

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2013

課題番号：25670891

研究課題名(和文)福島原発事故被災動物の歯・骨組織の被曝線量評価

研究課題名(英文)Exposed radiation dose in teeth and bone of animal in the evacuation zone of the Fukushima daiichi nuclear power plant

研究代表者

清水 良央 (SHIMIZU, Yoshinaka)

東北大学・歯学研究科(研究院)・助教

研究者番号：30302152

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：福島第一原発事故に伴い拡散した放射性物質の生体への影響として、骨、歯についての体系的な調査が行われた。今回、ウシ、ネズミ、サルの歯および骨について、X線写真、イメージングプレート、ゲルマニウム半導体検出器、ESRなどを用いて検討した。イメージングプレートの画像からウシでは形成期の歯および骨に放射性物質の取り込みが確認された。ゲルマニウム半導体検出器では形成期の異なる歯種で、放射性物質の取り込み量が異なることが明らかになった。アカネズミでは、空間線量の高い地域で歯への取り込みが多いことが明らかになった。サルの歯ではESRスペクトル調査で、高線量地域のサルの歯で明らかな高値を示すことが確認された。

研究成果の概要(英文)：Exposed radiation dose in teeth and bone of animal in the evacuation zone of the Fukushima daiichi nuclear power plant were investigated. Bone and teeth of cattles, mouses, monkey in evacuation zone were examined using imaging plate, germanium, germanium semiconductor detector and ESR system. Uptake of radioactive materials was confirmed in newly formed area of tooth substances and bones in imaging plate photographs. By germanium semiconductor detector, the different uptake in each tooth revealing different generative stages was demonstrated. Uptake of mouse teeth revealed high correlation to air radiation dose. In monkey tooth in evacuation zone, ESR spectrum was detected.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：社会系歯学

キーワード：放射性物質 骨 歯

1. 研究開始当初の背景

福島第一原発事故に伴い飛散した放射性物質が生物に与える影響を科学的に明らかにし、過度な不安を取り除くことは急務である。これまで東北大学では、早い段階で被曝の影響を調査するため原発周辺で処分された牛、豚などの全身臓器サンプルを採取し保存してきた。予備実験の中で血中線量と肝、腎、筋などの線量が相関を示すことが分かっている。しかし放射線の影響は、今後、長期にわたることが予想され、内部・外部被曝量の履歴を客観的に評価することは、予防や検診などを進める上で重要であるとともに、晩発的に発症する疾患との因果関係を考える手がかりとして必要となる。そのため血中濃度に依存する肝、腎、筋などの臓器ではなく、形成期に蓄積し生涯その履歴を残す可能性がある歯、骨の内部・外部被曝の評価方法の確立は、全身すべての放射線関連の疾患を検討する上で最も信頼されるデータをもつ臓器として利用されることになると考え本研究を行った。

2. 研究の目的

形成中の歯や骨には放射性ストロンチウム (Sr-90) が取り込まれ沈着することが知られている。本研究は、歯の持つ非代謝性・記録性に着目し、歯に沈着した放射性物質を測定することにより個体の内部被ばく、外部被ばく状況を包括的に把握しようとする新しい試みである。本研究では、福島原発事故に伴い、殺処分された動物の歯や骨を用いて、放射性物質の骨、歯での動態を多角的に検討することにより、記録性としての使用方法を確立することを目的としている。これらの結果は、福島第一原発事故による環境汚染の健康影響を評価するための基礎資料とし、利用できると考えられ、その価値は大きい。

3. 研究の方法

(1) X線撮影による歯の年齢推定と異常所見確認

保存動物サンプルのX線写真を撮影した。基本的に規格写真として同一条件下で撮影を行い、歯の形成状態、歯根の形成状態について、歯冠の長さ、歯根の長さ等、計測学的手法により評価し、年齢推定データを得た。

(2) 病理組織学的検討

樹脂包埋、パラフィン包埋標本の作製し、光学顕微鏡下にて各組織の異常の有無を確認した。パラフィンは脱灰後、樹脂はそのまま包埋して標本作製した。エナメル質の構造、象牙質の構造、特に象牙細管の走行や太さと均質性について形態学的に評価する。

(3) 線量評価と局在

イメージングプレートによる断面での局

在調査

ウシでは臼歯部の顎骨を含めた前頭断面を作製し、歯髓腔がみられる状態での断面を作製した。樹脂包埋を行い、表面を研磨したあと、イメージングプレートにて1ヶ月放置して、放射性物質の局在と強度を調べる。歯種による違い、被曝時期、被曝時年齢すなわち被曝時の歯の形成状況と被曝期間の歯の形成領域を推計して放射性物質の取り込みパターンを調査した。

ベータ線およびガンマ線カウンターによる核種ごとの濃度分布調査

線、線をカウントすることで核種と量的な評価を行う方法で、歯種、採取骨の部位などで切り出し、粉碎後、それぞれの濃度差に応じて検出期間を検討し、評価した。

ESRによる歯の表面における外部被曝量の客観的データ採取

ESR分光装置は、試料の形状に影響されることなく、非破壊で、選択的にフリーラジカルを測定できる唯一の手段として、放射線をあびた前歯部エナメル質表面のエナメル質表面のフリーラジカルを評価した。

4. 研究成果

(1) ウシ歯のX線撮影による年齢推定と異常所見確認

採材された牛の顎骨を下図のようにX線撮影を行い、歯の異常形態、異常数について検討を行ったが、異常所見はみられなかった。また顎骨についても異常吸収、異常骨形成も確認されなかった。



図1. ウシの下顎骨のX線写真像

上記のX線写真を用いて、歯冠長、歯根長の計測を行った結果、歯冠長は、加齢とともに減少することが明らかになった(図2)。一方、歯根の長さには有意な変化は見られなかった。ウシの歯は食性に関連する臼磨運動による歯冠部の咬耗が顕著である。一方で口腔内に露出する歯冠部を一定に保たなければならない、咬耗にしたがって挺出する。そのため歯冠長は加齢とともに減少を示す。これらのデータはブラインドで計測したものをグラフ上で年齢推定し、後から年齢を調査したとき、概ね一致することを確認した。

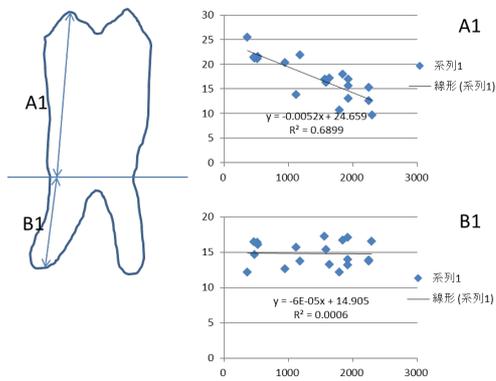


図2．ウシ歯の歯冠長、歯根長の変化

(2) 被災ウシ歯質中に見られる放射性物質

被災動物の歯のイメージングプレート像 (IP 像) には明瞭な放射性物質の存在が認められた。図3には、福島警戒区域内 (K 地区、空間線量 0.8-1.0 $\mu\text{Gy/h}$) で捕獲したウシの小白歯と大白歯部より得た歯の縦断標本とその IP 像 (1ヶ月の露出) が示した。この図から明らかなように、放射性物質は形成途中の歯や骨面に分布しており、形成が完了している歯の中にはほとんど認められない。このことから、放射性物質は基本的には歯の形成期に取り込まれ、蓄積することが分かった。

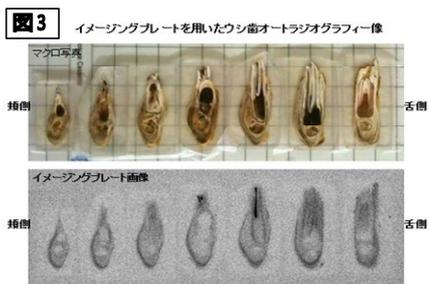


図3．イメージングプレートを用いた歯および骨内の放射性物質の局在。

また上記ウシの歯の中に含まれる核種をゲルマニウム半導体検出器により同定したところ、線放出核種としては Cs-137, 134 が認められた。高度汚染地区 (O 地区、空間線量 10-12 $\mu\text{Gy/h}$) において捕獲したウシの歯・骨組織について Cs-137 と併せ Sr-90 の測定を行ったところ図4のような結果を得た。汚染度の高い地区においては 300 Bq/kg を越える Sr-90 を示す歯もみられた。イメージングプレート上で確認できた放射性物質は、セシウム、ストロンチウムであることが判明した。

歯および骨における Cs-137, Cs-134

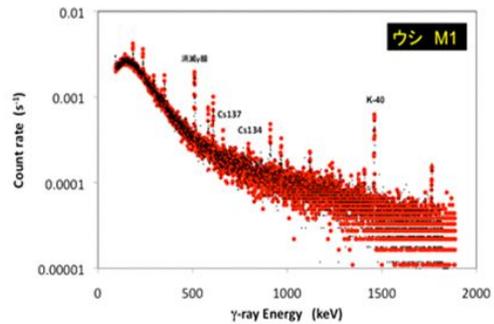


図4．ウシ歯における放射線核種の同定

さらに上記の方法を用いて、歯種ごとの放射性物質取り込み量について、検討した結果を示す。以下のように同一個体でも歯に含まれる放射性物質の取り込み量が異なり、この違いは歯の形成期との相関があることが明らかになった。すなわち歯への取り込みは、体液の循環、拡散ではなく、形成期に取り込まれることが明らかになった。(図5)

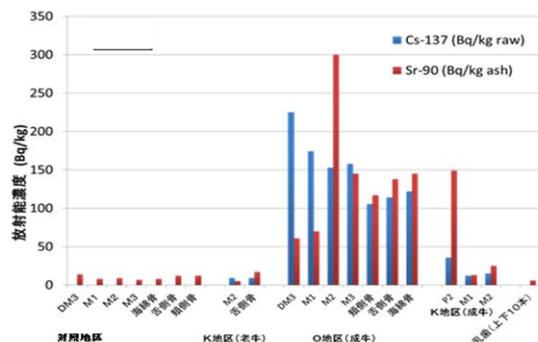


図5．歯種別放射性物質の取り込み

(3) アカネズミの歯における放射性物質の取り込みと環境の比較

動物が棲息する環境中の空間線量や土壌線量と歯の中の放射性物質の量における相関について検討を行った。環境線量と歯の中の放射性物質量が強く相関することが図6、7 に示された野生アカネズミの歯の測定結果からも明らかになった。図6とは野生アカネズミの IP 像を示したもので、警戒区域内で空間線量が異なる6つの地域で捕獲したアカネズミの上下各2本ずつの切歯を地域ごとに並べたものである。線量が高い地域に棲息していたネズミほど、切歯中に含まれる放射性物質の濃度が高いことが分かった。図7はこれらの切歯中に含まれる Cs-137 の量を示したものである。対照地区の切歯内には Cs-137 は検出されなかったが、空間線量が高い A 地区のアカネズミの切歯には 5000Bq/kg を越える個体もみられ、相関を示すことが示唆された。

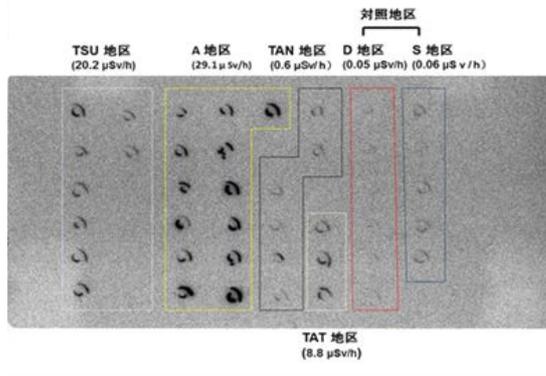


図6 . イメージングプレートによるアカネズミの歯の放射性物質取り込み

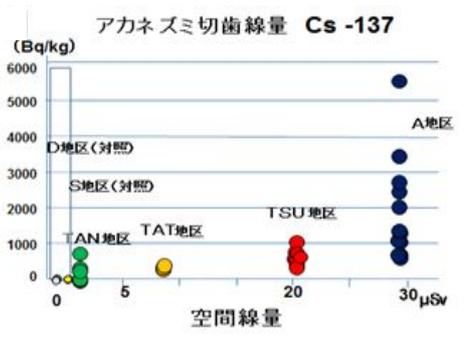


図7 . アカネズミの歯の放射性物質取り込みと環境線量の関係

(4) ESR法による歯からの外部被ばく量の推定

歯エナメル質の主成分であるヒドロキシアパタイトへのX線照射によって生ずる用量依存的なラジカルの発生の状態について予備実験的に検討を行い、ESR スペクトルの発生を示した(図8)。図9には、これによって得られたESRシグナルと照射X線線量との関係を示した。アパタイトへのX線照射量とラジカルの発生量との間には、これまで知られていたように100mGy以上では比例関係が得られたが、同時に10-50mGy以下においても比較的低線量まで直線関係が得られた。このことにより比較的低線量の累積被爆であっても信頼できるデータの採取が可能になると思われた。

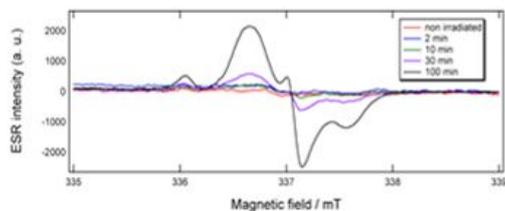


図8 . ヒドロキシアパタイトでのラジカル発生

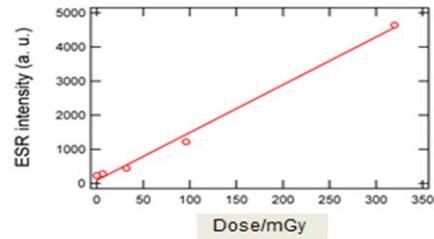


図9 . X線照射量とESRスペクトルの発生の関係

図10には福島県相馬地方の山中で捕獲した被ばくニホンサルから得たサルの歯と、コントロールサルの歯についてESRのシグナルを比較した結果を示した。相馬のサルの歯にはコントロールに比べて3-5倍程度のラジカルが存在することが分かった。

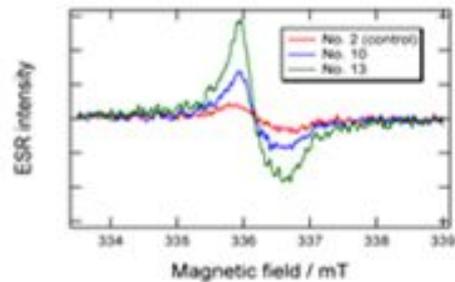


図10 . サル歯におけるESRスペクトルの検出

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)

[学会発表](計3件)

清水良央、千葉美麗、高橋 温、鈴木敏彦、小坂 健、福田智一、木野康志、関根 勉、磯貝恵美子、福本 学、篠田 壽、福島第一原発事故被災牛の形成中硬組織への放射性物質取り込み、日本放射線影響学会、平成25年10月18日、弘前市

鈴木敏彦、二瓶英和、小荒井一真、木野康志、高橋 温、清水良央、千葉美麗、小坂 健、福田智一、磯貝恵美子、関根 勉、福本学、篠田 壽、福島第一原発事故による被災動物の硬組織に含まれる放射性ストロンチウムの抽出と解析、平成25年10月18日、弘前市

篠田 壽、木野康志、中田章史、葛西宏介、高橋 温、清水良央、鈴木敏彦、千葉美麗、小坂 健、福田智一、磯貝恵美子、関根 勉、福本学、三浦富智、福島第一原発事故被災域に棲息する野生アカネズミの歯の線量解析、平成25年10月18日、弘前市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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：30302152

(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：00272005

高田雄京 (TAKADA YUKYO)
東北大学・大学院歯学研究科・准教授
研究者番号：10206766

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

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：70261518

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：80014025

(3) 連携研究者

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：10236820