

# エンケラドスの生命探査



## 第18回 君が作る宇宙ミッション VEGA班

武田 佳菜子 (高1) 【大阪府立豊中高等学校】、西田 幸来 (高2) 【親和女子高等学校】、  
松田 聖梢 (高2) 【慶應義塾高等学校】、松村 京香 (高2) 【石川県立金沢泉丘高等学校】、  
市原 弘理 (高2) 【東京都市大学附属高等学校】

### 【背景】

現代天文学の大きな課題の一つとして地球外生命体の発見があるが、今日まで未発見のみである。土星探査機カッシーニはエンケラドスに有機物や内部海の存在を発見した[1]。このことからエンケラドスの内部海、特に熱水噴出孔付近に生命の存在が強く示唆されている。しかしながら生命の存在を証明する決定的な証拠は未だ存在しない。今回我々はエンケラドスにおける生命探査方法を検証した。

### 【過程1】～地球からエンケラドスへ～

ロケット：LE-7Aエンジン（推進剤：液体酸素・液体水素 比推力440s）[2]  
イオンエンジン：μ10を使用（比推力1700-3400s 今回は2550sとする。）[3]

地球から土星まで  
ホーマン軌道を仮定する場合  
地球出発時の速度：40km/s  
土星到着時の速度：4.2km/s  
必要増速分：15.7km/s



土星からエンケラドスまで

タイタンで減速スイングバイを繰り返し、エンケラドスの周回軌道に入る。

なお、地球から土星までの方法としてスイングバイを使う場合、探査機に必要な増速量をより減らすことが出来る。

### 【過程2】～エンケラドスに着陸・着陸後～

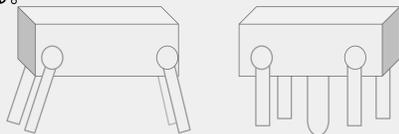
【着陸】  
エンケラドスの周回軌道上(上空7km地点)でマッピングを行う。着陸地点を確定した後、上空2mまで下降。その際、スラスターを用いて減速し上空2m地点での速度を0m/sにする。上空2m地点から自由落下させ、着陸時の衝撃はSLIM計画と同様の衝撃吸収剤に吸収させる[4]。着陸時の軌道はホーマン軌道を仮定した。  
使用エンジン：BT-4(推力：450N 比推力：329s)  
周回軌道出発時の速度：165m/s  
着陸時の速度：170m/s  
着陸までの加速量の合計：158m/s  
必要燃料：1.6kg

【着陸後】  
陸上探査機は海中探査機を乗せて移動し、熱水噴出孔の側で海中探査機を降ろす。

### 【過程3①】～エンケラドスの地表探査～

地表探査を行う目的としてはエンケラドス上の水を探査し、分析する事でエンケラドスの歴史を解明する。

- 調査過程
- 海中探査機と分裂し、その場（着陸地点）から移動する。移動はエンケラドスの表面の起伏や積氷等によって探査の続行が不可能となるのを防ぐために探査機についている4つのロケットエンジンと衝撃吸収剤とバネを用いた足を使い、ジャンプしながら事前に上空からマッピングして確認した安全に着地ができ、間欠泉に近いところを選び移動する。
  - 採取場所に到達後、ロータリー・パーカッション・ポーリングマシンを用いエンケラドス上の水を探査し分析する。



<左図>移動時  
<右図>採集時

### 【過程3②】～エンケラドスの海中探査～

エンケラドスの中で最も生命が存在する可能性の高い熱気孔の付近を調べ生命の存在の有無を確定する。また存在が確認された場合どのような生物がどんな深さに存在しているかも調査する。その方法を以下に示す。

IH [5] で加熱して水を溶かすが現在の技術では8年以上はかかってしまう。水中では図1のような六角形の形を電磁石で維持しながら降下していく。

水の部分に達したら電磁石を切って分離してから降下していく。最終的には一直線のような形を目指す。

探査機の詳しい構造は図3に示す。二つの円は電動リールでここに糸を巻いて放出、巻き取りを行うことで深さを変える。サンプルは緑のカプセルで回収する。赤い部分にIHをつけ加熱する。

糸の詳しい構造は図4のように中心に強度の高い人工蜘蛛の糸 [6] を使い、周りの形状記憶合金を一直線にして維持をする。

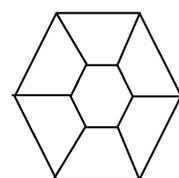


図1 分離前の海中探査機

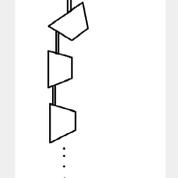


図2 分離後の海中探査機

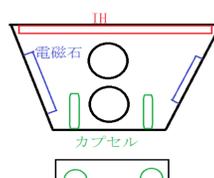


図3 探査機の詳細

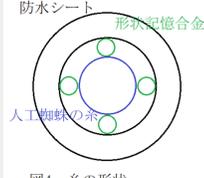


図4 糸の形状

### 【過程4】～生命の判別～

【生命の定義】

生命の存在を示すためには生命の定義を明確にする必要があるため、我々はまず生命の定義を以下の3つを満たすものと定めた。

- ①核が存在する
- ②代謝を行う
- ③膜を持つ

【調査方法】

採取したサンプルを上記の3つの性質を蛍光顕微鏡を用いて観察し、生命の存在を調べる。

【調査に必要な器具】

蛍光顕微鏡、インキュベーター、遠心分離機、薬品保存用冷凍庫・冷蔵庫

【具体的な調査手順】

【過程3】①②で採取したサンプルをそれぞれ2本(以降①a,①b,②a,②bとする)に分け、遠心分離する(1000 rpm, 3分間)。

<①a, ②aの操作> [7]

1. 細胞洗浄溶液PBS(-)に懸濁する。
2. 細胞懸濁液1mLに対しCFDA solution 15μL及び DAPI solution 1μL加え、室温で3分間インキュベートする。
3. 遠心分離操作により余分な試薬を除去し、PBS(-)に再懸濁する。
4. プレパレート作成後、蛍光顕微鏡を用いて観察する。

<①b, ②bの操作> [8]

1. 細胞の懸濁液を作成する。
2. 遠心分離する(1000 rpm, 3分間)
3. 上清を除き、PBS (-) を添加した後、ピペティングして分散させる。
4. 1.5 mLマイクロチューブに3で得た細胞懸濁液30 μLを添加する
5. AM-solutionを500倍に希釈したものを15μL添加する。
6. 37°Cで15分間インキュベートする。
7. プレパレート作成後、蛍光顕微鏡に置き、490 nmのフィルターで励起させ観察する。

【蛍光色素の説明】 lex: 励起波長、lem: 蛍光波長

①核の検出→染色溶液DAPI(4',6-Diamidino-2-phenylindole, dihydrochloride, solution) [9]、lex=360 nm / lem=460 nm、0-5°Cで遮光保存。

②代謝の確認→染色溶液CFDA(5(6)-Carboxyfluorescein diacetate, solution, DMSO solution) [10]、CFDAはこれ自体では蛍光を持たないが、細胞内でエステラーゼにより分解され蛍光性のカルボキシフルオレセインとなる。

lex=493 nm / lem=515 nm、0-5°Cで遮光保存。

③細胞膜の検出→染色溶液Calcein-AM(3',6'-Di(O-acetyl)-4',5'-bis[N,N-bis(carboxymethyl)aminomethyl]fluorescein, tetraacetoxymethyl ester, DMSO solution) Calcein-AM 自体は蛍光をほとんど示さないが、細胞内のエステラーゼによる加水分解でCalceinとなる。このCalceinは、膜不透過性の化合物で、強い黄緑色の蛍光を示す。この性質を用いて、

蛍光の様子を観察することで細胞膜の有無を調べることができる。  
lex=490 nm / lem=515 nm、冷凍庫で遮光保存。

### 【過程5】～ミッション終了後～

ミッション終了後、探査機どうしてドッキングして離陸する。離陸後、ホーマン軌道で土星へ向かい、土星の大気圏に突入させ燃やして処理する。

エンケラドス(周回軌道)出発時の速度：8.1km/s

土星の大気圏突入時の速度：31.2km/s

必要加速量：4.75km/s

必要燃料：4.0kg

### 【将来展望】

今回作ったミッションの将来展望としては、スイングバイを使った際の詳しい計算と軌道の確定、マッピングの詳しい方法とその際の軌道、探査機が分離やドッキングする際の詳細な方法、氷を溶かす8年を短縮する方法、自律化をする為に想定できるトラブルとその対応策を考えていくなどが挙げられる。

### 【まとめ】

探査機の形状や地表・海中探査方法を提案するとともに、軌道や必要な増速量を定量的に見積もり、本調査に必要な実験装置のエンケラドスへの輸送可能性を示した。また、生命の検出方法を定量的に示した。定量化を行うことで具体的なミッションを作成した。

### 【参考文献】

- [1] [https://www.astroarts.co.jp/article/hl/a/10010\\_enceladus](https://www.astroarts.co.jp/article/hl/a/10010_enceladus)(最終閲覧日:2020年1月27日)
- [2] <http://www.rocket.jaxa.jp/engine/le7a/>(最終閲覧日:2020年1月26日)
- [3] <https://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articals/910/news018.htm>(最終閲覧日:2020年1月19日)
- [4] 丸祐介他 「SLIMの着陸ダイナミクスに関する検討」
- [5] <http://www.suzuki-kogyo.net/ih/tecinfo01.html>(最終閲覧日:2020年1月12日)
- [6] <https://www.nistep.go.jp/conference/nt110630/pdf/sekijama.pdf>(最終閲覧日:2020年1月19日)
- [7] <https://www.dojindo.co.jp/letterj/131/commercial/03.html>(最終閲覧日:2020年3月15日)
- [8] <https://www.dojindo.co.jp/products/C396/>(最終閲覧日:2020年3月15日)
- [9] <https://www.dojindo.co.jp/products/D212/>(最終閲覧日:2020年3月15日)
- [10] <https://www.dojindo.co.jp/products/BS03/>(最終閲覧日:2020年3月15日)