

太陽風による月・小惑星表層物質の進化

2023.09.17

京都大学白眉センター 松本徹



Asteroid Itokawa

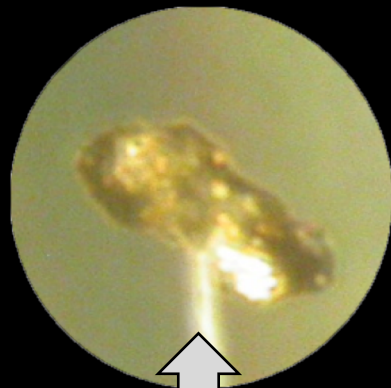


Asteroid Ryugu

探査機はやぶさと探査機はやぶさ2によるサンプル・リターン

- ・リターンサンプルでしか得られない情報は何か？
- ・小天体探査の時代にできる研究とは何か

S型小惑星イトカワ



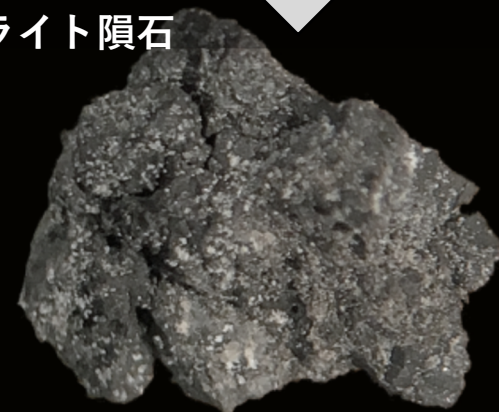
C型小惑星リュウグウ



LL普通コンドライト隕石

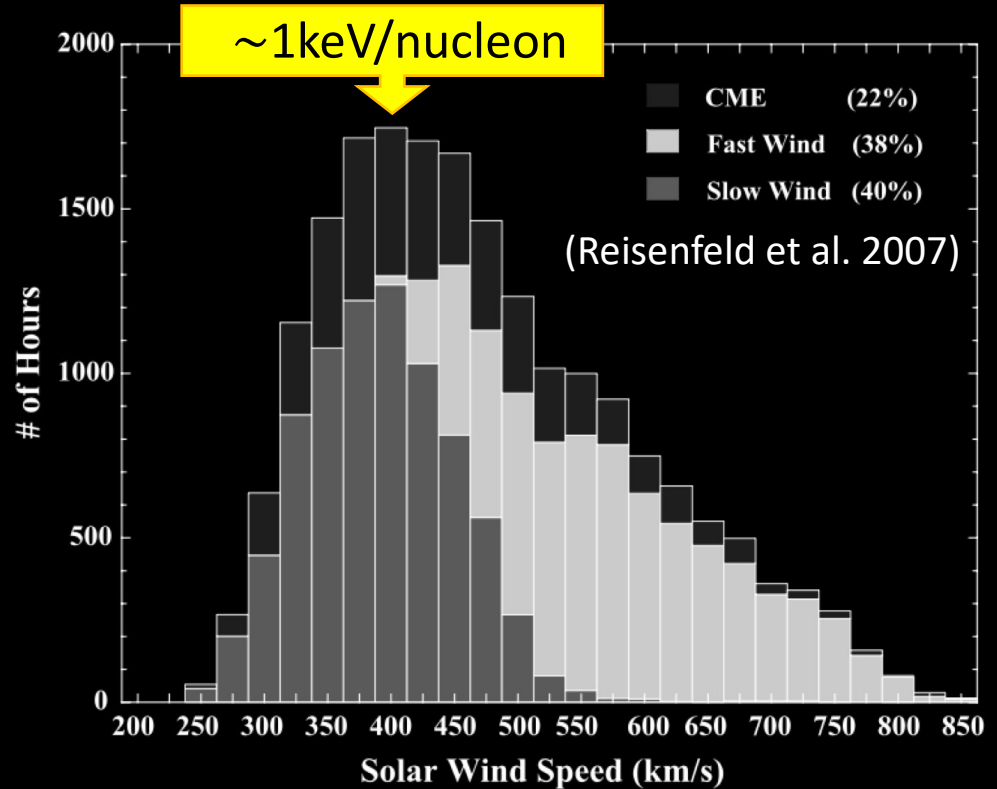


CI炭素質コンドライト隕石

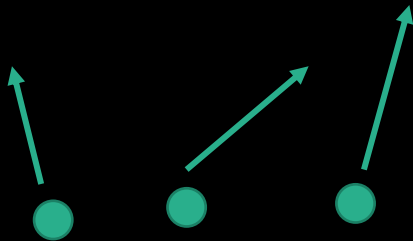


小天体の表層において重要な現象：太陽風と微小隕石衝突

太陽風のエネルギー分布



太陽風: H^+ , e^- , He^{++}

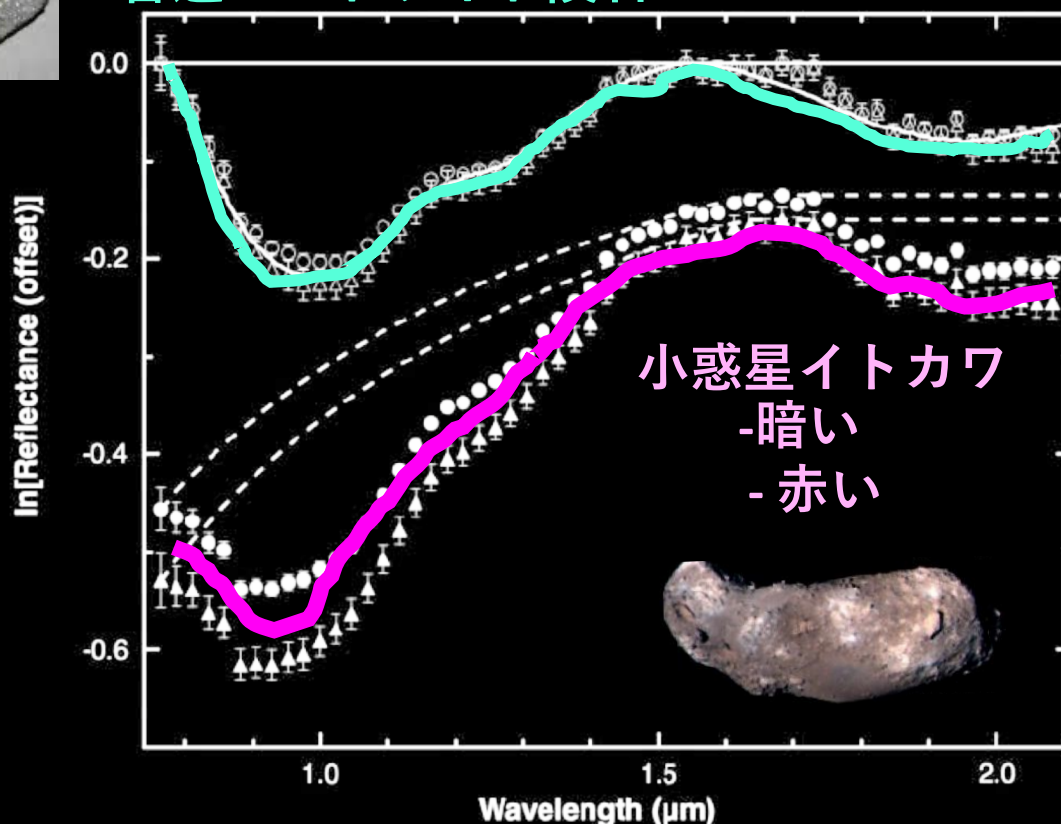


微小隕石

太陽風・微小隕石衝突による小惑星の色変化



普通コンドライト隕石



- ・ 小惑星は隕石とスペクトルが一致しない。
- ・ 天体表面の変化に起因する。
- ・ 観測から小惑星の成分を推定することが難しい

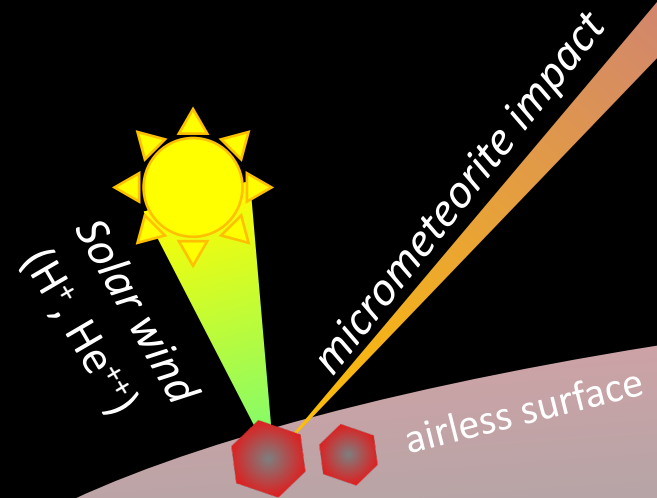
Motivation of my research

宇宙風化：

- ・ 大気のない天体の表面で起きる物質の変化
- ・ 太陽風と微小隕石衝突が主な原因

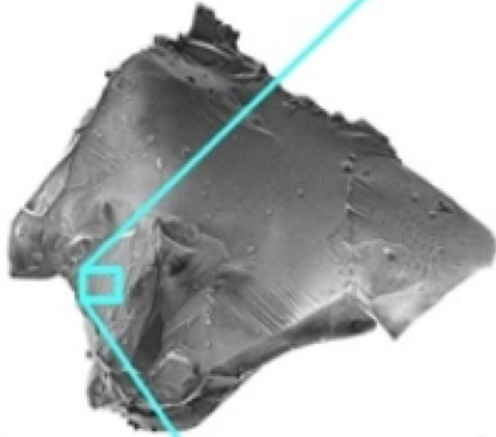


宇宙風化によって、小惑星の色や組成が変化することについて、実際に何が起きているのか知識を集積することが重要。



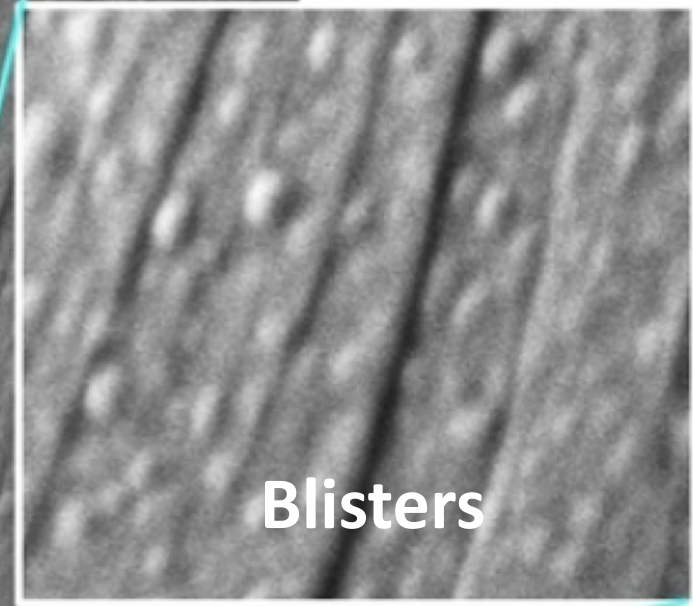
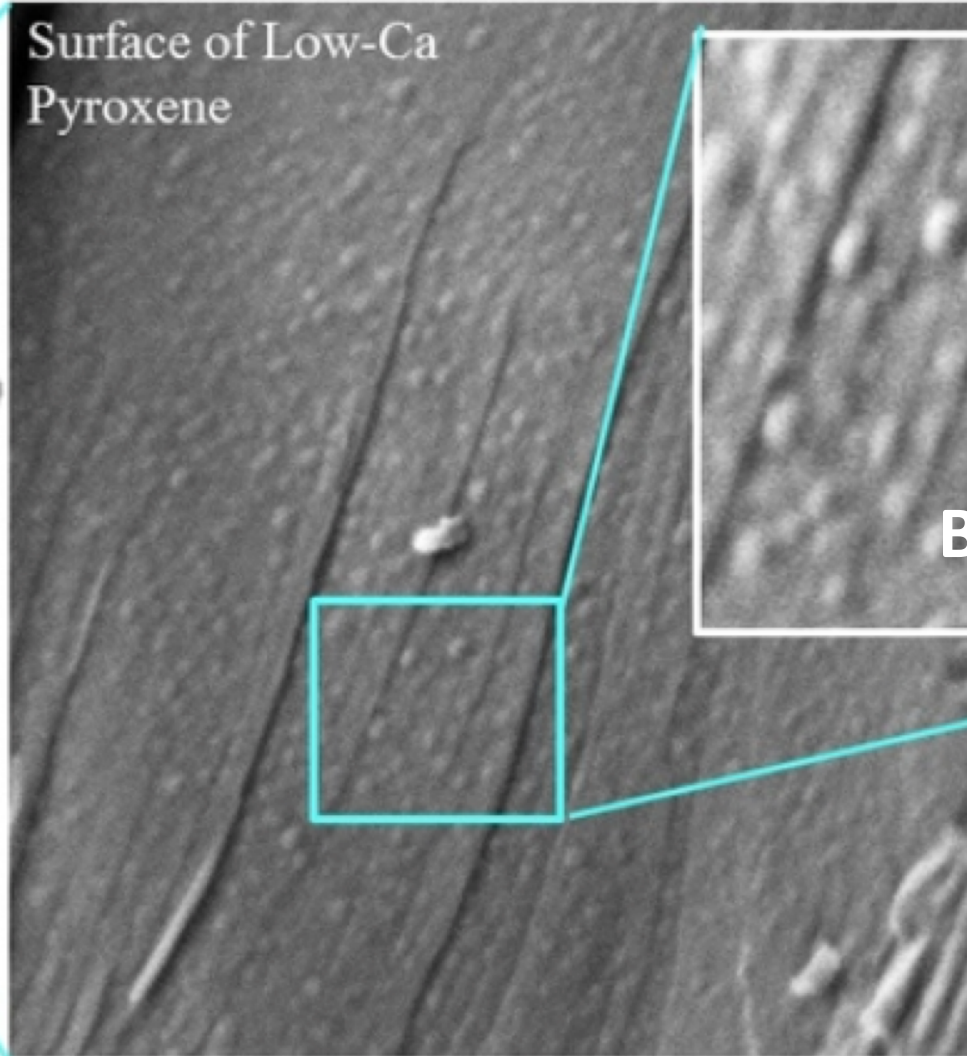
Structures of Space Weathered Rim

Itokawa Particle
(RB-QD04-0043)



35 μm

Surface of Low-Ca
Pyroxene

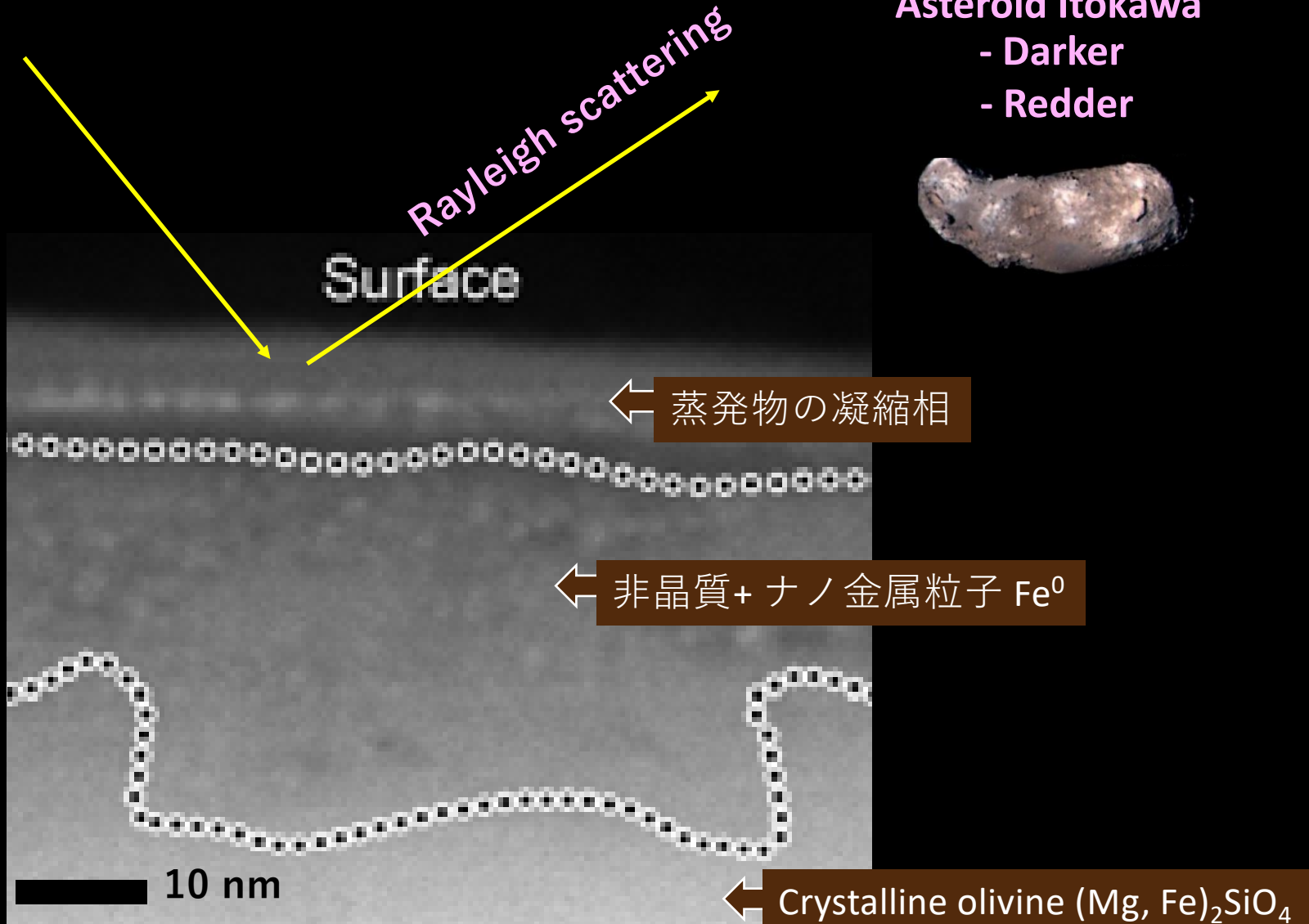


Blisters

0.2 μm

Space weathering of Itokawa samples

Asteroid Itokawa
- Darker
- Redder



Section image

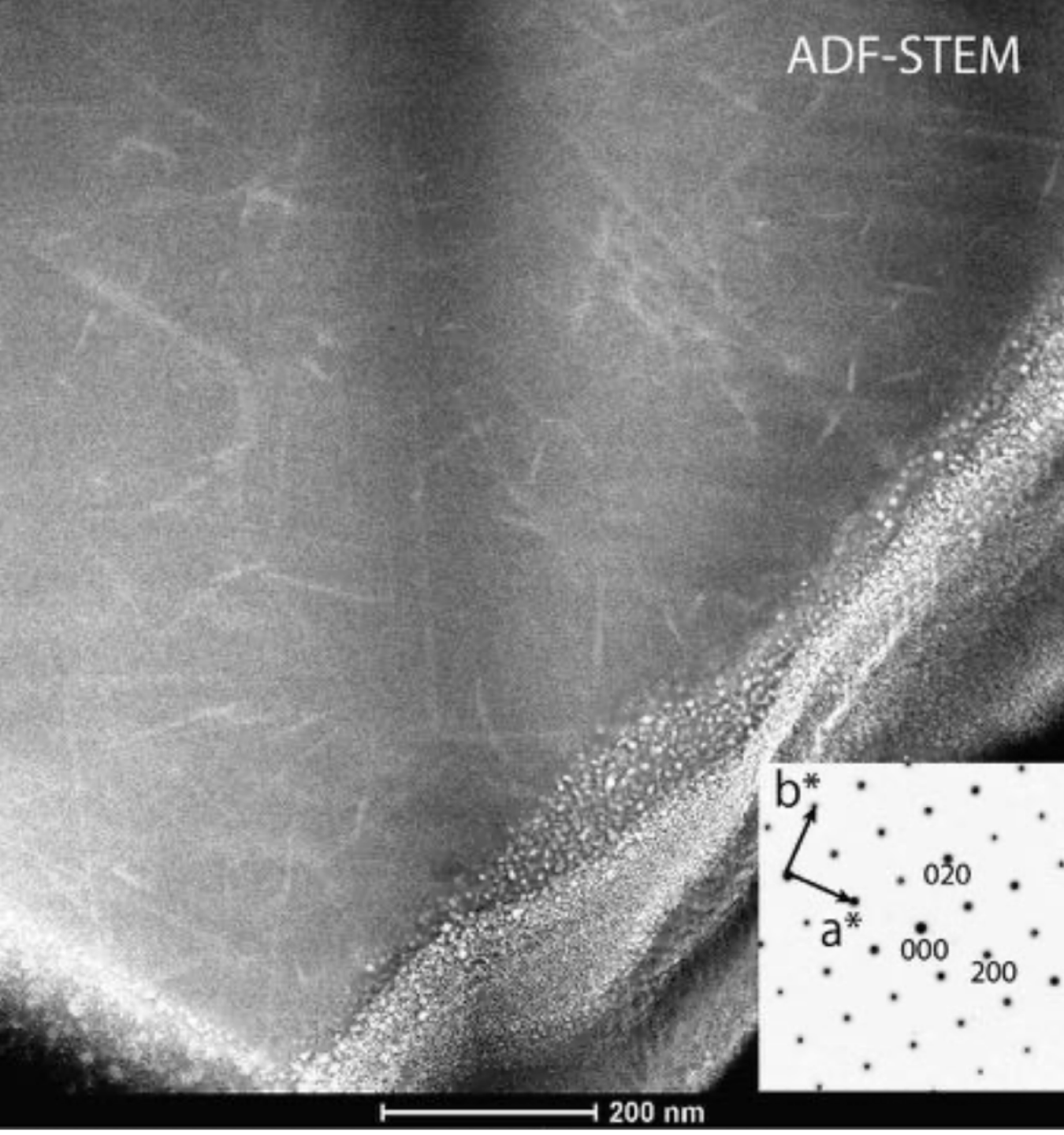
(Noguchi et al. 2014MAPS)

ADF-STEM

太陽フレアトラック：
MeVオーダーの粒子

- ・ 鉱物中に傷を作る
- ・ 小天体表面年代に
対応

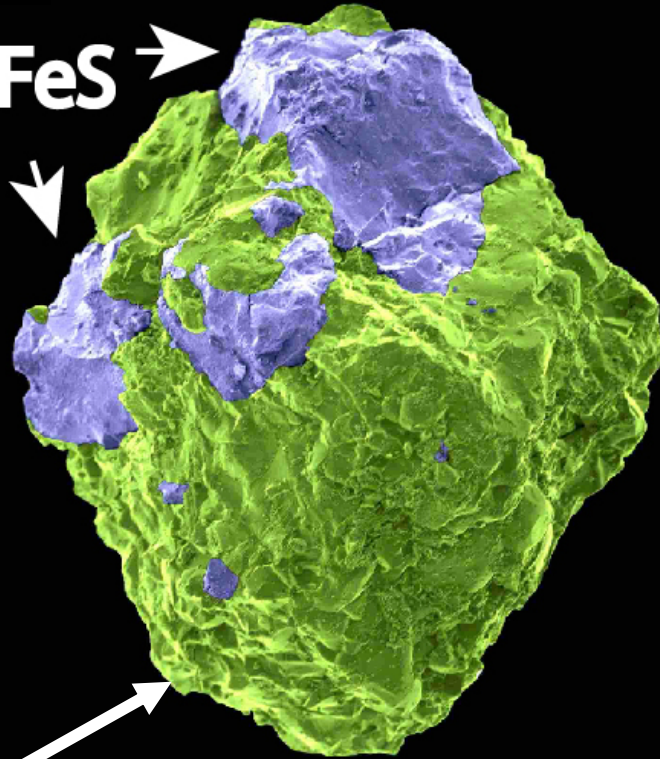
・ $6 \times 10^{10} / \text{cm}^{-2}$
 $\sim 10^3 \text{ yr}$



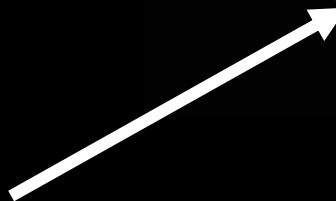
Study of iron sulfides in Itokawa grains

Iron sulfides

FeS →



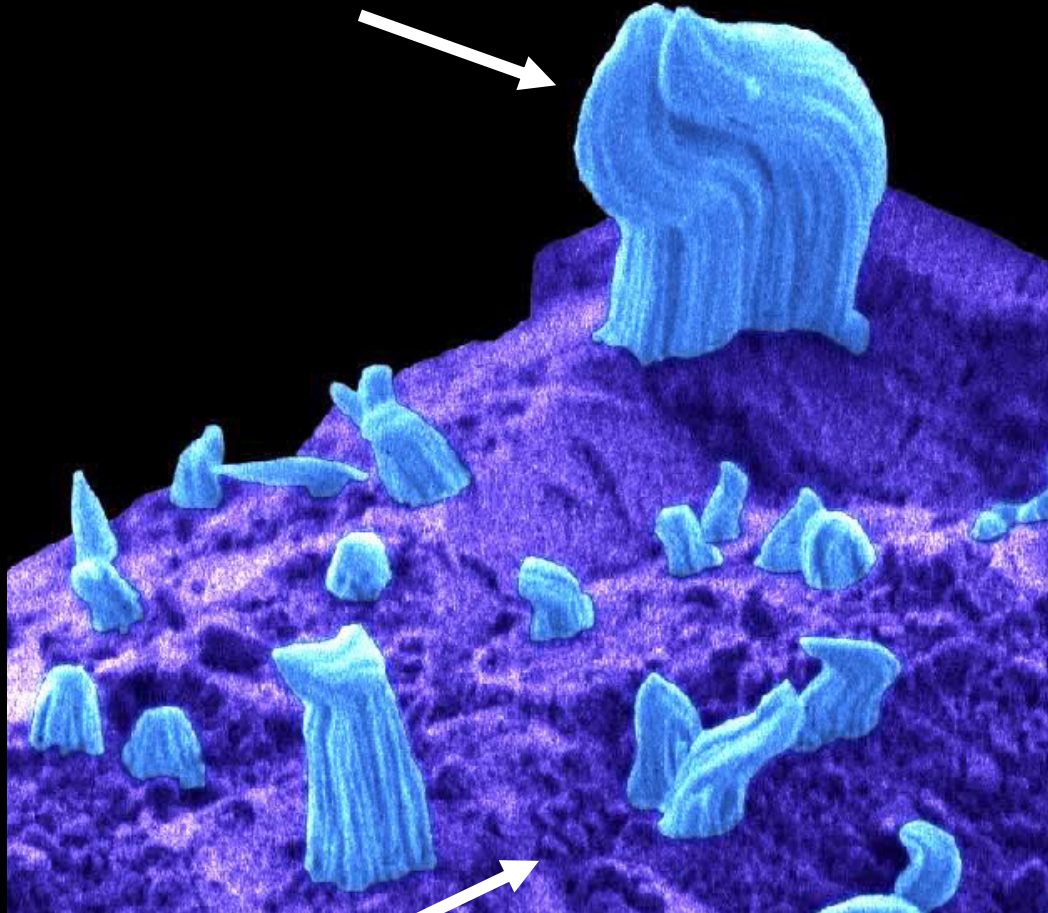
Olivine (Mg, Fe)₂SiO₄



Metallic iron whisker on iron sulfides

(Matsumoto et al. 2020 Nature. Commun)

金属鉄のひげ状結晶



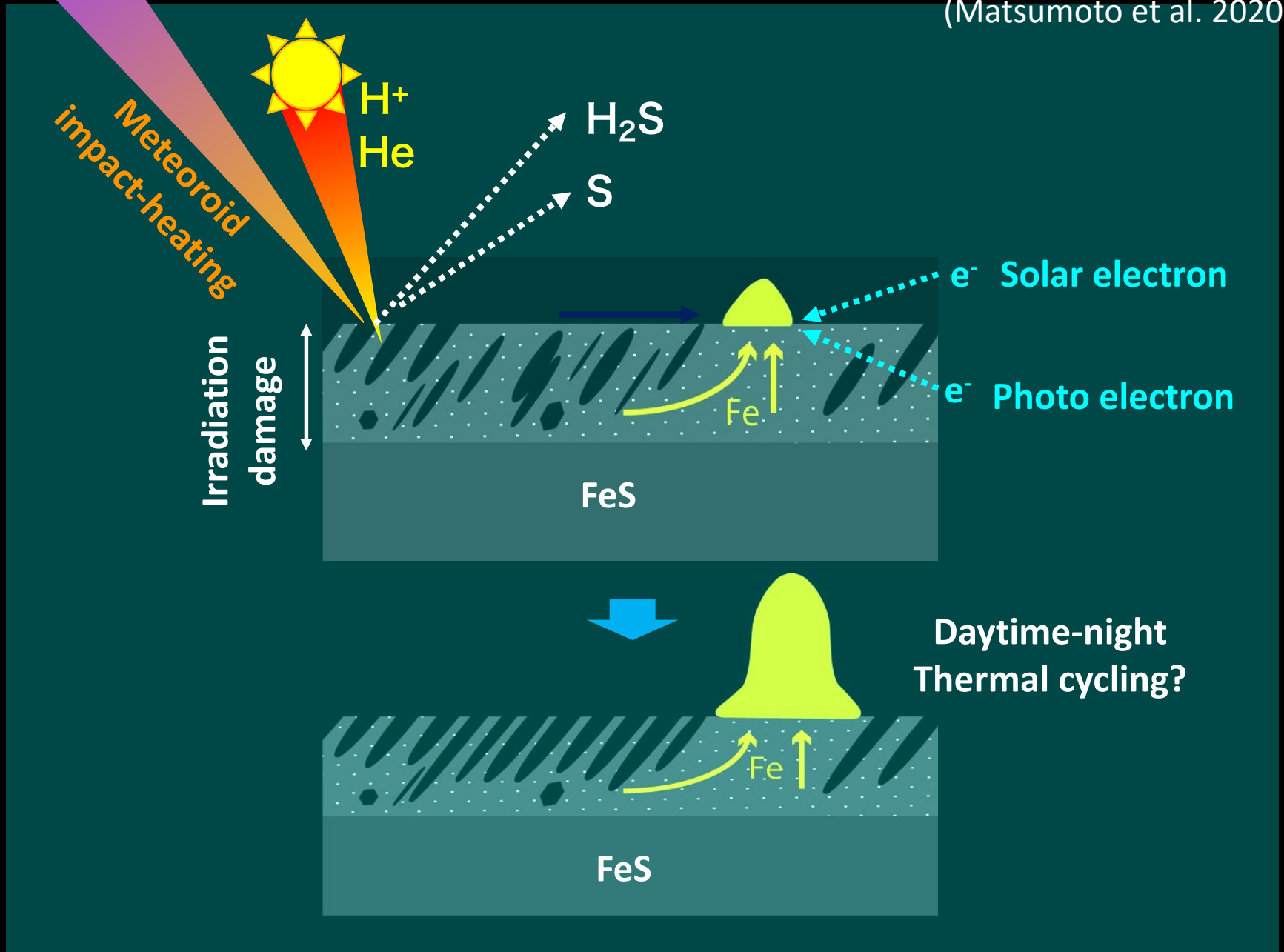
FeS



1 μm

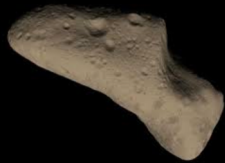
金属鉄ひげ状結晶の成長モデル

(Matsumoto et al. 2020)

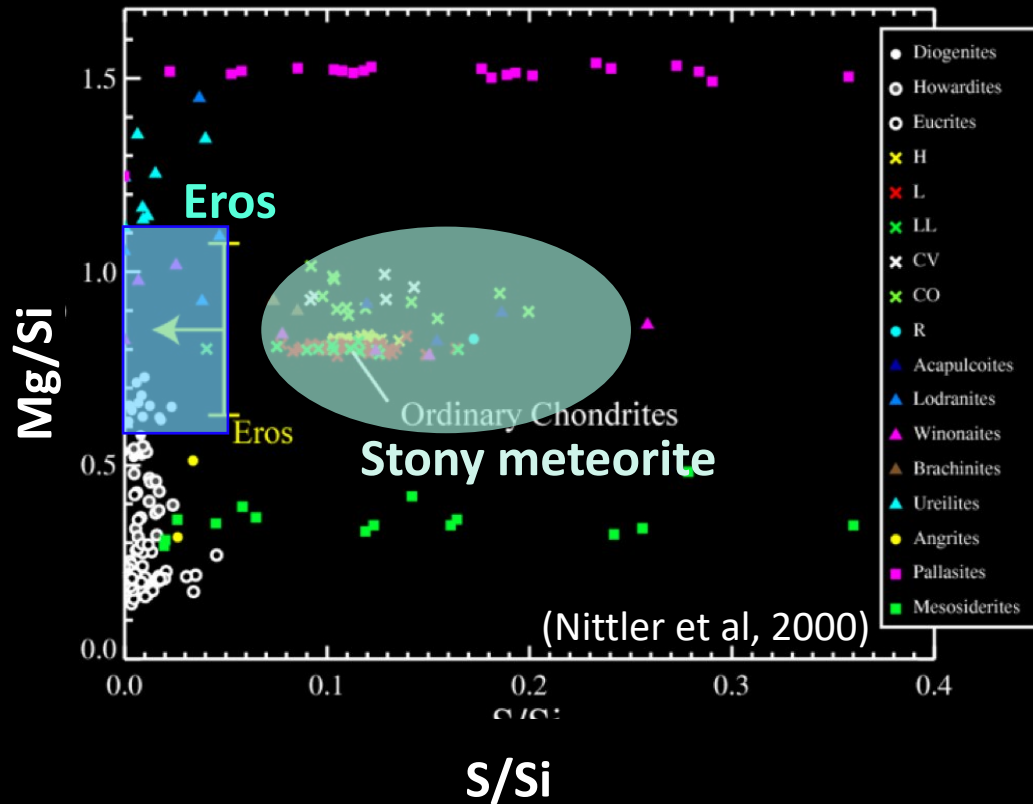


Sulfur depletion on asteroid

(Matsumoto et al. 2020)



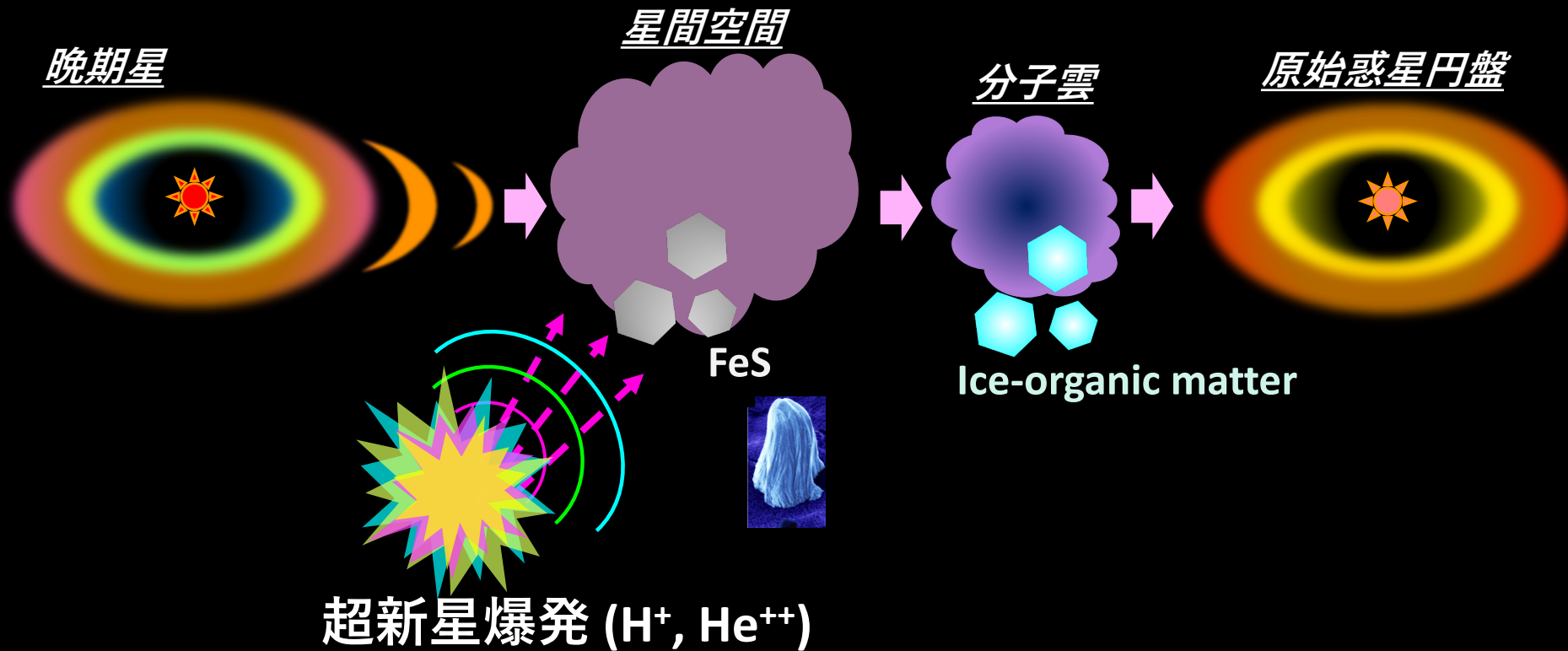
S-type asteroid Eros



小惑星表面では、宇宙風化によって選択的に硫黄が消失する

Iron sulfides in interstellar environment

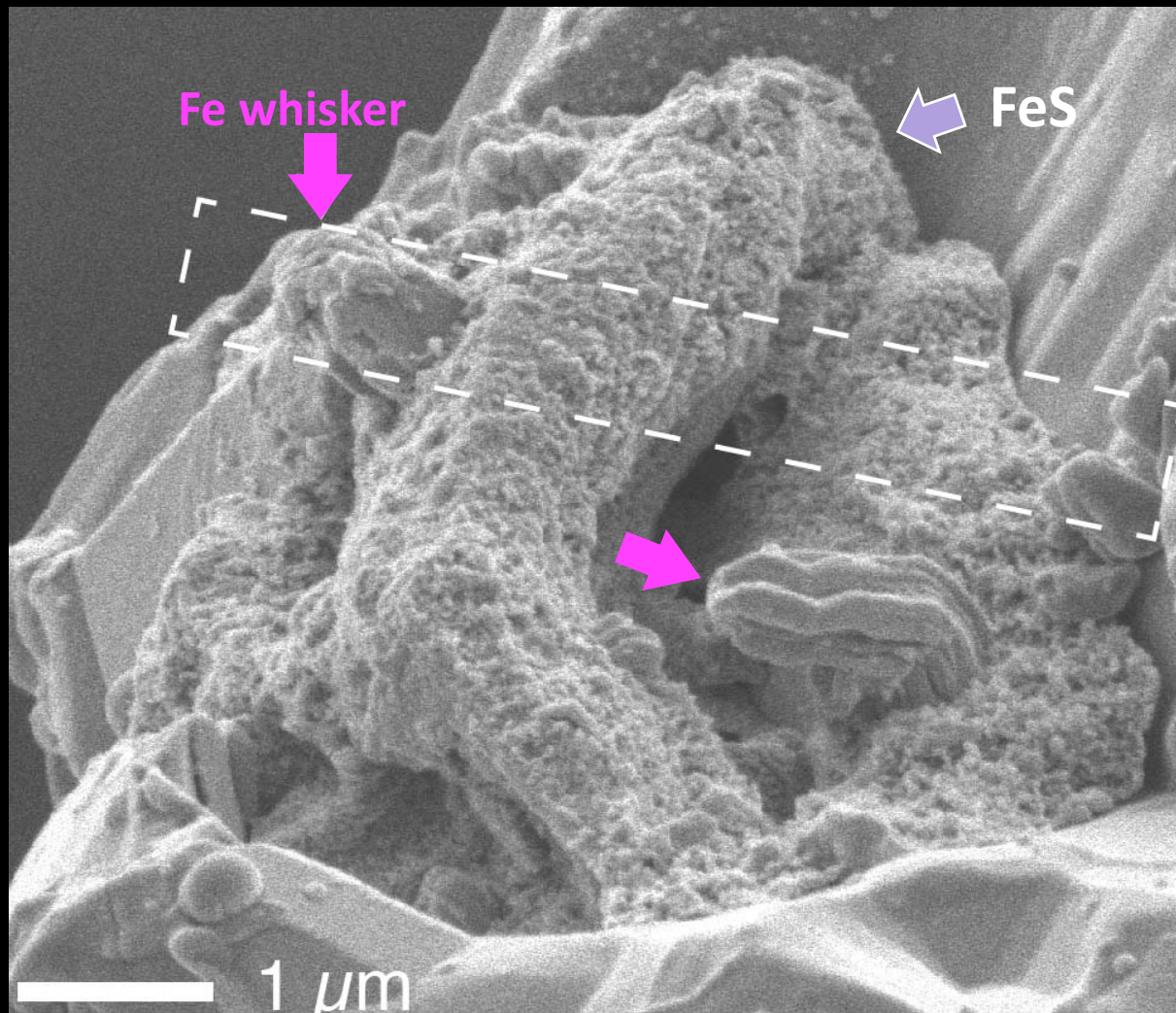
(Matsumoto et al. 2020)



- 星間空間で起こるイオン照射による固体の変化を推定する手がかりにもなる。

Space weathering of lunar iron sulfides

(Matsumoto et al. 2021 GCA)



Porous iron sulfides + iron whiskers

Lunar polar ice

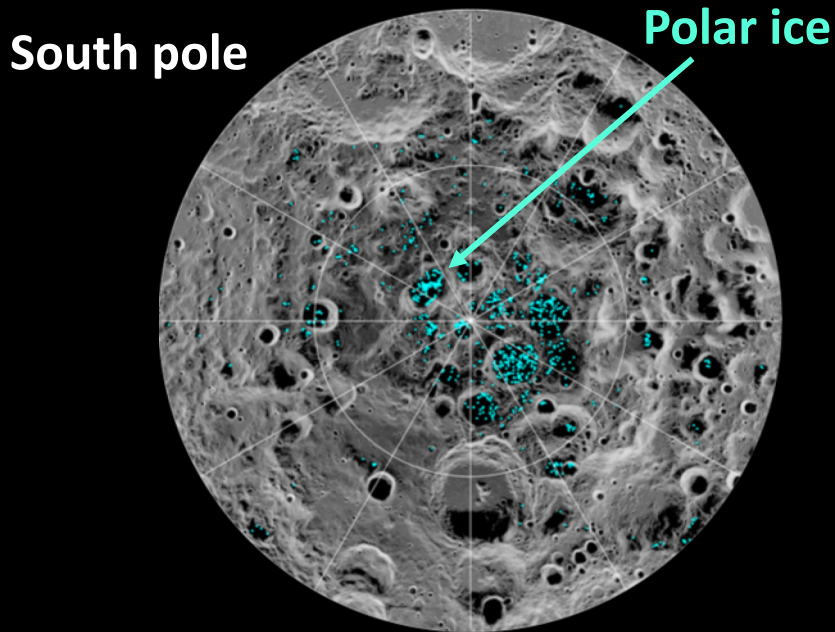
Composition of the polar ice

Cabeus crater, south pole

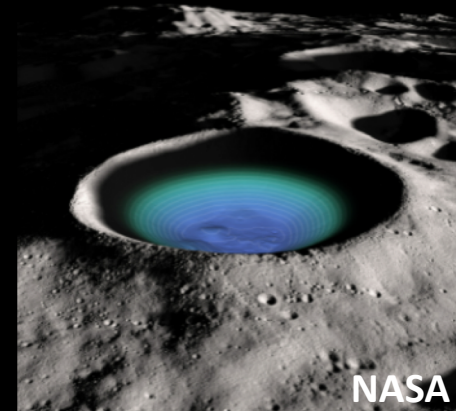
Compound % Relative to H₂O(g)*

H ₂ O	100.00%
H ₂ S	16.75%
NH ₃	6.03%
SO ₂	3.19%
C ₂ H ₄	3.12%
CO ₂	2.17%
CH ₃ OH	1.55%
CH ₄	0.65%
OH	0.03%

(Colaprete et al. 2010)

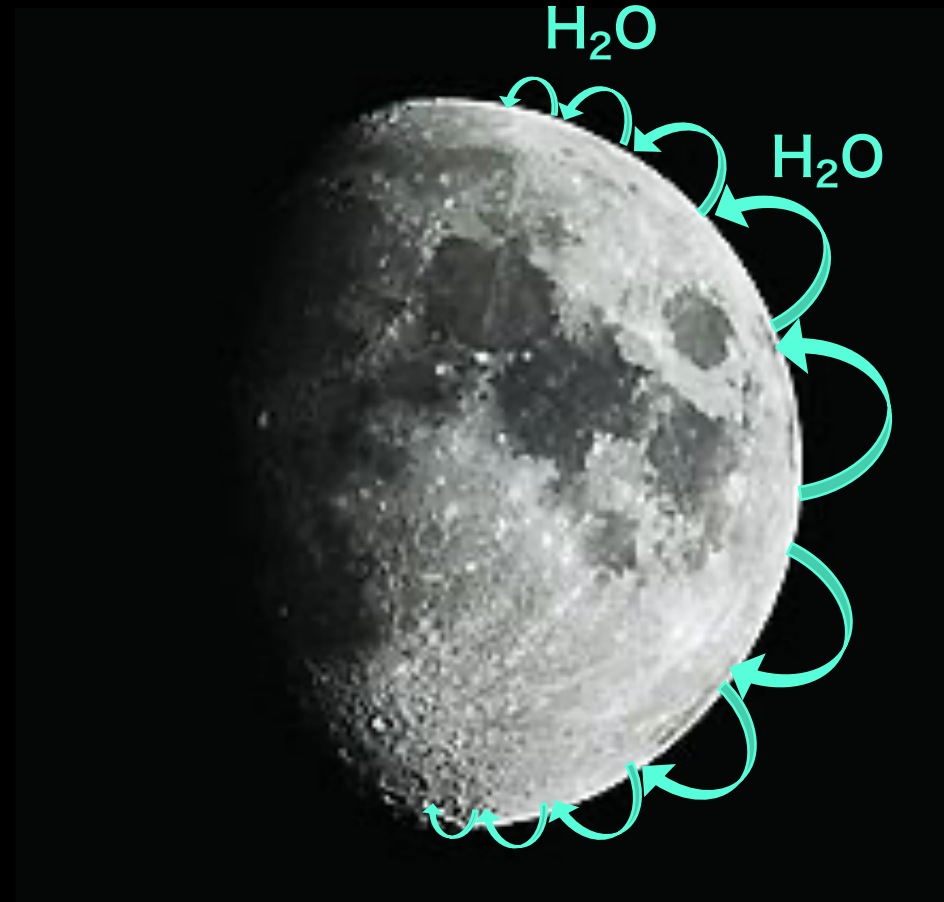
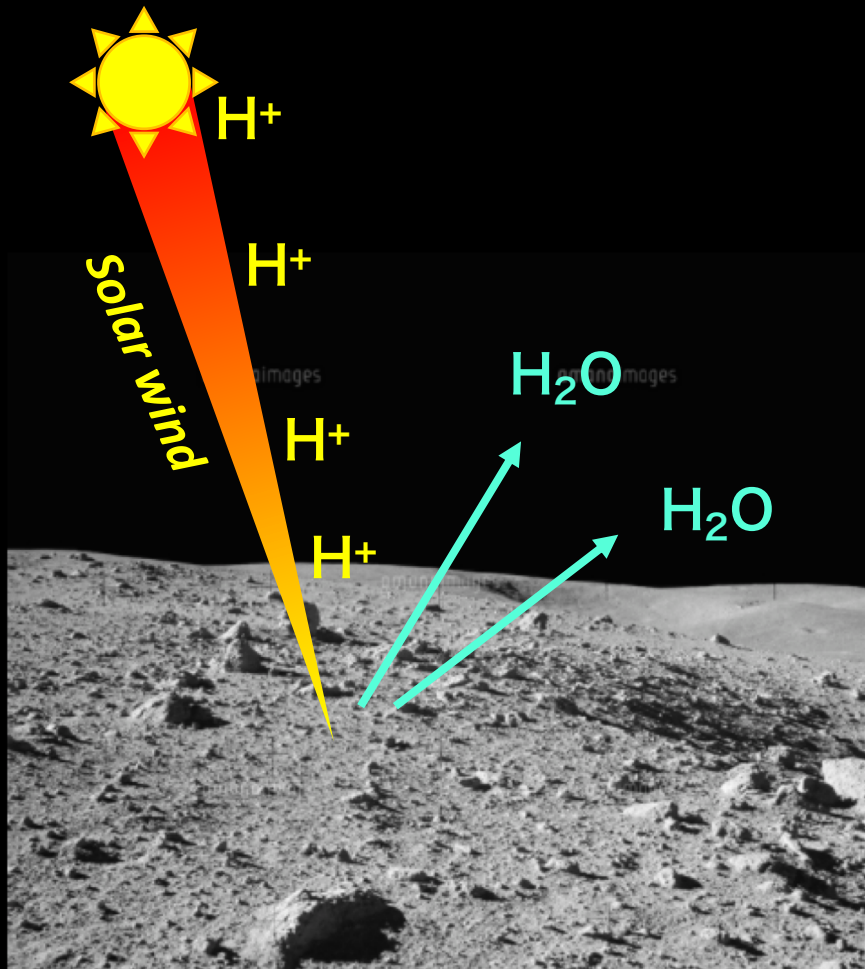


Li et al. 2018



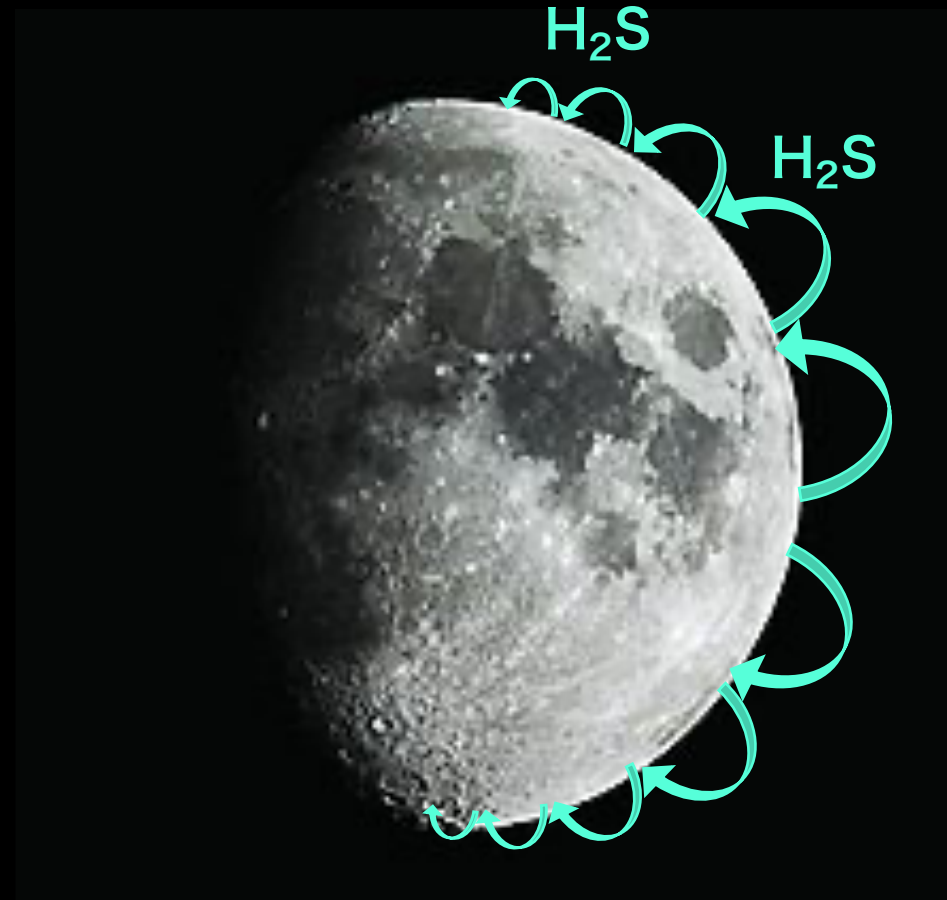
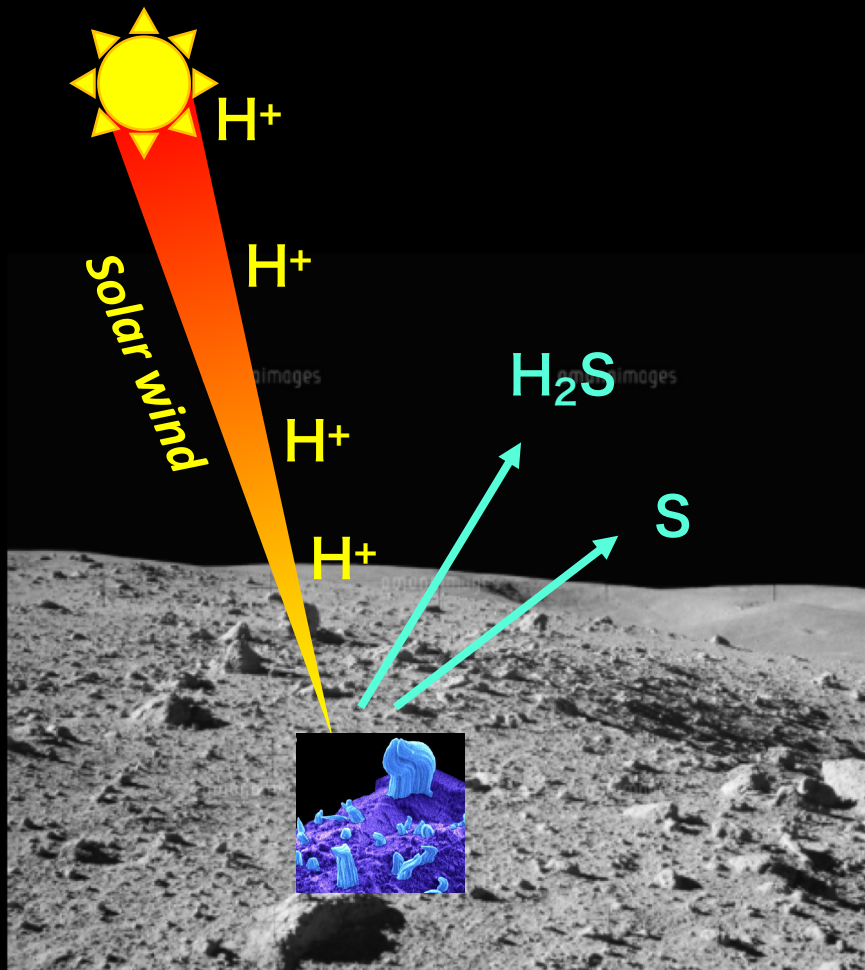
False color of water ice
in Shackleton crater

Possible origin of H_2O in lunar polar ice



(e.g., Kloos et al. 2019)

Possible origin of sulfur compounds in lunar polar ice



まとめ

リターンサンプルの表面を観察すると、サブマイクロメートルの大きさの様々な構造が見られる。

こうした組織は、大気のない天体の化学進化や星間空間の物質の進化を考える上で重要な情報を持っている。

