

令和 5 年 9 月 15 日現在

機関番号：13401
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2020～2022
課題番号：20H03620
研究課題名(和文) 骨髄幹細胞の粒子線障害に対するNOを介した細胞競合による組織再生能維持機構の解明

研究課題名(英文) Elucidation of Maintenance Mechanism of Tissue Regenerative Potential of Bone Marrow Stem Cells by NO-mediated Cell Competition against Particle Radiation Damage

研究代表者
松本 英樹 (MATSUMOTO, Hideki)

福井大学・学術研究院医学系部門・シニアフェロー

研究者番号：40142377
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：X線、陽子線あるいは炭素線を5 Gy単回全身照射した正常マウスでの骨髄由来造血幹細胞/多能性前駆細胞の生存率は、照射24時間後で約0.03～0.1であり、照射7日後での生存率も約0.1で、照射14日後に約0.2～0.7まで回復した。以上のことから、骨髄組織再生能維持機構に関して、損傷した骨髄由来造血幹細胞/多能性前駆細胞においてDNA損傷応答機構は誘導されず、排除されていると考えられ、また照射7日後以降に新規の骨髄由来造血幹細胞/多能性前駆細胞によって骨髄組織の回復が誘導されていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

X線と比較して、粒子線により損傷した骨髄由来造血幹細胞/多能性前駆細胞の回復が遅延することが示され、粒子線がん治療における治療計画作成時において、照射野内に含まれる骨髄組織の被ばくを極力避けるようにすべきであることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The surviving fraction of bone marrow-derived hematopoietic stem cells/pluripotent progenitor cells in normal mice after a single 5 Gy whole-body irradiation with X-rays, protons, or carbon beams was about 0.03-0.1 at 24 hours after irradiation, about 0.1 at 7 days, and recovered to about 0.2-0.7 after 14 days. These results suggest that the DNA damage response mechanism is not induced in damaged bone marrow-derived hematopoietic stem cells/pluripotent progenitor cells and is eliminated, and that bone marrow tissue recovery is induced by new bone marrow-derived hematopoietic stem cells/pluripotent progenitor cells after 7 days of irradiation.

研究分野：放射線生物学

キーワード：組織再生能維持機構 骨髄幹細胞 粒子放射線 細胞競合 回復動態

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、照射装置の進歩・照射方法の工夫および治療後の患者の優れた QOL により放射線がん治療が高い評価を得ている。しかしながら、密封小線源による組織内照射では低線量率連続照射が行われ、周辺の正常組織に低線量被ばく域が存在している。強度変調放射線がん治療においても場合によっては低線量率照射となることがあり、周辺の正常組織に低線量被ばく域が存在している。また粒子線放射線がん治療においても粒子線の軌跡に沿って、特に腫瘍の手前に低線量被ばく域が存在している。また既に診断用の X 線 (CT 検査) による発がんリスクに関する警鐘が鳴らされている。従って、放射線がん治療における正常組織の低線量被ばくによる新たな問題が浮き彫りにされてくる可能性が考えられる。

本研究は、胸部および骨盤内腫瘍に対する強度変調放射線がん治療、あるいは粒子線放射線がん治療において肋骨、胸骨および寛骨 (腸骨) の赤色骨髄の X 線あるいは粒子線による被ばくの安全性を担保するために、正常マウスに X 線、陽子線、あるいは炭素線を全身照射し、大腿骨骨髄由来造血幹細胞/多能性前駆細胞の回復動態を解析することにより、骨髄組織再生能維持機構を明らかにしようとする点が特色であり、独創的な点である。がん患者自身が診療行為により健康上の便益を得て、それが放射線被ばくにより受ける損害を上回っているという前提で、医療被ばくには線量当量限度が設定されていない。しかし、放射線がん治療をはじめ放射線を利用した診療の実施に当たり、その目的を達成できる範囲で患者の被ばく線量を低減する必要がある。本研究は、この医療放射線防護の最適化に貢献し、強度変調放射線がん治療、あるいは粒子線放射線がん治療による正常組織被ばくのリスク評価に大きく寄与することが予想される。

2. 研究の目的

強度変調放射線がん治療および粒子線によるがん治療の普及に鑑み、骨髄由来造血幹細胞/多能性前駆細胞の回復動態を解析することにより、骨髄組織再生能維持機構を解明することを目的とし、正常マウスに X 線、あるいは粒子線 (陽子線あるいは炭素線) を全身照射し、大腿骨骨髄由来造血幹細胞/多能性前駆細胞の回復動態を MethoCult 培養法により解析した。

3. 研究の方法

(1) 動物: C57BL マウス (C57BL/6Jc1, 5 週齢、雄) を用いた。

(2) マウスへの単回全身照射:

X 線照射: (国) 福井大学・ライフサイエンス支援センターに設置されている X 線照射装置 (HW-200R、HITEX 社) を用いて、180 kV、10 mA、Cu (0.1 mm) フィルターの条件で 5 Gy を照射した。

陽子線照射: (公財) 若狭湾エネルギー研究センターの陽子線がん治療研究装置 (W-MAST) を用いて、C57BL マウスをブラッグピーク手前の平坦部に配置して 200 MeV/n、10 keV/μm の条件で 5 Gy を照射した。

炭素線照射: (国研) 量子科学技術研究開発機構の重粒子線がん治療装置 (HIMAC) を用いて、C57BL マウスをブラッグピーク手前の平坦部に配置して 290 MeV、13.3 keV/μm の条件で 5 Gy を照射した。

(3) マウスへの炭素線単回および 2 分割全身照射: (国研) 量子科学技術研究開発機構の重粒子線がん治療装置 (HIMAC) を用いて、C57BL マウスをブラッグピーク手前の平坦部に配置して 290 MeV、13.3 keV/μm の条件で 0.1~10.0 Gy を単回あるいは 2 分割照射した。

(4) 骨髄細胞の調製: 照射後 0、1、3、6、12 時間目、1、7 および 14 日目にマウスから大腿骨を摘出し、Iscov's DMEM 培地を用いて骨髄細胞分画を調製した。

(5) MethoCult 培地を用いたコロニー形成法による生存率の解析: 免調製した骨髄細胞分画を MethoCult 培地 (GF M3434 培地) で培養し、7~10 日後に形成されたコロニー数を計数し、骨髄幹/前駆細胞の生存率を解析した。

4. 研究成果

(1) 骨髄由来造血幹細胞/多能性前駆細胞の回復動態

X 線単回照射

X 線 (180 kV, 10 mA, Cu-0.1 mm filter) を 5.0 Gy 単回全身照射した C57BL マウスでは、照射直後の骨髄幹/前駆細胞の生存率は 0.200 ± 0.022 で、照射 1 時間後に 0.054 ± 0.007 まで低下し、その後若干の回復が認められ、照射 24 時間後では 0.092 ± 0.009 であった (図 1)。照射 7 日後の生存率は、 0.124 ± 0.033 で、照射 14 日後には、 0.700 ± 0.100 まで回復した (図 2)。

陽子線単回照射

C57BL マウスをブラッグピーク手前の平坦部に配置して陽子線 (200 MeV/u, 10 keV/μm) を 5.0 Gy 単回全身照射したマウスでは、照射直後の骨髄幹/前駆細胞の生存率は $0.121 \pm$

0.014 で、照射 3 時間後に 0.059 ± 0.006 まで低下し、その後若干の回復が認められ、照射 24 時間後では 0.118 ± 0.003 であった(図 1)。照射 7 日後の生存率は、 0.124 ± 0.043 で、照射 14 日後には、 0.431 ± 0.100 まで回復した(図 2)。

炭素線単回照射

C57BL マウスをブラッグピーク手前の平坦部に配置して炭素線(290 MeV/u, 13.3 keV/ μ m) を 5.0 Gy 単回全身照射したマウスでは、照射直後に骨髓幹/前駆細胞の生存率は、 0.03 ± 0.004 まで低下し、照射 1 日後まで生存率の回復はほとんど認められなかった(図 1)。照射 7 日後の生存率は、 0.076 ± 0.027 で、照射 14 日後でさえ、 0.220 ± 0.131 であった(図 2)。

(2) 炭素線の単回照射あるいは分割照射後の骨髓由来造血幹細胞/多能性前駆細胞の生存率

C57BL マウスをブラッグピーク手前の平坦部に配置して炭素線(290 MeV/u, 13.3 keV/ μ m) を 2 分割全身照射したマウスでは、照射 1 日後の骨髓幹細胞/前駆細胞の生存率は指数関数的に生存率が低下し、0.2 (0.1 x 2 回) Gy で 0.844、0.6 (0.3 x 2 回) Gy で 0.714、2.0 (1.0 x 2 回) Gy で 0.492、4.0 (2.0 x 2 回) Gy で 0.135、6.0 (3.0 x 2 回) Gy で 0.071、8.0 (4.0 x 2 回) Gy で 0.025、10.0 (5.0 x 2 回) Gy で 0.012 であった(表 1)。この結果は、それぞれの総線量を単回照射した際の生存率とほぼ等しく、2 回の照射間隔の 24 時間間にほとんど DNA 損傷応答機構が誘導されていないことが示唆された(図 3)。

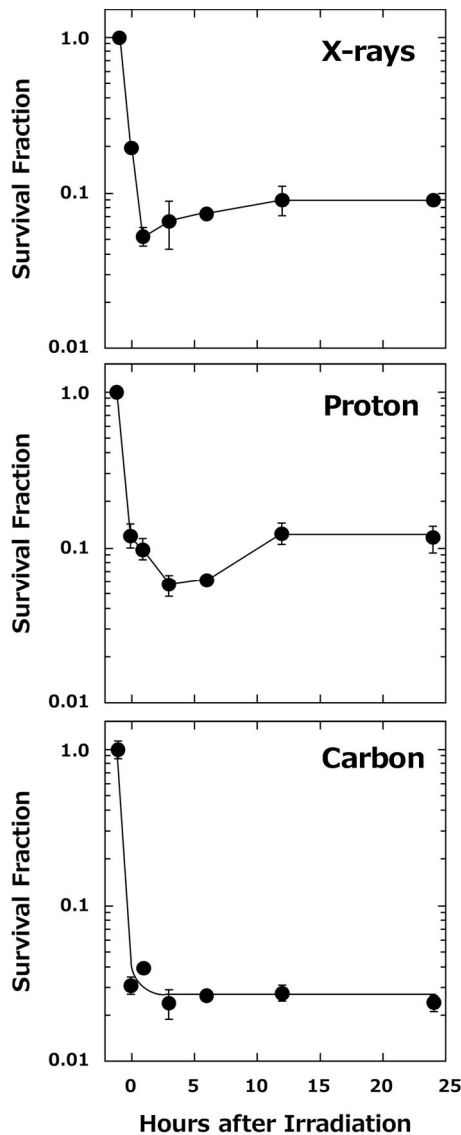


図 1 . 骨髓幹/前駆細胞の回復動態 (照射直後 ~ 24 時間後) .

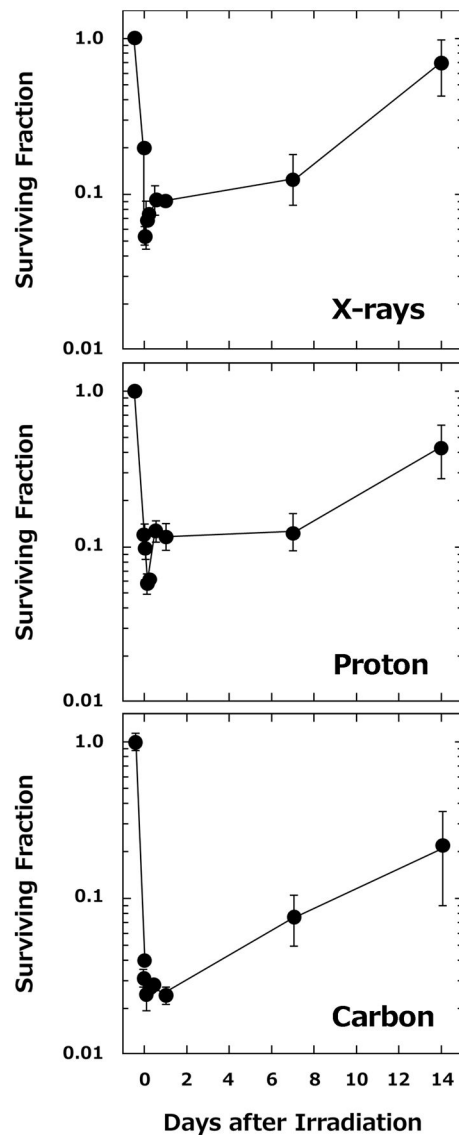


図 2 . 骨髓幹/前駆細胞の回復動態 (照射直後 ~ 14 日後) .

表 1 . 炭素線の単回照射あるいは 2 分割照射後の骨髓幹細胞/前駆細胞の生存率の比較

	Dose (Gy)												
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.6	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0	10.0
Surviving Fraction (Single Dose)	1.000	0.811		0.994		0.658		0.341		0.125			0.014
SD	± 0.056	± 0.080		± 0.094		± 0.102		± 0.054		± 0.011			± 0.007
Surviving Fraction (Double Dose)	1.000		0.844		0.714		0.492		0.135		0.071	0.025	0.012
SD	± 0.035		± 0.079		± 0.091		± 0.023		± 0.050		± 0.026	± 0.012	± 0.006

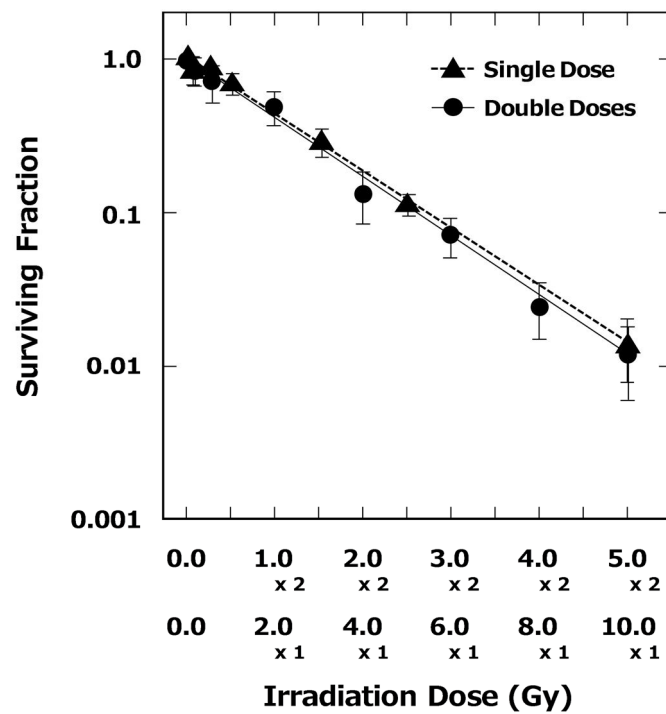


図 3 . 炭素線 2 分割照射後の骨髓幹細胞/前駆細胞の生存率

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Matsumoto H, Shimada Y, Nakamura AJ, Ojima M, Kakinuma S, Shimada M, Sunaoshi M, Hirayama R, Tauchi H.	4. 巻 62
2. 論文標題 Health effects triggered by tritium: how do we get public understanding based on scientifically supported evidence?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Radiat. Res.	6. 最初と最後の頁 557-563
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jrr/rrab029	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 Maeda M, Tomita M, Maeda M, Matsumoto H, Usami N, Kume K, Kobayashi K.	4. 巻 11
2. 論文標題 Exposure of the cytoplasm to low-dose X-rays modifies ataxia telangiectasia mutated-mediated DNA damage responses.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Rep.	6. 最初と最後の頁 13113 (1-13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-92213-z.	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 平山亮一、高野勇貴、前田宗利、岩田宏満、永根大幹、松本孔貴、富田雅典、小西輝昭	4. 巻 57
2. 論文標題 FLASH放射線治療の歴史と今後の展望.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 放射線生物研究	6. 最初と最後の頁 31-49
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 Du J, Kageyama S, Hirata H, Motegi A, Nakamura M, Hirano Y, Okumura M, Yamashita R, Tsuchihara K, Hojo H, Hirayama R, Akimoto T.	4. 巻 585
2. 論文標題 Comparative analysis of the immune responses in cancer cells irradiated with X-ray, proton and carbon-ion beams.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Biochem. Biophys. Res. Commun.	6. 最初と最後の頁 55-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bbrc.2021.11.004	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 該当する

1. 著者名 Sakata D, Suzuki M, Hirayama R, Abe Y, Muramatsu M, Sato S, Belov O, Kyriakou I, Emfietzoglou D, Guatelli S, Incerti S, Inaniwa T.	4. 巻 13
2. 論文標題 Performance Evaluation for Repair of HSGc-C5 Carcinoma Cell Using Geant4-DNA.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cancers	6. 最初と最後の頁 6046
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cancers13236046	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 該当する

1. 著者名 Prezado Y, Hirayama R, Matsufuji N, Inaniwa T, Martinez-Rovira I, Seksek O, Bertho A, Koike S, Labiod D, Pouzoulet F, Polledo L, Warfving N, Liens A, Bergs J, Shimokawa T.	4. 巻 13
2. 論文標題 A potential renewed use of very heavy ions for therapy: Neon minibeam radiation therapy.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cancers (Basel)	6. 最初と最後の頁 1356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cancers13061356.	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 該当する

1. 著者名 Matsumoto H, Shimada Y, Nakamura AJ, Usami N, Ojima M, Kakinuma S, Shimada M, Sunaoshi M, Hirayama R, Tauchi H.	4. 巻 in press
2. 論文標題 Health effects triggered by tritium: How do we get public understanding based on scientifically supported evidence?	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J Radiat Res	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jrr/rrab029.	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 Hirayama R, Ito A, Uzawa A, Matsumoto Y, Noguchi M, Li H, Suzuki M, Ando K, Okayasu R, Hasegawa S, Furusawa Y.	4. 巻 in press
2. 論文標題 Lethal DNA lesions caused by direct and indirect actions of X-rays are repaired via different DSB repair pathways under aerobic and anoxic conditions.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Radiat Res	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1667/RADE-20-00235.1.	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 該当する

1. 著者名 Yogo K, Misawa M, Shimizu M, Shimizu H, Kitagawa T, Hirayama R, Ishiyama H, Furukawa T, Yasuda H.	4. 巻 14
2. 論文標題 Effect of gold nanoparticle radiosensitization on plasmid DNA damage induced by high-dose-rate brachytherapy.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Int J Nanomed	6. 最初と最後の頁 359-370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2147/IJN.S292105. eCollection 2021.	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 Salad-Leza D, Porcel E, Yang X, Stefancikova L, Bolsa-Ferruz M, Savina F, Dragoe D, Guerquin-Kern J-L, Wu T, Hirayama R, Remita H, Locombe S.	4. 巻 13
2. 論文標題 Green one-step synthesis of medical nanoagents for advanced radiation therapy.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanotech Sci Appl	6. 最初と最後の頁 61-76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2147/NSA.S257392. eCollection 2020.	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 該当する

1. 著者名 Le Sech C, Hirayama R.	4. 巻 159
2. 論文標題 Dual aspect of radioenhancers and free radical scavenger.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Free Radic Biol Med	6. 最初と最後の頁 103-106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.freeradbiomed.2020.06.019.	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 該当する

1. 著者名 Yogo K, Murayama C, Fujisawa Y, Maeyama T, Hirayama R, Ogawa Y, Matsumoto K, Nakanishi I, Yasuda H, Ishikawa H, Hayakawa K.	4. 巻 193
2. 論文標題 Potential mechanisms for protective effect of D-methionine on plasmid DNA damage induced by therapeutic carbon ions.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiat Res	6. 最初と最後の頁 513-519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1667/RR15502.1.	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 Usami N, Hirayama R, Kobayashi K, Furusawa Y, Le Sech C.	4. 巻 96
2. 論文標題 Combination of Agents Modifying Effects in Hadrontherapy: Modelization of the role of HO° free radicals.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Int J Radiat Biol	6. 最初と最後の頁 622-627
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/09553002.2020.1721594. Epub 2020 Feb 6.	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 Xu X, Nakano T, Tsuda M, Kanamoto R, Hirayama R, Uzawa A, Ide H.	4. 巻 48
2. 論文標題 Direct observation of damage clustering in irradiated DNA with atomic force microscopy.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nucl Acids Res	6. 最初と最後の頁 e18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/nar/gkz1159.	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 該当する

1. 著者名 Iwase A, Hatori S, Kurita T, kume K, Maeda M, Takagi K, Hatashita M, Ishigami R, Suzuki K.	4. 巻 45
2. 論文標題 Current status and prospects of the research using energetic ion beams at the Wakasa Wan Energy Research Center.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of the Materials Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 89-96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14723/tmrsj.45.89.	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 Konishi T, Yoshihara D, Maeda M, Ohsawa D, Usami N, Hieda K.	4. 巻 4
2. 論文標題 Enhanced cell inactivation and double-strand break induction in V79 Chinese hamster cells by monochromatic X-rays at phosphorus K-shell absorption peak.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Quantum Beam Sci	6. 最初と最後の頁 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/qubs4040038.	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 -

〔学会発表〕 計21件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 松本英樹, 島田義也, 中村麻子, 宇佐美徳子, 小嶋光明, 柿沼志津子, 島田幹男, 砂押正章, 平山亮一, 田内 広
2. 発表標題 福島第一原発事故復興支援における日本放射線影響学会 放射線災害対応委員会の活動 「トリチウムによる健康影響」の発行
3. 学会等名 日本放射線影響学会第64回大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田宗利, 前田未佳, 久米恭, 玉村裕保, 佐々木誠, アレッサンドロ ナスティ, 酒井佳夫, 松本英樹, 金子周一, 山本和高
2. 発表標題 若狭湾エネルギー研究センターにおける陽子線治療を用いた集学的治療の高度化のための放射線生物学的研究
3. 学会等名 日本放射線影響学会第64回大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Alessandro Nasti, Yoshio Sakai, Norihiko Ogawa, Masaki Miyazawa, Shingo Inagaki, Tuyen Thuy Bich Ho, Hiroki Nomura, Akihiro Seki, Kyo Kume, Munetoshi Maeda, Makoto Sasaki, Shuichi Kaneko
2. 発表標題 Antitumor effect of proton beam irradiation and anti-PD-L1 antibody combination therapy in subcutaneous murine models of pancreatic cancer.
3. 学会等名 The 6th European Congress of Immunology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田宗利
2. 発表標題 陽子線とX線の併用が細胞致死効果およびがん治療効果に与える影響
3. 学会等名 第1回日本量子医科学会学術大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田宗利
2. 発表標題 Analysis of the mechanism of cell death by energy deposition to local sites in cells using synchrotron radiation X-ray microbeams.
3. 学会等名 日本マイクロビーム生物研究会2021年度シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 前田宗利
2. 発表標題 異種放射線の併用によるがん治療の高度化に向けた治療生物学的な研究.
3. 学会等名 公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター第23回研究報告会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 酒井佳夫、ナスティ・アレッシンドロ、ホ・ティ・ピー・ティエン、宮澤正樹、久米恭、前田宗利、佐々木誠、金子周一
2. 発表標題 膵癌マウス皮下モデルにおける陽子線照射と抗PD-L1抗体投与による抗腫瘍効果.
3. 学会等名 第52回膵臓学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤夏子、櫻井良憲、高田卓志、鈴木実、前田宗利、久米恭
2. 発表標題 陽子・炭素・ヘリウム線・BNCT などの粒子線による 神経細胞・脳血液関門に対する生物学的影響の評価.
3. 学会等名 第17回日本中性子捕捉療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平山亮一
2. 発表標題 1 回大線量による生物効果軽減のメカニズム.
3. 学会等名 第 20 回九州放射線治療システム研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平山亮一、鶴澤玲子、高野勇貴、平野祥之、長谷川純崇
2. 発表標題 培養細胞における高LET放射線誘発致死損傷：生物学的効果比 (RBE) と酸素増感比 (OER) における放射線の直接作用と間接作用の関連性.
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 平山亮一
2. 発表標題 低酸素環境下における光子ならびに重粒子放射線が与える生物効果の機構解明.
3. 学会等名 第58回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中野敏彰、赤松 憲、鹿園直哉、平山亮一、玉田太郎、廣本武史
2. 発表標題 細胞への放射線照射によってDNA中に生じた損傷の可視化.
3. 学会等名 量子生命科学会第2回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浦野建太、伊藤 敦、高野勇貴、吉田茂生、平山亮一、古澤佳也、舟山知夫、横田裕一郎
2. 発表標題 重イオン線トラックによるDNA酸化損傷領域の蛍光抗体法による定量化：バックグラウンド低減処理による改善.
3. 学会等名 QST高崎サイエンスフェスタ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hirayama R, Tabrez-Ahmed-Takano Y, Uzawa A, Hasegawa S.
2. 発表標題 Micronucleus formation by X-ray in CHO cells in hypoxia.
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 Tabrez-Ahmed-Takano Y, Urano K, Ito A, Ouchi F, Hirayama R, Furusawa Y, Funayama T, Yokota Y.
2. 発表標題 Analysis of track structure using 8-OHdG in DNA sheet irradiated with heavy ions under oxic and hypoxic conditions.
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 Urano K, Ito A, Takano Y, Ouchi F, Hirayama R, Furusawa Y, Funayama T, Yokota Y.
2. 発表標題 Quantitative estimation of low-LET penumbra area induced by heavy ion particles using OH radical induced guanine damage (8-OHdG): Further analysis including background noise reduction process.
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 Ando K, Koike S, Matsufuji N, Hirayama R, Yoshida Y.
2. 発表標題 Time course up to one year of mouse skin shrinkage and cell survival parameters after therapeutic carbon ion beams.
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 Maeda M, Maeda M, Matsumoto H, Tomita M, Kume K.
2. 発表標題 Irradiation sequence in combined radiation exposure modifies the cellular radiosensitivity.
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 前田宗利
2. 発表標題 粒子線がん治療の高度化を目指したエネ研における医療分野の取組み - エネ研粒子線医療研究の過去・現在・未来 -
3. 学会等名 公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター第22回研究報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松本英樹、前田宗利
2. 発表標題 陽子線頭頸部がん治療時に発症する放射線性口腔粘膜障害を克服できるか？
3. 学会等名 公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター第22回研究報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kondo N, Sakurai Y, Kano K, Takata T, Kume K, Maeda M, Setou M, Aoki J, Suzuki M.
2. 発表標題 Lysophosphatidyl acid is involved in radiation brain necrosis through chronic microglial activation.
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会第33回学術大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 波戸芳仁、萩原雅之、横田繁昭、平山亮一、加藤真介、佐藤斉、井上一雅	4. 発行年 2021年
2. 出版社 メジカルビュー社	5. 総ページ数 404
3. 書名 第1種放射線取扱主任者試験マスター・ノート 4th Edition	

〔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	前田 宗利 (MAEDA Munetoshi) (20537055)	公益財団法人若狭湾エネルギー研究センター・研究開発部・主任研究員 (83401)	
研究分担者	平山 亮一 (HIRAYAMA Ryoichi) (90435701)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所 重粒子線治療研究部・主任研究員(定常) (82502)	

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