

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26670898

研究課題名(和文)ヒトの歯を用いた低線量長期外部被曝量の測定

研究課題名(英文) Measurement of low-dose and long-time external exposure using human 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) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：福島第一原発事故により環境に放出された放射性物質は、今後、環境に長期にわたって残存する。本研究では、福島第一原発事故後の放射能汚染地域で歯を用いた長期外部被曝の測定法の確立を目指し、どの程度の被曝なら歯を用いた評価が可能なのか明らかにすることを目的とした。その結果、年間約160mGy(約18.3μGy/h)の地点で、積算線量約80mGy以上の外部被曝において検出できることが示された。

研究成果の概要(英文)：The Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant accident released a substantial amount of radioactive nuclides into the atmosphere and caused extensive contamination of the environment. In this study, we tried to measure external exposure in such environment using human teeth. Teeth samples were exposed for six months in polluted zones induced by the accident. It is well known that external exposure produce CO signals in teeth enamels and these signals remain in it for a long time. We assessed the CO signals by using electron spin resonance measurement. As a result, it was confirmed that teeth enamel samples exposed in the evacuated zone under about 160 mGy per year (18.3μGy/h) increased in CO signals. And, there was a fine correlation between actual measurement values by dosimeters and regression analysis values by the CO signals in the teeth enamel in this condition.

研究分野：障害者歯科学

キーワード：Electron spin resonance External exposure Teeth

### 1. 研究開始当初の背景

福島第一原発事故により環境に放出された放射性物質は、今後、環境に長期にわたって残存する。事故後の急性期に期せずして被曝した可能性がある場合や、いずれ時期が来て帰還できる地域が増えた場合などに、環境からの被曝を評価することが非常に大切である。線量計を持たずして被曝した場合、どのように被曝量を評価するか様々な方法があるが、本研究では歯を用いて個体被曝量の推計がどの程度可能かについて検討を行う。とりわけ、今回の事故の環境下において、歯を用いた外部被ばく量をどの程度の検出限界を持って測定が可能かについて検討する。

歯は形成されたのち、ほとんど吸収を受けることのない非常に特徴的な臓器である。そのため、歯の内部被曝および外部被曝の評価方法を確立することで被曝歴を明らかにすることができ、放射線関連の疾患を検討する上で非常に有用なデータを提供するものである。我々はすでに歯に含まれるセシウムとストロンチウムについて定量を可能にし、内部被曝についてはその評価方法を確立しつつあるが、外部被曝については積算線量 200mGy 以上の比較的高線量領域での測定にとどまっているのが現状である。歯には、放射線被曝により炭酸ラジカルが発生し、そのラジカルは歯中に生涯にわたり消滅することなく歯質中に保持されることが知られている。したがって、炭酸ラジカルを精密に感度よく測定することができれば、過去にまで遡って、個体の累積被曝線量を推測することが可能となる。歯中の炭酸ラジカルの測定には、電子スピン共鳴法 (ESR 法) が有効である[1]。

### 2. 研究の目的

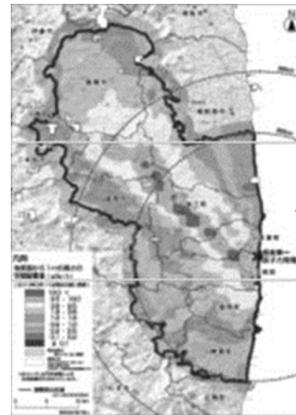
本研究では、福島第一原発事故後の放射能汚染地域での歯を用いた外部被曝量測定実現の可能性を検討するために、当該地域近隣の環境に実際に歯を留置して長期被曝をさせ、外部被曝量の測定を ESR 法にて行い、歯を用いた比較的低線量長期被曝の測定法の確立を目指し、どの程度の低線量長期被曝なら歯を用いた評価が可能なのか明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

歯冠周囲炎などの理由で抜去され収集された智歯を用いた。智歯は注水下にダイヤモンドディスクで歯冠部を切り出し、技工用エンジンにて物理的に注水下で象牙質を除去した。残ったエナメル質について、粒径が 425 μm から 1000 μm になるようメッシュのふるいとニッパーで粒径を調整した。それぞれの歯で、医療被曝の可能性を除去するために、事前にスクリーニング目的で ESR 測定を行いベースラインに違いがないことを確認してから一つにまとめて、約 3 g の粒状エナメル質を得た。そのサンプルを丁寧に混和し

均質化を図ったのち、直径 5mm の ESR 測定用の石英管に約 100mg ずつ充填し、以後の検討に用いた。

一方、あらかじめ、福島県の帰還困難地域において、文部科学省公表の空間放射線マップを参考に実地での空間線量の測定を行い、サンプルを留置する場所を設定した。すなわち、年間約 160mSV/y の高線量被曝地点、高線量被ばく地点近傍でアクリルと鉛による遮蔽を行い約 80mSV/y の線量を得た中線量地点、また、別の地点で約 6mSV/y の低線量地点の 3 地点を設定した。それぞれの地点に調製済みのエナメルサンプル、積算線量計ならびに温湿度ロガーを留置し、6 か月経過した時点でサンプルを回収し ESR 計測を行った。サンプル数は 1 点当たり例数 7 とし、積算線量計は 2 個同時に用いて測定し、その平均を積算線量とした。留置したサンプルは 1 か月に 1 回程度、線量記録と線量計の電池交換を行った。当該自治体へは研究協力者である弘前大学保健学研究科・三浦富智准教授の支援のもと入域許可を得た。



空間線量マップ (文部科学省)

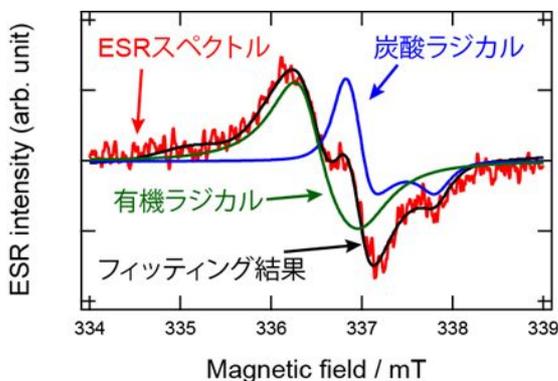
ESR 測定は次のような条件のもと行った。すなわち、装置は日本電子製 JES-RE2X (X バンド)、システムはラジカルリサーチ製 WinRAD を用い、測定は大気中・室温で行った (下図)。測定条件は国際的な測定プロトコル[4-6]を参考にし、マイクロ波出力 2 mW、磁場変調幅 0.2 mT、時定数 0.03 s、掃引幅 ±5 mT (MgO; Mn マーカーが左右の端に入るようにした)、掃引時間 0.5 m とした[7]。



ESR 装置 (JES-RE2X)

また、典型的な ESR スペクトルの例を下記に示す。このように得られたスペクトルを世界的に使用されているプログラムである Dosimetry[8]を用いてピーク分離を行った。本プログラムでは、炭酸ラジカルのシグナルを2つのローレンツ型曲線、有機ラジカルを1つのローレンツ型曲線としてデコンボリューションするが、この際に別のさらに線幅の広い等方的な信号やベースラインの変動などの信号も考慮して計算を行う。図中の青と緑の線はそれぞれ生スペクトルをデコンボリューションして得た炭酸ラジカル (g 値 2.0014 と 1.9969) と有機ラジカルのスペクトルである (g 値 2.0014)。これらの g 値は、過去の報告の g 値とほぼ一致した。また、黒線はフィッティング結果を示しており、測定スペクトルをほぼ再現していることがわかる。線量減少とともに炭酸ラジカルのピークが減少するため、低線量になればなるほど炭酸ラジカルが有機ラジカルに隠れてしまってデコンボリューションが困難になるため低線量での炭酸ラジカルの測定は非常に困難となる [7]。

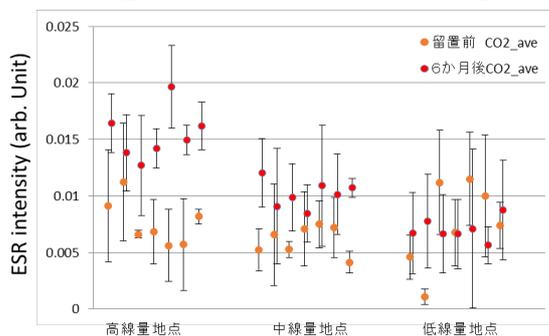
#### 典型的な ESR スペクトル



#### 4. 研究成果

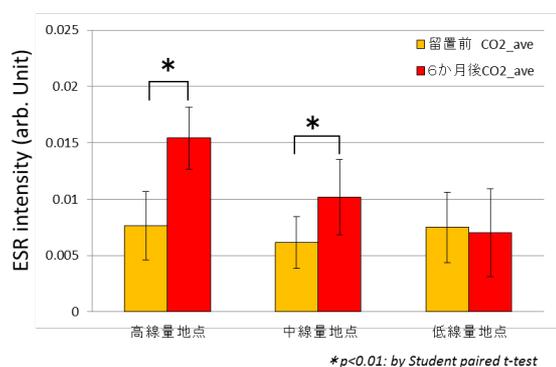
回収したエナメルサンプルにおける各エナメルサンプルにおける炭酸シグナル量を図1に示す。留置前の炭酸シグナルはどのサンプルも同程度の測定値であったが、留置後は高線量地点に留置したサンプルは炭酸シグナル量の増加を認め、低線量地点ではその傾向を認めなかった。また、同時に留置した積算線量計による測定値は高線量地点で 78.09mGy/6 months、中線量地点で 42.47mGy/6 months、低線量地点では 3.002mGy/6 months であった。

図1: 留置後のエナメル質における個々の炭酸シグナル量



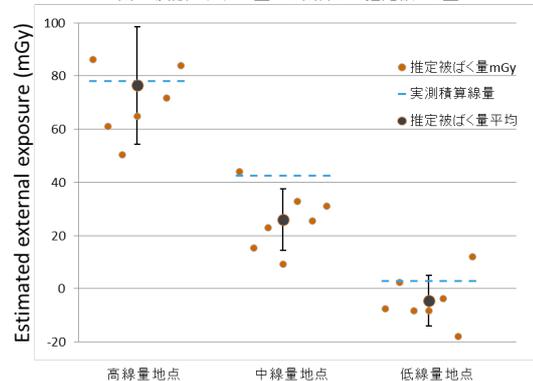
どのサンプル設置地点においても留置期間を通じて温湿度に ESR 測定に影響を与えるような変動を認めなかった。また、得られた炭酸シグナルの ESR 値を群として取りまとめたものが図2である。炭酸シグナル測定値は高線量地点 (78.09mGy) で 2.02 倍、中線量地点 (42.47mGy) で 1.66 倍となりこれらの測定点において留置前と比較して有意な炭酸シグナル量の上昇が認められた。このことから今回の福島原子力発電所事故による放射能汚染の環境下においても歯を留置することで外部被曝の指標である炭酸シグナルの生長が認められることが明らかとなった。

図2: 留置後のエナメル質における平均炭酸シグナル量



続いて、歯のサンプルから被曝線量を推定できるかどうか明らかにするために、得られた炭酸シグナルを、すでに研究分担者の岡らにより得られた照射線量と ESR 炭酸シグナルとの検量線 (次頁) により回帰した。用いた検量線は乳歯エナメル質を用いて 60Co 線源による実験照射により炭酸シグナルを生成させたサンプルから得られたものである。照射しないサンプルにおける 95% 信頼区間から本検量線の検出限界はおよそ 34mGy と算出されている [7]。その回帰の結果、図3に示すような推定被曝量を得た。

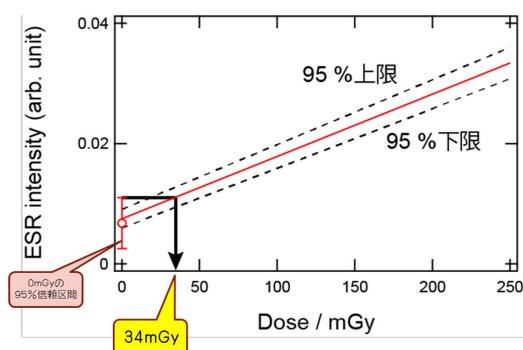
図3: 炭酸シグナル量から回帰した推定被曝量



本検討からコバルト線源による検量線を用いて、高線量地点においては実地における線量計測定値 78.09mGy に対して、ほぼ同水準の回帰値 76.49mGy を得ることができた。中線量地点では実測値 42.47mGy に対して、回帰値 25.92mGy と、やや回帰値が実測値を下

回った。このことは、用いた検量線の検出限界は  $34\text{mGy} \pm 16\text{mGy}$ [7]であるため、精度よく検出できる被曝範囲ではないこと、また、この地点のサンプルだけにアクリルと鉛による遮蔽を行っていたため、サンプルに到達した線源に差異が生じ、生成された炭酸ラジカル量に影響が出たとも考えられる。しかしながら、今後サンプルをさらに留置して積算線量を積み上げ、検出限界を大きく超えた領域での回帰を試みるのが重要と考える。

被曝線量と ESR intensity との相関



以上から、本研究において、福島第一原発事故後の環境において、歯のエナメル質を用いた外部被曝量測定が実用できる可能性が示唆された。現時点では年間約  $160\text{mGy}$  (約  $18.3\ \mu\text{Gy/h}$ )の地点で、積算線量約  $80\text{mGy}$  以上の外部被曝において検出できることが示された。前述したように、この先の展望として、再びサンプルを測定点に戻し、外部被曝させ、定期的に炭酸シグナル量を測定することで、より多角的に歯を用いた外部被曝量の測定プロトコルを確立できるものと考えられた。さらに、すでに得られている乳歯エナメル質による検量線の他に智歯を用いた検量線を描記することでより実的な被曝線量を回帰できるものと思われた。

#### <引用文献>

- [1] “Use of electron paramagnetic resonance dosimetry with tooth enamel for retrospective dose assessment”, IAEA-TECDOC-1331 (2002).
- [2] M. Iwasaki, C. Miyazawa, T. Uesawa, K. Niwa, “Effect of Sample Grain Size on the C033- Signal Intensity in ESR Dosimetry of Human Tooth Enamel”, *Radioisotopes*, 42 (1993) 470.
- [3] 岩崎みどり, 「個人の生涯線量計としての歯の検討」, *放射線化学*, 80 (2005) 28.
- [4] 豊田新, 「歯を用いた電子スピン共鳴線量計測」, *日本電子ニュース*, 42 (2010) 14.
- [5] K. Zhumadilov, A. Ivannikov, K. N. Apsalikov, Z. Zhumadilov, S. Toyoda, D. Zharlyganova, E. Tieliewuhan, S. ENDO, K. Tanaka, C. Miyazawa, T. Okamoto, M. Hoshi, “Radiation Dose Estimation by Tooth

Enamel EPR Dosimetry for Residents of Dolon and Bodene”, *J. Radiat. Res.*, 47 (2006) A47.

[6] A. I. Ivannikov, F. Trompier, E. Gaillard-Lecanu, V. G. Skvortsov, V. F. Stepanenko, “Optimisation of recording conditions for the electron paramagnetic resonance signal used in dental enamel dosimetry”, *Radiat. Protec. Dosi.*, 101 (2002) 531.

[7] 岡 壽崇, ヒト乳歯を用いた個体の被ばく量推定方法の確立, 平成26年度文部科学省 国家課題対応型研究開発推進事業原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ成果報告書(2015)

[8] A. A. Koshta, A. Wieser, E. A. Ignatiev, S. Bayankin, A. A. Romanyukha, M. O. Degteva, “New computer procedure for routine EPR-dosimetry on tooth enamel: description and verification”, *Appl. Radiat. Isot.*, 52 (2000) 1287.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

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, (90)Sr in teeth of cattle abandoned in evacuation zone: Record of pollution from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Scientific Reports*, 査読あり, Vol. 6, 2016, 24077, DOI: 10.1038/srep24077.

Tomokazu Fukuda, Masahiro Hiji, Yasushi Kino, Yasuyuki Abe, Hideaki Yamashiro, Jin Kobayashi, Yoshinaka Shimizu, Atsushi Takahashi, Toshihiko Suzuki, Mirei Chiba, Kazuya Inoue, Yoshikazu Kuwahara, Motoko Morimoto, Masafumi Katayama, Kenichiro Donai, Hisashi Shinoda, Tsutomu Sekine, Manabu Fukumoto and Emiko Isogai, Software development for estimating the concentration of radioactive cesium in the skeletal muscles of cattle from blood samples, *Animal Science Journal*, 査読あり, vol. 86, 2015, 12490, DOI: 10.1111/asj.12490.

Tomokazu FUKUDA, Yasushi KINO, Yasuyuki ABE, Hideaki YAMASHIRO, Jin KOBAYASHI, Yoshinaka SHIMIZU, Atsushi TAKAHASHI, Toshihiko SUZUKI, Mirei CHIBA, Shintaro TAKAHASHI, Kazuya INOUE, Yoshikazu KUWAHARA, Motoko MORIMOTO, Hisashi SHINODA, Masahiro HIJI, Tsutomu SEKINE,

Manabu FUKUMOTO and 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*, 査読あり, vol. 86, 2015, 120-124, DOI: 10.1111/asj.12301.

〔学会発表〕(計 19 件)

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、福島第一原発事故による被災ウシの歯の Sr-90 及び Cs-137 濃度と体内 Cs-137 分布との比較、第 17 回環境放射能研究会 2016 年 3 月 8 日 - 2016 年 3 月 10 日、高エネルギー加速研究所・茨城県・つくば市

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、歯中放射能測定による体内 Sr-90 と Cs-137 推定、日本放射線影響学会ワークショップ、2015 年 10 月 16 日 - 2015 年 10 月 17 日、富山大学五福キャンパス・富山県・富山市

Toshitaka Oka, Atsushi Takahashi, Kazuma Koarai, Yasushi Kino, Tsutomu Sekine, Yoshinaka Shimizu, Mirei Chiba, Toshihiko Suzuki, Ken Osaka, Hisashi Shinoda, Electron spin resonance dosimetry using deciduous teeth of Japanese children, *EPR BioDose*, 2015 年 10 月 4 日 - 2015 年 10 月 8 日, New Hampshire(USA)

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、ヒト乳歯の CO2 ラジカル測定による被ばく量推定、日本放射化学会年会・第 59 回放射化学討論会、2015 年 9 月 2 5 - 2015 年 9 月 2 7 日、東北大学・宮城県・仙台市

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 Sr-90 と Cs-137 濃度を指標とした環境中の時間変化の解析、日本放射化学会年会・第 59 回放射化学討論会、2015 年 9 月 2 5 - 2015 年 9 月 2 7 日、東北大学・宮城県・仙台市

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、南相馬市で採取されたサルの軟骨に含まれる放射性 Cs の測定、日本放射化学会年会・第 59 回放射化学討論会、2015 年 9 月 2 5 - 2015 年 9 月 2 7 日、東北大学・宮城県・仙台市

高橋温、岡壽崇、木野康志、清水良央、鈴木敏彦、千葉美麗、小坂健、篠田壽、佐々木啓一、歯を用いた個体被ばく線量評価 -電子スピン共鳴法を用いた検討、第 31 回「歯科医学を中心とした総合的な研究を推進する集い」、2015 年 9 月 19 日/歯科医師会館大会議室・東京

Atsushi TAKAHASHI, Toshihiko SUZUKI, Yoshinaka SHIMIZU, Mirei CHIBA, Kazuma KOARAI, Yasushi KINO, Tsutomu SEKINE, Manabu FUKUMOTO, Ken OSAKA, Hisashi SHINODA and Keiichi SASAKI, Assessment of 90Sr in cattle teeth in the Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant accident evacuation zone, *Sichuan-Tohoku Dental Symposium*, 2015 年 7 月 10 日 - 2015 年 7 月 11 日, Sichuan University West China School of Stomatology・Chendu(China)

小荒井一真、木野康志、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/福島第一原発事故後の被災ウシ歯質中への Sr-90 と Cs-137 の取り込み、第 52 回アイソトープ・放射線研究発表会、2015 年 7 月 8 - 2015 年 7 月 10 日、東京大学弥生講堂・東京

小荒井一真、木野康志、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、福島第一原発事故に伴う警戒区域内で採取されたウシの歯に含まれる Sr-90 の測定、福島復興に向けての放射線対策に関するこれからの課題 国際シンポジウム、2015 年 5 月 3 0 日 - 2015 年 5 月 3 1 日、パルセ飯坂・福島県・福島市

Toshitaka Oka, Atsushi Takahashi, Kazuma Koarai, Yasushi Kino, Tsutomu Sekine, Yoshinaka Shimizu, Mirei Chiba, Toshihiko Suzuki, Ken Osaka, Hisashi Shinoda, Electron spin resonance study for dose assessment of milk teeth, 15th International Congress of Radiation Research, 2015 年 5 月 25 日 - 2015 年 5 月 29 日, 京都国際会議場・京都府・京都市

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, May, 2015年5月25日-2015年5月29日, 京都国際会議場・京都府・京都市

小荒井一真, 木野康志, 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, 福島第一原発事故の被災動物の歯質中 Sr-90 と Cs-137 の放射能測定, 第16回「環境放射能」研究会, 2015年3月9日-2015年3月11日, 高エネルギー加速研究所・茨城県・つくば市

高橋温, 岡壽崇, 木野康志, 鈴木敏彦, 清水良央, 千葉美麗, 福田智一, 磯貝恵美子, 関根勉, 漆原佑介, 福本学, 篠田壽, 歯を用いた野生サルの外部被爆量の測定 ESR法を用いた検討, 日本放射線影響学会第57回大会, 2014年10月1日-2014年10月3日, かごしま県民交流センター・鹿児島県・鹿児島市

清水良央, 鈴木敏彦, 漆原佑介, 高橋温, 千葉美麗, 小坂健, 福田智一, 小荒井一真, 木野康志, 関根勉, 磯貝恵美子, 篠田壽, 福本学, 福島第一原発事故被災二ホンザルの全身骨組織への放射性物質取り込み, 日本放射線影響学会第57回大会, 2014年10月1日-2014年10月3日, かごしま県民交流センター・鹿児島県・鹿児島市

千葉美麗, 清水良央, 高橋温, 鈴木敏彦, 小荒井一真, 木野康志, 小坂健, 福田智一, 関根勉, 磯貝恵美子, 福本学, 篠田壽, 福島第一原発事故による被災牛の硬組織に取り込まれた放射性物質の濃度と分布様相, 日本放射線影響学会第57回大会, 2014年10月1日-2014年10月3日, かごしま県民交流センター・鹿児島県・鹿児島市

小荒井一真, 木野康志, 高橋温, 鈴木敏彦, 清水良央, 千葉美麗, 小坂健, 福田智一, 磯貝恵美子, 岡壽崇, 関根勉, 福本学, 篠田壽, 福島第一原発事故に伴う旧警戒区域内の被災動物歯質中放射性 Sr の比放射能測定, 日本放射線影響学会第57回大会, 2014年10月1日-2014年10月3日, かごしま県民交流センター・鹿児島県・鹿児島市

小荒井一真, 木野康志, 高橋温, 鈴木敏彦, 清水良央, 千葉美麗, 小坂健, 福田智一, 磯貝恵美子, 岡壽崇, 関根勉, 福本学, 篠田壽, 歯の放射能測定による環境中の放射能汚染

の推定, 第33回分子病理学研究会, 2014年7月25日-2014年7月26日, 宮城蔵王ロイヤルホテル・宮城県・蔵王町

小荒井一真, 木野康志, 二瓶英和, 高橋温, 鈴木敏彦, 清水良央, 千葉美麗, 小坂健, 村上忍, 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牛の歯中 90Sr 測定, 第51回アイソトープ・放射線研究発表会, 2014年7月7日~7月9日, 東京大学・東京

## 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

千葉美麗 (CHIBA, Mirei)

東北大学・歯学研究科・講師

研究者番号: 10236820

清水良央 (SHIMIZU, Yoshinaka)

東北大学・歯学研究科・助教

研究者番号: 30302152

鈴木敏彦 (SUZUKI, Toshihiko)

東北大学・歯学研究科・准教授

研究者番号: 70261518

篠田壽 (SHINODA, Hisashi)

東北大学・歯学研究科・名誉教授

研究者番号: 80014025

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

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号:

### (4) 研究協力者

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

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)