

## 土星衛星エンセラダスのプルーム物質の化学・生命探査

### Enceladus' exploration: chemical and biological investigations of water-rich plumes

関根 康人<sup>1\*</sup>, 高野 淑識<sup>2</sup>, 矢野 創<sup>3</sup>, 船瀬 龍<sup>3</sup>, 高井 研<sup>2</sup>, 石原盛男<sup>4</sup>, 渋谷 岳造<sup>2</sup>, 橘 省吾<sup>1</sup>, 倉本 圭<sup>5</sup>, 藪田 ひかる<sup>4</sup>, 木村 淳<sup>5</sup>, 古川 善博<sup>6</sup>, 田端 誠<sup>3</sup>

SEKINE, Yasuhito<sup>1\*</sup>, TAKANO, Yoshinori<sup>2</sup>, YANO, Hajime<sup>3</sup>, FUNASE, Ryu<sup>3</sup>, TAKAI, Ken<sup>2</sup>, Morio Ishihara<sup>4</sup>, SHIBUYA, Takazo<sup>2</sup>, TACHIBANA, Shogo<sup>1</sup>, KURAMOTO, Kiyoshi<sup>5</sup>, YABUTA, Hikaru<sup>4</sup>, KIMURA, Jun<sup>5</sup>, FURUKAWA, Yoshihiro<sup>6</sup>, Makoto Tabata<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構, <sup>3</sup> JAXA, <sup>4</sup> 大阪大学, <sup>5</sup> 北海道大学, <sup>6</sup> 東北大学

<sup>1</sup> Univ. Tokyo, <sup>2</sup> JAMSTEC, <sup>3</sup> JAXA, <sup>4</sup> Osaka Univ., <sup>5</sup> Hokkaido Univ., <sup>6</sup> Tohoku Univ.

カッシーニ探査機によるエンセラダスの南極付近から噴出するプルームの発見は、「氷衛星の海洋・化学・生命」の理解に飛躍的に迫る、内部海物質の直接サンプリングの可能性を示した大きなブレイクスルーであるといえる。これまでカッシーニによって、プルーム物質は内部の岩石と相互作用する液体の海に由来していることが明らかになったが、1) サンプリング時の相対速度が大きいこと、2) 質量分析装置の分解能が低く測定する質量範囲も狭いこと、などが原因で、内部海の化学組成の推定、化学進化や生命活動を維持するエネルギーの有無を本質的に検証することはできていない。さらにエンセラダス・プルームの存在は、太陽系物質科学や惑星物理学の観点からも極めて重要である。エンセラダスなど土星系規則衛星は、原始太陽系の土星形成領域の微惑星から形成したため、氷衛星物質の採取と詳細な分析は、土星形成領域での揮発性成分の存在形態や温度条件を制約すると期待される。さらに、プルームの噴出する南極と反対の北極では、地質活動は形成以降ほとんど起きておらず、内部構造に何らかの南北非対称が存在しているかもしれない。次世代探査においてこれらの問題を解明することは、エンセラダスの内部海は生命を育む環境か？その環境はいつどのように形成し、いつまで存続するのか？ということ明らかにすることに直結し、さらに21世紀の自然科学における最重要課題である「太陽系における生命生存可能性の理解」に迫るものであるといえる。

本ミッションでは、エンセラダス・プルームの高分解能質量分析 ( $m/z = 2?1000$ ) によるその場定量・同位体分析と、捕獲したプルーム物質に対し詳細な物質化学分析 (サンプルリターン後の放射光による顕微分光イメージングや nano-SIMS など) や生命代謝活性測定 (Radio-tracer 法やカロリーメトリ) を行なうことで、内部海の化学組成の解明、初期太陽系物質進化の制約、そして生命存在可能性を探ることを目的とする。土星系エンセラダス探査という技術的課題の多い探査計画のため、3つのミッション設計の候補を提案する。タイプ1では自由帰還軌道による探査、タイプ2では土星周回軌道投入後のエンセラダス・フライバイを経ての地球帰還探査、タイプ3では土星周回後、エンセラダス極周回軌道に投入し地球帰還する探査である。カッシーニ探査機が  $8?18$  km/s 程度という高速度でサンプリングしていたのに対し、タイプ2、3でのサンプリング速度はそれぞれ約  $4$  km/s、約  $200$  m/s であり、タイプ2では含水鉱物や塩化物、有機物が、タイプ3では生命関連分子 (あわよくば望みうる最大の成果としての微小生命そのもの) までも原状態のまま捕獲できる可能性がある。含水鉱物や塩化物の化学・鉱物組成は、内部海組成や熱水活動の有無を制約する極めて重要な物質情報であり、有機物の同位体組成や放射光による顕微分光分析により、鉱物との相互作用や化学進化過程を明らかにすることもできる。また、タイプ3ではレーザー高度計や可視赤外分光カメラにより、潮汐作用に伴う表面変位や地形変化から内部構造を制約する基礎データを取得する。生命に関しては、その活動を直接探査する方法の他にも、プルーム中の気体組成の高分子化合物までの定量を行なうことで、生命現象に由来すると考えられる分子 (バイオマーカー) の存否や、エネルギー論的に見た生命生存可能条件を制約することができる。太陽系物質科学の観点からは、C, H, O, N を含む分子種とそれぞれの同位体比を測定することで、原始太陽系星雲の揮発性元素の分布や均一化が土星領域でどれだけ進行していたのか明らかにすることができるだろう。

本提案は、「宇宙に生命は存在するのか」という根源的な問いに対して科学史上最も明快な答えを導く達成可能性の高いプロジェクトであり、この人類の知的好奇心の究極に位置する科学命題に対して理・工学の様々な分野での次世代を担う若手研究者が惑星探査に参入し結集する点が画期的である。

キーワード: 惑星探査, 土星, 氷衛星, エンセラダス, 海洋

Keywords: planetary exploration, Saturn, icy satellite, Enceladus, ocean