

## 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：12301

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05945

研究課題名（和文）様々な線質と線量率の宇宙放射線の急性影響

研究課題名（英文）Acute Effects of Space Radiation with Different Radiation Qualities and Dose-rates

研究代表者

高橋 昭久（Takahashi, Akihisa）

群馬大学・重粒子線医学推進機構・教授

研究者番号：60275336

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 73,100,000円

研究成果の概要（和文）：宇宙での特殊な複合環境（オゾン層で遮られず降り注ぐ太陽紫外線を含めた放射線と重力変化）を模擬した世界初となる装置を複数独自開発し、国内外との共同研究を実施した。その結果、放射線単独に比べて疑似微小重力との複合影響によって、細胞周期チェックポイントの解除にはたらく遺伝子の発現変化を捉え、ゲノム不安定性（染色体異常）が増えることを明らかにした。さらに、オートファジーは紫外線・微小重力障害の克服に重要であることを明らかにした。また、後肢への体重負荷がなく、頭部への体液移動など宇宙環境の一部を模擬した尾部懸垂マウスにおいて、免疫系組織（胸腺・脾臓）が萎縮し、移植ガンの増殖と転移が増えることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これらの成果をもとに、植物を用いた宇宙での紫外線と微小重力による障害と修復、マウスを用いた宇宙での微小重力によるガンの進行について、2018年の国際宇宙ステーション「きぼう」日本実験棟の船内環境を利用する実験テーマに採択され、その実現に向けて準備をすすめている。さらに、我々の開発した装置をプラットフォームとして利用し、その次のISS、人工衛星、Gateway、月や火星での宇宙実験に向けた研究の基盤が構築され、本領域のさらなる発展につながった。安全・安心に「宇宙に生きる」ため、放射線リスク評価に、従来の放射線の質と量のみならず、重力変化との複合影響の重要性を提示したことは社会的意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：We developed the system of simultaneous irradiation (ultraviolet-light, X-rays, C-ions, and neutron) in simulated-microgravity and partial gravity using a clinostat. Using these simulator, we reported reduced expression of cell-cycle-suppressing genes and enhanced expression of cell-cycle promoting ones in human fibroblast cells after C ion irradiation under simulated-microgravity. Supporting this result, we have also reported a higher rate of chromosomal aberrations and abnormalities in the same combined conditions. Furthermore, we clarified that autophagy is important for overcoming ultraviolet-light and microgravity obstacles. We also reported that hindlimb suspension significantly increased tumor growth and metastasis to the lung, and caused greater thymic and splenocyte atrophy compared with mice in constant orthostatic suspension or unmanipulated mice under standard housing conditions.

研究分野：放射線生物

キーワード：宇宙放射線 太陽紫外線 微小重力 複合影響 がんの進行

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

宇宙空間は磁場と大気に守られている地上とは異なり、生物学的効果の高い重粒子線（一粒子でも飛跡に沿って重篤なDNA切断を引き起こす）を含めて、線質の異なる混合放射線が、低線量・低線量率で降り注いでいる。また、宇宙空間はオゾン層に遮られることなく、短波長太陽紫外線（高頻度にDNA塩基損傷を引き起こす）が高線量・高線量率で降り注いでいる。人類が安全に宇宙に進出し、活動するために、宇宙放射線・太陽紫外線の影響を正しく評価することは喫緊の課題である。そこで、様々な生物種を対象に「様々な線質と線量率の宇宙放射線の急性影響と、それら生物急性影響に対する微小重力環境の影響」の解明を目指す。この解決のため、(1)優れた放射線・紫外線影響検出マーカーを導入した生物試料の作製と、(2)放射線・紫外線と微小重力の複合環境を地上で模擬できる装置の開発が必要である。

### 2. 研究の目的

宇宙空間は、光子線と粒子線の様々な線質と線量率の宇宙放射線が降り注ぎ「宇宙で生きる」上で最も不可逆的ダメージとなる。本研究(A03-2)では

(1)様々な宇宙放射線の線質・線量率の違いによる急性影響および次世代への遺伝的影響

(2)宇宙放射線と宇宙特有の微小重力環境の影響

について、分子、細胞、個体レベルで探究する。これにより、宇宙放射線のリスク研究とそれらの克服のため、どこまで宇宙放射線の被曝を軽減することが必要かを提案する。

### 3. 研究の方法

(1) クリノスタット放射線・紫外線同時照射装置の開発：

微小重力には落下棟、航空機によるパラボリック飛行、そして、重力方向を連続的に変化させることで重力影響をキャンセルして疑似微小重力環境にするクリノスタット装置が用いられている。ただし、落下棟やパラボリック飛行は、微小重力環境は秒単位でしか再現できないため、現実的にはクリノスタット装置が広く用いられており、ヒトやマウスの培養細胞に対する疑似微小重力の影響に関する地上実験の膨大なデータが得られている。これまでのクリノスタットを用いた疑似微小重力と放射線の複合影響についての地上実験の多くは、同時照射されておらず、正しく宇宙空間を模擬しているとは言いがたかった。そこで、我々は3Dクリノスタットの回転センサーの信号から、搭載試料が水平に位置したときのみ高速シャッターによるX線および呼吸同期照射システムを利用した炭素線を同期照射する装置を開発した (Ikeda *et al.* 2016, 2017)。また、紫外線を含む太陽光を模擬した人工LED光源ユニットを作製し、クリノスタットに搭載し、クリノスタット上で紫外線照射が可能な装置を作製した (Furukawa *et al.* 2020)。さらに、3Dクリノスタットに遠心機を組合せ、中心軸に<sup>252</sup>Cf中性子線源を装着することで、月および火星を模擬した低重力・低線量率放射線同時照射装置を開発した(図1)。

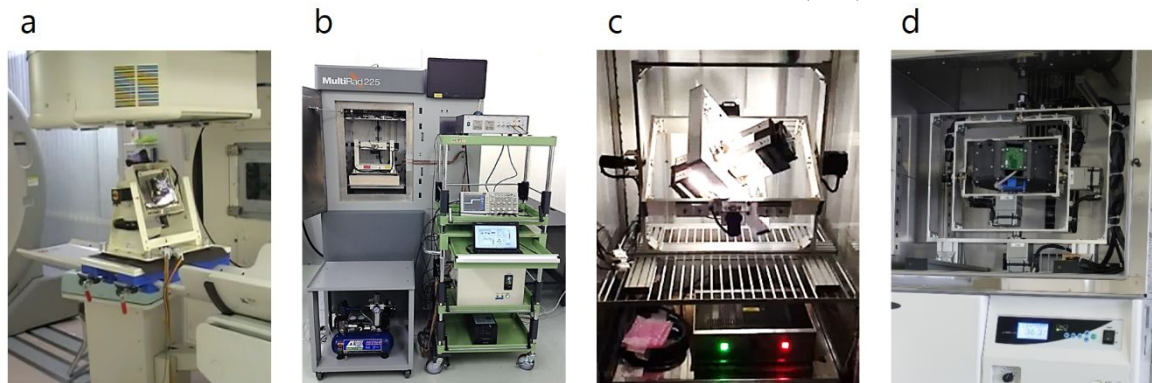


図1. 開発した各種装置. a, 疑似微小重力炭素線同期照射システム. b, 疑似微小重力X線同期照射システム. c, 疑似微小重力紫外線同期照射システム. d, 疑似低重力中性子線同期照射システム.

(2) クリノスタット放射線・紫外線同時照射装置を用いた研究：

この装置を用いて、他の班の協力のもと、 $\gamma$ H2AXを指標としたDNA損傷量解析、RNAseqによる遺伝子発現解析、細胞周期解析、染色体異常解析、オートファジーの観察などを実施した。

(3) 尾部懸垂による疑似微小重力環境における「がんの進行」研究：

微小重力環境を模擬した尾部懸垂3日後に、体重および免疫系器官(胸腺、脾臓)の生重量を計測した。別途、マウス骨肉腫細胞LM8 ( $2 \times 10^6/50 \mu\text{L}$ )を右下腹部皮下注射し、経日的に腫瘍径を測定した。さらに、移植3週間後に体重および免疫系器官(胸腺、脾臓)の生重量を計測、肺への転移数を計測した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 疑似微小重力環境における放射線同時照射による研究：

ヒト正常線維芽細胞を用い、3D クリノスタット放射線同時照射装置によるサンプルにつき、RNAseq を行った。放射線単独だとがん抑制遺伝子産物 p53 の下流の制御に関わる細胞周期 G1 および G2 チェックポイントを引き起こす遺伝子群が誘導するのに対して(図 2a), 疑似微小重力下での放射線, 特に炭素線同時照射すると, これらの細胞周期チェックポイントが解除されて, ゲノム不安定性が増し, 発がんリスクが高まる可能性を示唆する遺伝子発現変動を確認した(図 2b) (Ikeda *et al.* 2019) .

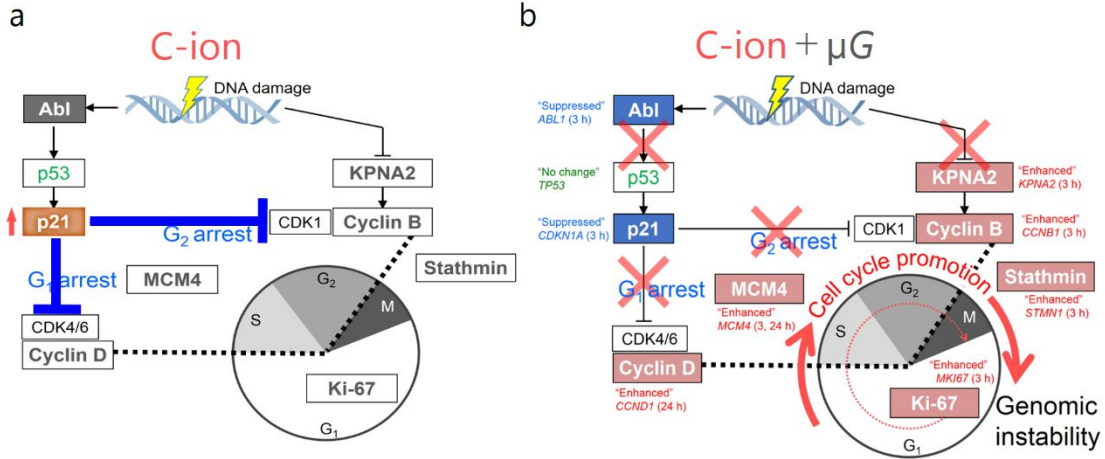


図 2. 細胞周期に関する遺伝子群の変動. a, 炭素線単独照射後の遺伝子変動. b, 疑似微小重力炭素線同期照射後の遺伝子変動 .

さらに, この細胞を 24 時間静置(1G)または疑似微小重力( $\mu$ G)処理したまま, X 線または炭素線を照射し, リカバリーのため, 同条件で 24 時間培養した. その後, コルセミドとカリキュリン A を加え, G2/M 期の染色体を集め, 1, 2, 4 番染色体を FISH 法によって蛍光染色し, 交換型の染色体異常頻度を定量化した(図 3). その結果, 疑似微小重力下( $\mu$ G)照射された細胞は, 静置下(1G)照射された時と比べて, X 線および重粒子線のいずれにおいても, 染色体異常頻度が高くなることを見出した(Hada *et al.*, 2019). このことは, 宇宙放射線の物理測定のみでは, がん死リスクを正しく評価できないことを示唆している .

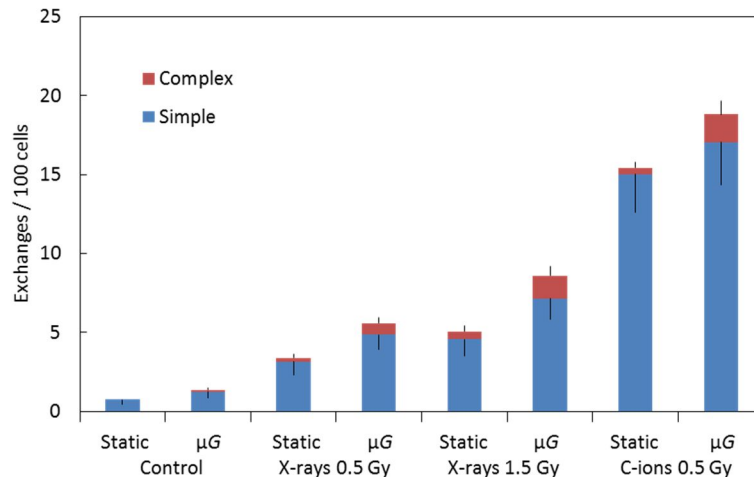


図 3. 疑似微小重力放射線同期照射後の染色体異常頻度 .

##### (2) 疑似微小重力環境における紫外線同時照射による研究：

これまでに, 地上の 1G 環境では太陽紫外線 UVB に対する抵抗性に関して, UVB 誘発 DNA 損傷を修復する CPD 光回復酵素および UVB による障害オルガネラを除去するオートファジー重要な役割を演じていることを示した ( Izumi *et al.* 2017, Nakamura *et al.* 2018, Gideon *et al.* 2020 ). そこで, 紫外線 UVB を含む太陽光を模擬した UVB-LED 照射装置を搭載した 3D クリノスタットを用いて, 植物の UVB 障害に対する疑似微小重力が及ぼす影響について, 1G 環境で UVB 抵抗性に重要な役割を演じていることを示した, CPD 光回復酵素, およびオートファジー機能を欠失した双子葉モデル植物であるシロイヌナズナ, 基部陸上植物であるゼニゴケの変異体を材料に解析を行ってきた. その結果, 疑似微小重力環境下では, UVB による障害がより大きくなる, すなわち, UVB 感受性が高くなること, 疑似微小重力環境に曝さ



れた植物では、ミトコンドリアの断片化(ミトコンドリア障害)が促進される、 障害ミトコンドリアを除去するためのオートファジー機能が、紫外線 UVB と微小重力の複合環境ストレス下において重要な働きをしている可能性を見出した(投稿準備中)。

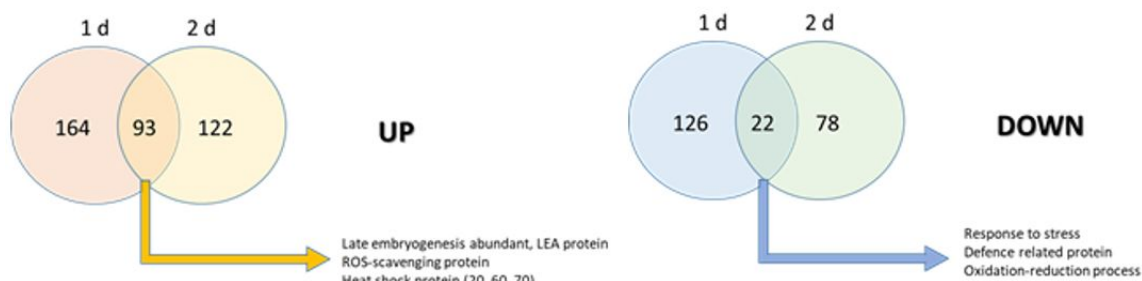


図 4. 疑似微小重力が、ゼニゴケの遺伝子発現に及ぼす影響。疑似微小重力環境下で 1 日 (1 d), 2 日 (2 d) 間生育させた後の葉状態細胞内の遺伝子発現が、2 倍以上上昇 (UP) または減少 (DOWN) した遺伝子数。

現在、微小重力環境におけるミトコンドリア障害の要因に関して、活性酸素の蓄積との関係に関して解析を進めている。また、疑似微小重力環境において UVB 感受性が高くなったことが、両ストレスによる相加的な効果なのか？相乗的効果なのか？に関して、RNAseq 解析等を通して解析を進めている。

「宇宙微小重力・高放射線環境ストレスに対する植物の応答解析」として 2018 年度 JAXA 「きぼう」利用フィジビリティースタディ (FS) に採択され、宇宙実験の実現のため、準備をすすめている。「きぼう」において、放射線(紫外線を含む)による DNA 変異誘発や細胞内のオルガネラの動態・障害を可視化できるシロイヌナズナ変異体を、紫外線 UVB-LED を装着した植物培養器で、微小重力と人工的に発生させた 1G 環境下で栽培する。14 日後、紫外線 UVB を一過的に短時間照射し、照射後の植物体を経時的にサンプリングし、化学固定あるいは凍結で回収する。回収した植物体を材料に、微小重力、放射線、紫外線の複合影響を、分子・細胞・個体レベルで解析する。現在、2021 年度の宇宙実験の実施を目指して、装置開発を含め、準備を進めている。月、火星での植物栽培、宇宙植物栽培分野、宇宙農業分野で世界を先導して行うためには、本研究で目的とするパイオニア実験の実施が重要であり、その成果は必然的に科学技術イノベーションの創出、産業・社会へつながることを期待している。

さらに、東北大学を中心に、生命維持装置を備えた人工衛星の作製により、生命維持機構の解明を目指している。

### (3) 疑似微小重力環境における「がんの進行」に関する研究：

微小重力環境を模擬した尾部懸垂マウスでは、免疫系器官が萎縮し、腫瘍の増殖が亢進し、肺転移の増加を確認し、がんは進行することを明らかにしてきた。さらに、1 日 2 時間の一時接地で、がんの進行は抑えられることから、宇宙でのがん死リスク防護策の一つとなる可能性を示した(図 5)(Takahashi *et al.* 2019)。

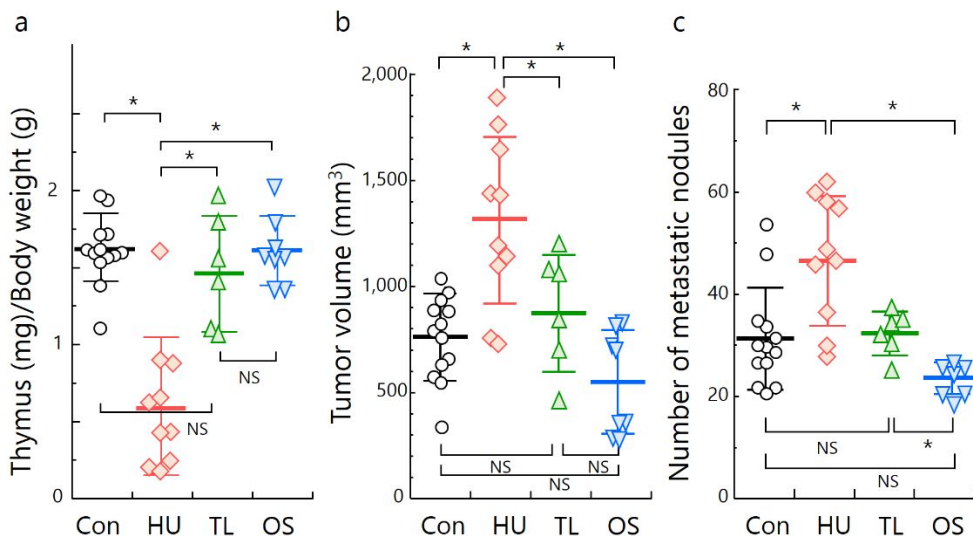


図 5. 尾部懸垂マウスにおけるがんの進行 .a, 胸腺の萎縮 .b, 腫瘍増殖の亢進 .c, 肺転移 .

「宇宙でガンの進行は早まるのか?」「それを防ぐことができるのか?」を明らかにすることを目的として2018年度JAXA「きぼう」利用フィジビリティースタディ(FS)に採択され、宇宙実験の実現のため、準備をすすめている。腫瘍移植マウスを用いて、宇宙の微小重力環境で、本当にガンの進行が早まるのかを、軌道上での発光イメージングおよび地上に回収した試料での免疫系・ガン進行の詳細な解析により検証する。ガンの克服は、人類の悲願である。加齢に伴う変化と同様の現象の見られる宇宙で、ガンの進行が早まるとしたら、それを防ぐ方法の検討も目指す。将来、安全・安心な長期宇宙滞在の一助になるとともに、地上でのガン克服の方策に新たな応用・展開が期待される。

さらに、月や火星での低重力環境ではどうなるのか、がんの進行を防げるのかについても、国際宇宙ステーションで実証したいと考えている。その先には、次世代の研究者が、月近傍のGatewayでのマウス人工飼育による長期宇宙実験による発がん研究ができるように、国内外の関係諸氏に呼びかけを行っている。深宇宙こそが、宇宙放射線影響研究が真骨頂を発揮する実験場である。宇宙放射線と重力変化の複合影響を検証することで、人類が安全・安心に「宇宙に生きる」ために、正しくがん死リスクを評価可能となることが期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Takahashi A, Wakihata S, Ma L, Adachi T, Hirose H, Yoshida Y, Ohira Y.	4. 巻 19
2. 論文標題 Temporary loading prevents cancer progression and immune organ atrophy induced by hind-limb unloading in mice	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Int J Mol Sci	6. 最初と最後の頁 3959
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ijms19123959	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 Hada M, Ikeda H, Rhone JR, Beitman AJ, Plante I, Souda H, Yoshida Y, Held KD, Fujiwara K, Saganti PB, Takahashi A.	4. 巻 20
2. 論文標題 Increased chromosome aberrations in cells exposed simultaneously to simulated microgravity and radiation.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Int J Mol Sci	6. 最初と最後の頁 43
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ijms20010043	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 Yoshida Y, Sejimo Y, Kurachi M, Ishizaki Y, Nakano T, Takahashi A.	4. 巻 119
2. 論文標題 X-ray irradiation induces disruption of the blood brain barrier with localized changes in claudin-5 and activation of microglia in the mouse brain	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Neurochem Int.	6. 最初と最後の頁 199-206
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neuint.2018.03.002	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 高橋昭久, 藤原敬己, 秦恵	4. 巻 51
2. 論文標題 宇宙を模擬した放射線と微小重力の複合曝露による染色体異常の増加	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 細胞	6. 最初と最後の頁 24-27
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 該当する

1. 著者名 Nakamura S, Hidema J, Sakamoto W, Ishida H, Izumi M.	4. 巻 177
2. 論文標題 Selective elimination of membrane-damaged chloroplasts via Microautophagy.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Plant Physiology	6. 最初と最後の頁 1007-1026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1104/pp.18.00444	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 Takahashi A, Ikeda H, Yoshida Y.	4. 巻 5
2. 論文標題 Role of high-linear energy transfer radiobiology in space radiation exposure risks.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Int J Part Ther	6. 最初と最後の頁 151-159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14338/IJPT-18-00013.1	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 高橋昭久, 吉田由香里, 脇畑庄人, 大平充宣	4. 巻 50
2. 論文標題 宇宙放射線と無重力の複合影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 細胞	6. 最初と最後の頁 591-596
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 高橋昭久, 池田裕子, 吉田由香里	4. 巻 69
2. 論文標題 宇宙放射線と重力変化環境の複合影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 生体の科学	6. 最初と最後の頁 152-156
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 Izumi M, Ishida H, Nakamura S, Hidema J.	4. 巻 29
2. 論文標題 Entire photodamaged chloroplasts are transported to the central vacuole by autophagy.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant Cell	6. 最初と最後の頁 377-394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1105/tpc.16.00637	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 高橋 昭久 , 日出間 純 , 保田 浩志	4. 巻 34
2. 論文標題 宇宙環境を利用した 宇宙 放射線研究 の将来シナリオ	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Int J Microgravity Sci Appl.	6. 最初と最後の頁 340203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15011//jasma.34.340203	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 高橋秀幸, 日出間純, 北宅善昭, 保尊隆享, 唐原一郎, 矢野幸子.	4. 巻 34
2. 論文標題 宇宙環境を利用した植物科学の研究シナリオ.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Int J Microgravity Sci Appl.	6. 最初と最後の頁 340202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15011//jasma.34.340202	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 Ikeda H, Souda H, Puspitasari A, Held KD, Hidema J, Nikawa T, Yoshida Y, Kanai T, Takahashi A.	4. 巻 30
2. 論文標題 A new system for three-dimensional clinostat synchronized x-irradiation with a high-speed shutter for space radiation research	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Biol Sci Space	6. 最初と最後の頁 8-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2187/bss.30.8	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 Ikeda H, Souda H, Puspitasari A, Held KD, Hidema J, Nikawa T, Yoshida Y, Kanai T, Takahashi A.	4. 巻 12
2. 論文標題 Development and performance evaluation of a three-dimensional clinostat synchronized heavy-ion irradiation system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Life Sci Space Res	6. 最初と最後の頁 51-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.1016/j.lssr.2017.01.003	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 Ikeda H, Muratani M, Hidema J, Hada M, Fujiwara K, Souda H, Yoshida Y, Takahashi A.	4. 巻 20
2. 論文標題 Expression profile of cell cycle-related genes in human fibroblasts exposed simultaneously to radiation and simulated microgravity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Int J Mol Sci	6. 最初と最後の頁 4791
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijms20194791	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 Furukawa S, Nagamatsu A, Neno M, Fujimori A, Kakinuma S, Katsube T, Wang B, Tsuruoka C, Shirai T, Nakamura AJ, Sakaue-Sawano A, Miyawaki A, Harada H, Kobayashi M, Kobayashi J, Kunieda T, Funayama T, Suzuki M, Miyamoto T, Hidema J, Yoshida Y, Takahashi A	4. 巻 2020
2. 論文標題 Space radiation biology for "Living in Space"	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 BioMed Res Int	6. 最初と最後の頁 4703286
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2020/4703286	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 Akiyama T, Horie K, Hinoi E, Hiraiwa M, Kato A, Maekawa Y, Takahashi A, Furukawa S.	4. 巻 6
2. 論文標題 How does spaceflight affect the acquired immune system?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 npj Microgravity	6. 最初と最後の頁 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41526-020-0104-1	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49件（うち招待講演 16件 / うち国際学会 16件）

1. 発表者名 高橋昭久, 日出間純, 保田浩志
2. 発表標題 宇宙放射線研究におけるGatewayへの期待
3. 学会等名 国際宇宙探査ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋昭久
2. 発表標題 宇宙での微小重力環境におけるガンの進行
3. 学会等名 第33回宇宙環境利用シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 日出間純, 高橋昭久
2. 発表標題 植物における宇宙での微小重力と模擬太陽光の複合影響研究
3. 学会等名 第33回宇宙環境利用シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Rhone JR, Beitman A, Ikeda H, Souda H, Yoshida Y, Held KD, Fujiwara K, Takahashi A, Saganti PB, Hada M.
2. 発表標題 Increased chromosome aberrations in cells exposed simultaneously to simulated microgravity and radiation.
3. 学会等名 2019 NASA Human Research Program Investigators' Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun Hidema
2. 発表標題 UVB-induced damage and its protection in plant: UVR8-dependent and independent responses
3. 学会等名 International Symposium on Plant Photobiology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jun Hidema, Akihisa Takahashi
2. 発表標題 Combined effects of microgravity and UVB radiation on plant.
3. 学会等名 第56回日本生物物理学会年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jun Hidema
2. 発表標題 Effects of microgravity on UVB-induced damage of plant
3. 学会等名 日本宇宙生物科学会第32回大会 第15回宇宙環境利用研究日韓合同セミナー合同国際大会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Gonul Dunder, 原遵、小松千春、小川裕雅、高橋有希、寺西美佳、日出間純
2. 発表標題 植物の核・ミトコンドリア・葉緑体DNA上のCPD蓄積とUVB感受性
3. 学会等名 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 脇畑庄人, 馬 立秋, 大平充宣, 神戸峻輔, 吉田由香里, 高橋昭久
2. 発表標題 尾部懸垂マウスにおける免疫系器官の萎縮と腫瘍の悪性化
3. 学会等名 日本宇宙生物科学会第32回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 昭久
2. 発表標題 宇宙放射線研究のための今後の展望
3. 学会等名 日本宇宙生物科学会第32回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Anggraeni Puspitasari, Hiroyuki Yamazaki, Akihisa Takahashi, Tomoaki Shirao, Takashi Nakano, Kathryn D Held
2. 発表標題 Developing neurons are sensitive to 0.5 Gy and 1 Gy of X-irradiation which also causes a decrease in the number of un-irradiated neurons in co-culture
3. 学会等名 RRS2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原遵、小松千春、小川裕雅、高橋有希、寺西美佳、日出間純
2. 発表標題 CPD光回復酵素の葉緑体局在と発現機構の植物種間差
3. 学会等名 第20回光生物学協会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 日出間純
2. 発表標題 微小重力環境は、植物の紫外線障害・修復・応答に影響を及ぼすのか？
3. 学会等名 日本植物学会第82回大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jun Hidema, Akihisa Takahashi
2. 発表標題 Combined effects of microgravity and UVB radiation on plant
3. 学会等名 日本生物物理学会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ikeda H, Souda H, Puspitasari A, Held KD, Hidema J, Yoshida Y, Kanai T, Hada M, Saganti P, Takahashi A.
2. 発表標題 Development of 3D clinostat synchronized irradiation system for simulating space conditions.
3. 学会等名 2018 NASA Human Research Program Investigators' Workshop（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidema J.
2. 発表標題 UVB-induced damage and its protection in plant; UVR8-dependent and -independent responses.
3. 学会等名 International Symposium Plant Photobiology 2018（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋昭久.
2. 発表標題 宇宙居住と宇宙放射線研究
3. 学会等名 第32回宇宙環境利用シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋昭久
2. 発表標題 宇宙放射線と微小重力との複合影響研究
3. 学会等名 ConBio2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 日出間純
2. 発表標題 植物の太陽粒子線障害に微小重力環境が及ぼす影響解析
3. 学会等名 ConBio2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ikeda H, Puspitasari A, Held KD, Yoshida Y, Takahashi A.
2. 発表標題 Importance of the combined effects of radiation and simulated microgravity for space biosciences.
3. 学会等名 21st IAA Humans in Space Symposium (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 Takahashi A, Ikeda H, Muratani M, Puspitasari A, Held KD, Hidema J, Yoshida Y.
2. 発表標題 RNAseq profiling to analyze the combined effects on radiation under simulated microgravity for space biosciences.
3. 学会等名 63rd Annual RRS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hidema J.
2. 発表標題 Biological significance of CPD photolyase in rice grown under natural sunlight: UVB sensitivity and gene expression and subcellular localization of CPD photolyase.
3. 学会等名 Symposium entitled DNA repair since the Nobel Prize, European Society of Photobiology Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hidema J.
2. 発表標題 Effects of simulated microgravity on UV resistance of plants.
3. 学会等名 14th Japan-Korea Joint Seminar on Space Environment Utilization Resaerch (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ikeda H, Muratani M, Puspitasari A, Held KD, Hidema J, Yoshida Y, Takahashi A.
2. 発表標題 Gene expression profile changes of human fibroblasts using device to synchronize carbon-ion irradiation and simulated microgravity.
3. 学会等名 ISSRPRT2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Puspitasari A, Koganezawa N, Shirao T, Kojima N, Held KD, Takahashi A, Nakano T.
2. 発表標題 Acute effects of low-LET and high-LET radiation on fear memory formation and its underlying mechanisms.
3. 学会等名 ISSRPRT2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahashi A, Ikeda H, Souda H, Puspitasari A, Held KD, Hidema J, Nikawa T, Yoshida Y, Kanai T.
2. 発表標題 New devices to synchronize irradiation and simulated microgravity for space radiation research.
3. 学会等名 ISSRPRT2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋昭久
2. 発表標題 宇宙に生きる：宇宙放射線の生物影響研究
3. 学会等名 第63回北関東医学会総会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 高橋昭久, 池田裕子, 想田 光, 金井達明, 吉田由香里, 日出間純, 二川 健
2. 発表標題 擬似微小重力環境における高精度重粒子線同期照射システムの開発
3. 学会等名 第62回日本宇宙航空環境医学会大会・日本宇宙生物科学会第30回大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 吉田由香里, 舟山知夫, 中野隆史, 高橋昭久
2. 発表標題 小脳培養切片を用いた正常脳の発達に及ぼす重粒子線の影響研究について
3. 学会等名 第62回日本宇宙航空環境医学会大会・日本宇宙生物科学会第30回大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 高橋昭久
2. 発表標題 宇宙放射線の生物影響研究：これまでとこれから
3. 学会等名 第62回日本宇宙航空環境医学会大会・日本宇宙生物科学会第30回大会（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 日出間純, 泉正範, 寺西美佳, 中村咲耶, 高橋昭久
2. 発表標題 ISSを利用した植物の太陽粒子線による障害とその修復機構に、微小重力環境が及ぼす影響解析
3. 学会等名 第62回日本宇宙航空環境医学会大会・日本宇宙生物科学会第30回大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐藤文規, Choi Minyong, 王梓, 内田智子, 谷垣文章, 小林純也, 高橋昭久, 菅野純夫, 高田穰, 川上浩一, 瀬原淳子
2. 発表標題 "宇宙遊泳" がゼブラフィッシュ骨格筋へおよぼす影響
3. 学会等名 第62回日本宇宙航空環境医学会大会・日本宇宙生物科学会第30回大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hiroko Ikeda, Jun Hidema, Takeshi Nikawa, Yukari Yoshida, Hikaru Souda, Tatsuaki Kanai, Akihisa Takahashi
2. 発表標題 Development of 3D-clinostat synchronized heavy-ion irradiation system
3. 学会等名 Asian Microgravity Symposium 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 池田裕子, 村谷匡史, Anggraeni Puspitasari, Kathryn D. Held, 日出間純, 吉田由香里, 高橋昭久
2. 発表標題 ヒト線維芽細胞における重粒子線と微小重力の複合影響による遺伝子発現解析
3. 学会等名 第31回宇宙環境利用シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 日出間純, 中村咲弥, 泉正範, 寺西美佳, 高橋昭久
2. 発表標題 ISSでの植物の微小重力環境下での太陽粒子線影響評価研究
3. 学会等名 第31回宇宙環境利用シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yukihiko Sejimo, Yukari Yoshida, Akihisa Takahashi, Masashi Kurachi, Yasuki Ishizaki
2. 発表標題 X-ray induced disruption of the blood-brain barrier with the localized change in Claudin5 and the activation of microglia in a normal mouse brain
3. 学会等名 第7回国際放射線神経生物科学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akihisa Takahashi, Hiroko Ikeda, Hikaru Souda, Anggraeini Puspitasari, Kathryn D. Held, Jun Hidema, Takeshi Nikawa, Yukari Yoshida, Tatsuaki Kanai
2. 発表標題 Development of new devices that analyze the combined effects of radiation and microgravity: 2nd report
3. 学会等名 第7回国際放射線神経生物科学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroko Ikeda, Masafumi Muratani, Anggraeini Puspitasari, Kathryn D. Held, Jun Hidema, Yukari Yoshida, Akihisa Takahashi
2. 発表標題 Comprehensive gene expression analysis of human fibroblast with combined exposure to microgravity and heavy-ions for simulating space conditions
3. 学会等名 第7回国際放射線神経生物科学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Anggraeini Puspitasari, Hidemasa Kawamura, Akihisa Takahashi, Yukari Yoshida, Tomoaki Shirao, Takashi Nakano, Kathryn D. Held
2. 発表標題 Acute and chronic effects of low dose X-irradiation on immature hippocampal neurons in vitro
3. 学会等名 第7回国際放射線神経生物科学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋昭久, 池田裕子, 想田 光, 村谷匡史, Anggraeini Puspitasari, Kathryn D. Held, 日出間純, 二川健, 吉田由香里, 金井達明
2. 発表標題 宇宙環境を模擬した疑似微小重力と重粒子線の複合影響解析
3. 学会等名 第10回Quantum Medicine研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中村咲耶, 泉正範, 石田宏幸, 日出間純
2. 発表標題 太陽放射光による障害葉緑体を分解するオートファジーの解析
3. 学会等名 日本宇宙生物科学会第29回大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Shoji K, Takano N, Yamagishi T, Teranishi M, Hidema J.
2. 発表標題 Current Solar UVB Radiation Causes Damage to Growth and Yield of Rice in Japan
3. 学会等名 The 7th Asia and Oceania Conference on Photobiology (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Li N, Teranishi M, Yamaguchi H, Matsushita T, Watahiki MK, Tsuge T, Li SS, Hidema J.
2. 発表標題 UV-B-induced CPD photolyase gene expression is regulated by UVR8-dependent and -independent pathways in Arabidopsis
3. 学会等名 The 7th Asia and Oceania Conference on Photobiology (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 高橋昭久, 日出間純, 二川健, 吉田由香里, 想田光, 金井達明
2. 発表標題 3Dクリノスタット放射線同期照射システムの開発
3. 学会等名 第30回宇宙環境利用シンポジウム
4. 発表年 2016年



1. 発表者名 日出間純, 中村咲弥, 泉正範, 寺西美佳, 高橋昭久
2. 発表標題 船外実験プラットフォーム(曝露部)実験施設利用を視野に入れた、太陽放射光の植物影響研究
3. 学会等名 第30回宇宙環境利用シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 瀬下幸彦, 吉田由香里, 高橋昭久, 倉知 正, 石崎泰樹
2. 発表標題 正常脳組織における放射線急性障害の微視的解析
3. 学会等名 The 6th International Society of Radiation Neurobiology Conference
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takahashi A, Hidema J, Nikawa T, Yoshida Y, Souda H, Kanai T.
2. 発表標題 放射線に対する微小重力環境の生物影響を解析するための装置開発
3. 学会等名 The 6th International Society of Radiation Neurobiology Conference
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Nakamura S, Izumi M, Ishida H, Hidema J.
2. 発表標題 Characterization of the selectivity of photodamage-induced chlorophagy in Arabidopsis leaves
3. 学会等名 Annual Meeting of JSPP 2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Izumi M, Ishida H, Nakamura S, Hidema J.
2. 発表標題 Autophagic transport of entire chloroplasts, chlorophagy, is responsible for the chloroplast turnover under sunlight-induced damage in Arabidopsis
3. 学会等名 Annual Meeting of JSPP 2016
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>最近の研究について  <a href="https://www.lifesci.tohoku.ac.jp/research/teacher/detail---id-1670.html">https://www.lifesci.tohoku.ac.jp/research/teacher/detail---id-1670.html</a>          群馬大学 重粒子線医学研究センター 宇宙放射線生物学  <a href="http://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/lab/research.php">http://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/lab/research.php</a>          東北大学ゲノム継承システム分野  <a href="http://www.ige.tohoku.ac.jp/genome/index.htm">http://www.ige.tohoku.ac.jp/genome/index.htm</a>          日本宇宙生物科学会で高橋昭久教授が学会賞受賞  <a href="http://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/info.php?no=6792">http://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/info.php?no=6792</a>          第6回国際放射線神経生物学会で高橋教授が受賞  <a href="http://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/info.php?no=6780">http://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/info.php?no=6780</a>          日本宇宙生物科学会 第29回大会において、中村咲耶さんの発表が最優秀発表賞を受賞  <a href="http://www.ige.tohoku.ac.jp/genome/photo041.html">http://www.ige.tohoku.ac.jp/genome/photo041.html</a></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	日出間 純  (Hidema Jun)  (20250855)	東北大学・生命科学研究科・准教授    (11301)	