

P07

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」：その概要と準備状況

山岸明彦(東京薬大・生命科学)、○横堀伸一(東京薬大・生命科学)、矢野創(JAXA/ISAS)、橋本博文(JAXA/ISAS)、河口優子(JAXA/ISAS)、今井栄一(長岡技大・生物)、奥平恭子(会津大)、河合秀幸(千葉大・院理)、癸生川陽子(横浜国大・院工)、小林憲正(横浜国大・院工)、佐々木聡(東京工科大・応用生物)、田端誠(千葉大・院理)、中川和道(神戸大・院人間発達環境)、東出真澄(JAXA・未踏技術研究セ)、三田肇(福岡工大・工)、薮田ひかる(大阪大・院理)、たんぽぽ研究チーム

我々は、ISS-JEM(国際宇宙ステーション・日本実験棟)曝露部上での微生物と生命材料となり得る有機化合物の天体間の移動の可能性の検討と微小隕石の検出および解析実験を提案し[たんぽぽ:有機物・微生物の宇宙曝露と宇宙塵・微生物の捕集]、その準備を進めている。超低密度エアロゲルを長期間(1年以上)曝露し、惑星間塵や宇宙デブリを含む微粒子を捕集するとともに、新規に開発したエアロゲルの利用可能性を検証する。捕集された微粒子とそれが形成する衝突痕(トラック)に対して、微生物または微生物関連生体高分子(DNA等)や有機物の検出、解析を行う。また、微生物を宇宙曝露する事により、微生物の宇宙環境での生存可能性と、生存に影響を与える環境因子について、推定を行う。また、宇宙塵に含まれて地球に飛来する有機物が宇宙空間で変成する可能性を検討する。本発表では、本計画の概要と現時点での準備状況等について報告する。



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」：その概要と準備状況

山岸明彦¹、〇横堀伸一²、矢野創³、今井栄一³、奥平恭子⁴、河合秀幸⁵、河川優子⁶、発生川岡⁶、小林恵正⁷、佐々木聰⁸、田端謙⁹、中川和道⁹、東出真澄⁹、三田肇¹⁰、菰田ひかる¹¹、橋本博文¹²、たんぽぽ研究チーム
¹東京薬大・生命科学、²JAXA/ISAS、³長岡技術大・生物、⁴金澤大、⁵千葉大・院理、⁶横浜国大・院工、⁷東京工科大・応用生物、⁸神戸大・院人間発達環境、⁹JAXA・未踏技術研究セ、¹⁰福岡工大・工、¹¹大阪大学・院理

たんぽぽ計画とは？

超低密度固体エアロゲルを1年以上の長期宇宙曝露する事で、宇宙塵や宇宙デブリを含む微粒子を捕集する。同時に微生物の曝露を試みることで、地球低軌道での地球由来微生物の存在密度の上限を推定する。また、地上で培養した微生物を宇宙空間に曝露する事によって、微生物の宇宙環境での生存時間の推定を行う。そこから、地球由来微生物の惑星間移動の可能性を検討する。さらに、宇宙塵に含まれて地球に飛来する有機物が宇宙空間で変化する可能性を検討する。同時に新規に開発したエアロゲルの利用可能性を検討する。
 実際は、微生物と有機物を曝露するためのサンプル・トレイ・エアロゲルを衛星として「たんぽぽ」打上げ、国際宇宙ステーションと近接で汎用曝露装置 (ExHAM) に固定する。ExHAMをエアロロックを有して、ロボットアームで曝露装置・ハンドリングに固定する。一定時間 (1年以上) 後、与圧舱に取り込んだExHAMからサンプル・トレイとエアロゲル・パネルを取り外し、容器に収納して地球に帰還する。地上で、鉱物、有機物、微生物解析を行う。
 2015年実験開始を目指して、準備を進めている。



微粒子の捕集

テーマ5：「世界最高性能エアロゲル」の宇宙実証

世界最高水準の超低密度エアロゲルを開発し、これをISSで曝露して第1、4、6サブテーマの捕集実験を行うことにより、宇宙空間での捕集能力を実証する。

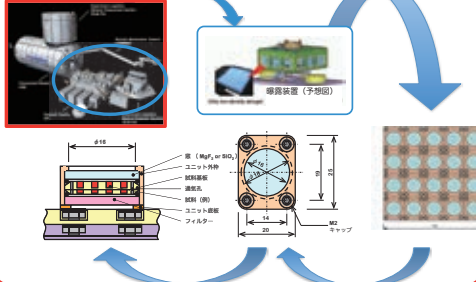
主成分：シリカ (SiO₂)
 上部の密度：0.01 g/ml
 下部の密度：0.03 g/ml
 超低密度であり衝撃時の抵抗が少ない
 抵抗が少ないことで微粒子の捕集効率が高くなる
 これまで様々な宇宙での捕集実験に使用されてきた
 空気の分子の衝撃を受けやすいためである
 (Takahata et al., 2011)

初期解析

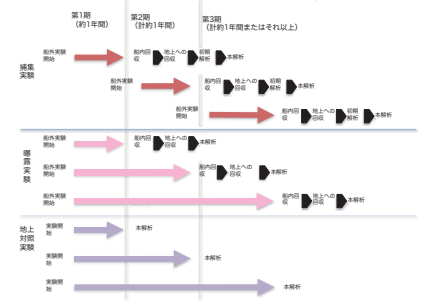
菰田ひかる (大阪大)、三田肇 (福岡工大)、奥平恭子 (金澤大)、矢野創 (JAXA)、小林恵正 (横浜国大)、山岸明彦 (東京薬大)、横堀伸一 (東京薬大)

曝露ユニット

山岸明彦 (東京薬大)、橋本博文 (JAXA)、今井栄一 (長岡技術大)、佐々木聰 (東京工科大)、矢野創 (JAXA)、横堀伸一 (東京薬大)、他



たんぽぽ実験の運用計画

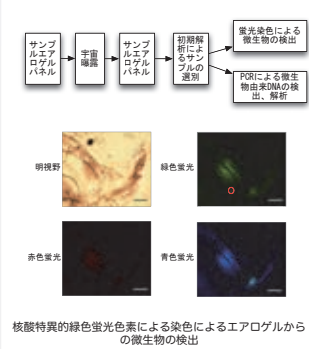


宇宙曝露

テーマ1：「地球から宇宙へ」微生物捕集

山岸明彦 (東京薬大)、横堀伸一 (東京薬大)、河川優子 (JAXA) 他

地球への小天体衝突、超高度大気でのスプライトに関する電磁的軌道観測機、火山噴火等の現象、あるいは人間の宇宙活動に隣接して地球表面を脱し、地球低軌道高度に分布している可能性のある地球起源微生物 (あるいはその痕跡) をエアロゲルで捕集すること、地球の宇宙空間への脱出可能性を検証する。



核酸特異的緑色蛍光色素による染色によるエアロゲルからの微生物の検出

テーマ2：「地球微生物の宇宙生存」微生物の曝露実験

地球から脱出した微生物、あるいは火星等地域以外の生命を育む可能性のある太陽系天体を脱出した微生物が、宇宙空間で紫外線や宇宙線を受けた状態での生存可能時間やその条件を推定する。

横堀伸一 (東京薬大)、山岸明彦 (東京薬大)、鳴海一成 (東洋大)、富田横谷香織 (筑波大)、林宣宏 (東京工大)、他

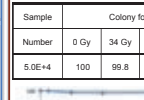
宇宙曝露候補微生物と曝露条件 (紫外線等の遮光)

種 (株名)	UVB (280-315 nm) 透過率 (%)	UVC (254 nm) 透過率 (%)	完全遮光	曝露微生物の特性
Deinococcus radiodurans				
R1	0	0	0	放射線・紫外線耐性、 <i>D. radiodurans</i> のタイプ株 (標準株)
KH311	0	0	0	<i>Deinococcus</i> に属する、放射線耐性が高い
UVS78	0	0	0	<i>Deinococcus</i> に属する、放射線耐性が高い
rec30	0	0	0	<i>Deinococcus</i> に属する、放射線耐性が高い
Deinococcus aerius TR125	0	0	0	高々大気中から捕集された <i>Deinococcus</i> 属、紫外線耐性、放射線耐性を示す
Deinococcus aerius ST0316	0	0	0	高々大気中から捕集された <i>Deinococcus</i> 属、紫外線耐性、放射線耐性を示す
Nostoc sp. HK-01	0	0	0	極限環境微生物
Schizosaccharomyces pombe	0	0	0	分枝酵母 (酵母) 類、真核生物

Nostoc sp. HK-01の顕微鏡写真



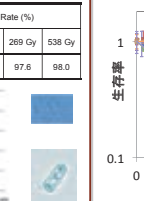
分枝酵母 (Schizosaccharomyces pombe) のHe線に対する耐性



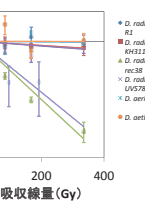
Deinococcus真正細菌の地上実験データの概要 (地上実験に基づくISS上の推定一年後生存率)

	VUV (172 nm) 厚 (mm)	VUV (172 nm) 厚 (mm)	UVC (254 nm) 厚 (mm)	UVC (254 nm) 厚 (mm)	Heavy Ion Beam	160°C cycle	160°C cycle	相乗 (80°C) (Vacuum) を別にカウントしない	相乗 (80°C) (Vacuum) を別にカウントしない
Deinococcus radiodurans R1	0.85	0.1	0.34	0.1	1	5.6E-06	3.3E-03	1.8E-04	1.0E-03
D. radiodurans UVS78	0.84	0.2	0.091	0.2	1	1.30E-03	2.90E-05	9.9E-32	2.2E-09
D. radiodurans KH311	0.65	0.2	8.2E-03	0.2	1	8.50E-06	2.90E-03	4.5E-08	1.6E-06
D. radiodurans rec30	0.35	0.2	0.091	0.2	1	2.60E-41	2.50E-06	8.3E-43	8.0E-10
D. aerius TR125	0.49	0.2	0.45	0.5	1	1.8E-18	9.0E-03	4.0E-19	2.0E-03
D. aerius ST0316	0.63	0.2	0.7	0.1	1	2.9E-03	3.0E-02	1.3E-03	1.3E-02

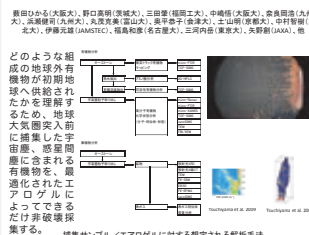
各菌株の生存率 (He線照射)



各菌株の生存率 (真空、-60°C~-60°C)

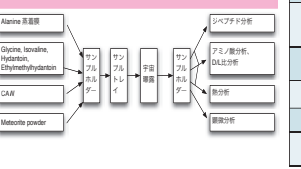


テーマ4：「宇宙から地球へ」惑星間塵に有機物分析



テーマ3：「地球外有機物の宇宙変性」高分子有機物の曝露実験

宇宙環境における有機物の生成・変性・分解を調べ、恒星間での有機物の化学進化と地球生命の起源を推定すること、地球と地球外天体の間で生命の移動可能性を、生体有機物の安定性の観点から検討する。

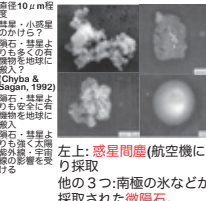


小林恵正 (横浜国大)、三田肇 (福岡工大)、中川和道 (神戸大)、菰田ひかる (大阪大)、他

宇宙曝露候補有機化合物 (MgF₂による遮光、石英ガラスによる遮光、完全遮光)

化合物名	化学式	構造式	化合物の特性
グリシン	C ₂ H ₅ NO ₂		生体中にも最も豊富に含まれるアミノ酸の安定性・変性を調べる。この化合物はα位に酸性性のプロトンがあり、プロトンをもたず光学異性体の偏りが知られているイソバリンとの安定性を比較する。
イソバリン	C ₂ H ₅ NO ₂		生体中では光学異性体の偏りが報告されているイソバリンの安定性・変性を調べる。この化合物はα位に酸性性のプロトンがないため、通常のα/β異性体よりも安定であると予想される。またイソバリンは、炭素原子中に豊富に含まれる、地球上のホモキラリティーの起源を調べる上で重要なアミノ酸である。
ヒダントイン	C ₄ H ₅ N ₃ O ₂		グリシンの低分子前駆体。グリシン (アミノ酸) 前駆体、エチルメチルヒダントイン (α-プロトンの有無) との安定性の比較を行う。なお、グリシンは、炭素原子中に豊富に含まれる。
メチルエチルヒダントイン	C ₄ H ₅ N ₃ O ₂		イソバリンの低分子前駆体。この化合物はα位に酸性性のプロトンがないため、通常のα/β異性体の前駆体と考えられるヒダントインよりも安定であると予想される。
有機窒素分子	CO, NH ₃ , H ₂ O		アミノ酸の前駆体。窒素分子量より供給されたと考えられる有機窒素の安定性、低分子前駆体アミノ酸と比較する。
アラニン	C ₃ H ₇ NO ₂		MgF ₂ を透過する真空紫外線 (VUV) 照射による分解、イソバリンを調べるとともにヒダントインという化学物質が宇宙で起こることを実証する。SiO ₂ の透過率は極限の真空紫外線照射として用いる。

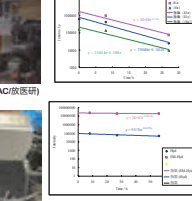
有機物の地球へのキャリアー：宇宙塵 vs. 隕石・彗星



宇宙塵有機物の安定性・変性評価 (地上実験)



UVI72 nmによる有機物の分解



有機物曝露試験の1年後残存率 (地上実験によるISS環境の推定値)

曝露試験	紫外線 (エキシマランプ) による分解 (%)	温度 (%)	残存率 (左側から右側へ)
グリシン	2.10x10 ⁻⁵	99%	100%
イソバリン	2.90x10 ⁻⁶	>99%	100%
ヒダントイン	29%	100%	29%
エチルメチルヒダントイン	72%	>99%	100%
有機窒素分子	98%	100%	98%

テーマ6：「微小スペースデブリフラックス評価」

東京薬大 (JAXA)、水戸大 (JAXA)、他
 地上観測で検出できないサブmmオーダーの微小スペースデブリ及び小天体のフラックスを継続的に捕集してそのフラックスを推定し、ISS軌道上の宇宙環境に与える危険性評価を行う。