

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K12173

研究課題名（和文）福島原発事故被災野生ニホンザルを用いた放射線病理学的解析

研究課題名（英文）Radiopathological analysis of Japanese macaques affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident

研究代表者

福本 学（Fukumoto, Manabu）

国立研究開発法人理化学研究所・革新知能統合研究センター・客員主管研究員

研究者番号：60156809

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：有害獣として福島第一原発周辺地域で殺処分された野生ニホンザル（被災サル）の解剖を行い、内部・外部被ばく両方の線量・線量率評価を伴った臓器アーカイブを構築し、国内外の研究者に提供した。アーカイブを用いて特に放射線感受性で問題となっている臓器である、甲状腺、水晶体と精巣について精査した。甲状腺では、被ばく線量と無関係に増殖性変化が観察された。放射線の影響を否定できない白内障の変化を認めた。精子形成のステージ分類を行ったが、対照群に比較して有意な所見は得られなかった。今後も継続して、霊長類である被災サルの病理学的解析からヒトの低線量率長期放射線被ばくの影響と防護への直接的な貢献を目指す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

福島第一原発事故を契機として、原子力災害は起こり得るものであり、この事故による人体や環境影響について大きな関心が寄せられている。原子力災害では、発散して移動する放射性物質による外部に加えて内部被ばくが問題となる。しかし、人体では直接、放射性物質の体内挙動や臓器の被ばく量や影響を知ることはできない。福島第一原発周辺で人類に最も近縁の動物種である野生ニホンザルは、事故後、継続的に放射性物質から外部・内部の複合被ばくをしており、有害駆逐獣として行政的に頭数制限が行われている。本研究による捕獲されたサル臓器のアーカイブ構築と影響解析は、直接人体影響に反映され、将来の防護戦略の構築に役立つ。

研究成果の概要（英文）：We have been performing autopsies on wild Japanese macaques culled in the area surrounding Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant as harmful animals, and have been constructing an organ archive with assessments of both internal and external radiation dose and dose-rate, which we provide to researchers. Using the archive, we conducted a detailed examination of the thyroid gland, lens, and testes, which are important due to their radiosensitivity. In the thyroid gland, proliferative changes were observed regardless of the radiation dose. Cataractous changes were observed, but their frequency was not related to age or radiation dose. Spermatogenesis was staged, but no significant findings were obtained compared to the control group. We will continue to conduct pathological analysis of the disaster-affected macaques, non-human primates, aiming to directly contribute to elucidating the effects of long-term low-dose-rate radiation exposure on the human body and radiation protection.

研究分野：放射線病理学

キーワード：福島第一原子力発電所事故 野生ニホンザル 臓器アーカイブ 甲状腺 白内障 精巣 放射線影響 放射線防護

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

世界中の人々が、どのような放射線被ばくなら健康障害が起こらないのか、について解答を求めている。放射線の生物影響は放射線の種類に依存するが、一般的に線量、線量率が大きい方が、また、分裂能の高い細胞の方が大きい。放射線の人体影響研究は、原爆や放射線治療などによって得られた経験に依存しているが、これらの例は主に外部被ばくによる影響である。核テロや廃炉作業で起こり得る被ばく事故では、外部被ばくに加え、放射性物質による内部被ばくが問題となる。内部被ばくでは、放射能の物理的半減期や線質ばかりでなく、放射性物質の物理・化学的性質によって、臓器ごとに被ばく線量が異なる。臓器や組織別の被ばく線量・線量率の算出(線量評価)なくして被ばくの人体影響は理解できない。福島第一原発事故は不幸な出来事ではあるが、この経験を生かして放射線防護に役立てる必要がある。人類に最も近縁の動物種であるため、サルへの影響は直接人体影響に反映される。福島第一原発周辺では野生ニホンザルが生息しており、有害獣として頭数制限の対象となっている。

福島第一原発事故の発災から1年後以来、原発周辺に生息する被災サルの採材を続けている。驚くべきことに、発災後8年を経過しても、体内放射性セシウム(^{137}Cs)濃度は高止まりしていた。研究開始現時点で、被災サルに肉眼的異常は観察されず、低線量率放射線に適応していると考えられた。今後も適応し続けるのか、いつかは破綻して有害事象を発生するのが課題である。本研究は、放射線感受性臓器の分子変化の解析によって低線量率内外混合被ばくの人体影響の機構解明を目指している。

2. 研究の目的

サルはヒトに最類縁種である。そのため、福島原発事故に被災した野生ニホンザル(被災サル)における変化は、低線量率放射線の長期持続的被ばくによる人体影響を直接反映する可能性が極めて高い。技術革新と科学的新知見によって、現在では不明でも将来、解明されたり発見される事象は際限ないと考えられる。福島原発事故被災地域で頭数制御を目的として、行政的に殺処分された野生ニホンザルへの影響の正確な解析データを積み重ねるとともに、将来の生物影響発現の分子機構の解明に必要な情報と最適な条件からなるアーカイブシステムを構築することが目標である。本研究の最終目的は、このアーカイブを利用して、放射性物質による生物影響解析法の世界標準を目指すとともに、ヒトの放射線防護に貢献することである。

3. 研究の方法

市町村から委託されている猟友会会員が、捕殺した野生ニホンザル冷蔵庫に保管した後、連絡を受ける。それに応じて東北大へ持ち帰り解剖を施行し、臓器ごとに凍結保存と組織標本作製を行う。また、各臓器の放射能を測定し、分担研究者へ資料提供した。各解析法については研究成果に簡潔に述べた。

4. 研究成果

(1) 2013年以来、野生ニホンザルを継続的に集積し、2024年3月末時点で計911頭(被災サル群:615頭、対照非被災サル群:296頭)からなる臓器アーカイブの構築を続けている。このアーカイブを用いて、主に以下の3つの結果を得た。

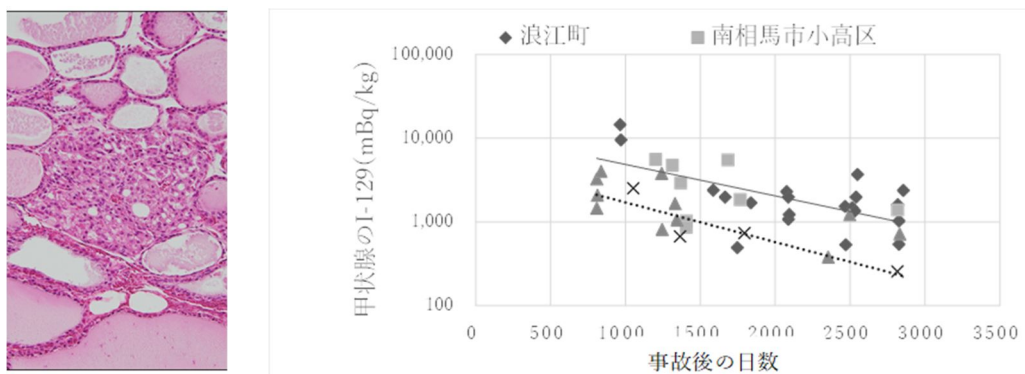
(2) 被災サル甲状腺への影響

我が国では、甲状腺がんの90%が乳頭癌で5%が濾胞癌である。甲状腺の位置する頭頸部や胸部の疾患に対し放射線治療を受けた患者に甲状腺がんが多発したこと、原爆被爆者に被爆後10年くらいしてから甲状腺がんの発症が増加し、現在に至るまで発癌リスクは高いままとされている。これらに共通した特徴として、被ばく時の年齢が若いほど、また線量が大きいほど発癌リスクが高く、ほぼすべてが乳頭癌である。チェルノーベリ(チェルノブイリ)原発事故では、事故後4年過ぎから小児、特に事故時5歳未満だった小児に甲状腺癌が増え始め、事故後の時間経過とともに発症年齢も高くなっている。放射性ヨウ素(^{131}I)によって汚染された食物、特にミルクによる内部被ばくが原因とされている。また、チェルノーベリ原発周辺地域はもともと低ヨード地域で、体内に入った ^{131}I が甲状腺に集積しやすかったことも発がんを促進したと考えられている。福島第一原発事故で環境中に放出された放射性能量は、 ^{131}I を含めてチェルノーベリ原発事故の $1/6 \sim 1/10$ と推定されており、事故直後から食品流通規制などの被ばく防止策がとられたため、内部被ばくは、通過した放射性プルームの吸入や水源地汚染によるものとされている。この結果、被災地住民小児の甲状腺等価線量は、最大でも50mSv程度と推定されており、チェルノーベリ原発事故での最大値750 mSvの $1/10$ 未満である。推定被ばく線量が低いものの、チェルノーベリ原発事故で小児甲状腺癌が増加したことから、福島県民健康調査が2011年10月から実施され、事故当時18歳未満であった296,253人に対する検診で、84人に甲状腺癌が見つかり、罹患率に換算すると37.3人/10万人・年となり、これは小児甲状腺癌の一般的な罹患率とされる1人/100万人・年に比較して373倍となる。しかし、2012年岡山大学の新入生に実施された検診結果との比較では、福島県民調査の方が罹患率が低い傾向であった。さらにチェル

ノービリ原発事故の被災者と比較すると、県民調査で甲状腺病変を認めた例は成人に近く、その後の追跡調査でも、チヨルノービリ原発事故でみられたような事故後 4 年以降からの患者の急増は確認できていない。そのため、罹患率の増加は、精密な検診受診者が増加したことで、これまで見つかることのなかった癌を拾い上げたため(スクリーニング効果)とも考えられる。さらに、今までに放射線が関係して発生した甲状腺がんと無関係な甲状腺がんの間に病理学的な違いは見つかっていない。それだけに原発事故に起因するの否かについて熱い議論が続いている。議論の解決に向けて、がんが発生した甲状腺における被ばく線量を知ることが必要だが、ヒトの甲状腺を入手して解析することは困難である。福島第一原発周囲に生息する被災野生動物は、ヒトと異なり、今なお放射性物質への曝露を受け続けている。特に被災野生ニホンザルはヒトと同じ霊長類に属するため、微量放射性物質による長期被ばくのヒトへの影響を知るうえで貴重な資料である。

福島第一原発周囲で捕獲された野生ニホンザル(被災サル)において甲状腺の被ばく線量と病変の有無について解析した。本研究では、2013 年から 2018 年にかけて捕殺された 449 頭のサル甲状腺組織標本を検鏡したところ、4 頭に甲状腺の濾胞上皮に小さな病変を認めた(図 1 左)。これは罹患率に換算すると、891 匹/10 万匹と福島県民調査に比べてはるかに大きい数値であった。放射線被ばくとの関連を解析するために被ばく線量を評価する必要がある。核分裂の結果、原子炉で生成されるヨウ素同位体は主にヨウ素(1)-129(半減期 1,570 万年)、I-131(8 日)と I-133(21 時間)で、これらは化学的に同じ振る舞いをする。甲状腺の被ばくは、I-131 による内部被ばくが問題となるが、半減期が短いため、事故当時の I-131 濃度は類推できない。福島第一原発で生成されて放出された I-129/I31 の比が一定なので、半減期の極めて長い I-129 の濃度を知ることによって、ヨウ素 131 の放射能濃度を推測することが可能である。ところが微量であるため、今まで I-129 は大掛かりな設備である加速器質量分析装置(AMS)でしか計測できなかった。しかし、分担研究者の大野は、研究室サイズの誘導結合プラズマ質量分析法(ICP-MS)で I-129 の計測を可能にした。ICP-MS で被災サル甲状腺における I-129 濃度を計測した結果、原発事故からの時間経過とともに指数関数的に減少傾向にあり、半減期は浪江町で 770 日、南相馬市鹿島区で 693 日であった(図 1 右)。ヒト甲状腺におけるヨウ素の生物学的半減期は約 80 日であることから、検出された甲状腺の I-129 は、採取時点で環境中に留まっているものを反映しており、汚染した食べ物を介した摂取が続いていると考えられる。そうであれば、捕獲時の I-129 濃度と時間経過に伴った減少分を遡ることによって、原発事故発生当時の甲状腺に集積した I-129 濃度を知ることができることになる。結果として、I-131 による甲状腺の被ばく線量も推定できることになる。現在、原発事故を経験した個体か、事故後に生まれた個体かを考慮しながら、病変の見られた 4 個体とその他の個体の I-131 からの被ばく線量を推計するための年齢割り出しを行っている。

図 1 . 甲状腺病変 (左) とヨウ素 129 の実効半減期 (右)



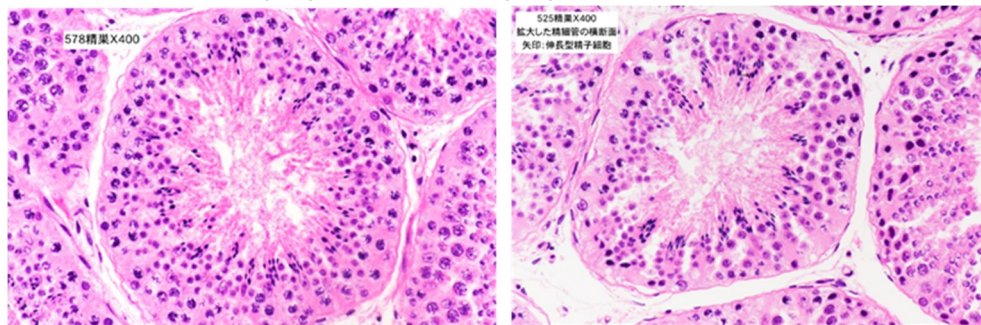
(3) 被災サル精巣への影響

精子形成過程が放射線に高感受性であることは広く知られている。精子は、精巣の細精管の中でセルトリ細胞を支持細胞として周期的に前駆細胞から形成され、これらの細胞の集合を精上皮と呼ぶ。生殖細胞は A 型精原細胞として始まり、6 回の体細胞分裂を経て一次精母細胞になる。生殖細胞は、染色体複製(プレレプテン期)の後、減数分裂前期に入り、相同染色体の対合(接合子期)、交差および染色体部分交換(パキテン期)を経て、2 回の減数分裂を経て半数体細胞(精細胞)になり、成熟プロセスが完了すると精細管上皮を離れる。精細管の断面では、4~5 世代の生殖細胞が共存している。すべての生殖細胞は同じ速度で成熟するため、精細管のある領域に共存する生殖細胞はランダムではなく、成熟段階に従って精細管の内腔に向かって垂直に一列に並んだ細胞群を形成する。精子への成熟の過程では、この代表的な細胞群をステージと呼ぶ。成熟開始から一定期間が経過すると、再び次の世代の成熟が始まる(精細管上皮の周期)。精子形成の周期的な変化には、隣接する部分が波のようにゆっくりと動くことが含まれる。精子形成障害のある精巣の細精管の各断面でステージを決定し、同一ステージの正常細精管と比較すれば、障害を受けた成熟段階を知ることができる。本研究では、2018 年 11 月から 2020 年 9 月にかけて捕獲した被災ニホンザル(8 頭)の細精管の組織標本作製して、ステージの決定を正確

に行い、非被災群のサル個体（1頭）と比較して、精子形成の成熟段階に特異的な影響が現れていないかを検索した。そのために、まず、ヘマトキシリン・エオジン（HE）染色と精子細胞の先に特異的に結合するレクチンである大豆凝集素（SBA）の染色によって、各精巣に含まれる細精管のステージ判定を行った。さらに、生殖細胞の増殖を PCNA、アポトーシスを活性化型である切断型カスパーゼ 3、そしてセルトリ細胞の機能を中間フィラメントの一種であるビメンチンの免疫染色によって検討した。

被災サルと非被災サル、両群ともに 12 ステージに分類が可能で、両群間で精子形成に関する明確な差異は認められなかった（図 2）。また、本研究で使用した野生ニホンザルは全て性的に成熟しており、繁殖期にあったことも確認した。精上皮で増殖している精原細胞は両群ともに、ステージ I～VI では B 精原細胞、ステージ VII および VIII ではプレレプテン期初代精母細胞、ステージ IX ではレプトテン期初代精母細胞、ステージ X および XI では接合子期一次精母細胞、およびパキテン期一次精母細胞、ステージ XII ~ VII では精母細胞であった。一方、アポトーシスを起こした細胞は両群ともに、ステージ I ~ VI では B 精原細胞、ステージ VII および VIII ではプレレプトテン一次精母細胞、ステージ IX ではレプトテン一次精母細胞であった。ただし、各ステージの精子形成段階が同一であれば全て細胞というのではなく、一部の細胞でしかアポトーシスを認めなかった。このように、精上皮内の特定の成熟段階における増殖中とアポトーシスを起こした生殖細胞の分析では、被災サルと非被災サル群の間に差異は確認されなかった。結論として、福島第一原発事故による放射性物質の影響を受けた地域に生息していた野生ニホンザルの精子形成に有意な異常を認めなかった。放射線感受性の高い精巣に関して、野生ニホンザルの精子成熟の各段階に応じた精密な解析は本研究が初めてである。さらに、精上皮の増殖期やアポトーシス期の精子形成段階の出現に焦点を当てていない。本研究の問題点として、当初、精巣の長軸方向の断面を作製していたが、短軸方向の断面でないとステージ判定ができないため、以前の組織標本が使えなかったこと、加えて、解析が雄ザルに限定されることから頭数、特に非被災コントロール数が限定されてしまった。解析の指導と実施をお願いした九郎丸岡山理科大学教授の定年退職によって、サル精巣のステージングが不可能になることが危惧される。

図 2 . 被災サル（左）と非被災サル（右）精巣の細精管像の HE 染色画像



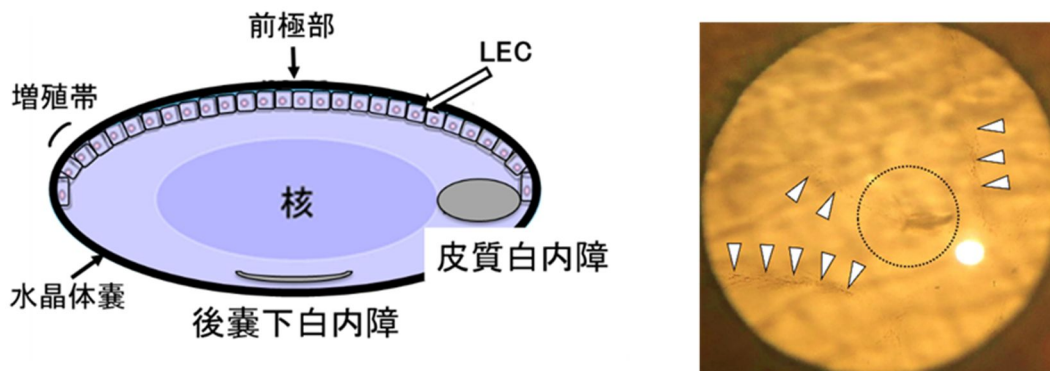
（４）被災サル水晶体への影響

原爆被爆者や動物実験から、従来考えられていたよりも低線量の放射線被ばくで白内障が起こる可能性が明らかとなり、防護上の問題となっている。加齢では皮質白内障が多く発症するが、放射線誘発白内障は、全てではないが、後嚢下に生じることが特徴である。水晶体は、赤道部や前極よりの増殖帯に現局して水晶体上皮細胞(LEC)が分裂増殖し、水晶体線維細胞(LFC)へ分化しながら透明となり、水晶体核を取り巻くことによって形成される（図 3 左）。放射線感受性の高い LEC が傷害を受けて惹起される細胞移動の異常と、上皮間葉系移行が誘導されて起こる線維化が放射線白内障の原因と考えた。

水晶体における低線量率慢性放射線被ばくの影響を知るために、2016 年 9 月から 2022 年 7 月にかけて福島第一原発周辺で捕獲した 114 頭の被災サルの眼球の検討を行った。徹照カメラによる観察をしたところ、どの個体にも主病型である、皮質、核、後嚢下白内障のいずれも認めなかったが、複数個体の水晶体に白内障の副病型とされている、水晶体皮質浅層の Y 字縫合線（図 3 右・破線内）と空隙（同・矢頭）の形成が観察された。これらの変化と、摘出した水晶体の組織所見で LFC の後極へ向かう移動の乱れや液胞形成など、何等かの白内障性病変を約 15%の個体に認め、所見を認めた個体群と認めない群のセシウム Cs-137 による内部被ばく線量率、推定線量と年齢を比較したが、現時点では、いずれも両群で有意な差を認めなかった(Mann-Whitney U 検定)。蛍光免疫染色では、糖尿病発症モデルラット水晶体の液胞周囲に観察されるアクアポリン 0 (AQP0) および AQP5 の蓄積が、被災サル水晶体では認めなかった。また、LFC 同士の結合が弱くなっていると考えられる部位での α -SMA の免疫染色が陰性であったことから、上皮間葉系移行が起こっていないことが明らかとなった。これらの結果から、被災サルにおける白内障性病変の発症機構が糖尿病や加齢に起因するものとは異なることが示唆された。臨床的に白内障は定義が難しく、本研究で観察された副病型が独立した病変なのか、時間経過とともに主病型である水晶体の混濁や視力障害の発症につながる初期段階なのか、は大きな課題である。この問題点を踏まえて、低線量率の放射線が水晶体に及ぼす累積的な影響を理解し、野生動物と人間の両方を

放射線誘発性傷害から守るために、今後も長期観察の継続が必要である。現在、全個体の年齢査定と外部被ばく線量・線量率の推定を進めている。

図3．水晶体の白内障の発生部位の模式図（左）と水晶体病変



(4) まとめ

現時点で、福島第一原発事故に起因する放射能が確認できる放射性物質は、セシウム(Cs)-137 だけであり、その体内濃度から、捕獲時の内部被ばく線量率は知ることができる。現在までの我々の研究から、被災動物に肉眼的な異常は認めないが、血中酸化ストレスの上昇など、代謝の軽度変化を認めており、その変化はCs-137 からの内部被ばく線量率と関連していた。しかし、集積線量、特に短半減期核種であるI-131 による被ばく線量を推計するためには、個体の年齢を知る必要がある。現在、歯の脱灰標本のエネメル質からサル個体の年齢の割り出しを行っている。しかし、時間と手間がかかる上に、習熟した計測者間でも査定した年齢に個人差があり、しかも半年単位でしか推計できない。個体の被ばく総線量を知るために外部被ばく線量が必須であるが、汚染マップを用いるため、個体別の推定被ばく線量の精度に問題がある。そのため、電子スピン共鳴法(ESR)による集積線量の計測を低線量域でも可能にする工夫をしている。本研究の長期的な継続が必要ではあるが、Cs-137 の物理的半減期が30 年であることと除染が急速に進んでいるため、影響調査は事故後15 年である2026 年までの経過観察が節目となるのではと、私見ではあるが、考えている。

<引用文献>

福本 学(編・著)、知ってるつもりの放射線読本、2023、三輪書店

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Nihei K, Tokita S, Yamashiro H, Swee T V G, Nakayama R, Fujishima Y, Kino Y, Shimizu Y, Shinoda H, Ariyoshi K, Kasai K, Abe Y, Fukumoto M, Nakata A, Miura T	4. 巻 15
2. 論文標題 Evaluation of sperm fertilization capacity of large Japanese field mice (<i>Apodemus speciosus</i>) exposed to chronic low dose-rate radiation after the Fukushima accident	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Radiation Research and Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 186 ~ 190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jrras.2022.07.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Fukui R, Saga R, Matsuya Y, Tomita K, Kuwahara Y, Ohuchi K, Sato T, Okumura K, Date H, Fukumoto M, Hosokawa Y	4. 巻 12
2. 論文標題 Tumor radioresistance caused by radiation-induced changes of stem-like cell content and sub-lethal damage repair capability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-05172-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Matsuoka Y, Yoshida R, Kawahara K, Sakata J, Arita H, Nkashima H, Takahashi N, Hirayama M, Nagata M, Hirose A, Kuwahara Y, Fukumoto M, Toya R, Murakami R, Nakayama H	4. 巻 102
2. 論文標題 The antioxidative stress regulator Nrf2 potentiates radioresistance of oral squamous cell carcinoma accompanied with metabolic modulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Laboratory Investigation	6. 最初と最後の頁 896 ~ 907
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41374-022-00776-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Hasegawa K, Saga R, Ohuchi K, Kuwahara Y, Tomita K, Okumura K, Sato T, Fukumoto M, Tsuruga E, Hosokawa Y	4. 巻 11
2. 論文標題 4-Methylumbelliferone Enhances Radiosensitizing Effects of Radioresistant Oral Squamous Cell Carcinoma Cells via Hyaluronan Synthase 3 Suppression	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Cells	6. 最初と最後の頁 3780 ~ 3780
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cells11233780	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takeshita H, Yoshida R, Inoue J, Ishikawa K, Shinohara K, Hirayama M, Oyama T, Kubo R, Yamana K, Nagao Y, Gohara S, Sakata J, Nakashima H, Matsuoka Y, Nakamoto M, Hirayama M, Kawahara K, Takahashi N, Hirose A, Kuwahara Y, Fukumoto M, Toya R, Murakami R, Nakayama H	4. 巻 103
2. 論文標題 FOXO1-Mediated Regulation of Reactive Oxygen Species and Radioresistance in Oral Squamous Cell Carcinoma Cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Laboratory Investigation	6. 最初と最後の頁 100060 ~ 100060
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.labinv.2022.100060	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Komatsu K, Iwasaki T, Murata K, Yamashiro H, Goh V S T, Nakayama R, Fujishima Y, Ono T, Kino Y, Simizu Y, Takahashi A, Shinoda H, Ariyoshi K, Kasai K, Suzuki M, Palmerini M G, Belli M, Macchiarelli G, Oka T, Fukumoto M, Yoshida M, Nakata A, Miura T	4. 巻 56
2. 論文標題 Morphological reproductive characteristics of testes and fertilization capacity of cryopreserved sperm after the Fukushima accident in raccoon (<i>Procyon lotor</i>)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Reproduction in Domestic Animals	6. 最初と最後の頁 484 ~ 497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/rda.13887	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yamana K, Inoue J, Yoshida R, Sakata J, Nakashima H, Arita H, Kawaguchi S, Gohara S, Nagao Y, Takeshita H, Maeshiro M, Liu R, Matsuoka Y, Hirayama M, Kawahara K, Nagata M, Hirose A, Toya R, Murakami R, Kuwahara Y, Fukumoto M, Nakayama H	4. 巻 10
2. 論文標題 Extracellular vesicles derived from radioresistant oral squamous cell carcinoma cells contribute to the acquisition of radioresistance via the miR 503 3p BAK axis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Extracellular Vesicles	6. 最初と最後の頁 e12169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jev2.12169	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Koarai K, Matsueda M, Aoki J, Yanagisawa K, Terashima M, Fujiwara K, Kino Y, Oka T, Takahashi A, Suzuki T, Shimizu Y, Chiba M, Osaka K, Sasaki K, Sekine T, Fukumoto M, Shinoda H, Kitamura A, Abe H	4. 巻 36
2. 論文標題 Rapid analysis of ⁹⁰ Sr in cattle bone and tooth samples by inductively coupled plasma mass spectrometry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Analytical Atomic Spectrometry	6. 最初と最後の頁 1678 ~ 1682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1JA00086A	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fukui R, Saga R, Matsuya Y, Tomita K, Kuwahara Y, Ohuchi K, Sato T, Okumura K, Date H, Fukumoto M, Hosokawa Y	4. 巻 12
2. 論文標題 Tumor radioresistance caused by radiation-induced changes of stem-like cell content and sub-lethal damage repair capability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-05172-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ito J, Meguro K, Komatsu K, Ohdaira T, Shoji R, Yamada T, Sugimura S, Fujishima Y, Nakata A, Fukumoto M, Miura T, Yamashiro H	4. 巻 214
2. 論文標題 Seasonal changes in the spermatogenesis of the large Japanese field mice (<i>Apodemus speciosus</i>) controlled by proliferation and apoptosis of germ cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Animal Reproduction Science	6. 最初と最後の頁 106288 ~ 106288
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.anireprosci.2020.106288	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Oka T, Takahashi A, Koarai K, Mitsuyasu Y, Kino Y, Sekine T, Shimizu Y, Chiba M, Suzuki T, Osaka K, Sasaki K, Urushihara Y, Endo S, Suzuki M, Shinoda H, Fukumoto M	4. 巻 134
2. 論文標題 External exposure dose estimation by electron spin resonance technique for wild Japanese macaque captured in Fukushima Prefecture	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiation Measurements	6. 最初と最後の頁 106315 ~ 106315
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.radmeas.2020.106315	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Komatsu K, Iwasaki T, Murata K, Yamashiro H, Goh V S Ting, Nakayama R, Fujishima Y, Ono T, Kino Y, Simizu Y, Takahashi A, Shinoda H, Ariyoshi K, Kasai K, Suzuki M, Palmerini M G, Belli M, Macchiarelli G, Oka T, Fukumoto M, Yoshida M, Nakata A, Miura T	4. 巻 56
2. 論文標題 Morphological reproductive characteristics of testes and fertilization capacity of cryopreserved sperm after the Fukushima accident in raccoon (<i>Procyon lotor</i>)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Reproduction in Domestic Animals	6. 最初と最後の頁 484 ~ 497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/rda.13887	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計28件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Manabu Fukumoto
2. 発表標題 Animals affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: What did, did not, and will happen?
3. 学会等名 Radiation Research Society 68th Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福本 学
2. 発表標題 放射線病理学：トロトラスト症内部被ばくがんから 福島第一原発事故被災動物まで
3. 学会等名 日本臨床分子形態学会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木正敏, 千田浩一, 福本学鈴木正敏, 千田浩一, 福本学
2. 発表標題 福島第一原子力発電所事故に被災した野生ニホンザル臓器中の酸化ストレス状態
3. 学会等名 第5回バイスタンダー効果とラジカル研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木正敏, 千田浩一, 福本学
2. 発表標題 被災動物の包括的線量評価事業 福島第一原子力発電所事故後の放射線被ばくによる生物影響解析
3. 学会等名 産業医科大学放射線衛生管理学研究室カンファレンス (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masatoshi Suzuki, Yasushi Kino, Yohei Inaba, Toshitaka Oka, Hideaki Yamashiro, Tomisato Miura, Satoru Endo, Koichi Chida, Manabu Fukumoto
2. 発表標題 Establishment and Improvement of External Dosimetry Using the Model of Wild Japanese Macaque and the Large Japanese Field Mouse (<i>Apodemus Speciosus</i>) in Fukushima for the Evaluation of Long-Term Low Dose Exposure
3. 学会等名 IAEA First Research Coordination Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大月聡明, 鈴木正敏, 木野康志, 大野剛, 遠藤暁, 山城秀昭, 福本学
2. 発表標題 福島第一原発事故の被災地における 野生ニホンザルの甲状腺病変
3. 学会等名 第7回福島原発事故による周辺生物への影響に関する勉強会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦富智, 鈴木正敏, 藤嶋洋平, 有吉健太郎, 竹林花依, 中山亮, Anderson Donovan, 木野康志, 遠藤暁, 千田浩一, 吉田光明, 福本学
2. 発表標題 染色体転座を指標とした被災ニホンザルの長期影響調査
3. 学会等名 回福島原発事故による周辺生物への影響に関する勉強会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木正敏, 石川諒椰, 中島裕夫, 磯部理央, 千田浩一, 福本学
2. 発表標題 旧警戒区域の野生ニホンザル肝臓における酸化ストレスマーカーの変動と動物実験での検証
3. 学会等名 第7回福島原発事故による周辺生物への影響に関する勉強会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川諒椰, 鈴木正敏, 木野康志, 遠藤暁, 中島裕夫, 岡壽崇, 高橋温, 清水良央, 鈴木敏彦, 篠田壽, 山下琢磨, 奥津賢一, 磯部理央, 福本学, 千田浩一
2. 発表標題 野生ニホンザルの放射線被ばくと 肝臓・膀胱における酸化ストレス状態の関係性
3. 学会等名 第7回福島原発事故による周辺生物への影響に関する勉強会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯部理央, 鈴木正敏, 木野康志, 石川諒椰, 福本学, 千田浩一
2. 発表標題 低濃度トリチウム曝露による細胞の影響解析
3. 学会等名 第7回福島原発事故による周辺生物への影響に関する勉強会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木正敏, 石川諒椰, 中島裕夫, 磯部理央, 千田浩一, 福本学
2. 発表標題 旧警戒区域の野生ニホンザル肝臓における酸化ストレスマーカーの変動と動物実験での検証
3. 学会等名 日本放射線影響学会第65回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川諒椰, 鈴木正敏, 木野康志, 遠藤暁, 中島裕夫, 岡壽崇, 高橋温, 清水良央, 鈴木敏彦, 篠田壽, 山下琢磨, 奥津賢一, 磯部理央, 福本学, 千田浩一
2. 発表標題 福島第一原子力発電所事故後の旧警戒区域における放射線被ばくが野生ニホンザルの肝臓と膀胱の酸化ストレス状態に及ぼす影響
3. 学会等名 日本放射線影響学会第65回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 磯部理央, 鈴木正敏, 鈴木啓司, 木野康志, 石川諒椰, 福本学, 千田浩一
2. 発表標題 トリチウム標識チミジンの持続処理に対する耐性獲得過程におけるG1期停止機構関連因子の放射線応答
3. 学会等名 日本放射線影響学会第65回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川諒椰, 鈴木正敏, 木野康志, 遠藤暁, 稲葉洋平, 福本学, 千田浩一
2. 発表標題 低線量・低線量率放射線の長期被ばくによる肝臓の酸化ストレス状態の変動
3. 学会等名 第50回日本放射線技術学会秋季学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Mitsuyasu, Toshitaka Oka, Atsushi Takahashi, Yasushi Kino, Kenichi Okutsu, Tsutomu Sekine, Takuma Yamashita, Yoshinaka Shimizu, Mirei Chiba, Toshihiko Suzuki, Ken Osaka, Keiichi Sasaki, Masatoshi Suzuki, Manabu Fukumoto, Hisashi Shinoda
2. 発表標題 Dosimetry of external exposure dose for wild Japanese macaques lived in Fukushima using tooth enamel
3. 学会等名 Radiation Research Society 68th Annual Meeting
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本直樹, 平松範子, 鈴木正敏, 福本学
2. 発表標題 低線量被ばくによる水晶体の組織学的解析
3. 学会等名 第54回 日本臨床分子形態学会総会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長岡壮太, 福本学, 鈴木正敏, 木野康志, 岡部宣章, 大野剛, 深海雄介
2. 発表標題 福島原発事故を起源とする放射性核種 129I および 137Cs による環境汚染実態の解明
3. 学会等名 2022年度日本地球化学会第 69 回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 光安優典、岡壽崇、高橋温、小荒井一真、木野康志、奥津賢一、関根勉、山下琢磨、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、福本学、篠田壽
2. 発表標題 低線量被ばくをした野生動物の歯を用いた被ばく線量推定
3. 学会等名 第58回アイソトープ放射線研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡壽崇、高橋温、光安優典、小荒井一真、木野康志、奥津賢一、山下琢磨、関根勉、清水良央、千葉美麗、鈴木敏彦、小坂健、佐々木啓一、藤嶋洋平、Valerie Swee Ting Goh、漆原佑介、有吉健太郎、中田章史、山城秀昭、鈴木正敏、福本学、三浦富智、篠田壽
2. 発表標題 ESR線量計測法による外部被ばく線量評価の取り組み
3. 学会等名 第64回放射線化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木正敏、石川諒椰、中島裕夫、遠藤暁、稲葉洋平、千田浩一、福本学
2. 発表標題 低線量・低線量率放射線被ばくと臓器中酸化ストレス状態
3. 学会等名 日本放射線影響学会第64回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤嶋洋平、鈴木正敏、Valerie GOH、有吉健太郎、葛西宏介、中田章史、木野康志、岡壽崇、篠田壽、清水良央、高橋温、鈴木敏彦、漆原佑介、遠藤暁、福本学、吉田光明、三浦富智
2. 発表標題 福島県の放射線汚染地域に生息するニホンザルにおける染色体転座解析
3. 学会等名 日本放射線影響学会第64回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川諒椰、鈴木正敏、中島裕夫、稲葉洋平、福本学、千田浩一
2. 発表標題 低線量・低線量率放射線被ばくによるマウス臓器別酸化ストレス状態の検討
3. 学会等名 日本放射線影響学会第64回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野 剛、佐藤 直輝、佐藤 妃奈、福本 学、五十嵐 康人
2. 発表標題 ICP-MS/MSを用いた極微量放射性同位体分析法が拓く環境放射能研究
3. 学会等名 日本地球化学会第68回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川諒椰、鈴木正敏、木野康志、遠藤暁、中島裕夫、岡壽崇、高橋温、清水良央、鈴木敏彦、篠田壽、山下琢磨、奥津賢一、福本学、千田浩一
2. 発表標題 野生ニホンザル体内の放射性セシウム濃度および被ばく線量評価と体内酸化ストレス状態の関係
3. 学会等名 第 23 回「環境放射能」研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木正敏, 遠藤暁, 松谷祐輝, 岡壽崇, 小野拓実, 光安優典, 木野康志, 高橋温, 篠田壽, 漆原佑介, 中島裕夫, 二宮和彦, 三浦富智, 稲葉洋平, 千田浩一, 福本学
2. 発表標題 福島原発事故による動物・環境試料を用いた放射線被ばく影響解析
3. 学会等名 日本放射線影響学会第 63 回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡 壽崇、光安 優典、高橋 温、小荒井 一真、木野 康志、関根 勉、奥津 賢一、山下 琢磨、清水 良央、千葉 美麗、鈴木 敏彦、小坂 健、佐々木 啓一、藤嶋 洋平、漆原 佑介、Valerie Swee Ting Goh、有吉 健太郎、中田 章史、山城 秀昭、鈴木 正敏、福本 学、三浦 富智、篠田 壽
2. 発表標題 野生動物の歯を用いたESR線量計測のための試料前処理法の検討
3. 学会等名 日本放射化学会第64回討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木正敏、遠藤暁、松谷祐輝、二宮和彦、稲葉洋平、千田浩一、福本学
2. 発表標題 不溶性セシウム粒子による細胞影響解析
3. 学会等名 京都大学複合原子力科学研究所専門研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 光安優典、岡 壽崇、高橋 温、小荒井一真、木野康志、奥津賢一、関根 勉、山下琢磨、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、福本 学、篠田 壽
2. 発表標題 野生動物の歯を用いた低線量被ばく推定法の開発
3. 学会等名 第22回環境放射能研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Manabu Fukumoto	4. 発行年 2020年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 264
3. 書名 Low-Dose Radiation Effects on Animals and Ecosystems: Long-Term Study on the Fukushima Nuclear Accident	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>~原発事故と放射性物質~被災動物の包括的放射線量評価事業 http://www2.idac.tohoku.ac.jp/hisaidoubutsu/</p>
--

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
研究分担者	大野 剛 (Ohno Takeshi) (40452007)	学習院大学・理学部・教授 (32606)	
研究分担者	山本 直樹 (Yamamoto Naoki) (00267957)	藤田医科大学・バイオリソース室・教授 (33916)	
研究分担者	鈴木 正敏 (Suzuki Masatoshi) (60515823)	東北大学・災害科学国際研究所・講師 (11301)	

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
---------	---------