

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：82502

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K21163

研究課題名（和文）量子ビーム技術を活用したリンパ節における内部被ばく核種動態解析

研究課題名（英文）Dynamics of internal radionuclides distribution in the lymph nodes by quantum beam based elemental analysis

研究代表者

阿山 香子（AYAMA, Kyoko）

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・技術員

研究者番号：30953608

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000円

研究成果の概要（和文）：リンパ節は内部被ばく線量評価における重要器官と位置づけられているが、動物実験に基づいた定量データは乏しい。本研究では、長寿命内部被ばく核種をばく露した動物のリンパ節における核種の移行・分布動態の解明を目的とした。

ラットにウランを皮下および経口投与して、顎下リンパ節および腸間膜リンパ節のウラン濃度をICP-MSにより測定した。血漿中ウラン濃度と比較し、いずれのリンパ節も濃集が観察された。リンパ節凍結切片を用いてマイクロPIXE（荷電粒子励起X線）分析により、組織構造と対応した元素マッピングを得た。リンパ節中ウラン分布については、SR-XRFにより行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題においてリンパ節という微細組織の微量ウラン検出条件を確立し、その移行動態を明らかにすることができた。血清ウラン濃度と比較して濃集が確認されたことから、中長期ウランばく露モデルに発展させることで、リンパ節ウランの沈着・滞留についての知見が得られ、線量評価の精緻化につながる。

研究成果の概要（英文）：To reduce the risk of internal exposure, radionuclides taken into the body must be efficiently decorporated from deposited and remaining sites. Lymph nodes are regarded as important organs in dose assessment for internal exposure, but quantitative data based on animal experiments are scarce. The purpose of this study was to elucidate the distribution kinetics of radionuclides in the lymph nodes of animals exposed to long-lived internal radionuclides by quantum beam based elemental analyses.

Uranium was administered subcutaneously or orally to rats, and uranium concentrations in the submandibular and mesenteric lymph nodes were determined by ICP-MS. Uranium concentrations in both lymph nodes were higher than plasma uranium concentrations. Frozen sections of lymph nodes were used for microbeam elemental imaging. Elemental mapping corresponding to the microstructural microstructure was obtained by micro-PIXE analysis. Uranium in lymph nodes was detected by SR-XRF.

研究分野：生体微量分析

キーワード：リンパ節 ウラン 内部被ばく マイクロビーム 元素イメージング

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

東京電力福島第一原子力発電所での廃炉作業が長期化し、事故で飛散したセシウム・ストロンチウム等の長寿命核種に加え、溶融した燃料近くの汚染水や廃棄物等の処理における有事に備え、アクチニドなどの関連核種の体内動態に関する科学的知見を整備する必要がある。リンパ節は、皮膜側から皮質、傍皮質、髄質の三層に区分され、それぞれ構成細胞の異なる複雑な構造を有する(右図)。リンパ液に入った細菌や異物を濾過・貪食・除去するフィルターの役目を果たしている。このようなリンパ節の機能から、最新の内部被ばく体内動態モデルでは核種の沈着・滞留器官として位置づけられており

(ICRP130)、線量評価における重要器官の一つで

ある。しかしながら、動物実験に基づいた定量データは乏しい。

量子ビーム技術を用いると、微細組織の元素分布解析を行うことができる。レーザービームを利用して原子力施設作業者のアーカイブ分析を行った研究では、肺リンパ節におけるウラン・プルトニウム等のアクチニド元素の沈着が報告されている(Hare *et al.*, *Anal. Chem.* 82, 3176-3182, 2010)。プロトンや放射光などの微小ビーム、いわゆるマイクロビームを利用すると、非破壊分析が可能であり、組織微細構造を保持したまま元素イメージングが得られる。ウラン腎臓内動態の先行研究では、これらのマイクロビーム分析、すなわちSR-XRF(シンクロトロン放射光蛍光X線分析: 元素分布、局所定量)やXAFS(X線微細構造法: 化学状態分析)、マイクロPIXE(荷電粒子励起X線分析: 元素分布、局所定量)により、従来の腎臓のバルク的な分析ではわからなかった尿細管におけるミクロンレベルのウラン生体濃集(Homma-Takeda *et al.*, *J. Appl. Toxicol.* 33, 685-694, 2013他)や生体内化学形変換(Kitahara *et al.*, *J. Synchrotron. Rad.* 24, 456-462, 2017他)が明らかとなった。体内除染戦略のための有益な情報となった。この手法をリンパ節に応用することで、被ばく線量低減化に重要となるリンパ節内の内部被ばく核種の沈着部位や化学形、および残存性に関する情報が得られるのではないかと考えた。

### 2. 研究の目的

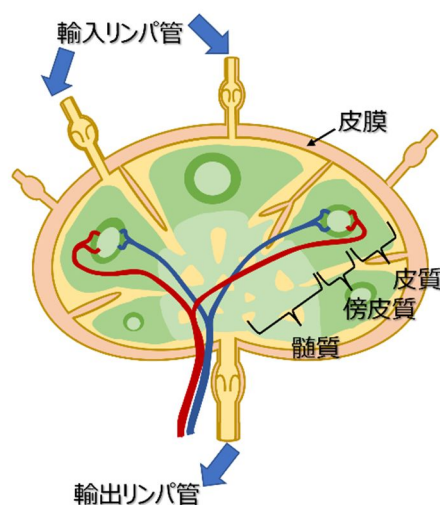
本研究では、リンパ節への内部核種移行・沈着・残存に関する定量データを取得するため、長寿命核種のウランに着目し、ウランをばく露した動物モデルを用い、リンパ節のウラン濃度の測定およびマイクロビーム分析によるリンパ節組織における分布・局在・化学形解析を行う。

### 3. 研究の方法

本研究では内部被ばくの低減化に必要な定量的な科学知見を得るため、リンパ節組織中ウラン濃度の定量とマイクロビーム分析を活用した組織中局在・沈着情報の取得を試みた。

#### (1) 動物モデルの作出およびバルク移行量の把握

ラットにウランを皮下あるいは経口投与し、経時的に解剖してリンパ節組織(顎下、腸間膜)を採集した。硝酸による湿式灰化後、誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)(現有)によりリンパ節組織中ウラン濃度を測定した。同時に血漿についてもウラン濃度を測定し、両者を



リンパ節の構造

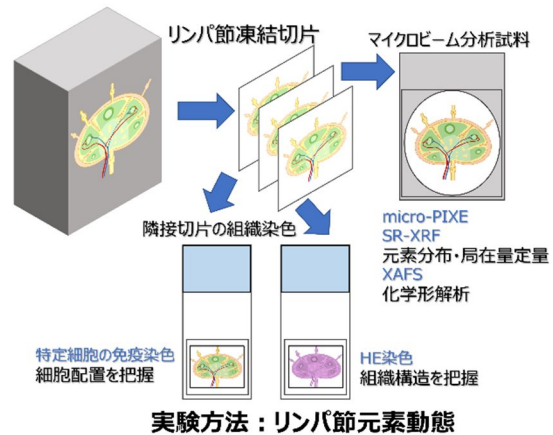
比較した。

## (2) 元素分布解析用試料の作製

リンパ節組織の凍結切片（10 μm厚）を作成し、ポリプロピレン膜に付着させ、マイクロビーム分析測定試料とした（右図）。隣接切片をヘマトキシリン-エオシン染色し、組織微細構造を把握した。

## (3) マイクロビーム分析

元素イメージングは所属機関所有のマイクロPIXE分析システムおよび大型放射光施設のSR-XRFにより行った。まず2000 μm × 2000 μm程度の広領域イメージングを行い、その後500 μm × 500 μm程度の詳細イメージングを行った。



## 4. 研究成果

投与後1から24時間における皮下および経口のばく露経路による経時的な移行動態を把握した。すなわち、皮下投与では顎下リンパ節と腸間膜リンパ節は同等のウラン移行であったが、経口投与では腸間膜リンパ節が顎下リンパ節の10倍程度高値であった。血漿中ウラン濃度と比較し、いずれのリンパ節も濃集が観察された。

顎下リンパ節および腸間膜リンパ節凍結切片によるマイクロPIXEでは、組織構造と対応したイオウ、リン、カリウムなどの軽元素の元素マッピングが得られた。リンパ節中ウラン分布については、SR-XRFを試みた。リンパ節外辺部でウランが検出されたが、SR-XRFのマシニングが十分確保できず、ウラン局在部と組織微細構造との対応やXAFSによる化学形解析には至らなかった。今後はリンパ節におけるウラン局在量のデータを構築し、局在部の特定やウラン化学形解析を進めていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 武田 志乃, 阿山 香子, 加藤 由悟, 薬丸 晴子, 田中 泉, 田中 美香, 横地 和子, 上原 章寛, 及川 将一, 石原 弘
2. 発表標題 組織中ウランの分布動態解析：リンパ組織および骨組織の元素分布解析
3. 学会等名 2022年度共用施設（サイクロトロン、PASTA & SPICE、X/ 線照射装置）成果報告会
4. 発表年 2023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
---------	---------