

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

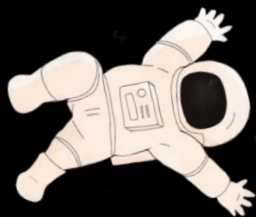
大気



深宇宙へ！ 重力環境変化

Outer space

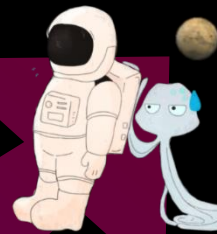
μG



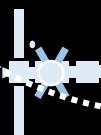
Moon
 $1/6G$



Mars
 $3/8G$



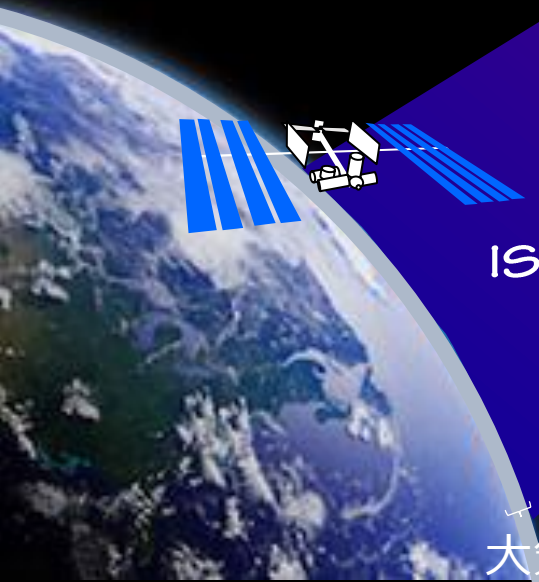
Gateway



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

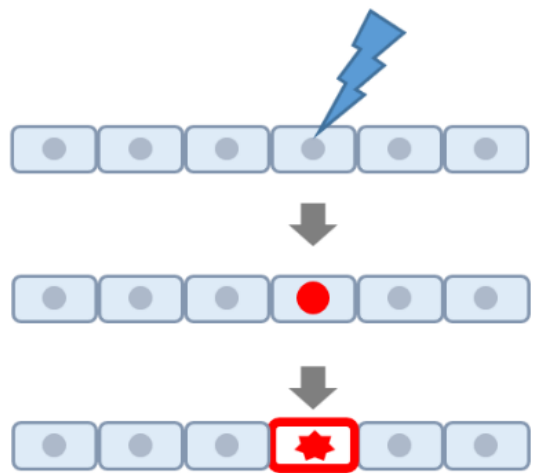
2030s

② 銀河宇宙線

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

超新星爆発
0.001-10¹⁴ GeV

宇宙放射線



数10年



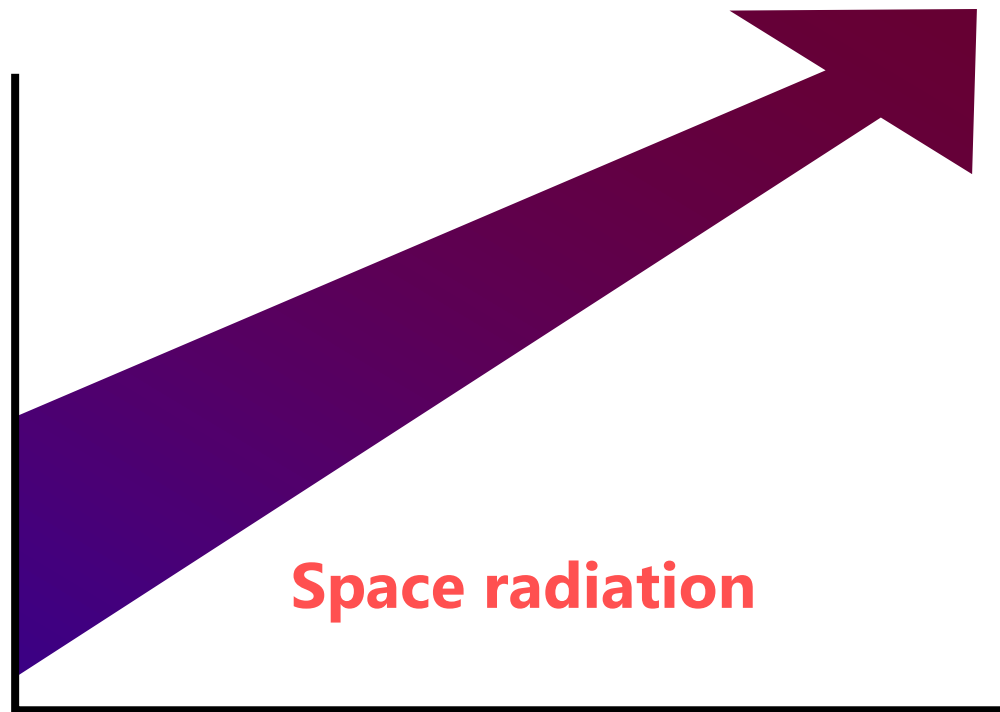
Black Box



ガン死

これまでの宇宙実験

DNA damage · Gene mutations · Chromosomal aberrations



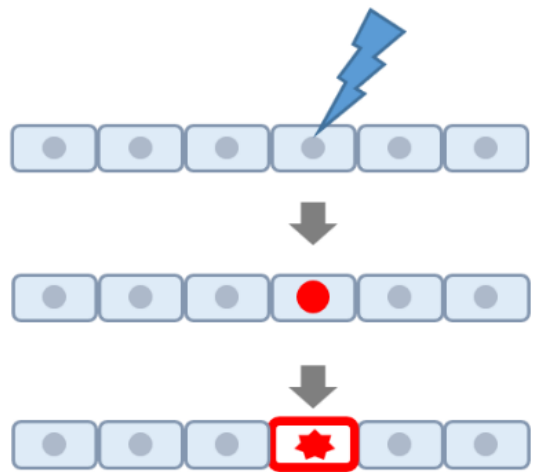
Space radiation

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



数10年

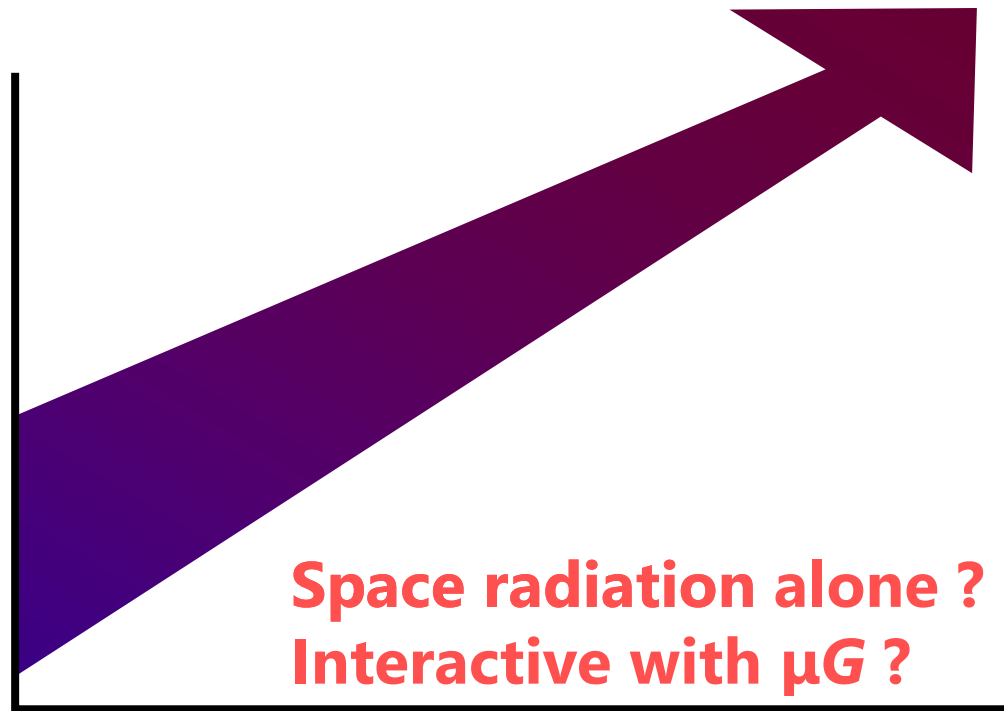
Black Box



ガン死

国際プレゼンス向上の ビッグチャンス!

DNA damage · Gene mutations ·
Chromosomal aberrations



Space radiation alone ?
Interactive with μG ?

Flight Duration

ガン死リスク

我々のアプローチ

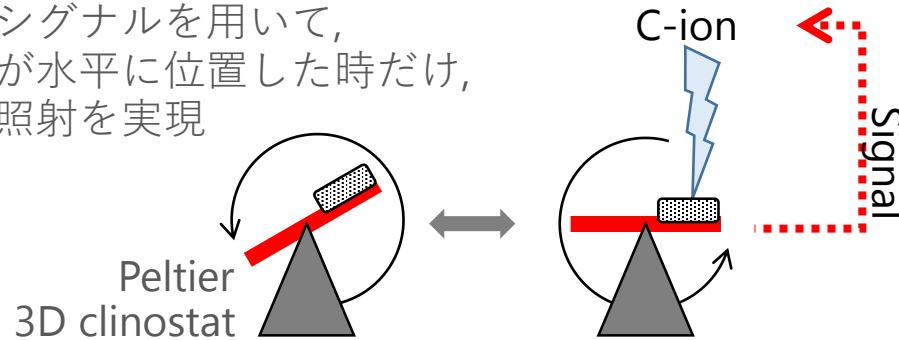
$$= k \times \text{宇宙放射線} \times \text{重力}$$

(線量 & 線質)

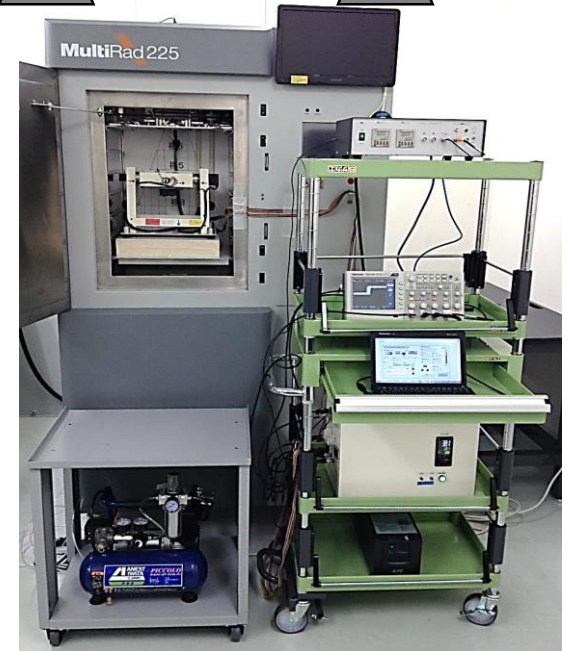
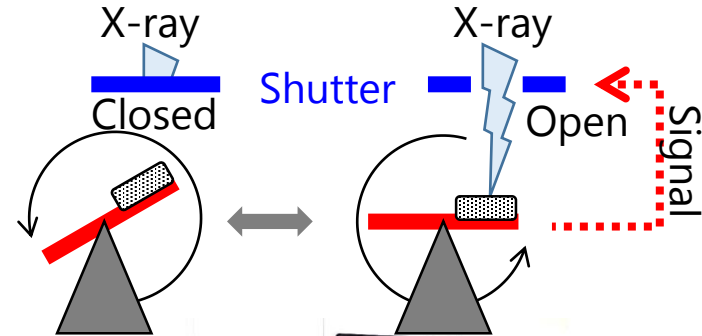
3Dクリノスタット同期照射システム

C-ion: 重粒子ガン治療技術の応用

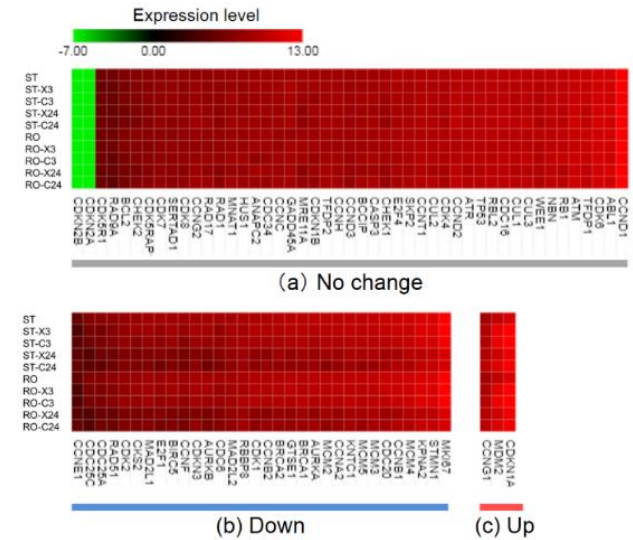
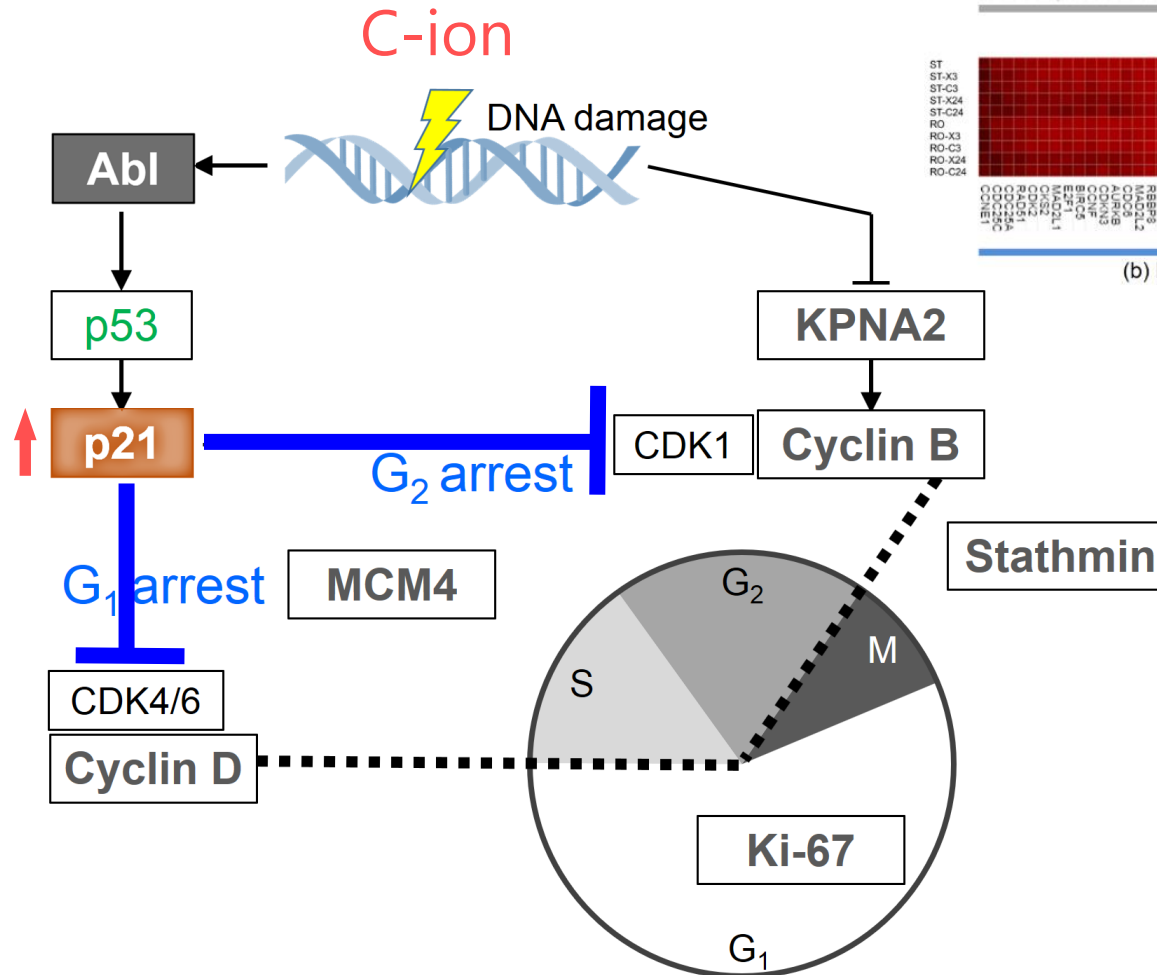
回転シグナルを用いて、
試料が水平に位置した時だけ、
同期照射を実現



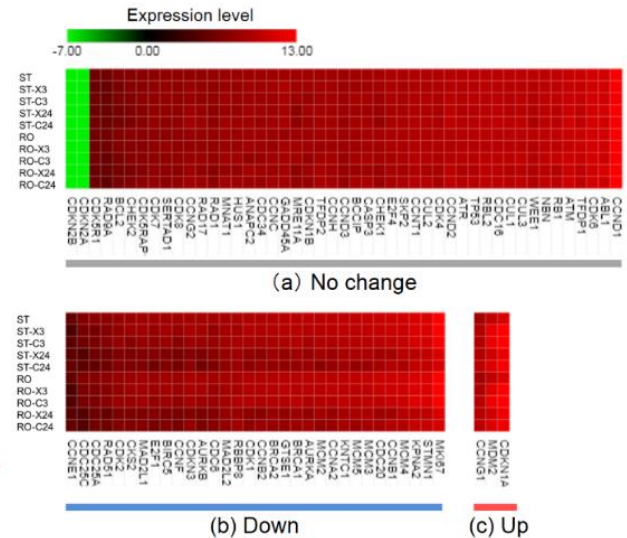
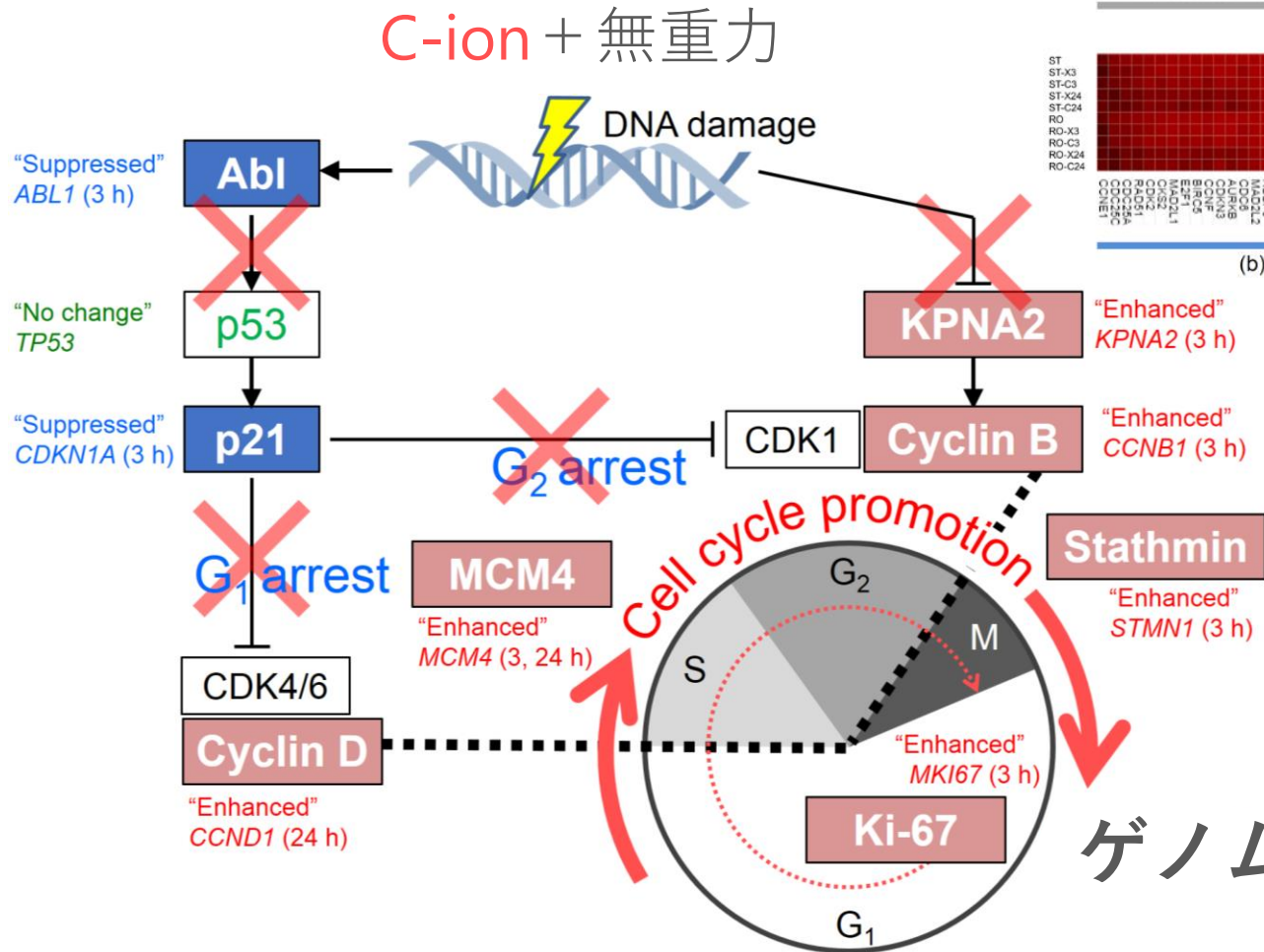
X-ray: 高速シャッター利用



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



ゲノム不安定性？

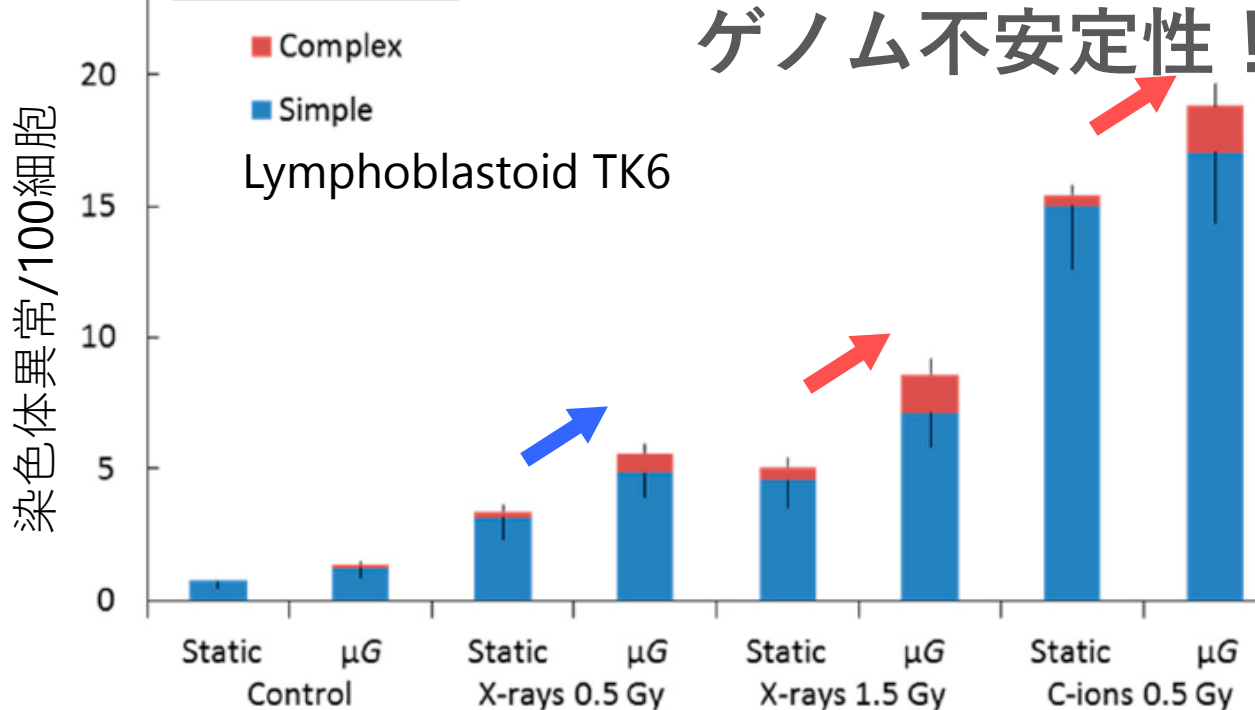
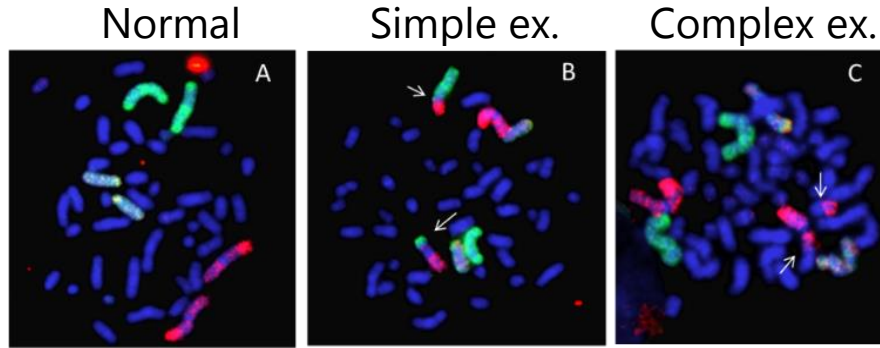
放射線と疑似無重力の複合影響によって染色体異常(ゲノム不安定性)誘導



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

μG

まだ、
大きなギャップ

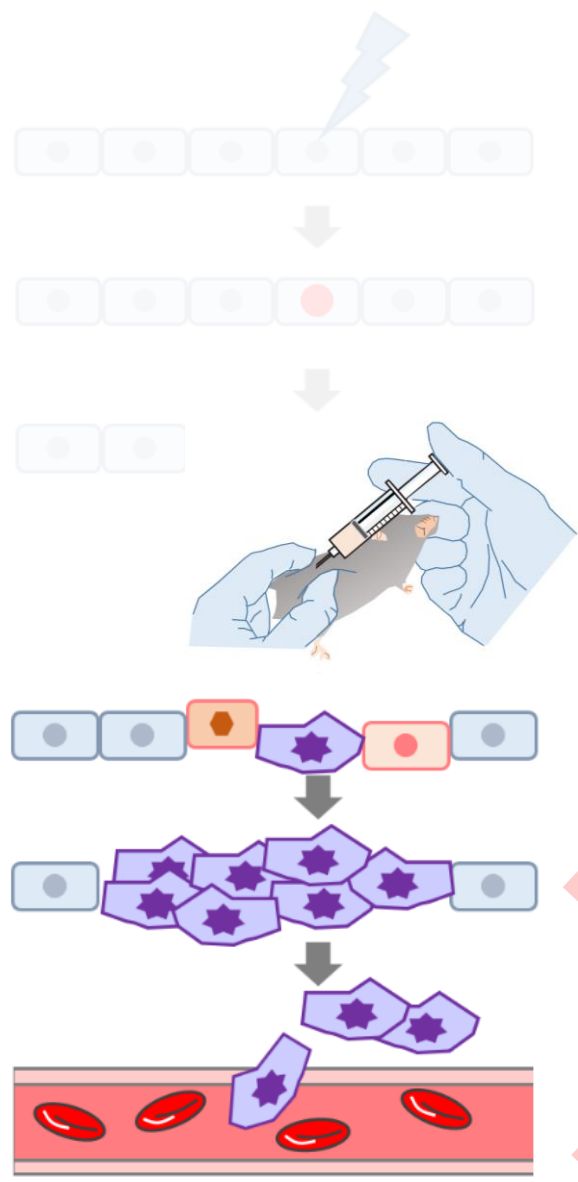
ガン死リスク

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^{放射線}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

← μG

Protect against cancer progression.

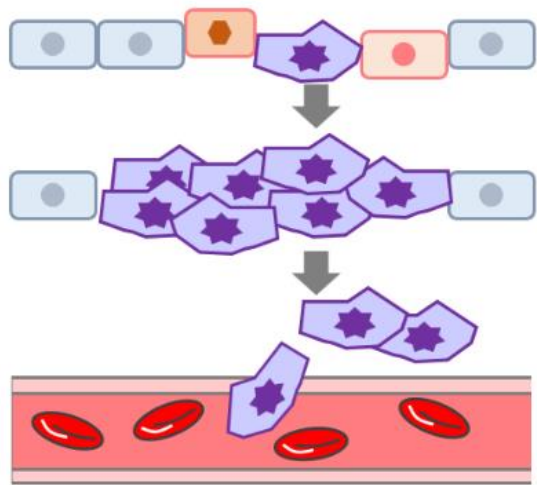
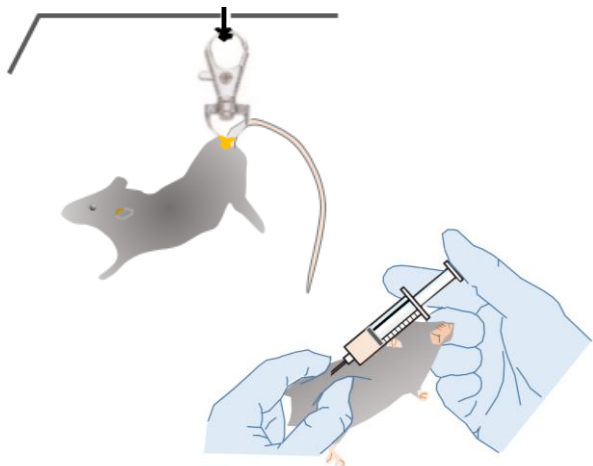
ガン死

宇宙でガンの進行は早まる？

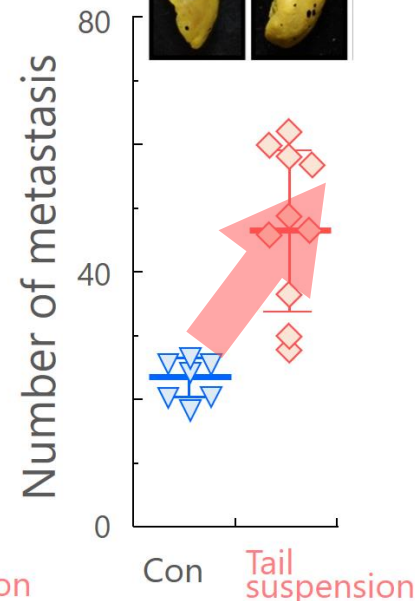
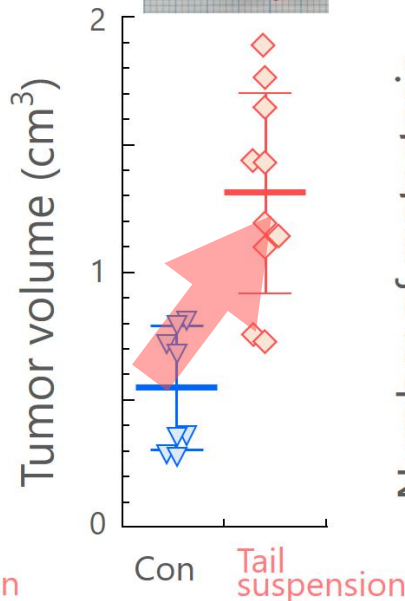
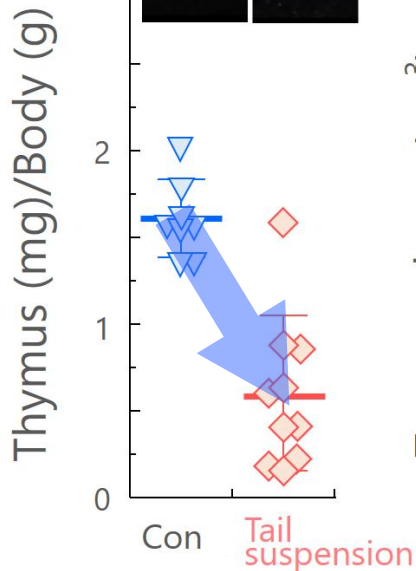
<地上予備実験>

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

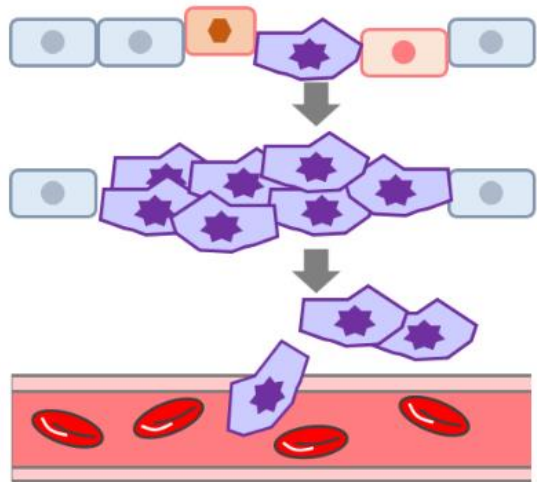
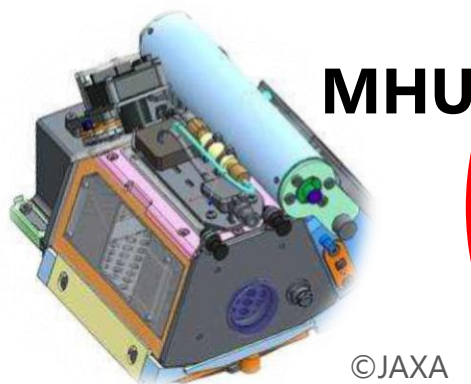
Protect against cancer progression.

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

μG

Protect against cancer progression.

宇宙でガンの進行は早まる？

の μG

AG で防げる？

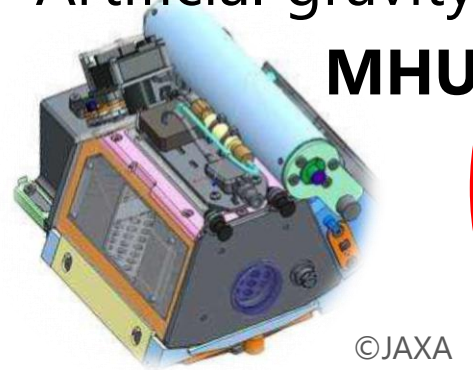
< きぼう FS2018 >

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！ >

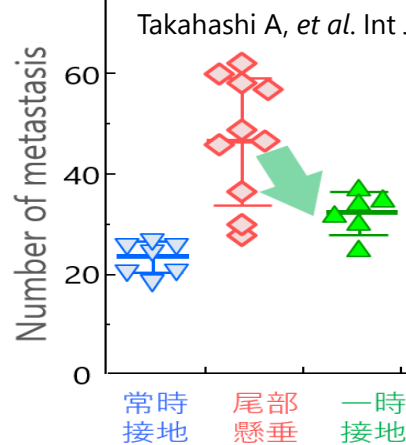
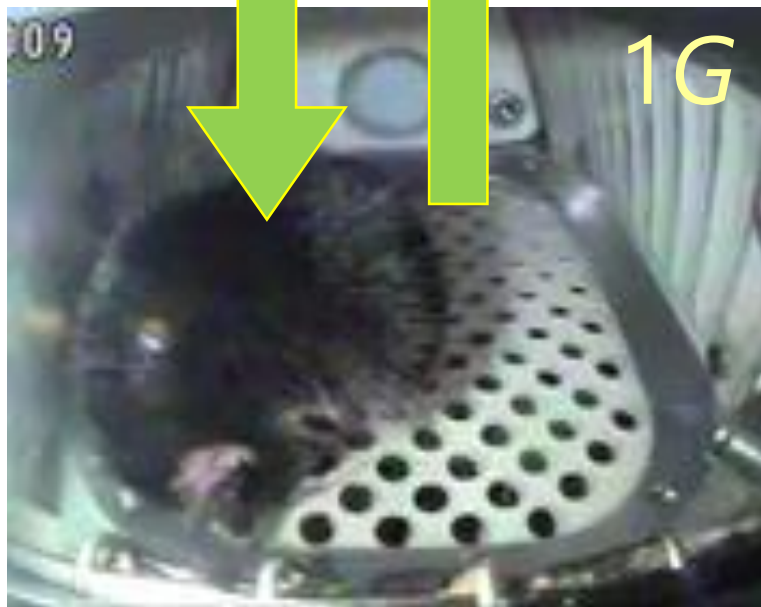
宇宙でガンの進行は早まる？

の μG 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



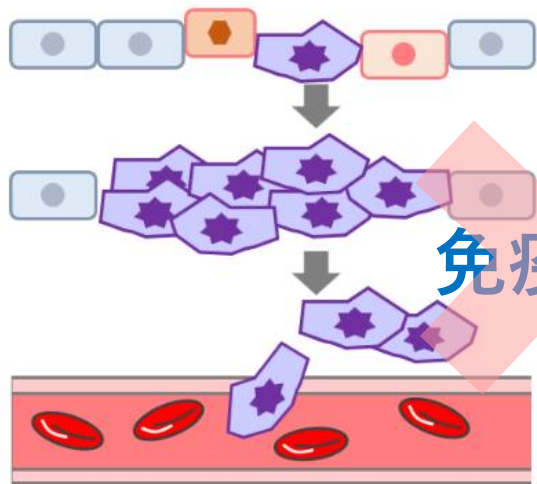
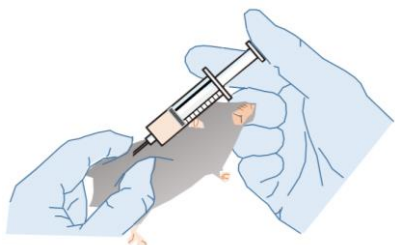
77 rpm → Earth (1G)
48 rpm → Mars (3/8G)
31 rpm → Moon (1/6G)



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

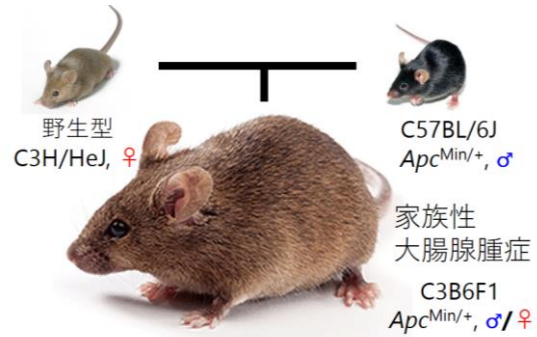


免疫能

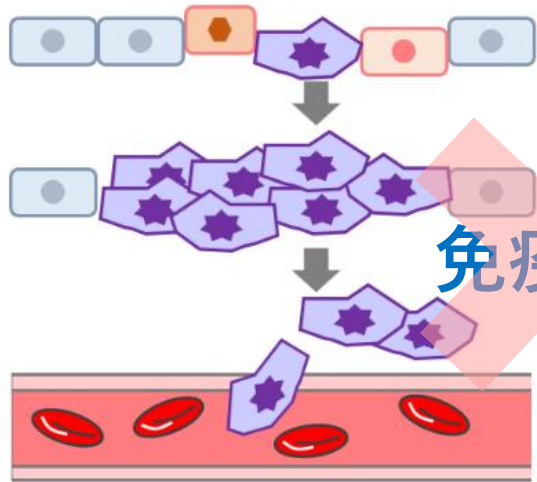
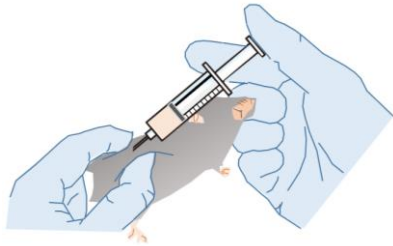
重力
変化



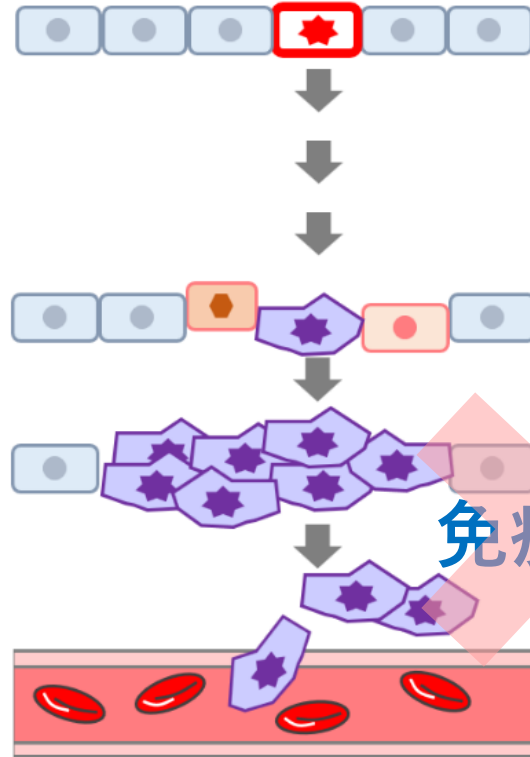
ガンの発症は？



発ガンモデルマウス

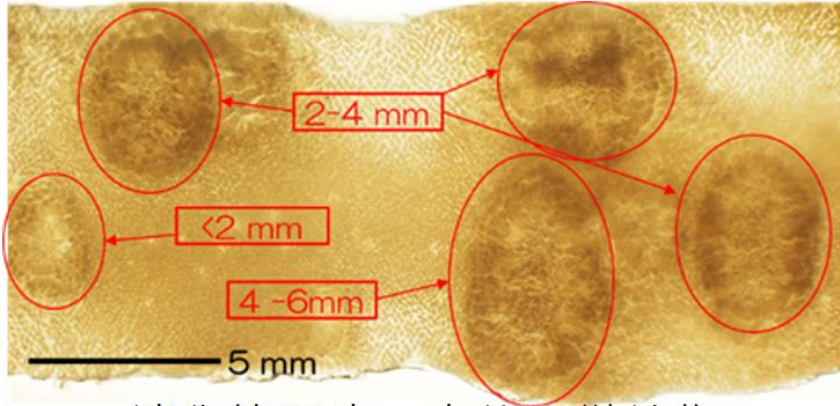


重力
変化

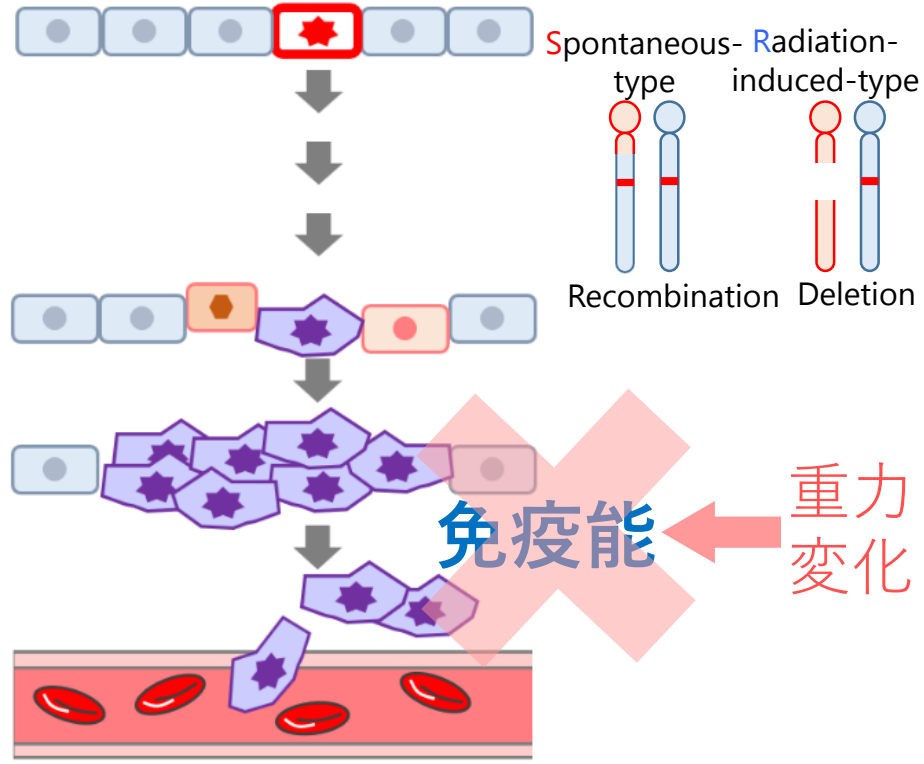


重力
変化

ガンの発症は？



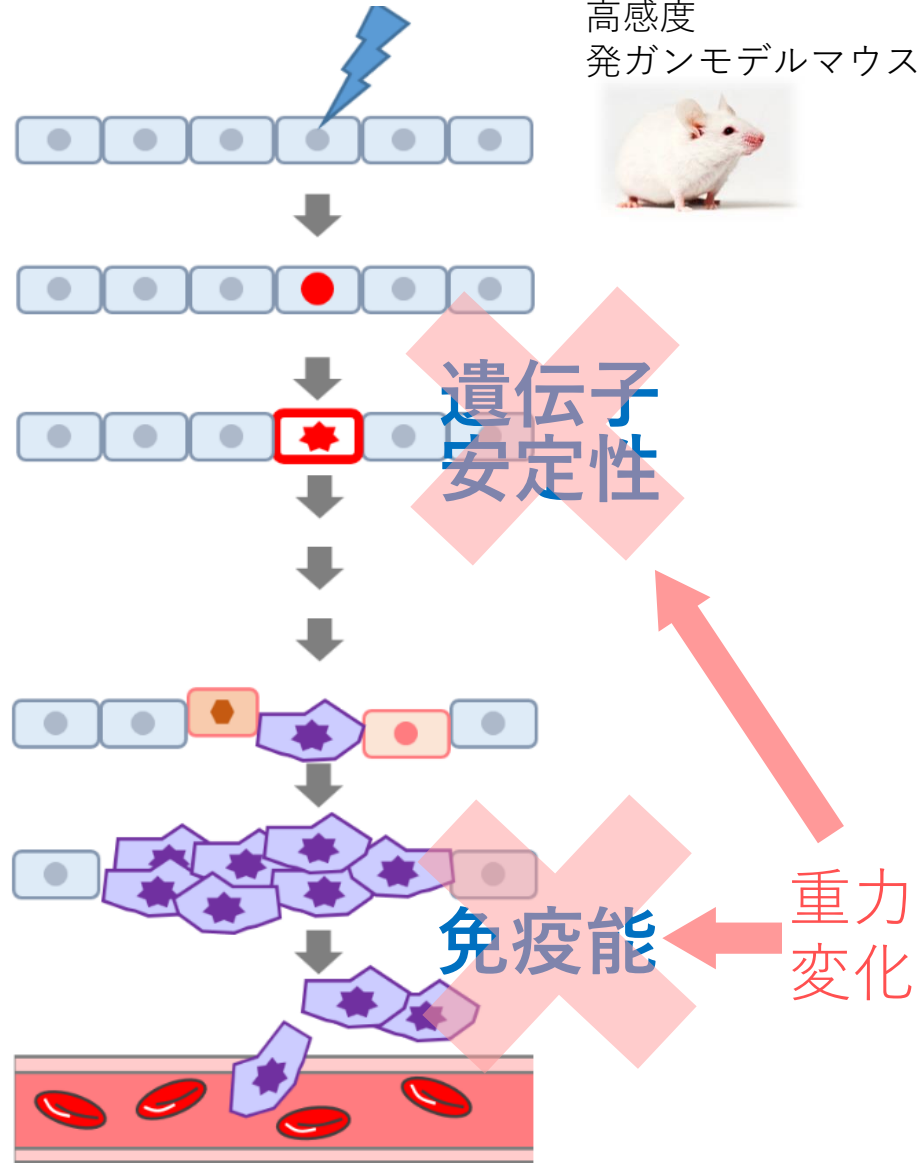
消化管腫瘍の実体顕微鏡像



→ 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

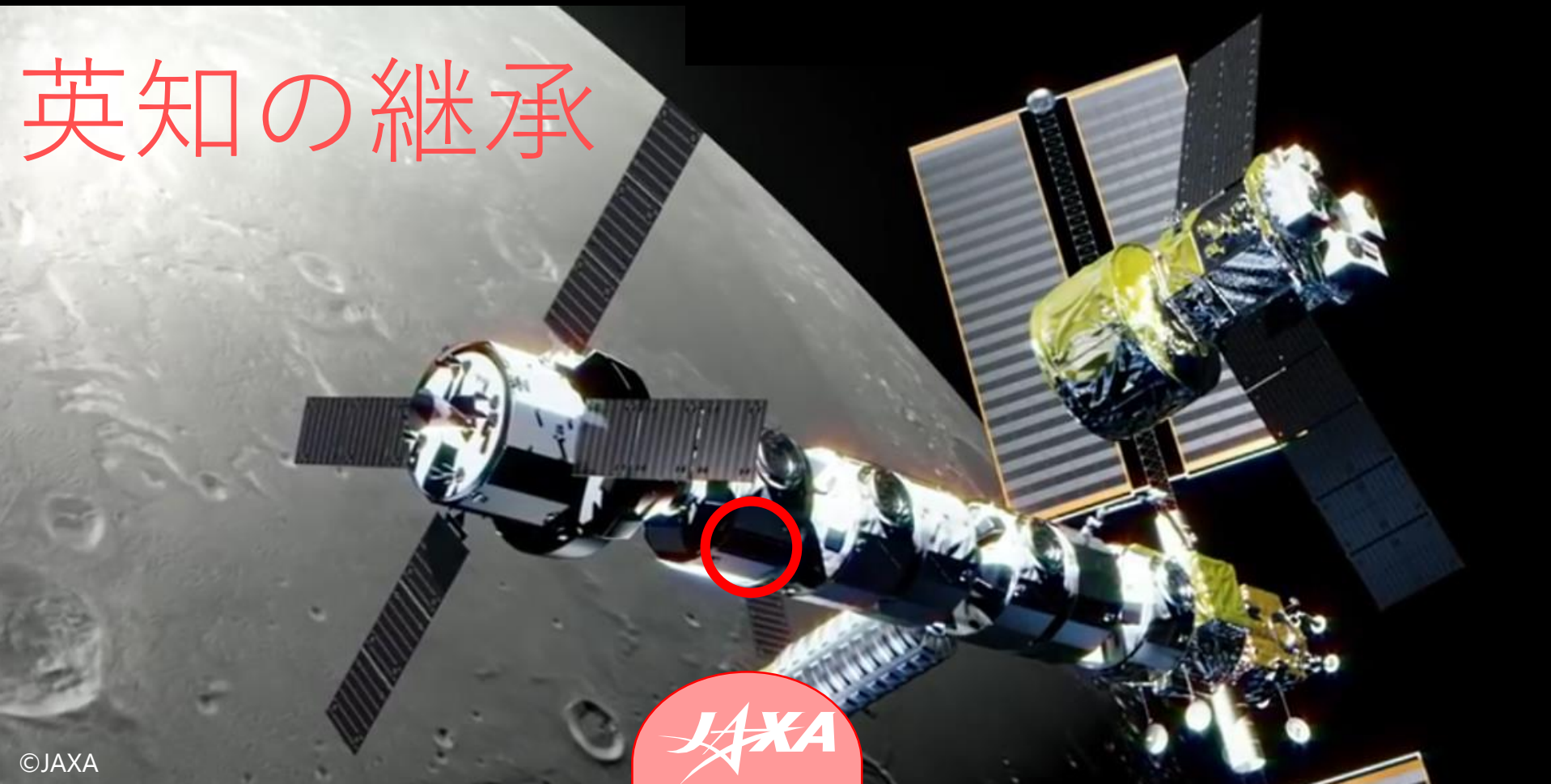
日本の宇宙実験室 宇宙放射線と重力の複合影響の実験室

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

