

地球惑星科学 II

第11回

2023年01月05日

前回のミニレポート

- どのような観測・探査を行うと良いか？

- 解答例

– いろいろ調べたい！

- おとめ座銀河団を探索。居住地とするため。遠距離まで飛ばせる無人機を開発。水の有無は航空写真、土壌や大気の成分はサンプルリターンで調査

– 問題点を解決しようとするアイデアも

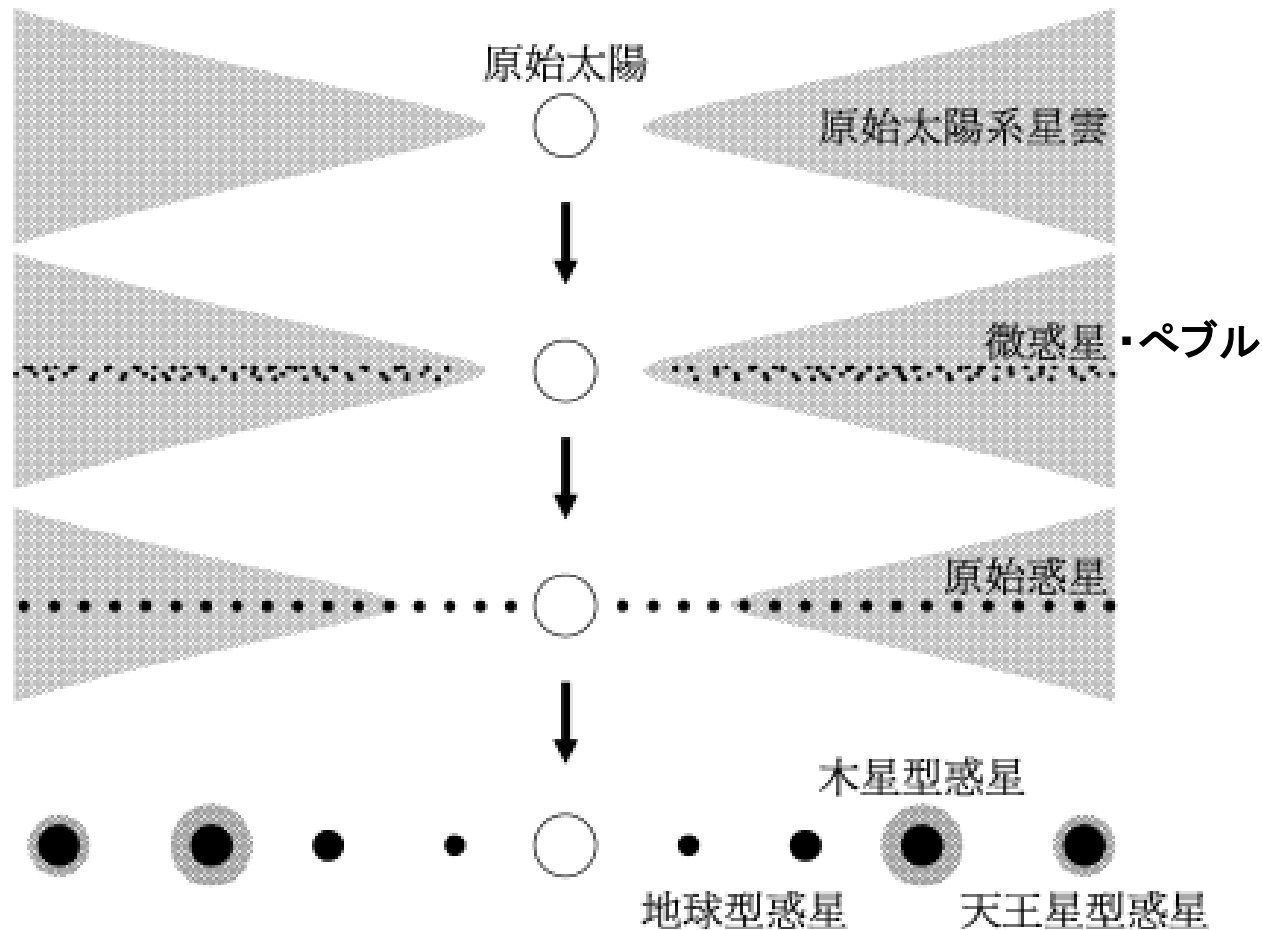
- 火星やタイタンなどに、高度な計算能力を持ったコンピュータと帯域幅の広い通信手段を搭載した人工衛星を送り込む。この人工衛星自体は探査しない。

– ユニークな視点

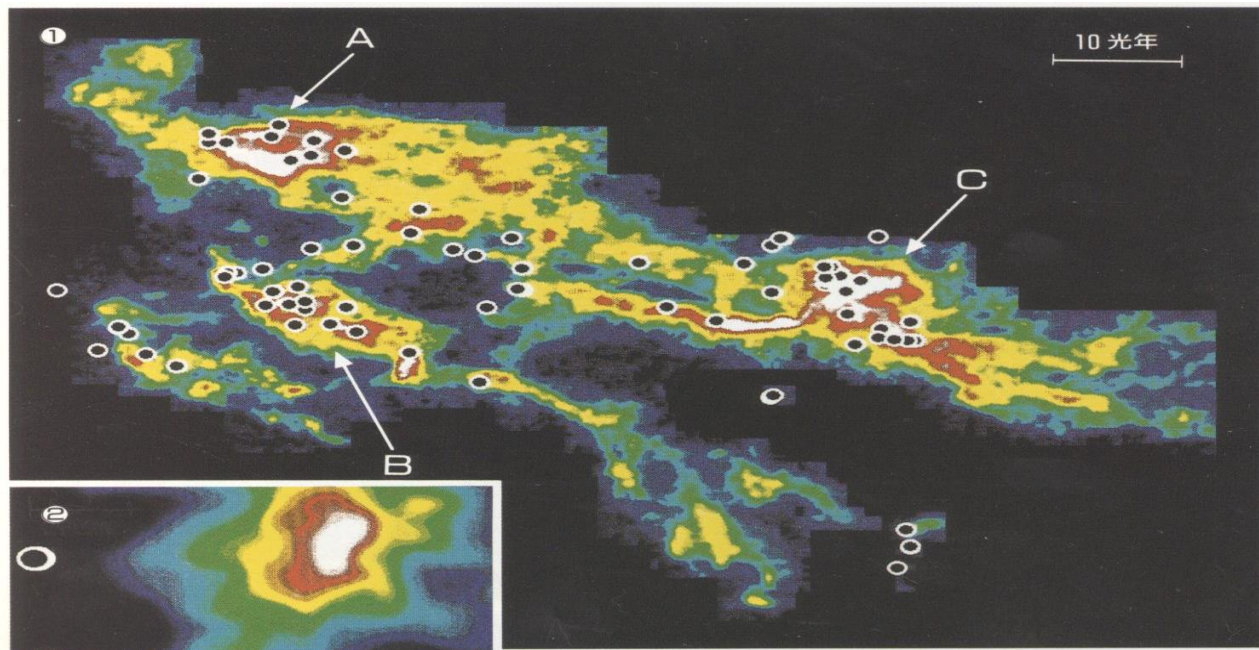
- 誰もが宇宙に行って自分の目で各惑星や宇宙空間での現象を見るべきだと思う。

今日のテーマ

- 地球および太陽系はどのようにできたのか？
- 参照：地球惑星科学入門32章



惑星系の生まれる場所：星間分子雲



星間分子雲
から星、星雲が
生まれる

一酸化炭素が放出する電波によって観測した牡牛座分子雲
「福井・水野(1994)科学,64巻」より転載

- 星から放出されたガスが集合
- 主成分：水素（75%）、ヘリウム（24%）
- 直径は10～100光年。質量は太陽の100～100万倍
- 温度は10～50K
- 太陽系の場合、収縮開始は46億年前

暗黒星雲

馬頭星雲(オリオン座)



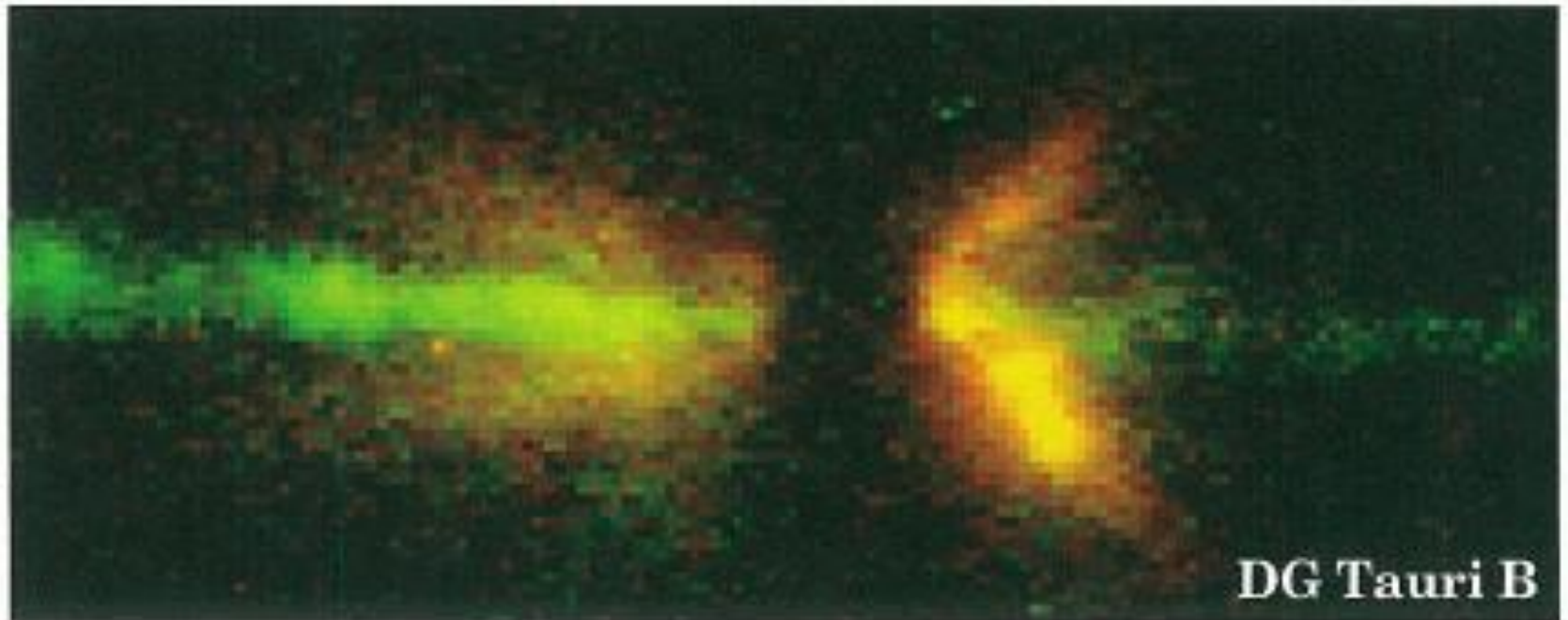
地学図表P.46



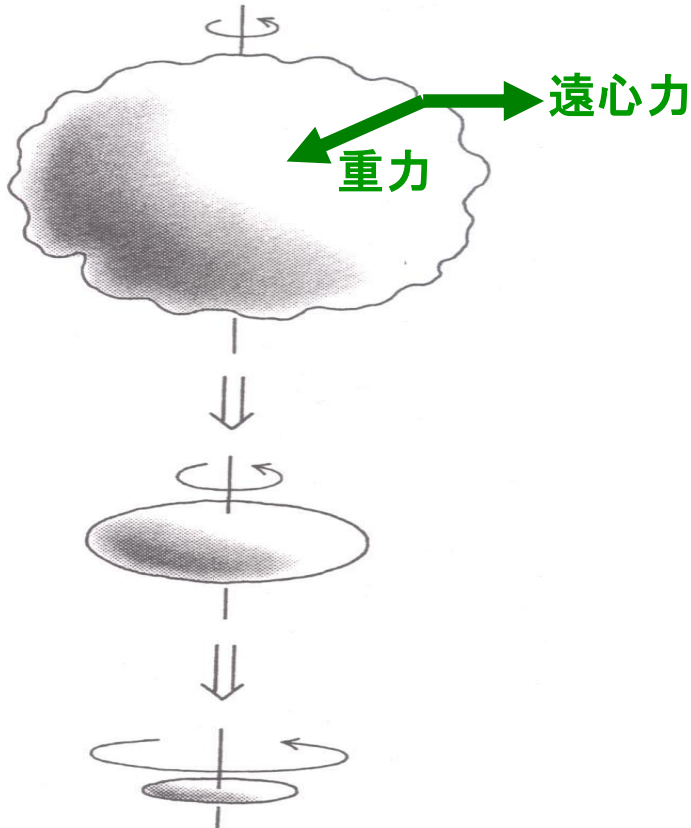
http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_89.1

恒星の誕生

地学図表P.42



原始太陽系円盤の形成

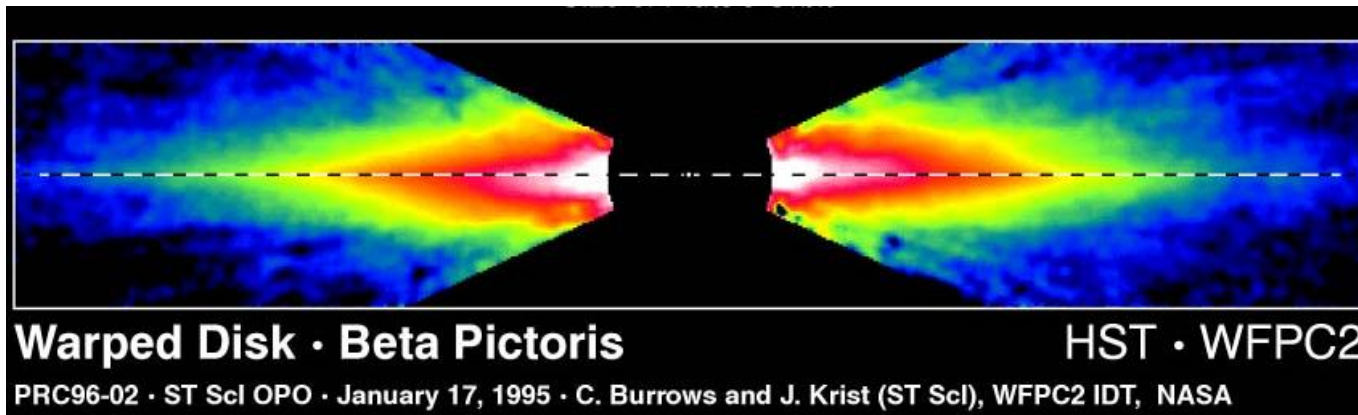


http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/shuttle/sts-103/hires/sts103_726_081.jpg
より転載

「一億個の地球, 井田茂・小久保英一郎著, 岩波書店」

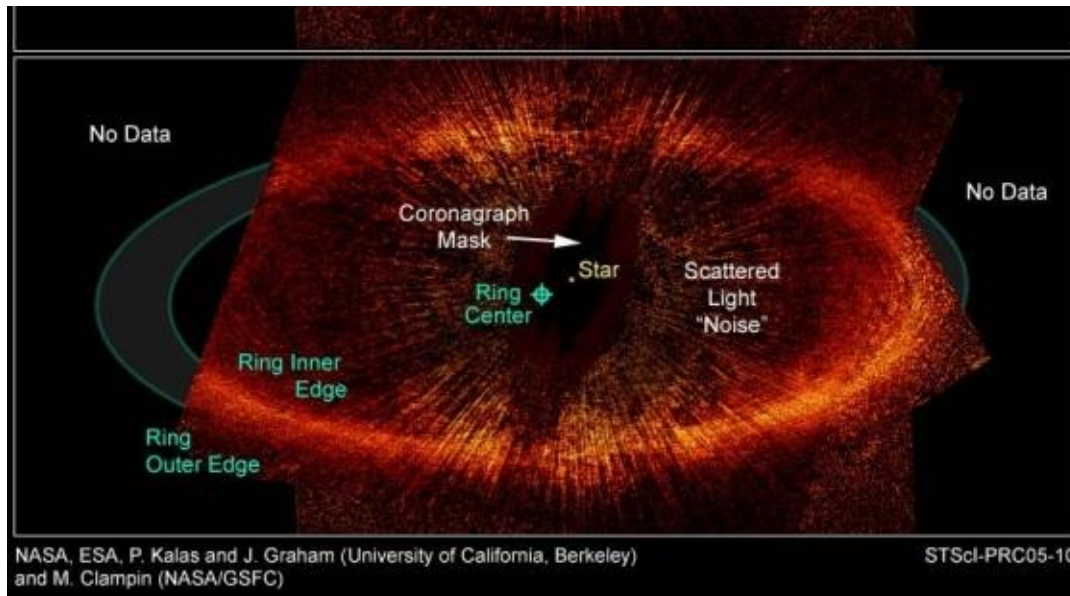
- 円盤状になって中心星の周りを回転
- 微粒子(氷または塵)と気体(ガス)から成る
- 原始太陽系円盤を調べるには、他の天体を見る

原始太陽系円盤の姿



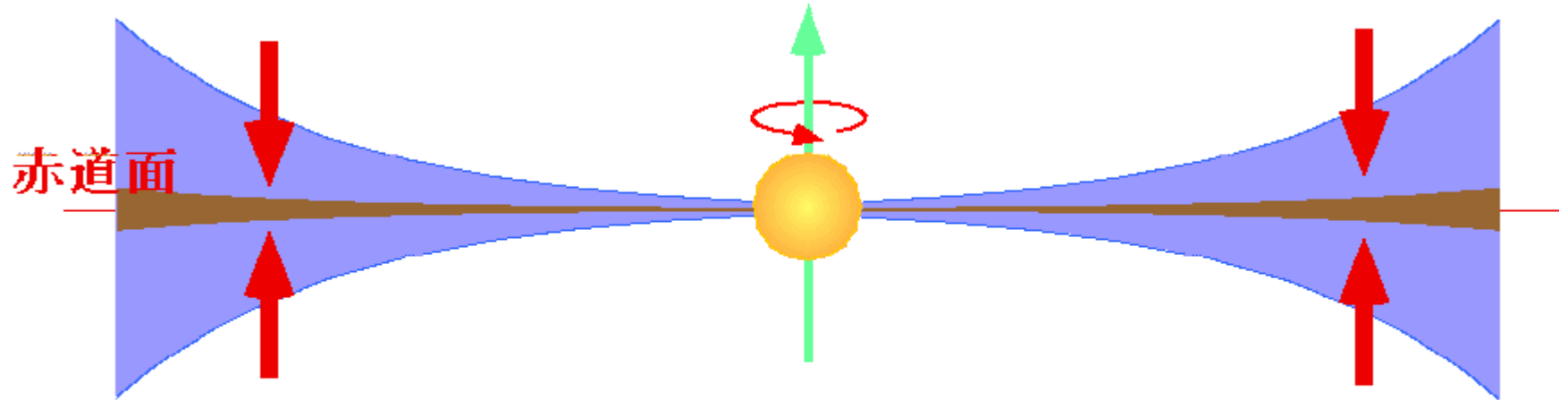
ハッブル宇宙
望遠鏡による
観測

<http://hubblesite.org/newscenter/archive/1996/02/image/a>より転載



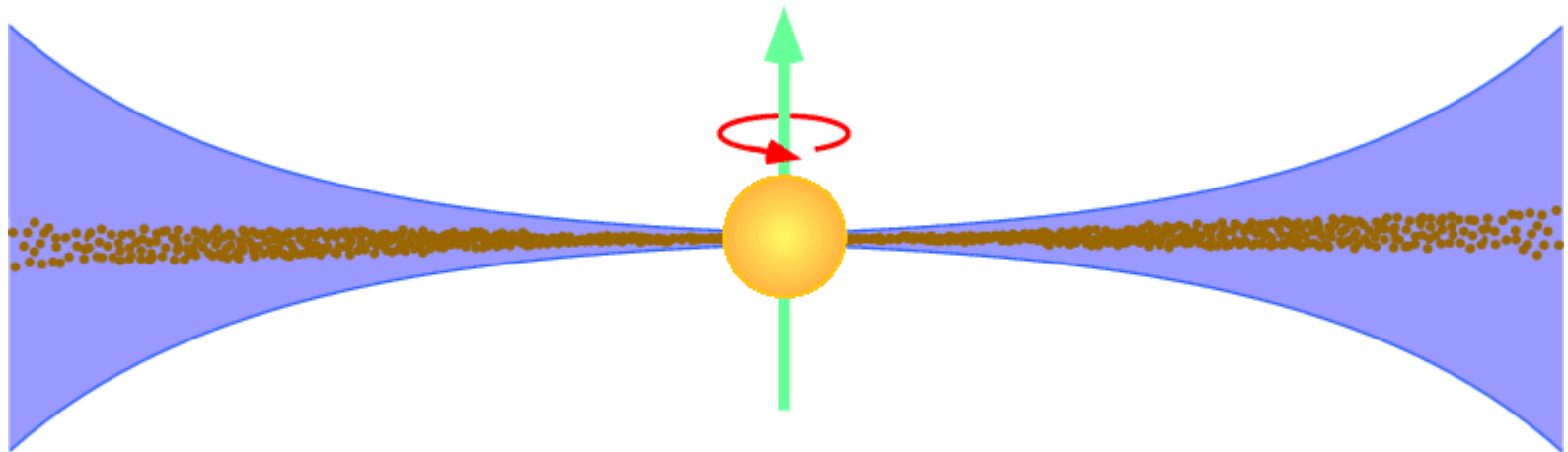
<http://www.solstation.com/starx/fomalhau.htm>より転載

微惑星・ペブルの形成



ダストが赤道面へ沈殿していき薄いダスト層を形成する。

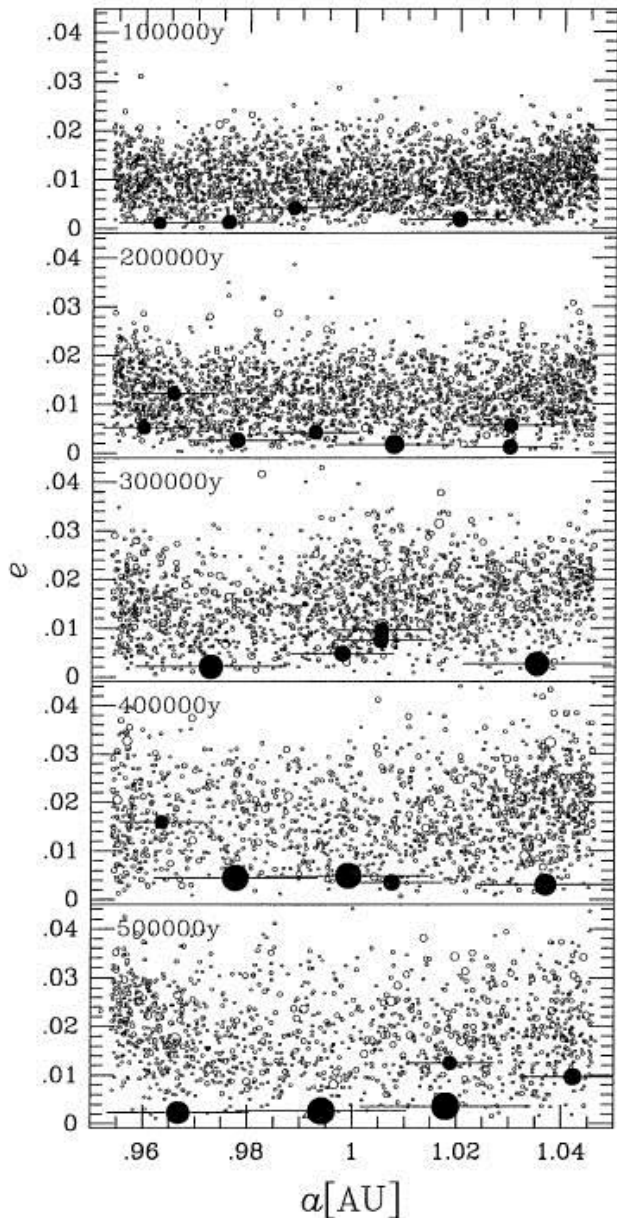
<http://th.nao.ac.jp/openhouse/1998/poster/1997/planet/sedimentation.html>



ダスト層が分裂して、多数の微惑星を形成する。

<http://th.nao.ac.jp/openhouse/1998/poster/1997/planet/planetesimal.html>

惑星集積



- 調べる方法は数値シミュレーション
 - 数1000個の微惑星
 - 太陽・微惑星同士に働く重力、ガス抵抗を考慮
 - 微惑星同士が接近した時に何が起こるかを追跡(散乱、衝突・合体、捕獲)
- 膨大な計算量となる
 - 専用計算機も作られている
- 結果
 - 微惑星集積→複数の原始惑星形成
 - 惑星は周りから材料(微惑星)を集めないといけないので間隔が空く
 - 太陽からの距離により材料が異なる

「材料物質」を調べるには

- 小惑星(始原的な天体)を調べる



小惑星 イトカワ

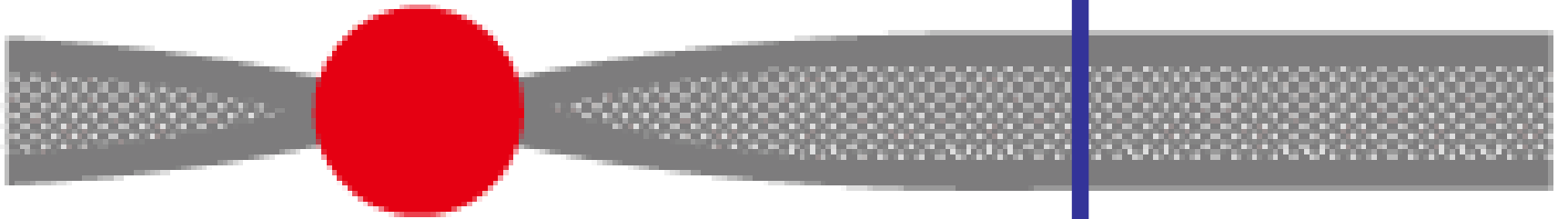
http://www.jaxa.jp/article/special/hayabusa_sp3/index_j.htmlより転載



はやぶさ

http://www.jaxa.jp/projects/sat/muses_c/index_j.html
より転載

なぜ外側に巨大惑星あるのか



氷微惑星融解

材料物質: 少

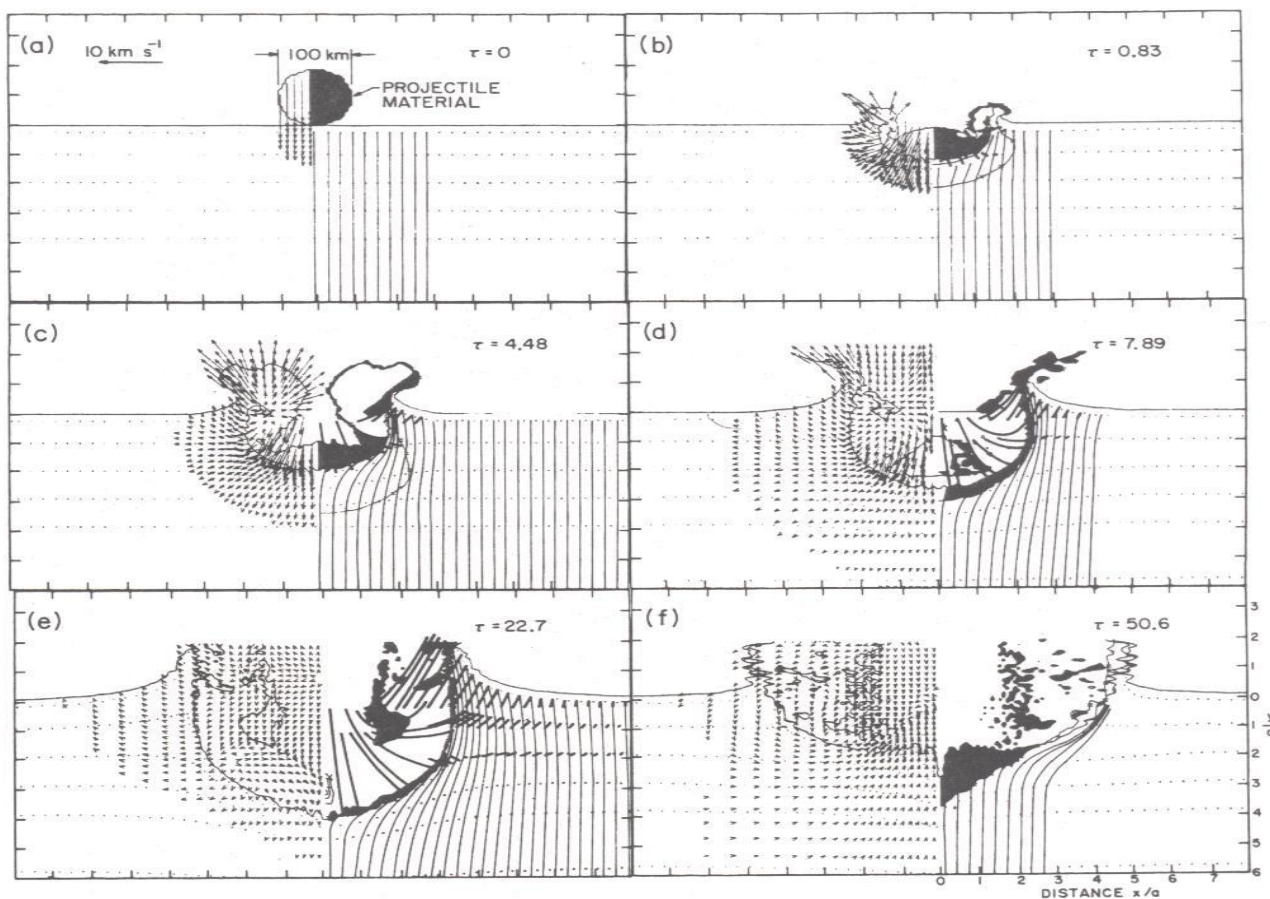
氷微惑星保持

材料物質: 多

Snow Line

地球型惑星のその後：衝突脱ガス

- 微惑星衝突の際に水蒸気・二酸化炭素などの気体が放出
- 厚い大気とマグマオーシャンの形成



「比較惑星学,松井孝典他著,岩波書店」より転載

今日の計算問題

- 地球に直径($2r$) 10kmの微惑星が衝突する際に発生するエネルギーフラックス(1秒間に、 1m^2 あたりに解放されるエネルギー量)を計算せよ。微惑星が持つ運動エネルギーが解放されて地球表面全体に与えられると考えよ
 - 微惑星の衝突速度: $v=10^4$ m/sec(10km/sec)
 - 微惑星の密度: $\rho=5 \times 10^3$ kg/m³ (5g/cm³)
 - 微惑星衝突イベントの時間スケール: $T=1$ sec

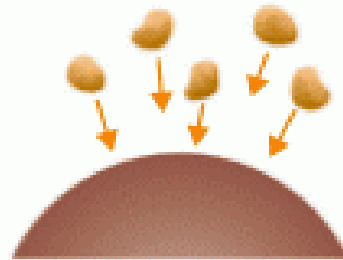
計算問題：解答例

- 微惑星衝突の際のエネルギーフラックス
 - 微惑星の半径： $r = 5 \times 10^3 \text{ m}$
 - 微惑星の衝突速度： $v = 10^4 \text{ m/sec}$
 - 微惑星の密度： $\rho = 5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
 - 微惑星衝突イベントの時間スケール： $T = 1 \text{ sec}$

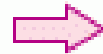
$$\begin{aligned} \frac{\overset{\text{微惑星質量}}{\frac{1}{2} M v^2}}{\underset{\text{地球表面積}}{S \times T}} &= \frac{\frac{1}{2} \times \left(\rho \times \frac{4}{3} \pi r^3 [\text{kg}] \right) \times v^2}{4\pi R^2 \times T} \\ &= \frac{(\rho \times r^3) \times v^2}{6R^2 \times T} = \frac{5.0 \times 10^3 \times (5.0 \times 10^3)^3 \times (10^4)^2}{6(6.4 \times 10^6)^2 \times 1} \\ &= \frac{5^4}{6 \times 6.4^2} \times 10^8 = 2.5 \times 10^8 \text{ J sec}^{-1} \text{ m}^{-2} \end{aligned}$$

原始地球の形成

初期原始地球 (半径約 750 km)



直径 10 km 程度の無数の微惑星が数十 km/s の速さで衝突・合体して成長し、初期の原始地球ができる。

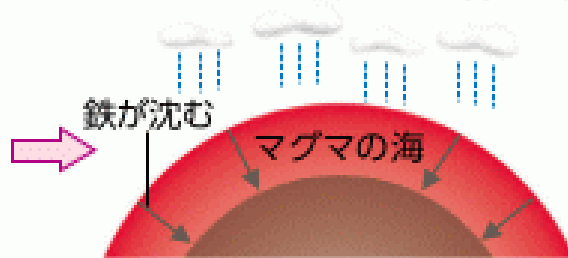


水蒸気 二酸化炭素 窒素



衝突で微惑星内部のガスが放出され (衝突脱ガス), 原始大気* になる。
*ジャイアントインパクト後のマグマオーシャンから放出されたガスが大気になったという説もある。

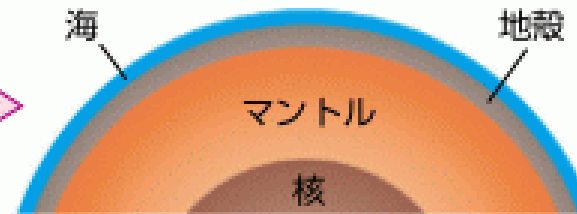
雲 (水蒸気100気圧)



衝突のエネルギーと大気による保温効果で岩石がとけ、地表はマグマにおおわれる (マグマオーシャン)。密度の大きな鉄やニッケルは沈んで核になる。



原始地球



マグマにおおわれた表面は冷えて地殻になり、水蒸気は海になり、現在のよ
うな層構造ができる。大気中の二酸化炭素は海に溶け、温室効果 (▶ p.159) が弱まり、気温は低下した。

月の起源



地学図表P.21

我々の太陽系の形成過程

