

地球の水の起源を 探ろう



北海道大学 理学研究院

博士研究員

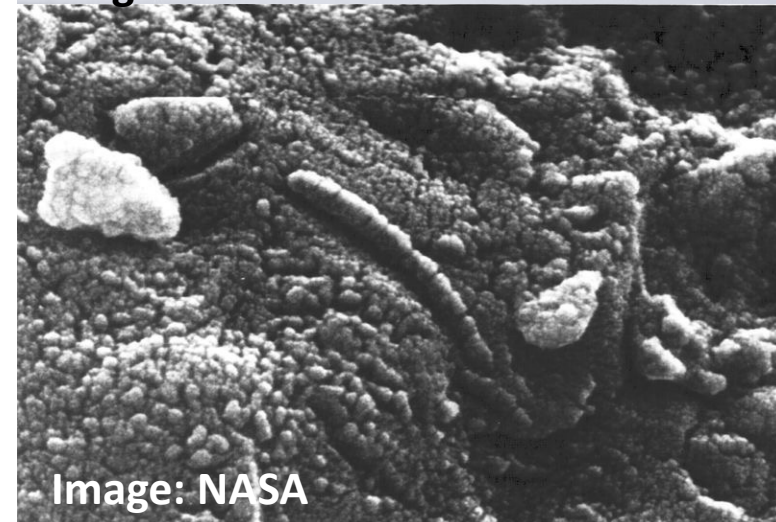
齊藤 大晶

自己紹介

- 惑星に興味をもったきっかけ
 - 小学4年生のとき, 火星隕石中に生命の痕跡らしいものがあったというニュース
 - 科学雑誌 Newton など読むようになった
- 現在やっている研究
 - 岩石惑星上に形成する原始大気
 - 生命の誕生/活動に不可欠な水の起源に興味



Image: NASA

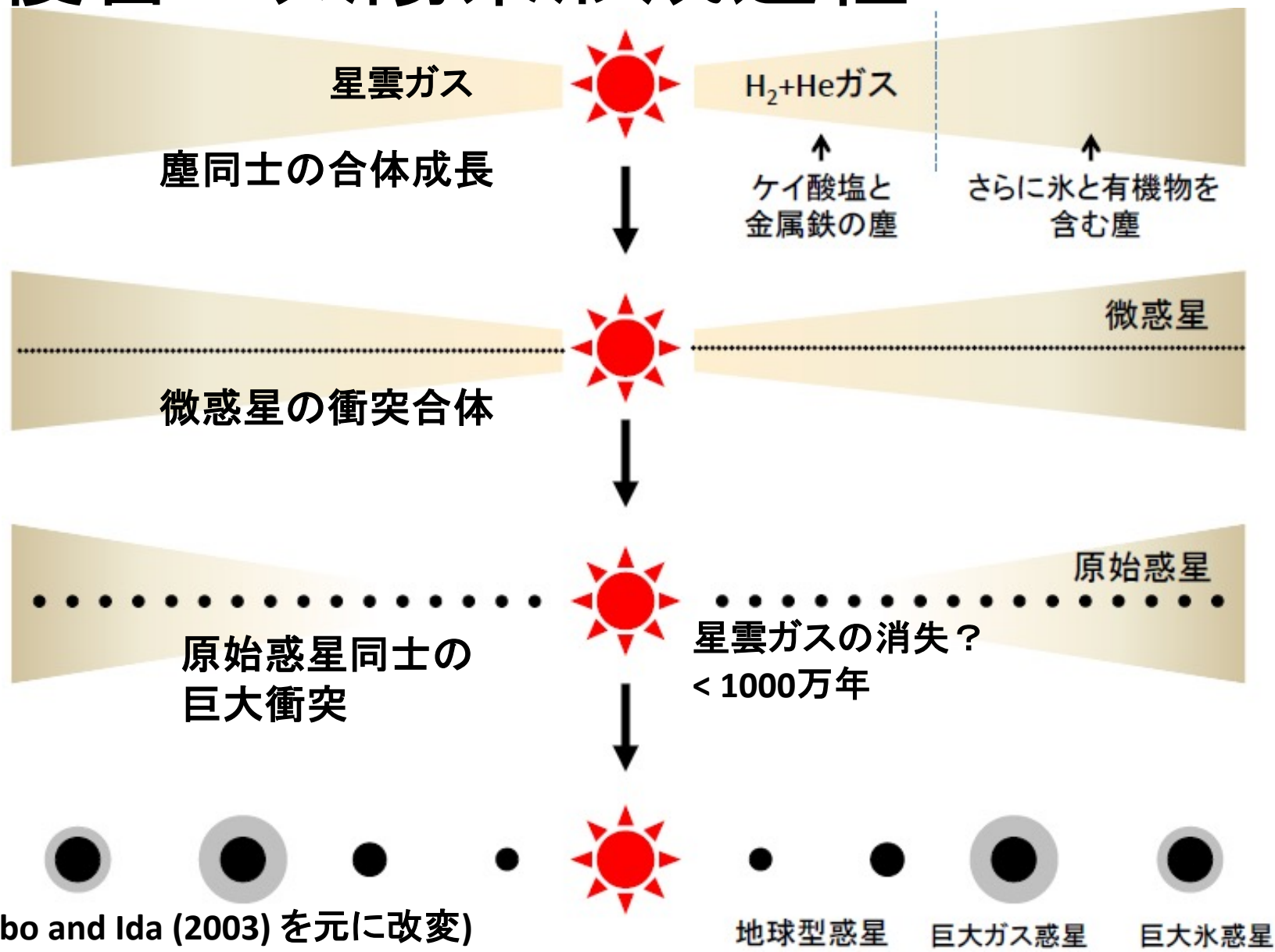






水は一体どこから
もたらされたのでしょうか？

復習！太陽系形成過程



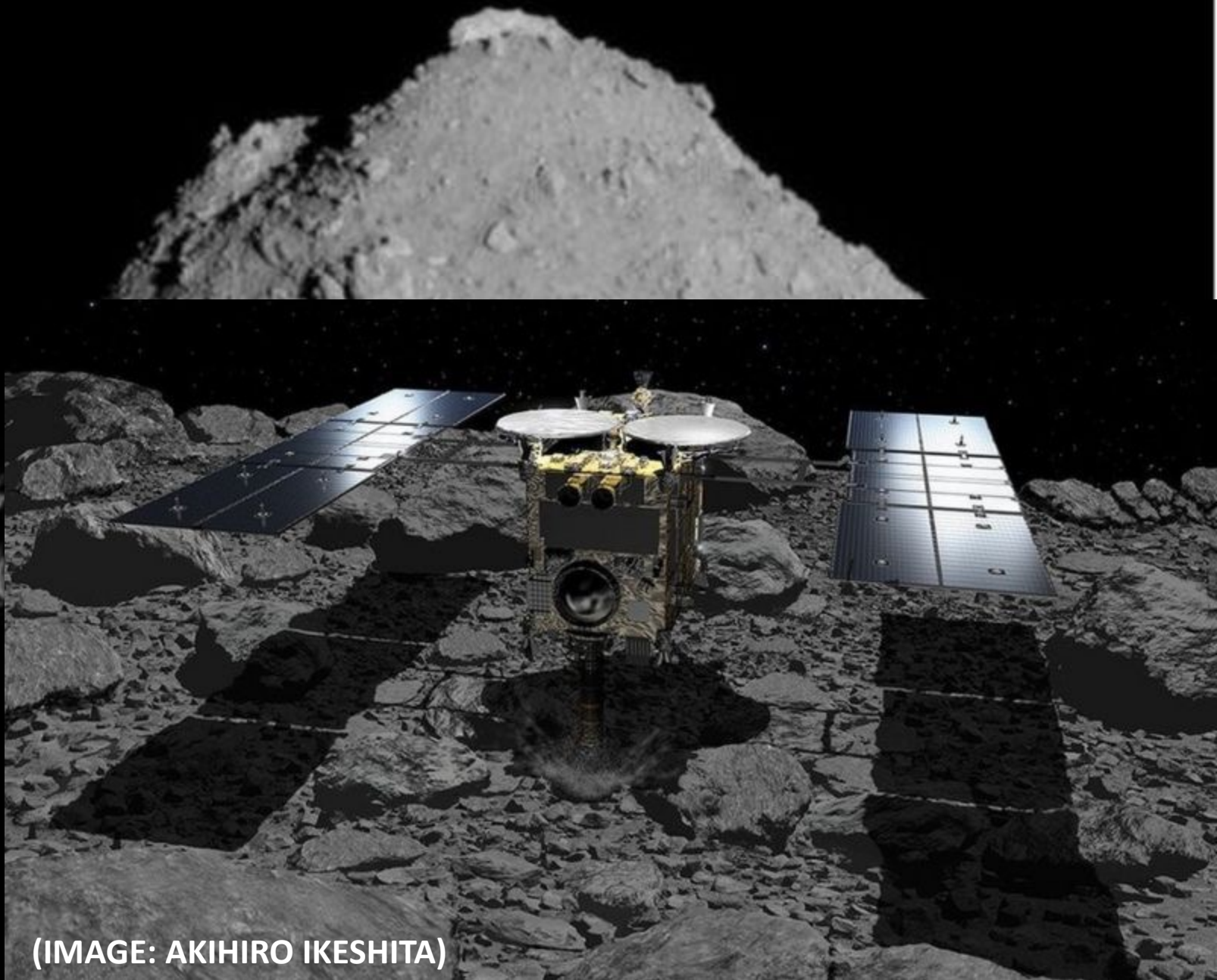
(Kokubo and Ida (2003) を元に改変)

地球の表層水の 主な水の供給源候補 ①

① 炭素質小惑星中 の含水鉱物

- ある程度惑星が大きくなり
微惑星が衝突するようになると...
 - 衝突加熱により含水鉱物が分解
 - 水や水素などから成る大気が形成





(IMAGE: AKIHIRO IKESHITA)

(IMAGE: JAXA, UNI TOKYO & COLLABORATORS)

地球の水の 主な水の供給源候補 ②

② 星雲ガス中の水素

水素+酸化鉄(II) = 鉄 + 水

地球の表層水の 主な水の供給源候補 ③

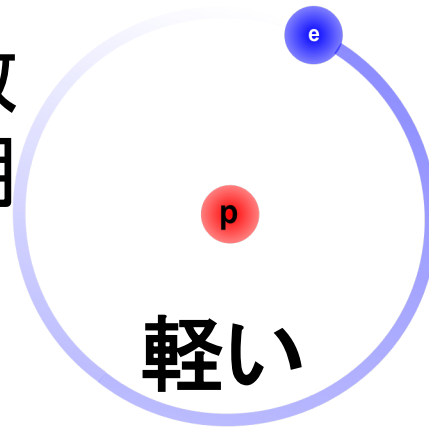
③ 彗星中の氷

Hyakutake_Color.jpg: E. Kolmhofer, H. Raab; Johannes-Kepler-Observatory,
Linz, Austria (<http://www.sternwarte.at>) derivative work: Andrzej 22 (talk)
- Hyakutake_Color.jpg, CC 表示 継承 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17285172>による

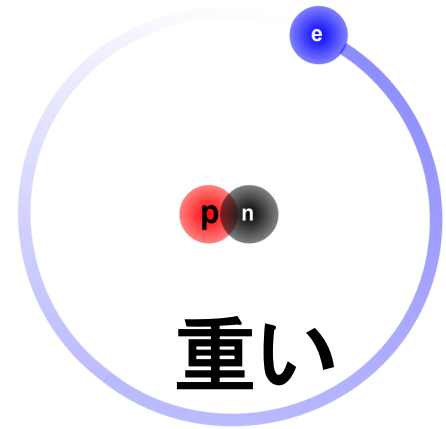
水がどこから供給されたのか 考えるときによく使われる指標

- 水素と重水素の個数の比 (D/H 比) を使用
- 現在の地球の水の D/H 比は

$$1.56 \times 10^{-4}$$



H: 水素



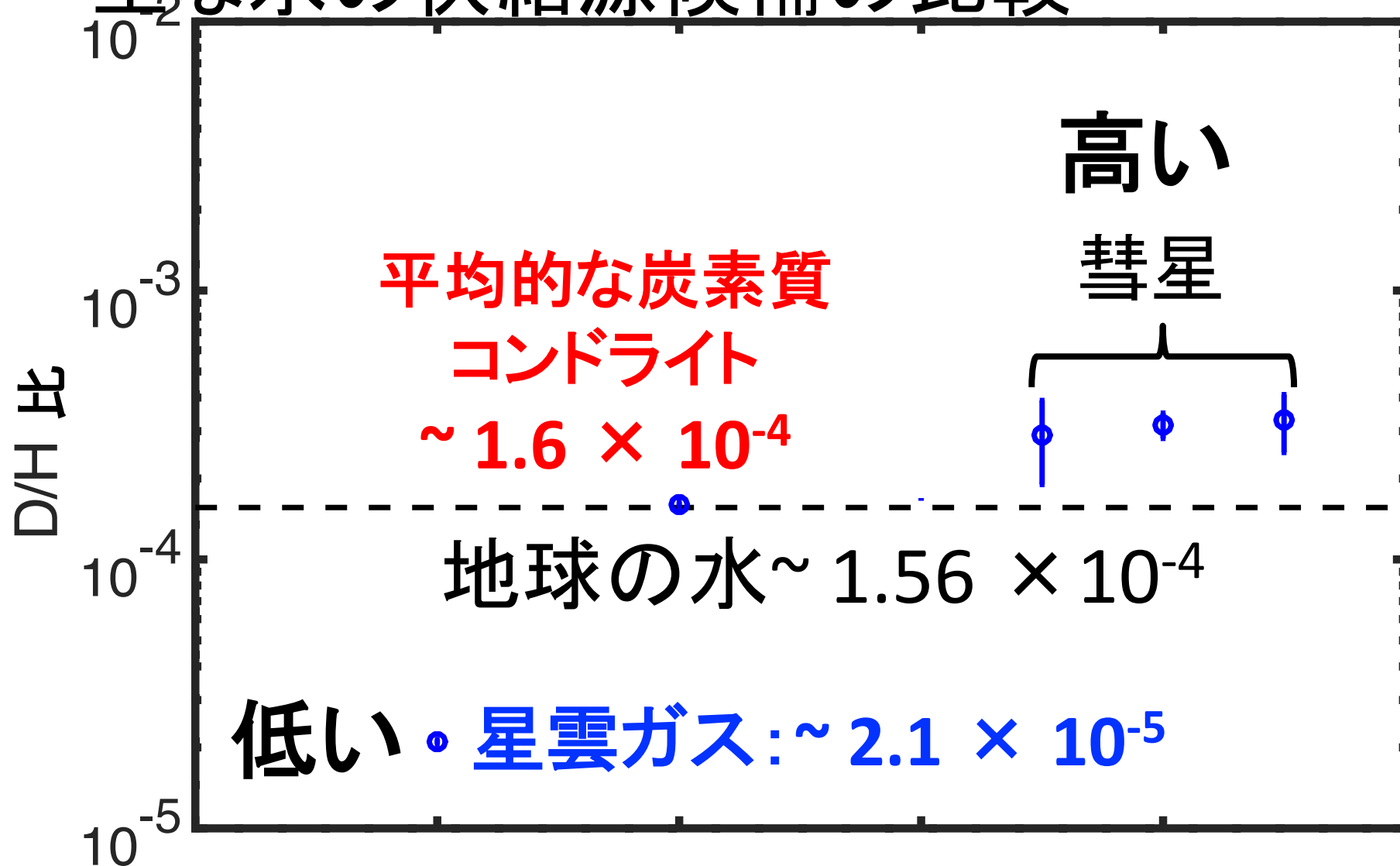
D: 重水素

(I, WhiteTimberwolf, CC BY-SA 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2433870> を改変)

これまでに見てきた水の供給源 の候補の D/H 比を見てみましょう

地球の表層水の D/H 比と 主な水の供給源候補の比較



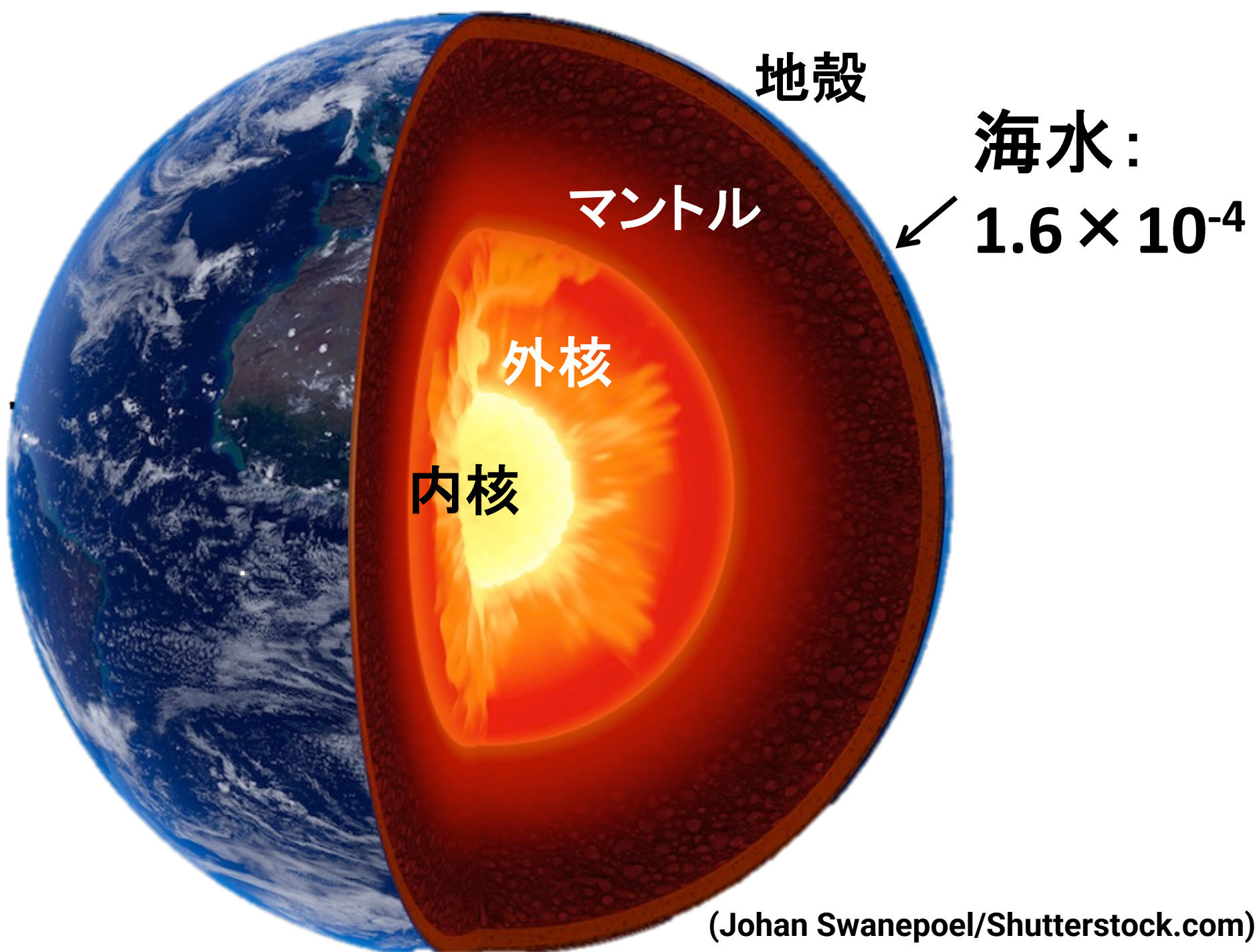
ここまで見てきて, 質問です

- 地球の水の供給源は次の内どれでしょう?
(地球の水のD/H 比: $\sim 1.6 \times 10^{-4}$)

① 星雲ガス ($\sim 2.1 \times 10^{-5}$)

② 炭素質小惑星 ($\sim 1.6 \times 10^{-4}$)

③ 彗星 ($< 3 \times 10^{-4}$)

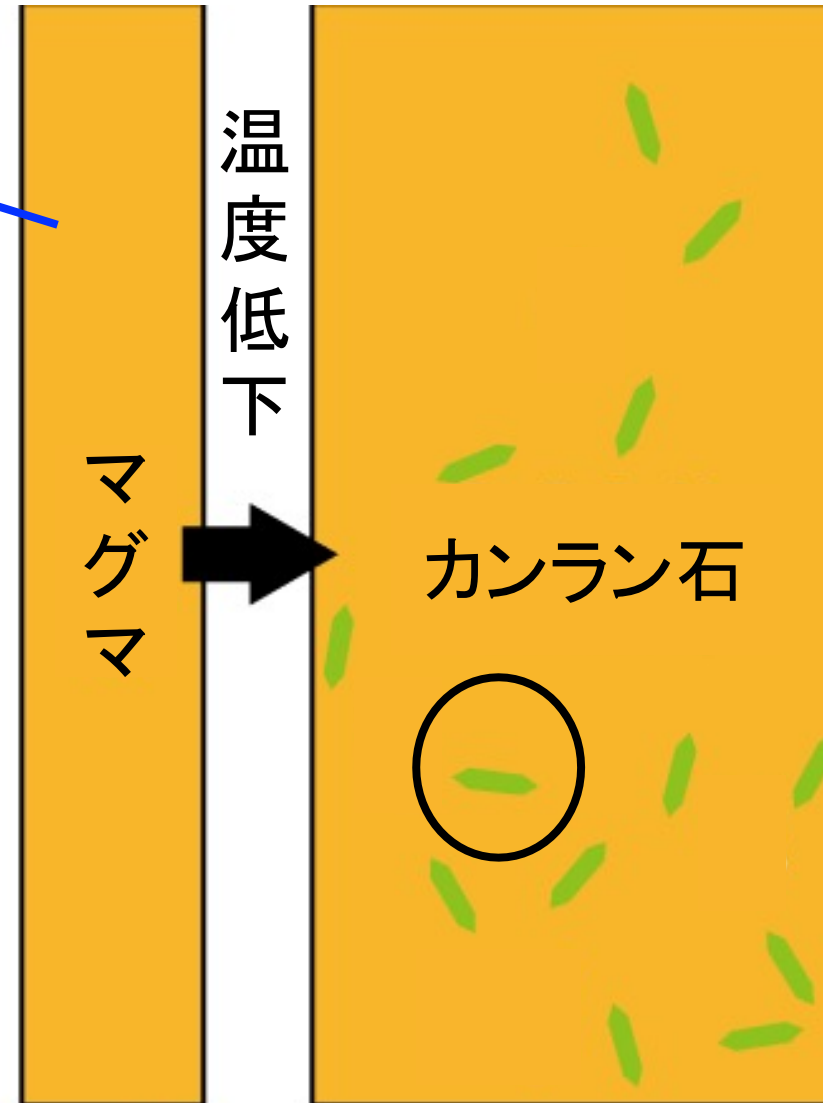
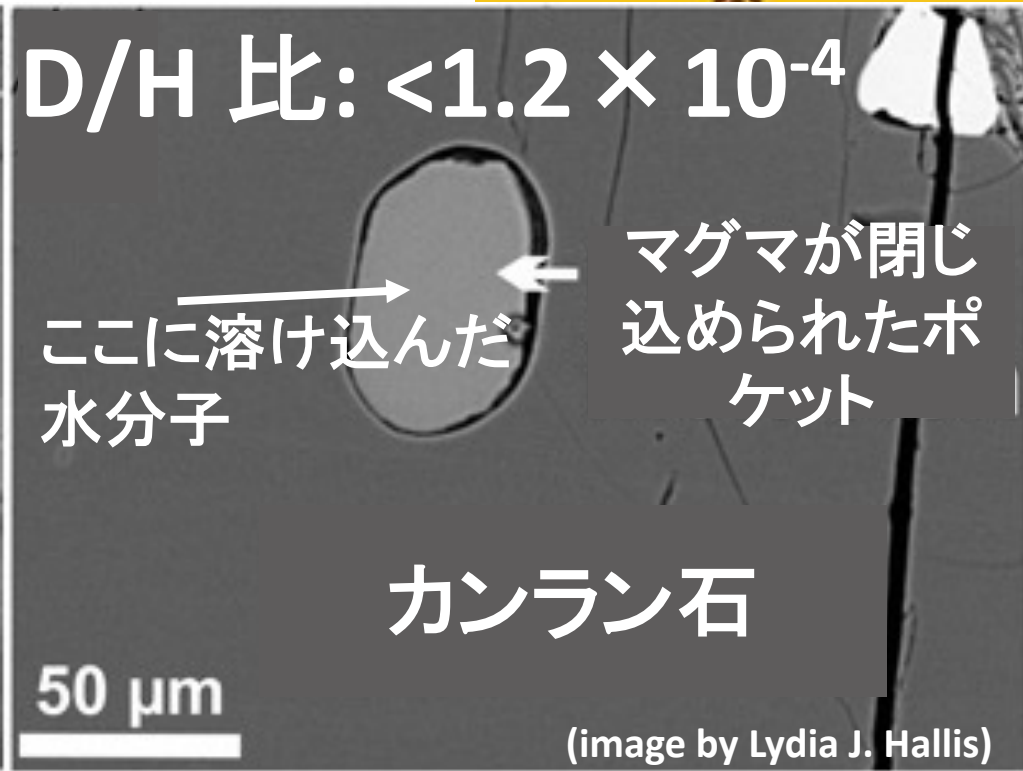
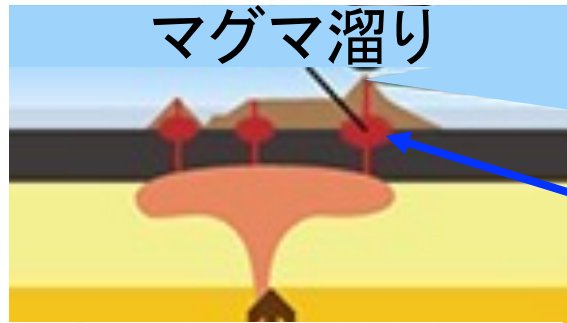


低い D/H 比をもつマントル深部由来の火成岩を発見！！ (Hallis et al. 2015)

- ・ バフィン島の火成岩は
ホットスポット火成活動由来



なぜマントル深部由来のD/H比がわかるのか



ということとは？

- 海洋と内部の水の起源は違う？
- 地球内部は微惑星や彗星だけじゃ説明できない
 - 低いD/H 比をもつ星雲ガスが混じった
 - 内部に持ち込まれた

内部に水を持ち込む プロセス①

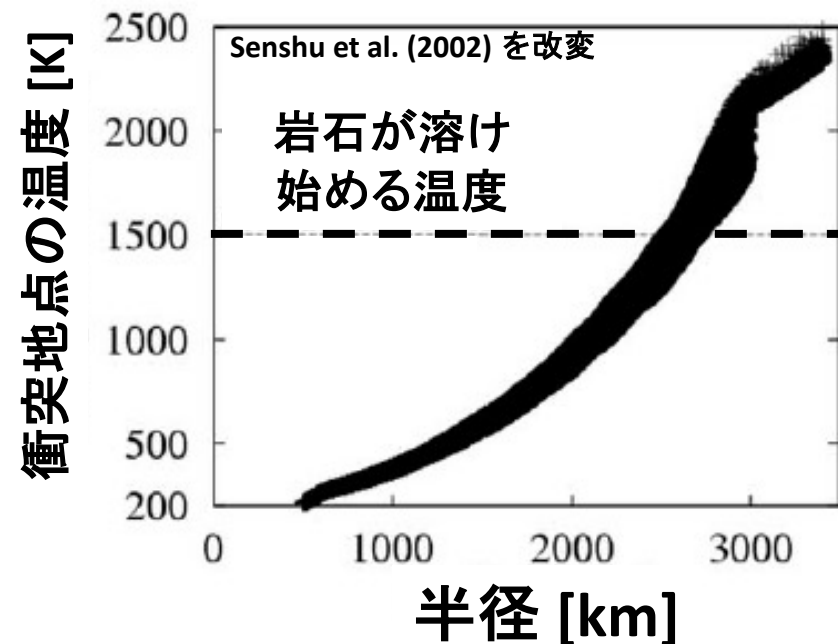
- 海洋地殻の一部がマントル深部へ



D/H 比は海水と同じ値
になってしまう

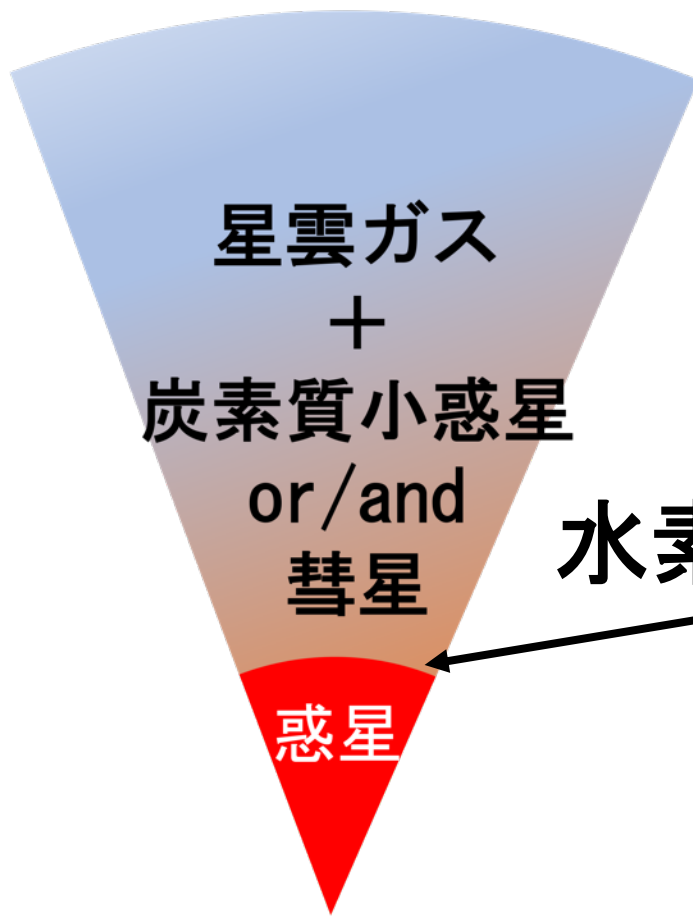
内部に水を持ち込む プロセス②

- マグマオーシャンによる水の吸収
- 現在の地球質量の1割(火星程度)以上になった地球はマグマオーシャンに覆われていた
 - 微惑星の衝突エネルギー
 - 原始大気の保温効果



内部へ低いD/H比を持つ水をもたらすプロセス

地球にマグマオーシャンができたとき、
周囲に星雲ガスが残っていた

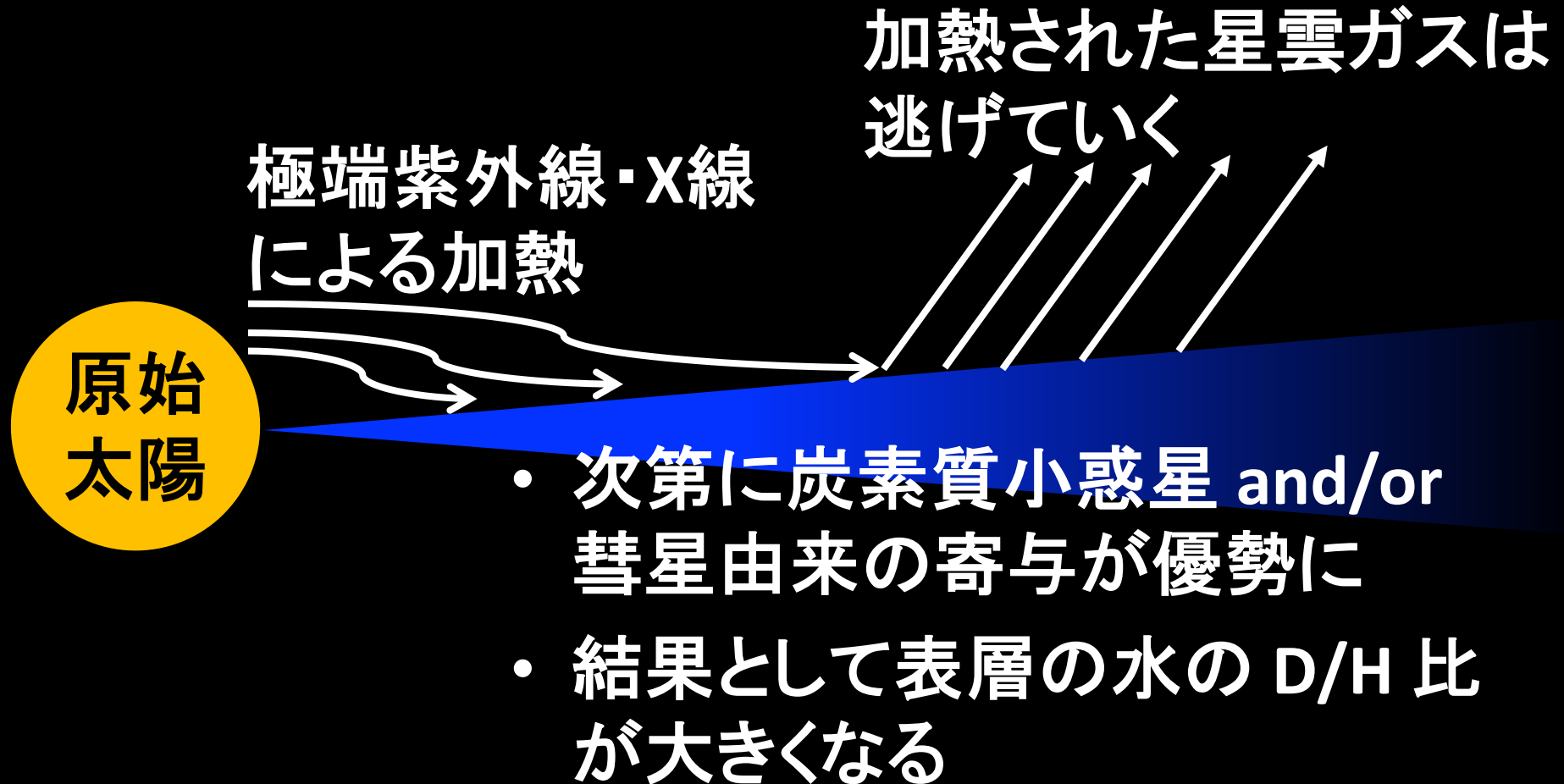


星雲ガスが混入し
低いD/H 比に

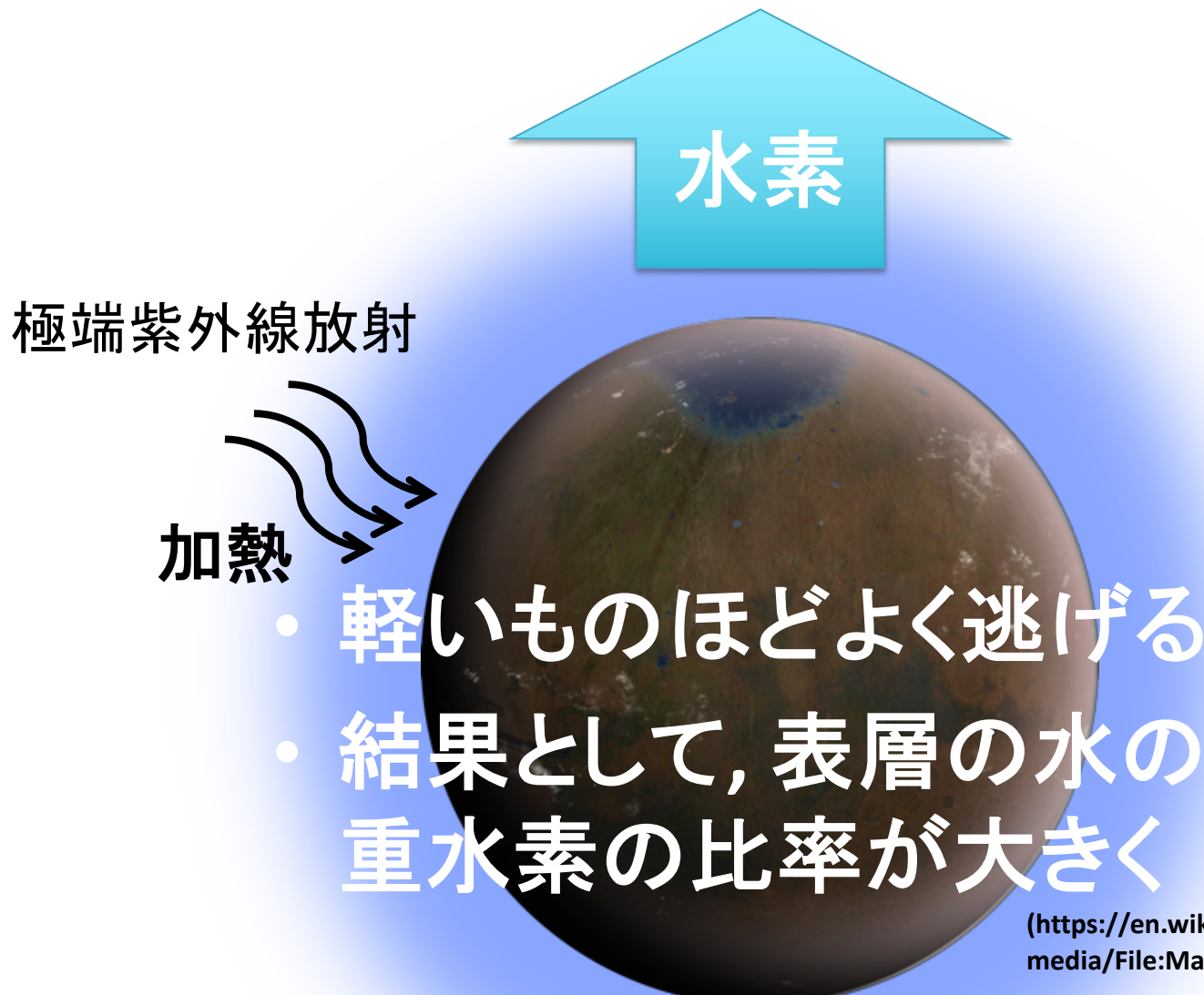
海水のD/H比が高いのなぜか？

- 惑星成長中に徐々に星雲ガスが消失
- 大気が宇宙空間へ逃げた

星雲ガスの消失



大気水素の宇宙空間への流出



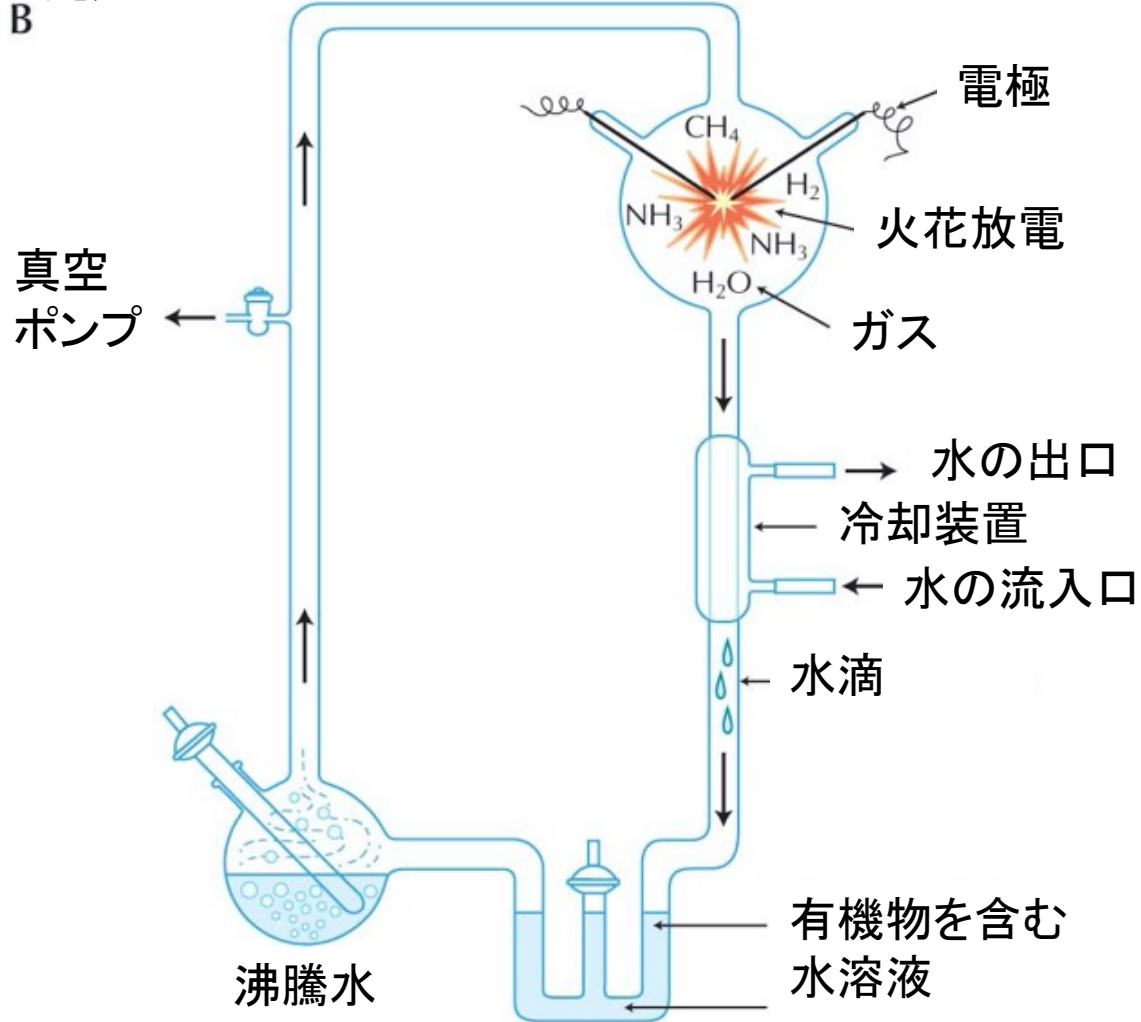
(https://en.wikipedia.org/wiki/Terraforming_of_Mars#/media/File:MarsTransitionV.jpg を元に改変)

まとめ

- D/H 比をもとに水の起源について考察した
- 水の供給源の候補には, 星雲ガス, 炭素質小惑星, 彗星が考えられる
- 地球の海水のD/H 比は炭素質小惑星と同一
- 地球マントル深部の D/H 比は海水よりも低い
- 地球の水は少なくとも一部は星雲ガス起源
- 現在の1割以上の質量に成長するまで, 星雲ガスが残存していた

生命の起源につながる可能性

ユーリーミラーの実験



生命の起源につながる可能性

- 星雲ガスがもたらす水素に富む原始大気
- 炭素質小惑星や彗星がもたらす炭素や窒素
- 生命の素となる有機物が作られる

