

3.8m 新望遠鏡を用いた 惑星科学ネタあれこれ

京都大学 宇宙物理学教室

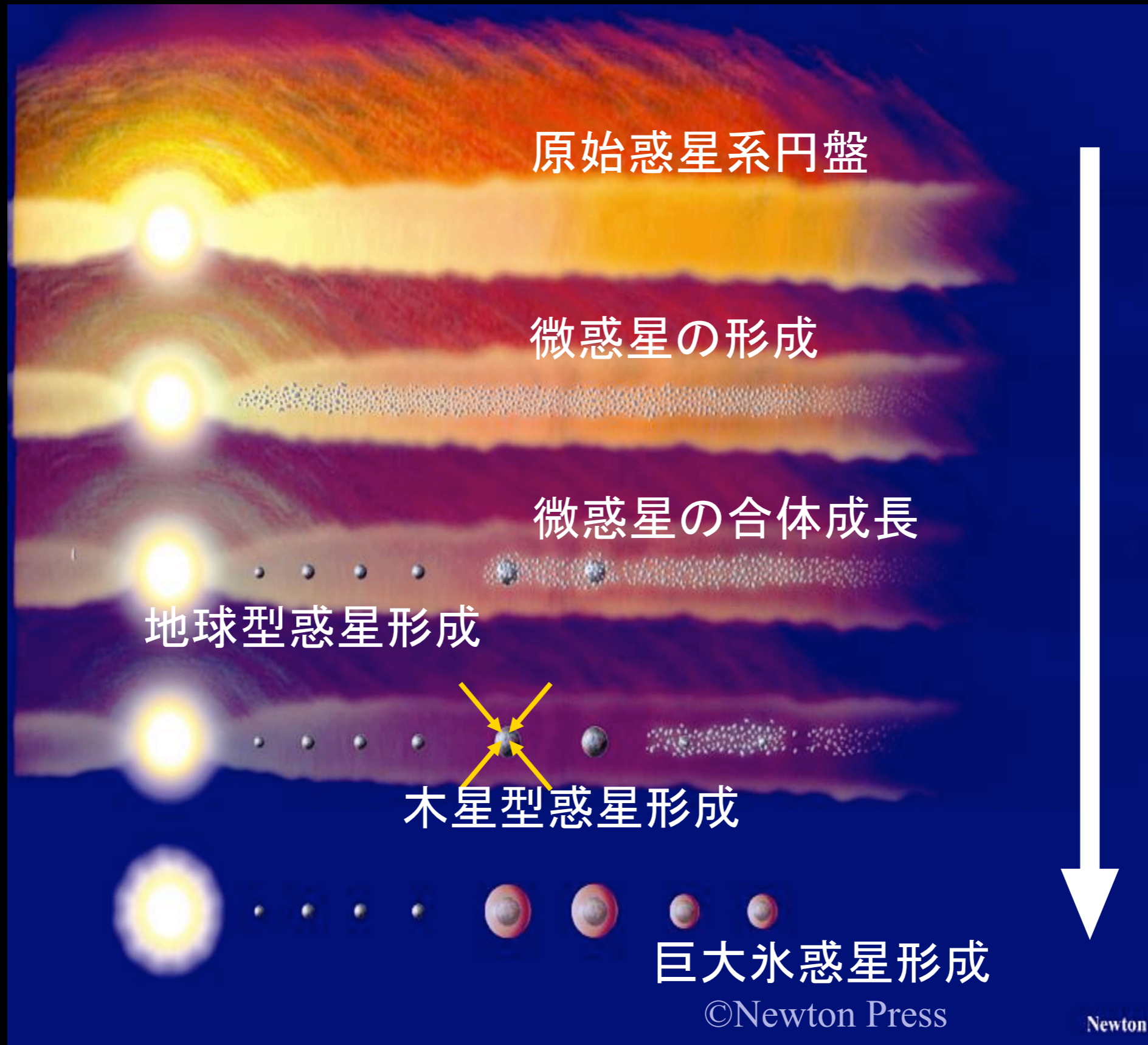
佐々木貴教

主要観測テーマ

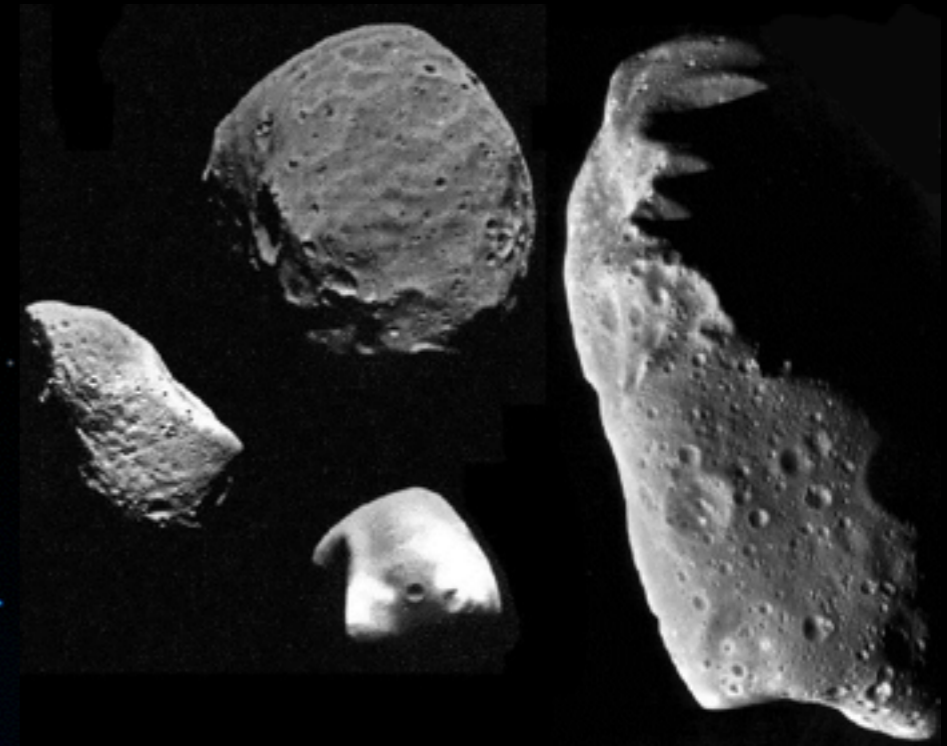
- (太陽系外惑星探査 -地球型惑星の直接撮像に向けて)
- 太陽系外縁部に潜む暗い惑星・衛星・リング・準惑星・小天体の発見的・統計的観測
- 太陽系内天体の継続的観測によるアストロバイオロジー
太陽系内に Habitable World を探る
- 地球型惑星形成の直接的証拠「ジャイアントインパクト」
新しい地球形成シナリオのサポート

太陽系の小天体・準惑星

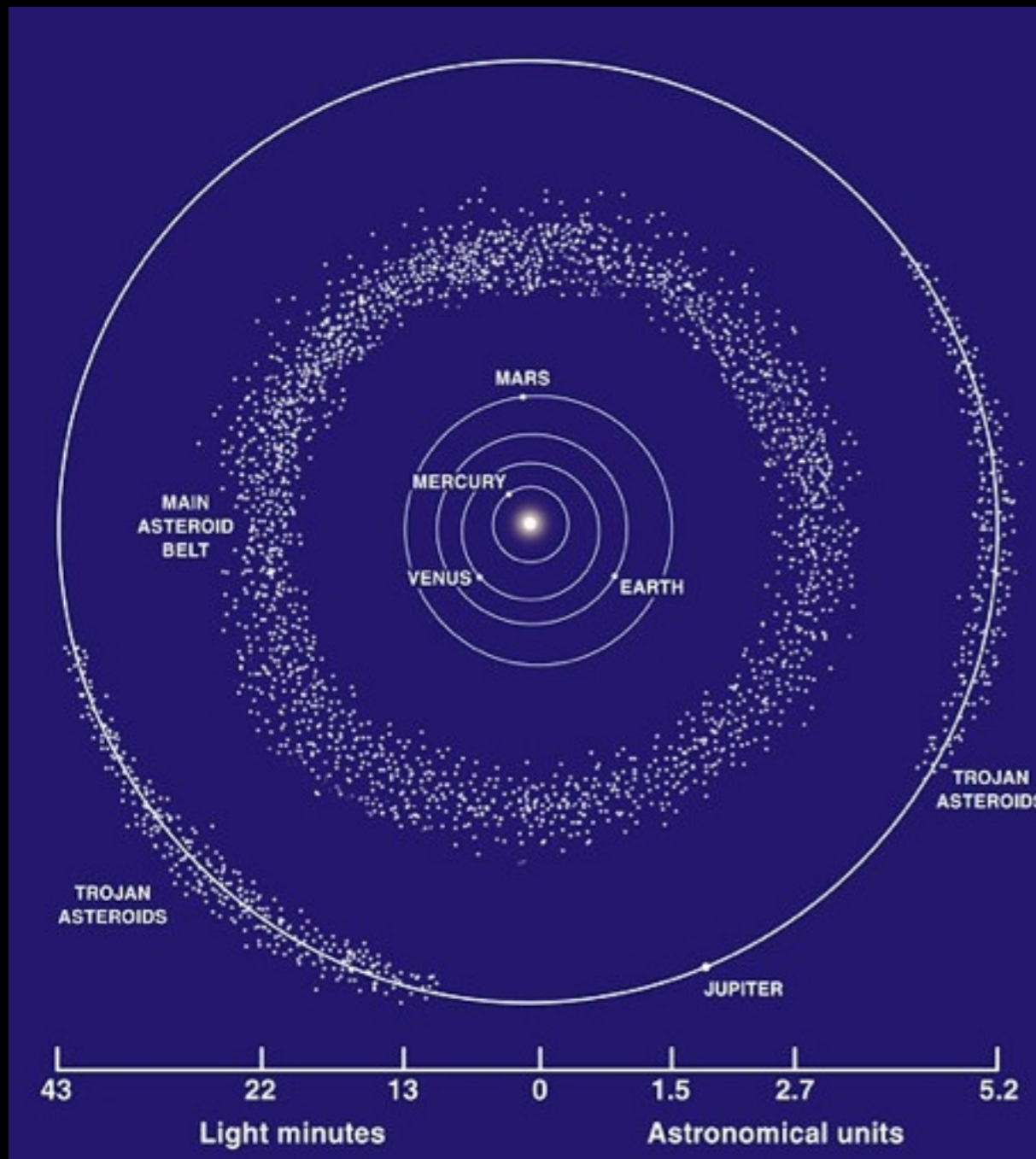
太陽系形成標準理論 (林モデル)



小惑星



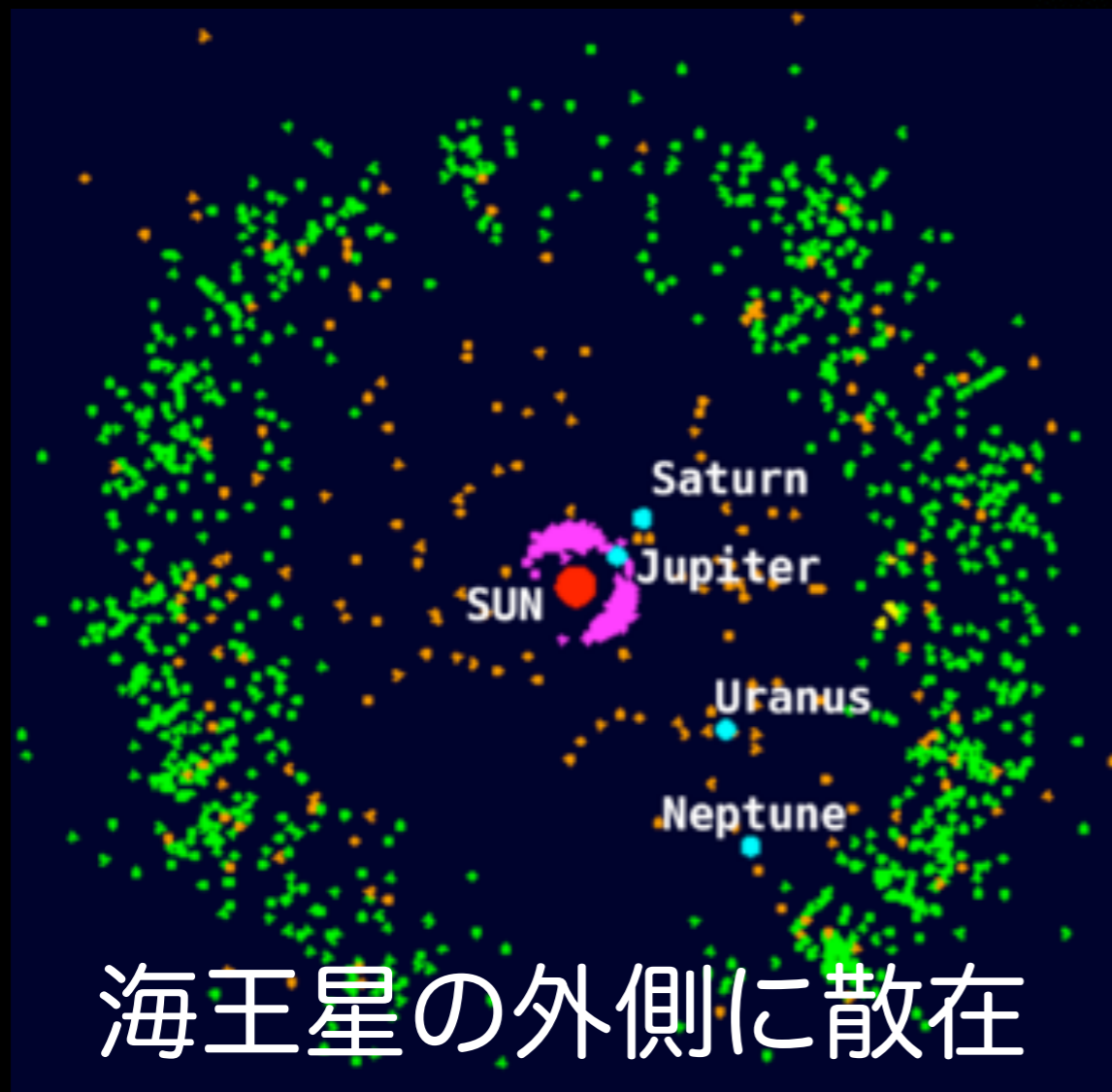
メインベルト小惑星
火星と木星の間に存在
トロヤ群小惑星
木星の軌道上に存在



地球に降ってくる隕石の母天体だと考えられている

太陽系外縁天体

(エッジワース・カイパーベルト天体)

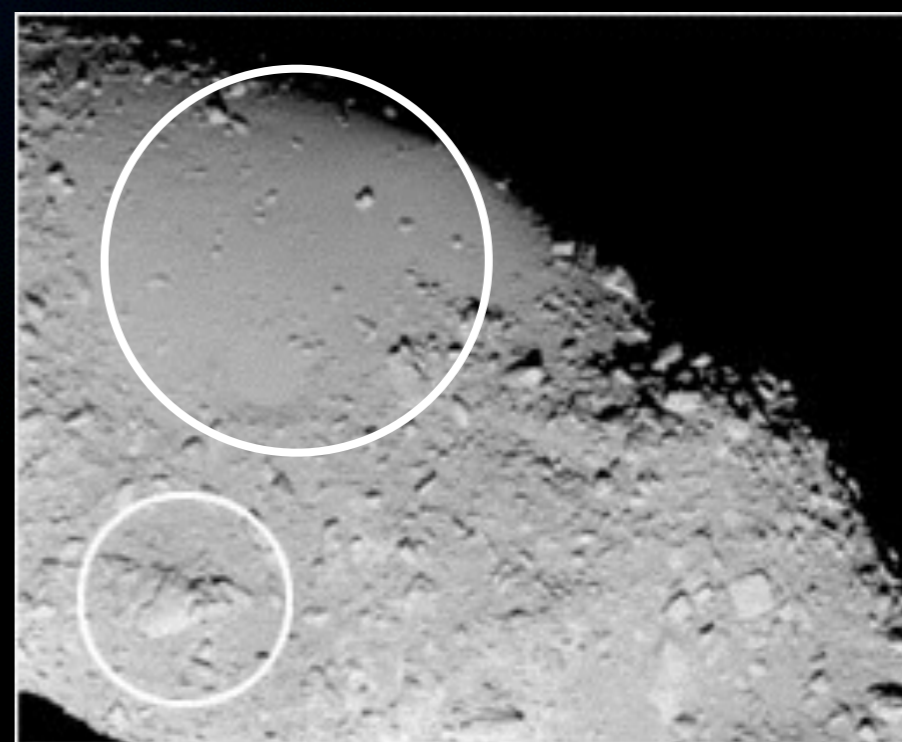
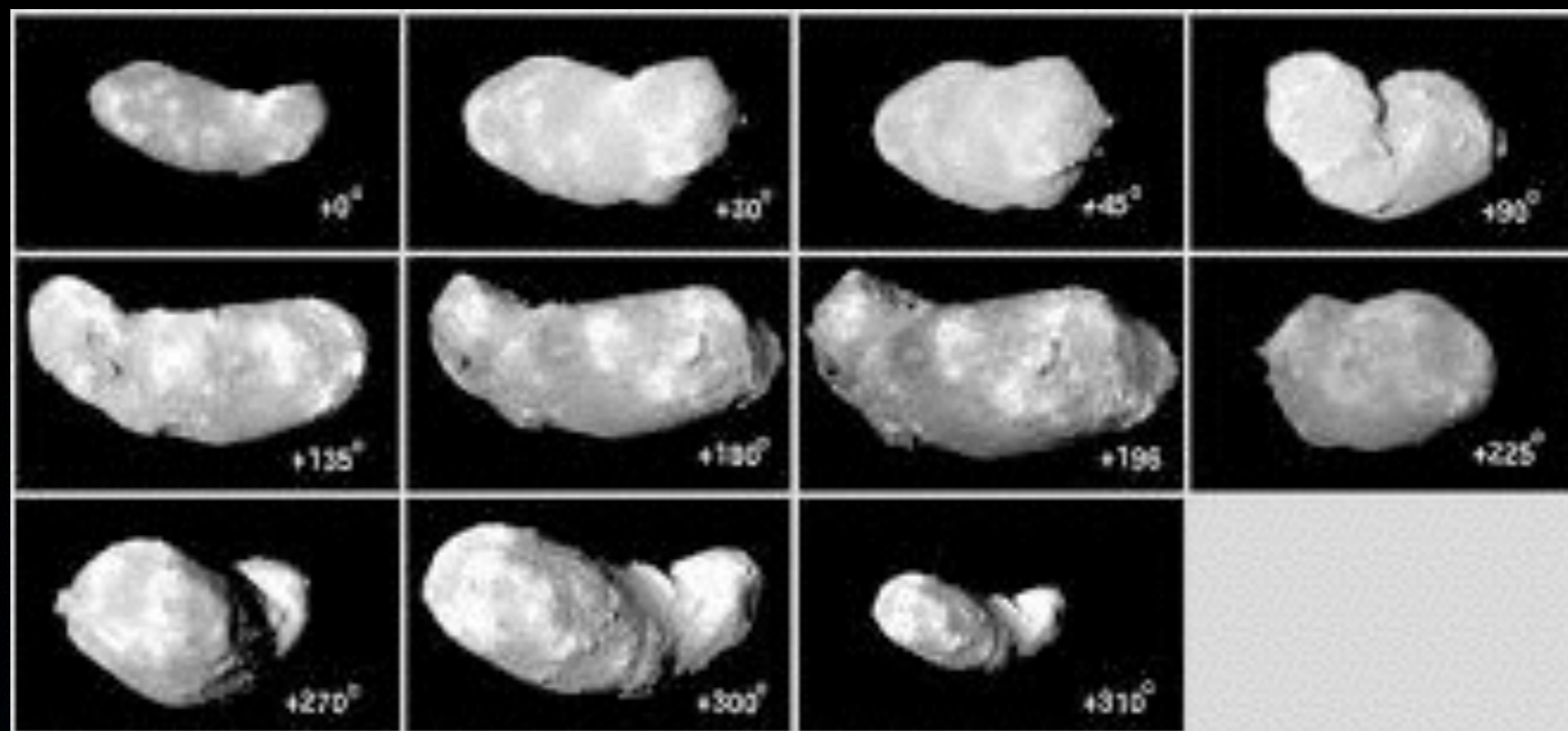
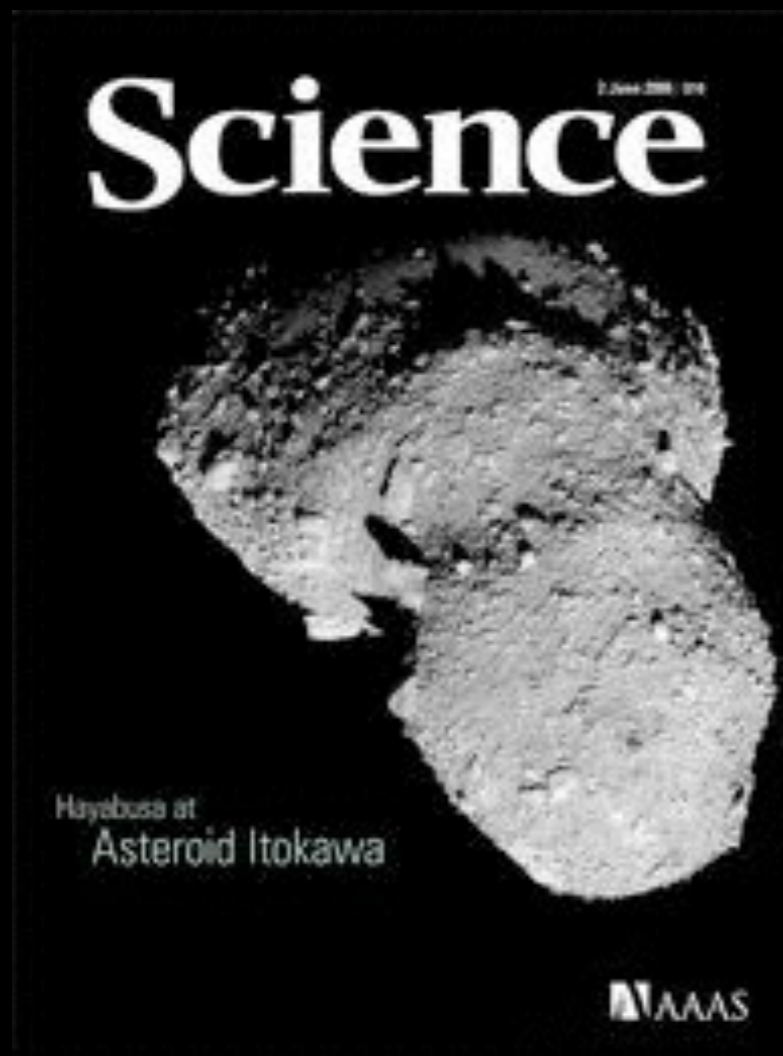


短周期彗星 (P < 200年) の巣だと考えられている

惑星形成過程の履歴を観測

- 太陽系小天体：始原的な天体であるが、軌道進化・衝突進化・物質進化を経験している
- 天体のサイズ・形状・自転周期・自転軸方向
 - 天体の密度・空隙率・強度・反射率・熱慣性
 - 衝突進化・物質進化の情報が得られる
- 大量の観測により、その進化を統計的に議論できる
- 日本は岩石・氷小天体の熱史・衝突破壊現象・宇宙風化に関する理論的・実験的研究が盛んである

はやぶさが明らかにしたイトカワの姿

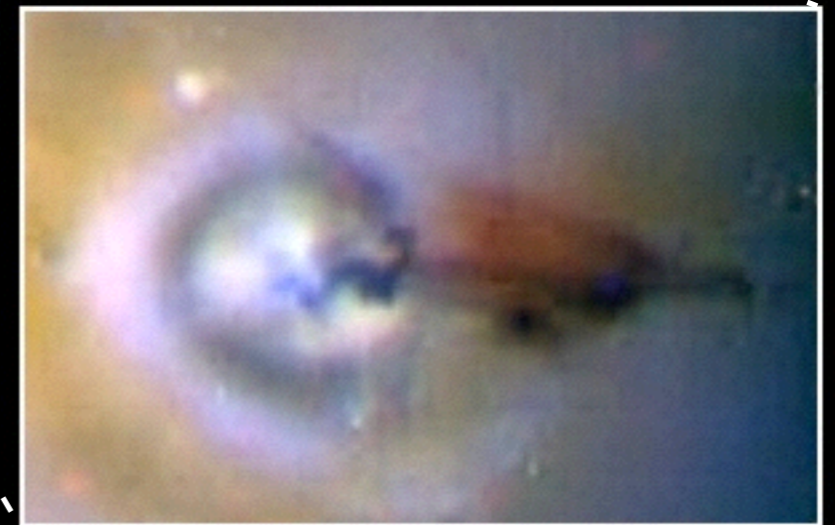
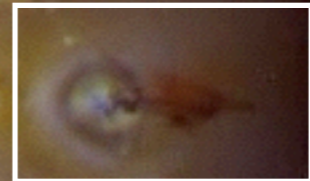
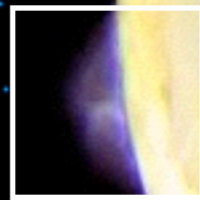
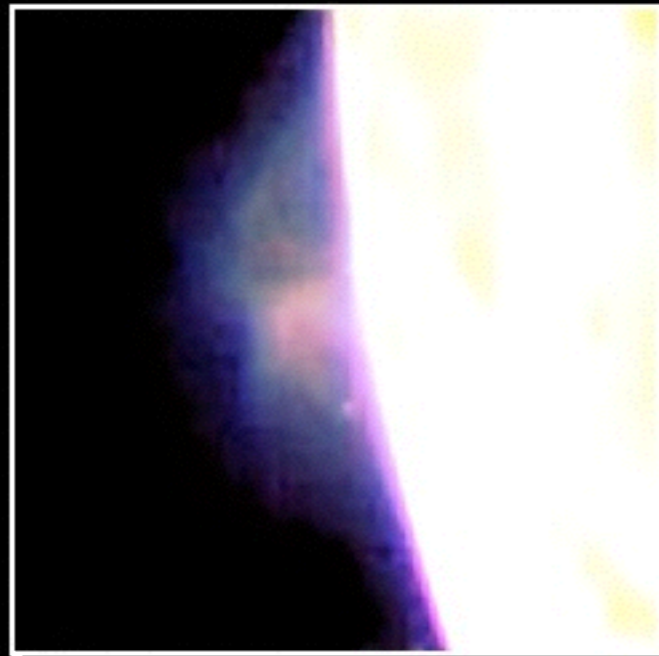


太陽系の惑星・衛星

アストロバイオロジ

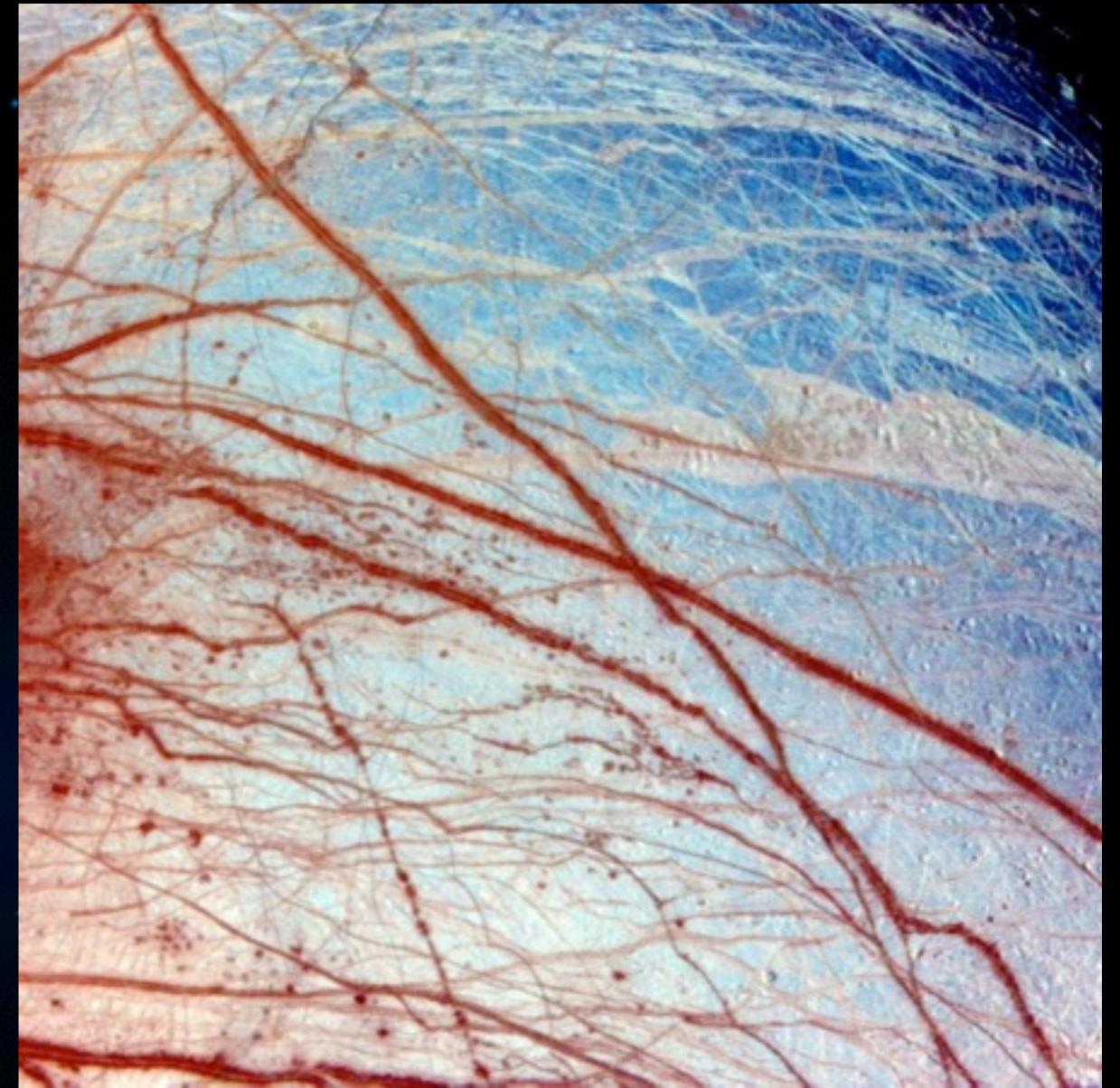
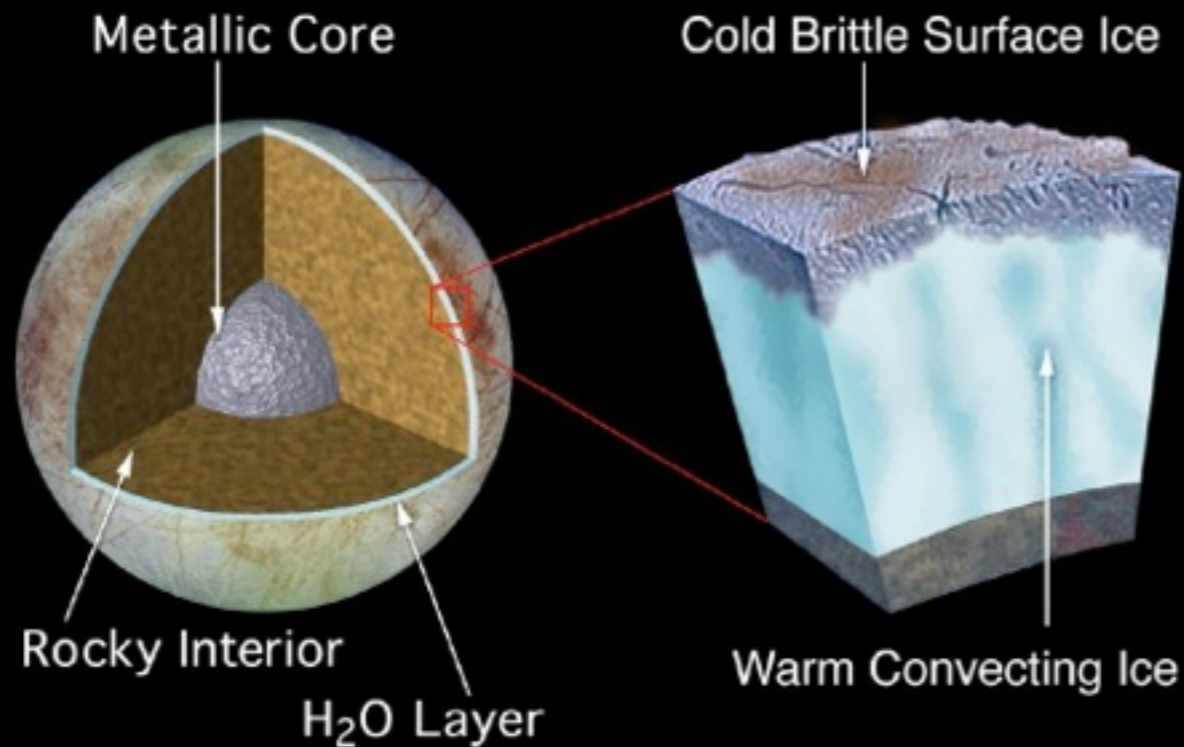
- 固体表層の構造・組成・温度場
イオの火山・エンセラダスの噴水・火星の極冠等
- 大気層の構造・組成・温度場
金星・木星・タイタンの雲層構造の発展・崩壊
- 大気層における微弱光とその機構
大気光・雷などの微弱発光現象
- 太陽系内における Habitable World の可能性を検証

イオには活発な火山活動が存在

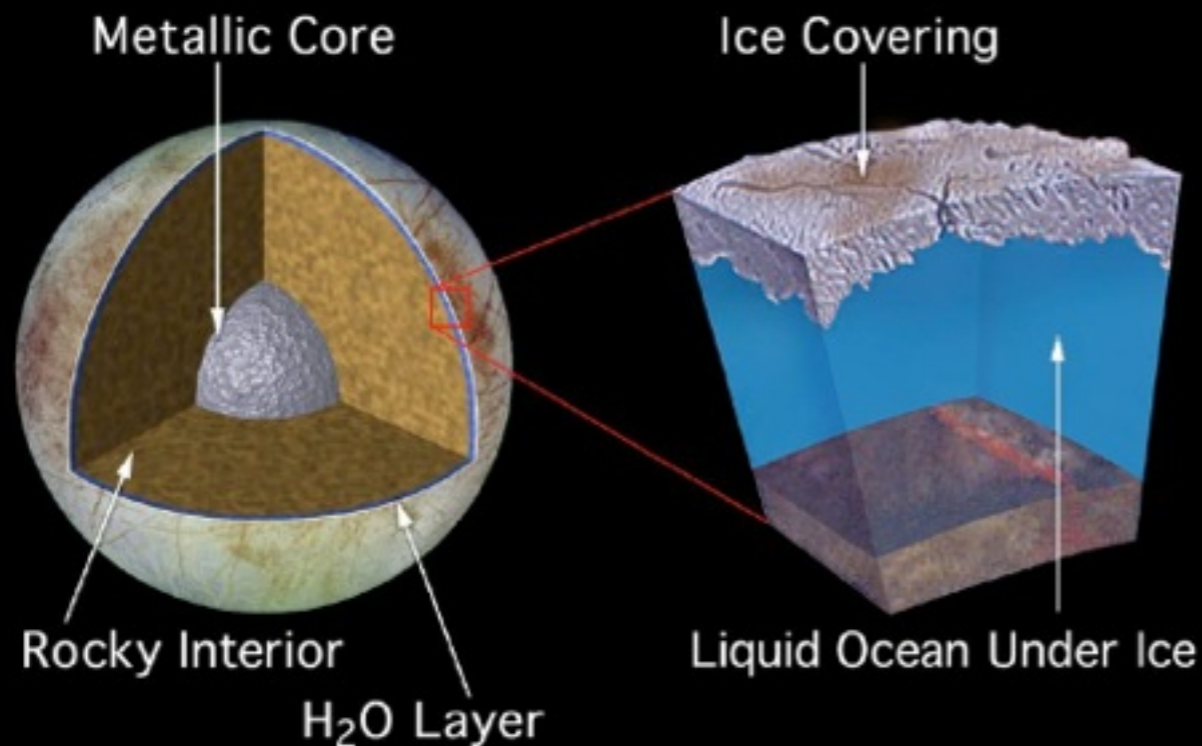


木星や他のガリレオ衛星からの
潮汐力がエネルギー源か？

エウロパの地下に広がる海



内部に液体(状)の水を持つ

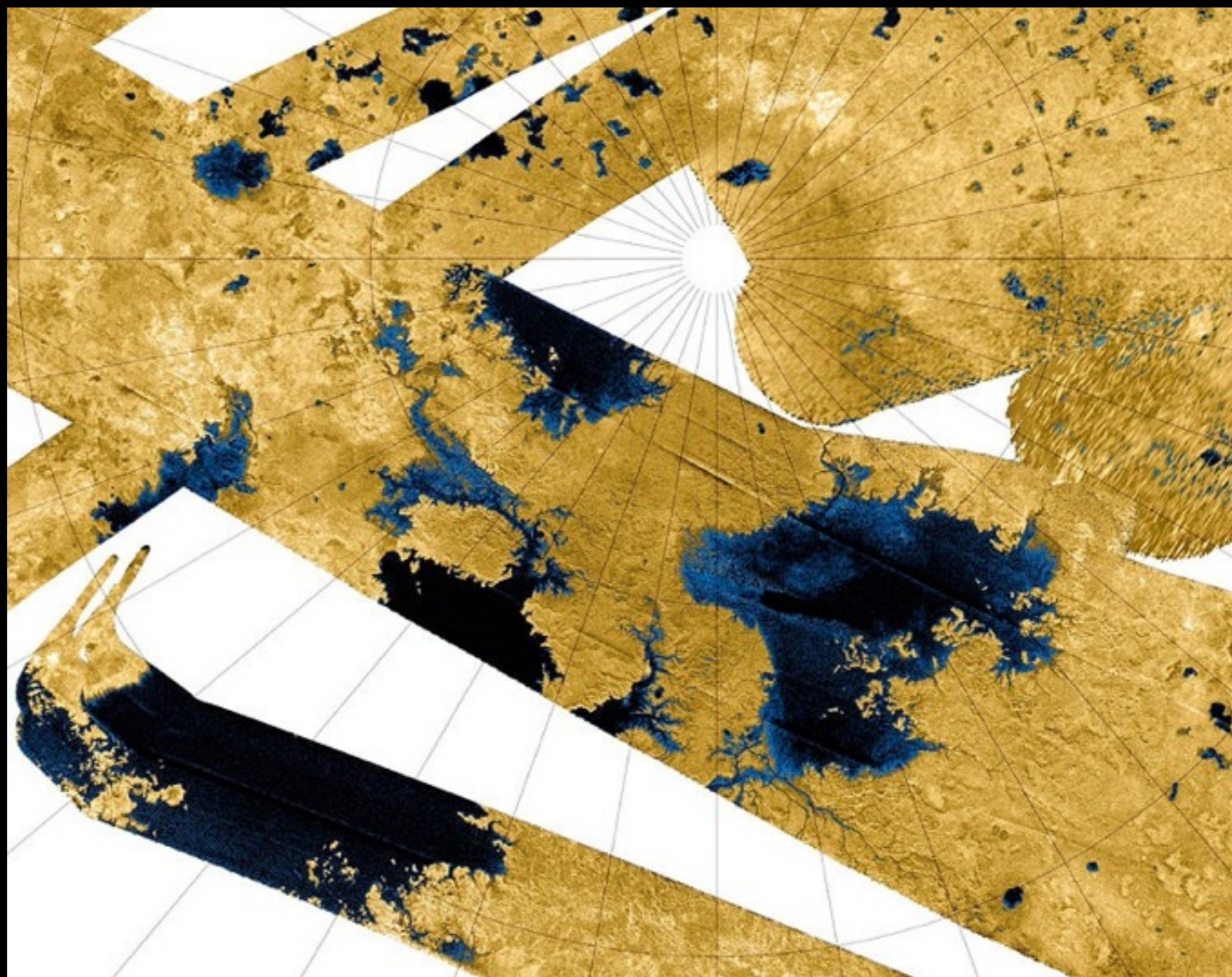


赤っぽい地表とひび割れ
→ 地下水が吹き出した跡？

衛星タイタン

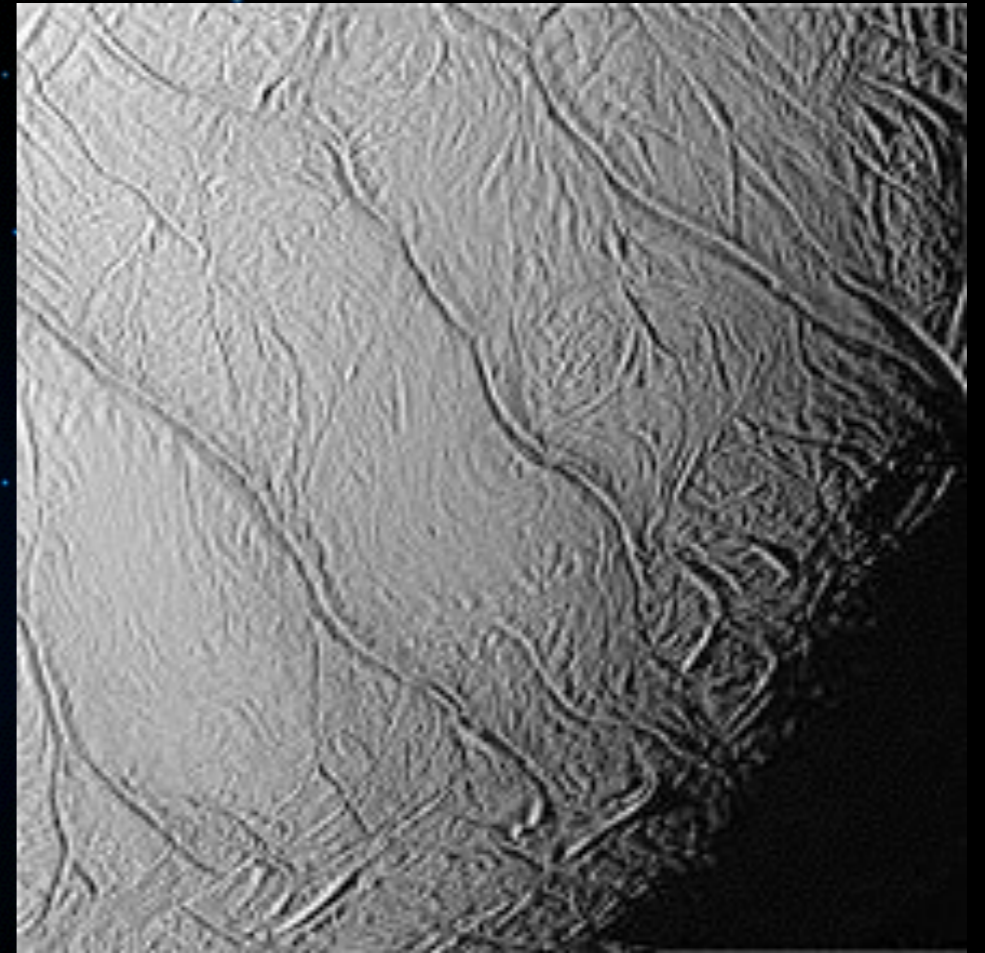
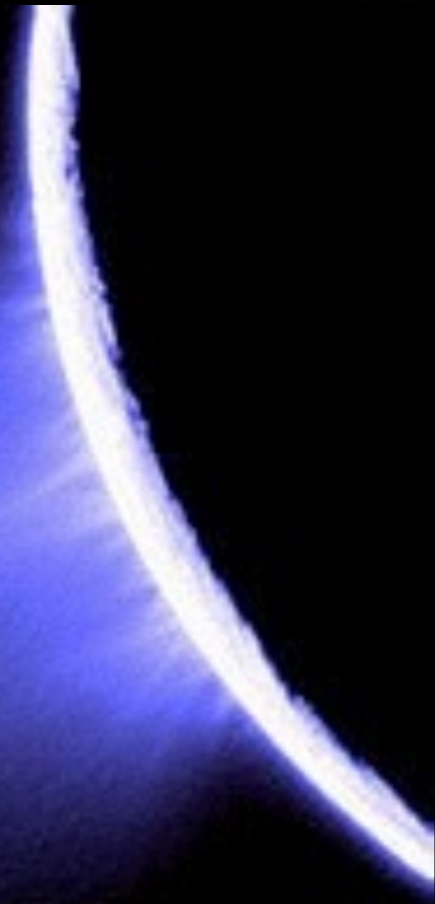


表面には石や氷塊



液体メタンの湖が存在

衛星エンケラドス

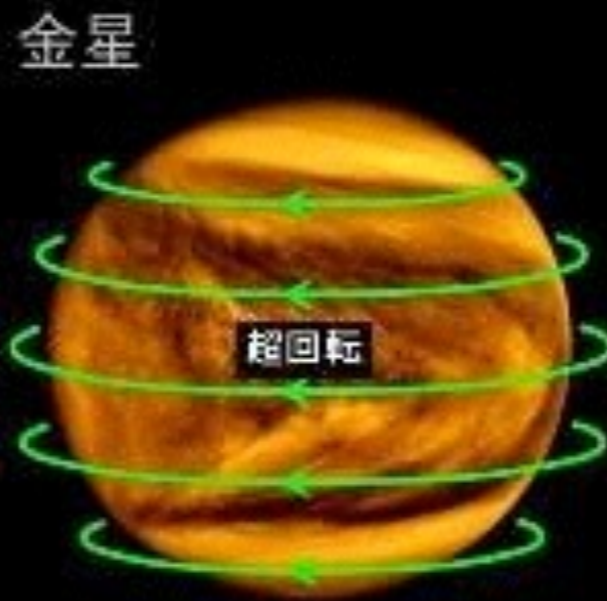
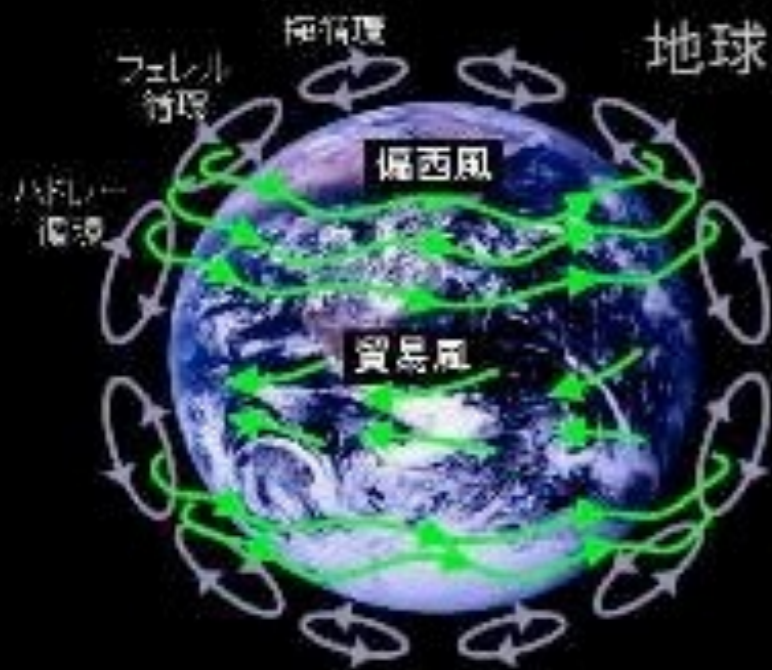


氷粒と水蒸気からなる間欠泉

“Tiger Stripes”

液体の水・有機炭素・窒素が存在

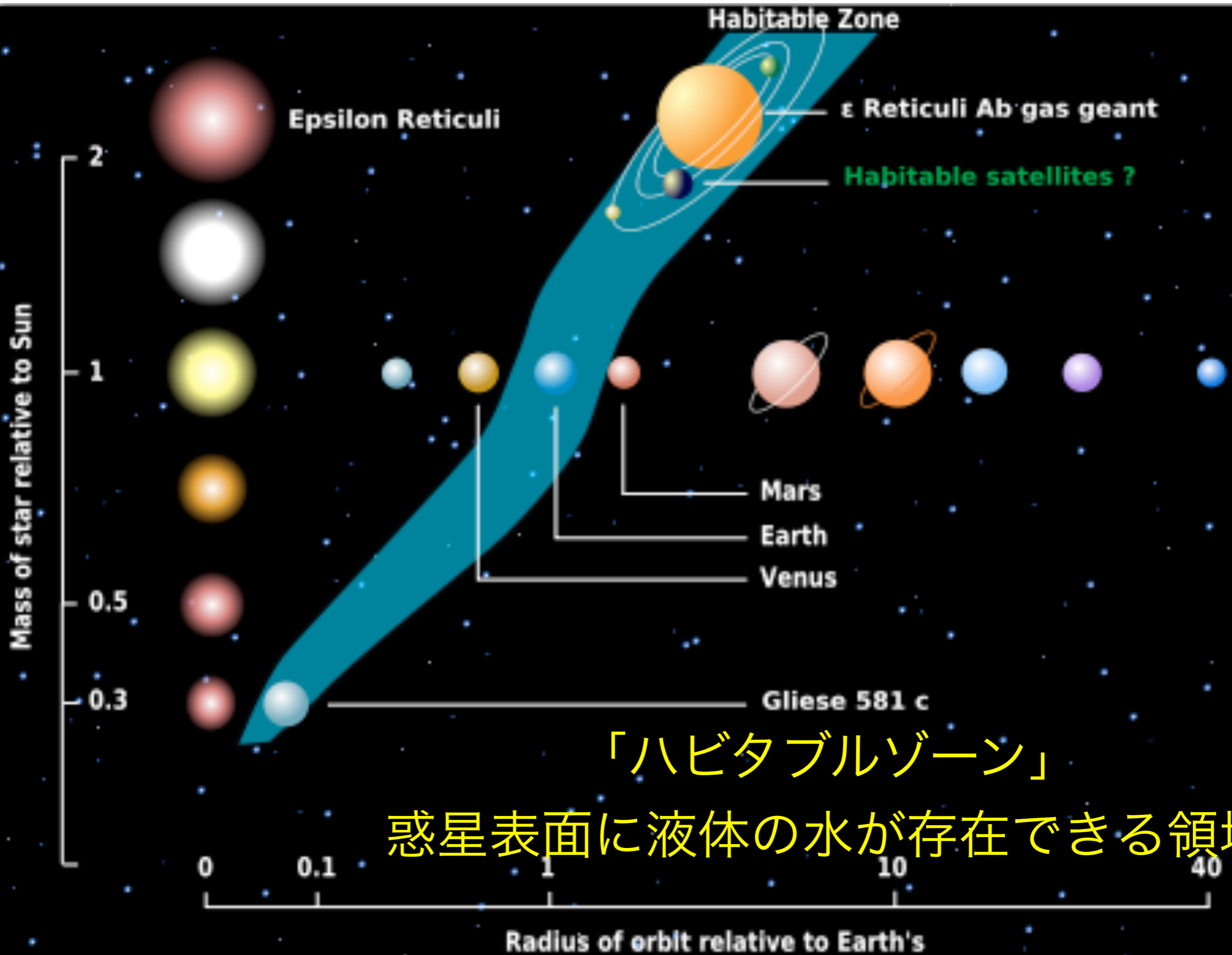
惑星大気の変動



様々なタイプの大気循環

木星の大赤斑

いかにして“地球”をつくるか



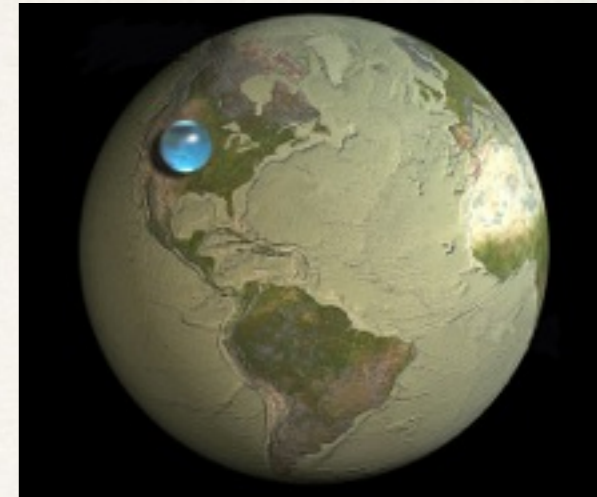
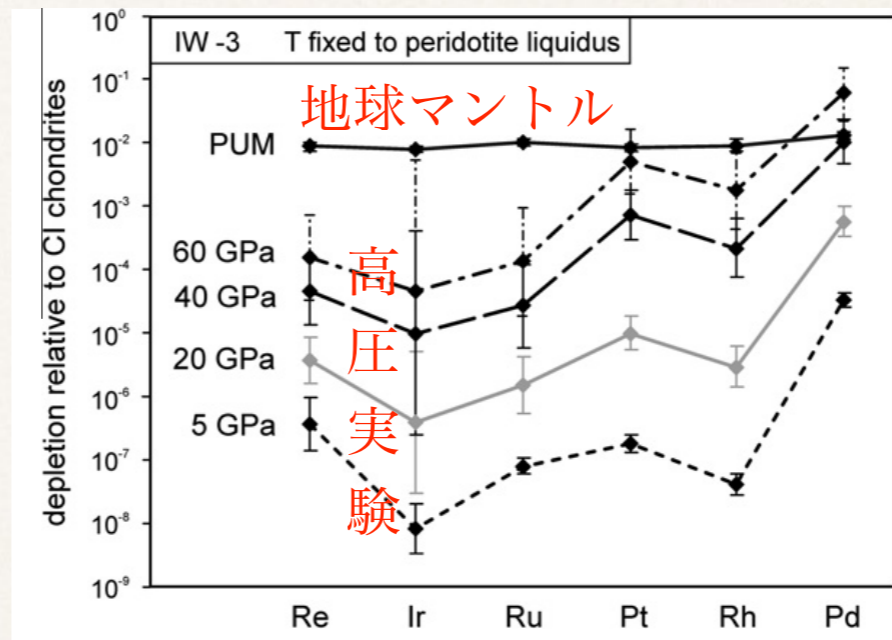
「ハビタブルゾーン」

惑星表面に液体の水が存在できる領域

地球特有の事項

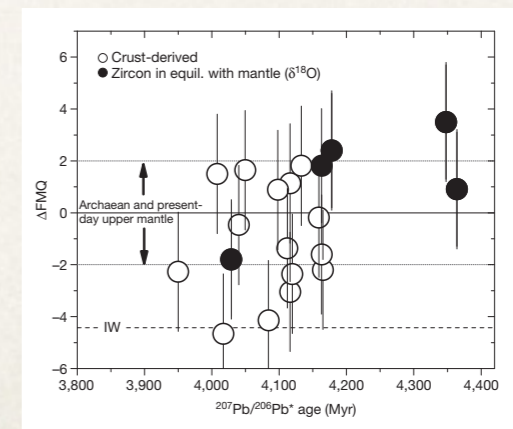
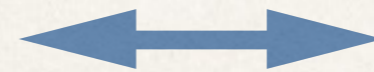
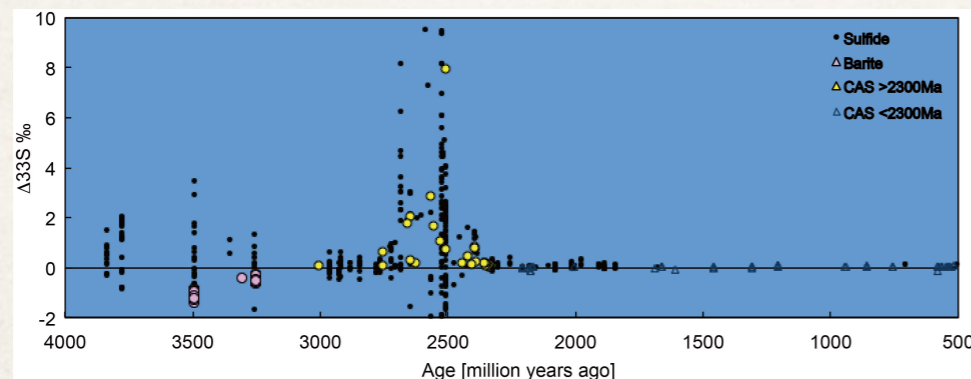


円盤ガスによる円軌道化？
残存微惑星による円軌道化？



水 0.023wt.%

地球型惑星のマントル中に強親鉄性元素が過剰に存在
コア形成後に強親鉄性元素を含む物質が少量降った (レイトベニア説)

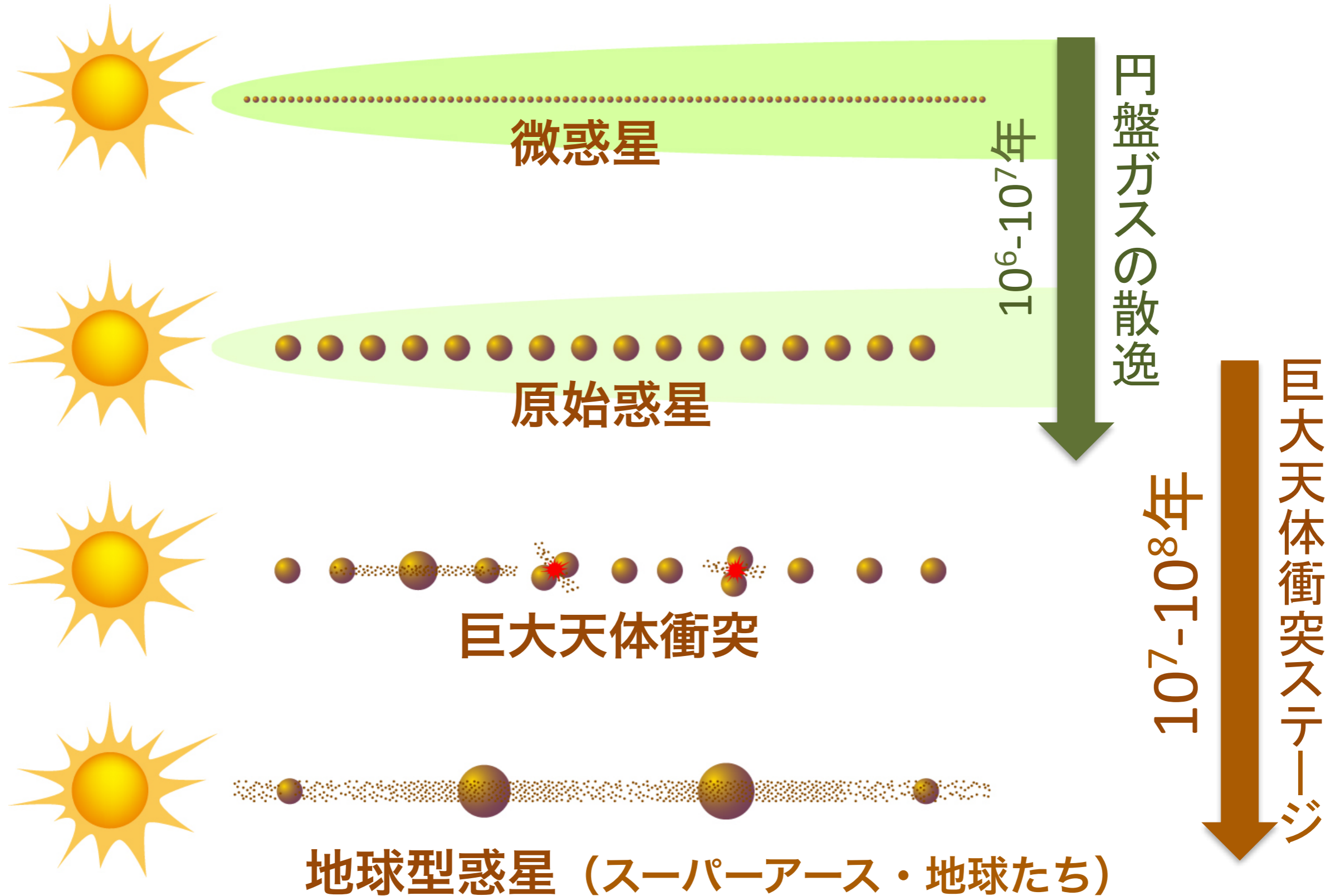


硫黄同位体異常 → 2.5Ga まで低O₂, CO₂濃度 マントルは酸化@4.35Ga

巨大天体衝突破片 (GIF)

Giant Impact Fragments

地球型惑星形成理論

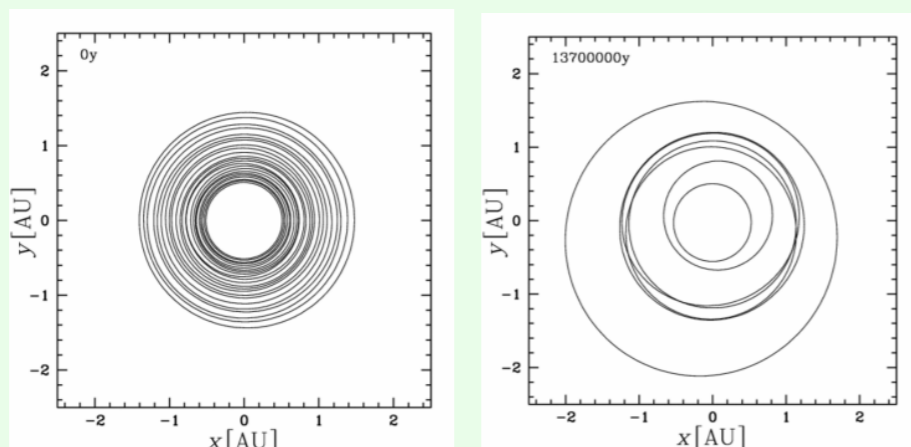


惑星の初期配置

ハイブリッドコード

Start

N体コード



軌道進化を計算

input

衝突後の惑星の情報
(質量・自転・組成・衛星)
ばら撒かれた微惑星の情報
(数・質量・位置・速度)

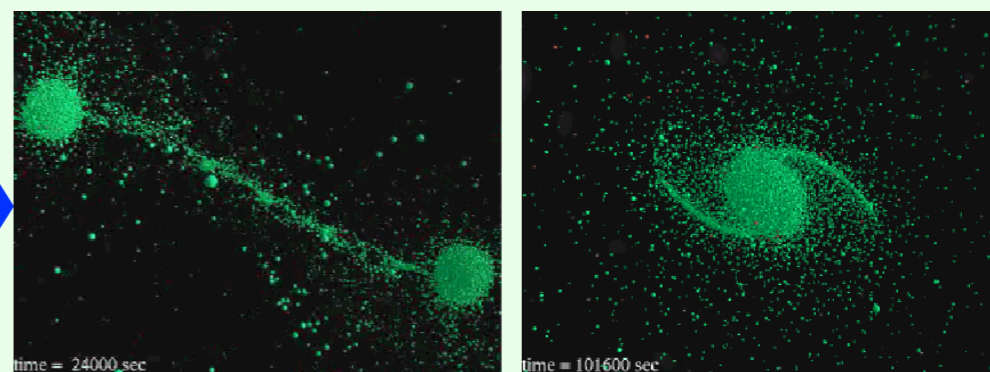
データ解析

衝突イベント検知

衝突天体の情報
(質量・自転・組成・衛星)
衝突条件
(衝突速度・角度)
他の天体の情報
(位置・速度・質量)

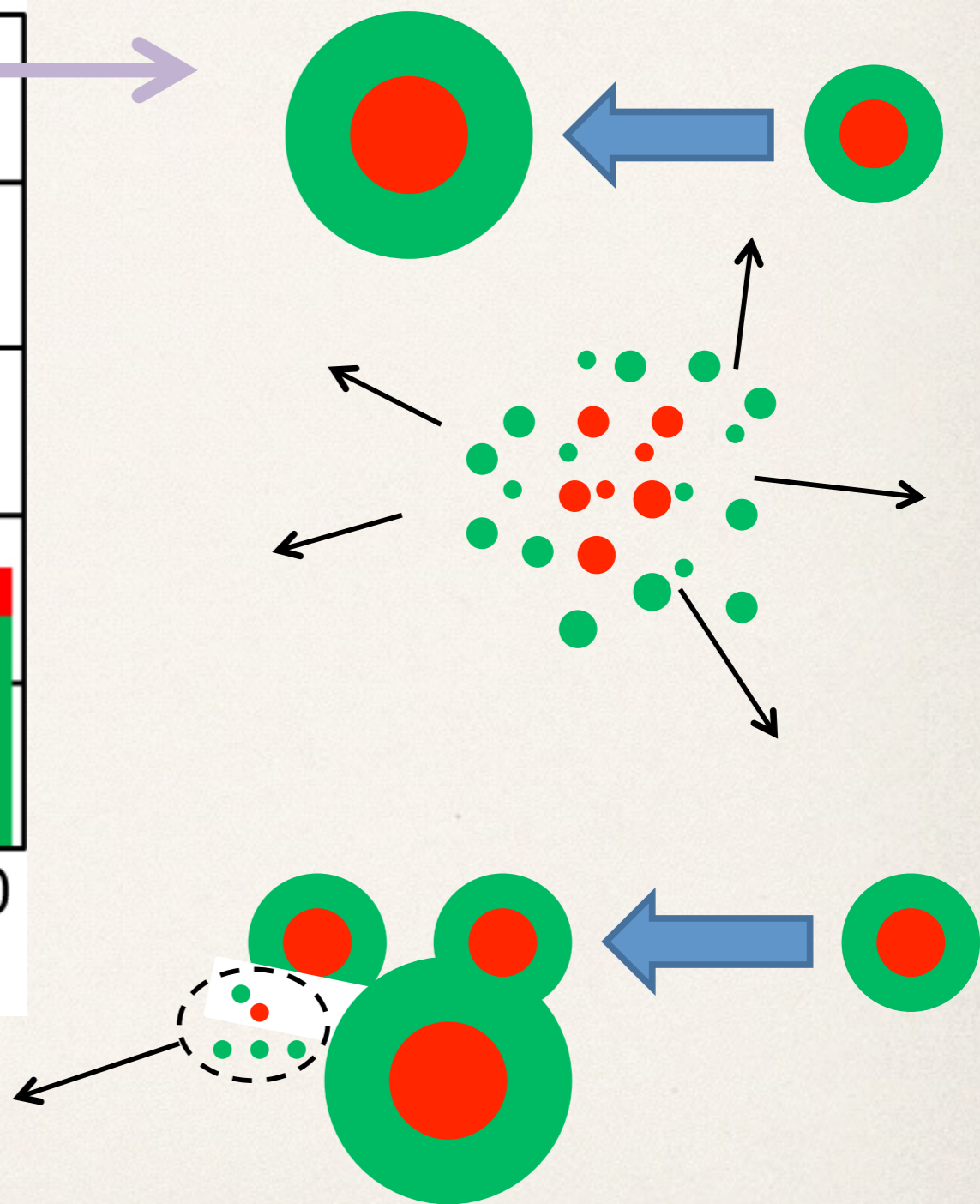
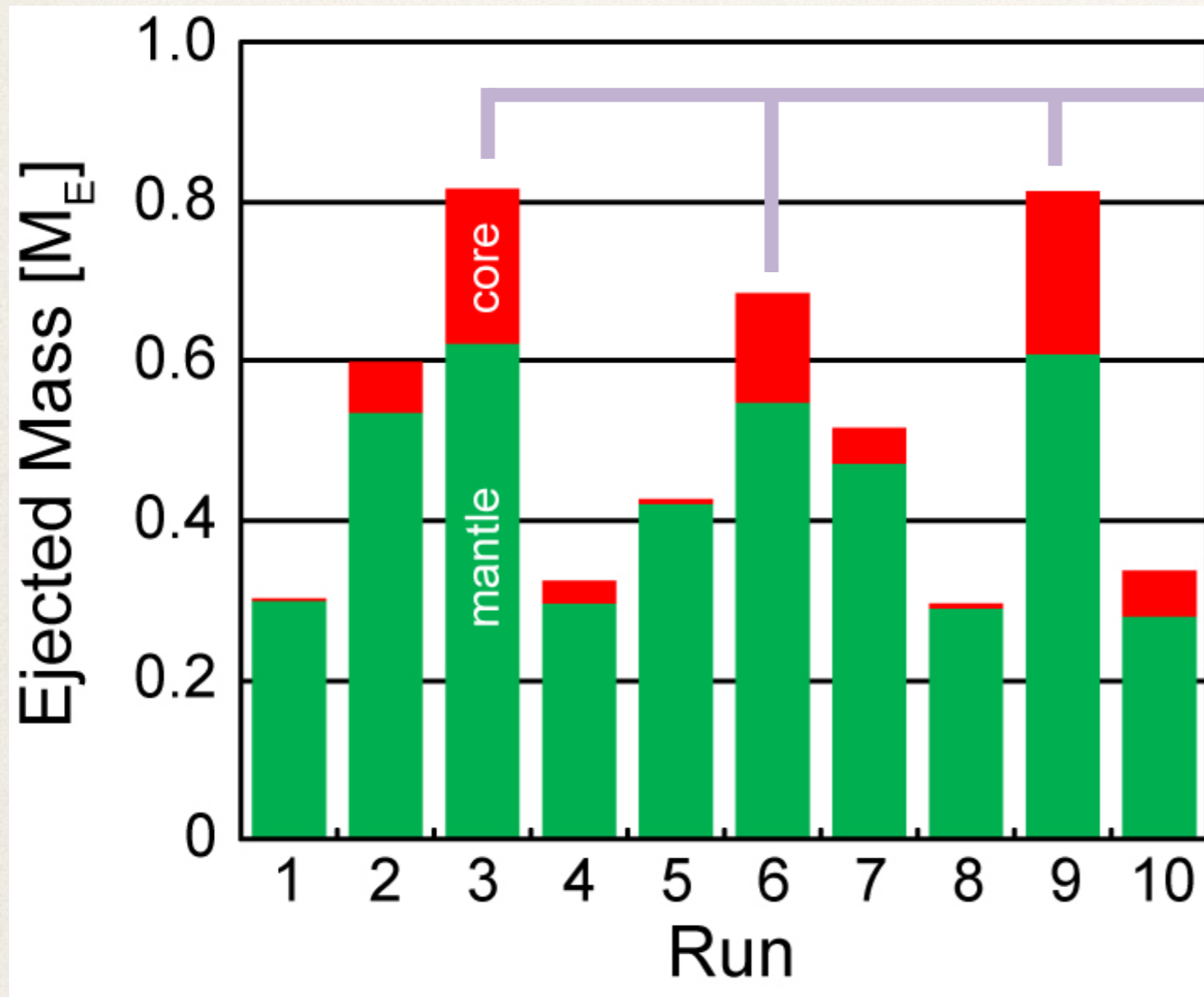
input

SPHコード



惑星の衝突過程を計算

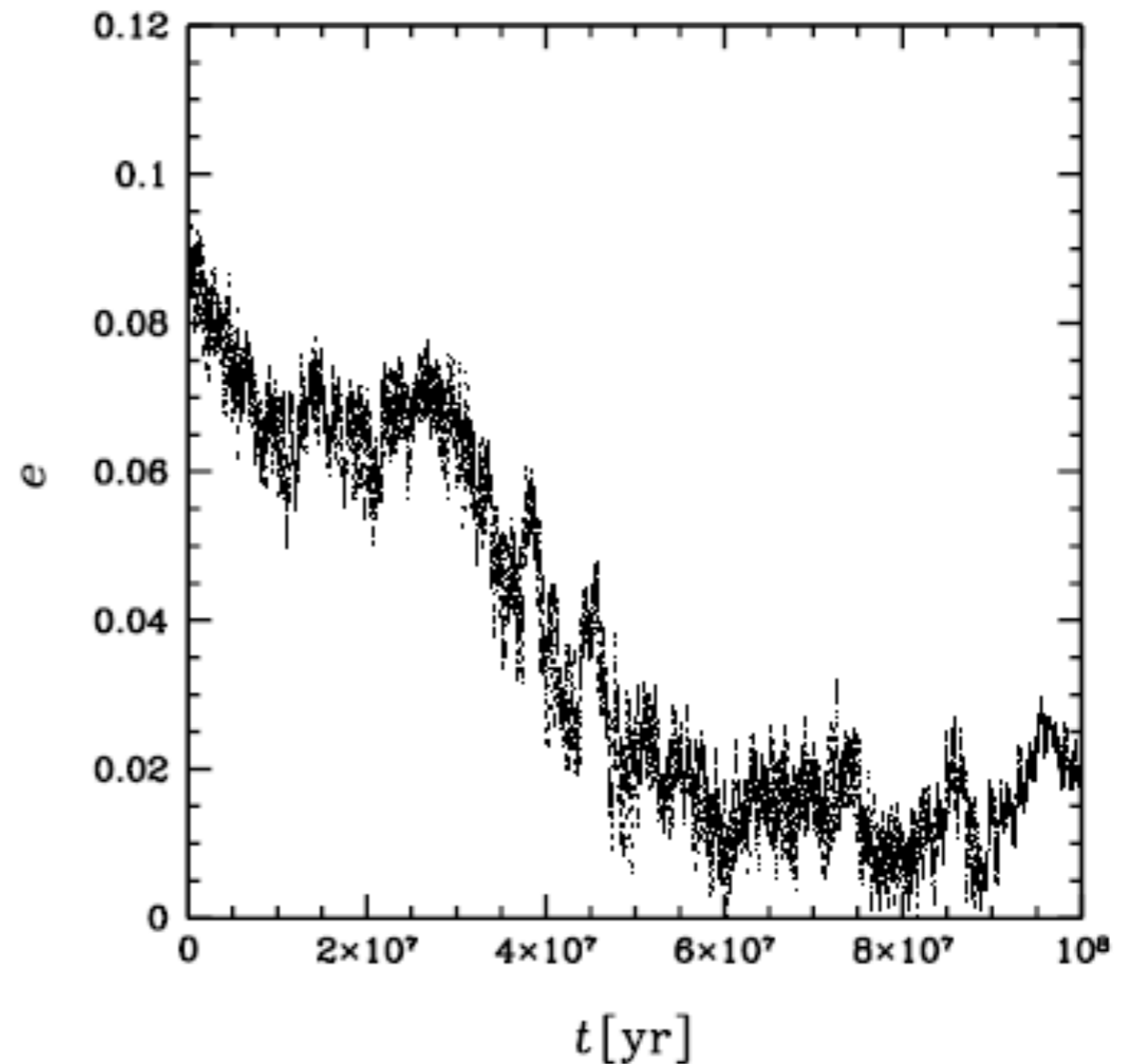
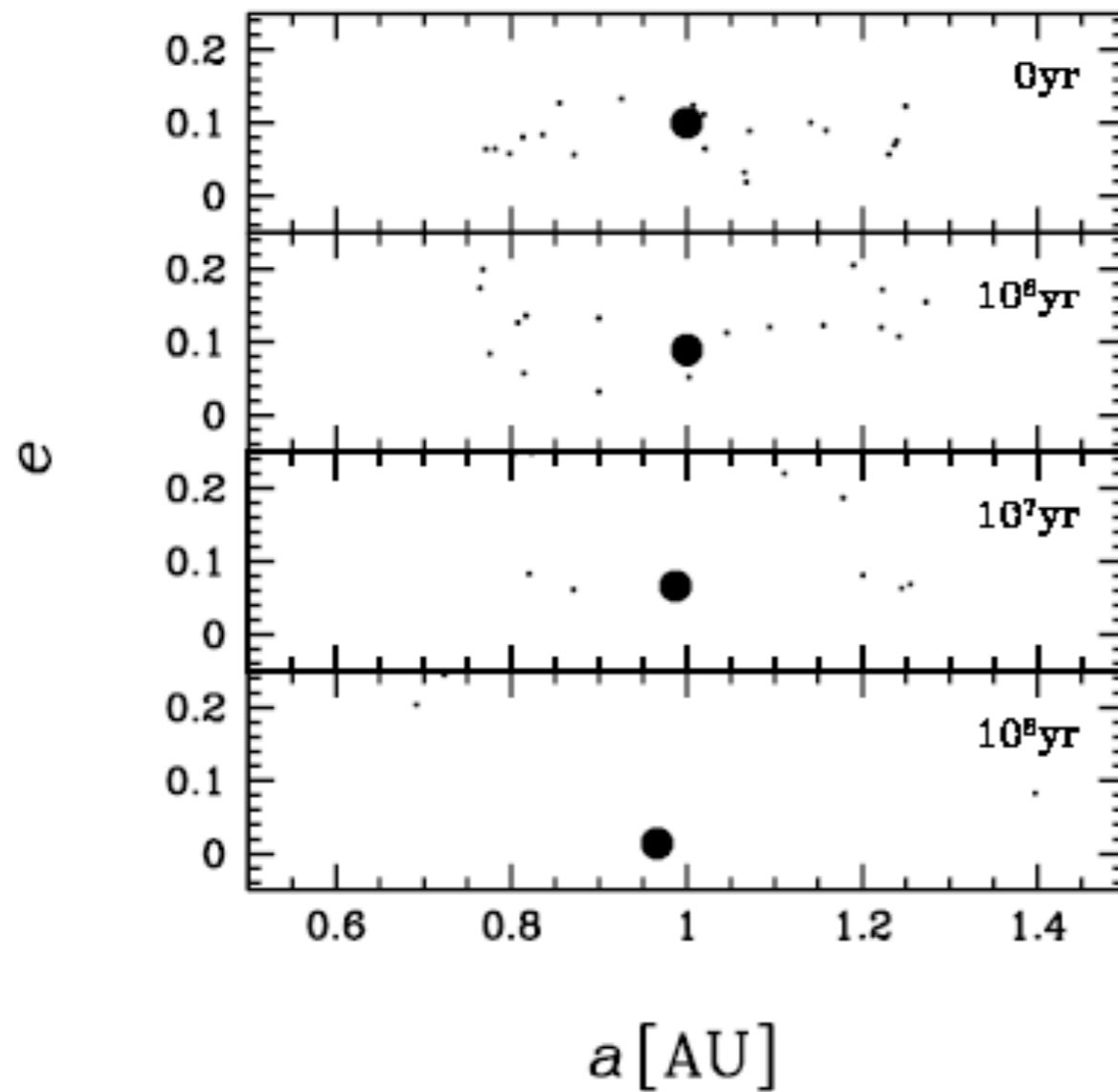
放出物の総質量



～10%の物質が放出
金属鉄もばらまかれる

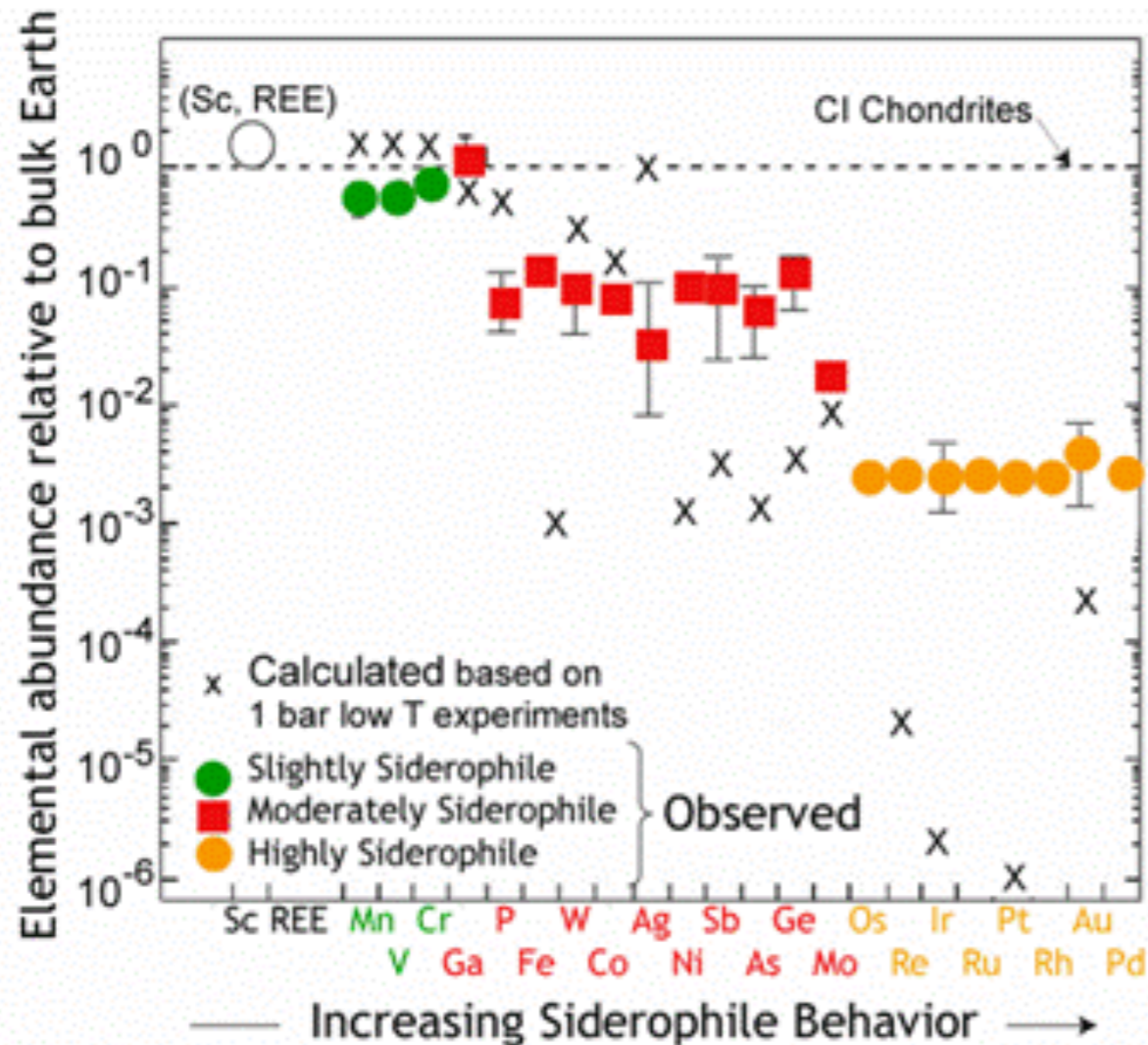
GIFによる円軌道化

$$M = 0.9M_{\oplus}, e = 0.1; M_d = 0.1M_{\oplus}, n = 20, \langle e_d^2 \rangle^{1/2} = \langle i_d^2 \rangle^{1/2} = 0.1$$



~10%の放出物(微惑星)
で $e \sim 0.01$ まで減少

レイトベニア？



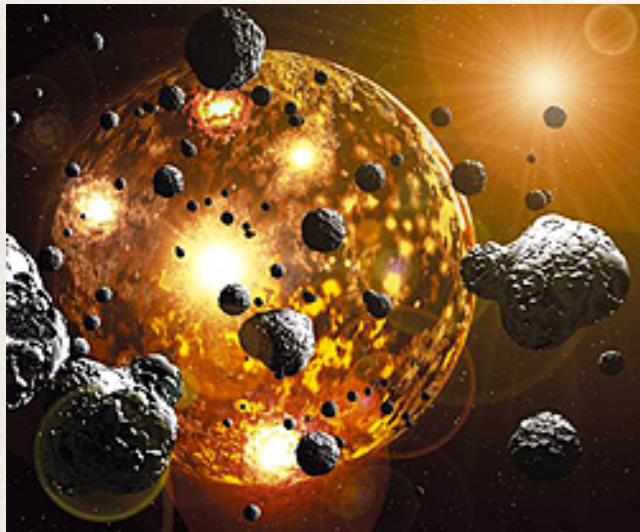
地球マントル中に
強親鉄性元素が過剰に存在



コア形成後、強親鉄性元素を
含む物体が少量降ってきた

- 巨大天体衝突ステージで金属鉄がばらまかれる
- 金属鉄中には強親鉄性元素を多く含む
- すでにコア形成して固化した地球に振る
- レイトベニア

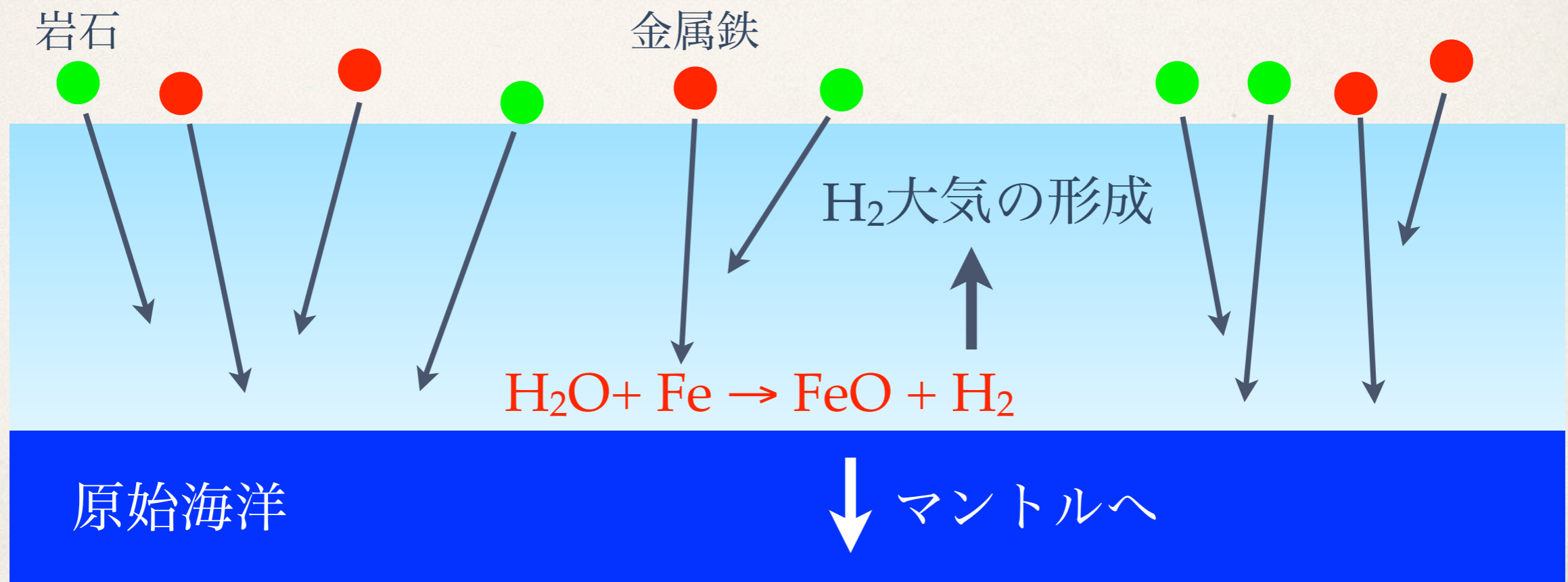
原始海洋 + GIF → 水素大気発生



金属鉄 Fe と原始海洋が反応して水素大気を生成



原始海洋が大規模に失われる
大量の水素大気をまとった原始地球の誕生



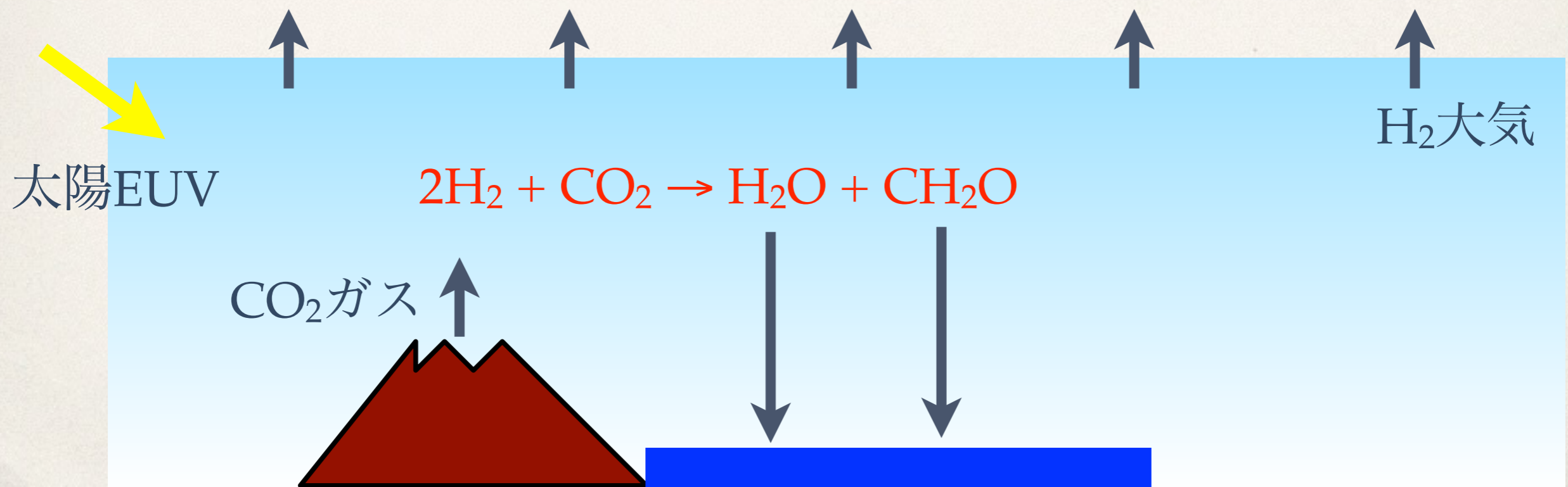
GIF降下後の大気進化

原始海洋と GIF が反応した後の水素の分配： $f = \text{H}_2\text{O} / (\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O})$

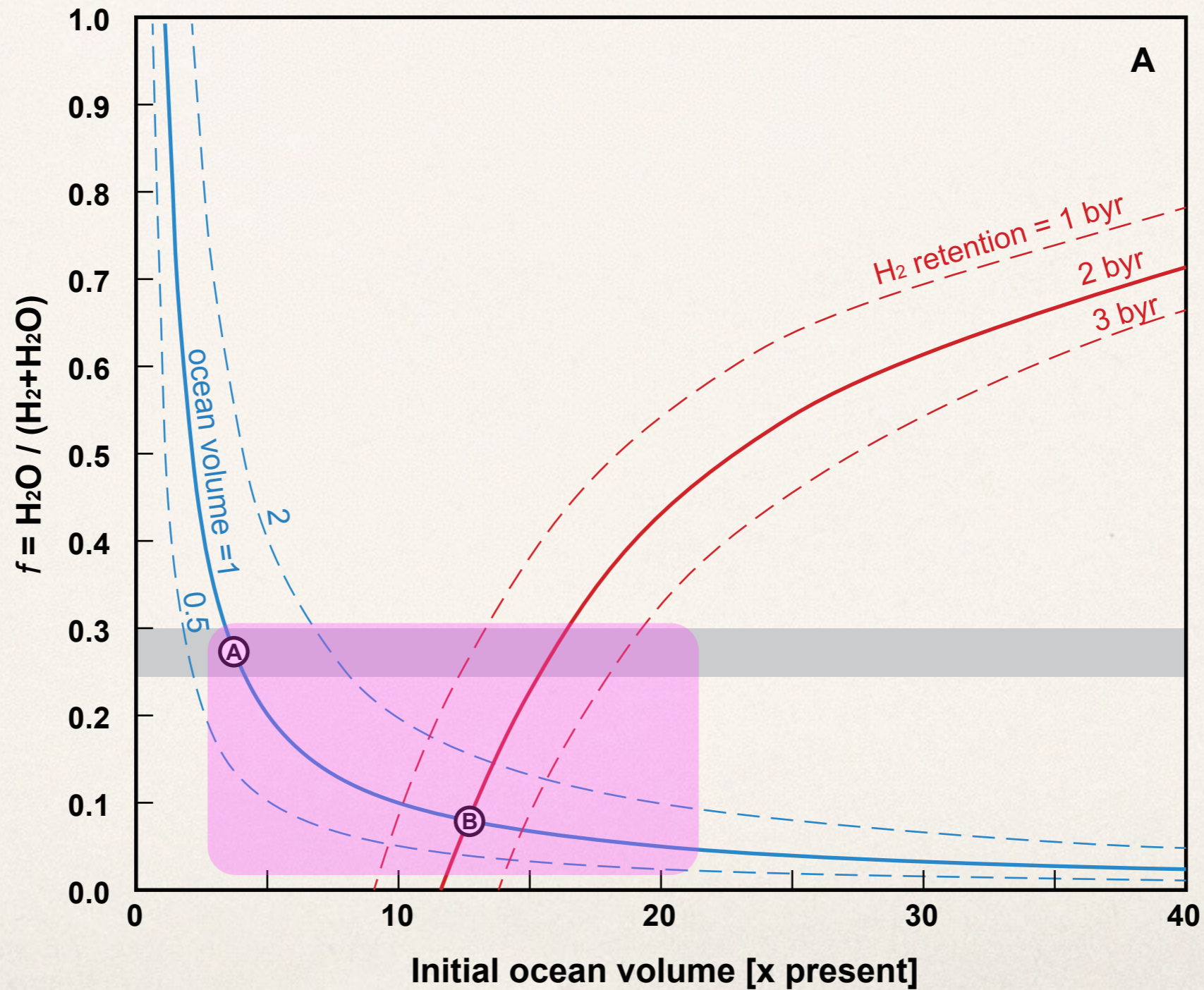
→ GIF 降下後の原始地球における海洋質量が決まる

H_2 のไฮドロダイナミックエスケープ：energy-limited escape

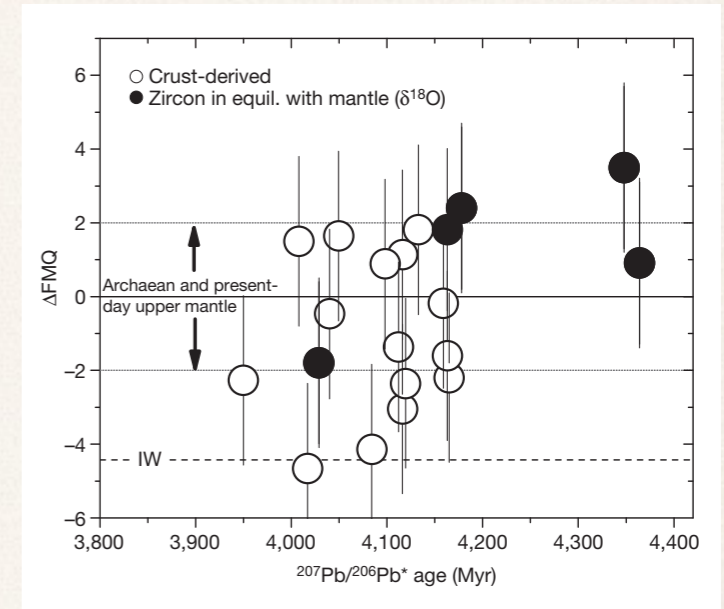
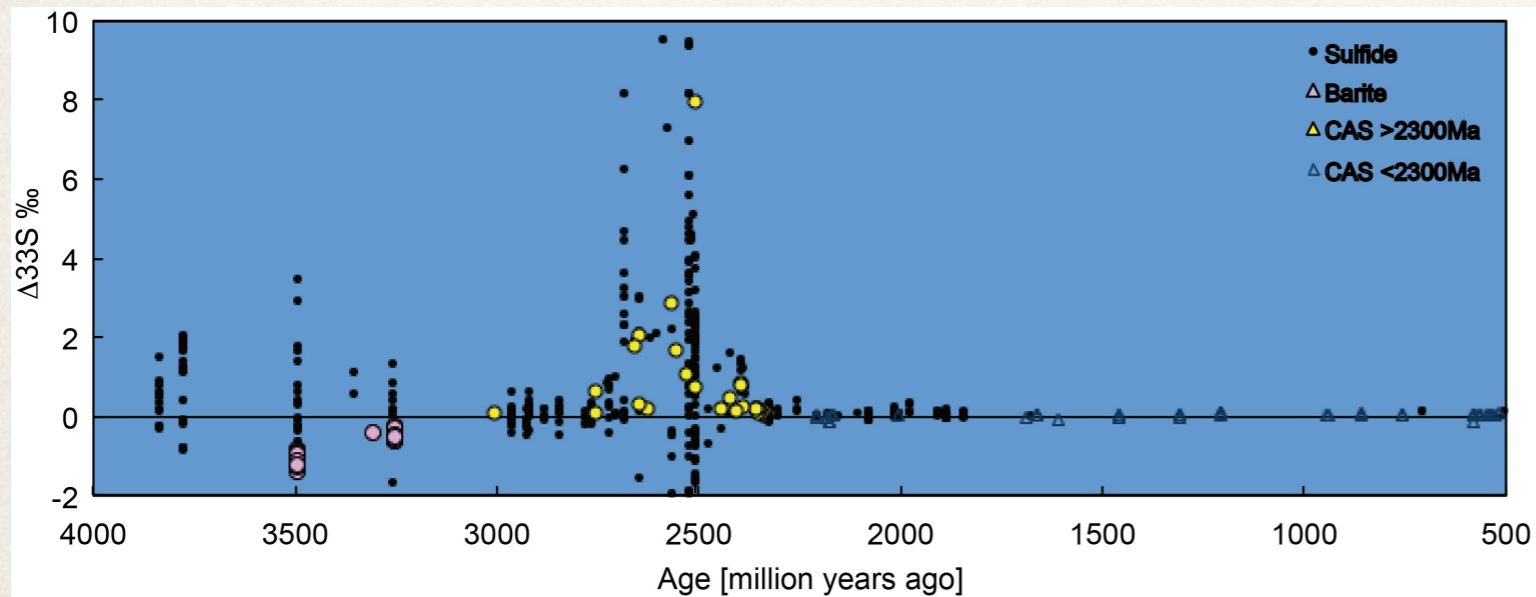
(太陽 EUV のフラックスで散逸率が決まる [Zahnle et al. 1988])



海洋質量と水素大気保持期間



地球は還元的大気を長期間保持



硫黄同位体異常 → 2.5Ga まで低 O_2 , CO_2 濃度
[Farquhar et al., 2000]

マントルはFMQ@4.35Ga
[Trail et al., 2011]

これまで：酸化的な原始地球マントル + 大気とマントルは平衡状態

→ 2.5Ga まで大気を低 O_2 , CO_2 濃度にしておくことは困難

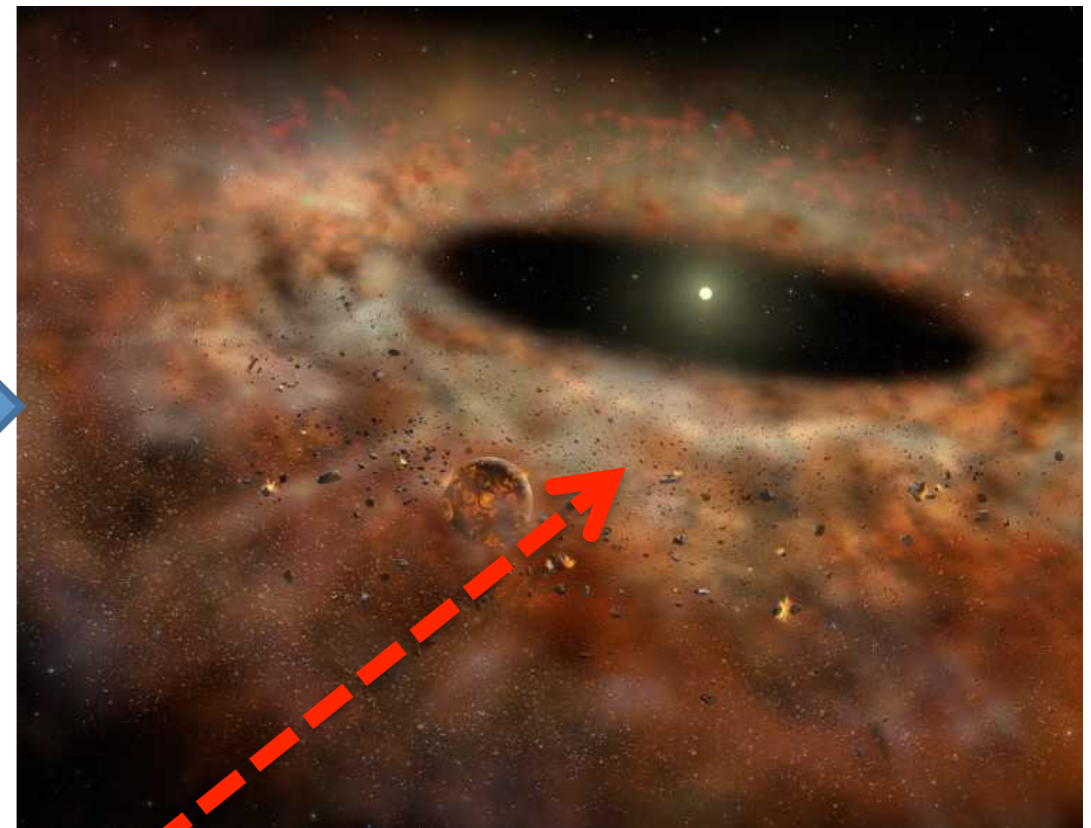
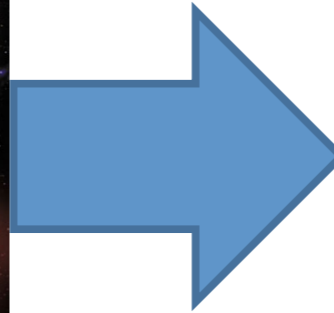
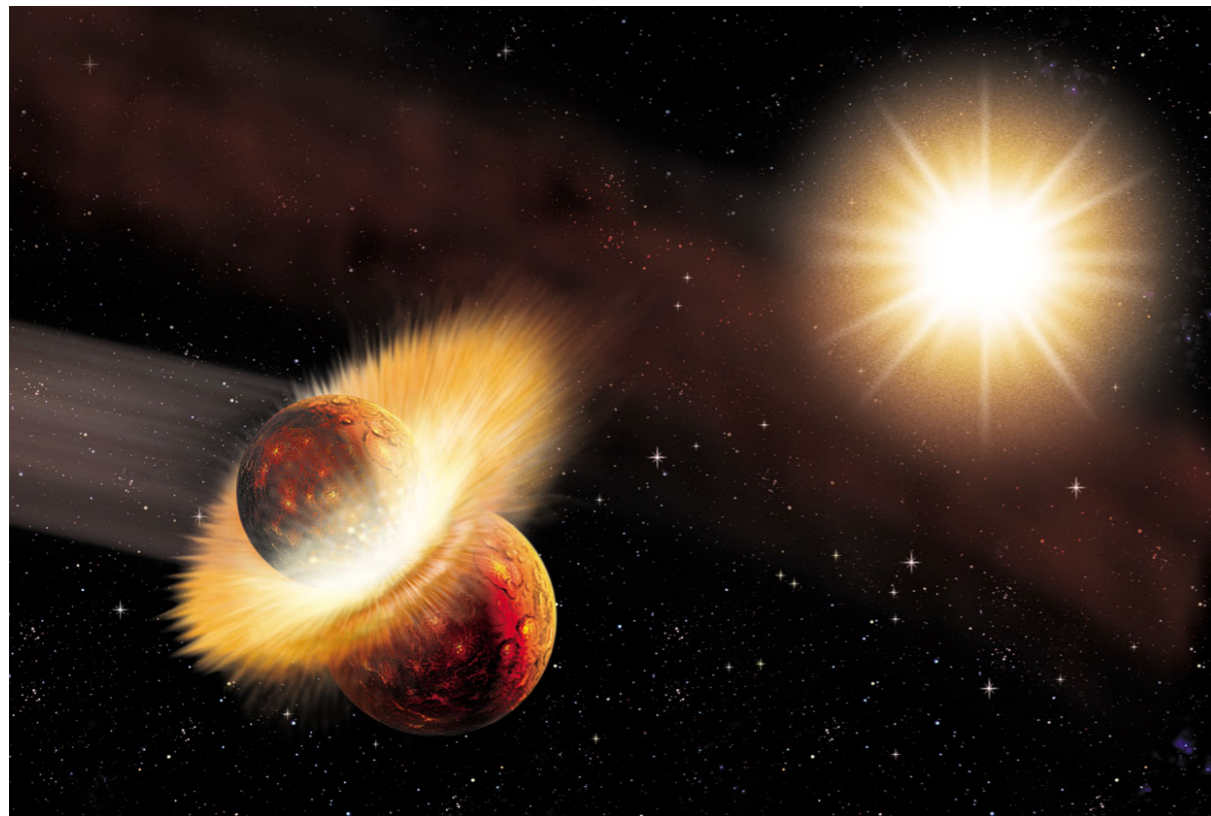
本研究：大量の H_2 大気が系を支配 (大気とマントルは非平衡)

→ 長期間 H_2 大気持続, 低 O_2 , CO_2 濃度を維持

いかにして“地球”をつくるか

- 巨大天体衝突過程で大量の破片（GIF）が形成
- 惑星の円軌道化 & レイトベニアを説明可能
- 原始海洋 + GIF → 大量の水素大気の発生
- 初期海洋質量が適度に減少（→ 1海洋）
- 酸化的なマントルと還元的な大気が長期間共存

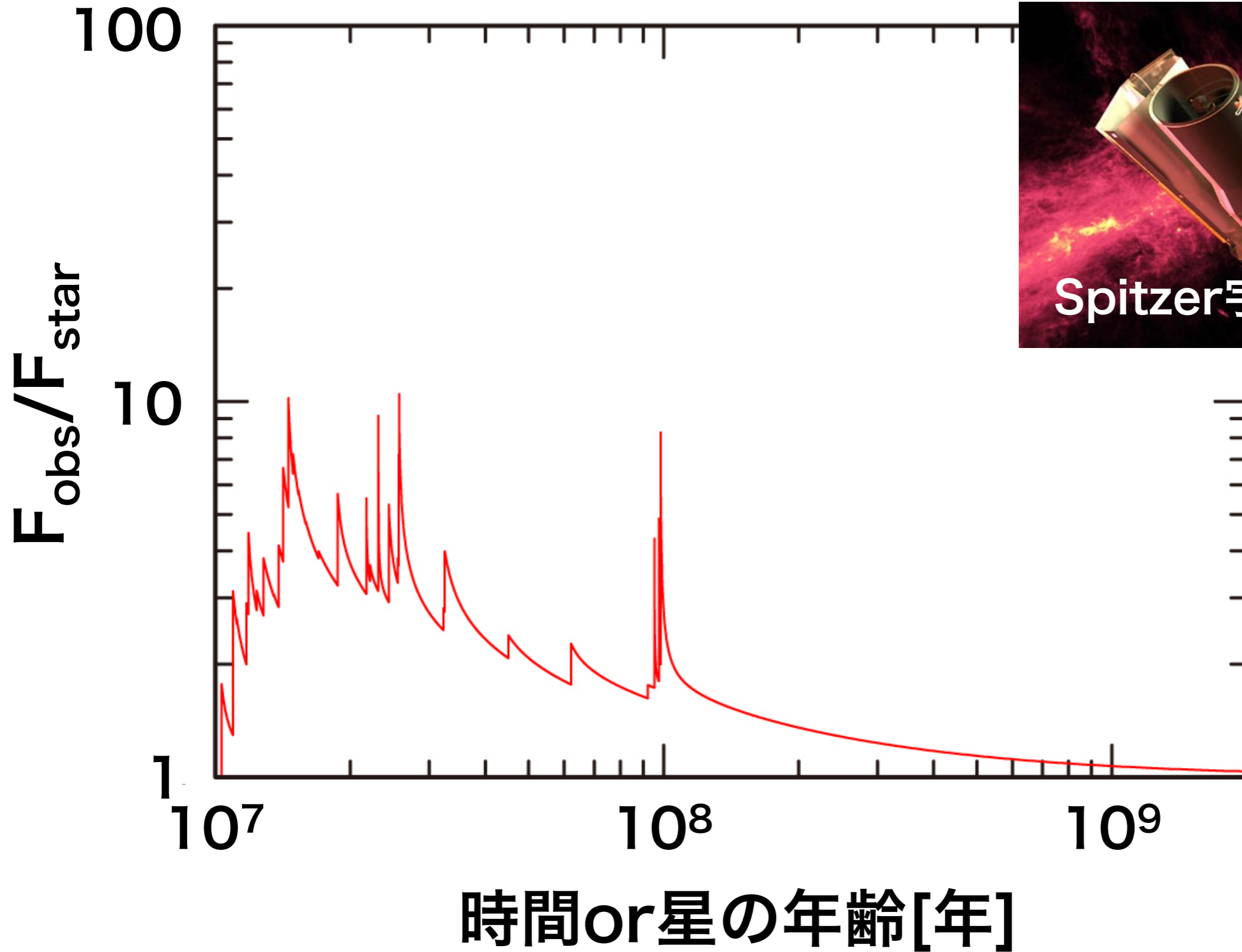
GIFの観測可能性



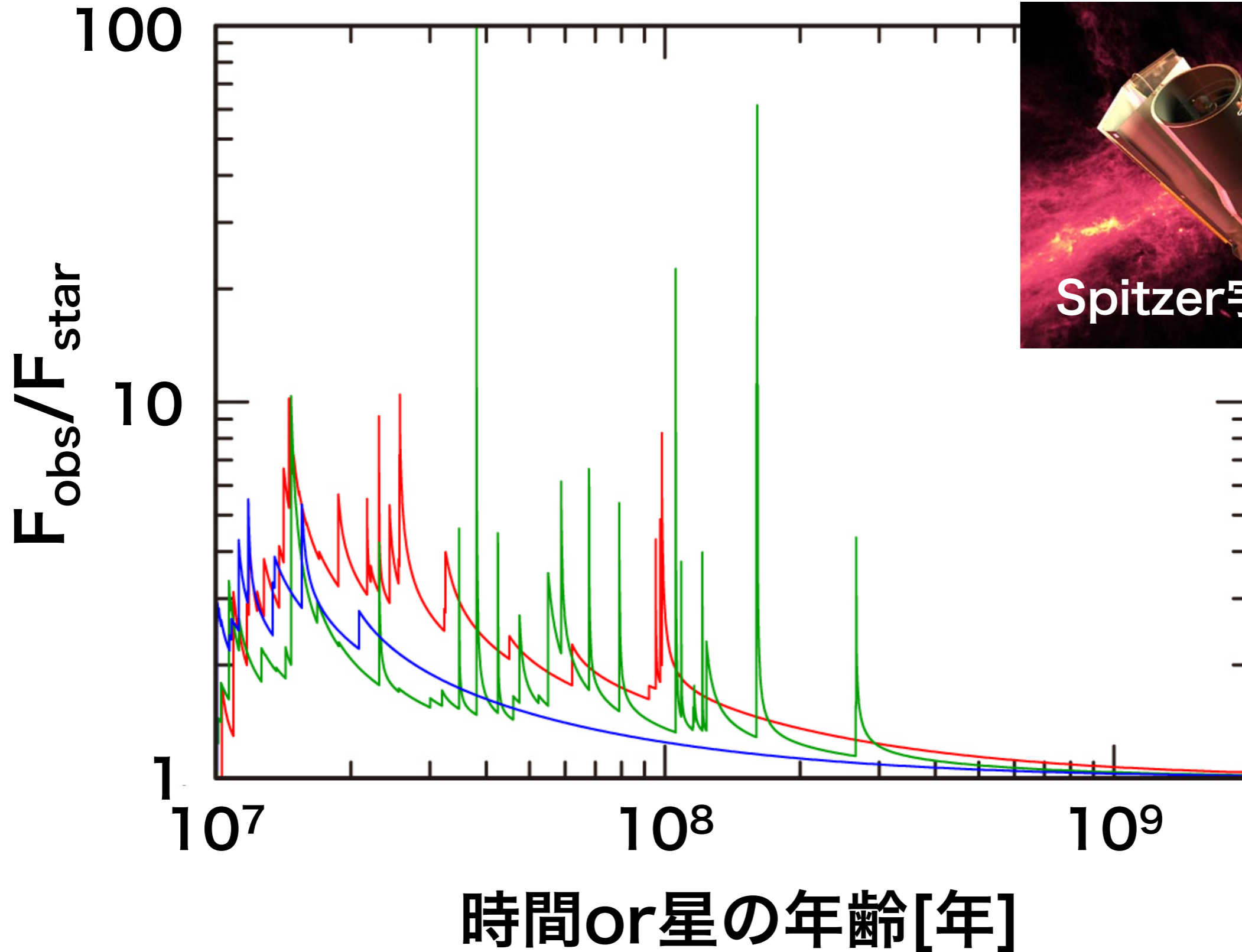
赤外線を超過として
GIF円盤を観測できるのでは？

地球型惑星の形成現場を
観測できる

赤外超過 (24 μm)



赤外超過 (24 μm)



赤外超過 (24 μm)

