

京都大学 宇宙ユニット & 天文台

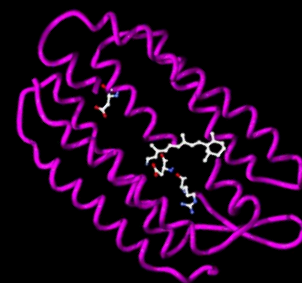
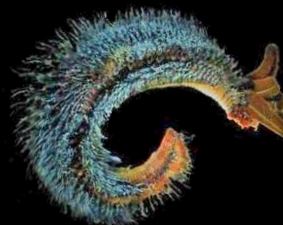
シンポジウム「宇宙にひろがる人類文明の未来2016」

2016年2月7日(日) 11:15~11:40~11:50

エネルギー論からみた宇宙生命の可能性

● 広島大学 生物圏科学研究所／生物生産学部

長沼 毅



C型小惑星
Ryugu
リュウグウ

小惑星探査機
はやぶさ2



JAXA 2015-10-05

4 x 3 x 1 km

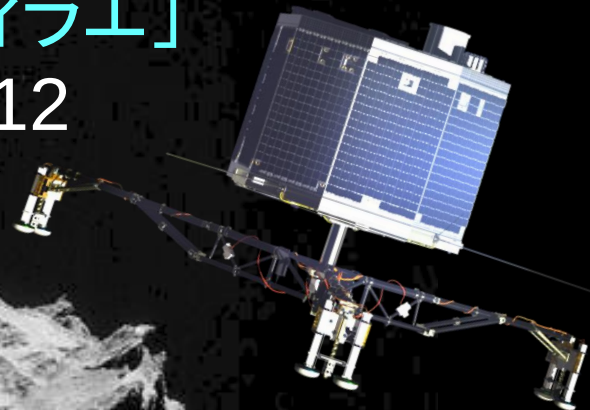
チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星 67P/Churyumov-Gerasimenko

核全体の質量 10^{13} kg

着陸機「フィラエ」

2014-11-12

着陸

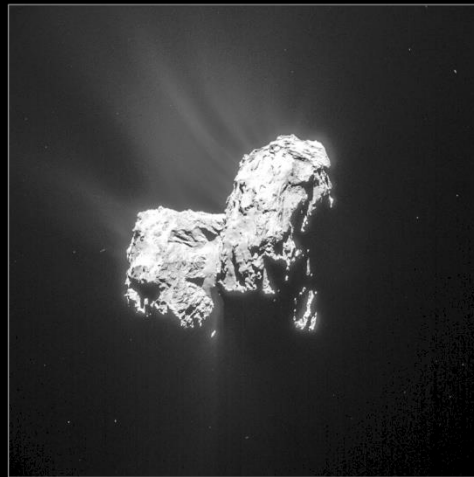
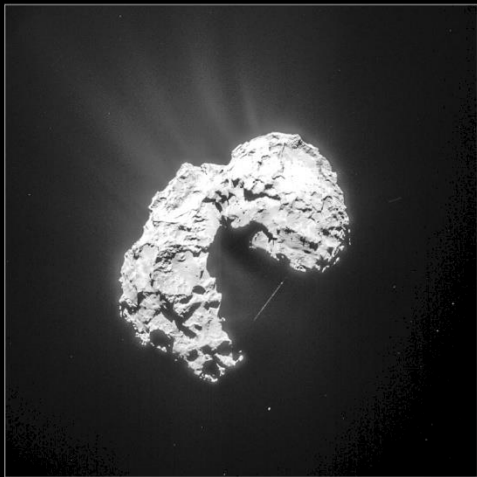
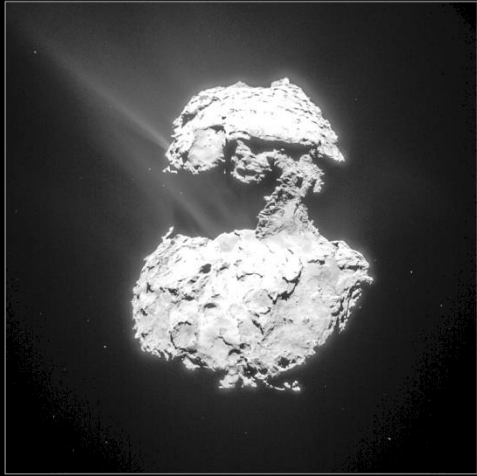


2.5 x 2.5 x 2 km

ESAの彗星探査機「ロゼッタ」

この彗星の核に
意外とたくさんの
分子状酸素
 O_2

Bieler et al. (2015-10-29)
Nature **526**, 678–681
Abundant molecular
oxygen in the coma of
comet 67P/Churyumov–
Gerasimenko



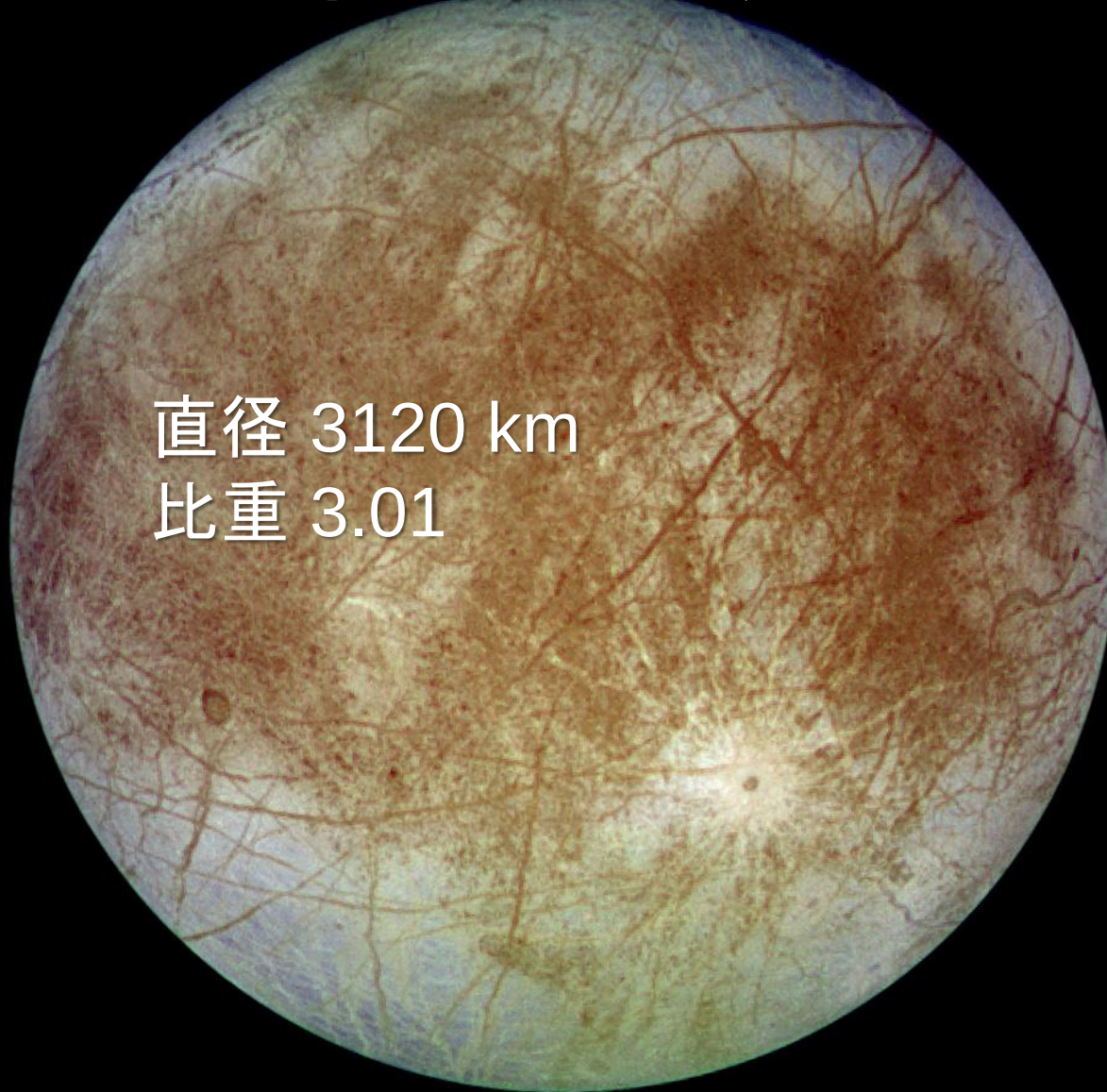
では、この彗星の O_2 はどこから来た？



<http://blog.nerdette.org/?p=4041>

木星の衛星エウロパの大気は O_2 が主成分

地球大気の1兆分の1気圧と薄いけど



直径 3120 km
比重 3.01

土星の衛星レアの大気も O_2 が主成分

Rhea Encounter 2 March, 2010

$10^5 \sim 10^6$ 分子/cm³

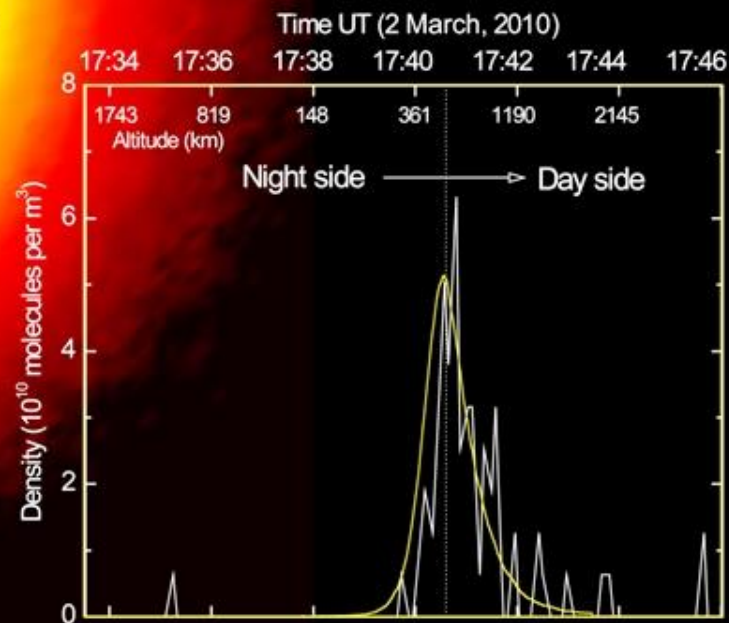
Cassini 8.6 km/s



直径 1500 km
比重 1.24

Teolis et al. (2010)
Science **330**
1813-1815

$\log_{10}(\text{O}_2 \text{ Density m}^{-3})$



炭素Cベースの
生命体を維持
する酸化還元
サイクル



水素



酸素



水の電気分解
光合成
光分解
放射線分解
機械的分解
熱分解
etc.



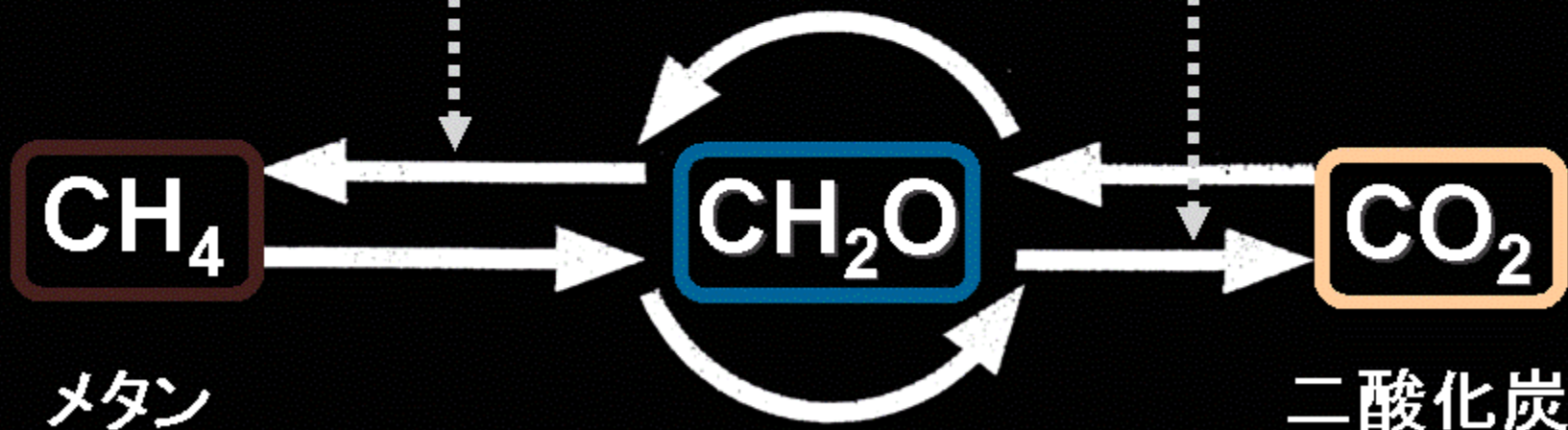
メタン



有機物・有機生命体



二酸化炭素



火星



70億人が、彼の還りを待っている。

マット・デイモン

オデッセイ

2016.2.5 (Fri)

火星

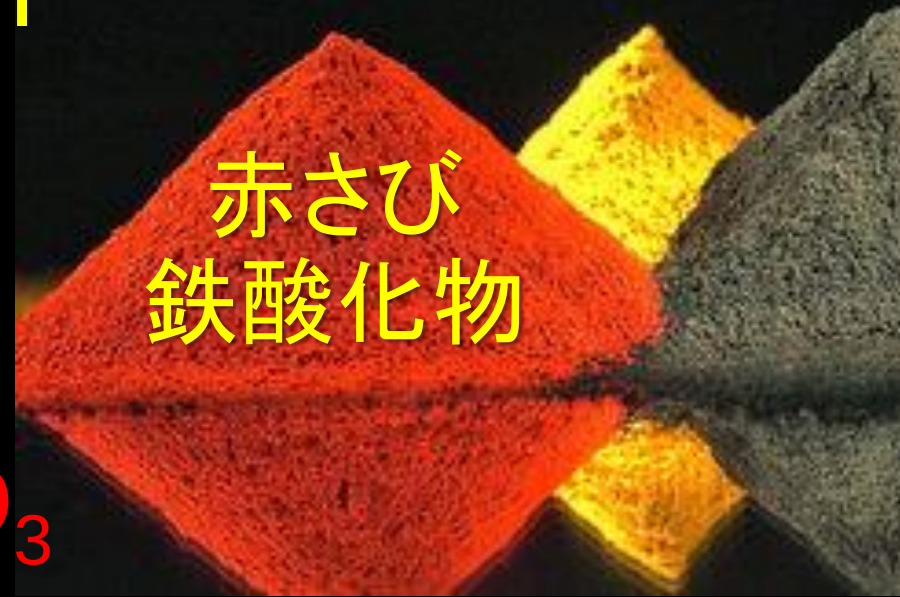
ゲータイト $\alpha\text{-FeOOH}$

ヘマタイト $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$

マグヘマイト $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$

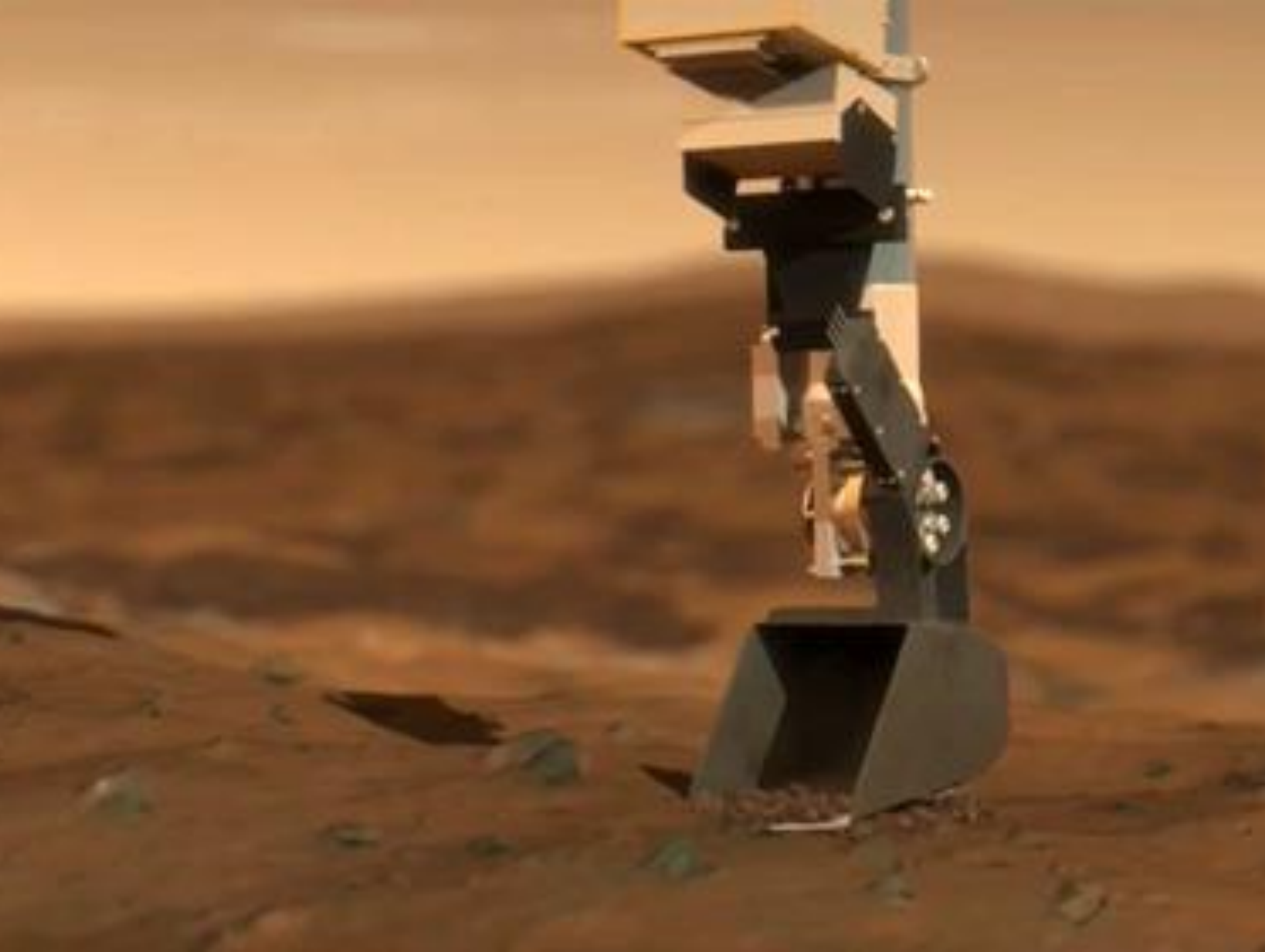
マグネタイト Fe_3O_4 [$\text{FeII}(\text{FeII}, \text{FeIII})\text{O}_4$]

チタノマグネタイト Fe_2TiO_4 [$\text{FeII}(\text{FeII}, \text{TiIV})\text{O}_4$]





火星着陸機
フェニックス
(2008)

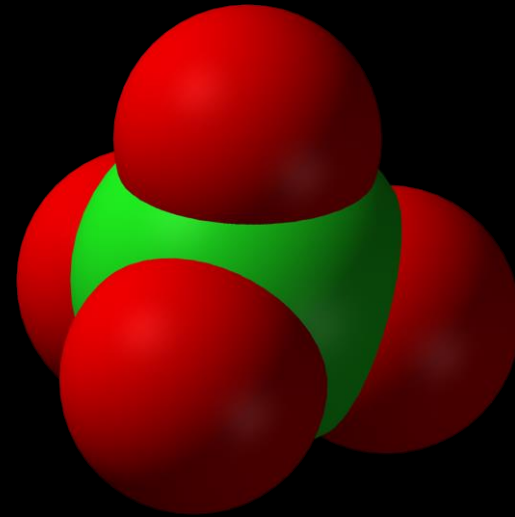


火星における過塩素酸 ClO_4^- の検出

Detection of perchlorate and soluble chemistry on Martian soil at the Phoenix Lander site.

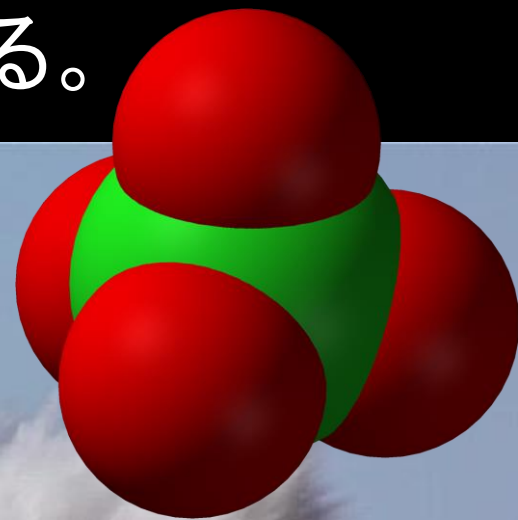
Hecht *et al.* (2009)

Science **325**, 64-67





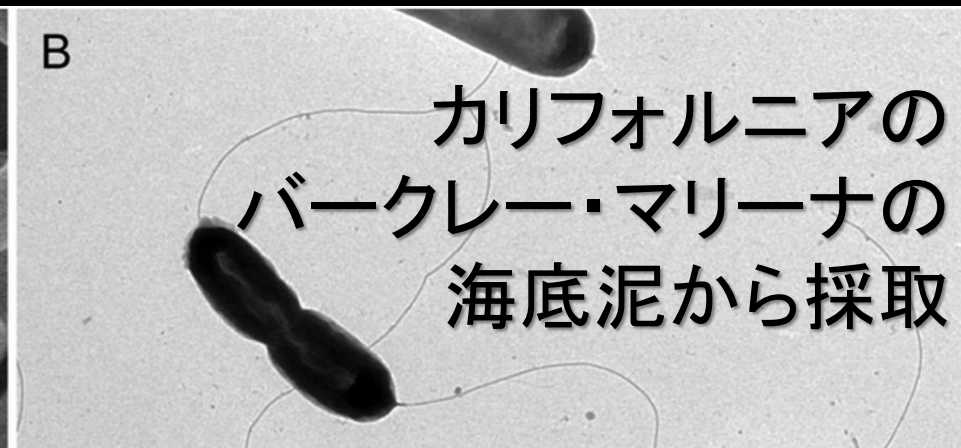
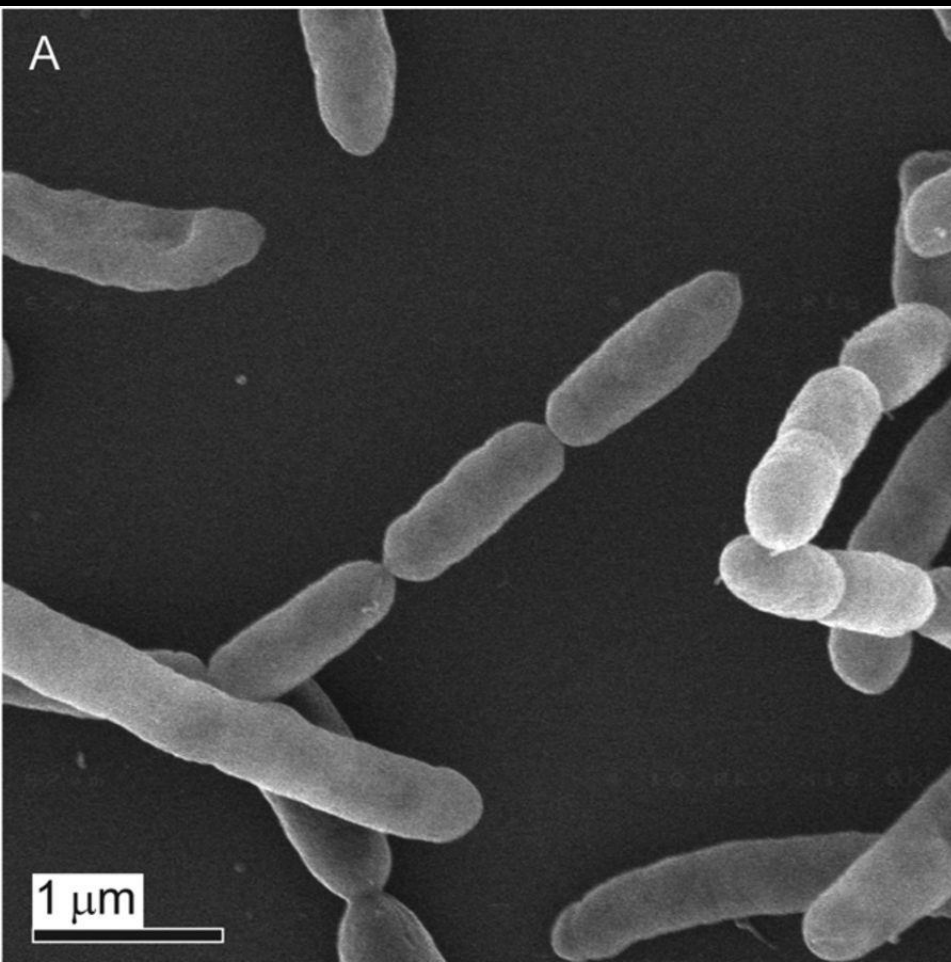
過塩素酸は...不安定で加熱および有機物との接触により爆発しやすく...主な用途は固体ロケットの推進剤中の酸化剤である。

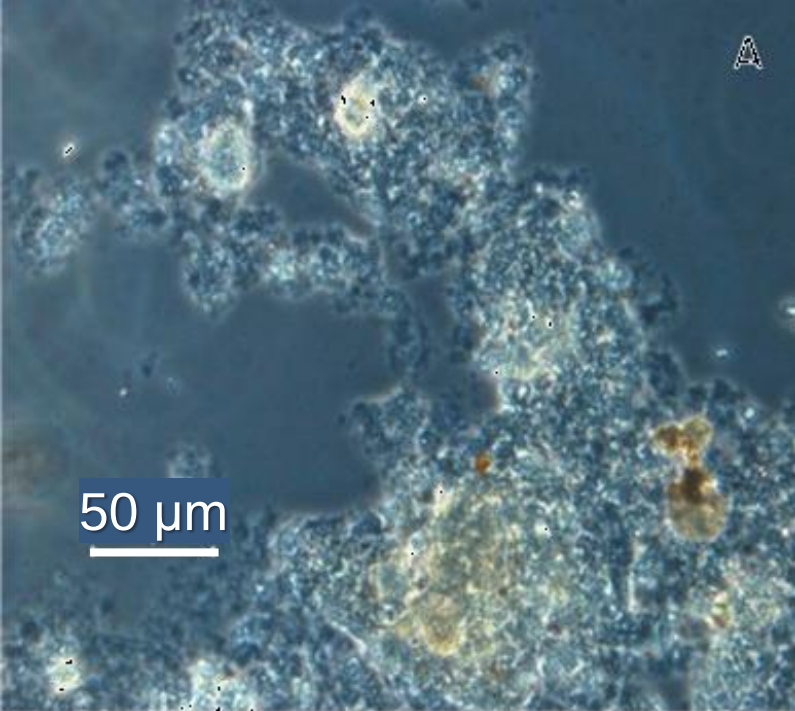


過塩素酸を酸化剤につかう微生物 最近の論文の例

Physiological and genetic description of dissimilatory perchlorate reduction by the novel marine bacterium *Arcobacter* sp. strain CAB

Carlström *et al.* (2013) *mBio* 4, e00217-13



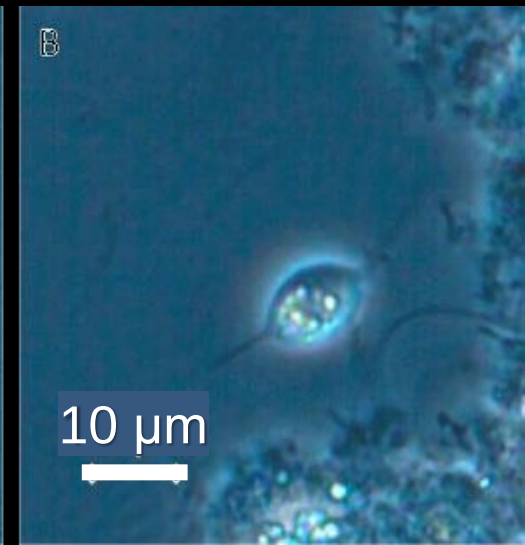
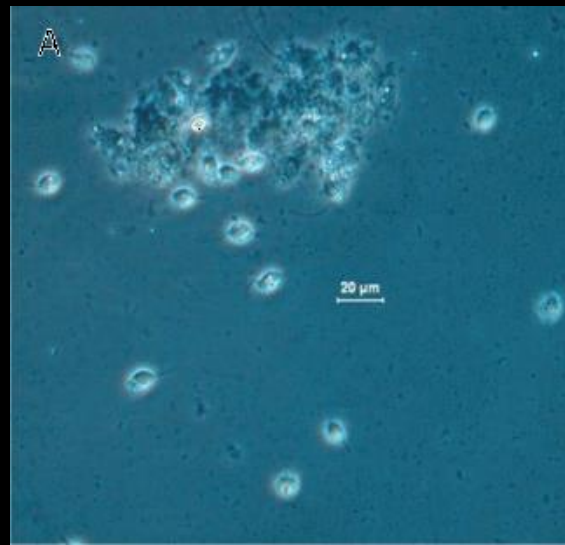
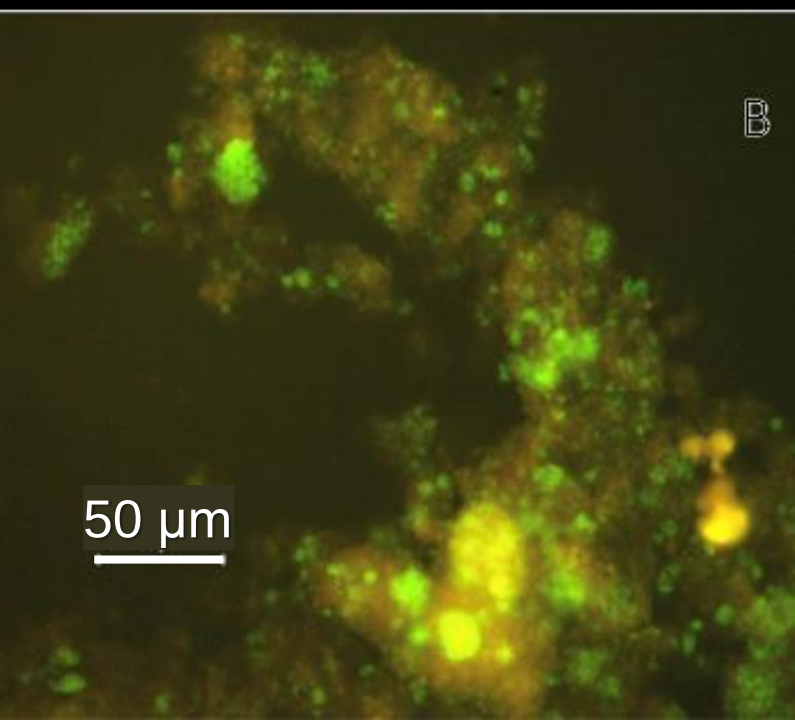


過塩素酸を酸化剤につかう 微生物の多様性

Diversity of bacteria, archaea and protozoa in a perchlorate treating bioreactor

Anupama *et al.* (2015-08)

Microbiol Res **177**, 8-14



火星



赤さび

直径 6800 km

表面温度 -50°C
($-143 \sim +35^{\circ}\text{C}$)

大気組成

CO_2	95%
N_2	2.7%
O_2	0.13%

酸化鉄
過塩素酸
メタン

宇宙空間へ



光分解

光合成



気体

液体

固体

酸化鉄(III)
過塩素酸

メタン



二酸化炭素



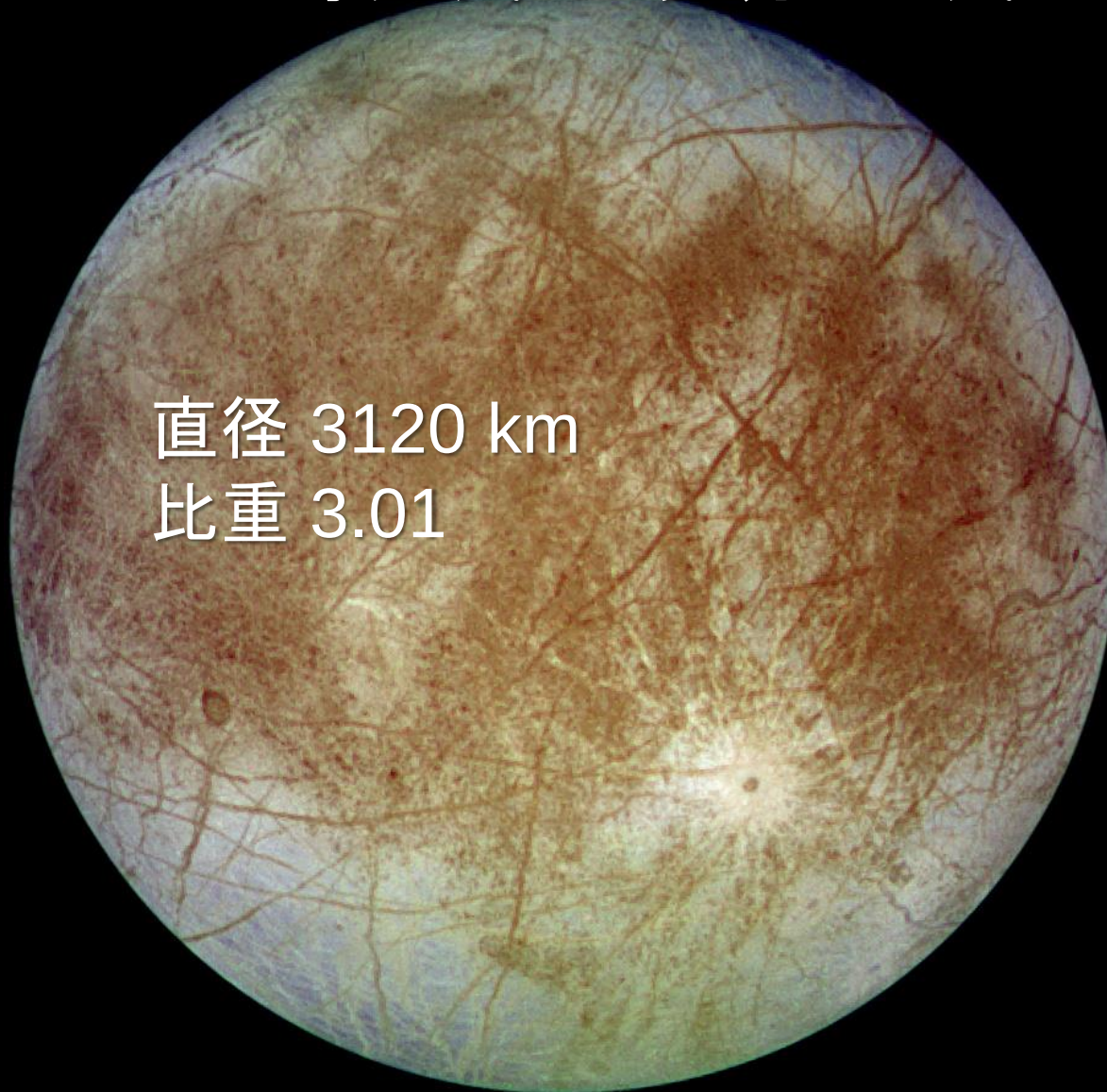
地熱

放射線



木星の衛星エウロパの大気は O_2 が主成分

地球大気の1兆分の1気圧と薄いけど



直径 3120 km
比重 3.01

エウロパ表面の硫酸塩？

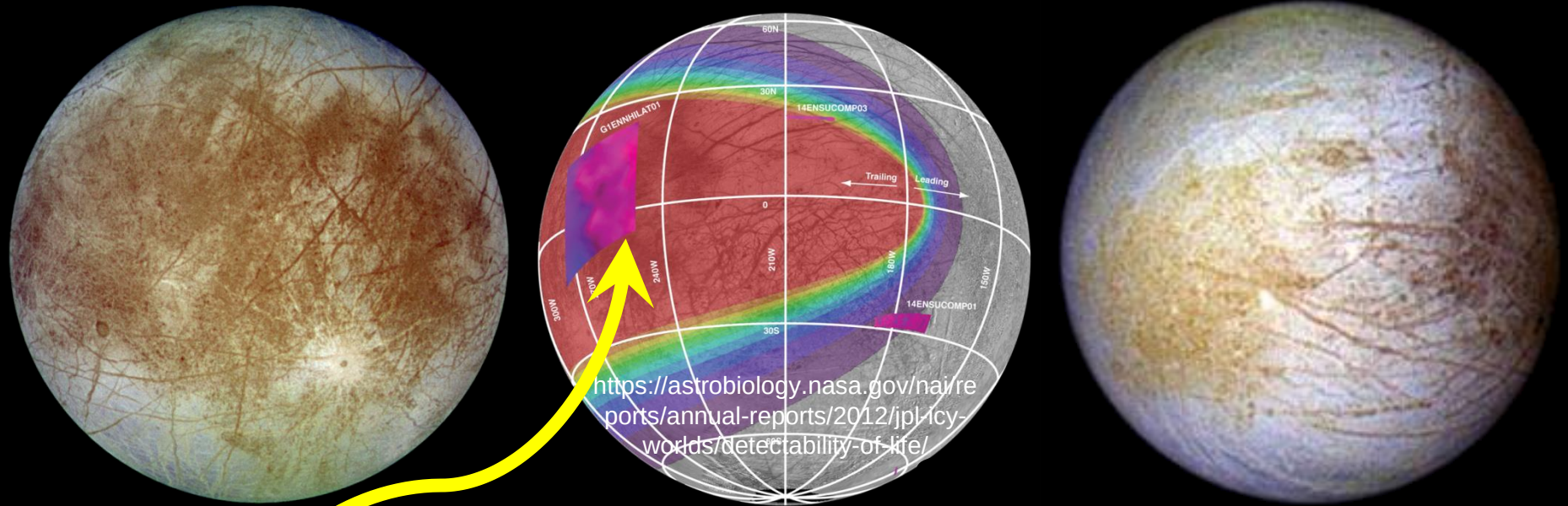
進行方向の背面

汚れている 硫酸塩 SO_4



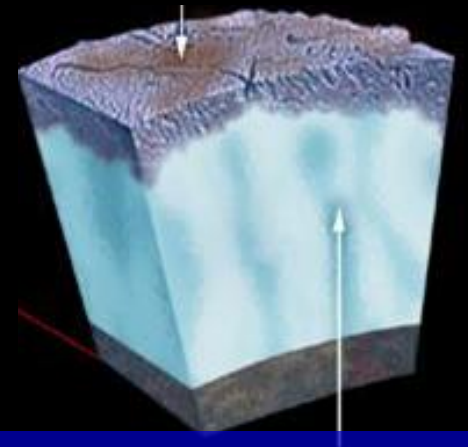
進行方向の前面

汚れてない



イオの火山噴出性イオウ logenic S が
エウロパ背面に降り、放射線を浴びて
硫酸 SO_4 になった。エウロパの酸化剤。

氷殻の下に必ずや
火山と内部海が！

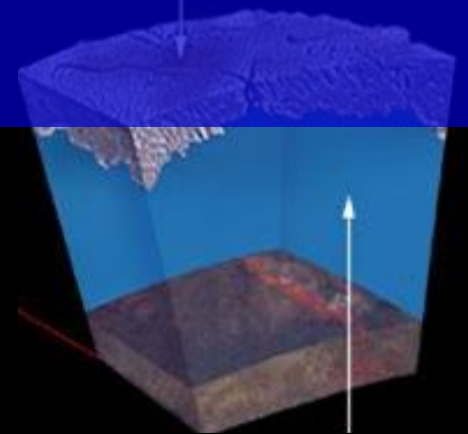


酸化剤が内部海に入るには？

O_2 、硫酸塩

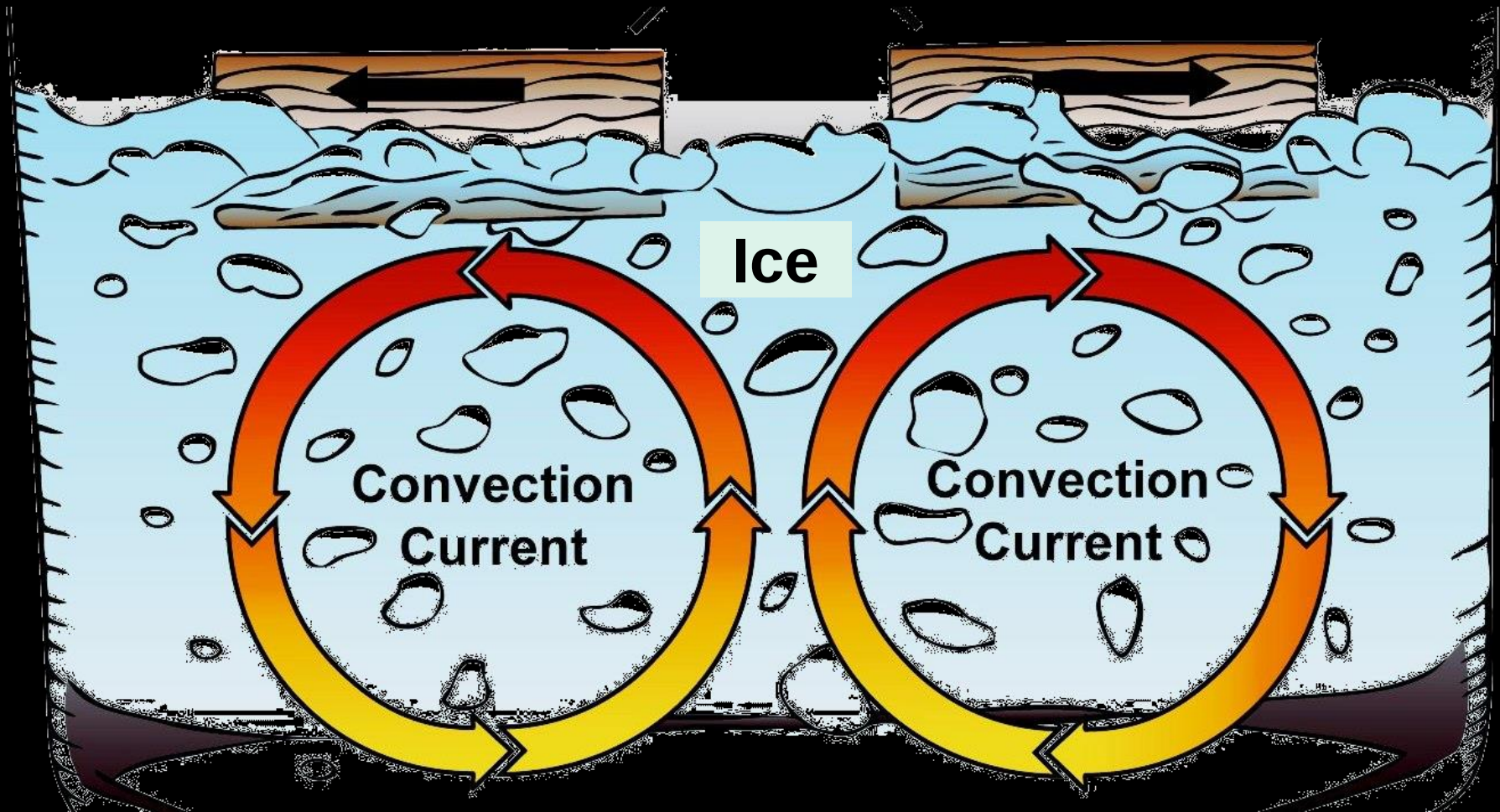
氷殻の下に火山

氷殻



内部海

プレート・テクトニクス のような
アイス・テクトニクス (氷殻の対流) が
氷表面の酸化剤を内部海に運ぶ



表面海

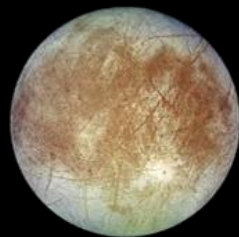
内部海

エウロパ

ガニメデ

カリスト

1+14

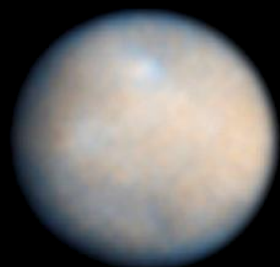


内部海を見たことあるのか？

冥王星

チタニア(天) オベロン(海)

トリトン(海)



ケレス



エリス

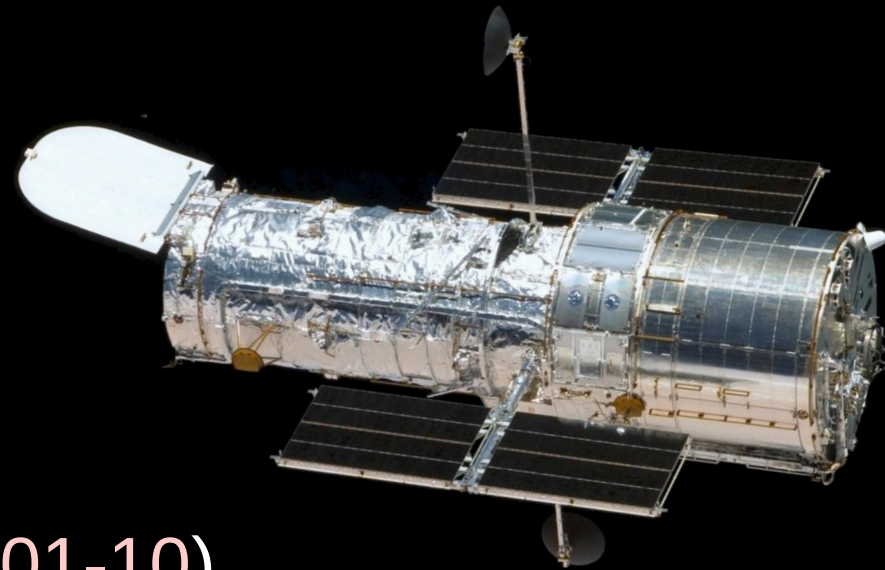


セドナ



オルクス

ハッブル宇宙望遠鏡 2013年12月12日 エウロパ氷殻からの 水蒸気噴出を報告 (撮影は2012年)



Science **343**, 171-174

Roth *et al.* (2013-12-12, 2014-01-10)

Transient water vapor at Europa's south pole

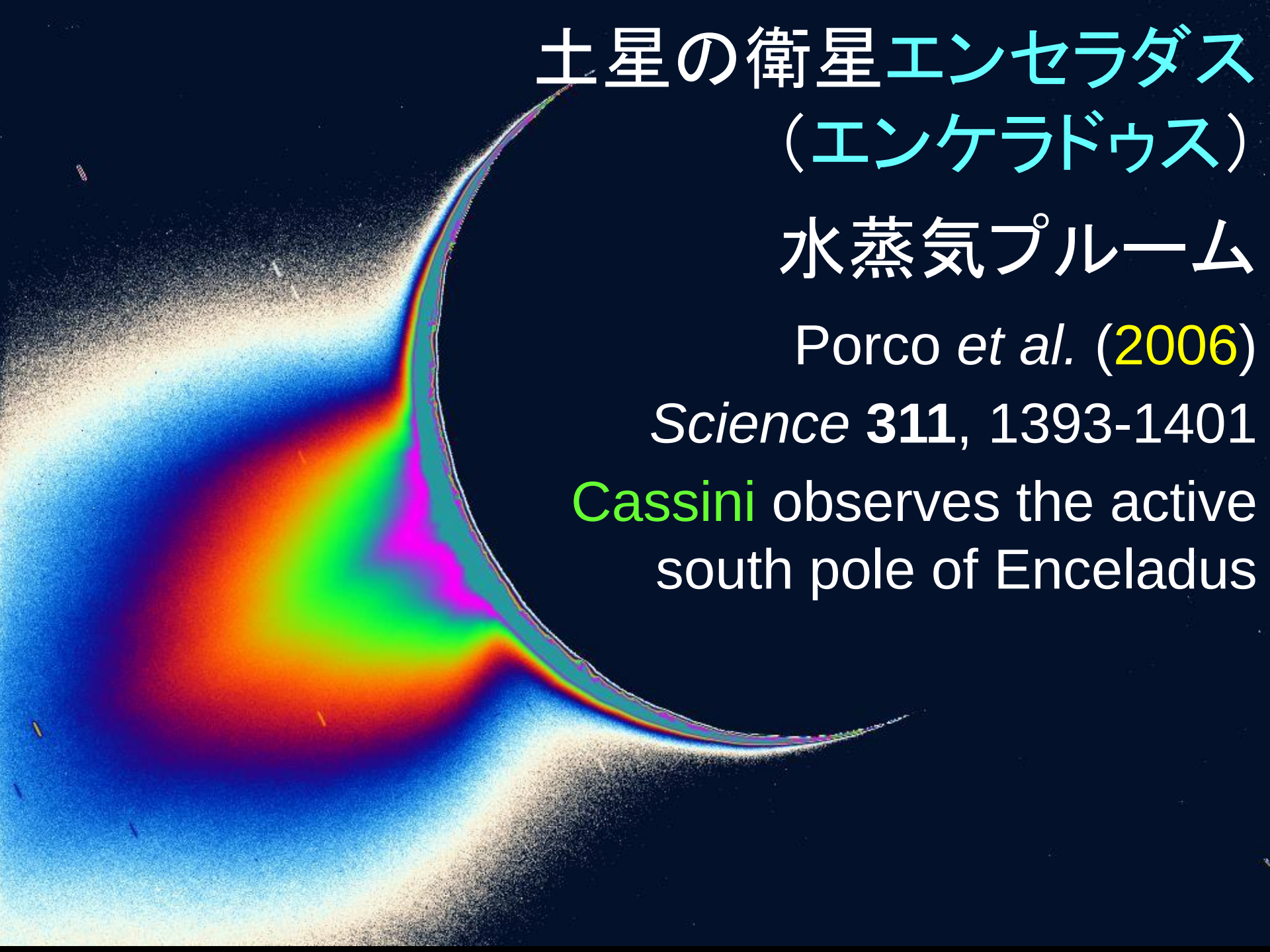
土星の衛星エンセラダス (エンケラドゥス)

水蒸気プルーム

Porco *et al.* (2006)

Science **311**, 1393-1401

Cassini observes the active
south pole of Enceladus





Enceladus
エンケラドゥス
(エンセラダス)

土星の衛星

直径わずか500 km

土星の衛星
Enceladus
エンケラドゥス
(エンセラダス)



土星探査機「カッシーニ」
2005年に発見して以来
何度も「氷火山」の
噴出を観察

土星の衛星 エンケラドゥス

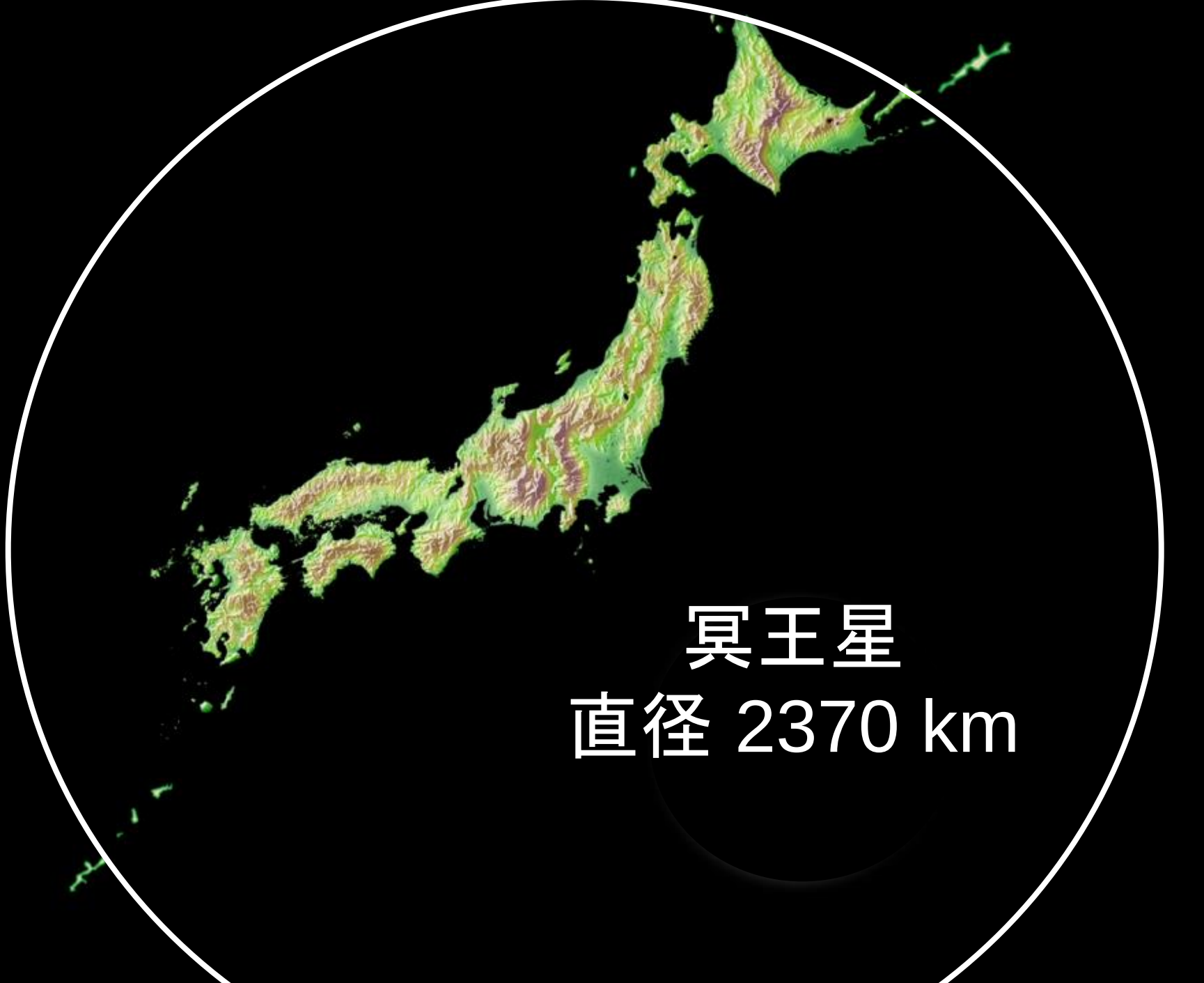
火山・水・有機物の
3点セットがある

太陽系で唯一
(地球以外で)



噴出物(プルーム)に
探査機カッシーニが突入して
質量分析した！

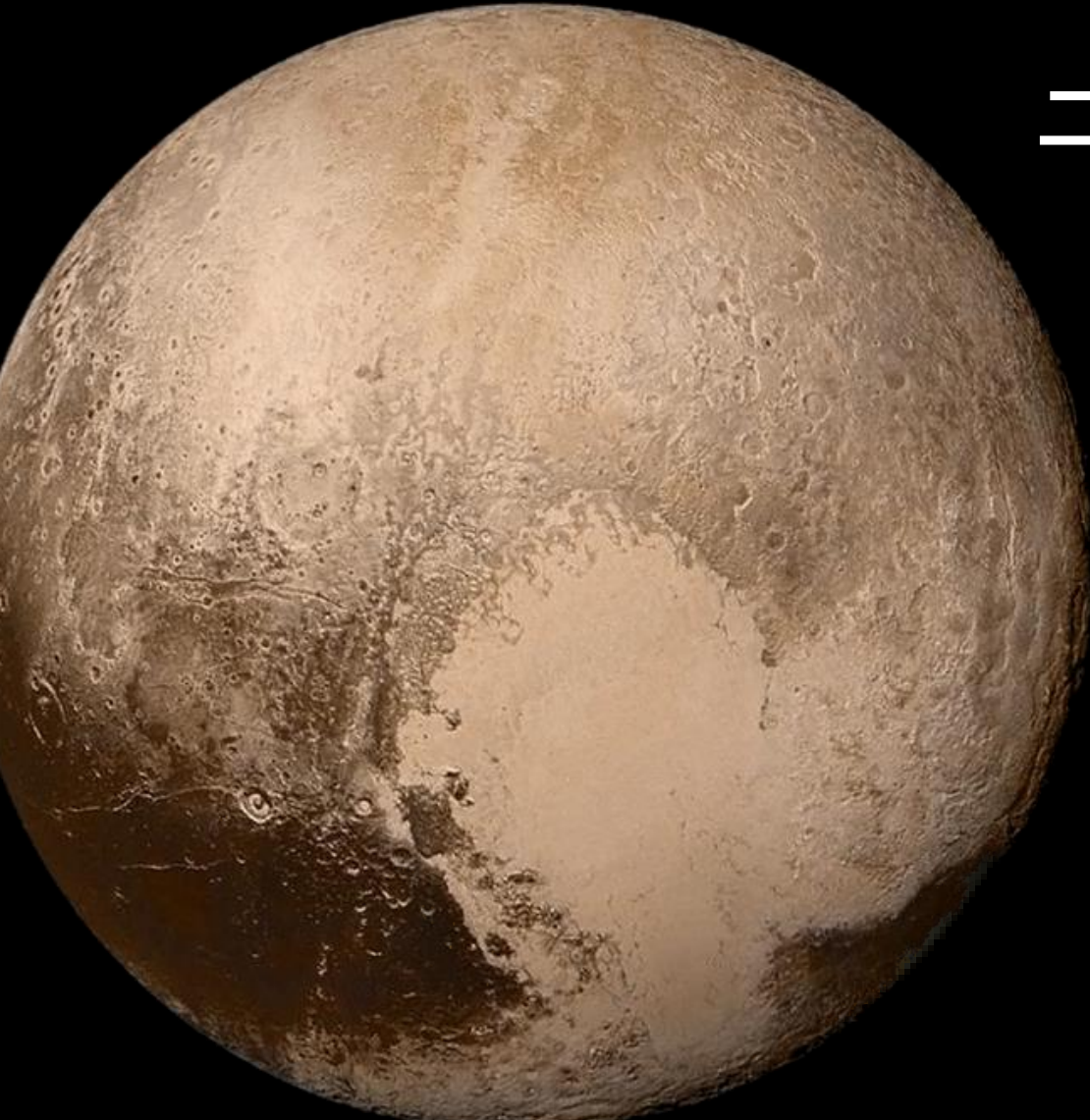


A topographic map of Japan, showing the four main islands: Hokkaido, Honshu, Shikoku, and Kyushu. The map is color-coded to represent elevation, with green for lower altitudes and brown/purple for higher altitudes. The map is enclosed within a white circular border. In the bottom right corner of the circle, there is a smaller, semi-transparent dark circle.

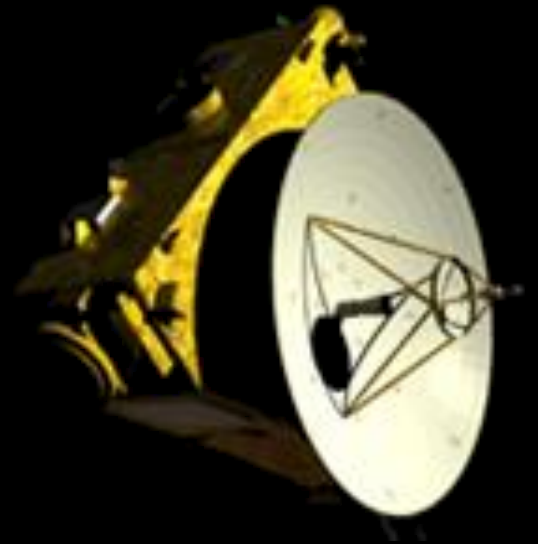
冥王星
直径 2370 km

冥王星

ザ・ハート あるいは ビッグ・ハート



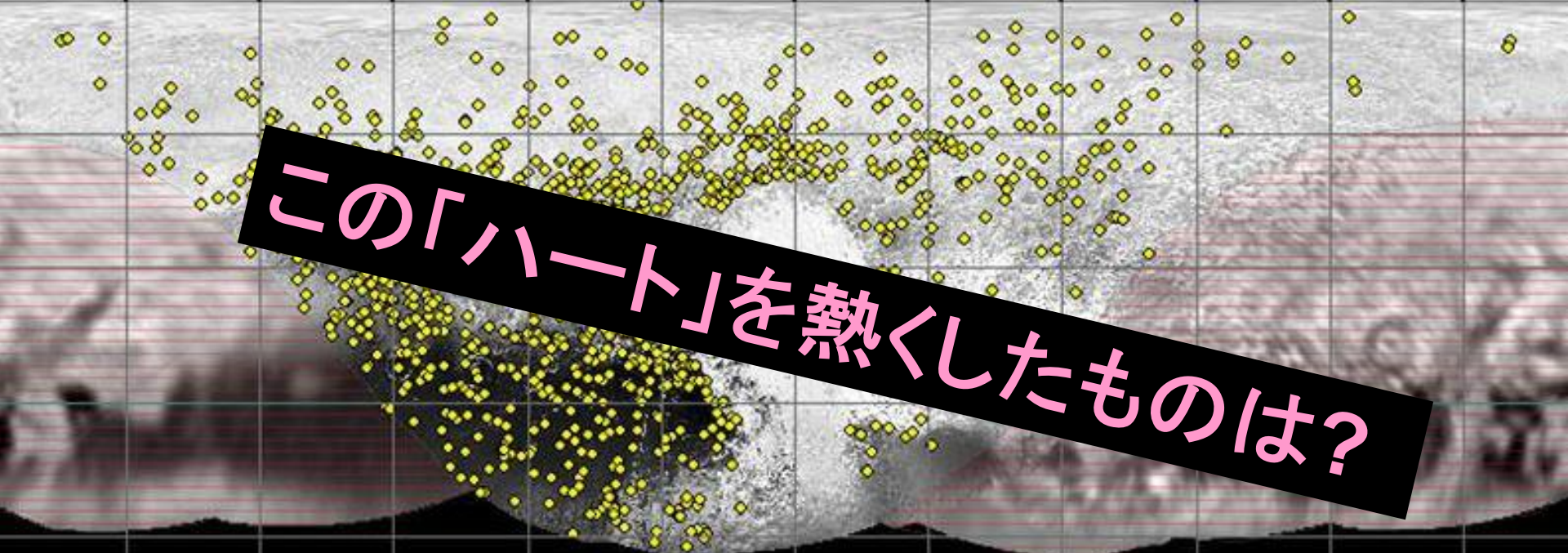
ニューホライズンズ
冥王星に最接近
2015年7月14日



SwRI astronomer & New Horizons team member
Alex Parker



このハート形の領域はとても平ら



この「ハート」を熱くしたものは？

この「ハート型」の平坦な地形は、氷が
いったん融けて流れたことを意味する？

岩石の内部に熱源があるのか？

熱源 — ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U , *etc.*

— 岩石内の放射性同位元素

地底旅行

(1864)

152年前のSF名作



ジュール・ヴェルヌ
(1828-1905)

Jules Verne

audax viator

アウダックス ヴィアートル

大胆な旅人

これにちなんだ名前が
ある地下の微生物につけられた

岩石中の ^{40}K , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U などの
放射能のエネルギーで生きる



Desulforudis audaxviator

デスルフォルディス・アウダックスヴィアートル

岩石中の ^{40}K , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U などの
放射能のエネルギーで生きる

南アフリカの金鉱山の地下2800メートル
(水温 60°C)の地下水に住んでいる

Chivian et al. (2008) *Science* 322, 275–278
Environmental genomics reveals
a single-species ecosystem
deep within the Earth

3 μm



CrossBeam
Mag = 7.70 K X

EHT = 5.00 kV
WD = 3 mm

Signal A = InLens Date : 2 May 2008
FIB Imaging = Ext + SEM Time : 17:11:08

1 μm

炭素Cベースの
生命体を維持
する酸化還元
サイクル



水素



酸素



水の電気分解
光合成
光分解
放射線分解
機械的分解
熱分解
etc.



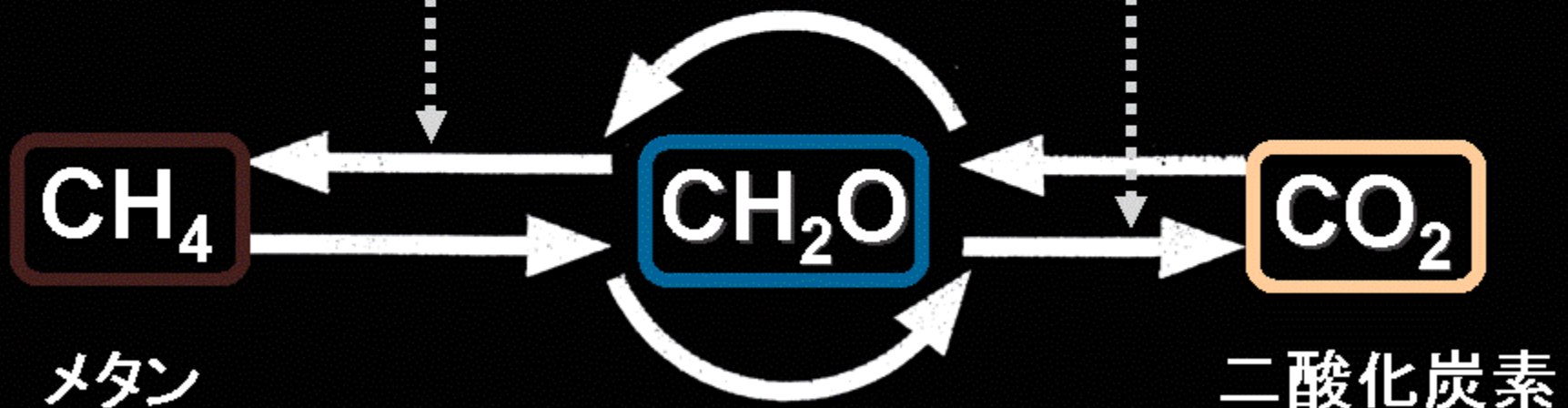
メタン



有機物・有機生命体



二酸化炭素



炭素Cベースの
生命体を維持
する酸化還元
サイクル



水素



酸素



水の電気分解
光合成
光分解
放射線分解
機械的分解
熱分解
etc.



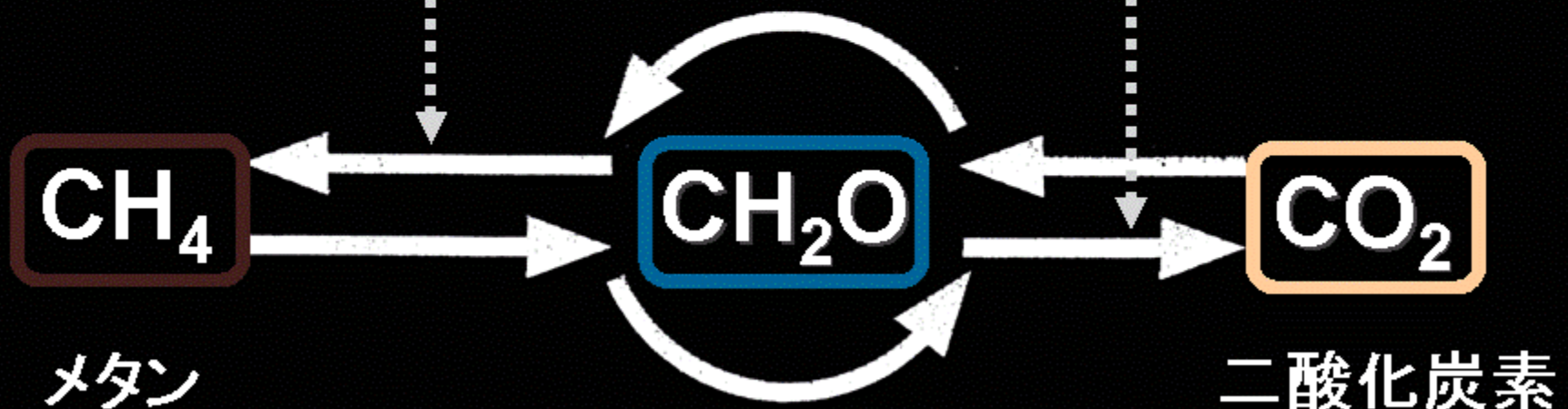
メタン



有機物・有機生命体



二酸化炭素



冥王星は表面が氷に覆われた「氷天体」
氷の下には「内部海」があるかもしれない

放射能のエネルギーで生きる生物が
いるかもしれない

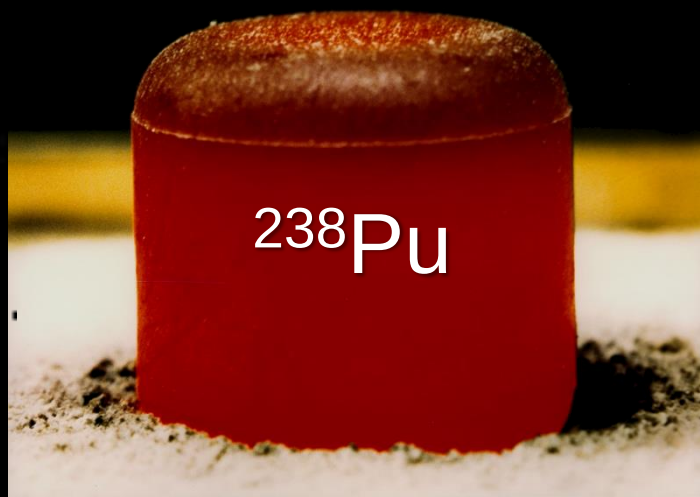


放射性同位元素電池

RTGを搭載した

木星探査機「ガリレオ」→

土星探査機「カッシーニ」



^{238}Pu

70億人が、彼の還りを待っている。

マット・デイモン

オデッセイ

2016 2.5

^{238}Pu

火星に住む練習 ー米国ユタ州の砂漠



火星に住む練習 2017年 3月～4月 一緒に行く人 募集中・・・日本火星協会

