

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K05000

研究課題名(和文) クラスタDNA損傷生成解析における確率論の応用

研究課題名(英文) Application of probability theory in cluster DNA damage generation analysis

研究代表者

税所 康正 (Saisho, Yasumasa)

広島大学・工学研究科・准教授

研究者番号：70195973

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)：本研究の目的は、放射線照射によって生成される DNA のクラスター損傷とよばれる重篤な損傷の生成プロセスを、確率(数理)モデルを構築して解析し、放射線照射線量および LET(「線エネルギー付与」、放射線がその飛跡周辺に電離を起こす密度を表現するパラメータ)に対するクラスター損傷数の依存性を予測することによって、高 LET 放射線の生物作用を理論的に裏付け、これらに合わせて出現する数学的問題を解決することにある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

DNA に放射線を照射したときに、二重らせんの双方の塩基が同時に損傷を受けて切断される、2本鎖切断(dsb)や、クラスター損傷と呼ばれる損傷が起きると修復が困難になり、致命的なダメージを受ける。そこでこれらの損傷の生成を調べることは重要な問題であるが、照射線量と損傷の生成数との関係は低線量域において検出が困難であること等から、完全には解決されていない。本研究では、さらに放射線がその飛跡周辺に電離を起こす密度を表現する線エネルギー付与(LET)との関係にも着目し数理的な考察を行った。この問題は、福島原発事故において関心事になった低線量放射線の影響の問題とも深く関係している。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to theoretically support the biological effects of high LET radiation and to solve the mathematical problems that emerge accordingly by analyzing the process of producing severe damage called cluster damage in DNA produced by irradiation by constructing a stochastic (mathematical) model and predicting the dependence of the number of cluster damage on radiation dose and LET ("linear energy transfer", a parameter describing the density at which radiation causes ionization around its track).

研究分野：確率論とその応用

キーワード：DNA クラスタDNA損傷 LET 数理モデル 確率論の応用

様式 C - 19, F - 19 - 1, Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

かつて代表者税所は、分担者の伊藤 敦 氏(放射線生物学)から次のような DNA の切断に関する未解決問題を確率(数理)モデルを用いて解析する提案を受けた。すなわち、

DNA に放射線を照射したときに、二重らせんの双方の近接した塩基が同時に損傷を受けて切断される、「2 本鎖切断 (dsb と略記)」と呼ばれる切断が起きると損傷の修復が困難になり、結果として致命的なダメージを受け、ガンの発生につながることもある。したがって、dsb の生成を調べることは重要な問題であるが、照射線量と dsb 生成数との関係は低線量域において定量的検出が困難であること等から、完全には解決されていない。

この問題は、研究開始後に起こった福島原発事故において、多くの人の関心事になった低線量放射線の影響の問題に他ならない。申請者は、これまでに申請者が他の生物学的問題に対して行った確率モデルを用いた手法、および過去に DNA の切断に対して行った数学的考察を進展させることで数学的に予測できる可能性があることに気づいて研究を開始し、端緒の結果を 2009 年の日本放射線影響学会において発表したところ反響は大きく、翌 2010 年の同学会における招待講演で詳細に発表することを要請されるに到った。その後、科研費 (No. 24540128) の助成を得て、放射線による損傷生成における照射線量と dsb 生成数との関係を確率モデルを用いて求め、その結果を発表することができた。この中で、数学的考察によって同様の問題の結果を推測し紹介している G.J.Neary の古典的結果 (1965) や J.Kiefer(1990) のテキストを詳細に検討し、いくつかの数学的不完全さと誤りを指摘することで、これまで彼らの結果を信じていた多くの放射線生物学者にインパクトを与えることもできた。

さらに単に線量だけではなく、放射線がその飛跡周辺に電離を起こす密度を表現する線エネルギー付与 (LET と略記) との関係に着目し、X 線や γ 線など低 LET 放射線照射時における dsb 生成数の、線量と LET 双方についての 2 重の依存性を、飛躍型マルコフ過程を用いた確率モデルを構築して調べた。そして日本放射線影響学会大会において毎年その時点までに得られた結果を発表していたところ、2013 年には第 50 回放射線影響懇話会で招待講演として発表する機会を与えられ、さらに、代表者税所が第 23 回日本数理生物学会大会で立案し採択された企画シンポジウムにおいて、自ら発表するとともに、招待した研究者や出席者と白熱した議論を行うことができた。この結果は現在論文にまとめているところである。

これらの研究集会の機に出席者で行った討論を通じて、重粒子線や中性子線などの高 LET 放射線照射時には放射線の飛跡周辺に高密度で電離が起き、2 本鎖切断 (dsb) を上まわる密集した DNA 損傷であるクラスター損傷を誘起すること、dsb よりも修復が難しいクラスター損傷の、線量と LET 依存性を調べることは、応用上、がん治療における重粒子線の利用や宇宙環境における高エネルギー粒子線の作用などの研究においても重要であることを知った。また、実験的にも計測できる低 LET 放射線とは異なり、高 LET 放射線に対してはクラスター損傷の分布を理論的に明らかにすることが重要であり、しかも生成される損傷構造内部における損傷数を計測することは実験的困難さを伴うため、この点からも数理的考察の必要性を痛感した。

さらにこれらの研究の中で、放射線の飛跡に沿って発生する電離ポイントから出発したイオン化した粒子が、(ある拡散係数をもった) ブラウン運動をし、ある制限時間内に塩基に到達した時に間接的に損傷が生じることから、3 次元ブラウン運動の到達時刻に関する確率論的研究が深く関与していることに気づき、本研究が応用面のみならず、数学的にも興味深い問題を含んでいることがわかった。

これらの研究を進めるにあたって、同様に確率モデルを構築して DNA の損傷を考察した R. K.Sachs, A.L.Ponomarev や T.Radivoyevitch らの 1990 年代から最近までの研究を調べてみたところ、多くは DNA の鎖上の損傷の分布をあらかじめ仮定しており、さらに損傷と修復を分けず、一括して扱う研究がほとんどで、本研究のように、損傷の生成過程までさかのぼって損傷の位置や数を確率変数として捉える研究は少なく、同一の設定の先行研究を発見することができなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、放射線照射によって生成される DNA のクラスター損傷とよばれる重篤な損傷の生成プロセスを、確率(数理)モデルを構築して解析し、放射線照射線量および LET に対するクラスター損傷数の依存性を予測することによって、高 LET 放射線の生物作用を理論的に裏付け、これらに合わせて出現する数学的問題を解決することにある。

そこで、本研究では確率論を応用し、DNA のクラスター損傷生成に関して次のことを解明することを目的とする。

- (1) 高 LET 放射線に対する、クラスター損傷生成数の照射線量および LET 依存性
- (2) (1) について DNA の修復を考慮した確率モデルを考える
- (3) 以上について計算機を用いたシミュレーションを行い、実験データと比較を行う
- (4) 出現する数学的な問題を解決する

3. 研究の方法

常に研究代表者と研究分担者・連携研究者間の連絡を緊密にして、最低年に二回は実際に顔を合わせた上での集中した研究を行い、さらに必要に応じて研究体制外の専門家の意見なども聞く機会を設ける。結果の計算機シミュレーションを行う。なお、分担者・連携研究者には現在助成を受けている科研費 (No. 24540128) の研究において有効に機能した研究組織である、伊藤・畑上・金川の各氏に引き続いて担当してもらうこととする。

4. 研究成果

(1) 概要と数学的成果

現在分担者の伊藤氏とこれまでの結果を論文にまとめ、現在雑誌に投稿中であるが、査読者から貴重な指摘を受けてモンテカルロ法などによる本研究とは異なるアプローチとの違いについて調査中で、まとまり次第再投稿する予定である。

本研究では放射線の通過トラック上に作られる spur の配置を確率変数として与え、各 spur から出発する荷電粒子 (ラジカル) がブラウン運動をして DNA 鎖に到達して損傷を与える間接作用と、トラック上の DNA 鎖内部に生成された spur によって直接的に損傷が作られる直接作用を考慮して、損傷の生成確率を計算した。このとき、放射線のもつ 2 つのパラメーターである、線エネルギー付与 (LET) と線量を数学的に表現してトラック上の spur の配置の分布やトラックの空間的密度を決定し、さらに 3 次元ブラウン運動の到達確率の数学的結果を利用した。

この研究過程で発見した、G 値とよばれる放射線の通過トラック上に作られる近接した spur 間の距離によって、各 spur で生成されるラジカルが互いに打ち消しあって減少する割合を数理的に表現する問題に関して、シミュレーションした結果と実験値と比較しながら分担者の伊藤氏らと研究を進めることができ、この研究についても査読者からの指摘を精査して再投稿する予定である。またこれらの研究の中でシミュレーションを行なうに当たっては、分担者の畑上氏とも綿密に協議した。

一方、本研究はこれらの現象を解析するなかで出現する数学的問題を解決することも目的にしていた。G 値の問題が飛躍と飛躍の間隔の長さによって次回の飛躍を「延期」する非マルコフ過程と密接に関係していることに気づき、連携研究者の金川氏と連絡をとりながら研究を進めた。

(2) 放射線生物学としての成果

放射線生物学者にとって、DNA 二本鎖切断 (dsb)、クラスター損傷や細胞の不活性化などの生物学的影響の線エネルギー付与 (LET) 依存性は最大の関心事の一つである。dsb の LET 依存性、すなわち dsb の RBE (Relative Biological Effectiveness) を決定するための実験的な取り組みにもかかわらず、dsb の収量に影響を与える可能性のある細胞内のクロマチンや DNA の構造や dsb を検出する技術など、解決すべき課題が多く残されている。このような状況下では、dsb 生成の LET 依存性の理論的な偏差は、細胞内の DNA 構造を含む生物学的要因によって変更される可能性のある理想的な値を提供する可能性がある。本研究では、クラスター損傷生成の線量依存性に関する数学的先行研究をもとに、改良・拡張した適切な確率論的モデルを構築しクラスター損傷生成数の線量依存性と LET 依存性を決定し、報告されている実験値と比較した。

本研究においては、クラスター損傷の LET 依存性を確率論的モデルを用いて計算し、数十 keV/ μm 付近にピークを持つことがわかった。ピーク LET は、実験では測定されていない直接的及び間接的な作用によって誘起されるクラスター損傷の LET 依存性を合計して計算されている。このような実験値よりもピーク時の RBE 値が大きくなっていることを確認するためには、クラスター化したクラスター損傷を検出するための新たな手法を含めて、様々な実験系で得られたデータの蓄積と検証が必要である。

本研究では、クラスター損傷発生時の LET 依存性を、直接作用と間接作用の効果について別々に調べた。クラスター損傷の LET 依存性は、実験研究でよく見られる LET のピークを再現していたが、そのピーク値は実験値よりもやや高くなっていた。最大 RBE を与える LET は実験値に近い値であった。

本研究では、これまでの低 LET の場合の報告を高 LET の場合に拡張して、確率的なクラスター損傷発生分布に基づいた数理モデルを構築した。前回の研究 Saisho and Ito (2013) では、各 DNA 鎖に独立に発生する損傷に基づく dsb を扱い、線量依存性は、隣接する 2 つの dsb 間の距離 (感性の幅) をパラメータとした 2 次関数として示された。本研究では、DNA 鎖に同時に発生する dsb を含むように結果を拡張し、線量依存性がほぼ線形であることを明らかにした。これにより、2 つの異なる生成メカニズムによる総クラスター損傷数を計算することができた。低 LET 値領域では、線量依存性がほぼ 2 次関数的になることが明らかになったが、これは前の結果と一致している。しかし、中・高域 LET では、同時に生成された dsb が、別々に生成された dsb よりも支配的になることが示された。

クラスター損傷の RBE の LET 依存性については、実験データで観測されているのと同様の最大

値(ピーク値)を持つ曲線が得られた。我々の知る限りでは、LET 依存性をピークで再現する理論的研究はほとんど知られていない。LET のピークはこれまでに知られている実験値に非常に近い値であった。本研究では、直接作用と間接作用の LET 依存性を別々に導出しており、直接作用による RBE の LET 依存性と、間接作用による RBE の LET 依存性を別々に導いたことは強調しておきたい。

両作用による RBE の LET 依存性は数十 keV/ μm 付近にピークを持つことがわかったが、本研究で得られた最大 RBE 値は、実験で観測された値よりもかなり大きい値であった。未修復致死損傷に対する RBE の LET 依存性の実験値における最大値は本研究の計算値とほぼ一致していた。

本研究のもう一つの側面として、LET 依存性における直接作用と間接作用の寄与の割合を数学的に求めたことが挙げられる。低 LET 領域では、直接作用の寄与は約 10%であり、これまでにラジカスキャベンジャーを用いて細胞の不活化における間接作用の寄与を評価した実験で得られた値とよく一致していた。しかし LET 域の違いによる直接作用と間接作用の寄与の割合の変化は本研究と実験データでは違いも見られた。

このように DNA の修復を考慮しない、純粋に損傷の生成をシミュレートした本研究の結果は、実験的には得ることが困難な現象の再現を含んでおり、今後さらにこの先の研究を進めたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 A. Ito	4. 巻 5
2. 論文標題 Elemental and molecular imaging with X-rays for biomedical applications: Calcium mapping in human hair or possible early detection of breast cancer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Mongolian Journal of Physics	6. 最初と最後の頁 56-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 E. Jamsranjav, A. Ito, Y. Kato, Y. Tatebe, N. Takase, S. Yoshida,	4. 巻 191
2. 論文標題 DNA strand breaks induced by fast and thermal neutrons from YAYOI research reactor in the presence and absence of boric acid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Radiat. Res.	6. 最初と最後の頁 483-489
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1667/RR15249.1	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 Yasumasa Saisho	4. 巻 305
2. 論文標題 Dependence of mating rate on variance of eclosion time of cicadas (Cicadidae)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mathematical Biosciences	6. 最初と最後の頁 55-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.mbs.2018.08.006	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 I. Hataue	4. 巻 21
2. 論文標題 Dependence of Spatial Structure of Coexisting Multiple Solutions in Nonlinear PDE System on Random Noises	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Information	6. 最初と最後の頁 1877-1886
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 K. Shinohara, S. Tone, T. Ejima, T. Ohigashi, A. Ito	4. 巻 8
2. 論文標題 Quantitative Distribution of DNA, RNA, Histone and Proteins Other than Histone in Mammalian Cells, Nuclei and a Chromosome at High Resolution Observed by Scanning Transmission Soft X-Ray Microscopy (STXM)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Cells	6. 最初と最後の頁 164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3390/cells8020164	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 K. Shinohara, T. Ohigashi, S. Tone, M. Kado, A. Ito	4. 巻 194
2. 論文標題 Quantitative analysis of mammalian chromosome by scanning transmission soft X-ray microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ultramicroscopy,	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.ultramicro.2018.07.001	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 K. Shinohara, A. Ito, T. Ohigashi, M. Kado, S. Tone	4. 巻 26
2. 論文標題 Discrimination of DNA and RNA distribution in a mammalian cell by scanning transmission soft X-ray microscopy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of X-Ray Science and Technology	6. 最初と最後の頁 877-884
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 A. Ito, A. Furuhashi, F. Ouchi, S. Yoshida, R. Hirayama, Y. Furusawa, Y. Yokota, T. Funayama	4. 巻 -
2. 論文標題 LET and ion species dependence of oxidative damage in DNA sheet generated along ion beam track	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 QST Takasaki Annual Report 2017	6. 最初と最後の頁 81
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 I.Hataue	4. 巻 20
2. 論文標題 Study on Change of Stability Levels of Coexisting Multiple Solutions in Nonlinear PDE System	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Information	6. 最初と最後の頁 5499 ~ 5508
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 A. Ito, F. Ouchi, T. Ushiroda, R. Hirayama, Y. Furusawa, Y. Yokota, T. Funayama	4. 巻 -
2. 論文標題 Observation of oxidative damage in DNA sheet generated along ion beam track	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 QST Takasaki Annual Report 2016	6. 最初と最後の頁 90 ~ 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Erdenetogtokh Jamsranjav, Kenichi Kuge, Atsushi Ito, Yasuhito Kinjo, Tatsuo Shiina	4. 巻 25-4
2. 論文標題 Evaluation of noise limits to improve image processing in soft X-ray projection microscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. X-Ray Sci. Technol.	6. 最初と最後の頁 653 ~ 665
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3233/XST-16201	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 Shinohara K, Ohigashi T, Tone S, Kado M, Ito A	4. 巻 849
2. 論文標題 Quantitative study of mammalian cells by scanning transmission soft X-ray microscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series	6. 最初と最後の頁 012003 ~ 012003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/849/1/012003	査読の有無 無
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 M. Ojima, T. Ushiroda, Y. Kawamata, G. Kashino, N. Usami, A. Ito	4. 巻 33
2. 論文標題 Repair process of DNA double strand breaks induced by X-ray bystander effect	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Photon Factory Activity Report	6. 最初と最後の頁 302-302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 I. Hataue	4. 巻 85
2. 論文標題 On Immovable Boundary between Coexisting Solutions and Synchronization in a Reaction Diffusion System	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J.Phys.Soc.Japan	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) http://dx.doi.org/10.7566/JPSJ.85.074005	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 I. Hataue	4. 巻 20
2. 論文標題 Dependence of Asymptotic Solutions of 2-D Fitz-Hugh Nagumo Model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Information	6. 最初と最後の頁 1065-1074
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 伊藤敦、後田藤太、井上祐人、大内章央、平山亮一、村山千恵子、富田雅典、岡畑恵雄、古澤佳也	4. 巻 26
2. 論文標題 高LET粒子線によるDNA酸化損傷生成の可視化	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 平成26年度放射線医学総合研究所重粒子線がん治療装置等共同利用研究報告書	6. 最初と最後の頁 129-130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 A. Ito, T. Inoue, T. Kawai, Y. Taki, S. Inoue, T. Shimizu, K. Shinohara	4. 巻 1696
2. 論文標題 Difference in the distributions between Ca content and the degree of oxidative damage in human hair determined by X-ray imaging	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4937515	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 A. Ito, T. Inoue, M. Kado, T. Ohigashi, S. Tone, K. Shinohara, Biomedical application of soft X-ray microscopy with special reference to spectromicroscopy	4. 巻 129(2)
2. 論文標題 Biomedical application of soft X-ray microscopy with special reference to spectromicroscopy	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Acta Physica Polonica A	6. 最初と最後の頁 260-263
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.12693/APhysPoIA.129.260	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 E. Jamsranjav, T. Shiina, K. Kuge, Y. Kinjo, Y. Nakamura, K. Shinohara, A. Ito	4. 巻 1696
2. 論文標題 Effect of contrast enhancement prior to iteration procedure on image correction for soft X-ray projection microscopy	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20037
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4937531	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 T. Ohigashi, A. Ito, K. Shinohara, S. Tone, M. Kado, Y. Inagaki, Y.-F. Wang, N. Kosugi	4. 巻 1696
2. 論文標題 Observation of DNA and protein distributions in mammalian cell nuclei using STXM	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 AIP Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 20027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4937521	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

〔学会発表〕 計25件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 税所康正
2. 発表標題 イシガキヒグラシとソウザンヒグラシ
3. 学会等名 日本昆虫学会第79回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浦野建太、伊藤 敦、高野勇貴、平山亮一、古澤佳也、横田裕一郎、舟山知夫
2. 発表標題 Imaging and quantification of area of oxidative DNA damage generated by heavy ion particles
3. 学会等名 日本放射線影響学会第62回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浦野建太、伊藤 敦、古橋垂司、大内章央、平山亮一、古澤佳也、舟山知夫、横田裕一郎
2. 発表標題 重イオン線によるDNA酸化損傷の粒子トラックに沿った可視化とその定量化の試み
3. 学会等名 QST高崎サイエンスフェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasumasa Saisho
2. 発表標題 On the Application of Probability Theory to Radiation Biology and Insect Ecology
3. 学会等名 The 12th AIMS Conference on Dynamical Systems, Differential Equations and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 畑上 到
2. 発表標題 拡張 van der Pol 方程式モデルの共存解の空間構造へのランダムネス の影響について
3. 学会等名 日本応用数理学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Ito
2. 発表標題 lemental and molecular imaging with X-rays for biomedical applications: Calcium mapping in human hair for possible early detection of breast cancer
3. 学会等名 International Conference 2018, Modern Trends in Natural Sciences and Advanced Technologies in Science Education (ICNS 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 敦
2. 発表標題 粒子ビーム飛跡に沿ったDNA損傷生成の可視化の試み
3. 学会等名 日本マイクロビーム生物研究会第9回連絡会議、日本放射線影響学会第61回大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤 敦、平山亮一
2. 発表標題 放射線生物影響研究における分野横断型融合研究
3. 学会等名 ワークショップ”放射線生物学は今後どこへ向かっていくのか?”、日本放射線影響学会第61回大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 税所 康正
2. 発表標題 チッチゼミの孵化生態について
3. 学会等名 日本昆虫学会第77回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 税所 康正, 伊藤 敦
2. 発表標題 OHラジカルの収量(G値)のLET依存性に関する数理モデル
3. 学会等名 日本放射線影響学会第60回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 I. Hataue
2. 発表標題 Dependence of numerical solutions of nonlinear PDE on forcibly added randomness
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Fuzzy Systems and Data Mining (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 畑上 到
2. 発表標題 複数の解が共存する非線型偏微分方程式系の空間構造へのランダムノイズの影響
3. 学会等名 第64回理論応用力学講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 畑上 到
2. 発表標題 2次元 FitzHugh-Nagumo モデルにおける空間的に共存する動的パターンの遷移過程について
3. 学会等名 日本応用数理学会 環瀬戸内応用数理研究部会第21回シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Ito
2. 発表標題 Observation of DNA oxidative damage induced by high LET radiation
3. 学会等名 第55回日本生物物理学会、熊本、2017.9.19-21シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 税所康正、伊藤 敦
2. 発表標題 DNA 二重鎖切断の LET 依存性についての数学モデルの構築
3. 学会等名 日本放射線影響学会第59回大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Saisho
2. 発表標題 On a probabilistic problem appearing in radiation biology
3. 学会等名 Workshop on Applied Analysis and Probability（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤 敦、後田藤太、大内章央、平山亮一、古澤佳也、横田裕一郎、舟山知夫
2. 発表標題 重イオン線によるDNA酸化損傷の誘発とその可視化
3. 学会等名 放射線利用フォーラム2017 in 高崎、第1回QST高崎研シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大内章央、伊藤敦、後田藤太、井上祐人、平山亮一、古澤佳也、横田裕一郎、舟 山知夫
2. 発表標題 DNA酸化損傷を指標とした高LET放射線のトラック構造の可視化
3. 学会等名 日本放射線影響学会第59回大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 畑上 到
2. 発表標題 FitzHugh-Nagumo モデルにおける共存する解が接触する境界の挙動について
3. 学会等名 応用数理学会2016年度年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Saisho and A. Ito
2. 発表標題 Mathematical Model Describing the Dose and LET Dependence of the Generation of DNA Damages by Radiation
3. 学会等名 15th International Congress of Radiation Research (ICRR2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 税所 康正
2. 発表標題 セミの羽化日の分散が交尾率に与える影響について
3. 学会等名 日本昆虫学会・日本応用動物昆虫学会合同大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 伊藤 敦、大東 琢治、刀俣 重信、加道 雅孝、井上 敬文、篠原 邦夫
2. 発表標題 軟X線顕微鏡による生物試料の分子イメージング
3. 学会等名 第38回日本分子生物学会・第88回日本生化学会合同大会（招待講演）
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 T. Ushiroda, D. Fukushima, D. Nunokawa, A. Ito, M. Tomita, M. Maeda
2. 発表標題 Time dependence of development of the bystander effect induced by X-ray microbeam
3. 学会等名 15th International Congress of Radiation Research (ICRR2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 T. Ushiroda, D. Nunokawa, A. Ito, M. Tomita
2. 発表標題 DNA damages induced by radiation bystander effect
3. 学会等名 The 12th International Workshop on Microbeam Probes of Cellular Radiation Response (IWM2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 大内章央、後田藤太、伊藤敦、横田裕一郎、舟山知夫、平山亮一、古澤佳也
2. 発表標題 DNA酸化損傷を指標とした高LET放射線のトラック構造の可視化
3. 学会等名 放射線ワークショップ(第1回)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 税所康正	4. 発行年 2019年
2. 出版社 文一総合出版	5. 総ページ数 112
3. 書名 セミハンドブック	

1. 著者名 生物音響学会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 464
3. 書名 生き物と音の事典	

1. 著者名 林 正美、税所 康正	4. 発行年 2015年
2. 出版社 誠文堂新光社	5. 総ページ数 224
3. 書名 改訂版 日本産セミ科図鑑	

〔産業財産権〕

〔その他〕

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	伊藤 敦 (Ito Atsushi) (80193473)	東海大学・工学部・教授 (32644)	
研究分担者	畑上 到 (Hataue Itaru) (50218476)	東京都市大学・共通教育部・教授 (32678)	
連携研究者	金川 秀也 (Kanagawa Shuya) (50185899)	東京都市大学・共通教育部・教授 (32678)	