

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K15849

研究課題名(和文) 歯を用いた環境放射能汚染評価

研究課題名(英文) Assessment of environmental radioactive contamination using teeth

研究代表者

高橋 温 (TAKAHASHI, Atsushi)

東北大学・大学病院・助教

研究者番号：50333828

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では福島第一原発事故後の汚染環境において、アカネズミを採取し、採取地点における土壌中のSr-90、Cs-134およびCs-137の測定を実施した。アカネズミの歯については上下の切歯における放射能強度を示すイメージングプレートにおけるQL値を画像解析による求めた。その結果、個体のQL値は空間放射線量率、土壌中Sr-90、Cs-134およびCs-137濃度と明らかな関連を認めなかった。したがって個体被ばく量を知るうえで、歯は非常に有用な器官である。

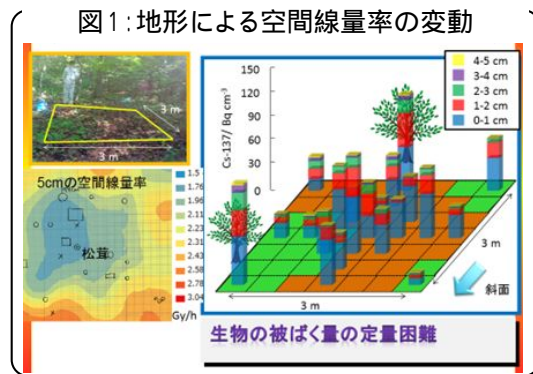
研究成果の概要(英文)：In this study, we have investigated the relationship between concentrations of radionuclides in teeth of mice lived in polluted area after Fukushima Daiichi nuclear power plant accident and that in the soils in the same areas. As a result, internal exposures of teeth had few relationships with an air dose rate, soil concentrations of artificial radionuclides released at the accident. Accordingly, an air dose rate and soil were not suitable to estimate each radiation dose of animals. Finally, the tooth is useful organ to estimate an initial internal exposure.

研究分野：硬組織薬理学

キーワード：福島第一原発事故 歯 内部被ばく 環境放射能汚染

1. 研究開始当初の背景

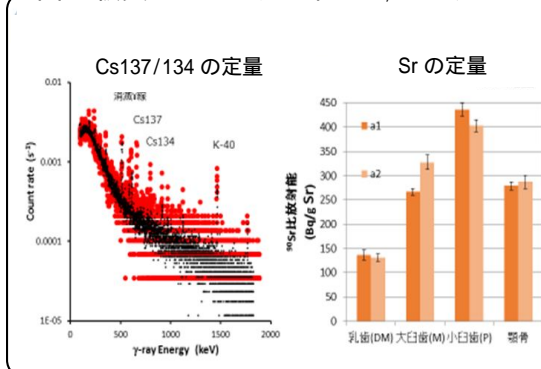
福島第一原子力発電所の事故から5年近く経過した現在、長い半減期をもつセシウム137およびストロンチウム90の環境放射能汚染を様々な観点から評価することが非常に重要である。環境における汚染を評価するとき、空間線量率や土壌調査が一般的であるが、図1に示すように場所によっては非常に測定値に変動があり客観的評価を行うには困難な場合がある。



一方、放射性物質による環境汚染との関連で歯の中のストロンチウム90が測定された過去の例としては、1950-80年代に行われた大気中核実験に関連して Starkey & Fletcher(1969)、Wolf et al(1973)、Glowiak et al(1977)、Gould et al(2000)、Mangano et al(2003)等の報告が、またチェルノブイリ原発事故に関するものは Kulev et al(1994)の報告が見られ、環境のストロンチウム90による汚染は、歯を用いて推測可能であることを示している。さらに我々は今回の福島第一原発事故に関して、旧警戒区域内で被災した家畜から採取した歯の中に、過去の報告にあるストロンチウム90のみならず、セシウム134およびセシウム137も検出されることを見出している(図2)。

このような背景のもと、環境の空間線量率、土壌における含有放射性物質量が生物学的汚染とどの程度関連があるのか、特に非代謝性である歯における汚染と関連があるのかは明らかではない。さらに歯の汚染が、環境評価の指標として有用なのかどうかも検討されていない。

図2: 被災ウシにおける歯のCs, Srの定量



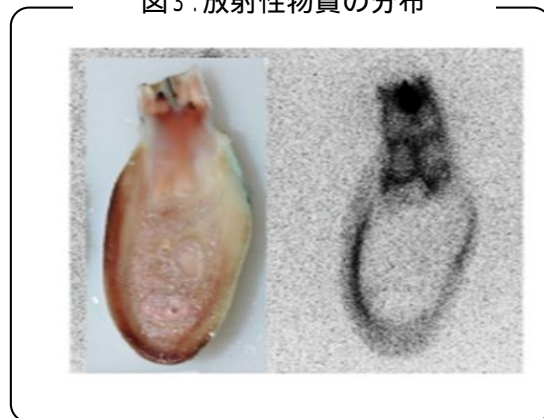
2. 研究の目的

そこで歯の持つこのような記録性、非代謝性という特性を積極的に活用し、環境に棲息する標準生物であるアカネズミの歯を用いて棲息環境における放射能汚染の生物学的影響の評価指標として確立できないかを検討するために、アカネズミの歯を用いて、環境放射能汚染評価を行うことが可能かどうかを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

はじめに必要な倫理申請を行い、承認を受けたのち、帰還困難区域におけるアカネズミならびに環境試料の採取を行う。対象とする地域は今なお立ち入りが制限されている地域である。我々は本申請以前より連携研究者である弘前大学保健学研究科三浦准教授の支援のもと当該地域への立ち入り許可の取得とアカネズミの採取を行っている経緯がある。本研究での試料採取もこれまで同様の体制で実施する。必要な試料は、アカネズミおよび周囲環境の土壌、そして空間線量率で、前述したとおり環境試料における測定値は変動することが予想されるので各測定地点において、異なる数か所から試料を得るものとし、アカネズミの採取は各地点8匹以上をとす。アカネズミの切歯はその形成様相から直近3か月における環境からの放射性物質の取り込みを反映する。この切歯を用いて以後の検討を行う。

図3: 放射性物質の分布

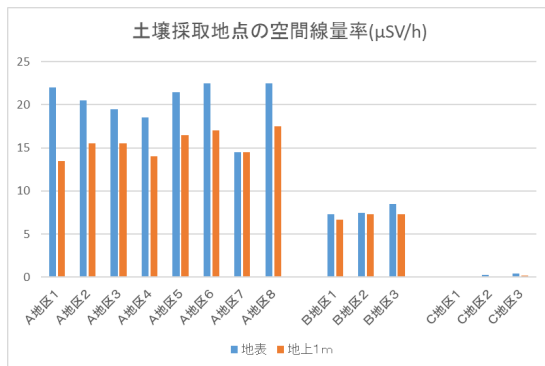


続いて、試料のIP露光と、土壌サンプルの放射性同位体濃度の定量を行う。アカネズミは上下の切歯を抜歯したのち、図3に示すようなイメージでIP上に数週間露光させ、その黒化度を求める。土壌サンプルはセシウム134、セシウム137およびストロンチウム90の定量を行い、地点ごとの各放射性同位体濃度およびその変動を把握する。ストロンチウム90については、採取した土壌を1週間風乾、灰化しストロンチウムキャリアーと60%硝酸によりストロンチウム90を抽出した。その後、Sr resinによる化学分離を行いβ線の測定を行った。Cs-137とCs-134は、

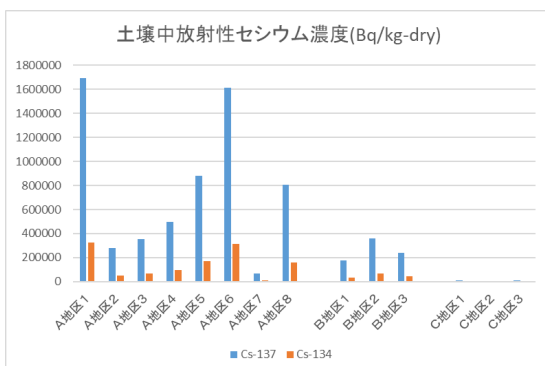
高純度 Ge 半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリーにより定量した。Cs-137は662 keVの、Cs-134は605 keVの光電ピークから放射能を定量した。測定した核種は採取日に遡上して壊変補正し求めた。空間線量率も同様に数点を測定するが、地表1メートルという従来の計測のほかアカネズミが生息する地表付近も数点測定した。

4. 研究成果

土壌採取地点における空間線量率を下記に示す。地表すぐと地上1mにおける線量はほぼ同様の傾向を示した。すべての測定地点において地上1mと地表の線量は地表のほうが高かったがその差が大きいところと小さいところがあった。同一地区でも地点によってある程度の変動は避けられないことがうかがえた。CS-137とCs-134の東日本大震災発災時点での放射能比はほぼ1で、測定された放射性セシウムは全て福島第一原発事故由来と考えられた。

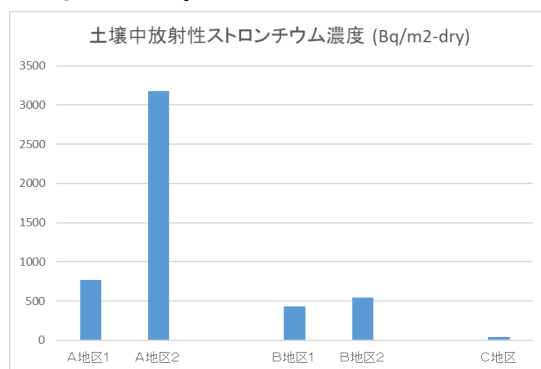


採取した土壌の放射性セシウム濃度を下記に示す。セシウム134とセシウム137は同様の傾向を示したが空間線量率に比べて採取場所の変動が大きく土壌における放射性セシウムは場所による濃度の違いは非常に大きいことが判明した。空間線量率が同程度でも土壌中の放射性セシウム濃度は変動する可能性が再確認されセシウムが沈着しやすい地形や地質にも影響を受け、生物の生息する環境汚染の指標としては不安定なものと考えられた。このような濃度分布の非均一性は生物が棲息する環境が空間線量率では把握しきれないと考えられた。

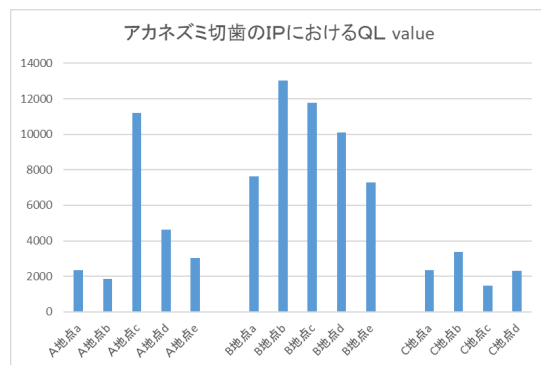


採取した土壌の放射性ストロンチウム90濃度を下記に示す。土壌中放射性セシウムと同様に空間線量率に比べて採取場所の変動が大きいことが判明した。土壌中放射性ストロンチウムについても、生物の生息する環境汚染の指標としては不安定なものと考えられた。それぞれの地域でのストロンチウム90/セシウム137は、ほぼ10⁻⁴のオーダーであった。この核種比は、文科省の土壌測定データとほぼ同様であった。核種比と放射性Csの結果から、ネズミ採取地域で検出されたストロンチウム90は、福島原発事故によるものが支配的であると考えられた。

しかしながら放射性セシウムと放射性ストロンチウムの結果から、土壌サンプルの放射能濃度は採取地ごとの変動が大きく、地点ごとの代表値を合理的に求めることは困難と考えられた。



採取したアカネズミ切歯におけるQL値を下記に示す。QL値は同じ生息域においてさえも、個体間の変動が大きく、個体ごとで取り込み放射能に大きな違いがあることが示され、空間線量率と切歯のQL値は必ずしも強い関連を認めなかった。生体への放射性物質の取り込みには空間線量率より生息するテリトリーの範囲や食性など、捕獲地点だけの情報では推測しえないものと考えられた。



以上から、生体の影響を調べるには個体単位での汚染を把握することが非常に重要なのは言うまでもないが、その値を、空間線量率や土壌中の放射性物質濃度で推測することは限界があり、本研究で用いた歯はその非代謝性から生物学的代謝をほとんど受けないため、個体の内部被ばく量を反映する有用な器官であると考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

Kazuma Koarai, Yasushi Kino, Atsushi Takahashi, Toshihiko Suzuki, Yoshinaka Shimizu, Mirei Chiba, Ken Osaka, Keiichi Sasaki, Yusuke Urushihara, Tomokazu ukuda, Emiko Isogai, Hideaki Yamashiro, Toshitaka Oka, Tsutomu Sekine, Manabu Fukumoto, Hisashi Shinoda. 90Sr Specific Activity of Teeth of Abandoned Cattle after the Fukushima Accident – Teeth as an Indicator of Environmental Pollution. Journal of Environmental Radioactivity, 183 (March 2018) 1-6:2018.DOI:10.1016/j.jenvrad.2017.12.005 査読あり

J. Nishiyama, K. Koarai, Y. Kino, Y. Shimizu, A. Takahashi, T. Suzuki, M. Chiba, K. Osaka, K. Sasaki, T. Fukuda, E. Isogai, T. Oka, T. Sekine, M. Fukumoto, H. Shinoda. Correlation of Sr-90 activity concentration between the tooth and bone of cattle suffered from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Proceedings of the 18th Workshop on Environmental Radioactivity, 196-201 (2017). https://www.i-repository.net/il/meta_public/G0000128KEKpapers 査読あり

K. Koarai, Y. Kino, J. Nishiyama, A. Takahashi, T. Suzuki, Y. Shimizu, M. Chiba, K. Osaka, K. Sasaki, T. Fukuda, E. Isogai, T. Oka, T. Sekine, M. Fukumoto, H. Shinoda. Estimation of environmental pollution after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident by measurement of radioactivities in teeth, Proceedings of the 18th Workshop on Environmental Radioactivity, 202-207 (2017). https://www.i-repository.net/il/meta_public/G0000128KEKpapers 査読あり

〔学会発表〕(計 39 件)

岡 壽崇, 高橋 温, 小荒井一真, 木野康志, 関根 勉, 清水良央, 千葉美麗, 鈴木敏彦, 小坂 健, 佐々木啓一, 篠田 壽. 歯の ESR 測定による被ばく線量推定の取り組み. ESR 応用計測・ルミネセンス年代測定・FT 研究会 2017 年度合同研究会. 2018 年
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, 岡壽崇, 関根勉, 福本学, 篠田壽. ウシの歯に記録された福島第一原発事故による Sr-90、Cs-137 汚染状況の推定. 第 53 回アイソトープ・放射線研究発表会. 2017 年

美子, 岡壽崇, 関根勉, 福本学, 篠田壽. 福島原発事故後の土壤中での Sr-90、Cs-137 の挙動とウシの歯への移行機構. 第 18 回環境放射能研究会. 2018 年
金子拓, 小荒井一真, 木野康志, 西山純平, 岡壽崇, 高橋温, 鈴木敏彦, 清水良央, 千葉美麗, 小坂健, 佐々木啓一, 漆原佑介, 鈴木正敏, 福田智一, 磯貝恵美子, 関根勉, 篠田壽, 福本学. 福島第一原発事故被災サル硬組織中の放射能濃度. 第 18 回環境放射能研究会, 2018 年
小野拓実, 小荒井一真, 木野康志, 西山純平, 金子拓, 岡壽崇, 高橋温, 鈴木敏彦, 清水良央, 千葉美麗, 小坂健, 佐々木啓一, 漆原佑介, 福田智一, 磯貝恵美子, 関根勉, 福本学, 篠田壽. 福島第一原発被災ウシの歯・骨中での放射性・安定セシウムの測定. 第 18 回環境放射能研究会. 2018 年
西山純平, 小荒井一真, 木野康志, 清水良央, 高橋温, 鈴木敏彦, 千葉美麗, 小坂健, 佐々木啓一, 漆原佑介, 福田智一, 磯貝恵美子, 岡壽崇, 関根勉, 福本学, 篠田壽. 福島第一原発事故被災ウシ硬組織間の Sr-90 濃度の相関. 第 18 回「環境放射能」研究会. 2017 年
岡 壽崇. ヒト乳歯の ESR 測定による外部被ばく線量推定の取り組み. 先端放射線化学シンポジウム. 2017 年
Kazuma Koarai, Yasushi Kino, Atsushi Takahashi, Toshihiko Suzuki, Yoshinaka Shimizu, Mirei Chiba, Ken Osaka, Keiichi Sasaki, Yusuke Urushihara, Tomokazu Fukuda, Emiko Isogai, Hideaki Yamashiro, Toshitaka Oka, Tsutomu Sekine, Manabu Fukumoto, Hisashi Shinoda. Assessment of 90Sr pollution from the Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant accident by measurement of cattle teeth. 4th International Conference on Environmental Radioactivity. 2017 年
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, 漆原佑介, 福田智一, 磯貝恵美子, 岡壽崇, 関根勉, 福本学, 篠田壽. ウシの歯に記録された福島第一原発事故による Sr-90、Cs-137 汚染状況の推定. 第 53 回アイソトープ・放射線研究発表会. 2017 年
Kazuma Koarai, Yasushi Kino, Atsushi Takahashi, Toshihiko Suzuki, Yoshinaka Shimizu, Mirei Chiba, Ken Osaka, Keiichi Sasaki, Yusuke Urushihara, Tomokazu Fukuda, Emiko Isogai, Hideaki Yamashiro, Toshitaka Oka, Tsutomu Sekine, Manabu Fukumoto, Hisashi Shinoda. Can radionuclides in the teeth be used for

the assessment of environmental pollution? Tohoku University's Chemistry Summer School 2017. 2017 年

Junpei Nishiyama, Kazuma Koarai, Yasushi Kino, Yoshinaka Shimizu, Atsushi Takahashi, Toshihiko Suzuki, Mirei Chiba, Ken Osaka, Keiichi Sasaki, Tomokazu Fukuda, Emiko Isogai, Toshitaka Oka, Tsutomu Sekine, Manabu Fukumoto, Hisashi Shinoda. Estimation of time course change of Sr-90 distribution in environment from cattle teeth and bones. Tohoku university's Chemistry Summer School 2017. 2017 年

小荒井一真、木野康志、西山純平、金子拓、高橋温、鈴木敏彦、清水良央、千葉美麗、小坂健、佐々木啓一、漆原佑介、福田智一、磯貝恵美子、岡壽崇、関根勉、福本学、篠田壽. 環境からウシの歯の形成時期における Sr-90、Cs-137 の移行機構. 2017 日本放射化学学会年会・第 61 回放射化学討論会. 2017 年

西山純平、小荒井一真、木野康志、金子拓、清水良央、高橋温、鈴木敏彦、千葉美麗、小坂健、佐々木啓一、漆原佑介、福田智一、磯貝恵美子、岡壽崇、関根勉、福本学、篠田壽. 福島原発事故被災ウシの硬組織中測定による環境中 Sr-90 の動態履歴の推定. 2017 年日本放射化学学会年会・第 61 回放射化学討論会. 2017 年

岡壽崇、高橋温、小荒井一真、木野康志、関根勉、清水良央、千葉美麗、鈴木敏彦、小坂健、佐々木啓一、漆原佑介、鈴木正敏、篠田壽、福本学. サル歯およびヒト乳歯の炭酸ラジカル測定による外部被ばく線量推定. 2017 年日本放射化学学会年会・第 61 回放射化学討論会. 2017 年

小荒井一真、木野康志、西山純平、金子拓、高橋温、鈴木敏彦、清水良央、千葉美麗、小坂健、佐々木啓一、漆原佑介、鈴木正敏、福田智一、磯貝恵美子、岡壽崇、関根勉、福本学、篠田壽. 福島第一原発事故被災サルの歯と骨中 ^{90}Sr の相関および骨髄線量の推定. 日本放射線影響学会第 60 回大会. 2017 年

岡壽崇、高橋温. ヒト乳歯の ESR 測定による外部被ばく線量の評価. 日本放射線影響学会 第 60 回大会. 2017 年

西山純平、小荒井一真、木野康志、金子拓、清水良央、高橋温、鈴木敏彦、千葉美麗、小坂健、佐々木啓一、漆原佑介、福田智一、磯貝恵美子、岡壽崇、関根勉、福本学、篠田壽. 福島原発事故被災ウシの硬組織中 Sr-90 測定による環境中 Sr-90 の動態履歴の推定. 日本放射化学学会年会・第 61 回放射化学討論会.

2017 年

Junpei Nishiyama, Kazuma Koarai, Yasushi Kino, Yoshinaka Shimizu, Atsushi Takahashi, Toshihiko Suzuki, Mirei Chiba, Ken Osaka, Keiichi Sasaki, Tomokazu Fukuda, Emiko Isogai, Toshitaka Oka, Tsutomu Sekine, Manabu Fukumoto, Hisashi Shinoda. Estimation of time course change of Sr-90 distribution in environment from cattle teeth and bones. Tohoku university's Chemistry Summer School 2017. 2017 年

岡壽崇、高橋温、小荒井一真、木野康志、関根勉、清水良央、千葉美麗、鈴木敏彦、小坂健、佐々木啓一、漆原佑介、鈴木正敏、篠田壽、福本学. サル歯およびヒト乳歯の炭酸ラジカル測定による外部被ばく線量推定. 2017 年日本放射化学学会年会・第 61 回放射化学討論会. 2017 年

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、岡壽崇、関根勉、福本学、篠田壽. 発煙硝酸法と Sr resin 法による環境試料からの Sr-90 の化学分離. 日本原子力学会東北支部 第 41 回研究交流会. 2017 年

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、岡壽崇、関根勉、福本学、篠田壽. 環境中からウシの歯への Sr-90、Cs-137 の移行と安定同族元素との関係. 第 53 回アイソトープ・放射線研究発表会. 2016 年

21 西山純平、小荒井一真、木野康志、清水良央、高橋温、鈴木敏彦、千葉美麗、小坂健、佐々木啓一、福田智一、磯貝恵美子、岡壽崇、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・放射線化学研究発表会. 2016 年

22 岡壽崇. 歯の炭酸ラジカル測定による生涯被ばく量推定. 第 33 回無機・分析化学コロキウム. 2016 年

23 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. Estimation of Cs-137 turnover rate in teeth from change of Cs-137 specific activity in environment. Tohoku University's Chemistry Summer School 2016. 2016 年

24 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 ^{90}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. 2016年
- 25 Junpei Nishiyama, Kazuma Koarai, Yasushi Kino, Yoshinaka Shimizu, Atsushi Takahashi, Toshihiko Suzuki, Mirei Chiba, Ken Osaka, Keiichi Sasaki, Tomokazu Fukuda, Emiko Isogai, Toshitaka Oka, Tsutomu Sekine, Manabu Fukumoto, Hisashi Shinoda. Distribution of Cs-137 in bone of cattle suffered from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Tohoku University's Chemistry Summer School. 2016年
- 26 岡 壽崇, 高橋 温, 小荒井一真, 木野康志, 関根 勉, 清水良央, 千葉美麗, 鈴木敏彦, 小坂 健, 佐々木啓一, 篠田 壽. 電子スピン共鳴法による小児の外部被ばく線量の推定. 日本放射化学会年会・第60回放射化学討論会. 2016年
- 27 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, 岡壽崇, 関根勉, 福本学, 篠田壽. ウシの歯の放射能測定によるウシ生息域での Sr-90 , Cs-137 汚染の推定. 2016日本放射化学会年会・第60回放射化学討論会. 2016年
- 28 西山純平, 小荒井一真, 木野康志, 清水良央, 高橋温, 鈴木敏彦, 千葉美麗, 小坂健, 佐々木啓一, 福田智一, 磯貝恵美子, 岡壽崇, 関根勉, 福本学, 篠田壽. 福島第一原発事故被災ウシの硬組織中の Sr-90 濃度の経時変化. 第60回放射化学討論会. 2016年
- 29 高橋 温・岡 壽崇・小荒井 一真・三浦 富智・鈴木 敏彦・清水 良央・千葉 美麗・西山 純平・木野 康志・小坂 健・佐々木啓一・篠田 壽. 福島第一原発事故後の環境におけるヒトの歯を用いた外部被曝量の測定. 日本放射線影響学会 第59回大会. 2016年
- 30 岡 壽崇, 高橋 温, 小荒井一真, 木野康志, 関根 勉, 清水良央, 千葉美麗, 鈴木敏彦, 小坂 健, 佐々木啓一, 篠田 壽. 電子スピン共鳴法を用いたヒトの外部被ばく量推定. 日本放射線影響学会 第59回大会. 2016年
- 31 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, 岡壽崇, 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 の測定と骨髓線量の推

定. 日本放射線影響学会第59回大会. 2016年

- 32 高橋 温・清水 良央・千葉 美麗・鈴木 敏彦・小荒井 一真・岡 壽崇・西山 純平・木野 康志・小坂 健・篠田 壽・佐々木 啓一. ヒト歯を用いた被ばく線量評価事業—原発事故前に形成された乳歯の検討—. 第69回東北地区歯科医学会. 2016年
- 33 西山純平, 小荒井一真, 木野康志, 清水良央, 高橋温, 鈴木敏彦, 千葉美麗, 小坂健, 佐々木啓一, 福田智一, 磯貝恵美子, 岡壽崇, 関根勉, 福本学, 篠田壽. 福島第一原発事故被災ウシの硬組織中の Sr-90 濃度の経時変化. 第60回放射化学討論会. 2016年

6. 研究組織

(1)研究代表者

高橋 温 (TAKAHASHI, Atsushi)
東北大学・大学病院・助教
研究者番号: 50333828

(2)研究分担者

木野 康志 (KINO, Yasushi)
東北大学・理学研究科・准教授
研究者番号: 00272005

岡 壽崇 (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: 70339745

篠田 壽 (SHINODA, Hisashi)
東北大学・歯学研究科・名誉教授
研究者番号: 80014025

(3)連携研究者

三浦 富智 (MIURA, Tomisato)
弘前大学・保健学研究科・准教授
研究者番号: 20261456

(4)研究協力者

小荒井 一真 (KOARAI, Kazuma)
東北大学・理学研究科・大学院生
(博士課程;学振研究員)

西山純平 (NISHIYAMA, Jyunpei)
東北大学・理学研究科・大学院生
(修士課程)

小野拓実 (ONO, Takumi)
東北大学・理学研究科・学部3年生