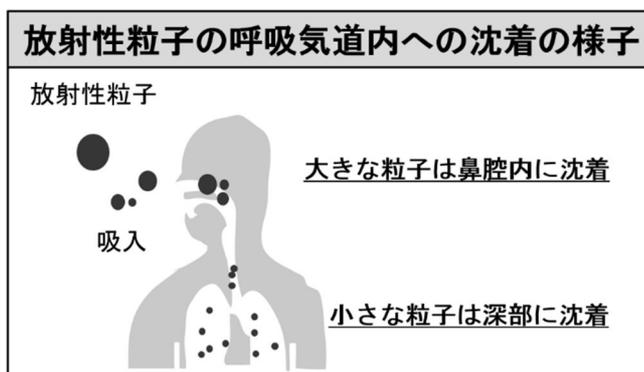


図1 呼吸気道内の粒子沈着の様子

### 2. 研究の目的

実際の大気環境中では、放射性物質は大気中の微粒子(大気中に存在する様々な大きさの粉塵)に付着し大きさが多様に变化する(図2)。したがって、多様な大きさの放射性物質が存在する環境下(すなわち実環境)における吸入被ばく線量を計算できるコードの開発が急がれている。本研究は、吸入被ばく線量評価を正確に実施することを目的に、吸入する放射性物質の形態(粒子の大きさ)に応じた吸入被ばく線量を計算するコードの開発を検討した。

### 3. 研究の方法

本研究では放射性物質の形態に応じた線量計算コード開発の検討にあたって、計算コードの構築、妥当性の確認、実際の適用を実施した。

#### (1) 計算コードの構築

呼吸気道部位別の沈着割合の算出については、ICRP Publication 66の呼吸気道モデルを用いた。放射性物質の消化器官等の体内動態については、放射性物質の規制に関する現行法令等がICRP Publication 30の胃腸管モデルやICRP Publication 67の膀胱モデル等をベースとしていることから主としてそれらのモデルを用いた。各モデルにおいて、微分方程式で与えられる各臓器(コンパートメント)の残留量の時間変化は、数値解的に導出した。各臓器の残留量に対する線量は、比吸収割合等のデータから計算した。開発にあたっては、数理科学的な計算を実施するため、処理能力に優れたコンピューターやそれに必要なアプリケーションソフトウェア等を用

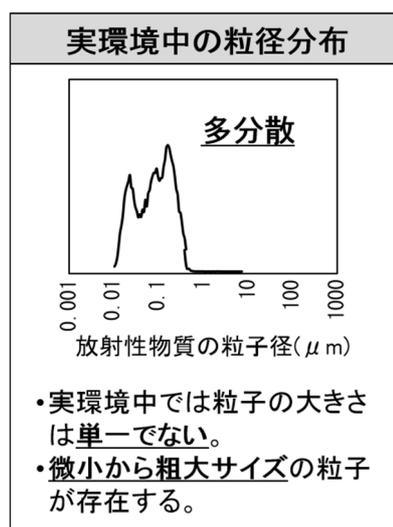


図2 実環境中の浮遊塵(例)

いて実施した。

(2) 妥当性の確認

大気中放射性物質の典型的な条件における既存計算コードから計算した呼吸気道部位別沈着割合と、本コードで算出した呼吸気道部位別沈着割合を比較することにより、本コードの妥当性を確認した。

(3) 実際の適用

大気浮遊塵の粒径分布の実測を寒冷地域にて季節ごとに実施した。放射性物質を実環境中に放出させることは現実的ではないため、実測した大気浮遊塵に放射性ヨウ素 131 が含まれていると仮定し、本コードを用いて線量を算出した。大気浮遊塵の粒径分布の測定については複数の測定装置を用いて実施し、粒径分布データを広範囲に取得した。熱帯地域において大気浮遊塵を計測し、開発したコードの利用上の地域性の違いを検討した。

#### 4. 研究成果

大気浮遊塵の粒径分布から線量評価の種々の出力パラメータ（呼吸気道部位の沈着や体内分布など）を計算するコードを開発した。妥当性の検証のため、典型的な条件（幾何平均径 1 $\mu$ m、対数正規分布を仮定）で、本コードと既存のコードで計算した結果、呼吸気道部位（胸郭外領域 1: ET1, 胸郭外領域 2: ET2, 気管支領域: BB, 細気管支領域: bb, 肺胞 - 間質領域: AI）の沈着は 99%以上で一致し（図 3）体内分布についても同様に 99%以上で一致した。また、図 4 に示す便宜上の大気浮遊塵の粒径分布を使用して、幾何平均径と幾何標準偏差から算出した値、粒径分布から算出した値を比較した結果、それぞれの部位における沈着効率に違いがみられた。本コードは粒径分布に応じた吸入被ばく線量評価に有用であるかもしれない。

寒冷地域で得られた大気浮遊塵のデータと本コードを用いて線量の導出を行った。春夏秋冬の四季節において、本コードを用いて導出した線量に変動がみられた。地域別の大気浮遊塵についても、それぞれ重量濃度に変動が見られたため、コード計算結果についても地域別のばらつきが生じるかもしれない。これらの成果は将来の本コード利用時における気候や地域の違いなども含めた様々な条件で精密な検討（例えば、環境に応じて、大気浮遊塵濃度やそれによる線量がどの程度振れ幅があるのかの推定）に役立つものになる。また、アトマイザーによる大気浮遊塵の発生を検討した。これについては、コード開発の高精度化に必要な制御された大気浮遊塵環境下で種々の検討につながるものである。これらの成果は将来の展開に活かされる。

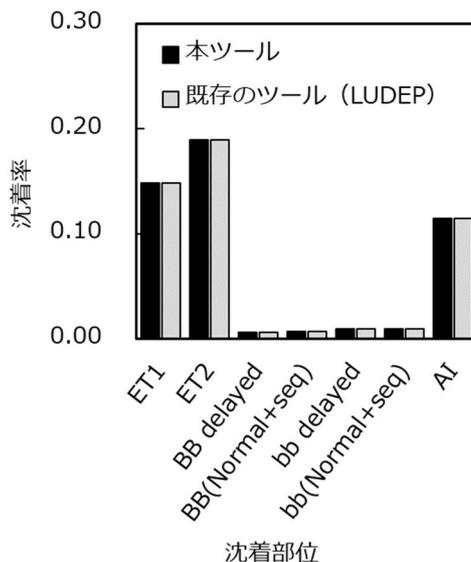


図 3 部位別沈着率

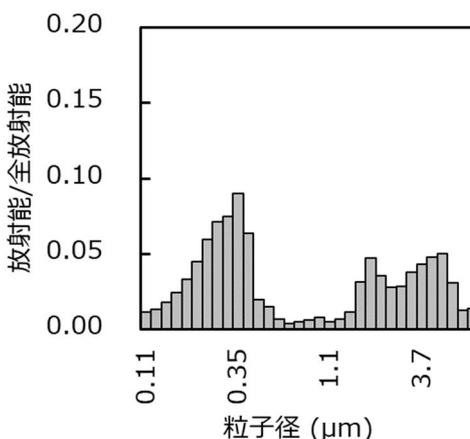


図 4 便宜上の大気浮遊塵の粒径分布

#### < 引用文献 >

- Kazuki Iwaoka et al. Development of calculation tool for iodine 131 biodistribution depending on the aerosol particle distribution. Radiation Protection Dosimetry, 199, 2244-2247 (2023).
- K. Iwaoka et al. Development of calculation tool for respiratory tract deposition depending on aerosols particle distribution, Radiation Protection Dosimetry, 184, 388-390 (2019).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kazuki Iwaoka et al	4. 巻 11
2. 論文標題 Utilization of computational fluid dynamics simulation for gas exposure chamber	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Radiation Environment and Medicine	6. 最初と最後の頁 61-65
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kazuki Iwaoka, Ryoju Negami, Yuki Tamakuma, Masahiro Hosoda, Lorna Jean H. Palad, Shinji Tokonami, Chitho P. Feliciano, Reiko Kanda	4. 巻 150
2. 論文標題 Evaluation of the Influence of Thoron on Portable Radon Measurement Devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Philippine Journal of Science	6. 最初と最後の頁 257-261
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 K. Iwaoka, M. Hosoda, S. Tokonami, E. B. Enriquez, L. J. H. Palad, Reiko Kanda	4. 巻 184
2. 論文標題 Development of calculation tool for respiratory tract deposition depending on aerosols particle distribution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Radiation Protection Dosimetry	6. 最初と最後の頁 388-390
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岩岡和輝
2. 発表標題 流体シミュレーションを活用したガス曝露場の検討
3. 学会等名 2022年度放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点成果発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩岡和輝
2. 発表標題 流体シミュレーションを活用したガス曝露場の検討
3. 学会等名 2022年度放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点キックオフミーティング
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩岡和輝ほか
2. 発表標題 流体シミュレーションによるガス曝露場の均質性評価
3. 学会等名 日本保健物理学会第54回研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩岡和輝
2. 発表標題 大気中放射性核種測定装置のトロンガスの影響（キックオフ）
3. 学会等名 2020年度放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点キックオフミーティング
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩岡 和輝, 玉熊 佑紀, フー クン, ヤニック ミロソラフ, 細田 正洋, 床次 眞司, 神田 玲子
2. 発表標題 ラドン・トロン測定のためのシンチレーションセルの計数効率評価
3. 学会等名 日本保健物理学会第53回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩岡和輝
2. 発表標題 大気中放射性核種測定装置のトロンガスの影響（成果）
3. 学会等名 2020年度放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩岡和輝，玉熊佑紀，フークン，ヤニックミロソラフ，細田正洋，赤田尚史，床次眞司，神田玲子
2. 発表標題 国内のラドン曝露施設を活用した校正実験
3. 学会等名 第2回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩岡和輝
2. 発表標題 大気中放射性核種測定器校正のための曝露実験(成果)
3. 学会等名 2019年度放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点報告会(つくば市)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩岡和輝
2. 発表標題 大気中放射性核種測定器校正のための曝露実験(計画)
3. 学会等名 2019年度放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点キックオフミーティング(つくば市)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Iwaoka, M. Hosoda, S. Tokonami, E. B. Enriquez, L. J. H. Palad
2. 発表標題 Calculation tool for respiratory tract deposition depending on aerosols particle distribution
3. 学会等名 9th International Conference on High Level Environmental Radiation Areas- For Understanding Chronic Low-Dose-Rate Radiation Exposure Health Effects and Social Impacts (ICHLERA 2018)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関