

## たんぽぽ計画の運用・試料分析について

### 1. 軌道上運用

#### 1-1. 捕集パネルの軌道上運用

- (1) 捕集パネル3セット（1セットは約12区画分）を同時に打ち上げ、その内1セットを ExHAM\*1 に取付け、第一年目の曝露を行う。残りの2セットは船内実験室で室温保存する。
- (2) 約1年後に ExHAM を船内実験室に回収し、捕集パネル1セットを取り外し地上に帰還後、初期分析チームに引渡す。
- (3) 船内実験室で保存していた捕集パネル2セットの内、1セットを ExHAM に取付け、第二年目の曝露を開始する。
- (4) 約1年後に ExHAM を船内実験室に回収し、捕集パネル1セットを取り外し地上に帰還後、初期分析チームに引渡す。
- (5) 船内実験室で保存していた捕集パネル1セットを ExHAM に取付け、第三年目の曝露を開始する。
- (6) 約1年後に ExHAM を船内実験室に回収し、捕集パネル1セットを取り外し地上に帰還後、初期分析チームに引渡す。

#### 1-2. 曝露パネルの軌道上運用

- (1) 曝露パネル3枚を同時に打ち上げ、全てを ExHAM に取付け、第一年目の曝露を行う。対照パネル3枚は船内実験室で室温保存する。
- (2) 約1年後に ExHAM を船内実験室に取り込み、1年間宇宙に曝露された曝露パネル1枚を取り外す。曝露パネルは、対照パネル1枚と同じ場所に保管し、2枚とも同時に地球へ帰還させる。
- (3) 残る曝露パネル2枚を搭載したままの ExHAM は、捕集パネルの交換が完了し次第、第二年目の曝露を開始する。
- (4) 約1年後に ExHAM を船内実験室に取り込み、2年間宇宙に曝露された曝露パネル1枚を取り外す。曝露パネルは、対照パネル1枚と同じ場所に保管し、2枚とも同時に地球へ帰還させる。
- (5) 残る曝露パネル1枚(温度計付属のタイプ)を搭載したままの ExHAM は、捕集パネルの交換が完了し次第、第三年目の曝露を開始する。
- (6) 約1年後に ExHAM を船内実験室に取り込み、3年間宇宙に曝露され

た曝露パネルの最後の1枚を取り外す。曝露パネルは、対照パネルと同じ場所に保管し、2枚とも同時に地球へ帰還させる。

\*<sup>1</sup>ExHAM: 簡易曝露実験装置。紹介ビデオとパンフレットは以下サイトに掲載 (<http://iss.jaxa.jp/kiboexp/equipment/ef/exham/>)

## 2 地球回収後初期分析

地上に帰還した全ての捕集パネルと曝露パネルは、以下のような初期分析が行なわれた後、個々のサブテーマに即した詳細分析のために分配供与される。

### 捕集パネル

- ① 捕集パネルを構成するアルミ容器とエアロゲルについて、光学顕微鏡等を用いて観察・撮影し、微粒子の衝突痕の位置、数、形状、入射方向、捕集された試料の個数・サイズ等を記録する。
- ② エアロゲル上のいくつかの選択した捕集微粒子については、衝突痕全体を含む小片を切り出して、分析担当機関に分配する。

### 曝露パネル

初期観察・撮影の後、試料ユニットごとに分割し、分析担当機関に分配する。

## 3. 詳細分析

### 3-1 第一サブテーマ「地球から宇宙へ」

地球由来の微生物を含む可能性のあるエアロゲルの衝突痕および捕集微粒子に対して、以下のような分析を試みる。

- ① DNA に特異的に結合し、ある波長領域で蛍光を発する蛍光染色液で染色する。蛍光顕微鏡で観察し、DNA の蛍光が観察されれば、微生物が捕集されたと判断する。

- ② ①の方法で、DNA の染色が認められた場合は、PCR\*1による DNA を増幅する。増幅に成功したら、地球生物の DNA と比較し、捕集された微生物の種類を決める。

なお、ISS 船内実験室に浮遊している微生物と宇宙飛行士の軽い接触等は捕集パネルに衝突痕を形成しないので、識別可能である。

\*1PCR: ポリメラーゼ連鎖反応。目的の遺伝子(DNA)を酵素を利用し、増幅する方法

### 3-2. 第二サブテーマ「地球微生物の宇宙生存」

地球微生物が宇宙で長期生存が可能かどうかを検証するために、国際宇宙ステーション曝露部に微生物を数年間にわたり曝露し、生存するかを調べる。

放射線や紫外線に対する耐性が高い *Deinococcus* (デイノコッカス)属真正細菌を宇宙曝露する。*Deinococcus* 属の中でも放射線や紫外線耐性菌の代表として知られる *Deinococcus radiodurans* R1 株(デイノコッカス ラディオデュランス)と、高層大気中から単離された *Deinococcus aerius* (デイノコッカス アエリウス：対流圏上部から採集) および *Deinococcus aetherius* (デイノコッカス アエセリウス：成層圏下部から採集) を曝露する。

また、生物には様々な DNA 修復経路が知られているが、それぞれ修復可能な DNA 損傷に違いがある。そこで野生型株 (DNA 修復経路遺伝子欠損の無い株) である *D. radiodurans* R1 株と、異なる DNA 修復経路遺伝子が欠損している 3 株の生存率などを比較し、宇宙で生じる DNA 損傷の種類と程度を推定する。

さらに、紫外線や放射線耐性の高いシアノバクテリア *Nostoc* sp. HK-01 (真正細菌の一種、ラン藻とも呼ばれる) と分裂酵母 *Schizosaccharomyces pombe* JY3 (真核生物、真菌の 1 種) 胞子の宇宙生存可能性もあわせて検証する。

宇宙空間での微生物曝露ではいくつかの異なる曝露条件を用意している。アルミ板で紫外線を含む光が遮蔽された条件、石英ガラス窓で 200 nm より

短波長の紫外線を遮蔽した条件、MgF<sub>2</sub> ガラス窓で 150 nm より短波長の紫外線を遮蔽した条件に曝露する。アルミ板で紫外線を遮蔽した微生物サンプルと、異なる波長域の紫外線に当たった微生物サンプルの間で生存率を比較して、それぞれの波長域の違いによる影響を検討する。また、微生物の集積状態の違い（実験上はサンプル厚）による紫外線の影響を検討する。

### 3-3. 第三サブテーマ「地球外有機物の宇宙変成」

宇宙塵中に含まれることが予想される有機物が宇宙空間を移動中にどのような変化を受けるかを調べる。そのために宇宙曝露後に回収された有機物試料 (Glycine, Isovaline, Alanine, Hydantoin, Etylmethylhydantoin, CAW = 実験室で作成した模擬星間塵有機分子) に対して以下の解析を行う。

- a) アミノ酸分析 (Glycine, Isovaline, Alanine)
- b) アミノ酸の光学異性体比 (D/L 比) 分析 (Alanine, Isovaline)
- c) 加水分解後のアミノ酸分析および光学異性体比分析 (Hydantoin, Etylmethylhydantoin, CAW)
- e) 熱分解 GC/MS, MALDI-MS 等による高分子キャラクタリゼーション (CAW)
- f) ジペプチド分析 (Alanine)

以上の分析により、宇宙線・太陽紫外線等に照射された場合、星間塵有機分子がどのように変成するかを調べる。特にアミノ酸（前駆体）は宇宙塵内部で安定に存在しうるのか、またそのラセミ化の影響などを調べることにより、地球生命の誕生における宇宙から供給される有機物の寄与を評価する。なお紫外線量については、曝露されたアラニン薄膜の変成から測定する。

### 3-4 第四サブテーマ「宇宙から地球へ」

エアロゲル捕集パネル (10 cm x 10 cm) を宇宙面、北面、西面に合計 12

区画（標準的数、年により変更あり）配置する。合計で3年の捕集を予定している本実験では、捕獲微粒子の累積数を稼ぐことができる。特に宇宙面ではスペースデブリがほとんど衝突しないため、宇宙塵が優先的に捕獲されることが期待できる。捕獲微粒子のうち選択したものに関して、以下の一次分析を行う。

#### 1) 衝突痕分析

ISSに宇宙塵が飛来する方向・速度は多様であるため、エアロゲル中に形成される宇宙塵の衝突痕を3次元分析し、形状・体積・組成を明らかにすることで、塵の衝突現象による構成物質の物理・化学変化を理解する。

#### 2) アミノ酸分析

地球上で汚染されていない、新鮮な宇宙塵中のアミノ酸組成を明らかにする。分析には、小惑星イトカワの微粒子分析で使用した高速液体クロマトグラフィー-蛍光検出分析法を適用する。

#### 3) 宇宙塵の有機・無機・同位体分析

さまざまなその場分析法を用い、宇宙塵に含まれる有機物と鉱物の組成またそれらの同位体比を明らかにし、初期太陽系における物質進化を総合的に議論する。

一次分析以降は、詳細分析として、国内外から選抜されたトップクラスの研究者に広く配布し分析を進める。

### 3-5 第五サブテーマ「世界最高性能エアロゲル」

過去の地球低軌道衛星や惑星探査機に搭載されたエアロゲルの数分の一という密度を有し、世界最高水準の超低密度エアロゲルについて、地球低軌道への長期曝露による変成や固体微粒子の捕集能力を実証する。地球回収された捕集パネル中のエアロゲルは、初期分析結果および第一、四、六サブテ

ーマの詳細分析の結果をもって評価する。

### **3-6 第六サブテーマ「微小スペースデブリフラックス評価」**

捕集パネルを構成するアルミ容器とエアロゲルに生じた衝突痕を分析し、国際宇宙ステーション軌道上のデブリ環境を評価する。さらに、過去の地球低軌道における曝露実験データと併せ、デブリ環境の経年変化を調べるとともに、既存の『デブリ環境モデル』の妥当性を評価する。