

第1回探査の将来を考える勉強会2019年8月30日(TKPガーデンシティ御茶ノ水)

# 宇宙での長期滞在： 宇宙放射線とガン死リスク



群馬大学  
重粒子線医学研究センター  
GUNMA UNIVERSITY HEAVY ION MEDICAL CENTER  
〒371-8511 群馬県前橋市昭和町3-39-22

教授・高橋 昭久

専門：放射線生物学

学会活動：

日本宇宙放射線研究会・会長

日本宇宙惑星居住科学連合・副会長

日本宇宙生物科学会・副理事長

国際粒子線治療放射線生物グループ・副会長

MV2019 LOC HP担当

参考：



# 深宇宙へ！

5,400万 - 40,000万km

2030s

2040' 常時居住  
2030' 月面着陸

38万km

2020s

Gateway

Now

ISS-Kibo

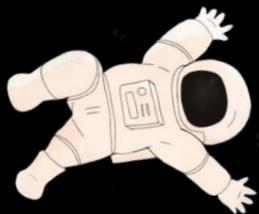
大気



# 深宇宙へ！ 重力環境変化

Outer space

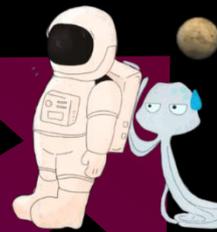
$\mu G$



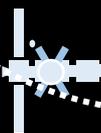
Moon  
 $1/6G$



Mars  
 $3/8G$

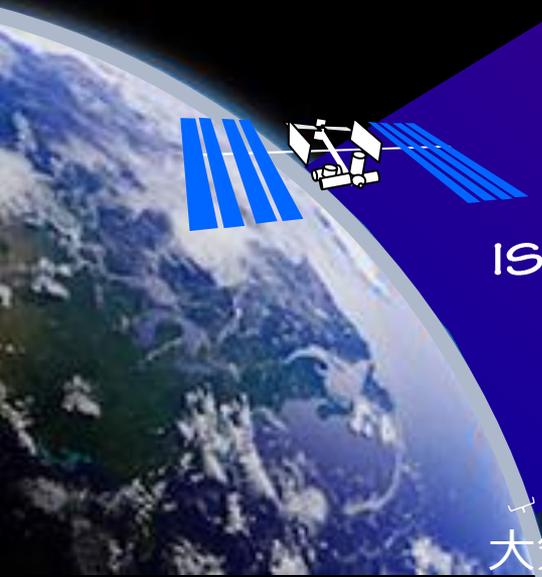


Gateway



ISS-Kibo

大気



# 深宇宙へ！

## 宇宙放射線

### ① 太陽粒子線

~96% p  
4% He  
small HZE

突発的  
<1 GeV

太陽フレア  
コロナ質量放出

Van Allen belts

ISS-Kibo

### ③ 補足粒子線

e, 0.1-1 MeV  
p, 10-100 MeV/n

大気

2020s  
Gateway

2040' 常時居住  
2030' 月面着陸

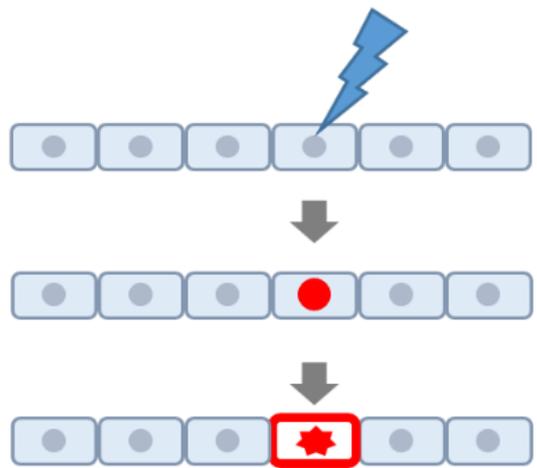
2030s

### ② 銀河宇宙線

~87% p  
11% He  
~2% HZE (peak, 0.1-1 GeV)

超新星爆発  
0.001-10<sup>14</sup> GeV

# 宇宙放射線



数10年



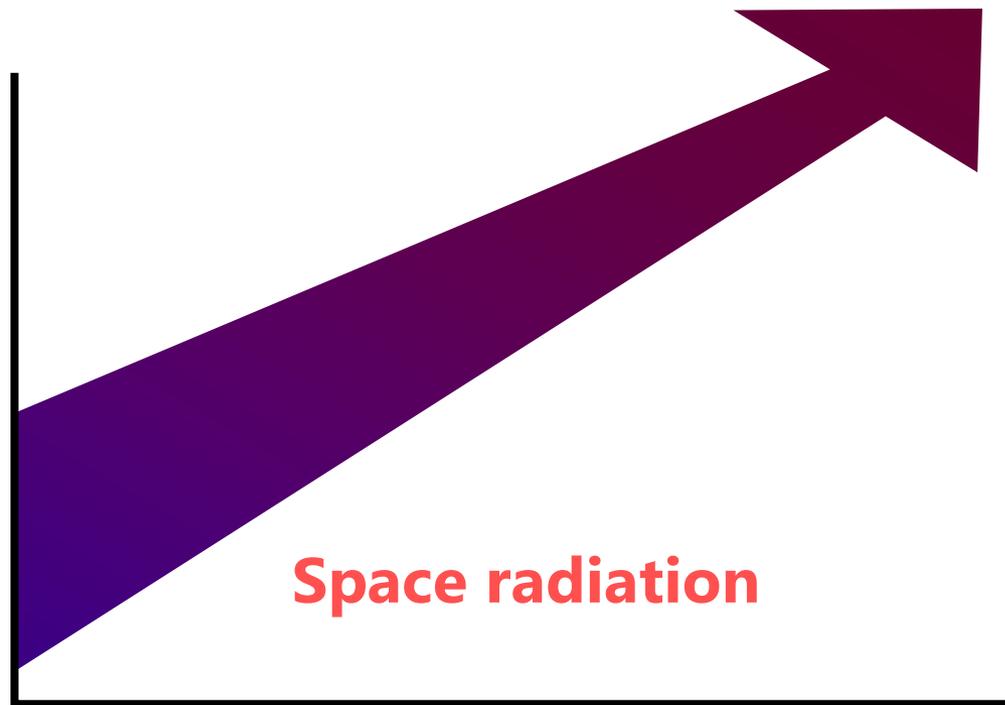
## Black Box



ガン死

これまでの宇宙実験

DNA damage · Gene mutations · Chromosomal aberrations



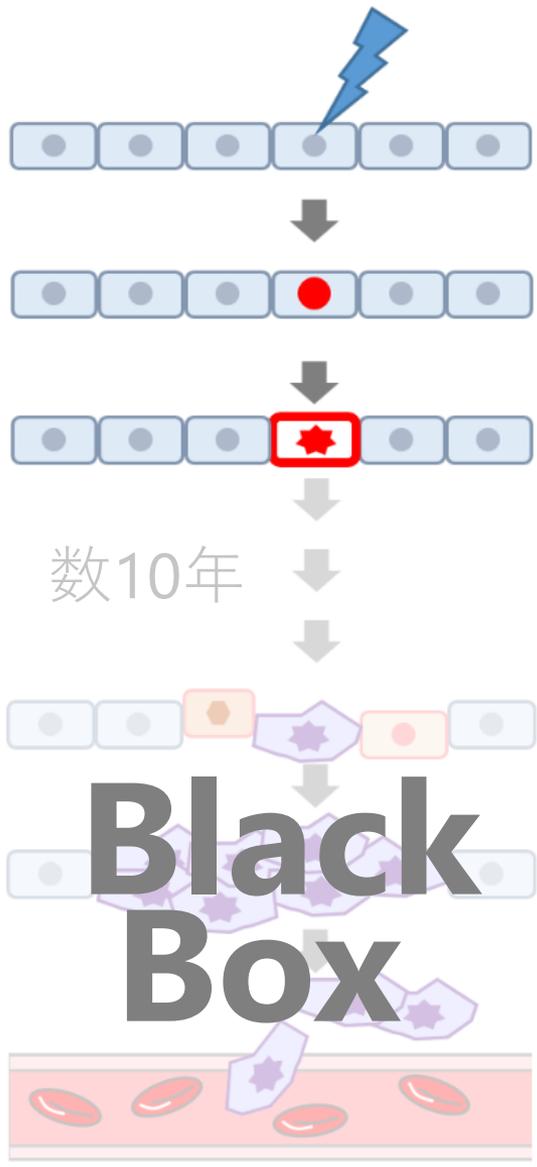
Space radiation

Flight Duration

ガン死リスク 従来の考え方

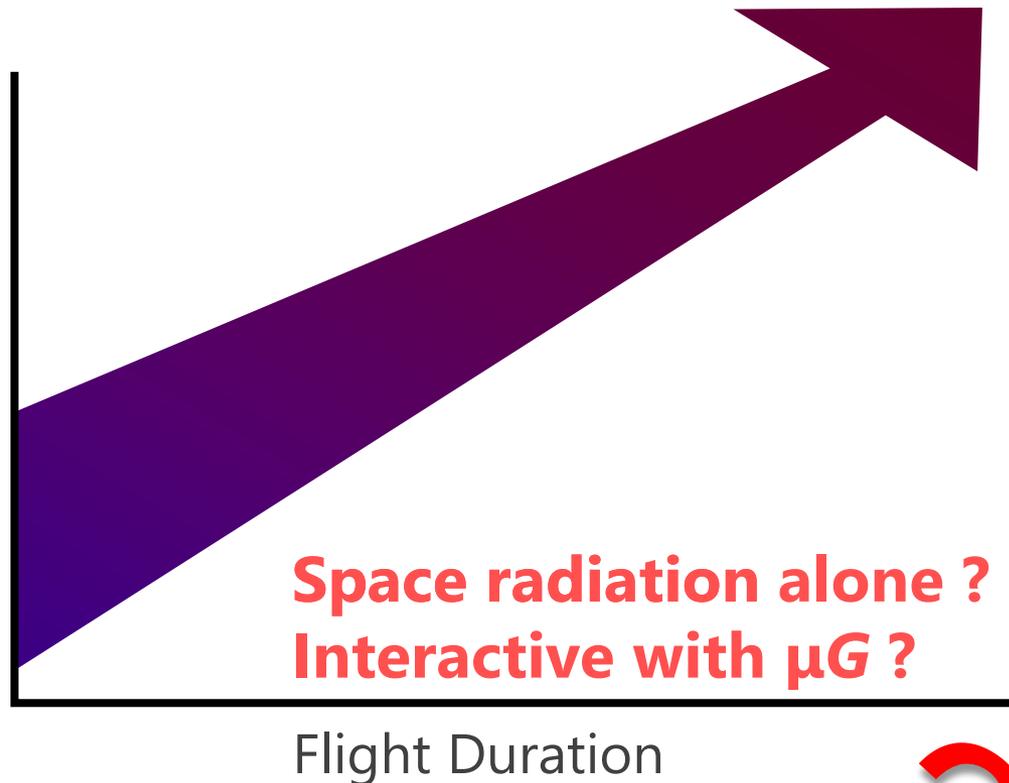
$$= k \times \text{宇宙放射線} \\ (\text{線量} \& \text{線質})$$

# 宇宙放射線



## 国際プレゼンス向上の ビッグチャンス！

DNA damage · Gene mutations ·  
Chromosomal aberrations



### ガン死リスク

我々のアプローチ

$$= k \times \text{宇宙放射線} \times \text{重力}$$

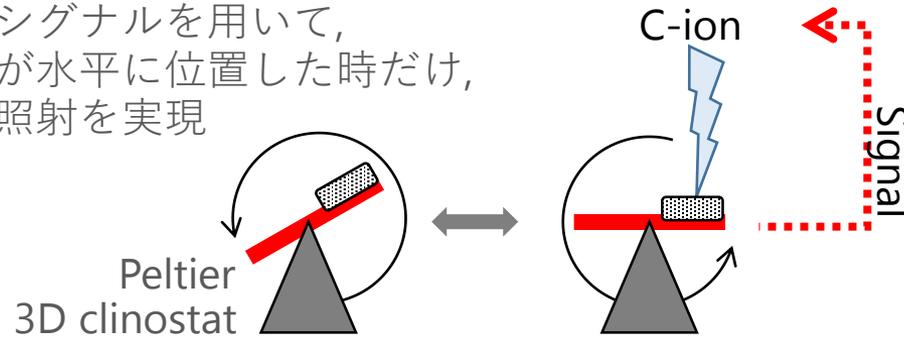
(線量 & 線質)

ガン死

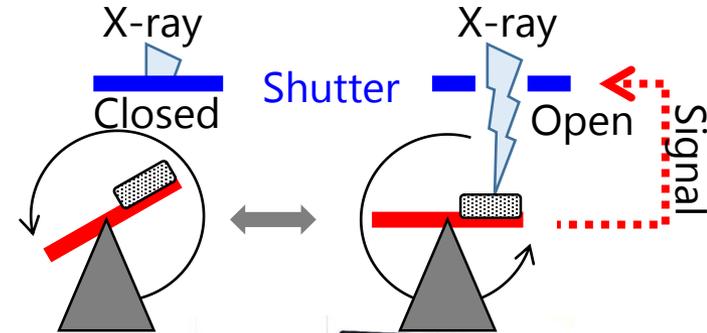
## 3Dクリノスタット同期照射システム

**C-ion:** 重粒子ガン治療技術の応用

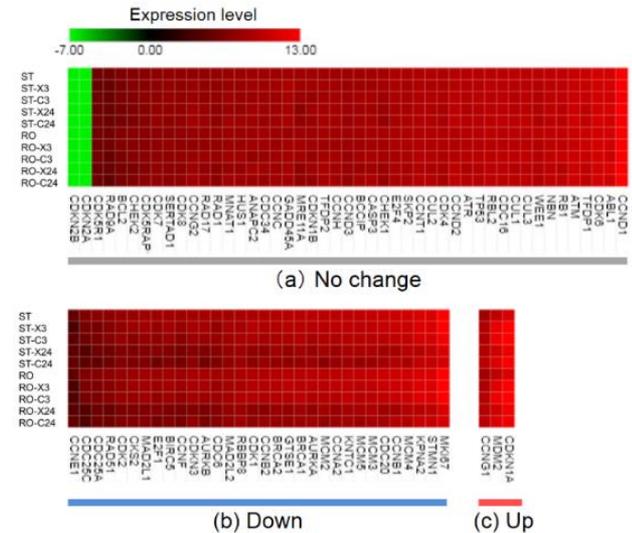
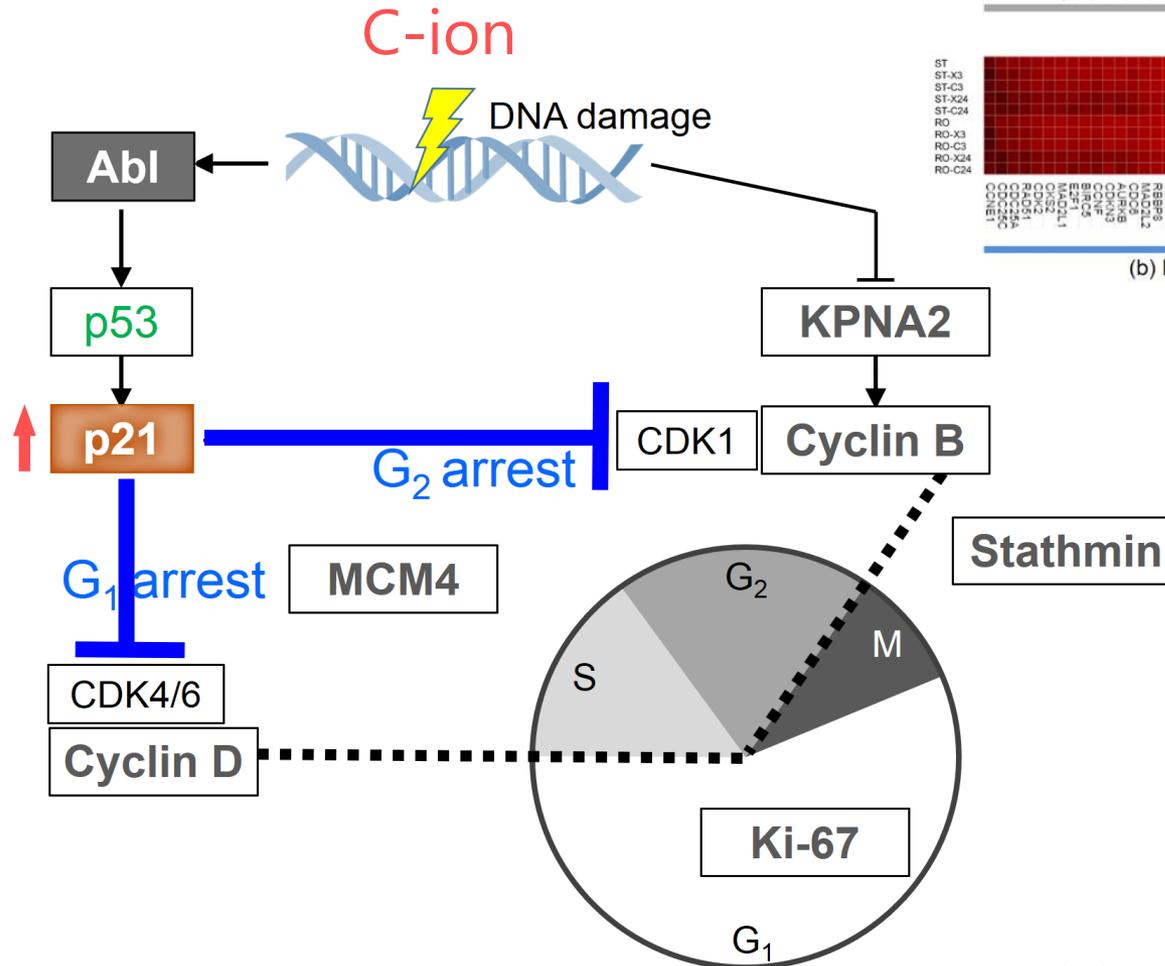
回転シグナルを用いて、  
試料が水平に位置した時だけ、  
同期照射を実現



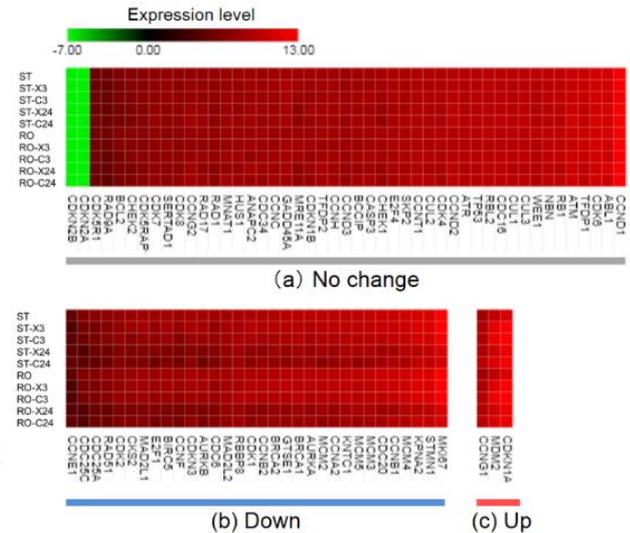
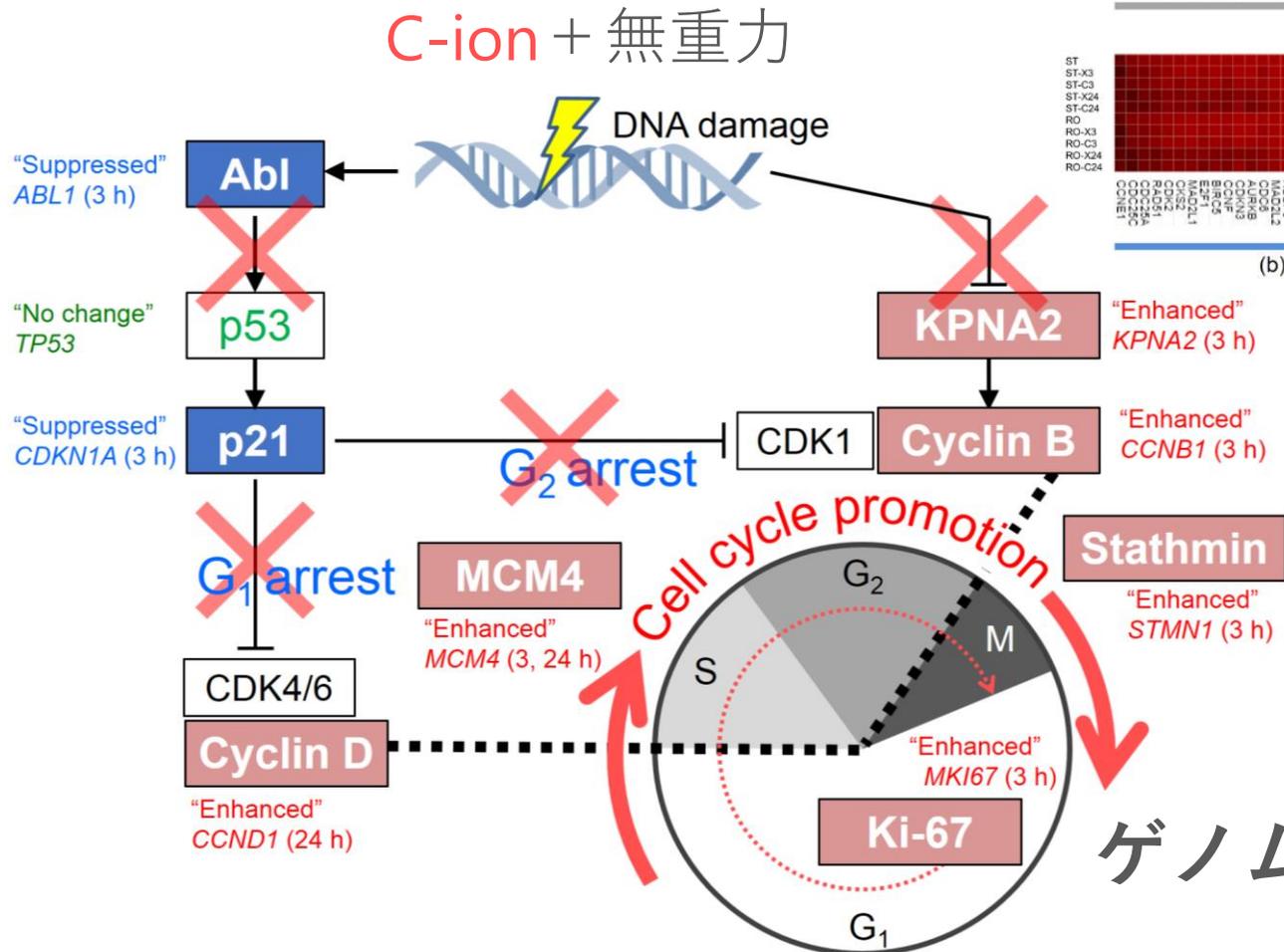
**X-ray:** 高速シャッター利用



放射線によって細胞周期が停止



放射線と疑似無重力の複合影響によって細胞周期停止が解除



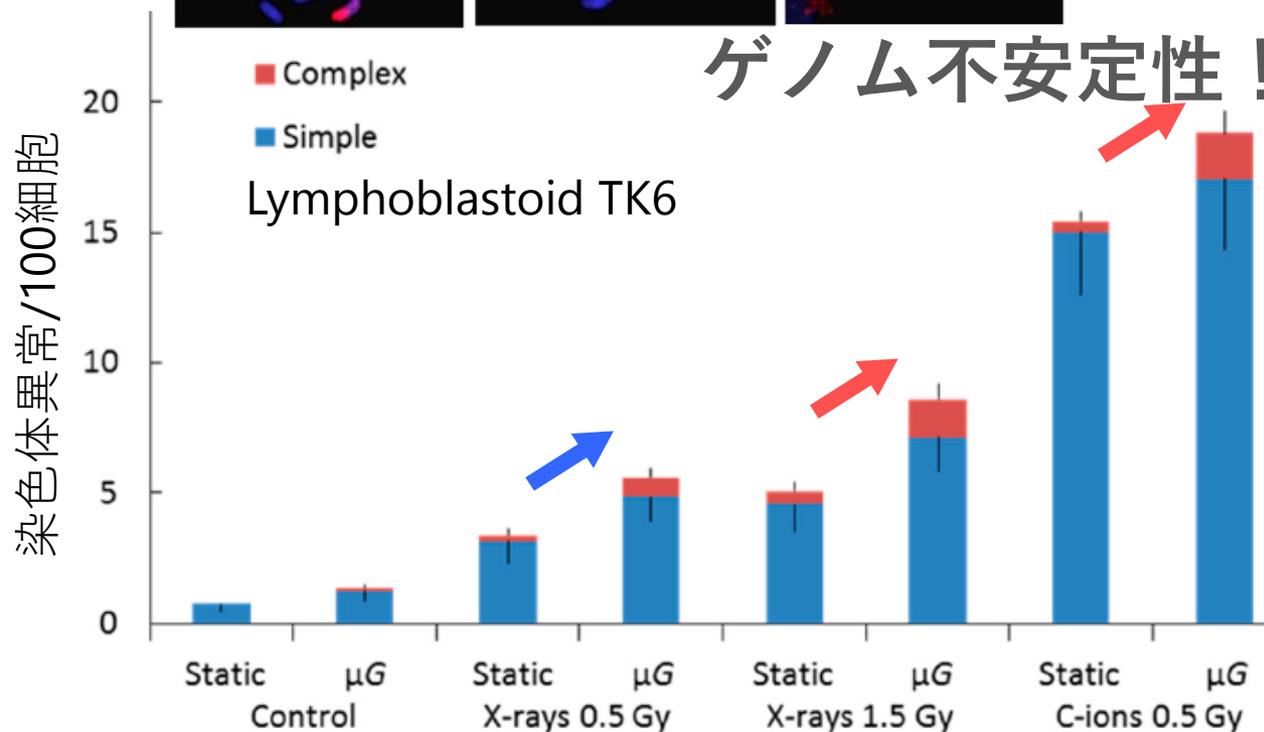
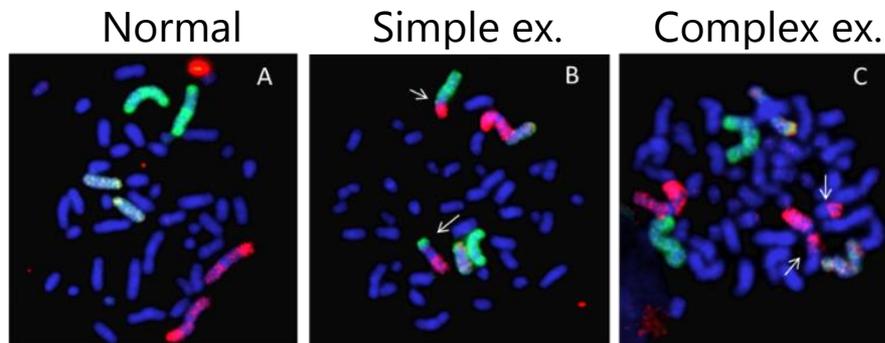
放射線と疑似無重力の複合影響によって染色体異常(ゲノム不安定性)誘導



Dr. Megumi Hada  
Prairie View  
A&M Univ, USA



NASA  
Space Biology Program  
(80NSSC19K0133)  
Chromosomal aberration



# 宇宙放射線



数10年



# Black Box



# ガン死

ゲノム  
安定性

$\mu G$

# まだ、 大きなギャップ

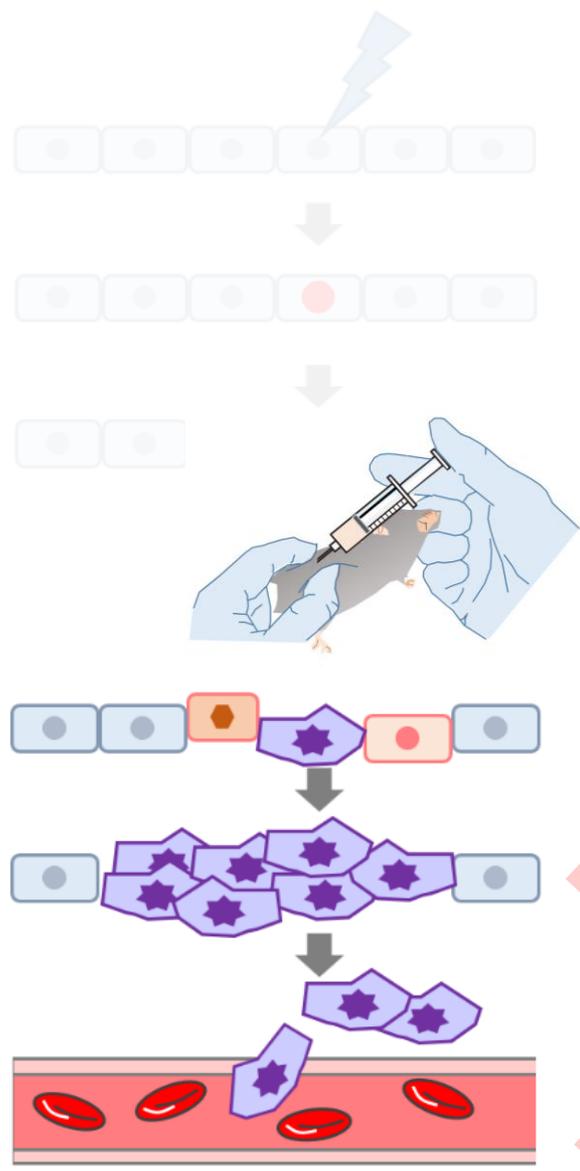
## ガン死リスク

我々のアプローチ

$$= k \times \text{宇宙放射線} \times \text{重力}$$

(線量 & 線質)

# 宇宙でガン<sup>放射線</sup>の進行は早まる？



専門は放射線生物学だけど…  
そのDNAは引き継ぎつつ

# 逆転の発想

Immune system

←  $\mu G$

Protect against cancer progression.

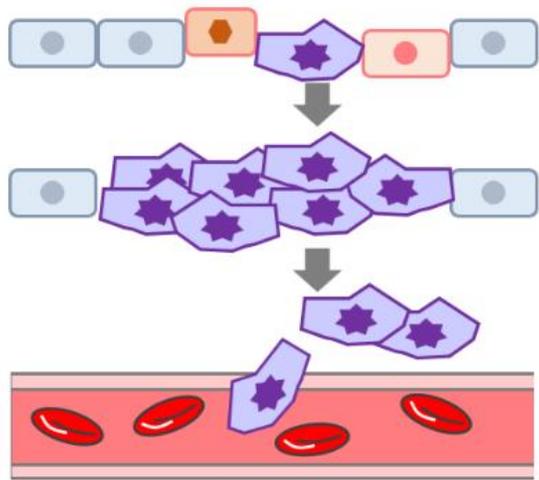
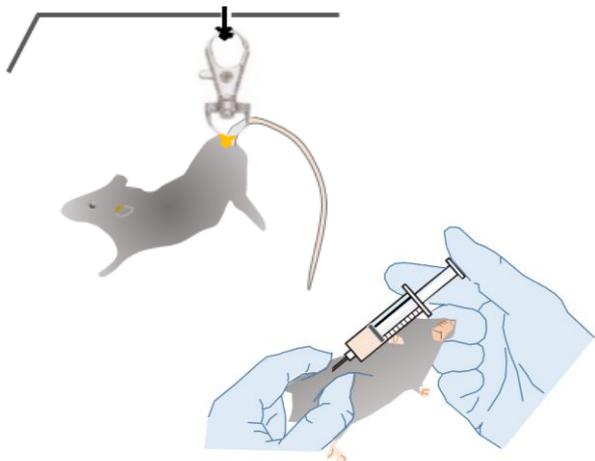
ガン死

# 宇宙でガンの進行は早まる？

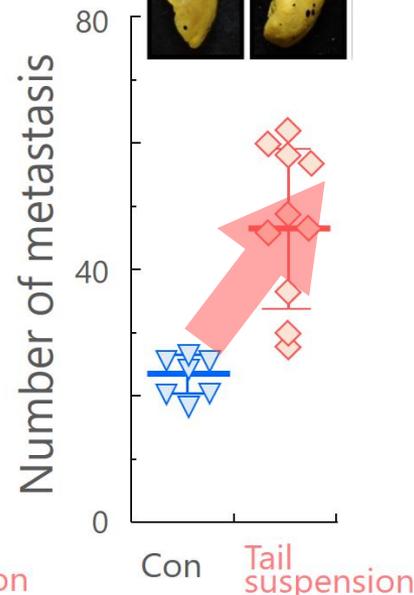
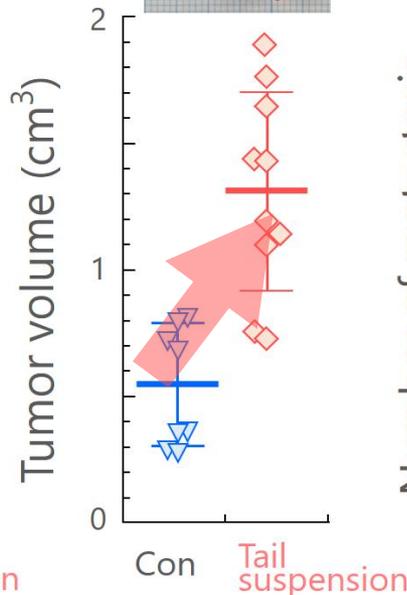
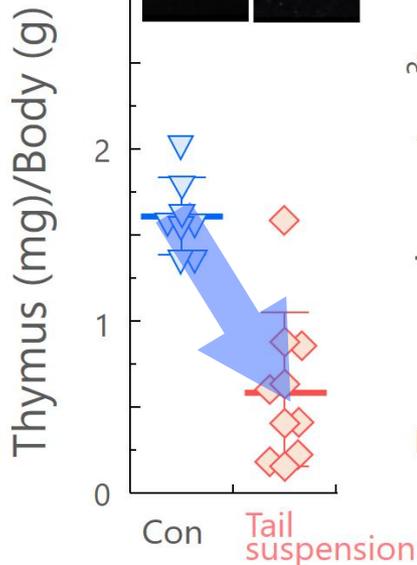
<地上予備実験>

尾部懸垂とは？ → 宇宙滞在を一部模擬

- ①後肢の筋骨格系への体重負荷がない
- ②頭部への体液移動
- ③活動範囲の制約のためのストレス



ガン死



Takahashi A, et al. Int J Mol Sci 19:3959, 2018.

Immune system

μG

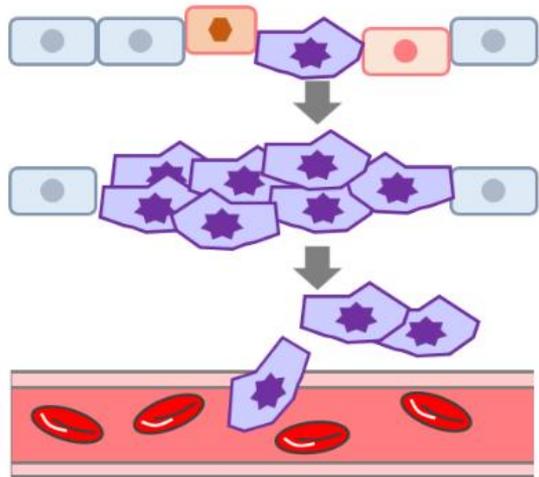
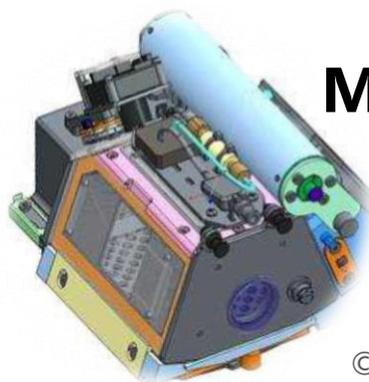
Protect against cancer progression.

# 宇宙でガンの進行は早まる？

<きぼうFS2018>

特定課題：発光装置を利用する提案

Shiba D, et al., Sci Rep 7: 10837, 2017



Immune system

$\mu G$

Protect against cancer progression.

# 宇宙でガンの進行は早まる？

の  $\mu G$

# AG で防げる？

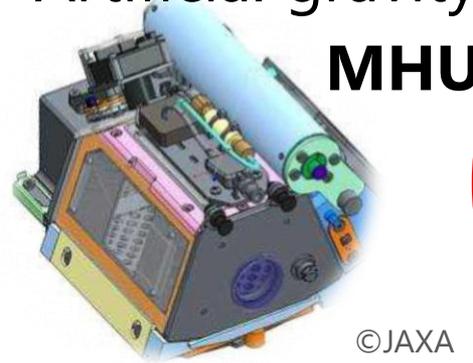
< きぼう FS2018 >

特定課題：発光装置を利用する提案

Shiba D, et al., Sci Rep 7: 10837, 2017



- Individual housing
- Artificial gravity



## JAXAのみ保有

(日本の独自性・優位性)

→国際プレゼンス向上



## < AG群は科学的に重要！ >

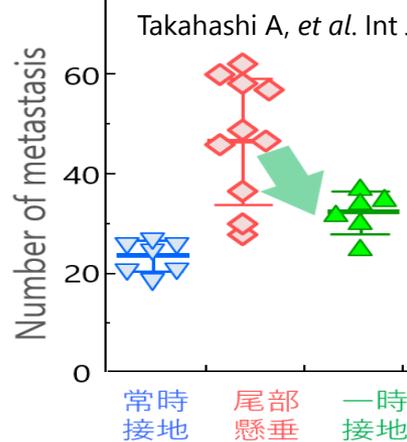
# 宇宙でガンの進行は早まる？

## の $\mu G$ 一時的な $AG$ で防げる？

< きぼう FS2018 >

特定課題：発光装置を利用する提案

Shiba D, et al., Sci Rep 7: 10837, 2017

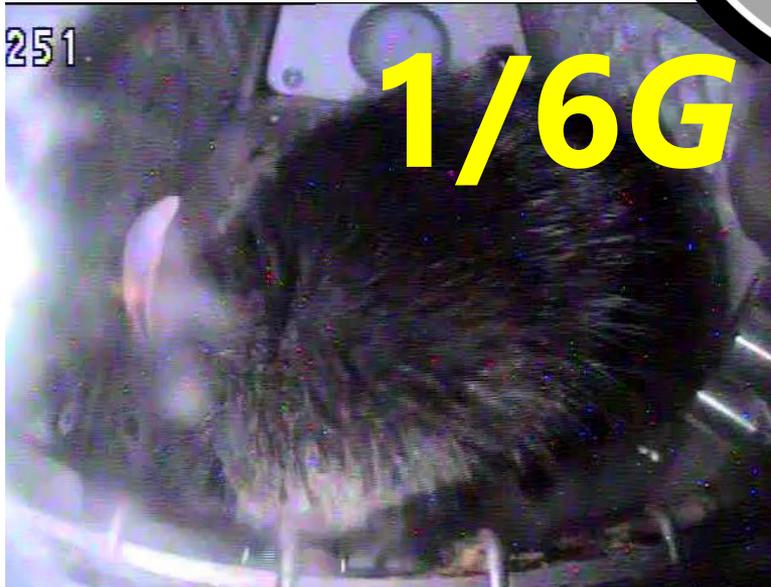


# 宇宙でガンの進行は早まる？ の何G 予測できる？

< きぼう FS2018 >

特定課題：発光装置を利用する提案

Shiba D, et al., Sci Rep 7: 10837, 2017



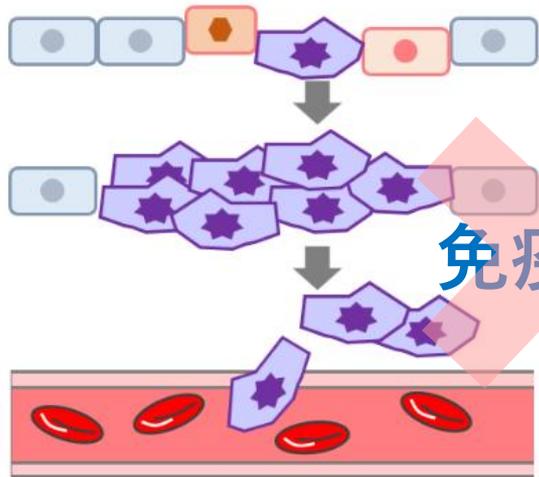
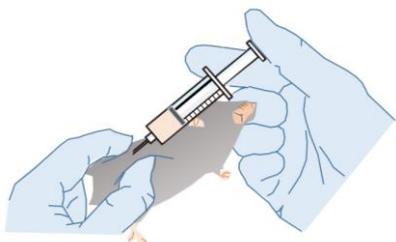
77 rpm → Earth (1G)  
48 rpm → Mars (3/8G)  
31 rpm → Moon (1/6G)



# 宇宙でガンの進行は早まる？

<きぼうFS2018>

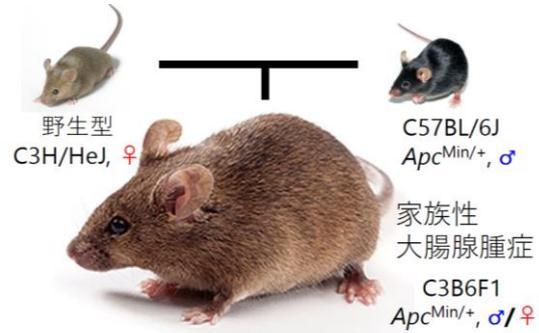
特定課題：発光装置を利用する提案



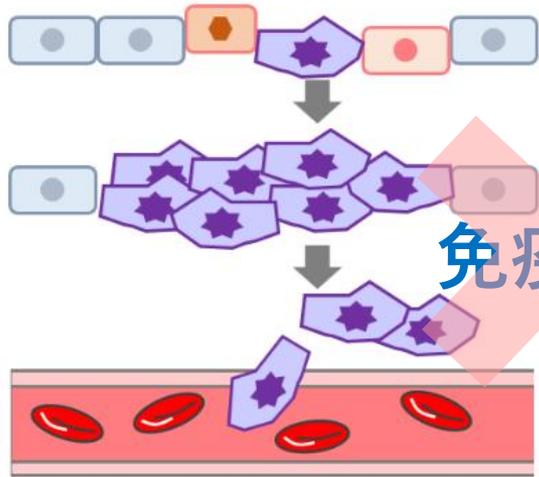
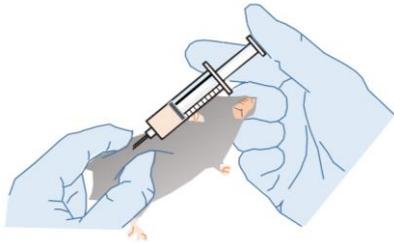
免疫能

重力  
変化

# ガンの発症は？

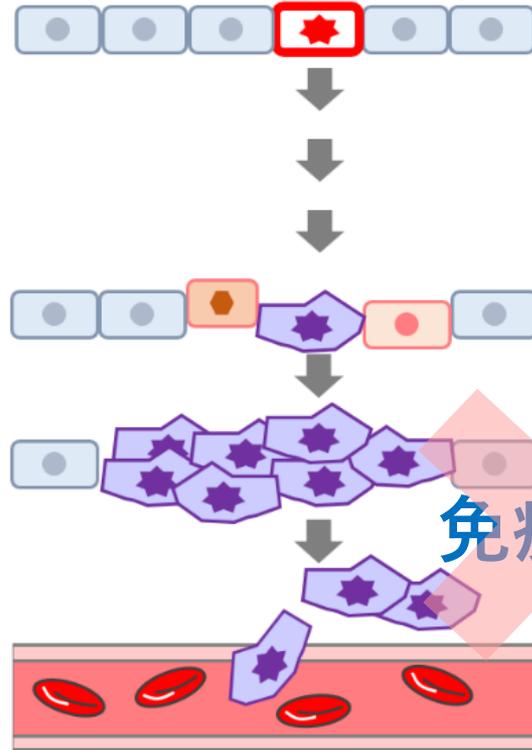


発ガンモデルマウス



免疫能

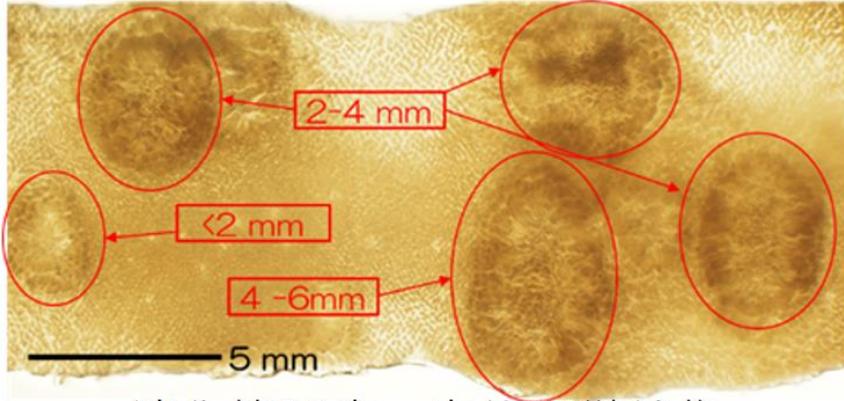
重力  
変化



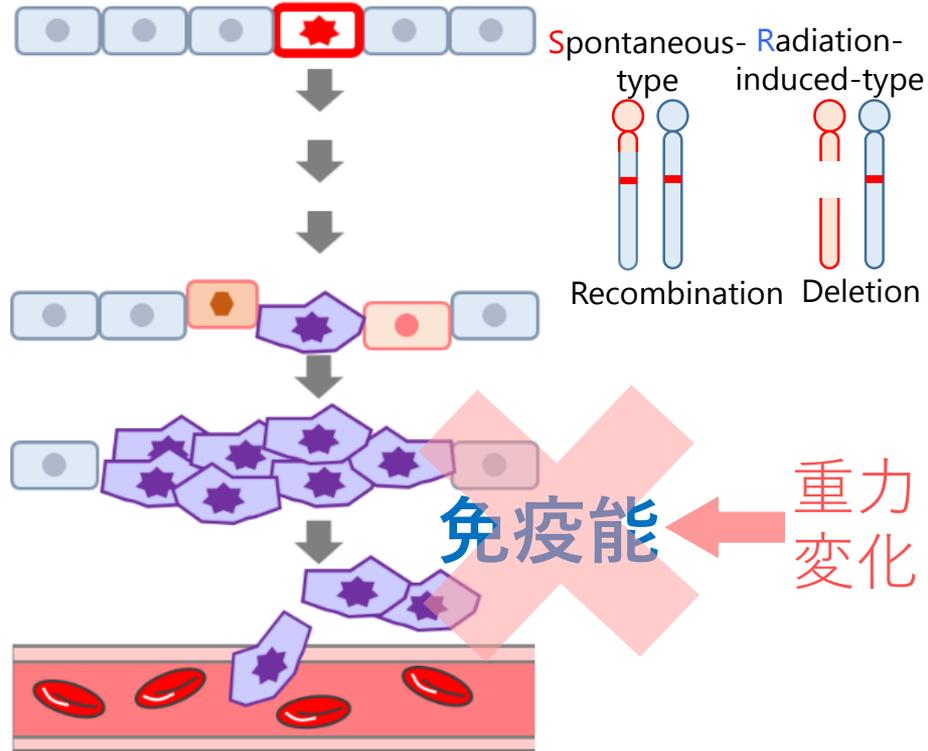
免疫能

重力  
変化

# ガンの発症は？



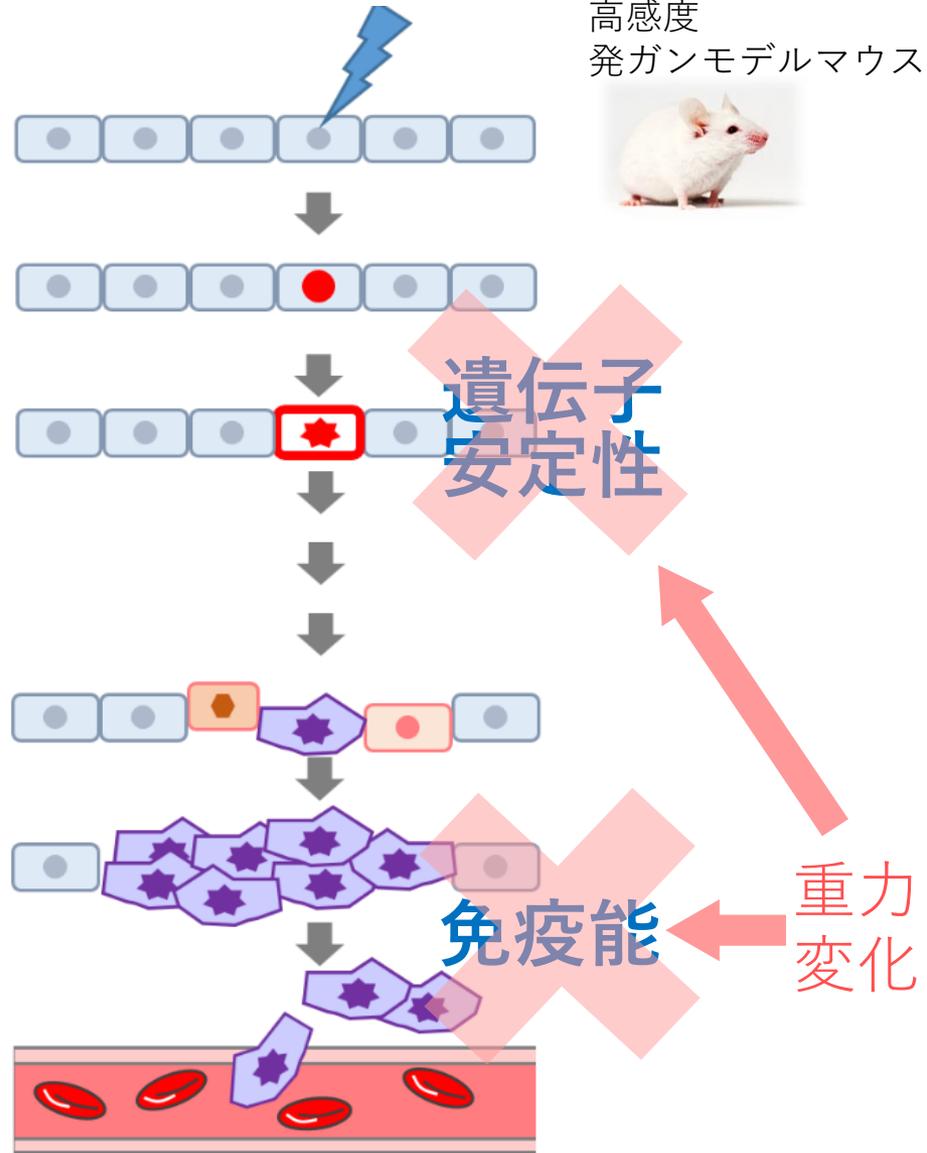
消化管腫瘍の実体顕微鏡像



→ きぼう FS202X申請予定

# 宇宙放射線と重力環境変化による複合影響

高感度  
発ガンモデルマウス



→ Gateway/月面実験の提案

ガン死

# 宇宙実験は科学のオリンピック



(注) 本デカールはJAXA未公認 (2020.3月現在)

Gatewayは 人類長期宇宙滞在のための

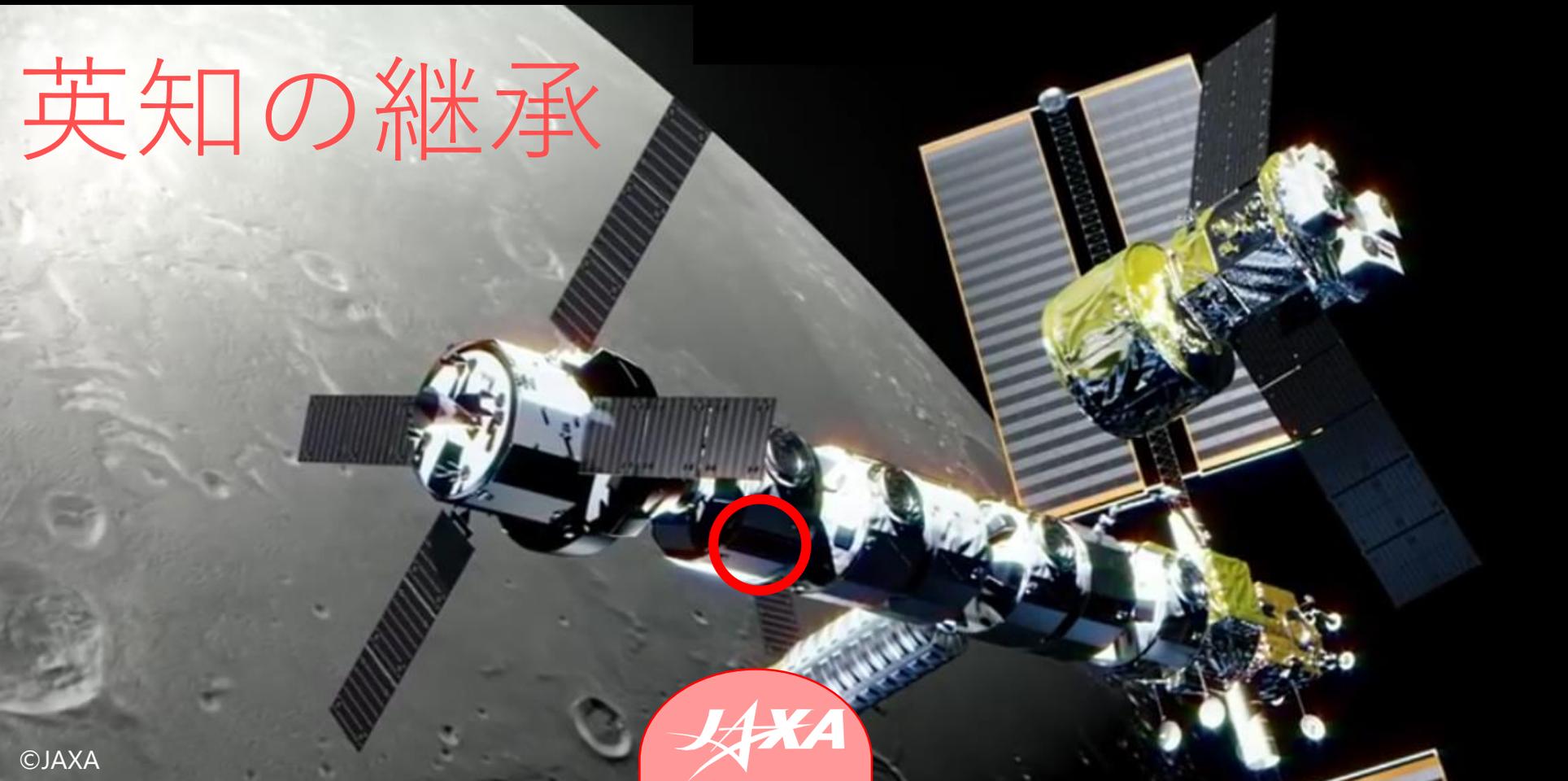
日本の宇宙実験室 宇宙放射線と重力の複合影響の実験室

ISS-Kibo

新宇宙実験室

→ Gateway - **Mirai?**

Scale: 1/6 vs ISS  
Stay: 30 days/year



英知の継承



# **Acknowledgments:** 故大西 武雄先生に心より感謝申し上げます

**Gunma Univ:** Yukari Yoshida, Tatsuaki Kanai, Hikaru Souda, Shoto Wakihata, Liqiu Ma, Takuya Adachi, Hiroki Hirose, Sakuya Yamanouchi, Ryosuke Kambe, Hiroko Ikeda, Anggraeini Puspitasari, Aya Ishizaki

**Tohoku Univ:** Jun Hidema

**Tokushima Univ:** Takeshi Nikawa

**Univ of Tsukuba:** Masafumi Muratani

**Doshisha Univ:** Yoshinobu Ohira

**RIKEN:** Asako Sakaue-Sawano, Satoshi Iwano, Atsushi Miyawaki

**Ibaraki Univ:** Asako Nakamura

**QST NIRS:** Tsuguhide Takeshima, Kenshi Suzuki, Chizuru Tsuruoka, Takamitsu Morioka, Shizuko Kakinuma

**Harvard Medical School:** Kathryn D. Held

**Univ of Texas MD Anderson Cancer Center:** Keigi Fujiwara

**Prairie View A&M Univ:** Megumi Hada, Jordan R. Rhone, Andrew J. Beitman, Premkumar B. Saganti

**Kurogane Kasei Co., Ltd.:** Toshitaka Kawai, Hidenori Kato, Saki Hasegawa

**NASA:** Ianik Plante

**JAXA:** Aiko Nagamatsu, Tatusya Aiba, Hideaki Hotta, Eiji Ota, Masaki Shirakawa, Dai Shiba

**AES:** Fumika Yamaguchi, Naoko Murakami

**JSF:** Hiromi Hashizume, Toru Shimazu

## **Funding:**

MEXT 2015-2019 "Living in Space": JP15H05945, JP15H05935, JP15K21745

NASA Space Biology Program: 80NSSC19K0133

JAXA ISS-Kibo Feasibility Study 2019

ISAS Front Loading Study 2019

Gunma University Heavy Ion Medical Center

