

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26463155

研究課題名(和文) 歯を用いた内部被曝量・被曝歴の解析

研究課題名(英文) Radionuclides in the teeth of animal abundant in evacuation zone of Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant accident.

研究代表者

篠田 壽 (Shinoda, Hsashii)

東北大学・歯学研究科・名誉教授

研究者番号：80014025

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：福島第一原発事故警戒区域内で捕獲した被災牛や野生アカネズミ、野生ニホンザルの歯について、歯質に含まれる放射性同位元素の量を測定した。その結果、すべての動物の歯にはSr-90やCs-134、Cs-137が検出され、それらの濃度は、環境の空間線量率に比例していた。また、同一個体内の歯についてみると、原発事故後に形成された歯では高い放射能値を示したのに対して、原発事故以前に形成された歯では低値を示した。これらの事実は、環境中の放射性物質は歯の形成期に歯質中に取り込まれること、また、その量は、歯が形成される時期における個体の内部被曝量を知る重要な指標となり得ると考えられた。

研究成果の概要(英文)： In the present study, we measured the concentration of radionuclides in the teeth of animals (cows, Japanese field mice and wild Japanese monkeys) caught in the evacuation area of the Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant (FNPP) accident. Sr-90, Cs-137 and Cs-134 that originate from FNPP were detected from all the teeth examined. The concentrations exhibited a positive relationship with the degree of radioactive contamination that the animal experienced. Even within an individual animal the concentration varied depending on the developmental stage of the teeth during the FNPP accident: teeth that were early in development exhibited high concentrations, while that were late in development exhibited low concentrations. These findings demonstrate that the radionuclides are incorporated into the teeth during tooth development; thus the concentration of radionuclide in the teeth could provide useful information about internal exposure to radiation.

研究分野：硬組織の生理薬理

キーワード：東京電力福島第一原発事故 被災動物 放射性ストロンチウム 放射性セシウム 歯 内部被曝量 外部被ばく量

### 1. 研究開始当初の背景

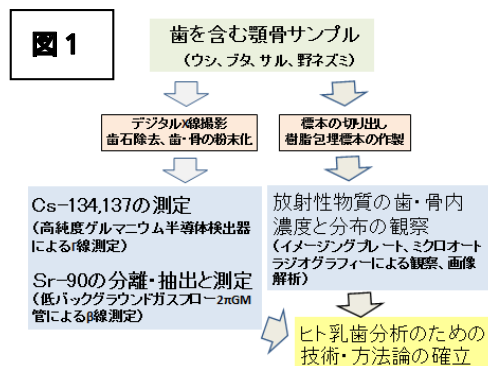
東京電力福島第一原発事故により大量の放射性物質が環境中に放出された。それらの放射性物質がヒトを含めた動物にどのような影響を与えるかを明らかにすることは極めて重要である。一方、環境の放射性物質による汚染が生物にどのような影響を与えるかについて明らかにするためには、被曝状況が異なる様々な地域において、ヒトや動物が実際にどの程度の被ばく状況にあったかを、個体レベルで評価することが極めて重要と考えられた。本研究は、歯の中に蓄積した放射性物質の測定から、個体の被ばく量や被ばく歴を明らかにすることを目的として企画された。

### 2. 研究の目的

東京電力福島第一原発事故による環境汚染がヒトや動物に与える影響を明らかにすることは緊急の課題である。このためには、個体レベルでの被ばく量、被ばく歴の把握が必要不可欠である。しかし、過去にまで遡ってそれを推測できる有効な手段はない。本研究は、形成中の歯が Sr-90 や Cs-134、Cs-137 等の放射性同位元素を取り込むこと、それらは代謝されることなく歯の中に留まることに着目し、歯の中の放射性同位元素を測定することにより、個体単位で内部被ばく量や被ばく歴を明らかにすることを目的としている。

本研究グループでは福島第一原発事故の被災地、警戒区域内において、過去2年間に於いて、ウシ200頭、野生ニホンザルサル100頭、野生アカネズミ300匹以上の多数の被災動物から歯を採取してきた。本研究の最終目的は、3.11以降に形成されたヒト歯の線量評価を行う事にあるが、そのための Pre-phase study として、上記被災動物の歯を用いてヒトの歯を解析するための具体的方法論の確立を目指した。

### 3. 研究の方法



歯の中に取り込まれる Sr-90 などの放射性物質の量は、その歯が形成される時期に体内に取り込まれた放射性物質の量に比例していると考えられる。従って歯質中の放射性物質の量は、内部被ばく量を知る重要な指標となり得ることが考えられる。本研究において

は、歯質中の放射性物質量をスクリーニングするための手法として、イメージングプレート (IP) を用いたオートラジオグラフィにより、放射性物質の組織内分布の観察と濃度測定を行った。また、歯質中の Cs-137, 134 などの線放出核種の測定には高感度ゲルマニウム半導体検出器を用いた。さらに、灰化した歯サンプルについて、Sr-90 の測定を行った。Sr-90 の測定には発煙硝酸法を用い、ストロンチウムをカルシウムやイットリウムなどから分離抽出したあと、低バックグラウンドガスフロー GM 管により線の測定を行なった。

### 4. 研究成果

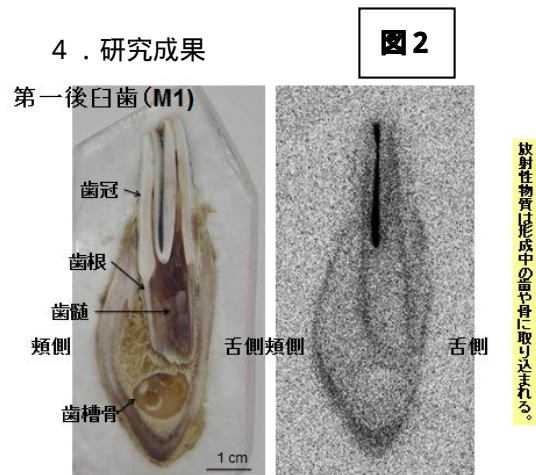


図2は福島警戒区域内で野に放逐されていたウシの第一大臼歯 (M1, 前頭断) のイメージングプレートを用いたオートラジオグラフ像である (露曝期間: 2週間)。形成途上の歯根部、歯冠部、歯槽骨部に一致して放射性物質の取り込みと蓄積を示す黒化像が認められる。一方、既に形成を完了した歯質や骨の中には放射性物質の存在を示す黒化像は認められない。こうしたオートラジオグラフ像は、放射性物質は形成中に歯や骨の中に取り込まれ、それらは歯質中に蓄積・保持されていることを示している。

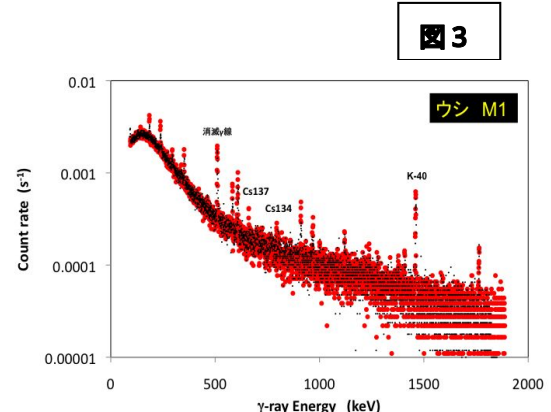


図3は福島警戒区域内で捕獲されたウシから採取したM1を粉末化し、ゲルマニウム半導体検出器により測定した線スペクトル図である。歯質中には Cs-137, 134 が存在することが示されている。また、これまでに分析した動物の歯からは、Cs-137, 134 以外の線放出核種は検出されていない。一方、

線放出核種については硬組織に比較的選択的に沈着することが知られている Sr-90 も、ウシや野生アカネズミ、ニホンザルの歯の中に沈着していることを確認している。以下に歯質中に認められたそれら放射性物質と、動物が歯の形成期間中に棲息していた環境の汚染度との関係を示す。

図4には、福島第一原発事故の旧警戒区域

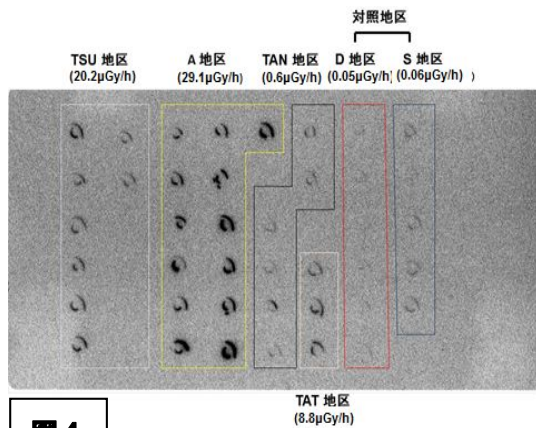


図4

内で、空間線量が異なる4つの地域で捕獲した野生アカネズミの切歯のIPを用いたオートラジオグラフ像を示してある。空間線量が高い地域に棲息するアカネズミほど、歯質中の放射性物質濃度が高いことが分かる。

図5と図6には、これらアカネズミの切歯歯質中に認められたCs-137とCs-134の測定結果が示されている。いずれの濃度も環境の

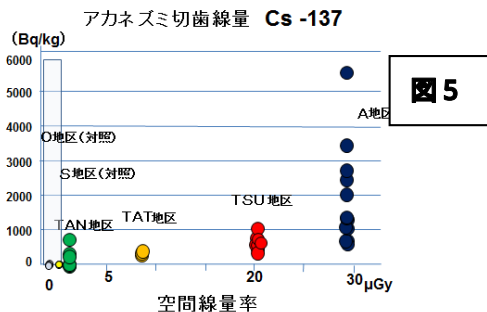


図5

空間線量率と高い相関を示した。また、同

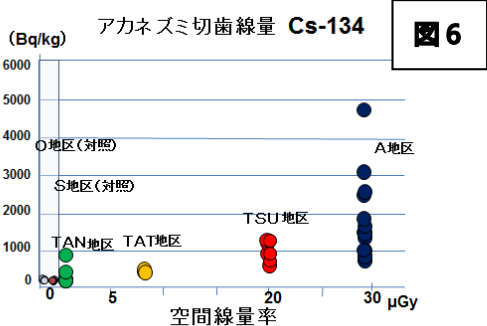


図6

一地域に棲息しているアカネズミであっても、個体によって歯質中に取り込まれた放射性Cs量には大きなバラツキがあることが分かった。歯に取り込まれた放射性Cs量は体

### 被災牛歯質中への<sup>90</sup>Srの取り込み

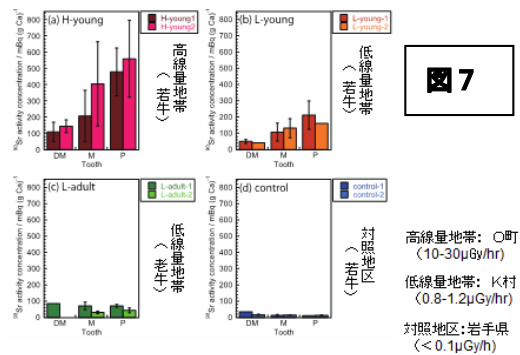


図7

内に取り込まれた放射性Cs量と比例すると考えられるので、歯質中のCs-137やCs-134は、個体の内部被ばく量を推測する良い指標となり得ると考えられる。

図7には空間線量率が異なる2つの地域で棲息していた被災牛(老牛および若牛)の歯質中Sr-90の濃度を測定した結果が示してある。3.11後に形成された、あるいは形成途上にあつた歯(若牛の小白歯や大白歯)の中のSr-90濃度は、3.11前に形成されていた歯(老牛の歯や若牛の乳歯)の中のSr-90濃度比べて著しく高かった。また、高線量地域に棲息してウシの歯の中のSr-90濃度は、低線量地域の中で棲息していたウシの歯に比べ、高値を示しており、歯の中のSr-90濃度は、環境の放射性物質に対する汚染状態を忠実に反映していることが確認された。

以上の結果は、放射性CsやSrは歯の形成期に歯質中に取り込まれること、またそれらの歯質中濃度は、個体が棲息していた環境の汚染度を忠実に反映していることから、個体の被ばく量を推測する重要な指標となり得ると考えられた。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

- (1) Urushihara Y, Kawasumi K, Endo S, Tanaka K, Hirakawa Y, Hayashi G, Sekine T, Kino Y, Kuwahara Y, Suzuki M, Fukumoto M, Yamashiro H, Abe Y, Fukuda T, Shinoda H, Isogai E, Arai T, Fukumoto M. Analysis of plasma protein concentrations and enzyme activities in cattle within the ex-evacuation zone of the Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident. **PLoS One** 2016 May 9; 11(5): e0155069. Doi: 10.1371 (査読有り)
- (2) Koarai K, Kino Y, Takahashi A, Suzuki T, Shimizu Y, Chiba M, Osaka K, Sasaki K, Fukuda T, Isogai E, Yamashiro H, Oka T, Sekine T, Fukumoto M, Shinoda H. : <sup>90</sup>Sr in teeth of cattle abandoned in evacuation zone: Record of pollution from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. **Scientific Reports** 2016 Apr 5;6:

24077.Doi:10.1038/srep24077. (査読有り)  
(3) Tomokazu Fukuda, Yasushi Kino, Yasuyuki Abe, Hideaki Yamashiro, Jin Kobayashi, Yoshinaka Shimizu, Atsushi Takahashi, Toshihiko Suzuki, Mirei Chiba, Shintaro Takahashi, Kazuya Inoue, Yoshikazu Kuwahara, Hisashi Shinoda, Masahiro Hiji, Tsutomu Sekine, Manabu Fukumoto, Emiko Isogai: Cesium radioactivity in peripheral blood is linearly correlated to that in skeletal muscle: Analyses of cattle within the evacuation zone of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. **Animal Science Journal** 2015; 86; 120-124 (査読有り)

(他 5 件)

〔学会発表〕(計 22 件)

(1) 小荒井 一真、木野 康志、西山 純平、高橋 温、鈴木 敏彦、清水 良央、千葉 美麗、小坂 健、佐々木 啓一、福田 智一、磯貝 恵美子、岡 崇壽、関根 勉、福本 学、篠田 壽：福島第一原子力発電所事故被災サルの歯、骨中Sr-90の測定と骨髄線量の推定。日本放射線影響学会第59回大会 2016年10月26-28日、AMSアステールプラザ、広島(優秀発表賞受賞)  
(2) K. Koarai, Y. Kino, A. Takahashi, T. Suzuki, Y. Shimizu, M. Chiba, K. Osaka, K. Sasaki, T. Fukuda, E. Isogai, H. Yamashiro, T. Oka, T. Sekine, M. Fukumoto, H. Shinoda.: Detection of <sup>90</sup>Sr in the teeth of cattle contaminated by environmental pollution from the Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant accident. 9th International Conference on Nuclear and Radiochemistry (NRC9), 2016/8/28-9/2 Marina congress center, Helsinki, Finland  
(3) 篠田 壽：歯を用いた被ばく線量評価。第 69 回東北大学歯学会 平成 28 年 6 月 10 日 東北大学歯学部、仙台(東北大学歯学会賞受賞講演)  
(4) 西山 純平、小荒井 一真、木野 康志、清水 良央、千葉 美麗、佐々木 啓一、高橋 温、鈴木 敏彦、小坂 健、福田 智一、磯貝 恵美子、岡 崇壽、関根 勉、福本 学、篠田 壽：福島第一原発事故被災ウシの骨組織中の Sr-90 及び Cs-137 の測定。第 53 回アイソトープ・放射線研究発表会 2016 年 7 月 6-8 日 東京大学弥生講堂、東京(発表賞受賞)  
(5) Kazuma Koarai, Yasushi Kino, Atsushi Takahashi, Toshihiko Suzuki, Yoshinaka Shimizu, Mirei Chiba, Ken Osaka, Keiichi Sasaki, Tomokazu Fukuda, Emiko Isogai, Toshitaka Oka, Tsutomu Sekine, Manabu Fukumoto, Hisashi Shinoda.: Incorporation of <sup>90</sup>Sr into the teeth of abandoned cattle in the evacuation zone after the FDNPP accident. Internationall Symposium, Future on Radiological Issues for Fukushima's Revitalized Future, Paruse

Iizaka, Fukushima city, 2015/5/30-31 Fukushima, Japan.

(6) Kazuma Koarai, Yasushi Kino, Atsushi Takahashi, Toshihiko Suzuki, Yoshinaka Shimizu, Mirei Chiba, Ken Osaka, Keiichi Sasaki, Tomokazu Fukuda, Emiko Isogai, Toshitaka Oka, Tsutomu Sekine, Manabu Fukumoto, Hisashi Shinoda.: Determination of Sr-90 specific activity in the teeth of cattle in the evacuation zone of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. 15th International Congress of Radiation Research, Kyoto International Conference Center, 2015/5/25-29 Kyoto, Japan.

(他 16 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

篠田 壽 (SHINODA Hisashi)  
東北大学・大学院歯学研究科・名誉教授  
研究者番号：8 0 0 1 4 0 2 5

### (2) 研究分担者

木野 康志 (KINO Yasushi)  
東北大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号：0 0 2 7 2 0 0 5

千葉 美麗 (CHIBA Mirei)  
東北大学・大学院歯学研究科・講師  
研究者番号：1 0 2 3 6 8 2 0

清水 良央 (SHIMIZU Yoshinaka)  
東北大学・大学院歯学研究科・助教  
研究者番号：3 0 3 0 2 1 5 2

高橋 温 (TAKAHASHI Atsushi)  
東北大学・病院・助教  
研究者番号：5 0 3 3 3 8 2 8

小坂 健 (OSAKA Ken)  
東北大学・大学院歯学研究科・教授  
研究者番号：6 0 3 0 0 9 3 5

鈴木 敏彦 (SUZUKI Toshihiko)  
東北大学・大学院歯学研究科・准教授  
研究者番号：7 0 2 6 1 5 1 8

岡 崇壽 (OKA Toshitaka)  
東北大学・高度教養教育学生支援機構・助教  
研究者番号：7 0 3 3 9 7 4 5