

2021年1月20日

宇宙環境利用シンポジウム

# たんぽぽ計画：全宇宙曝露試料 の帰還と微生物資料解析の現状

○山岸 明彦(東薬大)・橋本 博文(JAXA/ISAS)・矢野 創  
(JAXA/ISAS)・横堀 伸一(東薬大)・河口 優子(東薬大)・  
小林憲正(横国大)・三田 肇(福工大)・藪田 ひかる(広  
大)・東出 真澄(JAXA)・田端 誠(千葉大)・河合 秀幸(  
千葉大)・今井栄一(長岡技科大)横谷香織(筑波大)、木  
村駿太(JAXA/ISAS)、鳴海一成(東洋大)、矢田部純、藤  
原大祐(東薬大)、加藤浩、オン碧、鴫田未来(筑波大)

# 背景: たんぽぽ計画では2つの科学仮説検証を目指した

## 化学進化

## パンスペルミア仮説



微生物が惑星間を移動した。(Arrhenius 1908)



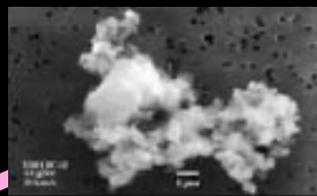
分子雲



小惑星



彗星



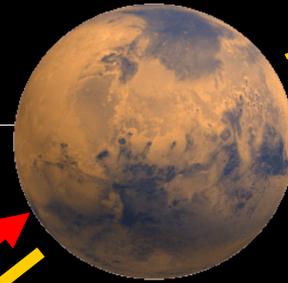
宇宙塵

有機物が隕石や宇宙塵によって地球に生命の起源前に到達 (Elsila et al., 2009)



# 目的 二つの仮説検証のための4つの課題と、宇宙技術開発2つの課題を実施した。

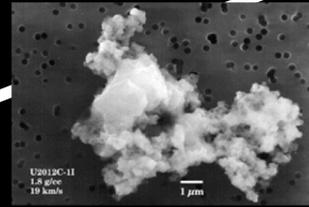
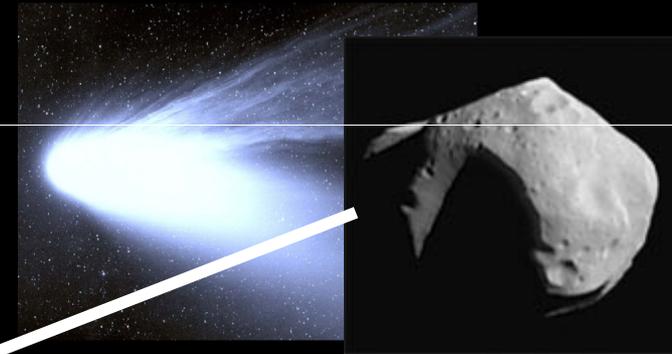
パンスペルミア:  
生命の惑星間移動仮説  
1. 圏外で微生物採集  
2. 微生物の圏外生存実験



火星

火星隕石

有機物含有宇宙塵



化学進化から生命へ:  
生命の起源以前の宇宙由来有機物の地球到達の可能性  
3. 有機物の変成  
4. 有機物含有宇宙塵の採集

ISSきぼう曝露部

流星群

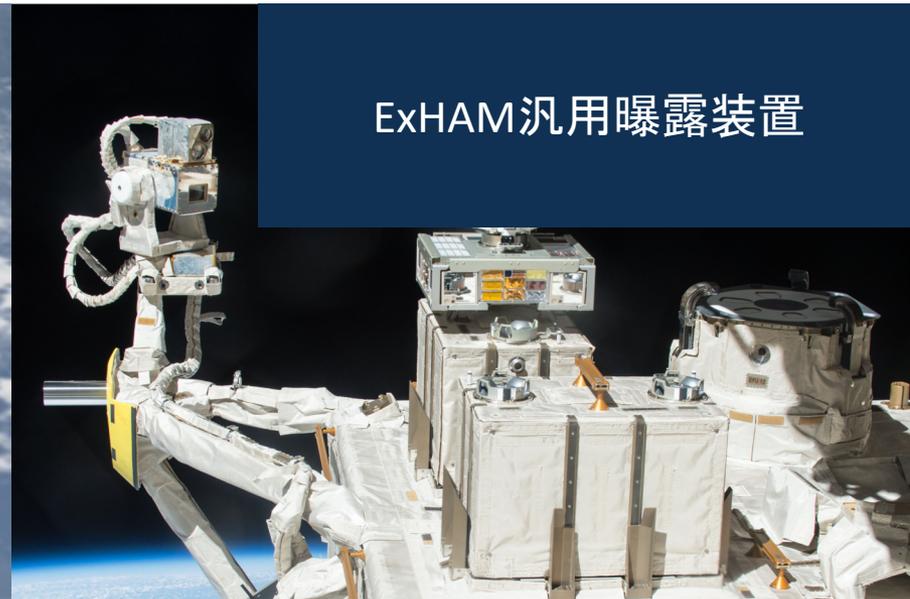
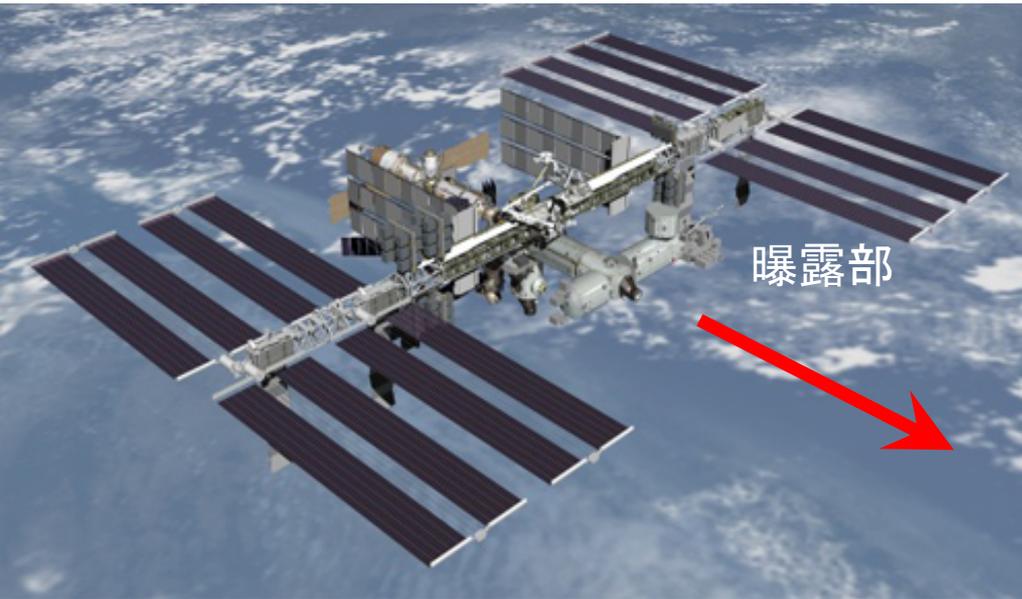


宇宙開発利用の発展につながる、  
先端的技術開発:

- 5. 高性能エアロゲル実証
- 6. 微小デブリフラックス評価

# 装置

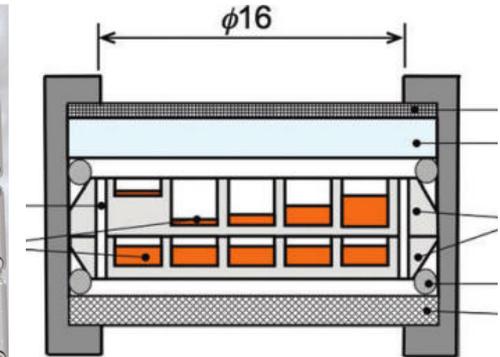
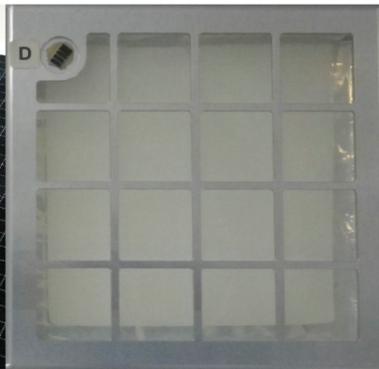
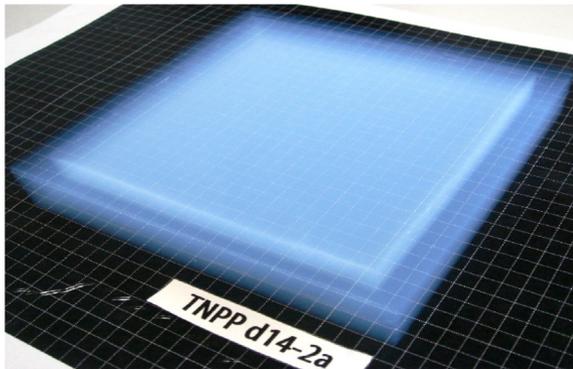
国際宇宙ステーション曝露部に汎用暴露装置ExHAMを設置した。



エアロゲル

捕集パネル

曝露パネル



ExHAMには、微生物、有機物を円筒型の穴に充てんした曝露パネルと、高速微粒子捕集の為のエアロゲルを収納した捕集パネルを設置した。

# 実施概要

2015年5月に装置すべてを打上、ISS船内に保管した。  
曝露パネル三枚と捕集パネル12枚をExHAMに取り付け、  
ExHAMを曝露部に移動、曝露を開始した。

2015年5月

2016年6月

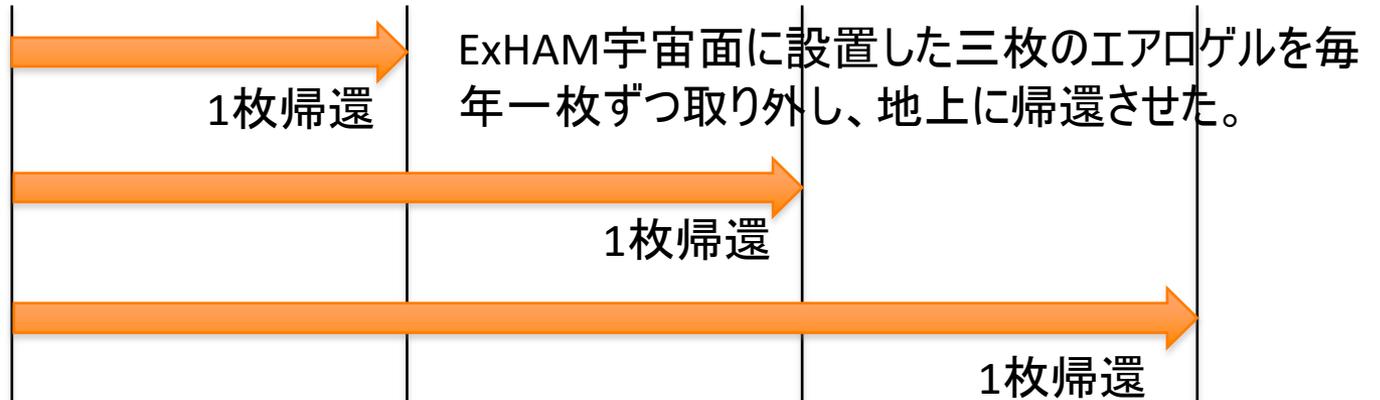
2017年7月

2018年7月

曝露  
パネル  
3枚



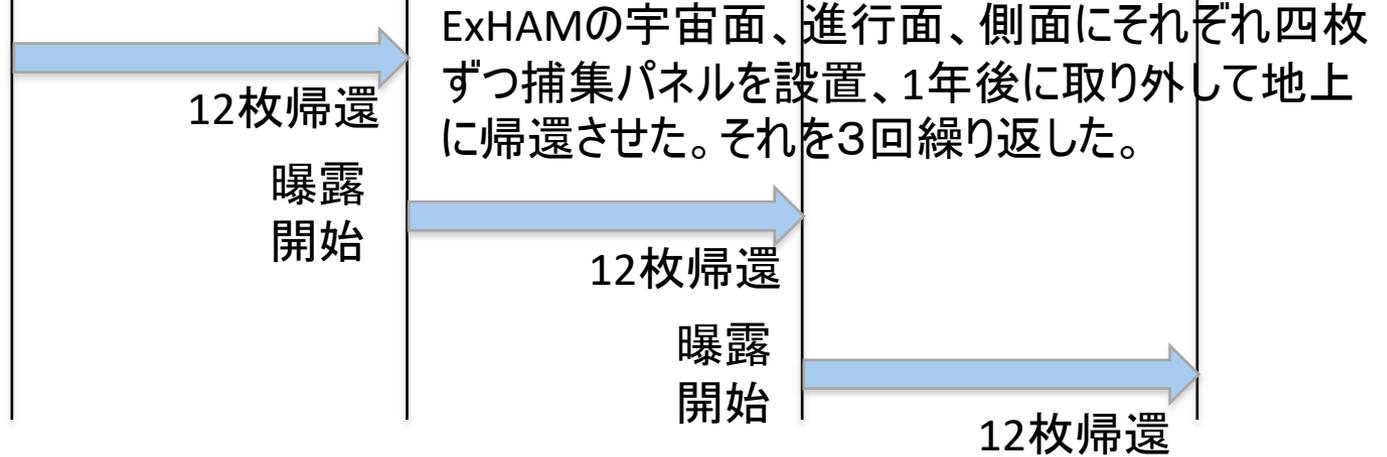
曝露  
開始  
曝露  
開始  
曝露  
開始



捕集  
パネル  
36枚



曝露  
開始

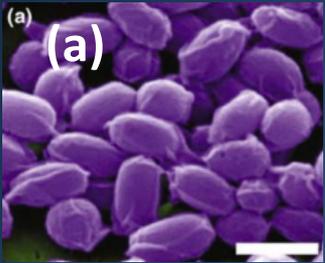


第一回目地上  
帰還2016年8月

第二回目地上  
帰還2017年9月

第三回目地上  
帰還2018年8月<sup>5</sup>

微生物宇宙曝露実験はこれまで主にESAで行われていた。



(a) *Bacillus subtilis* 孢子

Bar=1  $\mu\text{m}$  (Nicholson, 2009)



(b) 地衣類 *Xanthoria elegans*

Bar=1 cm (Nicholson, 2009)

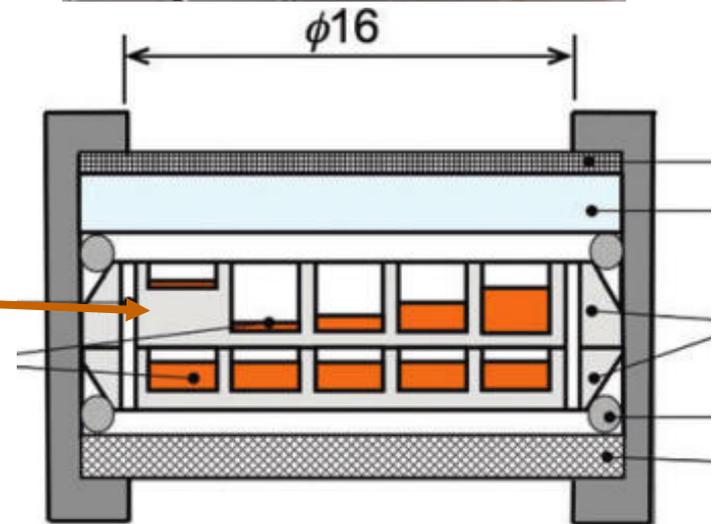
- *Bacillus subtilis*(枯草菌)の孢子を単層にしていると、宇宙紫外線で死滅するが (Horneck et al., 1993; Saffary et al., 2002), 多層孢子を穴あきアルミニウムドーム内に保管した場合、地球低軌道で6年間生存した (Horneck et al., 1994).
- 地衣類 *Xanthoria elegans* は、1.5 年間ISS上で生存した (Onofri et al., 2012).

# 微生物生存率の測定

## 曝露パネル

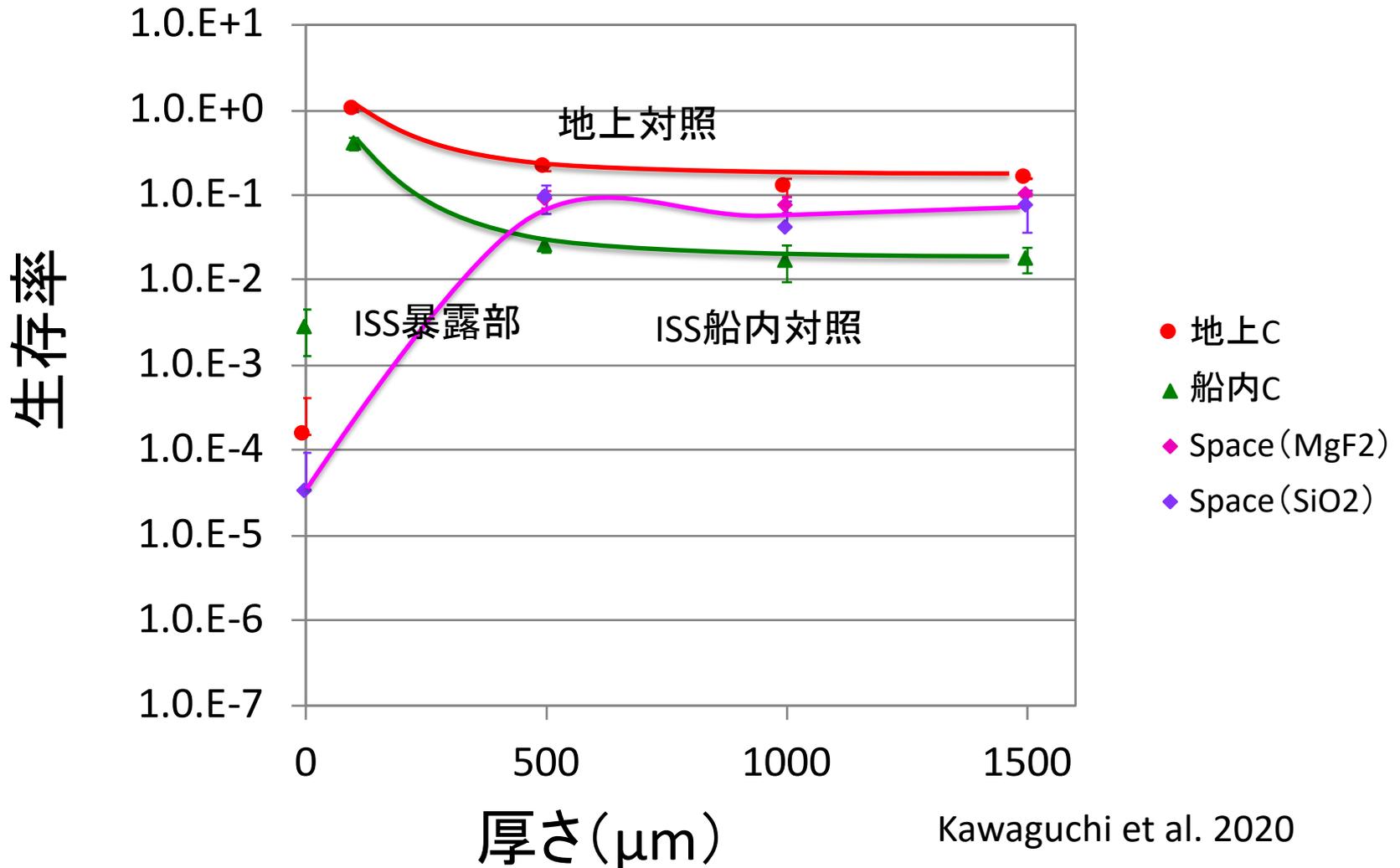
曝露パネルの曝露ユニットの断面を右下に示す。曝露ユニットにはアルミの試料板があり、試料板にあけた穴には、異なった厚さ(1, 100, 500, 1000, 1500 $\mu\text{m}$ )に微生物試料を充填した。

宇宙曝露後に帰還した微生物試料を緩衝液に懸濁後、寒天培地で培養、コロニーを計数することで生存率を測定した。



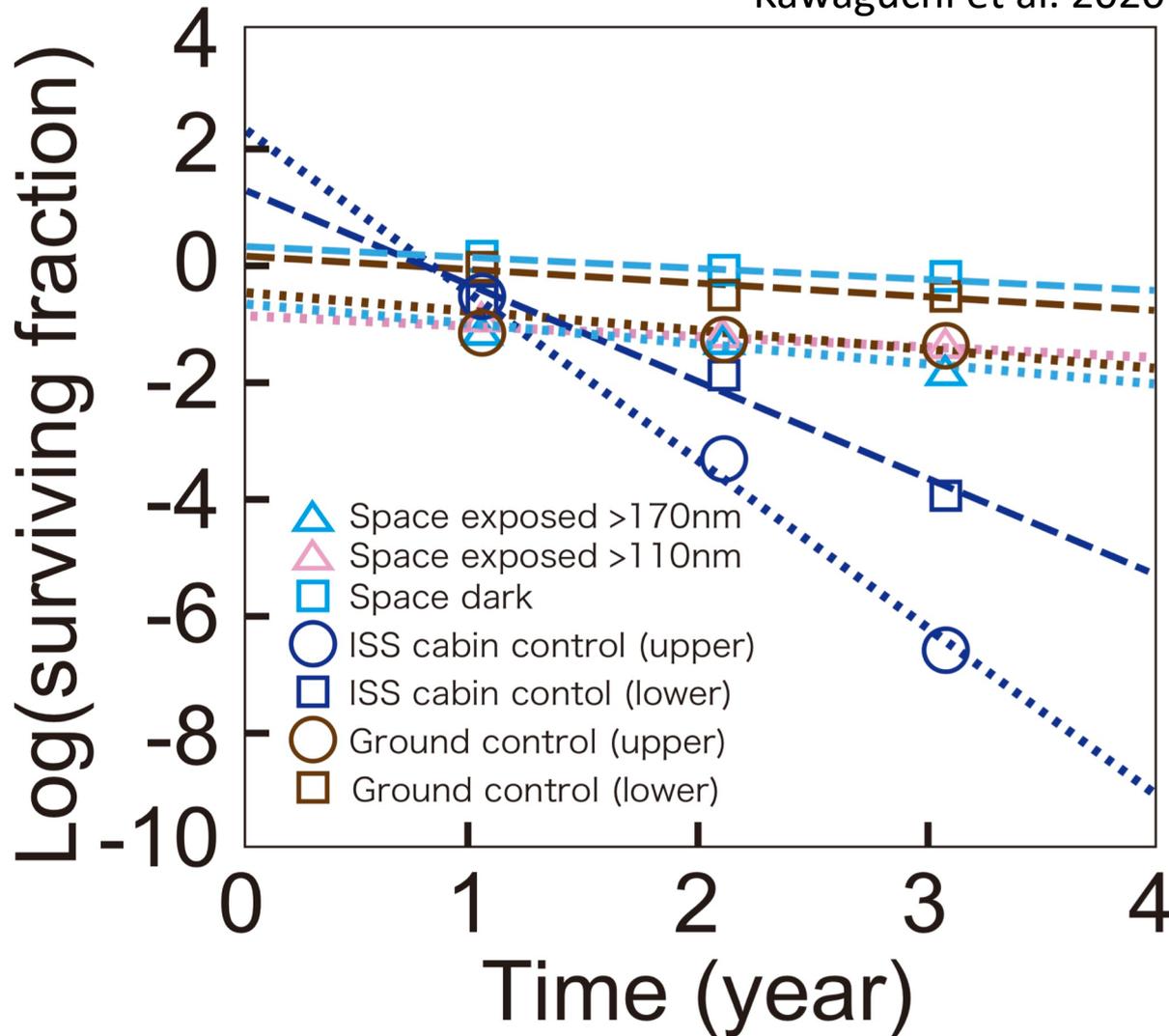
# 放射線耐性菌(*D. radiodurans*)厚さ依存性

宇宙曝露部紫外線照射下0.5mmで1年生存した。



# 放射線耐性菌 *Deinococcus radiodurans* 1000 $\mu\text{m}$ 厚の細胞塊の対数生存直線が得られた。

Kawaguchi et al. 2020



# Cの予想生存時間

Kawaguchi et al. 2020

曝露条件	厚さ(μm)	生存時間* (年)	惑星間空間での生存時間** (年)
MgF <sub>2</sub>	500	35.6 ± 0.5	4.3 – 6.1
	1000	43.4 ± 0.2***	5.2 – 7.5
	1500	45.3 ± 0.5	5.5 – 7.8
SiO <sub>2</sub>	500	14.8 ± 0.5***	1.8 – 2.6
	1000	24.6 ± 0.7	3.0 – 4.2
	1500	30.8 ± 0.7	3.7 – 5.3
Dark	1000	48.1 ± 0.1***	48.1 ± 0.1

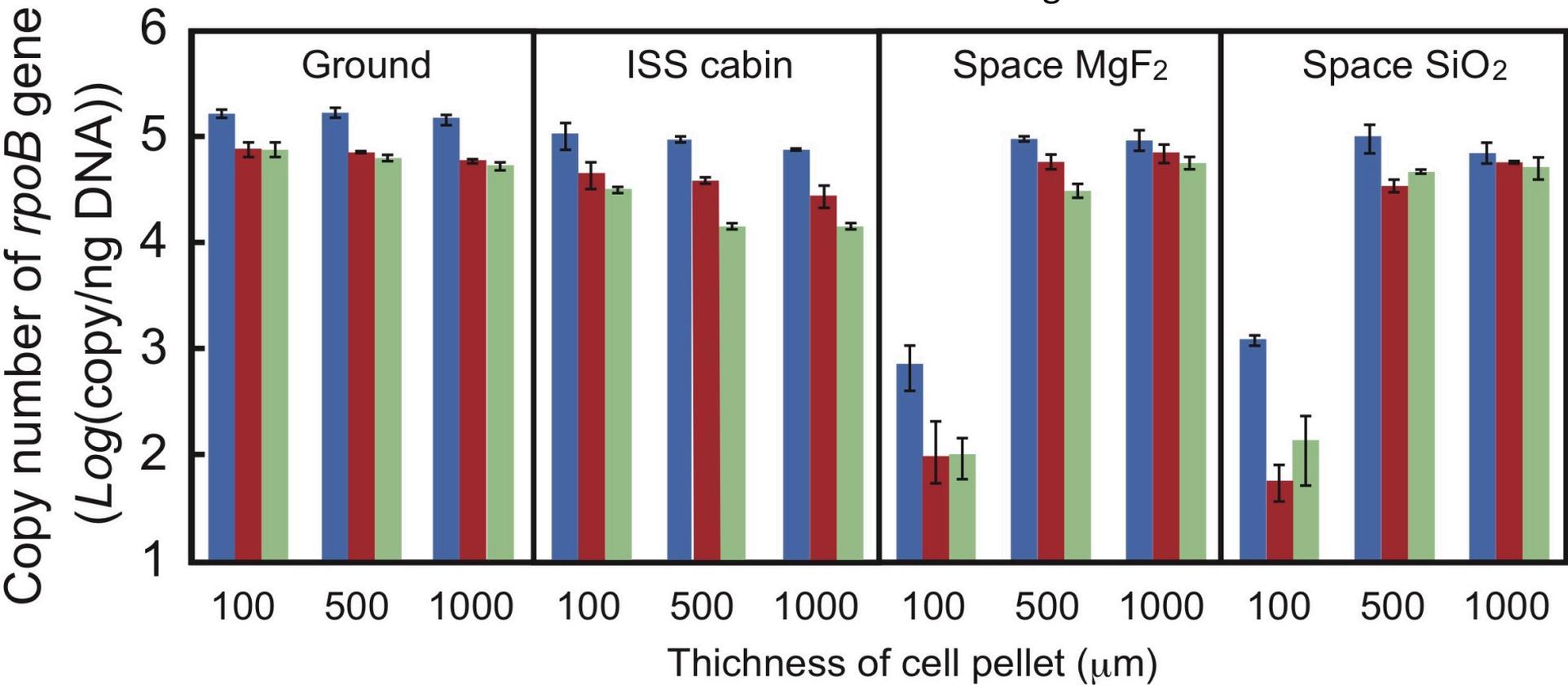
\* 対数生存直線の傾きと最初の菌数から確率95%での生存時間を推定した。

\*\* MgF<sub>2</sub> の窓でISSで照射される太陽紫外線量は惑星間空間で 44 ~ 63 日/年, 石英窓で照射される太陽紫外線は惑星間空間で 41 ~ 58 日/年に相当することを考慮すると、放射線耐性菌 *D. radiodurans* は惑星間空間で紫外線が当たる条件で2~8年、暗所では48年生存すると推定された。



# Copy number of intact *rpoB* gene in *D. radiodurans* R1 exposed to space for 1, 2 and 3 years.

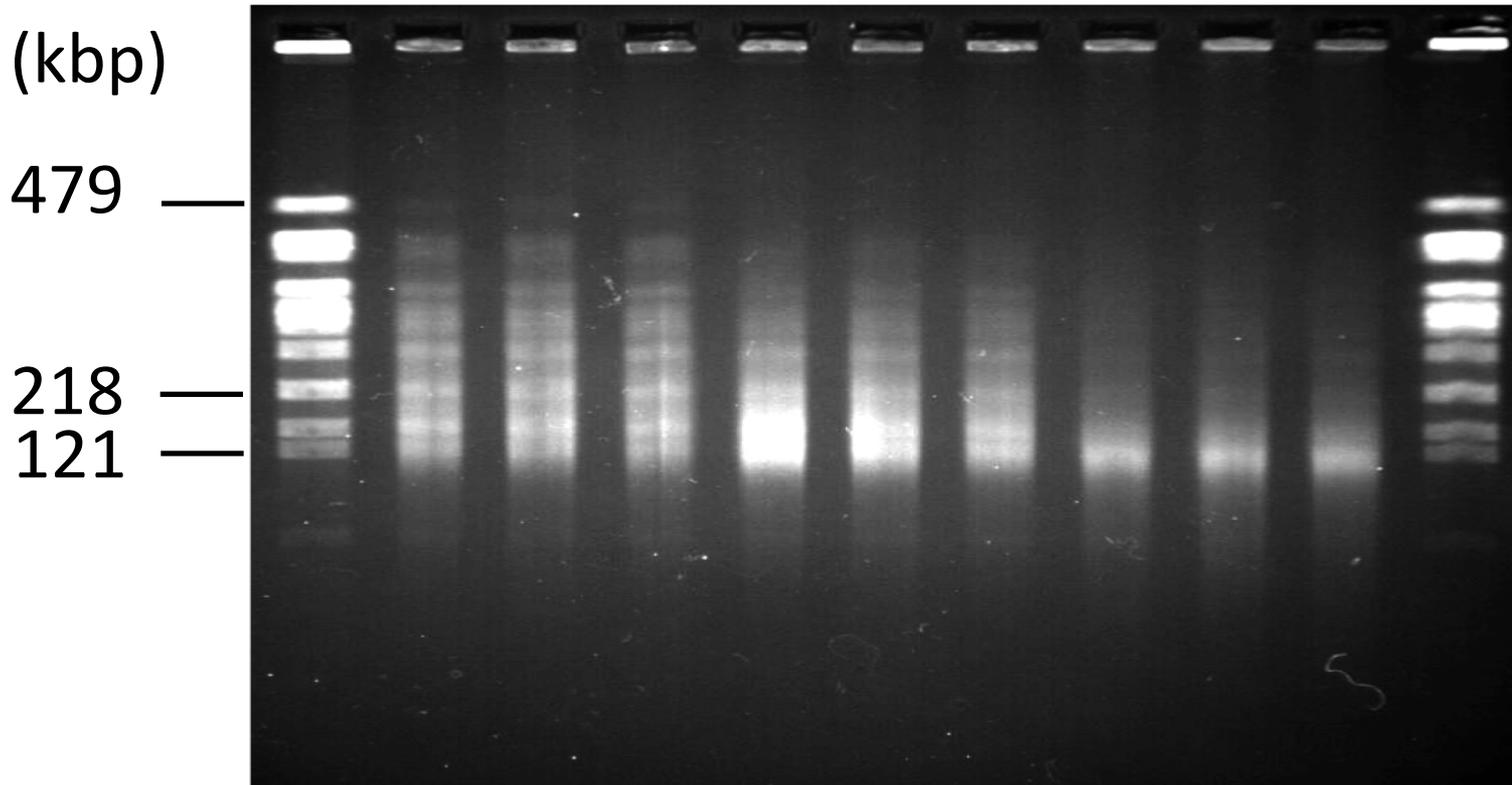
Kawaguchi et al. 2020



- Space exposed 100μm cell pellet of *D. radiodurans* showed decreased amount of copy number of *rpoB* gene.
- Amount of copy number of *rpoB* gene did not decrease a lot in 500 or 1000μm samples.

# Genome level DNA cleavage of *D. radiodurans* revealed by pulsed field gel electrophoresis

F: Fresh culture. G: Ground. I: ISS. S: Space UV

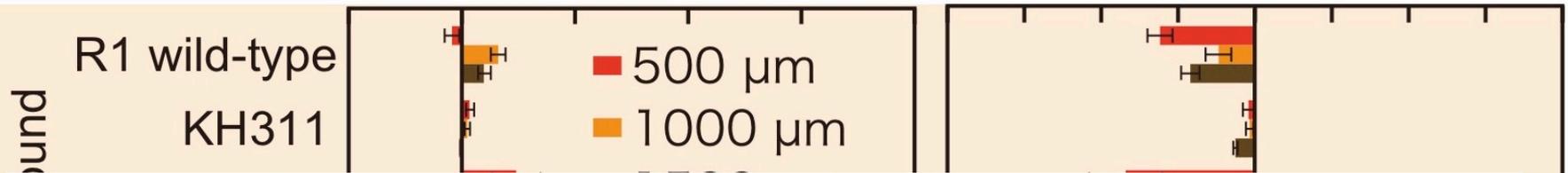


Slope of survival curve  
( $\log(N/N_0)/\text{year}$ )

Y-intercept of survival curve  
( $\log(N/N_0)$ )

0 -1 -2 -3

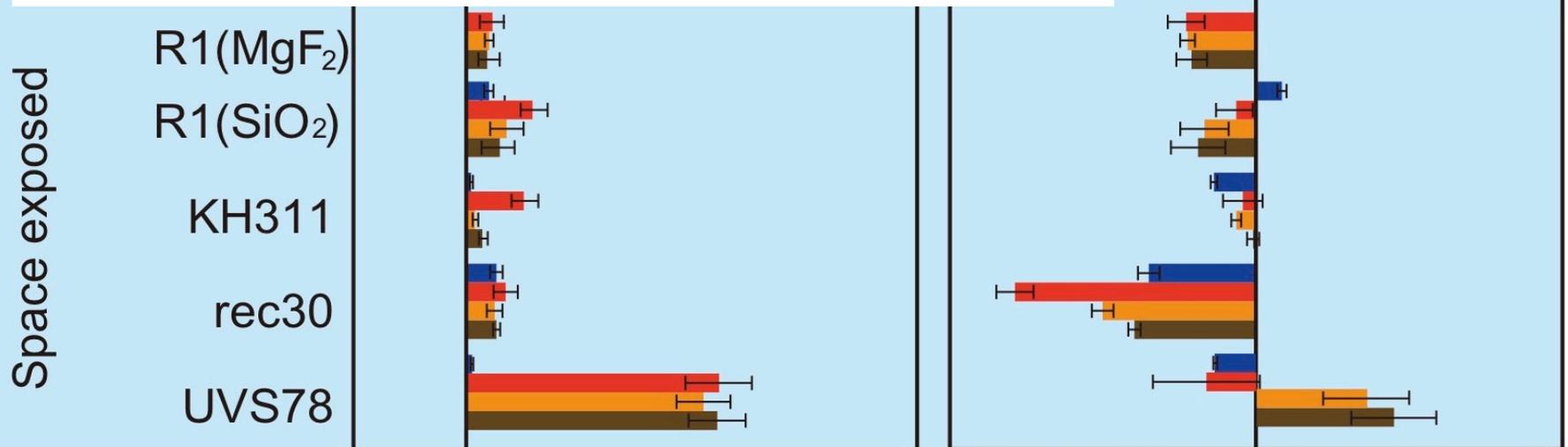
-3 -2 -1 0 1 2 3



KH311(*pprA*): condensed nucleoid-dependent end joining (CNDEJ)

rec30 (*recA*) : extended synthesis-dependent strand annealing (ESDSA) homologous recombination (HR)

UVS78(*uvrA*): nucleotide excision repair (*uvdE*): UV-damage excision repair



# Space exposure experiment of a land cyanobacterium *Nostoc* sp. HK- 01 akinete cells in Tanpopo experiments

Kaori Tomita-Yokotani, Shunta Kimura, Midori  
Ong , Miku Tokita, Hiroshi Katoh, Tomoko Abe,  
Hirofumi Hashimoto, Kintake Sonoike, Masayuki  
Ohmori

CINO research group

# たんぽぽ：有機物宇宙曝露実験



\*小林憲正<sup>1</sup>, 三田肇<sup>2</sup>, 癸生川陽子<sup>1</sup>, 峰松沙綾<sup>2</sup>, 佐藤智仁<sup>1</sup>, 横尾卓哉<sup>1</sup>,  
中川和道<sup>3</sup>, 横堀伸一<sup>4</sup>, 今井栄一<sup>5</sup>, 矢野創<sup>6</sup>, 橋本博文<sup>6</sup>, 山岸明彦<sup>4</sup>

たんぽぽ研究チーム

<sup>1</sup>横浜国立大学, <sup>2</sup>福岡工業大学, <sup>3</sup>神戸大学, <sup>4</sup>東京薬科大学,

<sup>5</sup>長岡技術科学大学, <sup>6</sup>JAXA / ISAS.

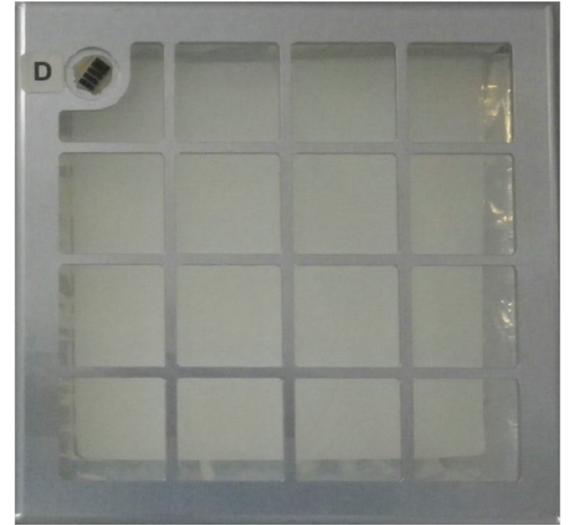
有機物(グリシンなどのアミノ酸、加水分解によってアミノ酸を形成するアミノ酸前駆体ヒダントイン、二酸化炭素とアンモニア、水の存在下で放射線照射によって合成した複雑有機化合物CAW)を宇宙空間に1、2、3年曝露することで、宇宙空間での安定性を調べた。

# 宇宙環境曝露実験のまとめ

- 100 $\mu\text{m}$ では放射線耐性菌は死滅
- 500 $\mu\text{m}$ 以上で放射線耐性菌は生存
- 放射線耐性菌は紫外線照射下で2-8年生存
- 放射線耐性菌は暗所で48年生存と推定された
- 火星と地球を最短時間で移動するあいだ生存可能である。
- DNAの断裂が死滅要因で、生存している場合の修復に必要な遺伝子(*uvrA*, *uvdE*)が判明した。
- 有機物の変性曲線が得られた。
- これらはすべて新規。

# 捕集パネル初期分析

**矢野創、今仁順也、佐々木聰、奥平恭子、小澤宇志、尾田佳至朗、河口優子、癸生川陽子、今井栄一、滝沢直美、田端誠、土山明、矢口勇一、横堀伸一、橋本博文、山岸明彦、たんぽぽ初期分析(TNPP-ISAC)チーム**

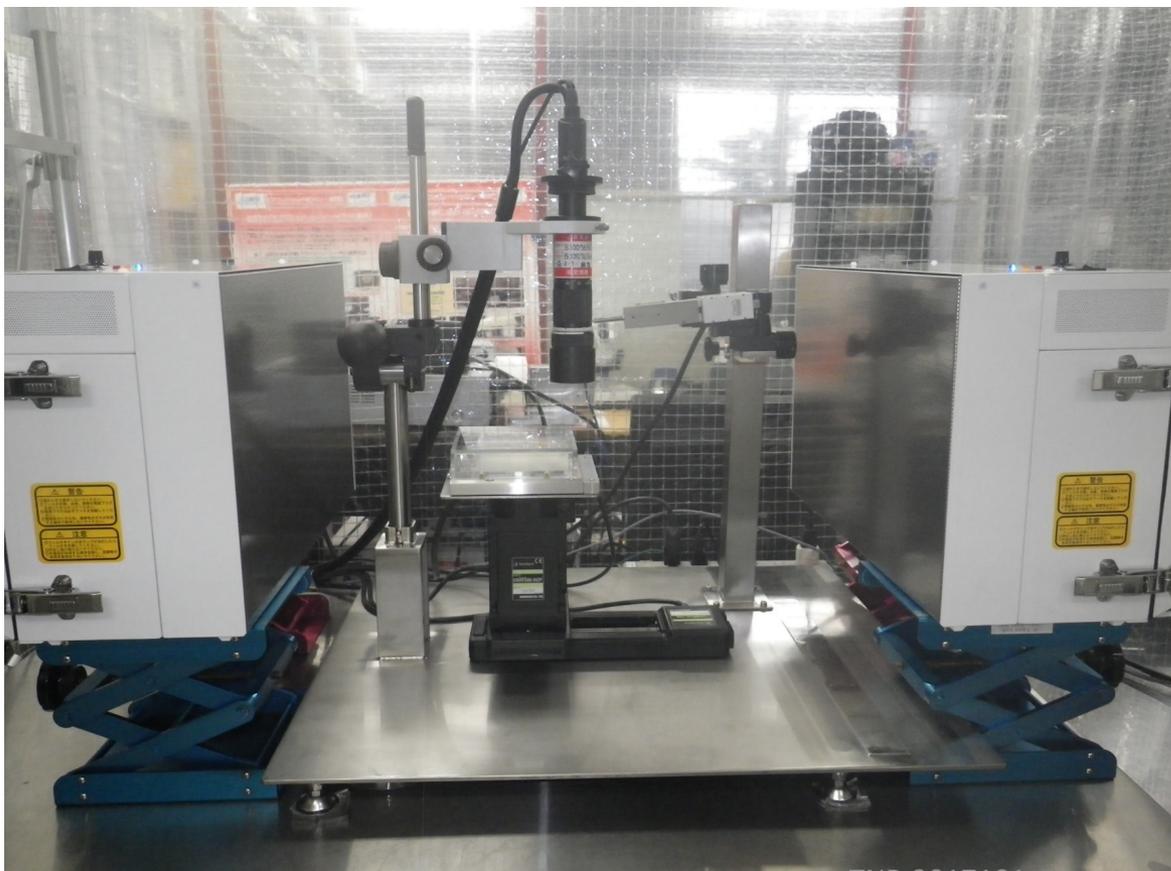


高速衝突する微粒子をエアロゲルで捕集した。1年間宇宙空間に曝露したエアロゲルをアクリルケースに収納、表面を顕微鏡撮像した。顕微鏡画像の解析から、0.1mm以上の衝突痕が300個以上(3年分36枚のエアロゲル)検出した。

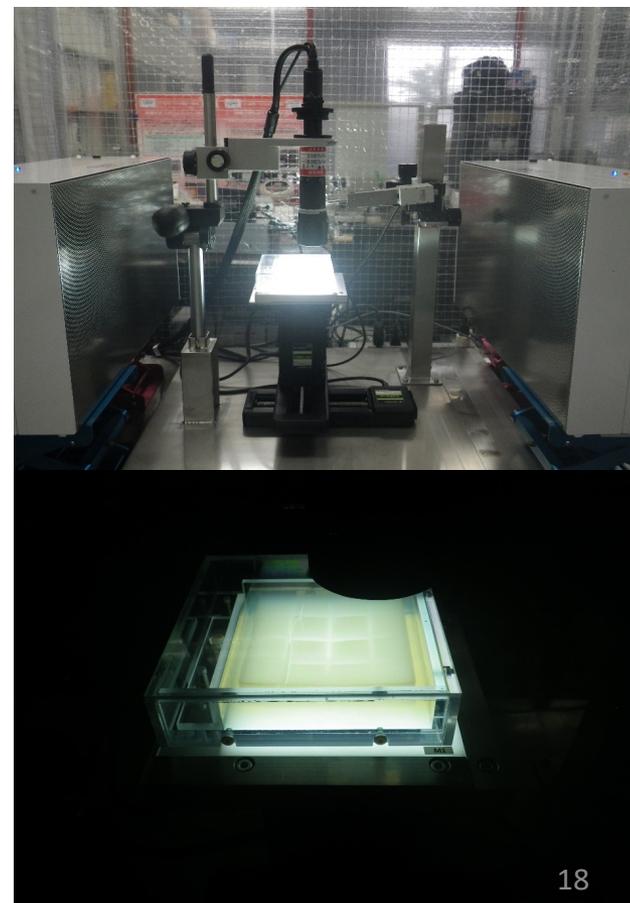


# エアロゲルをアクリルケースに収納し、 顕微鏡撮影を行った。

0.1mm以上の超高速衝痕数 300個以上を発見した。



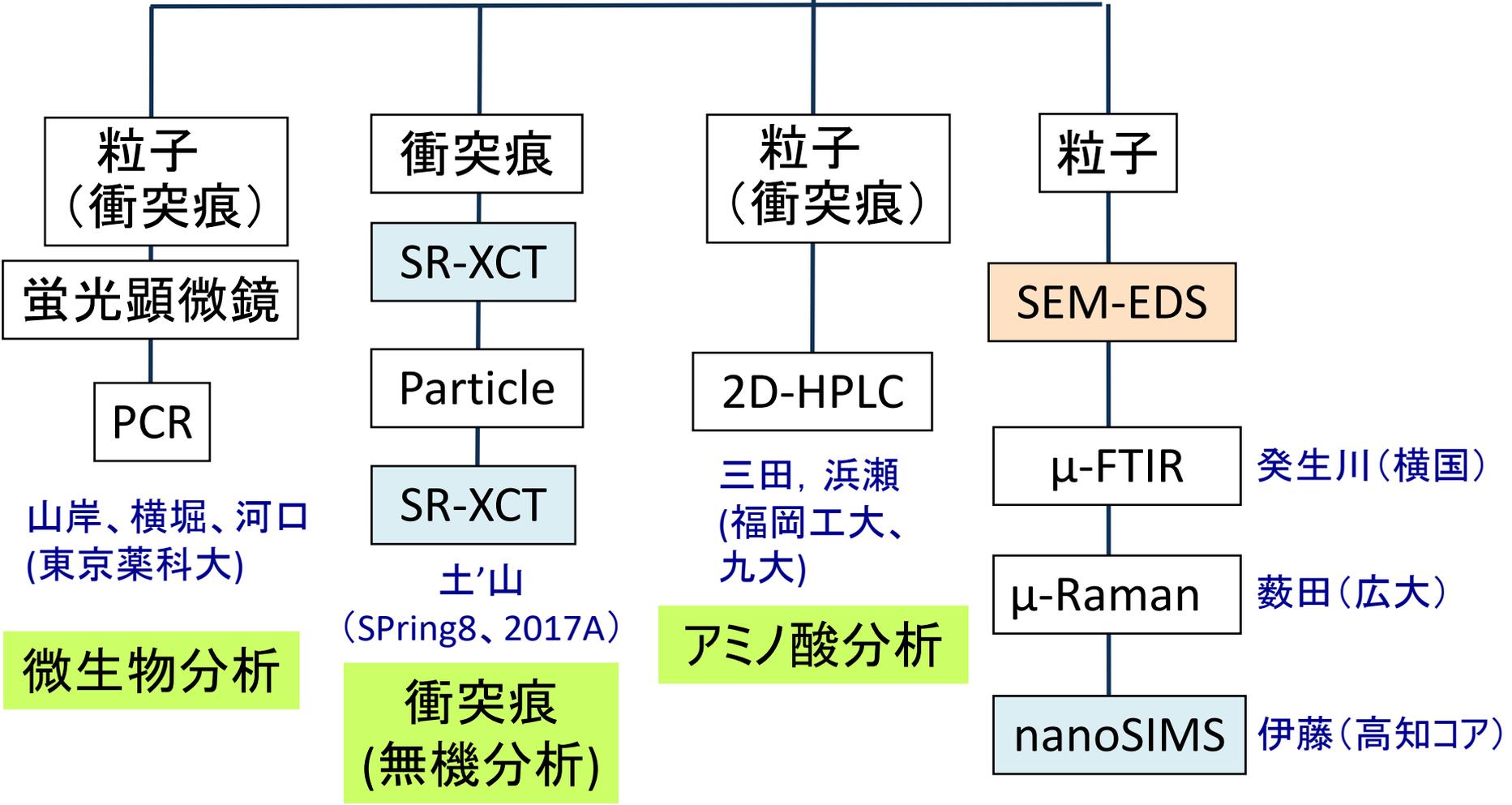
TNP-2017101





現在、各分析担当者に衝突痕を分配して詳細分析を行っている。

# エアロゲル



※ 地球外物質であるかの識別

有機 + 無機分析

# たんぽぽ計画参加26機関



Special thanks to JAXA and NASA

終わり