

太陽系探査における大きな目標の一つは、地球以外に生命を育む環境が存在するのか、そのような環境はどのように形成・進化したのか、そこに生命が実際に存在しているのかといった、人類普遍の問いに実証的に答えることであろう。生命の生存に必要とされる「液体」「有機物」「エネルギー」の三要素のうち、「液体」については、地球物理的・地質的証拠に基づき、21世紀初頭には火星や氷衛星などにも存在している（していた）ことが明らかになっていった。近年では、「有機物」「エネルギー」に関する知見も、地球化学的な分析・測定をこれら天体で行うことが可能になったことにより、急激に得られるようになってきている。これにより、上記の三要素の有無だけでなく、それらの差異や共通点についても比較惑星学的視点で議論することが可能になっている。本発表では、「有機物」「エネルギー」に着目して、それぞれ現状と今後の探査における課題について整理する。

「有機物」については、火星、エンセラダス、冥王星、セレスなどで、その化学組成や構造が調べられている。火星では、35億年前に湖が存在していたゲールクレーター内の泥岩堆積物中に、極めて硫黄に富む有機物が見つかった（Eigenbrode et al., 2018）。また、エンセラダスの内部海から噴出するプルーム中には、アミンなど窒素に富む高分子有機物が含まれている（Khawaja et al., 2019）。有機物に関しては、このような天体ごとの有機物の化学組成・構造の多様性を生んだ要因の理解、そしてこれら有機物の高分子化や機能化の有無の理解が今後の重要な課題であろう。有機物の多様性を理解する上での一つの鍵は、原始太陽系星雲における揮発性分子の雪線かもしれない。原始円盤に存在する各揮発性分子の雪線に呼応して、それぞれの領域で形成する惑星・衛星の出発物質に含まれる炭素・窒素・硫黄の化学組成比や酸化還元状態は異なる。そのような天体の出発物質の多様性が有機物の多様性を生み出した可能性があり、太陽からの距離に応じた有機化学進化の可能性を系統的に理解する比較惑星有機化学の創成が今後の課題といえよう。

「エネルギー」については、火星やエンセラダス、エウロパでその定量化がなされつつある。生命は天体上に生じる酸化還元非平衡からエネルギーを取り出し、それを使って生命活動を行っている。エウロパでは、氷地殻表面での高エネルギー粒子や太陽紫外光の照射によって、酸素、過酸化水素などの酸化剤が生成される可能性がある。これが内部海に供給されれば、水-岩石反応で生成される水素などの還元剤との間に化学非平衡が生じる。また、火星ではゲールクレーター内の堆積物から還元された35億年前の水環境にも過塩素酸、酸素といった酸化剤と二価鉄イオンなどの還元剤との間に化学非平衡が生じている（Fukushi et al., 2019, Noda et al., 2019, Tosca et al., 2019）。このような化学非平衡を生み出す酸化剤・還元剤の組み合わせとそれらのフラックスが明らかになれば、生命の代謝により生み出されるバイオマーカーや生命の存在量であるバイオマスを予測することが可能となる。これらのバイオマーカー・バイオマスの予測は、今後の探査における具体的な探査目標や生命検出方法の策定につながる重要な課題といえる。

# 固体天体における 水環境進化 —現状と課題—

**関根康人**  
東京工業大学  
地球生命研究所(ELSI)

1

## 生命とは何か？ 時計の中の動く歯車

生命は動的平衡にあるシステムである  
福岡伸一「世界は分けても分らない」



液体の水 = 潤滑油

電力 = エネルギー

有機物 = 歯車

生命を育む惑星システムの多様性と進化

8

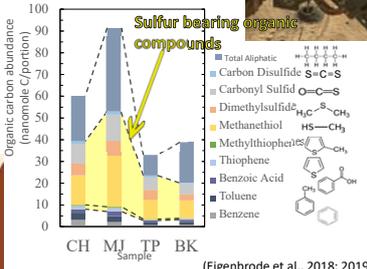
## 生命を育むシステム：有機物

### 地球生命の固定概念は捨て去るべき

- ✓ 機能(複製・代謝)を果たすことが役割
- ✓ 同一の機能を果たす物質候補は数多ある

#### 初期火星の有機物

- ✓ 変成少ない湖底堆積物の熱分解分析
- ✓ 極めてSに富む有機物 (S/C~0.05-0.1)
- ⇔ 地球生命 (N/C~0.15)



(Eigenbrode et al., 2018; 2019)

9

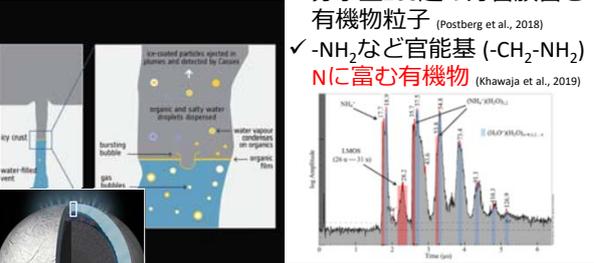
## 生命を育むシステム：有機物

### 地球生命の固定概念は捨て去るべき

- ✓ 機能(複製・代謝)を果たすことが役割
- ✓ 同一の機能を果たす物質候補は数多ある

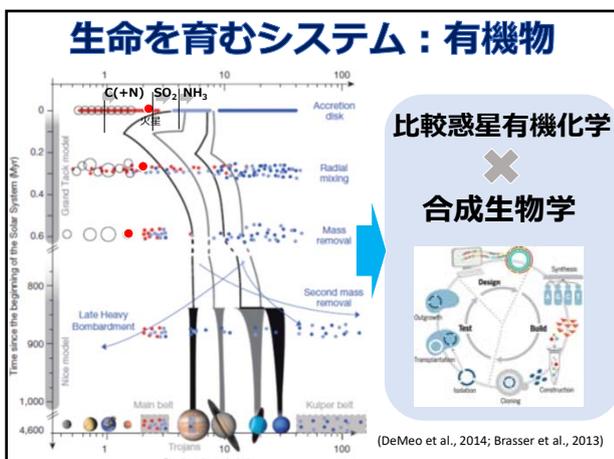
#### エンセラダスの有機物

- ✓ 分子量200超の芳香族含む有機物粒子 (Postberg et al., 2018)
- ✓ -NH<sub>2</sub>など官能基 (-CH<sub>2</sub>-NH<sub>2</sub>) Nに富む有機物 (Khawaja et al., 2019)



10

## 生命を育むシステム：有機物



(DeMeo et al., 2014; Brasser et al., 2013)

11

## 生命を育むシステム

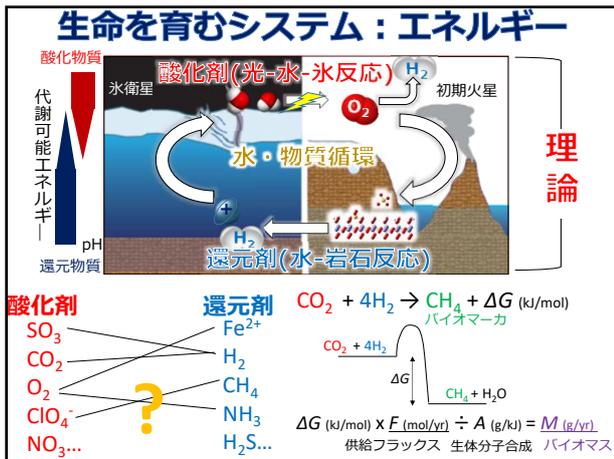


液体の水 = 潤滑油

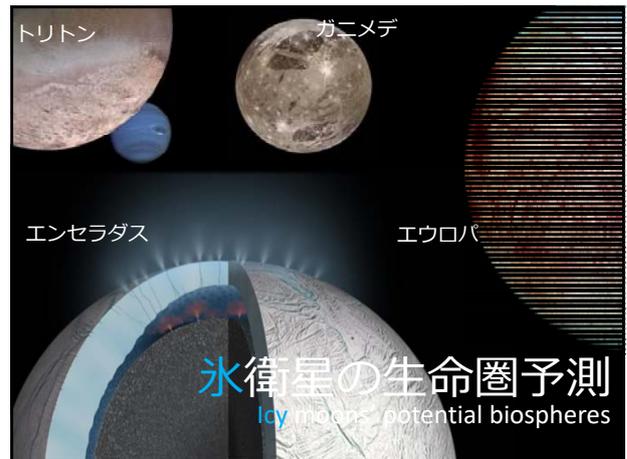
電力 = エネルギー

有機物 = 歯車

12



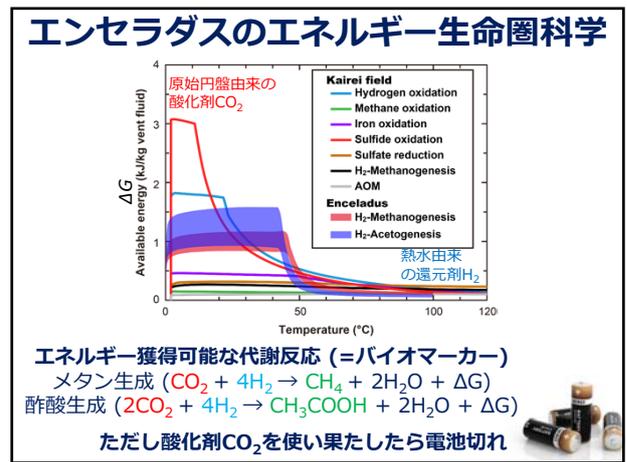
13



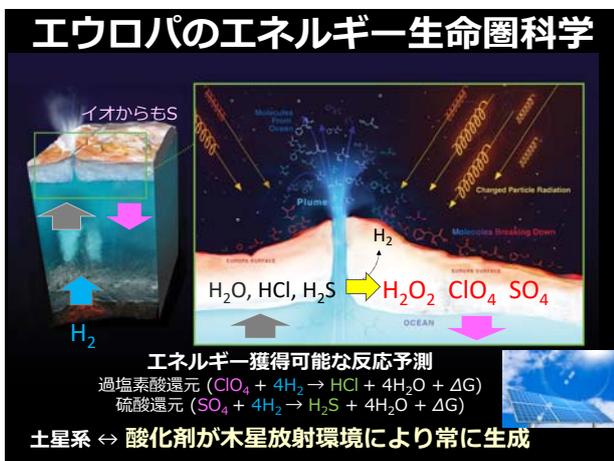
14



15



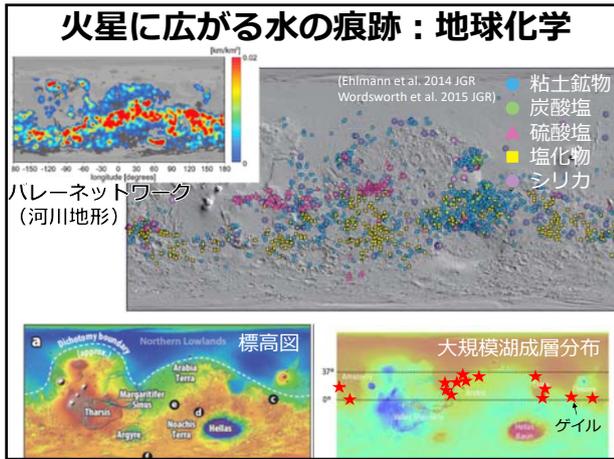
16



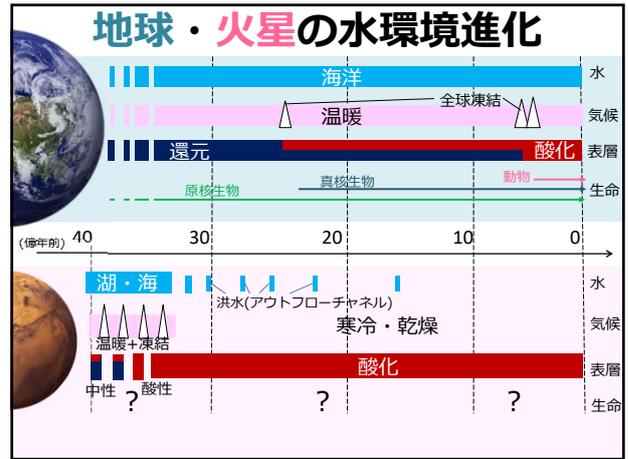
17



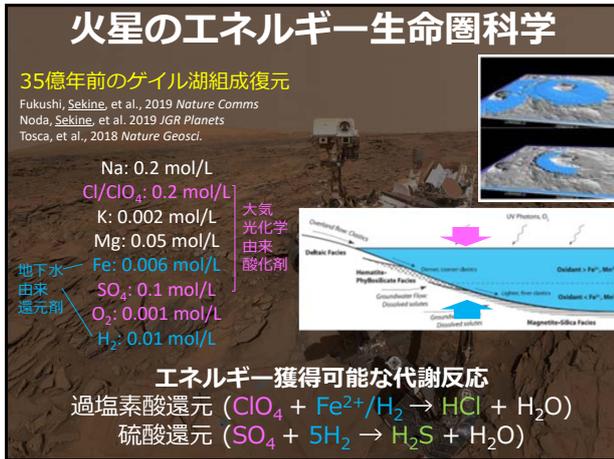
18



19



20



21