

宇宙での生命の起原と進化

山岸明彦
東京薬科大学
生命科学部

Are we alone in the universe?

生命は、宇宙で我々だけか？

アストロバイオロジー

- 天文学
- 惑星科学、地球物理学
- 地球化学、化学進化
- 地学的証拠
- 生化学的研究
- 熱水地帯の微生物生態
- 遺伝子の証拠、分子進化学
- 宇宙での微生物探査
- 知的生命体探査

生命の起源

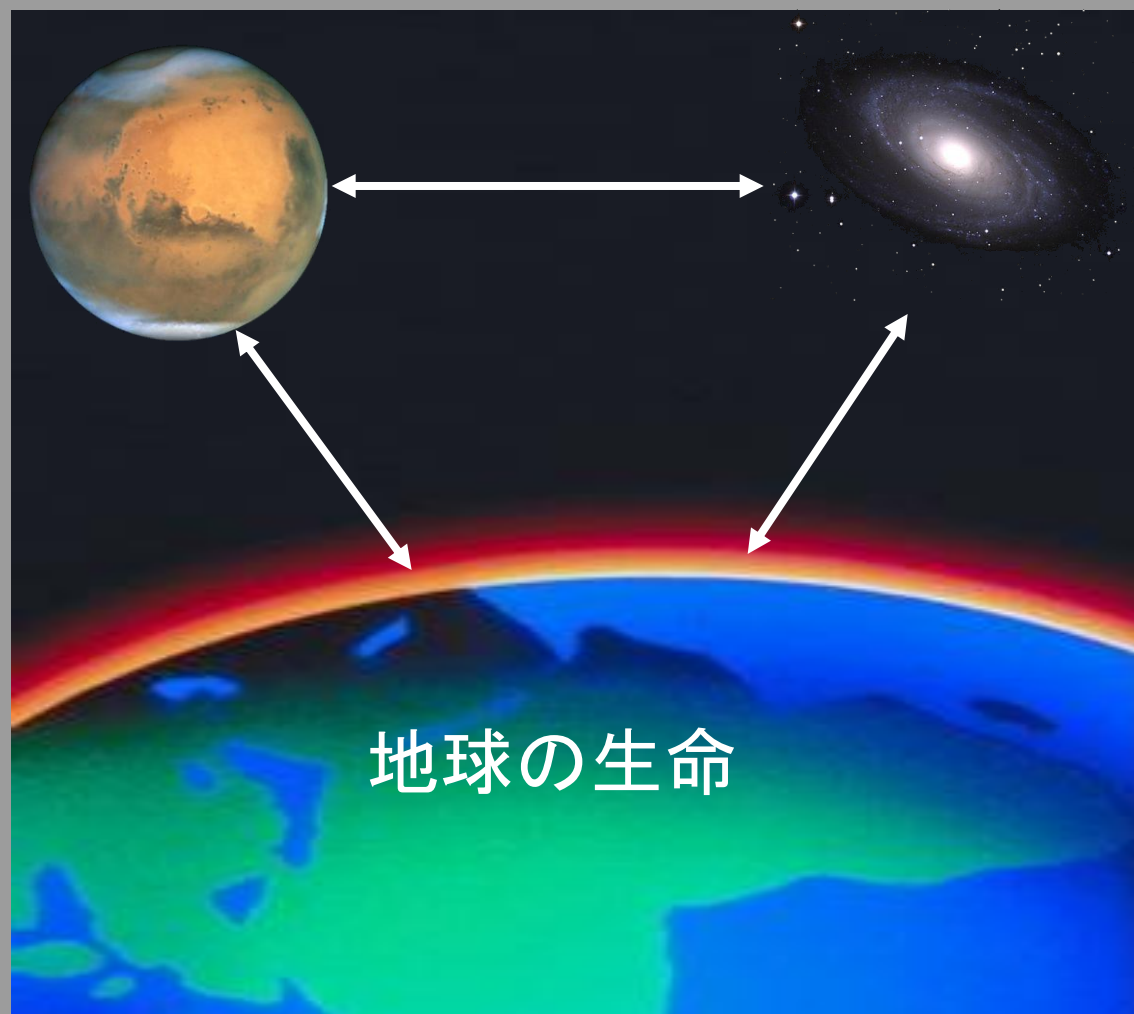
地球上？

他の場所？

パンスペルミア仮説

地球から外へ行く？

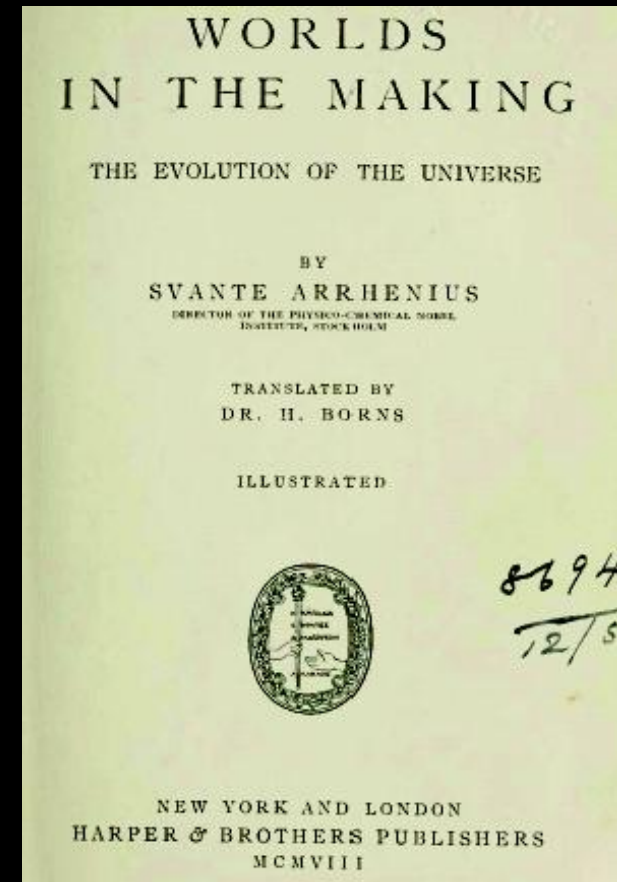
パンスペルミア仮説



宇宙空間で微生物が生存可能か

パンスペルミア仮説

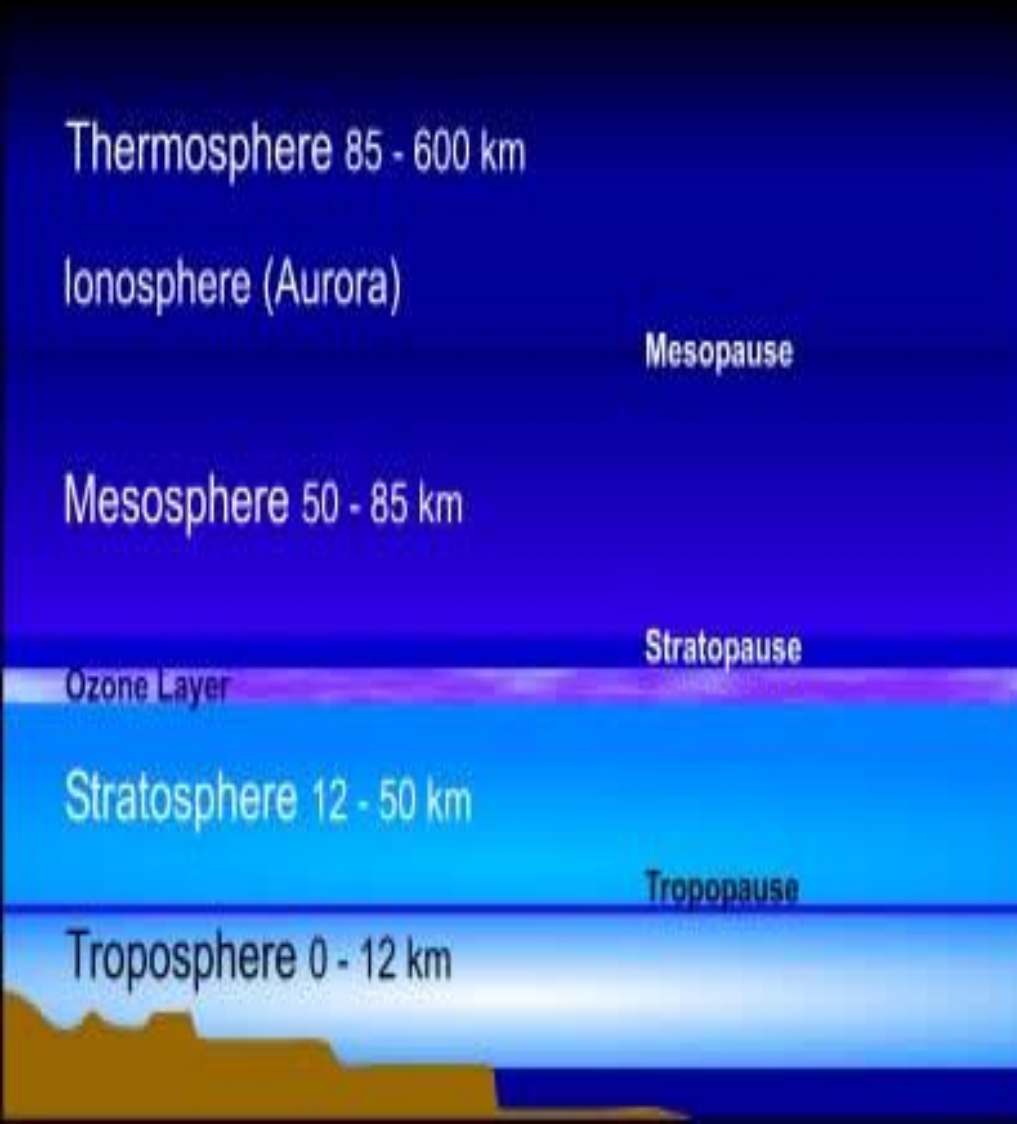
- 胞子が太陽の放射圧で惑星間を移動する(Arrhenius, 1908).
- 微生物や胞子は遮蔽されなければ、太陽光で死滅する(Nicholson et al., 2000; Horneck et al., 2010).
- 隕石の中に隠れていどうする。リソパンスペルミア（岩石パンスペルミア）



凝集体で微生物が移動

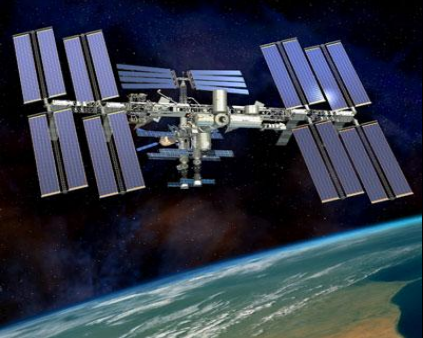
- 一層の胞子は死ぬが、多層だと死なない。
(Horneck et al., 1994, 1995; Mancinelli and Klovstad, 2000).
- 微生物のかたまりが大気中から発見された。
(Wainwright et al., 2003).
- 大気圏上空から単離した微生物 *Deinococcus* strains (ST0316 and TR0125) が生育するとき、凝集体を形成する (Yang et al., 2009).
- しかし、定量的な凝集体の耐性実験はこれまでにない。

The earth's atmosphere



Some extreme conditions above troposphere :

- 1) High UV radiation**
- 2) Extreme dryness**
- 3) Low atmos. pressure**
- 4) Strong fluctuation of temperature**
- 5) *Nutrient-depletion***



背景



***Panspermia hypothesis* : 生命の起源種が地球外からやってきた.**

微生物は大気圏上空を垂直に移動する。台風、火山爆発、隕石衝突、人間活動.

大気圏上空で採取された微生物の性質を解析することから、上記可能性を調べる。

背景

これまで、70年間ごく限られた微生物採集 実験

Year	Country	Mission	Altitude (km)	Microbial Collection (Bacteria and fungi)	Reference
1936	USA	Balloons	11-21	5 <i>Bacillus</i> sp., <i>Macrosporium</i> sp., <i>Rhizopus</i> sp., <i>Penicillium</i> sp. and 2 <i>Aspergillus</i> sp.	Rogers and Meier
1962	USA	Balloons	9-27	(Predominant isolates) Micrococci and spore-forming rods, <i>Aspergillus</i> sp., <i>Alternaria</i> sp.,	Greene et al.
1963				<i>Penicillium</i> sp. and <i>Cladosporium</i> sp.	
1965					
1975	Russia	Meteorological rockets	48-77	<i>Mycobacterium</i> sp., <i>Micrococcus</i> sp., <i>Circinella</i> sp., <i>Aspergillus</i> sp., <i>Papulaspora</i> sp. and <i>Penicillium</i> sp.	Imshenetuky et al.
2001	India	Balloon	41	5 <i>Bacillus</i> sp., <i>Staphylococcus</i> sp.,	Shivaji et al.
2003	USA	Aircraft	20	2 <i>Bacillus</i> sp., <i>Penicillium</i> sp.	Griffin

たんぽぽ計画と 高層大気での微生物探査



これまでの大気圏微生物採集実験

年	実験手法	高度 (km)	採集方法	分離菌	菌密度	研究者
1936	気球	11-12km	パラシュートで落下する 無菌のサンプリング装置	<i>Bacillus</i> sp. Fungi	0.14 m ⁻³	Rogers, L. A., Meier, F. C.
1966	航空機	3 km	溶解性のゼラチン泡フイ ルター	Fungi <i>Bacillus</i> <i>Micrococcus</i>	5-200 m ⁻³	Fulton, J. D.
1967	気球	10-30km	ポリウレタン泡フィルタ ーによる空気の吸引濾過	<i>Micrococcus</i> <i>Alternaria</i> <i>Cladosporium</i>	0.8-0.02 m ⁻³	Bruch, C. W.
1976	気象観測口 ット	48-78 km	フィルム上の栄養培地	<i>Micrococcus</i> <i>Micobacterium</i>	31	Imshenetsky, A. A. Lysenko, S. V., Kazakov, G. A., Ramkova, N. V.

- 微生物はどこまでいるか？
- 惑星間移動は可能か？

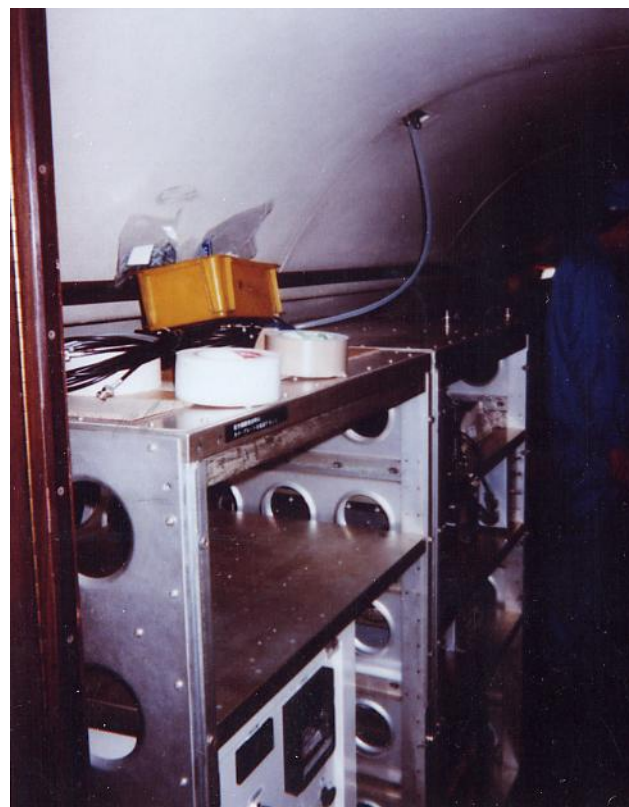
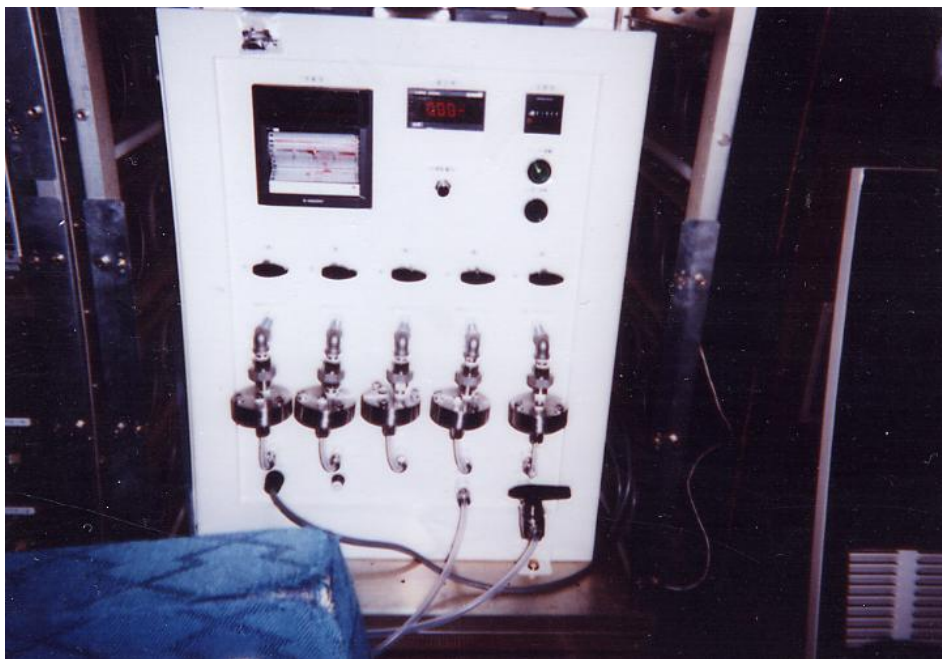


航空機を用いた微生物採集

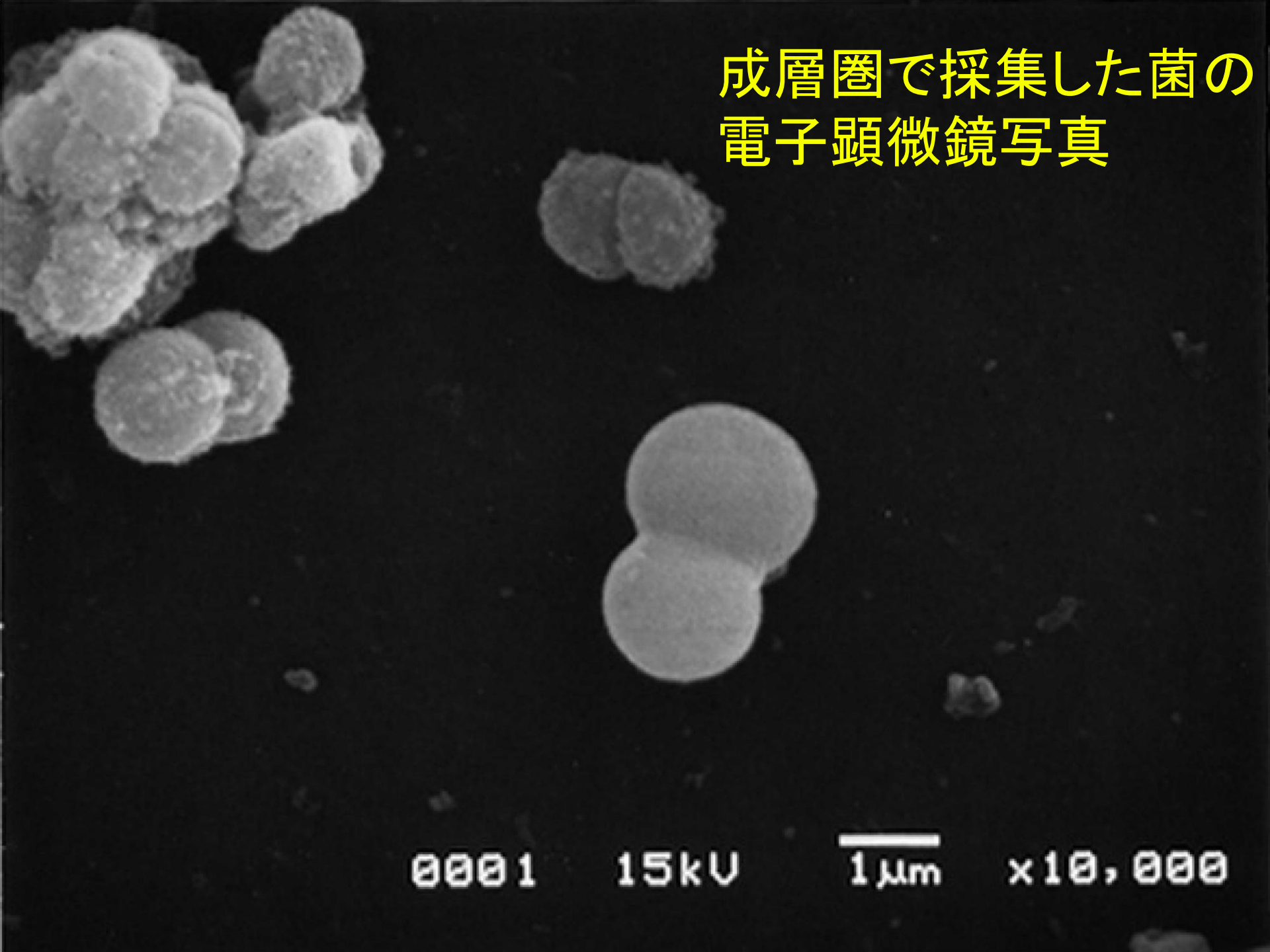
Yinjie Yang, 板橋志保、横堀伸一、山岸明彦
(東京薬科大学)



飛行機内部のサンプリング装置



成層圏で採集した菌の
電子顕微鏡写真



0001

15kV

1 μ m

x10,000

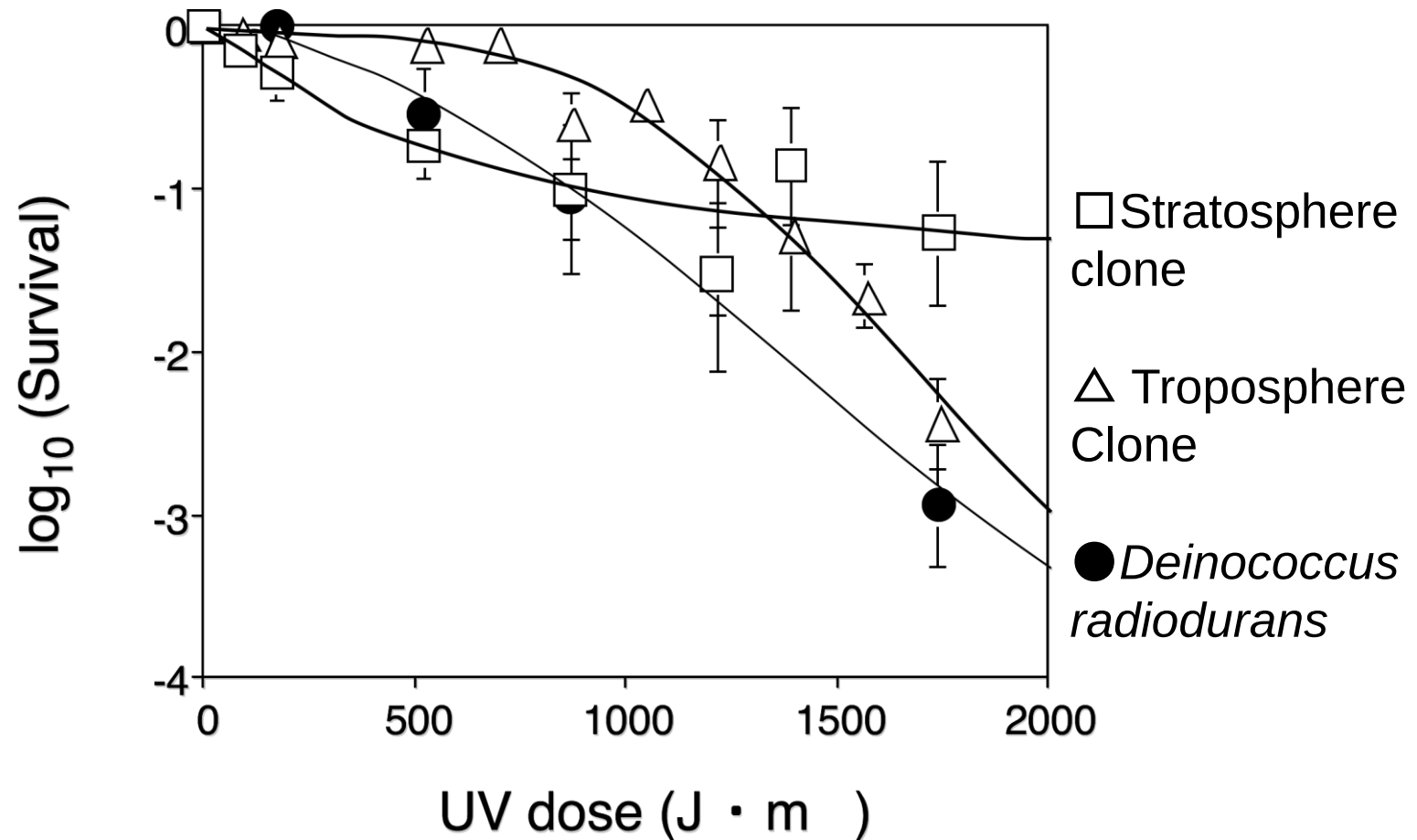


5株が採集された。それらの、菌の種類
を遺伝子から決めた。

Clone	Altitude	Related genus
ST 0316	10-12	<i>Deinococcus</i>
TR 0125	0.8-5.8	<i>Deinococcus</i>
TR 0126	4.6-10	<i>Streptomyces</i>
TR 1103-2	1.2-7.8	<i>Bacillus</i>
TR 1103-3	7.8-12.2	<i>Paenibacillus</i>



航空機で採集した株は非常に強い紫外線耐性を示した。これまでもっとも紫外線耐性が高い *Deinococcus radiodurans* と同じかもっと強い。

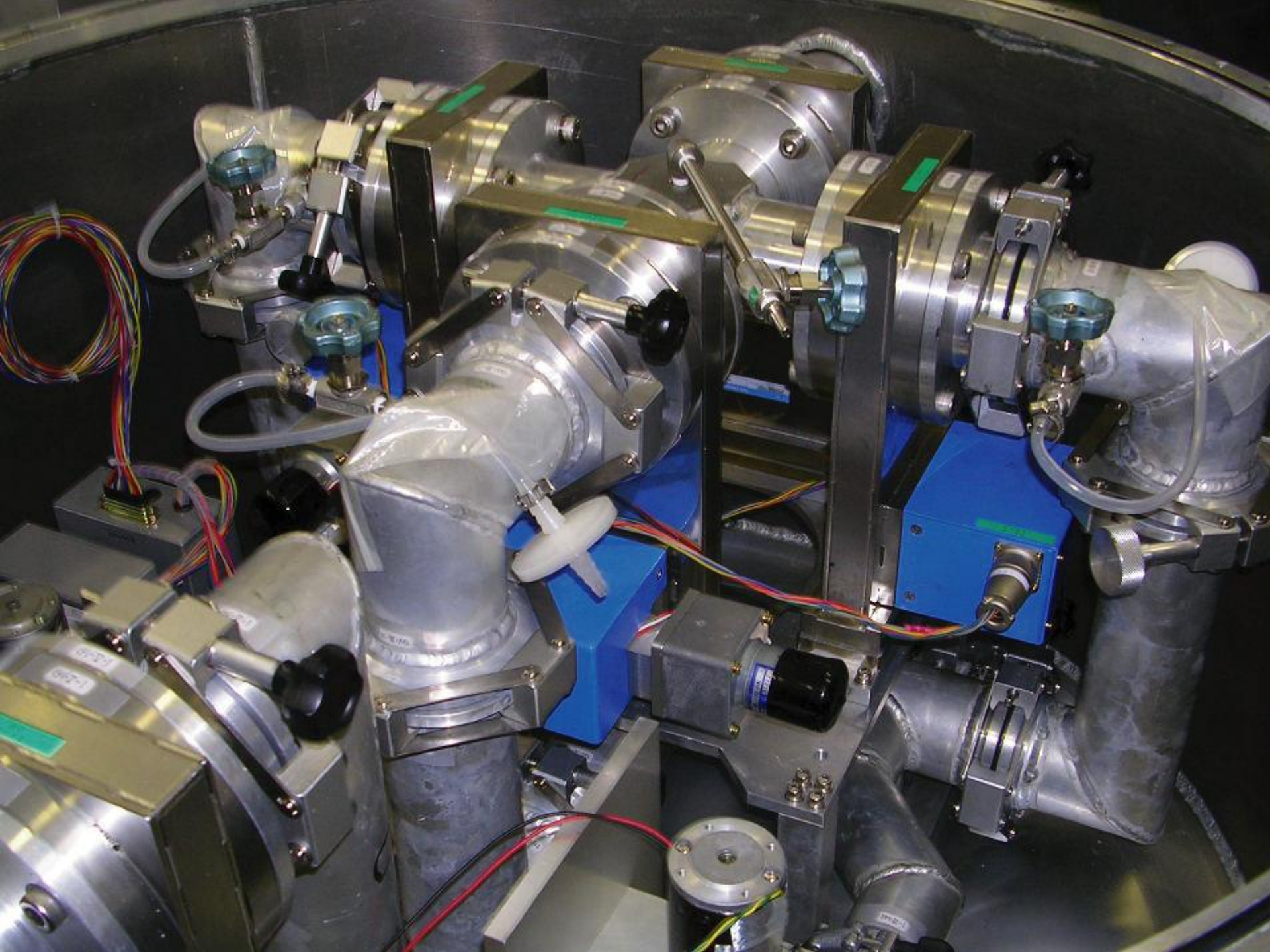


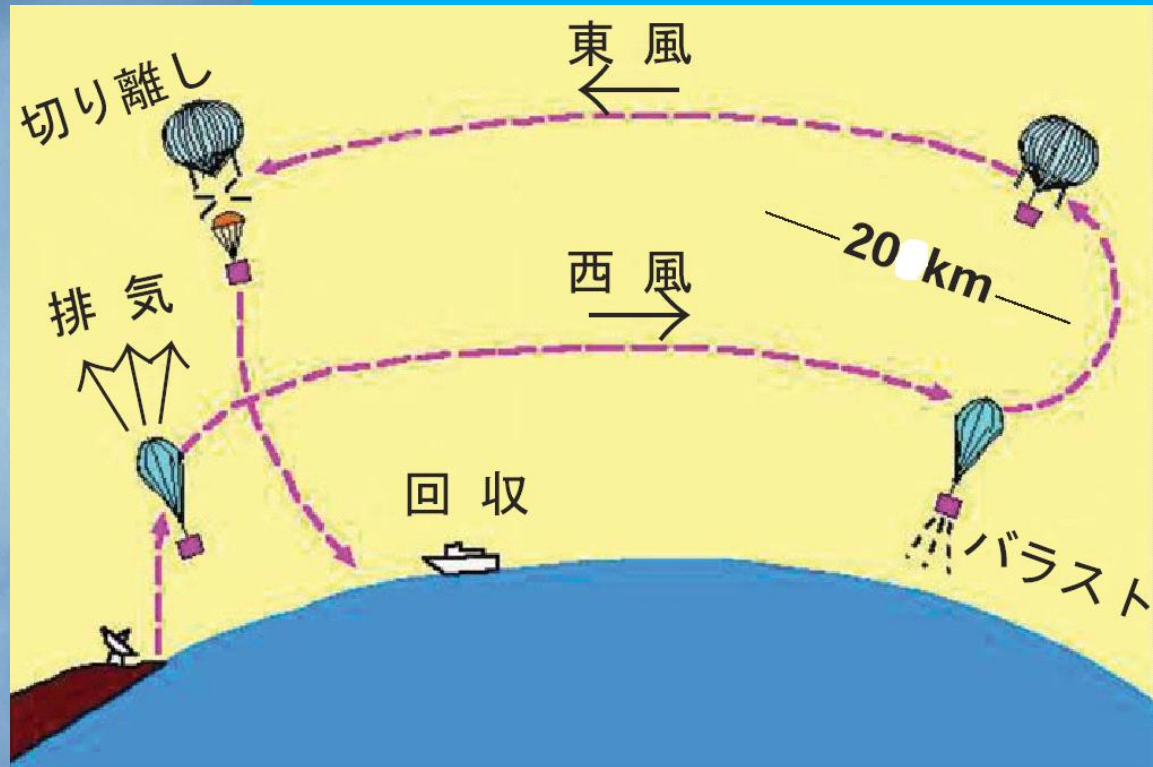
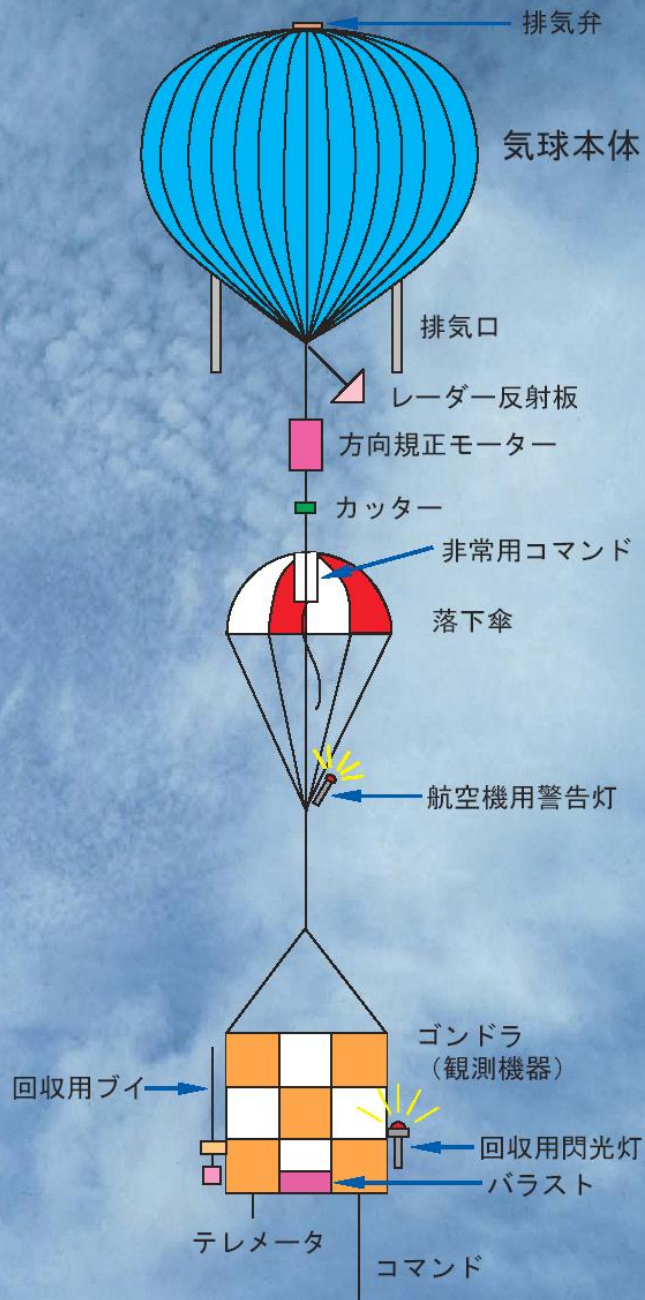


大気球を用いた、 微生物採集

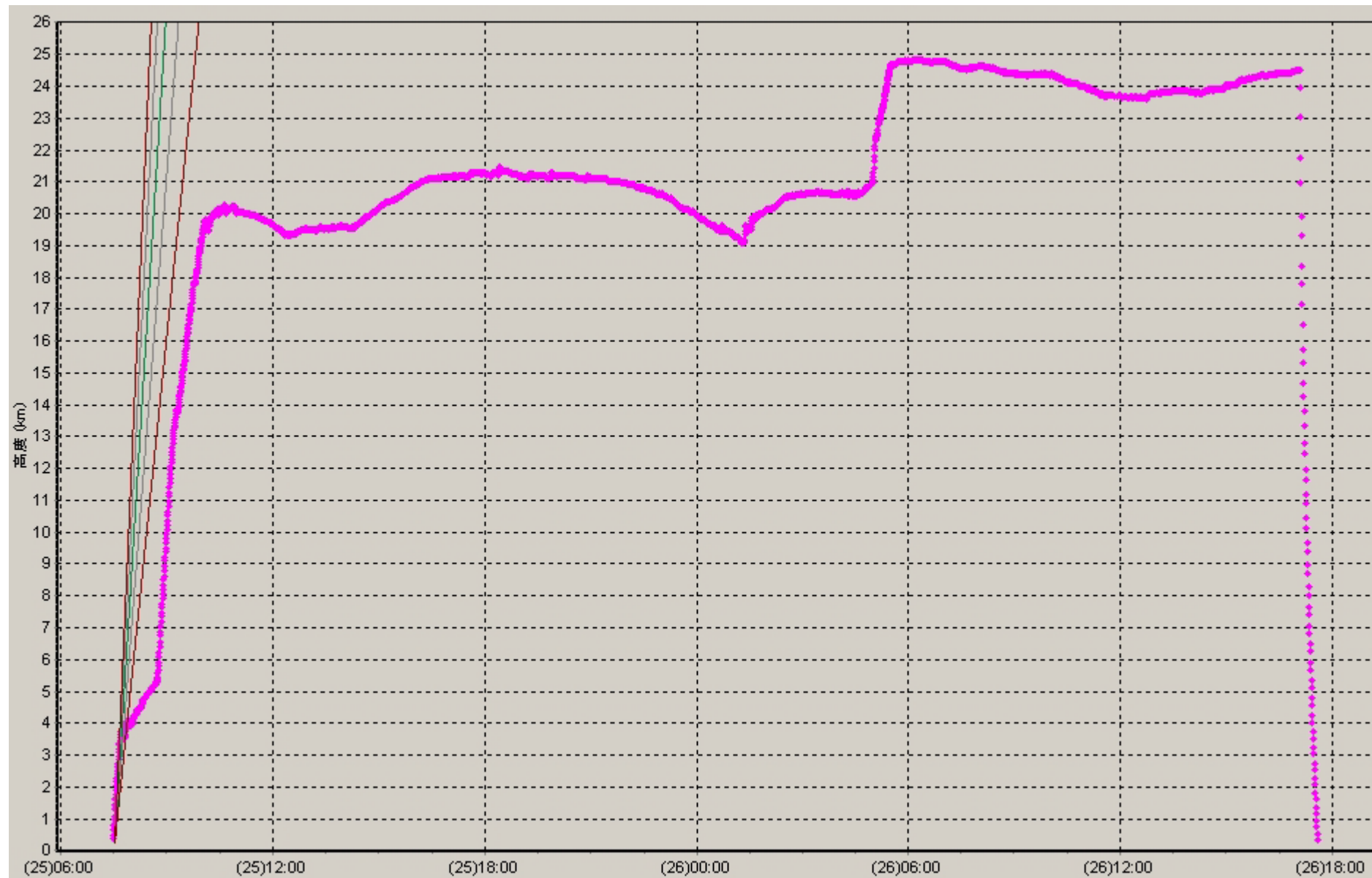
Yinjie Yang,
横堀伸一
山上隆正
斉藤義隆
福家義一
山岸明彦



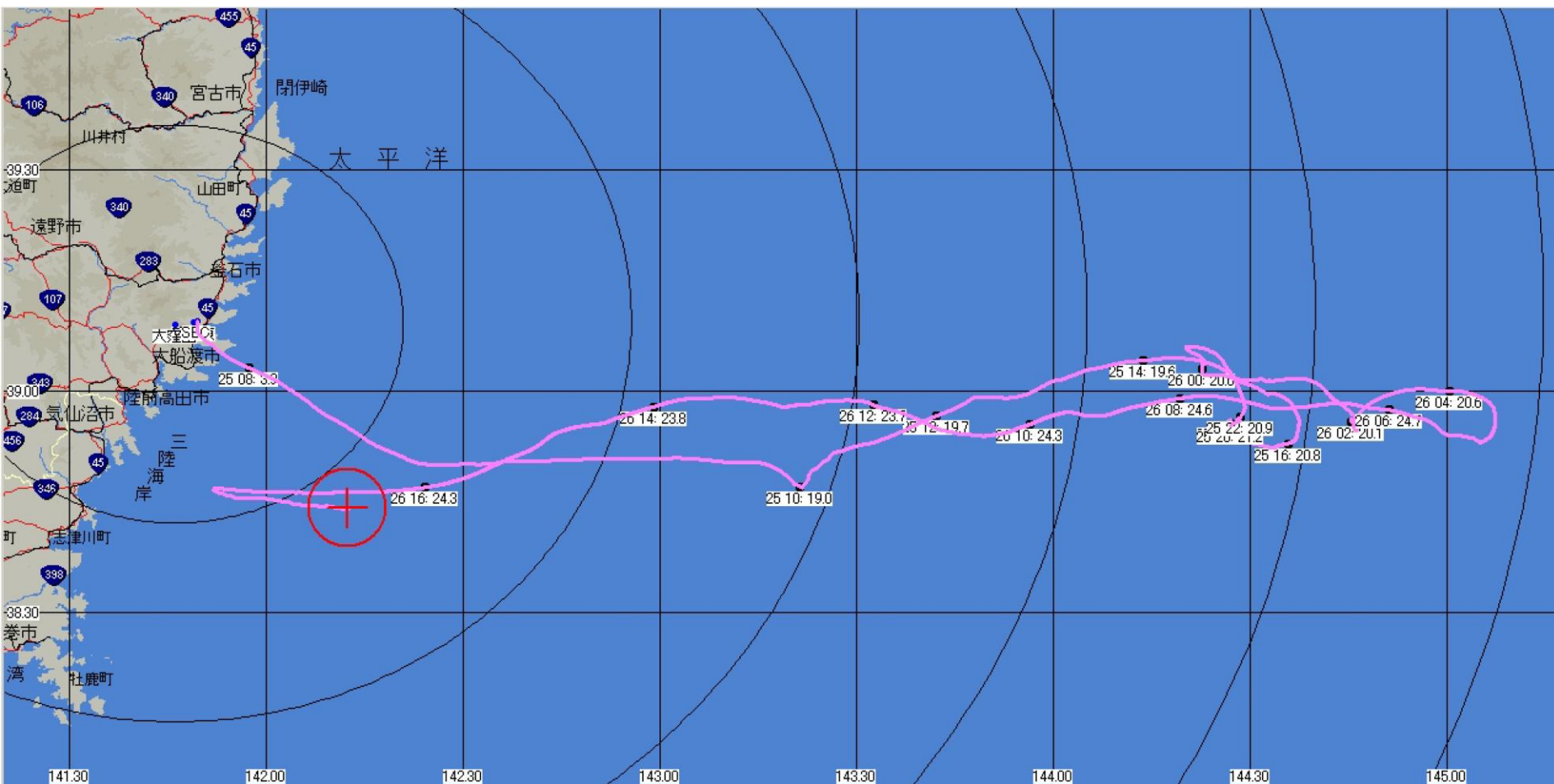




気球飛行高度の軌跡



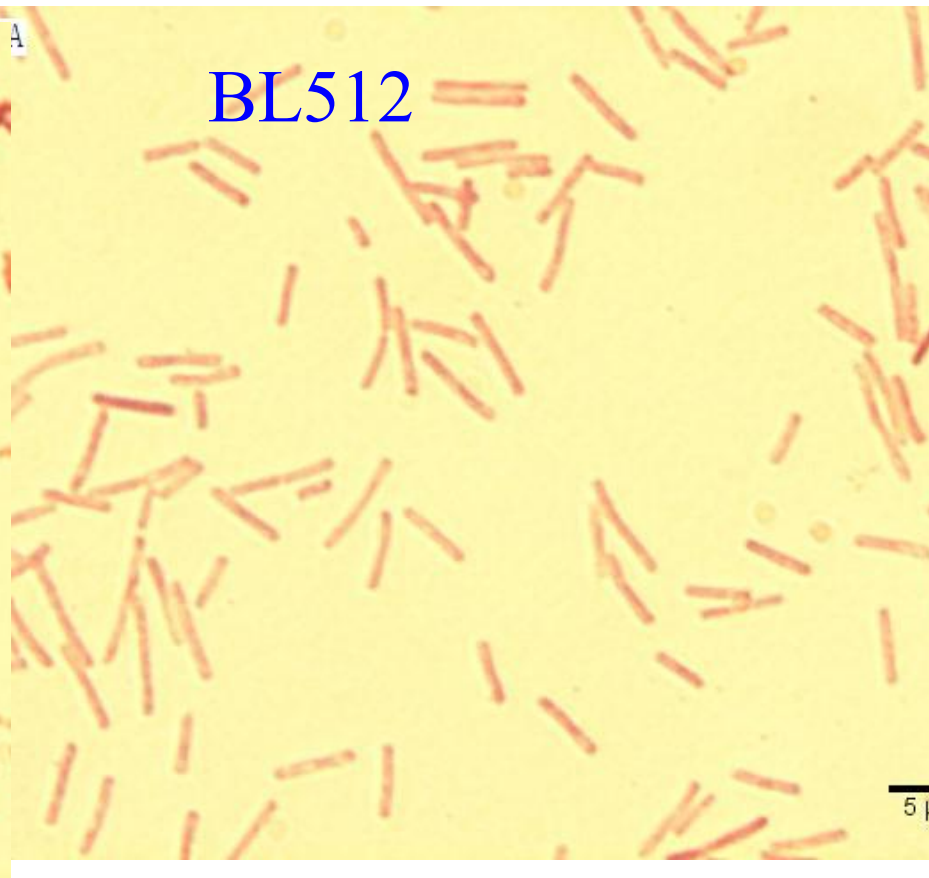
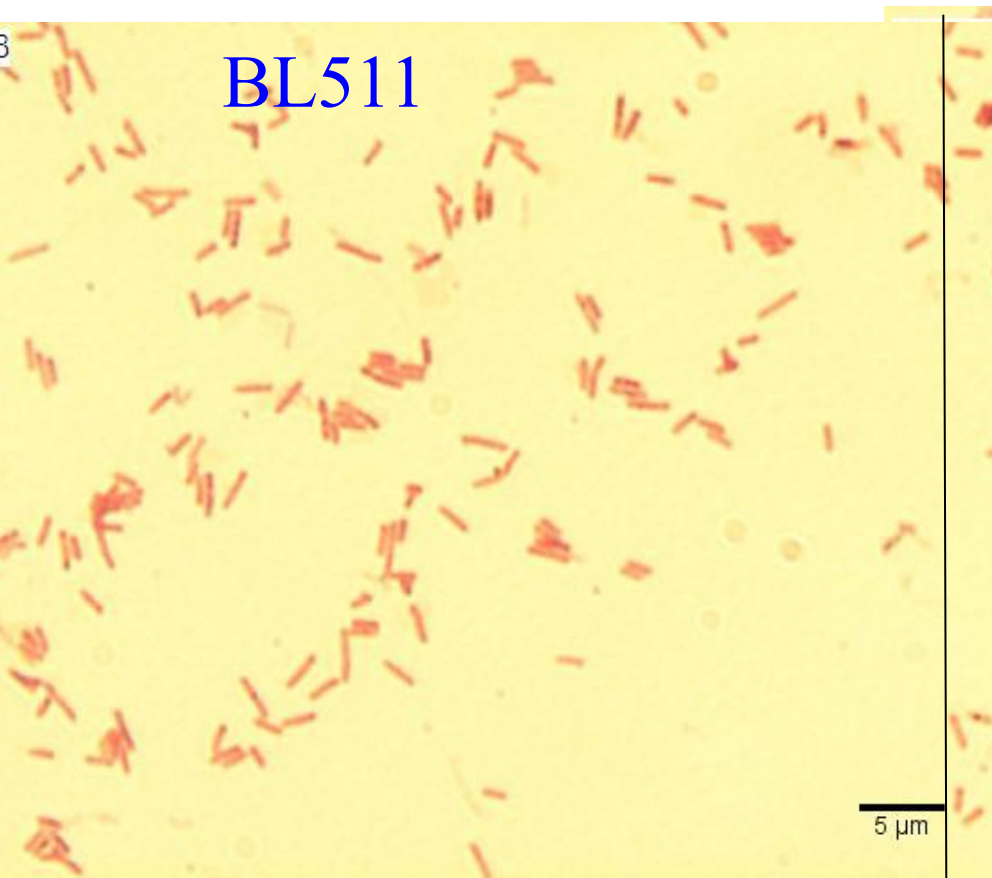
気球が飛んだ軌跡

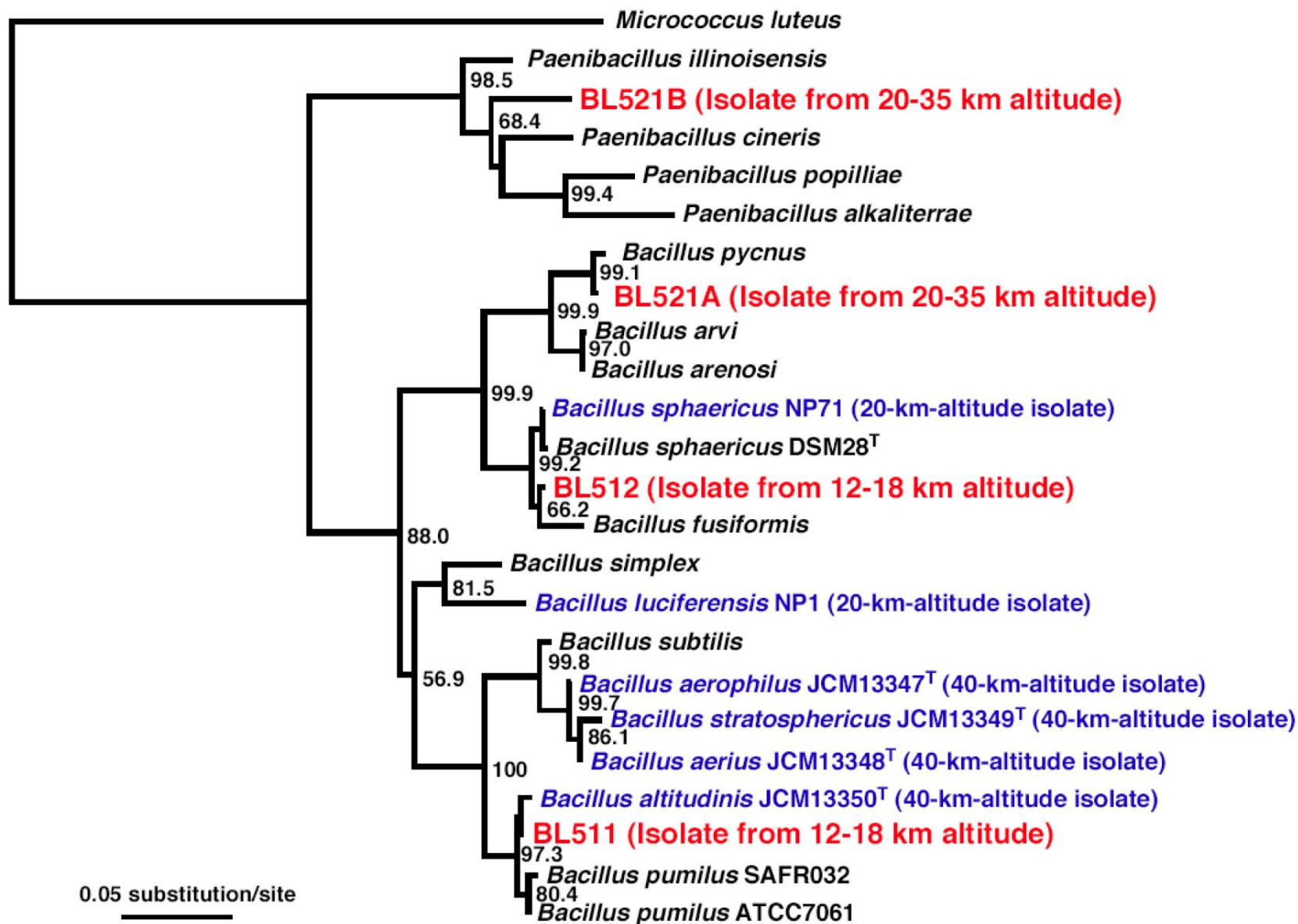




2004.08.26 14:36

気球で採集された菌





多く採集された菌種は孢子形成微生物と Deinococci (formerly classified as Micrococci)

Year	Country	Mission	Altitude (km)	Microbial Collection (Bacteria and fungi)	Density (m ⁻³)	Reference
1936	USA	Balloons	11-21	5 <i>Bacillus</i> sp., <i>Macrosporium</i> sp., <i>Rhizopus</i> sp., <i>Penicillium</i> sp. and 2 <i>Aspergillus</i> sp.	0.14	Rogers et al.
1962	USA	Balloons	9-27	(Predominant isolates) <i>Micrococci</i> and spore-forming rods, <i>Aspergillus</i> sp., <i>Alternaria</i> sp.,	0.02	Greene et al.
1963				<i>Penicillium</i> sp. and <i>Cladosporium</i> sp.		
1965						
1975	Russia	Meteorological rockets	48-77	<i>Mycobacterium</i> sp., <i>Micrococcus</i> sp., <i>Circinella</i> sp., <i>Aspergillus</i> sp., <i>Papulaspora</i> sp. and <i>Penicillium</i> sp.	31	Imshenetuky et al.
1999	Japan	Aircraft	10-12	<i>Deinococcus</i> sp.	5.3	Yamagishi
2001	India	Balloon	41	5 <i>Bacillus</i> sp., <i>Staphylococcus</i> sp.,	14	Shivaji et al.
2003	USA	Aircraft	20	2 <i>Bacillus</i> sp., <i>Penicillium</i> sp.	NG	Griffin
2005	Japan	Balloon	12-35	3 <i>Bacillus</i> sp., <i>Paenaeobacillus</i> sp.	0.4	Yamagishi

宇宙での微生物探査

国際宇宙ステーションでの 有機物・微生物の宇宙曝露と 宇宙塵・微生物の捕集（たんぽぽ） 2013年打上予定



たんぽぽ計画での課題

1. 微生物採集.
山岸明彦（東京薬科大）
2. 微生物暴露.
横堀伸一(東京薬科大.)
3. 有機化合物分析.
小林憲正(横浜国大.)
4. 有機物暴露実験.
小林憲正(横浜国大.)
5. 宇宙塵とデブリ採集.
矢野創(ISAS/JAXA)
6. ISS上でのエアロゲル試験.
河合幸 (千葉大)

有機物・微生物の宇宙曝露と
宇宙塵・微生物の捕集（たんぽぽ）

火星



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

火星隕石

火山爆発、
小天体衝突等

国際宇宙ステーション
きぼう曝露部



たんぽぽ：地球と宇宙空間の微生物と 有機物の双方向伝播



パンスペルミア：

生命の惑星間移動仮説

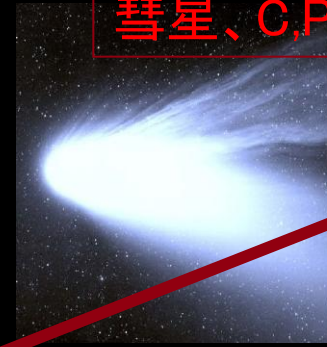
1. 圏外で微生物採集
2. 微生物の圏外生存実験

彗星、C,P,D型小惑星



火星隕石

有機物含有宇宙塵



火山爆発、
小天体衝突等

地球生命圏

ISSきぼう曝露部

[宇宙環境]

紫外線、宇宙線、
高真空、微小重力等

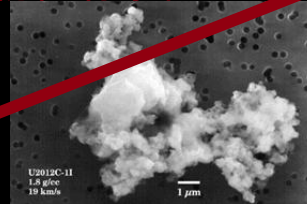
化学進化から生命へ：
生命の起源以前の宇宙由来有
機物の地球到達の可能性

3. 有機物の変成
4. 有機物含有宇宙塵の採集

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

流星群



たんぽぽミッションの目的





国際宇宙ステーションの暴露部で微生物採集

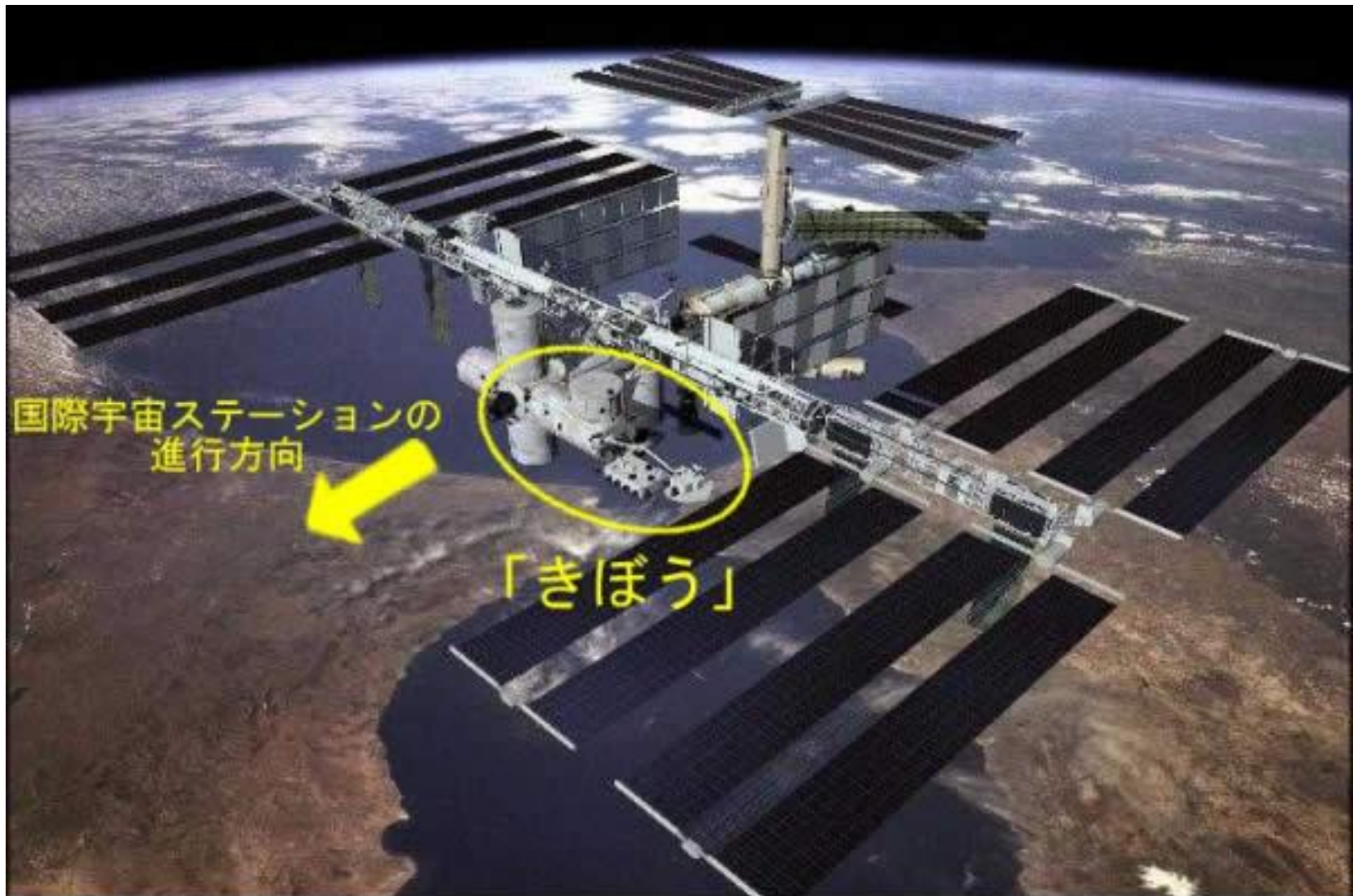
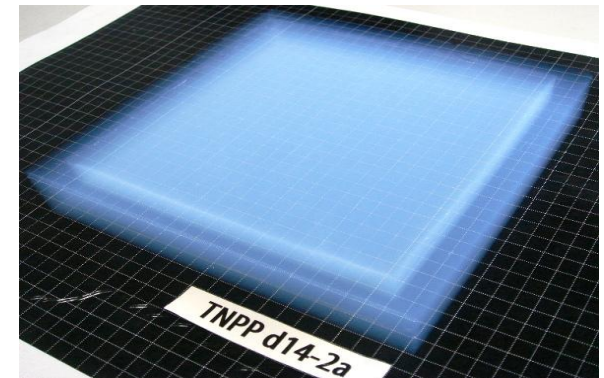
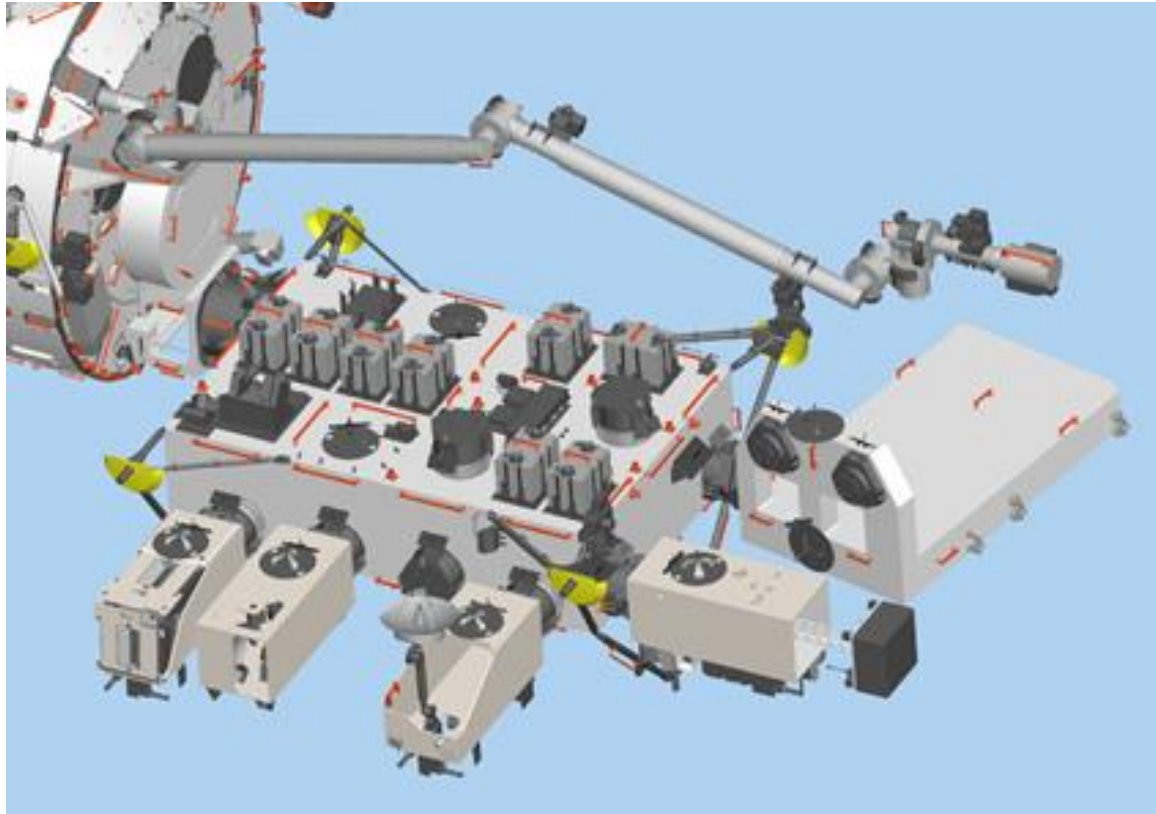
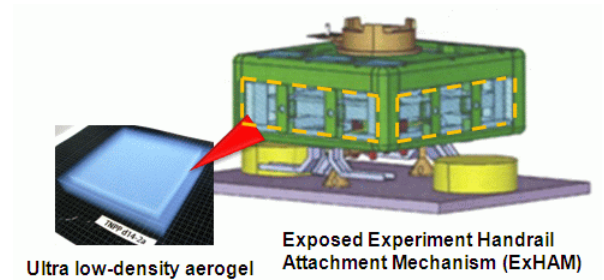


図1 国際宇宙ステーション

微生物採集の方法



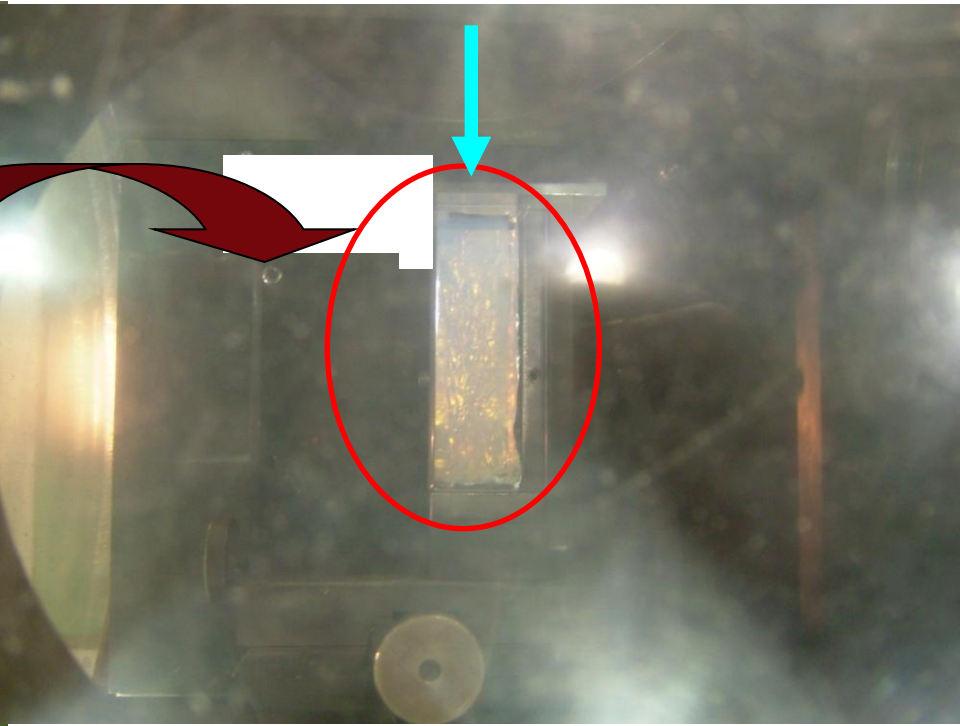
2層式エアロゲル(中央部が
 0.01 g/cm^3 、外周部が 0.03 g/cm^3)





問題点：微生物は宇宙で高速(0-16 km/s)で衝突

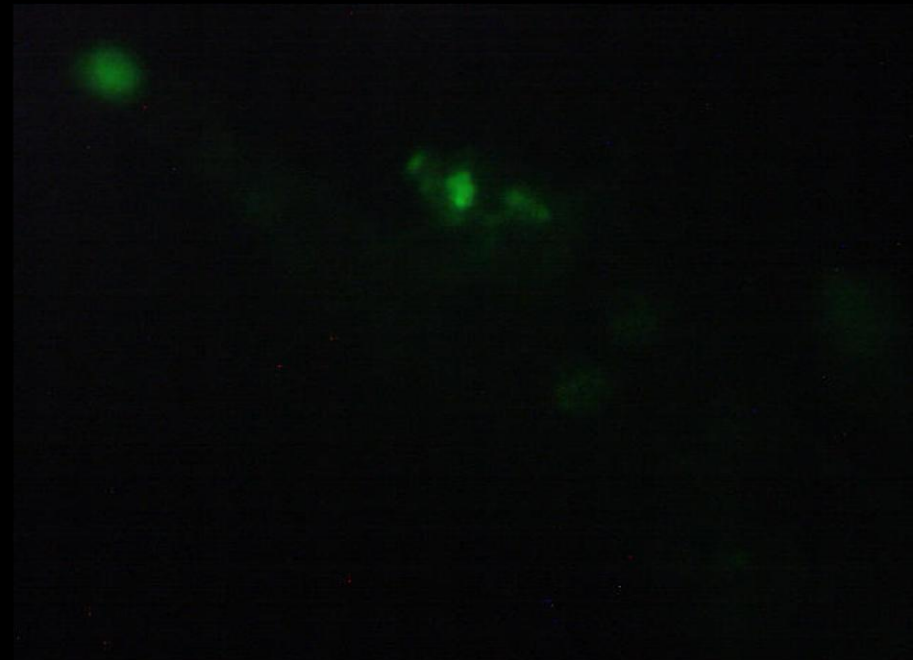
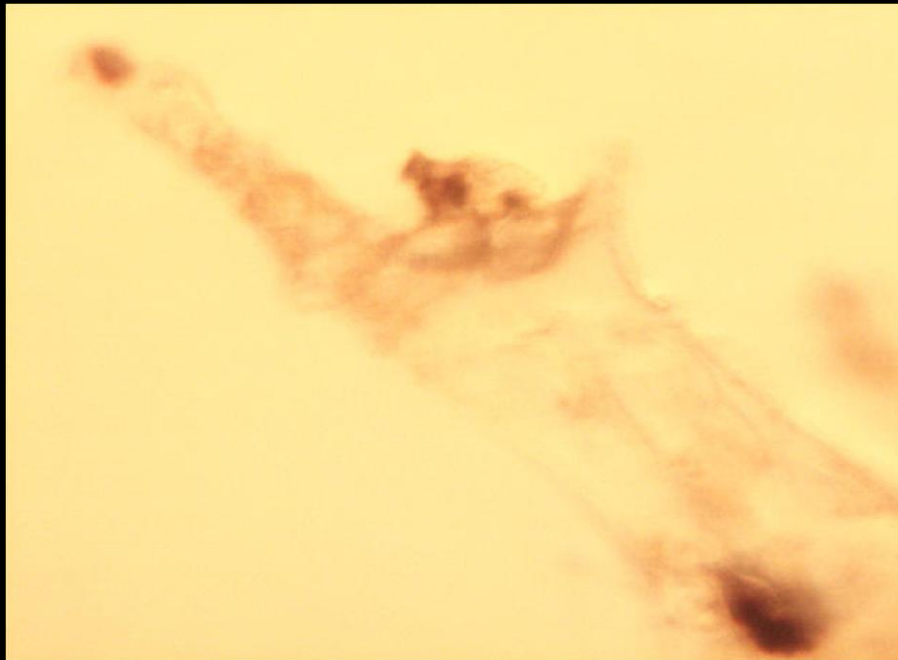
2段式ガス銃で微生物を高速でエアロゲルに衝突



微生物 (*Deinococcus radiodurans*) を
粘土鉱物と混ぜて100 μ mの粒子にしたものを弾
丸(サボ)に詰めて4 km/sに加速。



緑色蛍光色素で染色すると
エアロゲル中の衝突痕(トラック)の末端部に
緑色の蛍光(微生物)が検出された。



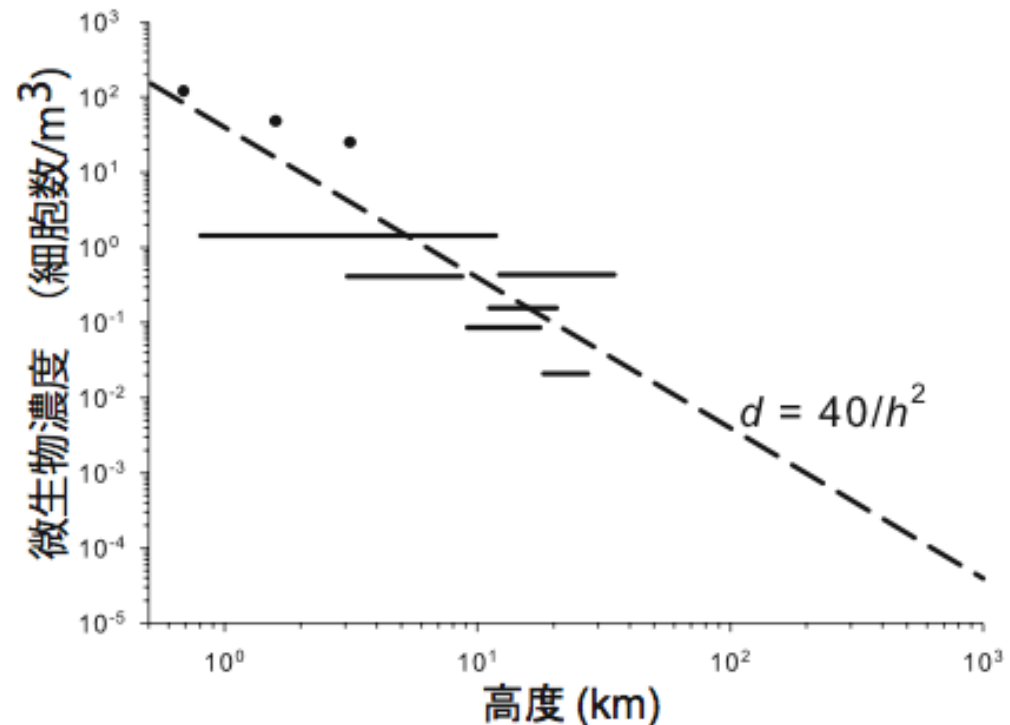
微生物採取可能



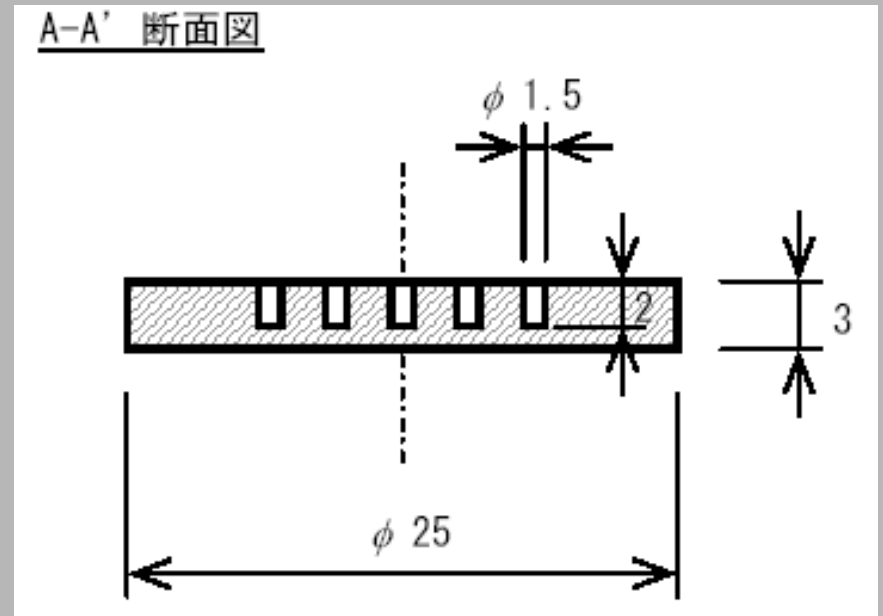
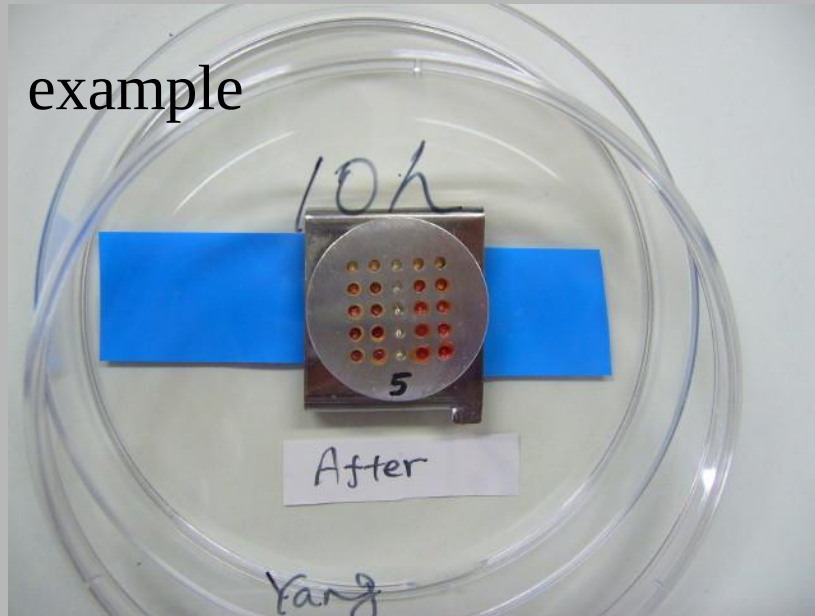
微生物はどれくらいいるか？

＜LEO高度における地球起源微生物の捕集＞

- ・推定微生物密度： $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 個/ m^3 （高度500km：先行する高々度微生物採集実験結果からの外挿）
- ・推定微生物採集量（最大）：トレー一枚当り $10^4 \sim 10^6$ 個/年



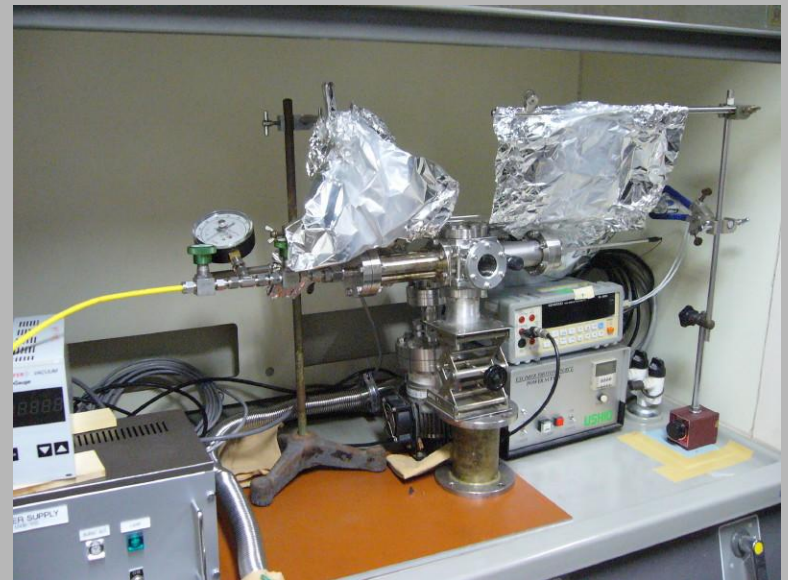
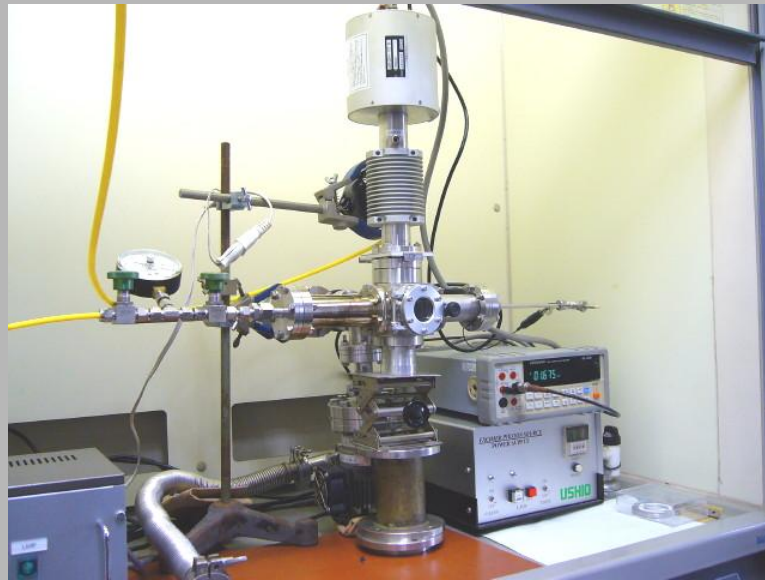
サンプルホルダー



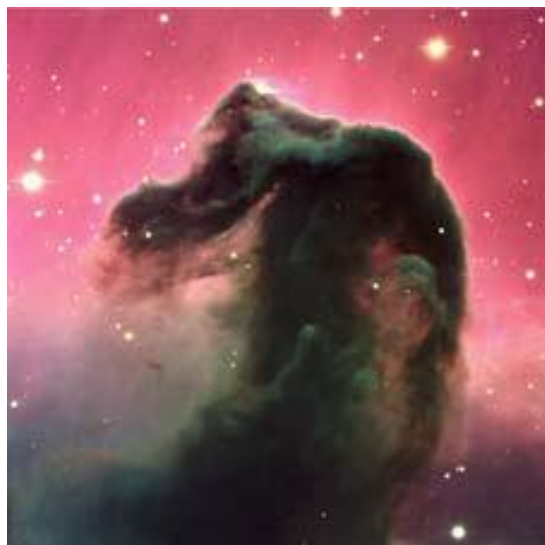
- *D. radiodurans* R1, *D. aetherius* ST316 and *D. aerius* TR125).

紫外線照射装置

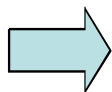
- 172nm (Extreme UV)
- 254nm (UVC)



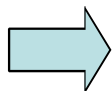
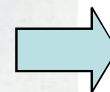
宇宙空間での有機物の生成



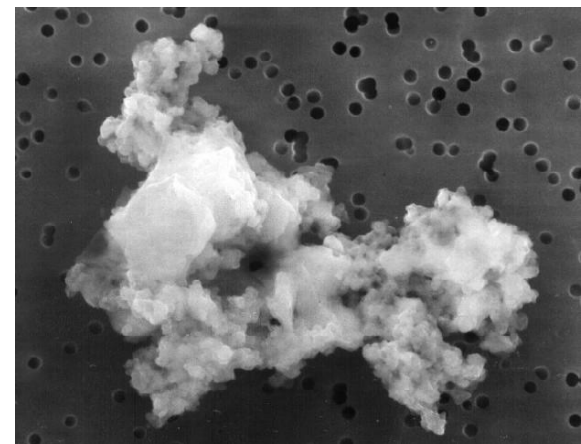
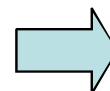
分子雲有機物



隕石有機物



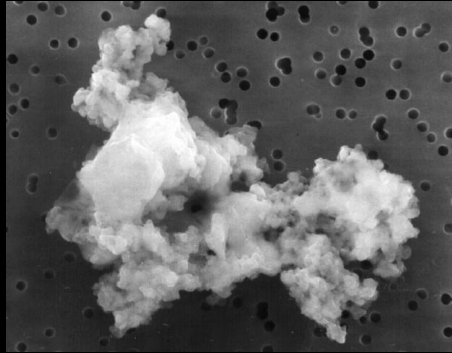
彗星有機物



惑星間塵有機物



地球へ



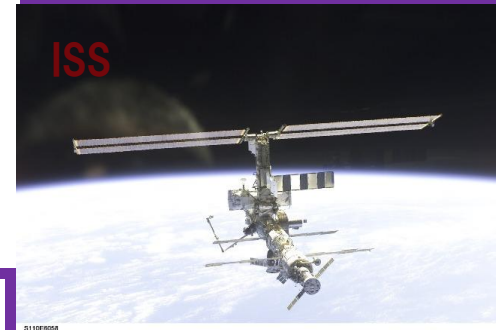
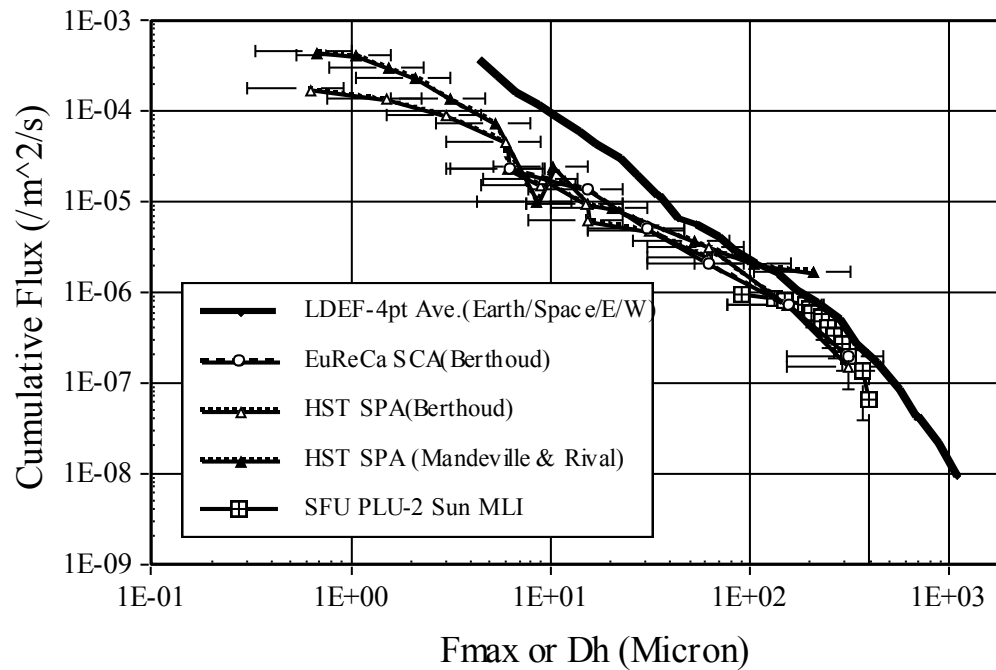
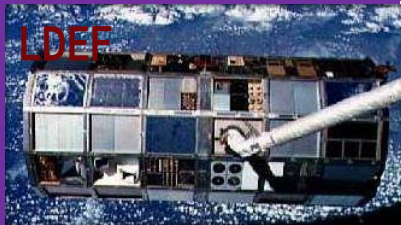
宇宙塵
(IDP)

数 μm

宇宙塵を国際宇宙ステーションで採集する



LEO Passive Measurements of Meteoroid and Debris Flux in 1980's -2000's

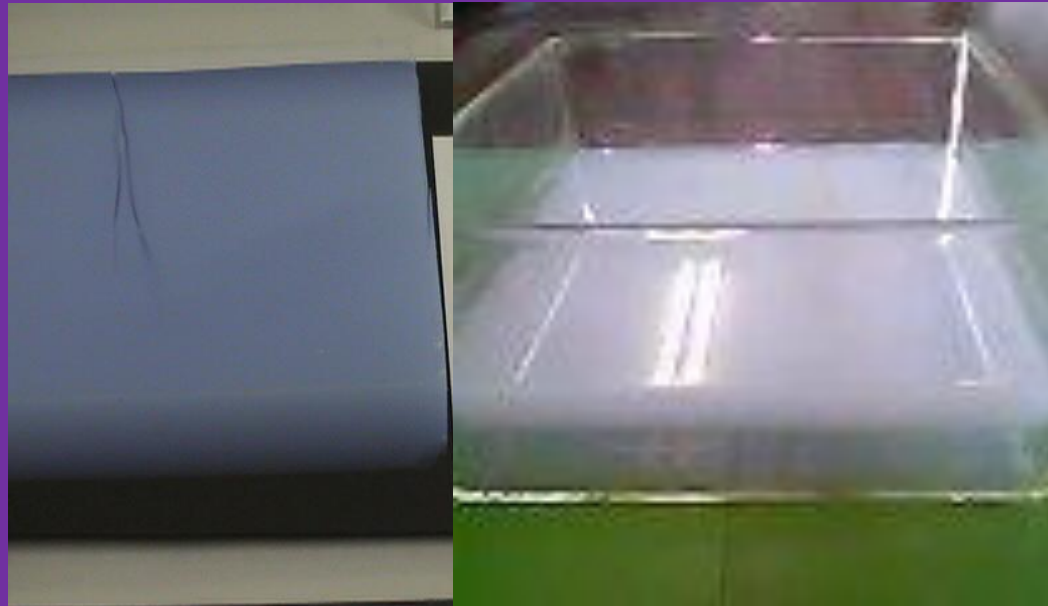


LDEF(84-90, NASA/ESA), EuReCa (92-93, ESA), HST (89-93~, NASA/ESA), SFU(95-96, JAXA)

Euro-Mir (96-97, ESA), ODC (97-98, NASA), MPAC-SEED (02-05, JAXA)

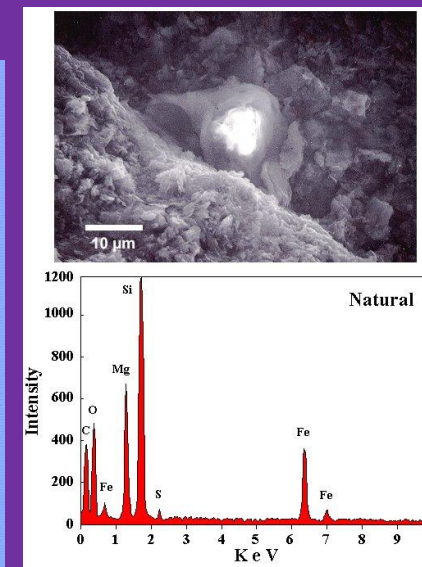
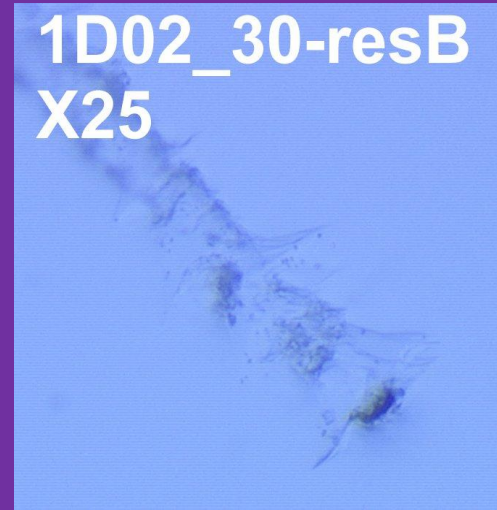
★ =Japanese Contribution

Intact Capture Media “Aerogels” Manufactured in Japan

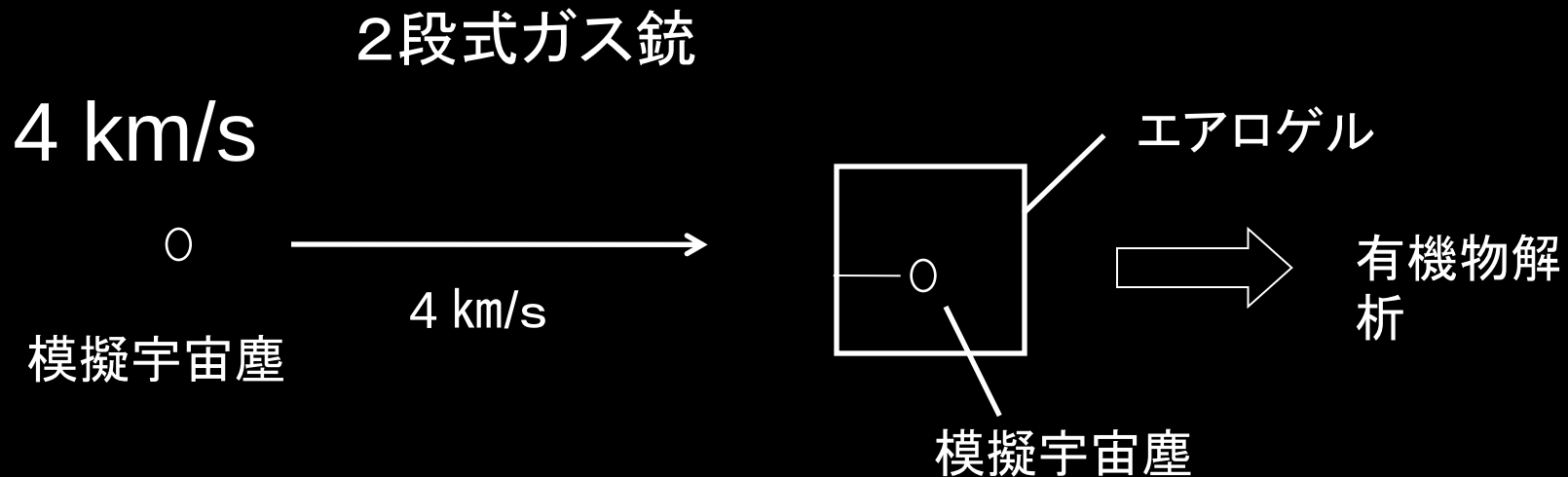


- Amorphous SiO_2
- Low bulk density ($0.003\text{--}0.35\text{ g/cm}^3$)
- Optically Transparent
- suitable for hypervelocity particle capture
- Excellent thermal insulator
(Thermal conductivity $\sim 0.017\text{ W/mK}$)
- suitable for space utilization

- Space Proven:
EuReCa, Euro-Mir,
ODC, MPAC-SEED,
Stardust, etc.
- Original tiles
manufactured at
Chiba University in
Japan

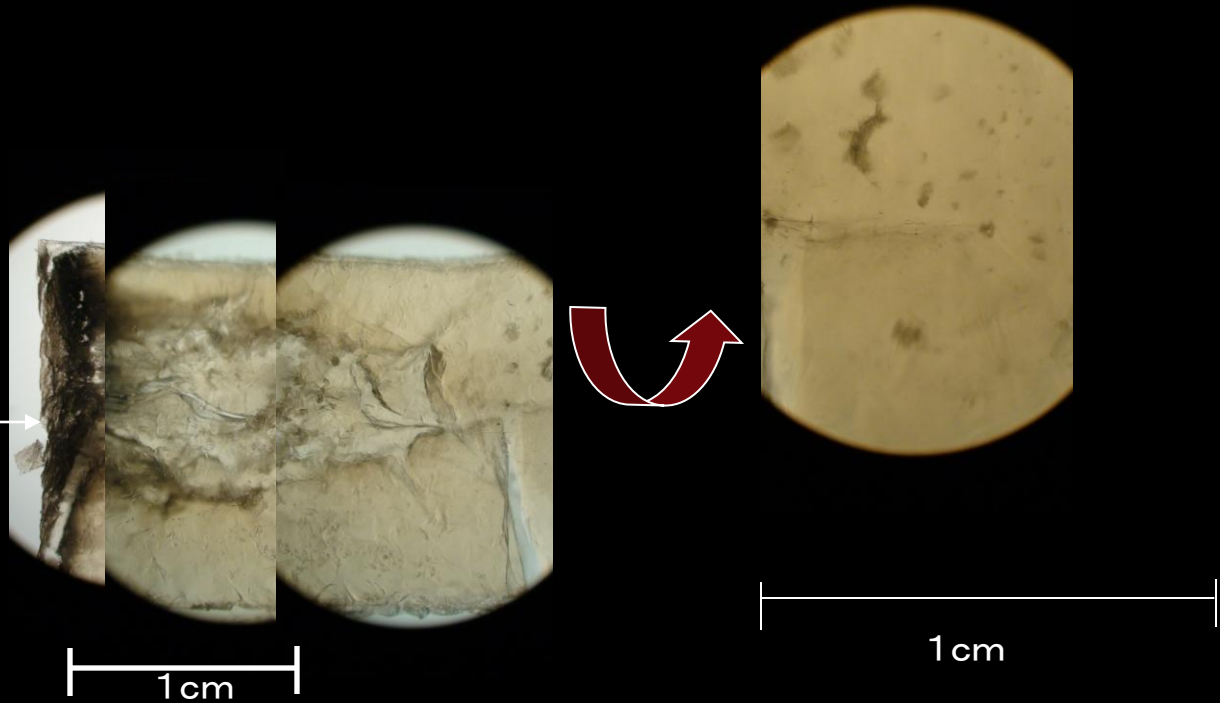


宇宙塵をエアロゲルで 採集できるか

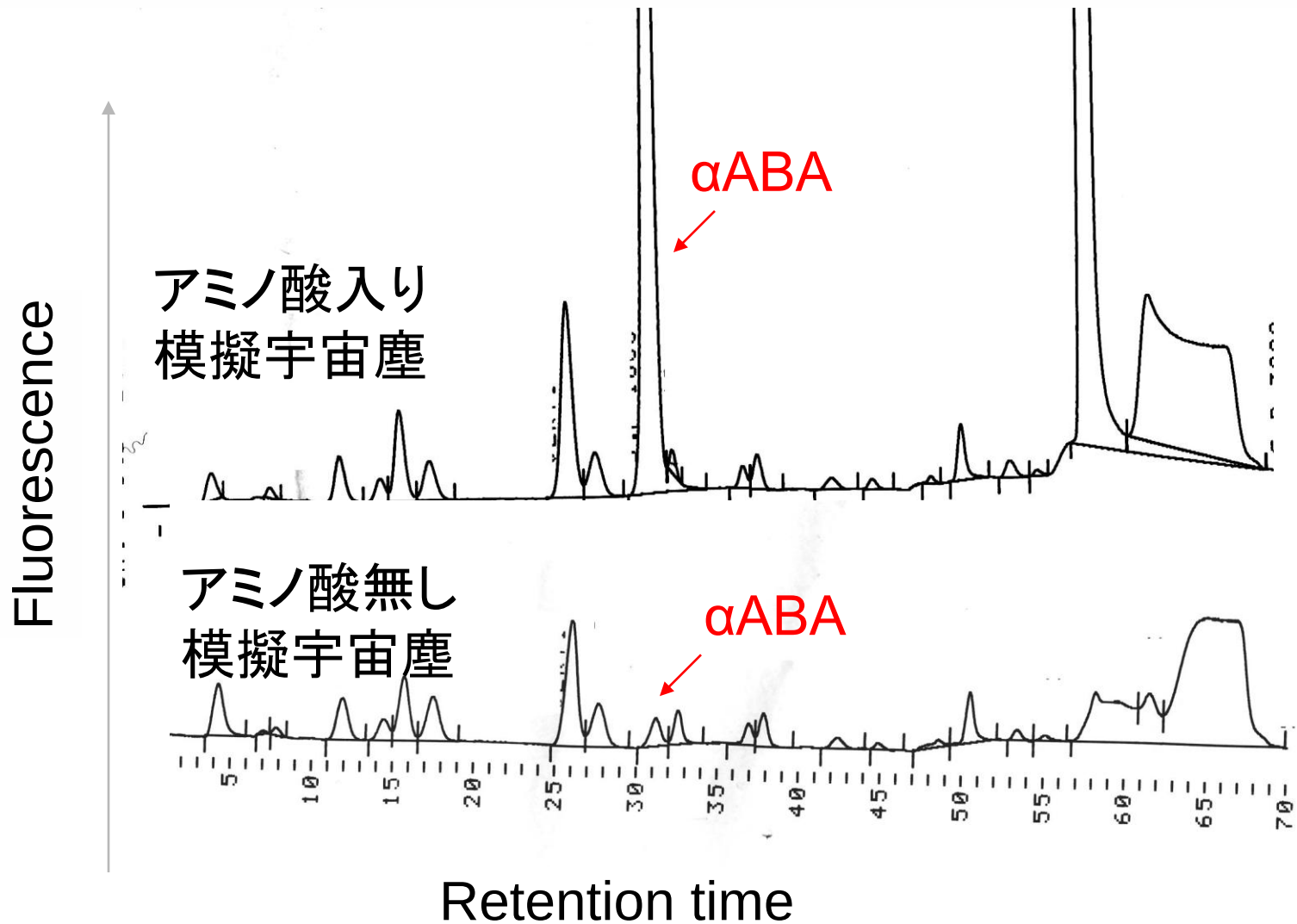


エアロゲル中の模擬宇宙塵

R- α ABA
模擬宇宙塵
(アミノ酸を含む)



アミノ酸分析結果



結論

宇宙塵中の有機物を
エアロゲルを使って、
解析することができる

国際宇宙ステーションでの
有機物・微生物の宇宙曝露と
宇宙塵・微生物の捕集（たんぽぽ）
2013年打上予定
宇宙ステーションで1から3年間採集



国際宇宙ステーションでの実験提案 有機物・微生物の宇宙曝露と 宇宙塵・微生物の捕集（たんぽぽ）

東京薬大 山岸明彦、横堀伸一、Yang Yinjie

横浜国大 小林憲正、

宇宙研 矢野 創、山下雅道、奥平恭子、長谷川直、

筑波大 橋本博文

千葉大 田端 誠、河合秀幸

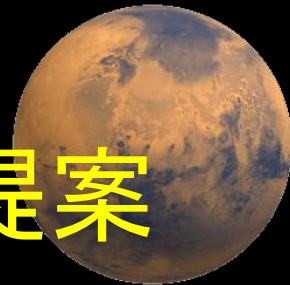
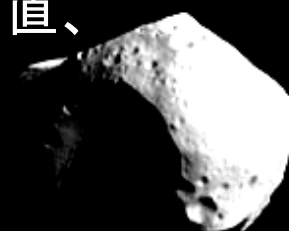
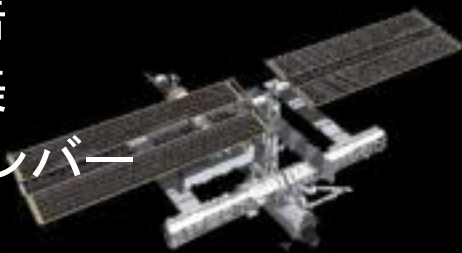
大阪大 中嶋 悟、癸生川陽子、鈴木彰子

福岡工大 三田 肇

岡山大 奈良岡浩

産総研 丸茂克美

たんぽぽWGメンバー



参考文献

Sevante Arrhenius, 1908 : Worlds in the making, Harper

Wayne L. Nicholson, Nobuo Munakata, Gerda Horneck, Henry J. Melosh, and Peter Setlow, September 2000 : Resistance of Bacillus Endospores to Extreme Terrestrial and Extraterrestrial Environments, Microbiol. Mol. Biol. Rev. vol. 64 no. 3 548-572

Gerda Horneck, David M. Klaus and Rocco L. Mancinelli, March 2010 : Space Microbiology, Microbiol. Mol. Biol. Rev. vol. 74 no. 1 121-156

G. Horneck, H. Bücker, G. Reitz, October 1994 : Long-term survival of bacterial spores in space, Advances in Space Research Volume 14, Issue 10, Pages 41–45

Gerda Horneck, November 1995 : Quantification of the biological effectiveness of environmental UV radiation, Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, Volume 31, Issues 1–2, Pages 43–49

参考文献

Rocco L Mancinelli, Melisa Klovstad, September 2000 : Martian soil and UV radiation: microbial viability assessment on spacecraft surfaces, Planetary and Space Science Volume 48, Issue 11, Pages 1093–1097

Narlikar, J. V., Wickramasinghe, N. C., Wainwright, M., Rajaratnam, P., 10 JULY 2003 : CURRENT SCIENCE, VOL. 85, NO. 1

Yinjie Yang, Shin-ichi Yokobori, Akihiko Yamagishi, 15 April 2009 : Bacterial survival in response to desiccation and high humidity at above zero and subzero temperatures, Advances in Space Research Volume 43, Issue 8, Pages 1285–1290