

令和元年6月12日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00537

研究課題名(和文) フィールドワークと先端的ベンチワークを融合した福島原発事故による遅延的影響の解析

研究課題名(英文) Integrated study between field work and bench work to investigate radiation effect affected by the accident of Fukushima Nuclear Power Plant

研究代表者

鈴木 正敏 (Suzuki, Masatoshi)

東北大学・災害復興新生研究機構・助教

研究者番号：60515823

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：高線量放射線被ばくでは、被ばく後の時間が経過した後に遅れて放射線影響が出現する遺伝的不安定性が知られている。福島原発事故による低線量・低線量率放射線被ばくによって、遺伝的不安定性が誘発される可能性を細胞生物学的に検討するシステムを構築した。放射性セシウムが最も多く蓄積する骨格筋から半永久的に細胞増殖を継続できる試料を作製した。作製した細胞を長期培養した期間の解析結果より、旧警戒区域で被ばくした筋肉由来細胞では遺伝的不安定性が誘発される可能性が極めて低いと予想された。生物影響の出現は臓器によって異なるため、本課題で確立したシステムを筋肉以外の臓器に適応して更に知見を蓄積することが必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

福島原発事故による低線量・低線量率放射線被ばくの生物影響に関する科学的知見は少ない。このため、旧警戒区域で被ばくした野生動物試料は科学的に貴重であり、その試料を用いた解析結果は学術的・社会的関心の高い課題に対する情報を提供することが期待される。低線量・低線量率放射線被ばくによって放射線影響がすぐに出現することは考えにくく、将来的な放射線影響の誘因となり得る潜在的变化の誘発について、被災動物試料を用いて検討する手法の確立を本課題で実施した。

研究成果の概要(英文)：We here investigated if low dose /low dose rate radiation exposure elicits delayed instability as high dose radiation exposure did. We established the immortalized cells from femoral muscle of wild Japanese Macaque living in ex-evacuation zone. Compared with the immortalized cells established from the muscle of control Japanese Macaque, delayed effects shown as induction of DNA double-strand breaks or global methylation did not appear even in the cells made from exposed Japanese Macaque. Based on the system we here established, investigation using tissue other than muscle is necessary to comprehensively discuss radiation effect among different organs.

研究分野：放射線生物

キーワード：放射線影響 遺伝的不安定性 遅延的影響 福島原発事故 被災動物

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究目的(概要) 当該研究計画の目的について、簡潔にまとめて記述してください。

東京電力福島第一原子力発電所(福島原発)事故によって環境中に放射性物質が拡散し、旧警戒区域では放射線被ばくが長期間継続する環境が形成された。放射線被ばく影響は過去の放射線被ばく事例からしか学ぶことができないが、福島原発事故による被ばく線量・線量率は過去の事例と比べてさらに低くなっている。また、研究開始当初までの生物実験データに用いられていた線量・線量率領域は福島原発事故のもの比べて高く、低い線量・線量率の放射線被ばくに対する生物学的知見を蓄積することが必要とされていた。放射線生物影響は線量・線量率依存的に変化することが知られているが、低い被ばく線量・線量率領域における実験データが不足していたことから、当時得られていた生物実験データの知見を、不確実性が多い低線量・低線量率領域にどのように外挿すべきかについての共通した見解は得られていなかった。

福島原発事故の放射線被ばくを含む低線量・低線量率領域の生物実験データの必要性が高まる一方で、該当する領域の放射線照射を生物実験で実施する場合に施設・設備面での制限が課題であった。現有の放射線源を用いる外部被ばく実験では、線量率を十分に低減させる遮蔽体を多く準備する必要があること、また、十分なスペースを持つ専用の照射室が必要となるが、この条件を満たす施設は国内に数ヶ所しかない。内部被ばく実験では、飼育環境の汚染などを考慮して、放射性物質を含む餌や飲水の自由摂取による動物実験が実施できる施設も限定されている。本課題では福島原発事故後に設定された旧警戒区域に棲息している野生ニホンザルの生体試料を用いて解析し、福島原発事故による低線量・低線量率被ばく影響の科学的知見を蓄積することを目的として実施した。鳥獣保護法に規定されている野生有害獣は個体数調整の行政目的によって計画的に捕獲されている。このような行政目的で処分された野生ニホンザルの生体試料解析を通じて、福島原発事故の放射線影響を実証することが可能となる。旧警戒区域に生息する野生動物は放射性物質に汚染したものを継続的に摂取し、野生ニホンザルの一般的な行動範囲は10-30km²とされている。本課題は福島原発事故後6-8年目に実施したことから、期間中に収集した動物個体は長期の外部内部複合被ばくをうけており、得られる生物試料の解析結果は福島原発事故の中で高度な放射線被ばく影響を示すと考えられる。

放射線影響研究において国際的に高い信頼性を持つ広島・長崎の原爆被ばく者長期疫学調査結果より、晩発影響の一つである放射線発がんが長い潜伏期を経て発症することが示された。トロトラスト症患者やチェルノブイリ原発事故の放射線誘発がん事例でも同様に、長期の潜伏期間が報告されている(引用文献 1、2)。潜伏期間の長さは被ばく線量や線量率の低下によって長期化することも報告されている(引用文献 3)。福島原発事故後の低濃度放射性物質による一般公衆被ばくでは、急性障害を誘発する被ばく線量が報告されていないため、低濃度放射性物質からの長期被ばくにおける晩発影響の知見が必要であった。福島原発事故で被ばくした野生動物の組織では、直接放射線に起因すると思われる顕著な異常は観察されていないことを報告してきた(引用文献 4)。このため、著変が観察されない部位で、将来的な放射線影響の要因となり得る潜在的な変化の有無を解析する技術や手法が必要となる。

放射線の生物影響では、被ばく後の時間が経過した後に、被ばく直後とは異なる変化が誘発される遺伝的不安定性について培養細胞を用いた研究で明らかにされてきた。放射線照射によって生じる致死的なDNA損傷を修復できない培養細胞では細胞死が誘導されるが、照射後に細胞増殖を繰り返す生存細胞では、致死性損傷が修復されて放射線の影響は消失していると考えられてきた。しかしながら一部の生存細胞では細胞増殖を続ける過程で、ゲノム異常の誘発頻度が有意に高まることが報告された。照射後早期の生存細胞で検出されないゲノム異常が誘発されたため、放射線の直接的な影響ではなく、間接的かつ遅延的にゲノム不安定性が誘発される、遅延的放射線影響として理解されている。これは、細胞内に生じた不安定要素が子孫細胞へと受け継がれ(遺伝的不安定性の伝搬)、遅延性のゲノム変異の蓄積に関与していると考えられている。このような培養細胞系で確認された遅延的放射線影響が、被ばく事例の解析で明らかとなった放射線発がんの長期潜伏期間に生じるゲノム不安定性誘導機構を説明する事象の一つとして注目されていた。

生体試料を用いて遺伝的不安定性を解析するためには、生体試料から分裂増殖を長期間継続できる細胞を作成する必要がある。福島原発事故から数年が経過すると、事故で放出された放射性物質の中で長半減期核種である放射性セシウムのみが野生動物試料から検出されるようになった。放射性セシウムは動物体内に広く分布するが、骨格筋に最も多く蓄積することが知られている。骨格筋を構成する細胞が放射線の影響を強くうけることが予想されたため、本課題では骨格筋の中から大腿筋を用いて解析試料を調製することとした。組織培養によって生体試料から初代培養細胞を樹立することができるが、樹立した細胞が分裂増殖できる回数は有限であることが知られている。遺伝的不安定性を解析するためには長期間分裂増殖することが必要となるため、本課題で樹立する初代培養細胞に無限増殖能を付与する不死化操作をする必要がある。近年では、ゲノム構造に大規模な影響を与えずに不死化操作を可能とする技術が発達してきた。そのため、収集した野生ニホンザルの筋肉から組織培養によって樹立した初代培養細胞を不死化し、長期培養期間におけるDNA損傷の誘発を指標として、遺伝的不安定性の誘導を検討することとした。このようなシステムを構築することによって、試料採取時点までの放射線被ばくによる潜在的な放射線影響について分子・細胞生物学的手法で検出するツールとして活用することができる。

2. 研究の目的

福島原発事故による低線量・低線量率長期放射線被ばくによる生物影響について、旧警戒区域で長期放射線被ばくを継続している野生ニホンザルの生体試料を収集し、解析する。形態的著変が観察されない部位における潜在的な放射線影響を調べる目的で、遺伝的不安定性の誘発を指標とした検討を行う。このため、放射性セシウムが最も多く蓄積する大腿筋から初代培養細胞を樹立し、無限増殖能を付与する細胞を作成することで解析試料を調製する。作製した不死化細胞を長期間培養する過程の DNA 損傷誘発を指標として、遅延的不安定性の誘発を検討する。

3. 研究の方法

・試料調製と細胞樹立

放射線被ばく個体は福島県旧警戒区域内の自治体、対照地域の非被ばく個体は新潟県下越地方の自治体で有害鳥獣として駆除されたあとに提供を受けた。駆除当日に個体を受け取り、大腿筋を放射性物質測定用と初代培養細胞樹立用に取り分けた。組織培養用に取り分けた大腿筋を 10% ウシ胎児血清 (FBS) 含有培地中に一時的に保管し、実験室へ持ち帰った。持ち帰った大腿筋を無菌的に取り扱った。薄く切った筋肉組織片を培養用ディッシュにはり付け、10% FBS 含有培地中で約 1 ヶ月培養した。組織片周辺に細胞が出現した場合には、適度な細胞密度になるまで培養を継続した。2 回ほど継代した後に得られた初代培養細胞を用いて不死化操作を行った。不死化操作では、iPS 化、およびヒトテロメラーゼ逆転写酵素サブユニット (hTERT) 導入による方法を実施した。iPS 化では、リプログラミング因子として Oct3/4、Klf4、Sox2、c-Myc の 4 因子に加えて、Lin28 と Nanog の合計 6 因子を発現するトランスポゾンを利用した。トランスフェクション試薬としてリポフェクタミンを用い、初代培養細胞へ遺伝子導入を行った。また、hTERT 導入による不死化では、樹立した初代培養細胞にレンチウイルスシステムを用いた遺伝子導入後に供与された細胞を用いた。不死化操作では、hTERT 遺伝子とともに R24C 突然変異をもつ変異型サイクリン依存性キナーゼ 4 (CDK4) 遺伝子とサイクリン D 遺伝子が同時に導入されている。

・放射能濃度測定と被ばく線量評価

大腿筋に含まれる放射性物質をゲルマニウム半導体検出器 (Ortec Co., Oak Ridge, TN) を用いて測定した。細かくきざんだ大腿筋を測定容器に隙間ができないように詰め込み、検出器部分と測定容器を密着するように配置し、測定した。 ^{134}Cs は 605 keV と 795keV、 ^{137}Cs は 662 keV のガンマ線エネルギー領域付近の計数値で定量した。計数値のピークが十分に定量できるまで測定を行った。

被ばく線量評価は、引用文献 5 における評価結果を参照した。外部被ばく線量率は野生ニホンザルの捕獲地周辺の土壌中放射性セシウム濃度、内部被ばく線量率は大腿筋の放射性セシウム濃度を用いて計算した。放射性セシウム濃度から外部、内部被ばく線量率に換算する係数は PHITS モンテカルロシミュレーションによって計算した。提供された個体の各部を計測し、代表的なニホンザル体形モデルを作成し、シミュレーションに用いた。福島原発事故後から放射線被ばくを継続したこと、外部被ばくでは捕獲地に留まっていること、内部被ばくでは捕獲時の放射性セシウム濃度が被ばく期間継続していたこと、などの仮定のもとで被ばく線量を評価した。

・放射線感受性試験、DNA 二重鎖切断の検出

樹立した細胞の放射線感受性は、Cell Counting Kit-8 (同仁化学) を用いて検討した。細胞を播種した翌日に X 線を照射し (M-150WE、Softex)、照射 3 日後の細胞数を、照射群と同じ期間培養した非照射群の細胞数との比によって放射線感受性を調べた。DNA 二重鎖切断は、抗リン酸化 H2AX 抗体 (2F3、BioLegend) と抗 53BP1 抗体 (Novus Biologicals) を用いた蛍光免疫染色法で検出した。不死化細胞の培養期間中、定期的に蛍光免疫染色を行い、DNA 二重鎖切断を検出した。蛍光免疫染色用に準備した細胞は、4% ホルマリン溶液を用いて室温で 10 分間固定した後、0.5% Triton X-100/PBS 溶液を氷上で 5 分間処理することで膜透過処理を行った。作成した標本を蛍光顕微鏡 (ECLIPSE Ni、Nikon) で観察し、リン酸化 H2AX と 53BP1 が形成するフォーカスが共同在する部位を DNA 二重鎖切断部位として評価した。

4. 研究成果

野生ニホンザル大腿筋の組織片を用いて初代培養細胞を樹立する条件を検討した。課題開始当初は、筋肉組織片から線維芽細胞の樹立を想定して 10% FBS 含有 DMEM 培地を使用していた。しかしながら、筋肉組織片から細胞が出現する頻度が低い、あるいは組織片から細胞が出現した後の長期培養期間中に生物学的汚染による初代培養細胞樹立の失敗、などの問題に直面したことから、野生ニホンザル組織に適した培養条件へ改良する必要があった。まず、血清濃度を 20% にまで上げて組織片からの細胞出現の改善を検討した。DMEM 培地を用いた検討では、FBS 濃度の上昇による細胞出現頻度の改善は見られなかった。このため、血清濃度を 10% とし、DMEM/F12 培地を用いて検討したところ、DMEM 培地と比べて細胞出現頻度が改善したことから、

本課題では 10% FBS 含有 DMEM/F12 培地を使用することとした。生物学的汚染については、野生動物から大腿筋を採取する過程で一時的に無菌操作ができないため、細菌、酵母、カビの混入による生物学的汚染が生じたと予想された。筋肉組織片の表面を 70%エタノールで簡易滅菌した場合でも生物学的汚染があったことから、抗生物質の添加条件を検討した。組織切片培養の初期段階で通常よりも高濃度のペニシリン、ストレプトマイシン、アムホテリシン B 混合溶液など、ペニシリンや抗真菌剤を含む抗生物質の組み合わせによって各種真菌の汚染を低下させる条件を決定した。また、筋肉組織片を凍結保存液に入れて超低温長期保管した場合、少なくとも保管期間が 1 年までの組織片から初代培養細胞を樹立できることを確認した。このため、培養期間中に細胞の樹立が失敗した場合でも、凍結保管した組織片からあらたに細胞を樹立できるバックアップ体制を整備することができた。以上のように野生ニホンザル組織に適した培養条件を確立した結果、筋肉組織片から培養細胞が出現するまでに約 1 ヶ月、その後の 1 ヶ月で細胞が増殖して局所的に細胞数が増えるため、継代をしてさらに 1 ヶ月培養すると実験に必要な最低限の細胞数を確保できるようになった。このため、組織培養開始から初代培養細胞の樹立までに平均 3 ヶ月程度の期間が必要であった。一定の細胞数を確保した後に数回の継代を行うと、不可逆的に増殖が停止する細胞老化が誘導された。このため、細胞数を確保した後は凍結保存するとともに、継代回数が少ない時期に不死化操作をすることが必要であった。

樹立した初代培養細胞を用いて、iPS 化を行う遺伝子導入を行った。3 μ g の DNA をリポフェクタミン試薬で導入した。導入遺伝子の下流に EGFP が存在していることから、遺伝子導入後の細胞で緑色蛍光を検出することで導入効率を評価することができる。解析の結果、遺伝子導入効率は約 20%であったが、緑色蛍光を発する細胞で分裂増殖を長期間継続する細胞は得られなかった。遺伝子導入に関する条件検討を行ったが、遺伝子導入効率を大きく改善させる条件は見つからなかった。2018 年 8 月にオンライン掲載された論文で、ニホンザルの iPS 細胞作製について最初の報告がなされた（引用文献 6）。この報告では、ニホンザルの iPS 細胞は既存の方法では作製することが困難であり、ニホンザル細胞の性質に合わせたプロトコールの改良が必要であったことが示されている。

本課題では iPS 化の代替法として、hTERT の導入による不死化細胞の樹立を行った。レンチウイルスシステムを用いて変異型 CDK4、サイクリン D、hTERT 遺伝子を同時に導入した細胞を用いた。初代培養細胞では、実験に必要な細胞数を確保した時点から約 1 ヶ月以内で細胞老化が誘導されたが、hTERT などを導入した細胞では少なくとも 3 ヶ月以上は分裂増殖を継続したことから、細胞老化を回避して不死化状態が誘導されたことを確認した。不死化状態が確認できた細胞の中から、被ばく線量が高い 2 個体由来の細胞 (E1、E2) と、対照群の筋肉組織から作製した不死化細胞 2 個体分 (C1、C2) の合計 4 個体から作製した不死化細胞を本課題の解析で使用した。

被ばく線量評価の結果、被ばく個体 E1 の外部内部合計被ばく線量は 630.7 mGy (外部被ばく線量 47.4 mGy、内部被ばく線量 583.3 mGy)、被ばく個体 E2 の外部内部合計被ばく線量は 871.2 mGy (外部被ばく線量 417.6 mGy、内部被ばく線量 453.6 mGy) と評価された。

試料採取時点までの放射線被ばくによる DNA 二重鎖切断の誘発を調べるために、細胞老化が誘導される前の初代培養細胞で蛍光免疫染色を実施した。DNA 二重鎖切断の指標とするフォーカス陽性細胞は、個体の放射線被ばくの有無と関連はなく、検討に用いた 4 個体由来細胞では 10-20%の範囲でフォーカス陽性を示した。この結果より、今回使用した実験材料では、実験開始時点で放射線被ばくによる DNA 損傷の状態に差がないと評価された。また、不死化細胞を用いたフォーカスアッセイの結果より、不死化操作による DNA 二重鎖切断の誘発が生じていないことを確認した。そこで、不死化状態を確認した時点からさらに 3 ヶ月細胞培養を継続する中で、定期的にフォーカスアッセイを行い、遺伝的不安定性の誘発を検討した。今回検討した培養期間では、全ての不死化細胞のフォーカス陽性率、あるいは 1 細胞あたりのフォーカス数で顕著な上昇は示されなかった。また、微小核の出現頻度を検討したが、個体の被ばくの有無による微小核の増加は示されなかった。放射線感受性試験を行ったところ、2 Gy の X 線照射によって解析に使用した細胞は 10-20%の細胞生存率を示した。そこで、2 Gy の X 線照射による遅延的 DNA 損傷の誘発に対して、旧警戒区域での被ばくが影響する可能性を検討したが、こちらについても旧警戒区域での被ばくの有無との関連性はなかった。以上の結果より、遅延的な DNA 二重鎖切断の誘発に対して、旧警戒区域での放射線被ばく影響が観察されなかった。そこで、エピジェネティック変化に対する影響を検討した。フォーカスアッセイを行った同じ時期の細胞から DNA を抽出し、抽出した DNA 中に含まれるグローバルメチル化を検出し、被ばく線量との相関を検討した。同じ細胞群でも回収した時期によるメチル化状態のバラつきが大きく、より詳細な実験系を用いた確認が必要であると考えられるが、今回得られた結果より、グローバルメチル化レベルと、培養期間あるいは旧警戒区域での被ばくの有無との関連性が見られなかった。

本課題では、福島原発事故による被ばくの中で高い被ばく線量が評価された個体試料を用いて解析を行ったが、本課題の解析範囲では旧警戒区域での被ばくによる遺伝的不安定性、あるいは実験的に放射線を照射した場合の遺伝的不安定性の誘発に対して付加的に影響をおよぼす知見は得られなかった。本課題では放射性セシウムが最も多く蓄積し、被ばく線量が多いことが予想される骨格筋を解析試料として用いたが、他課題の研究成果より、骨格筋と比べて放射性セシウムの蓄積が少ない臓器で酸化ストレスの誘発が高まる事が示された。この結果は、放

放射性セシウム濃度の大小関係と放射線影響の出現が必ずしも一致していないことを示しており、筋肉以外の組織を用いた遅延的影響の解析が今後必要となることを示唆している。

<引用文献>

- Fukumoto M. Radiation pathology: From thorotrast to the future beyond radioresistance, *Pathol. Int.*, 64:251-62, 2014.
- Cardis E., Howe G., Ron E., Bebbeshko V., Bogdanova T., Bouville A., Carr Z., Chumak V., Davis S., Demidchik Y., Drozdovitch V., Gentner N., Gudzenko N., Hatch M., Ivanov V., Jacob P., Kapitonova E., Kenigsberg Y., Kesminiene A., Kopecky K.J., Kryuchkov V., Loos A., Pinchera A., Reiners C., Repacholi M., Shibata Y., Shore R.E., Thomas G., Tirmarche M., Yamashita S., Zvonova I. Cancer consequences of the Chernobyl accident: 20 years on. *J. Radiol. Prot.*, 26:127-40, 2006.
- Leuraud K., Richardson D.B., Cardis E., Daniels R.D., Gillies M., O'Hagan J.A., Hamra G.B., Haylock R., Laurier D., Moissonnier M., Schubauer-Berigan M.K., Thierry-Chef I., Kesminiene A. Ionising radiation and risk of death from leukaemia and lymphoma in radiation-monitored workers (INWORKS): an international cohort study. *Lancet Haematol.* 2:e276-81, 2015.
- Yamashiro H., Abe Y., Fukuda T., Kino Y., Kawaguchi I., Kuwahara Y., Fukumoto M., Takahashi S., Suzuki M., Kobayashi J., Uematsu E., Tong B., Yamada T., Yoshida S., Sato E., Shinoda H., Sekine T., Isogai E., Fukumoto M. Effects of radioactive caesium on bull testes after the Fukushima nuclear plant accident. *Sci. Rep.*, 3:2850, 2013.
- Endo S., Ishii K., Suzuki M., Kajimoto T., Tanaka K., Fukumoto M. Estimation of external and internal exposure in Japanese macaques after the Fukushima Nuclear Power Plant accident. *Low-Dose-Rate Radiation Effects on Animals and Ecosystem -Long-Term Study on the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident*, Springer Nature, *in press*
- Nakai R., Ohnuki M., Kuroki K., Ito H., Hirai H., Kitajima R., Fujimoto T., Nakagawa M., Enard W., Imamura M. Derivation of induced pluripotent stem cells in Japanese macaque (*Macaca fuscata*). *Sci. Rep.*, 8:12187, 2018.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

Urushihara Y., Suzuki T., Shimizu Y., Ohtaki M., Kuwahara Y., Suzuki M., Uno T., Fujita S., Saito A., Yamashiro H., Kino Y., Sekine T., Shinoda H., Fukumoto M. Haematological analysis of Japanese macaques (*Macaca fuscata*) in the area affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Sci. Rep.*, 8:16748, 2018, 査読有、doi: 10.1038/s41598-018-35104-0.

[学会発表](計 5 件)

鈴木正敏、野生ニホンザルを対象とした福島原発事故による生物影響調査、福島第一原子力発電所事故由来環境問題調査研究分野横断ワークショップ 2019、2019 年。

キム・ジュンヒ、鈴木正敏、梶本剛、田中憲一、遠藤暁、福島原発事故に伴う日本ザルの被曝線量の推定、日本原子力学会 中国・四国支部 中国・四国支部 第 12 回研究発表会、2018 年

小荒井一真、木野康志、西山純平、金子拓、小野拓実、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、関根勉、篠田壽、福本学、福島第一原発事故被災サルの歯・骨への Sr-90 の取り込み履歴と骨髄線量の推定、日本放射線影響学会 第 61 回大会、2018 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、鈴木正敏、篠田壽、福本学、ニホンザルの歯の電子スピン共鳴測定による外部被ばく線量推定、日本放射線影響学会 第 61 回大会、2018 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、福本学、篠田壽、歯の ESR 測定によるヒトおよび動物の外部被ばく線量評価、日本分析化学会第 67 年会、2018 年

[図書](計 1 件)

Endo S., Ishii K., Suzuki M., Kajimoto T., Tanaka K., Fukumoto M. Estimation of external and internal exposure in Japanese macaques after the Fukushima Nuclear Power Plant accident. *Low-Dose-Rate Radiation Effects on Animals and Ecosystem -Long-Term Study on the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident*, Springer Nature, *in press*

〔その他〕

ホームページ等

東北大学災害復興新生研究機構

<http://www.idrrr.tohoku.ac.jp/project/osentaisaku/>

プロシーディング

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、関根勉、篠田壽、福本学、福島第一原子力事故被災サル硬組織中の放射能濃度、KEK Proceedings, 2018-7, 231-236, 2018
田巻廣明、小荒井一真、木野康志、西山純平、金子拓、小野拓実、岡壽崇、漆原佑介、高橋温、鈴木敏彦、清水良央、千葉美麗、藤嶋洋平、Valerie Goh See Ting、有吉健太郎、鈴木正敏、三浦富智、関根勉、篠田壽、福本学、南相馬市・浪江町野生ニホンザル・アライグマの放射性セシウムの臓器内放射能濃度、KEK Proceedings, 2018-7, 237-242, 2018

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。