

地球惑星科学 II

第11回

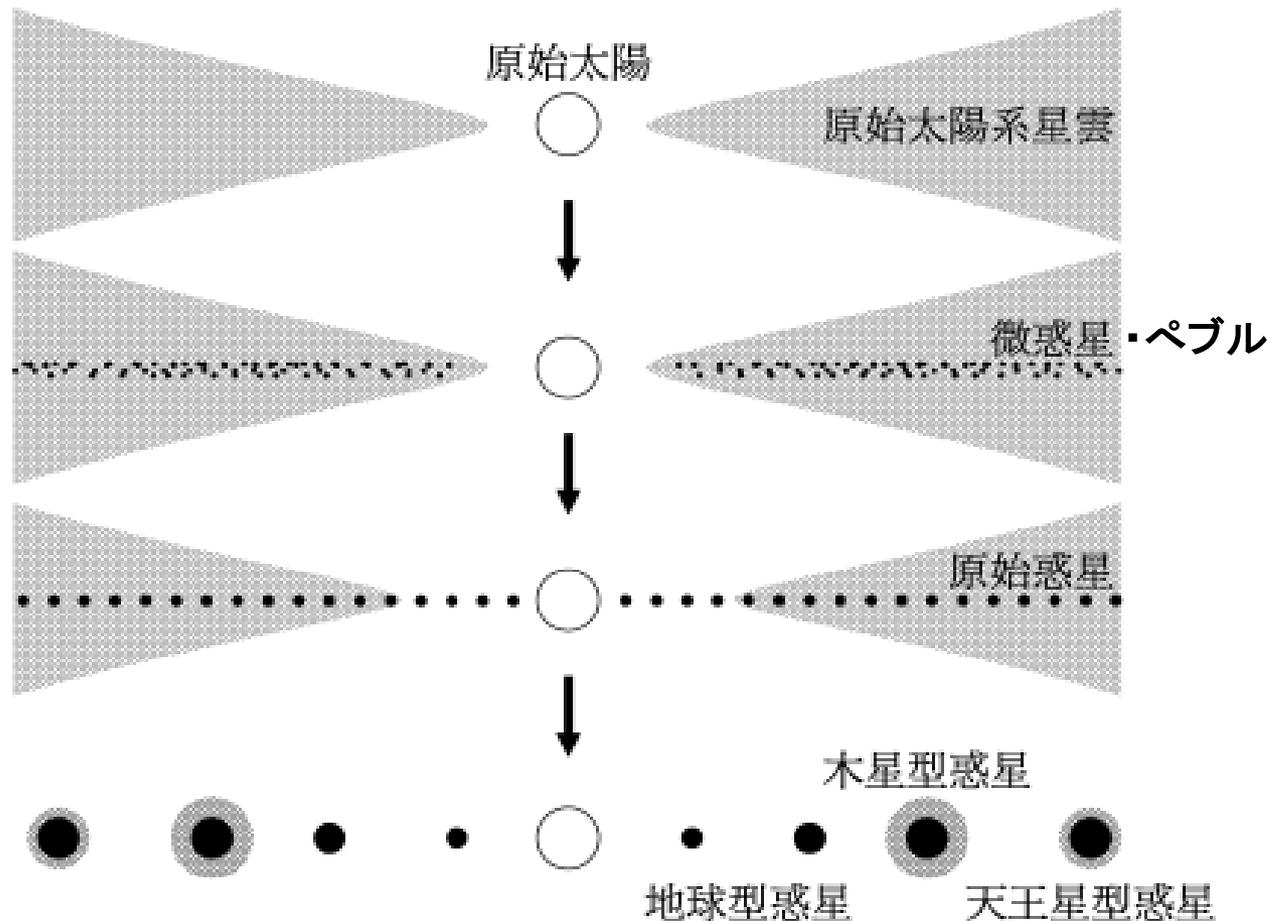
2020年12月10日

前回のミニレポート

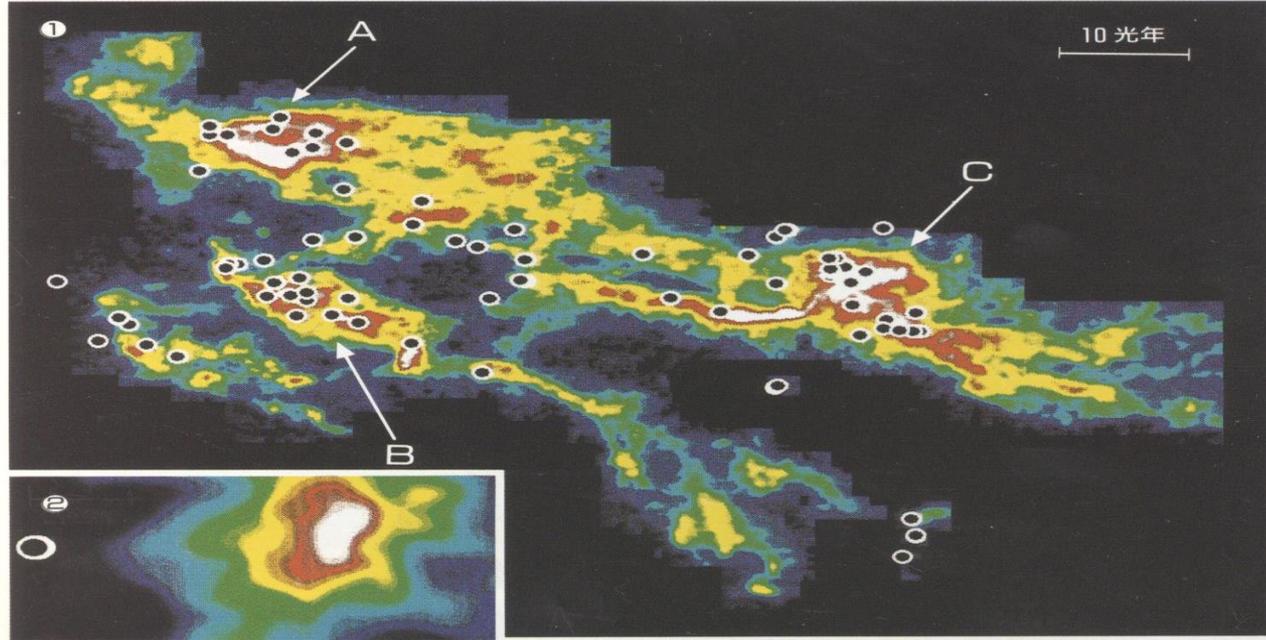
- どのような観測・探査を行うと良いか？
- 解答例
 - 観測対象
 - 生命存在惑星、水、ブラックホール、月
 - 壮大だが可能ではあるね！
 - 人工地球
 - ちょっと難しい？
 - 宇宙にレーザや電波を発信
 - 世代を交代しながら百年単位で航行
- 質問
 - 月と地球の間にエレベータをかけるという話を聞いた。自転を考えると難しいのでは？

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)



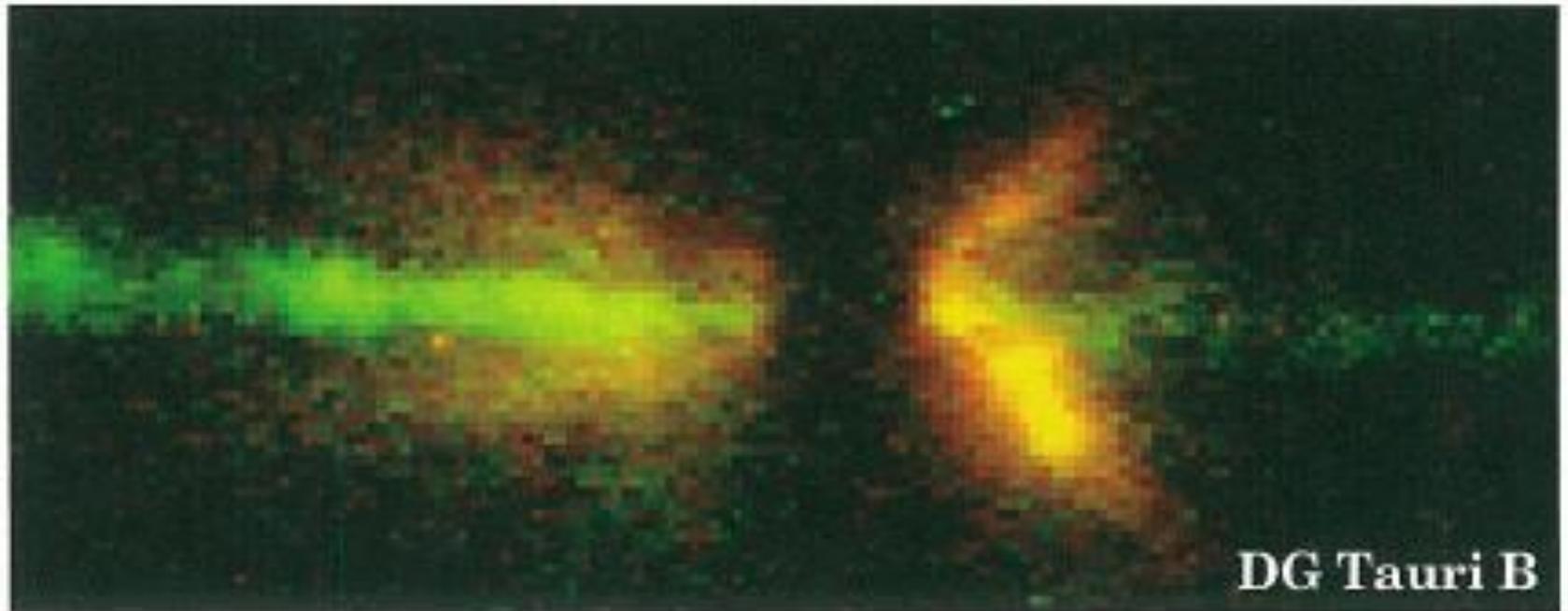
地学図表P.46



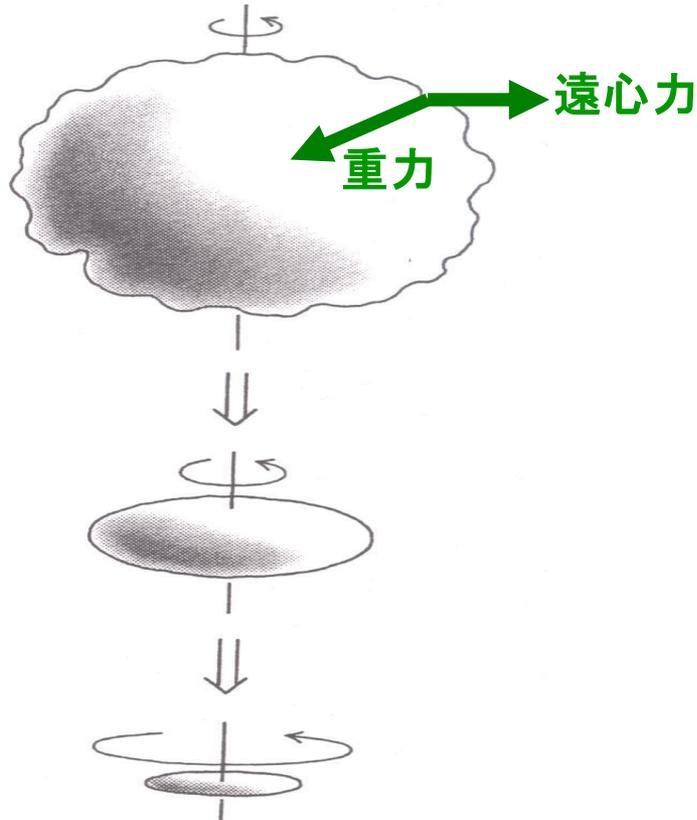
http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_89.1

恒星の誕生

地学図表P.42



原始太陽系円盤の形成

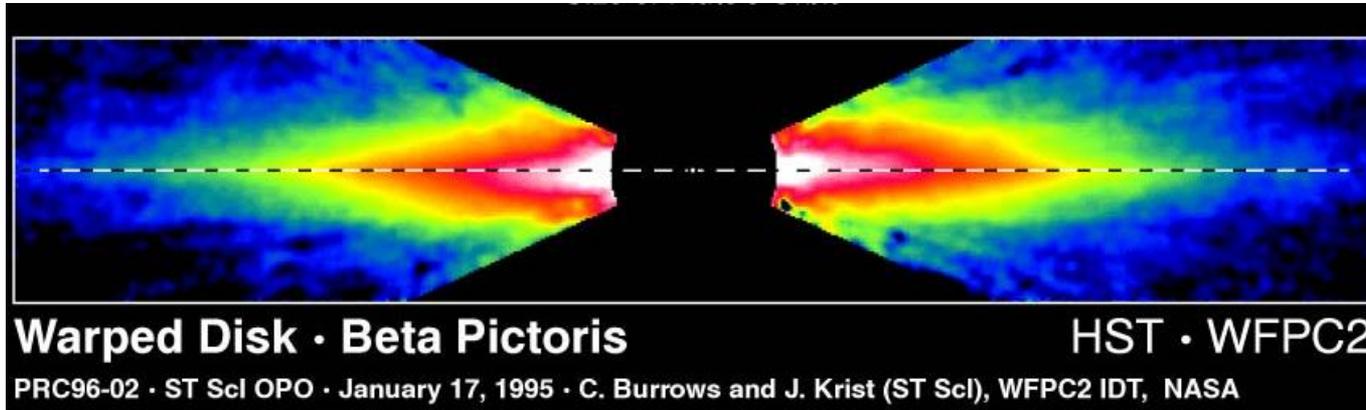


http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/shuttle/sts-103/hires/sts103_726_081.jpg
より転載

「一億個の地球, 井田茂・小久保英一郎著, 岩波書店」

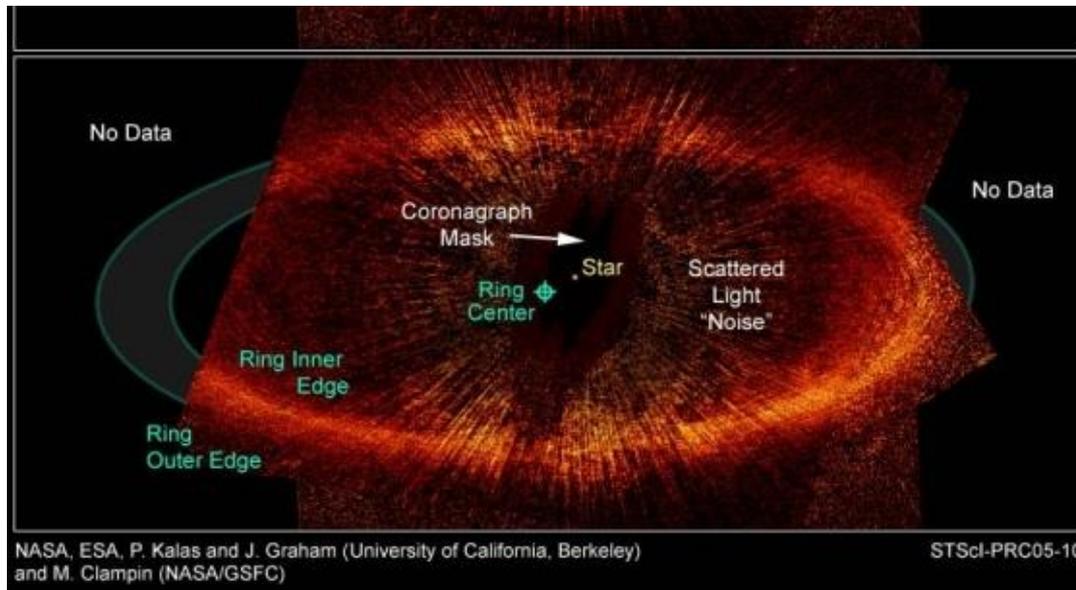
- 円盤状になって中心星の周りを回転
- 微粒子(氷または塵)と気体(ガス)から成る
- 原始太陽系円盤を調べるには、他の天体を見る

原始太陽系円盤の姿



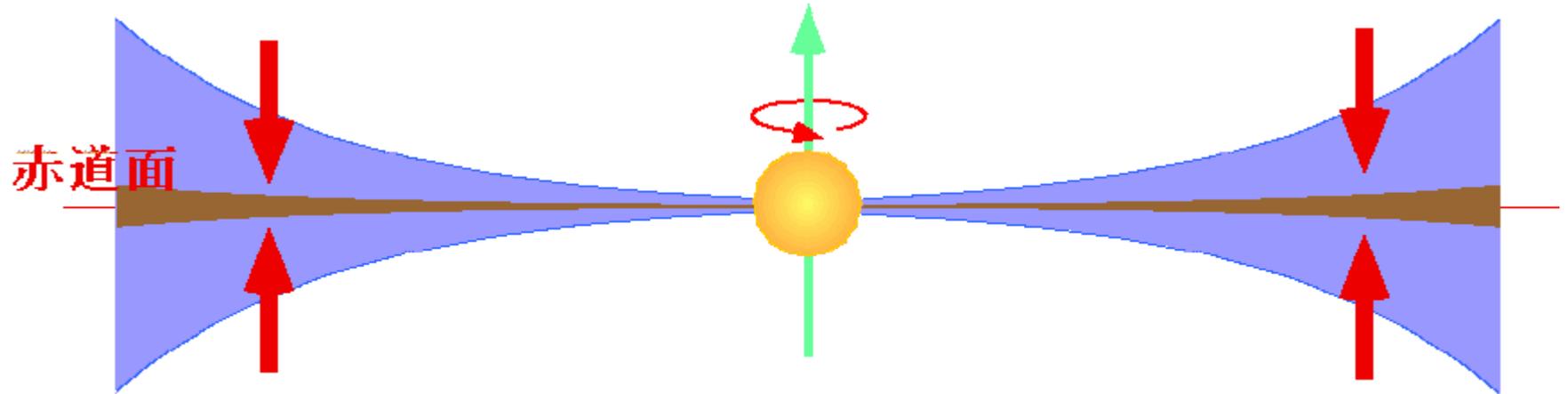
ハッブル宇宙
望遠鏡による
観測

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



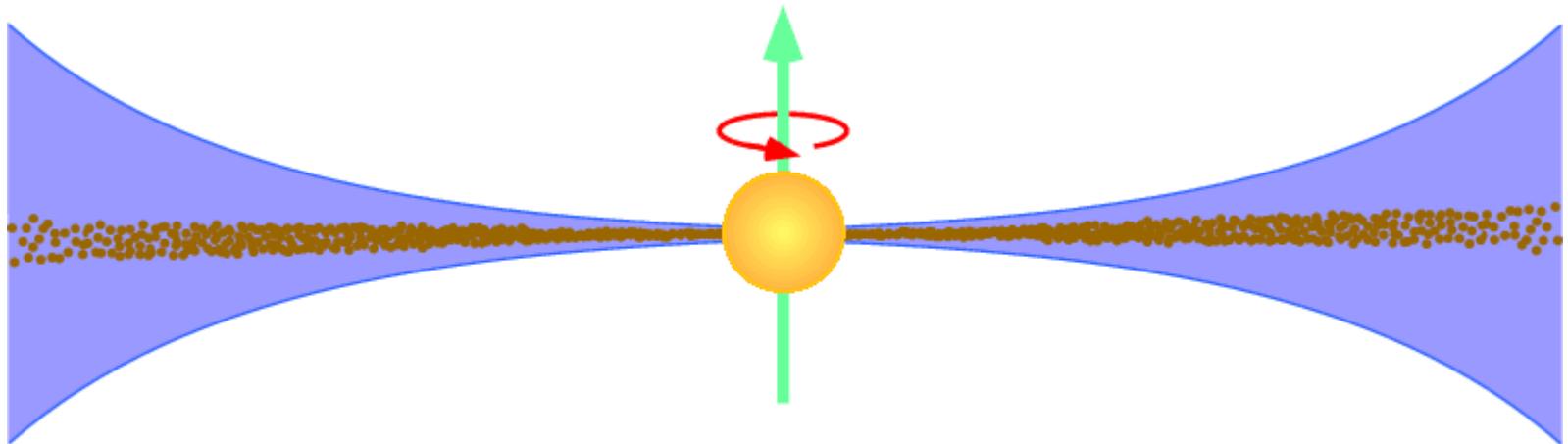
<http://www.solstation.com/starx/fomalhau.htm>より転載

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。

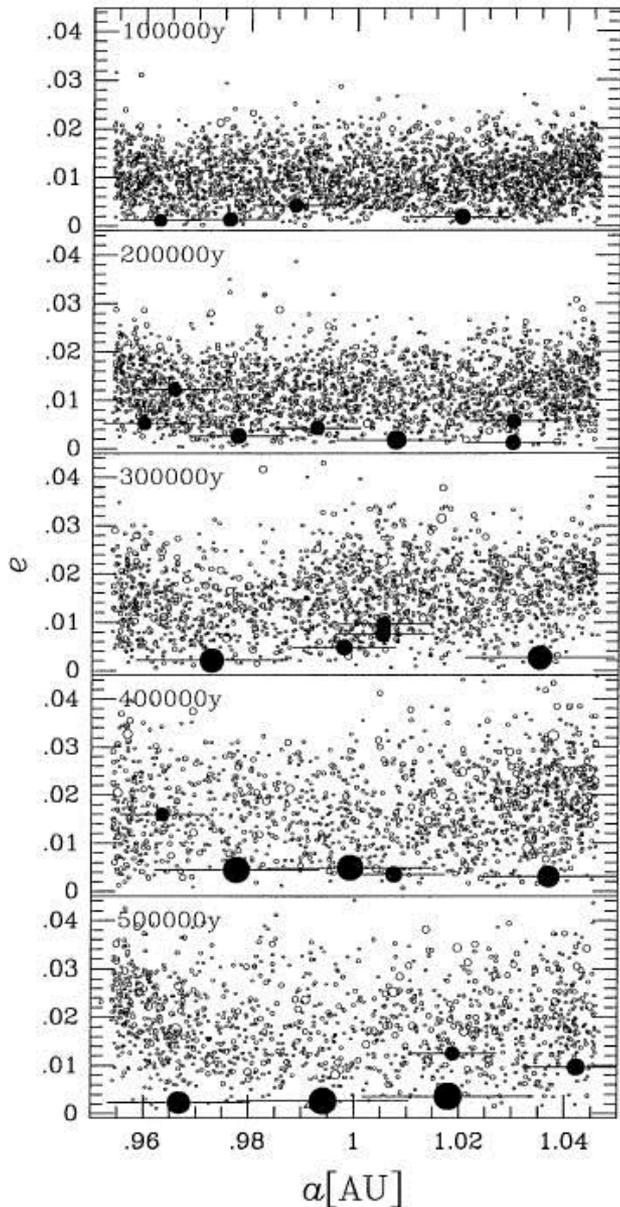
<http://th.nao.ac.jp/openhouse/1998/poster/1997/planet/sedimentation.html>



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

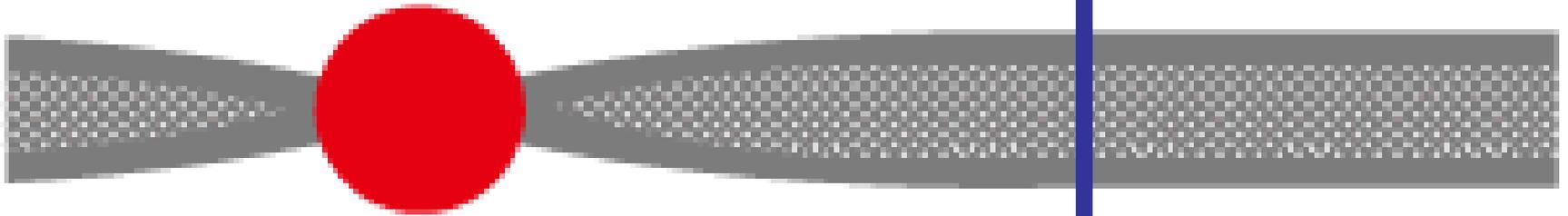
http://www.jaxa.jp/article/special/hayabusa_sp3/index_j.htmlより転載



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

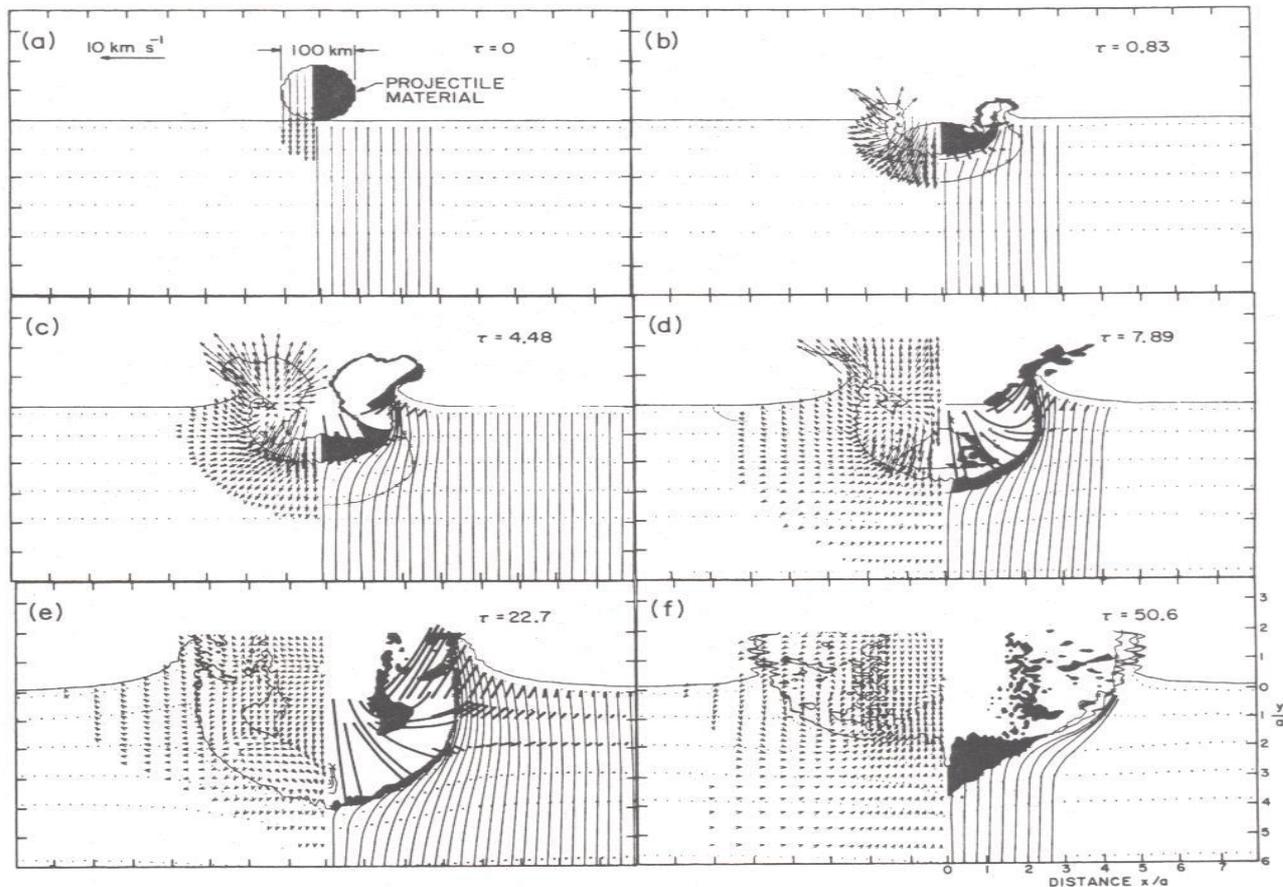
氷微惑星保持

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(r) 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: $v=10^4 \text{ m/sec}$ (10km/sec)
 - 微惑星の密度: $\rho=5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ (5g/cm^3)
 - 微惑星衝突イベントの時間スケール: $T=1\text{sec}$

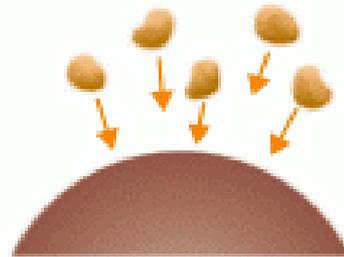
計算問題：解答例

- 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： $T = 1 \text{ sec}$

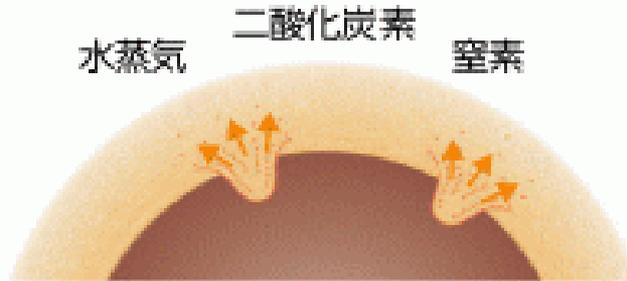
$$\begin{aligned} \frac{\overset{\text{微惑星質量}}{\frac{1}{2} M v^2}}{\underset{\text{地球表面積}}{S \times T}} &= \frac{\frac{1}{2} \times \left(\rho \times \frac{4}{3} \pi r^3 [\text{kg}] \right) \times v^2}{4\pi R^2 \times T} \\ &= \frac{(\rho \times r^3) \times v^2}{6R^2 \times T} = \frac{5.0 \times 10^3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

原始地球の形成

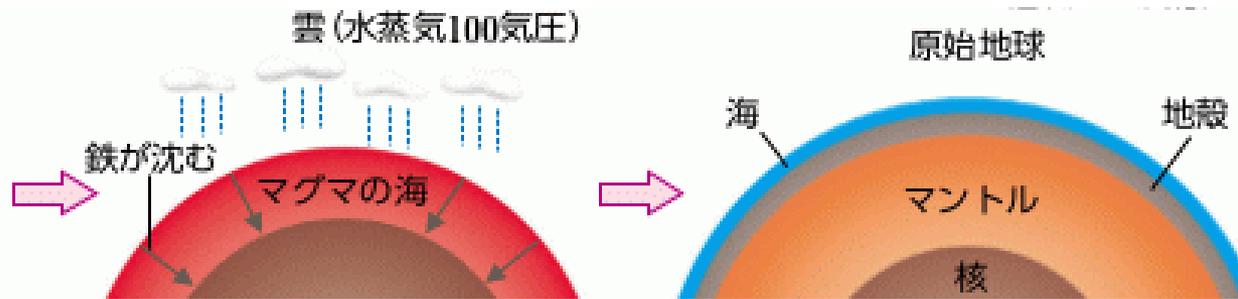
初期原始地球 (半径約 750 km)



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。



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。



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。

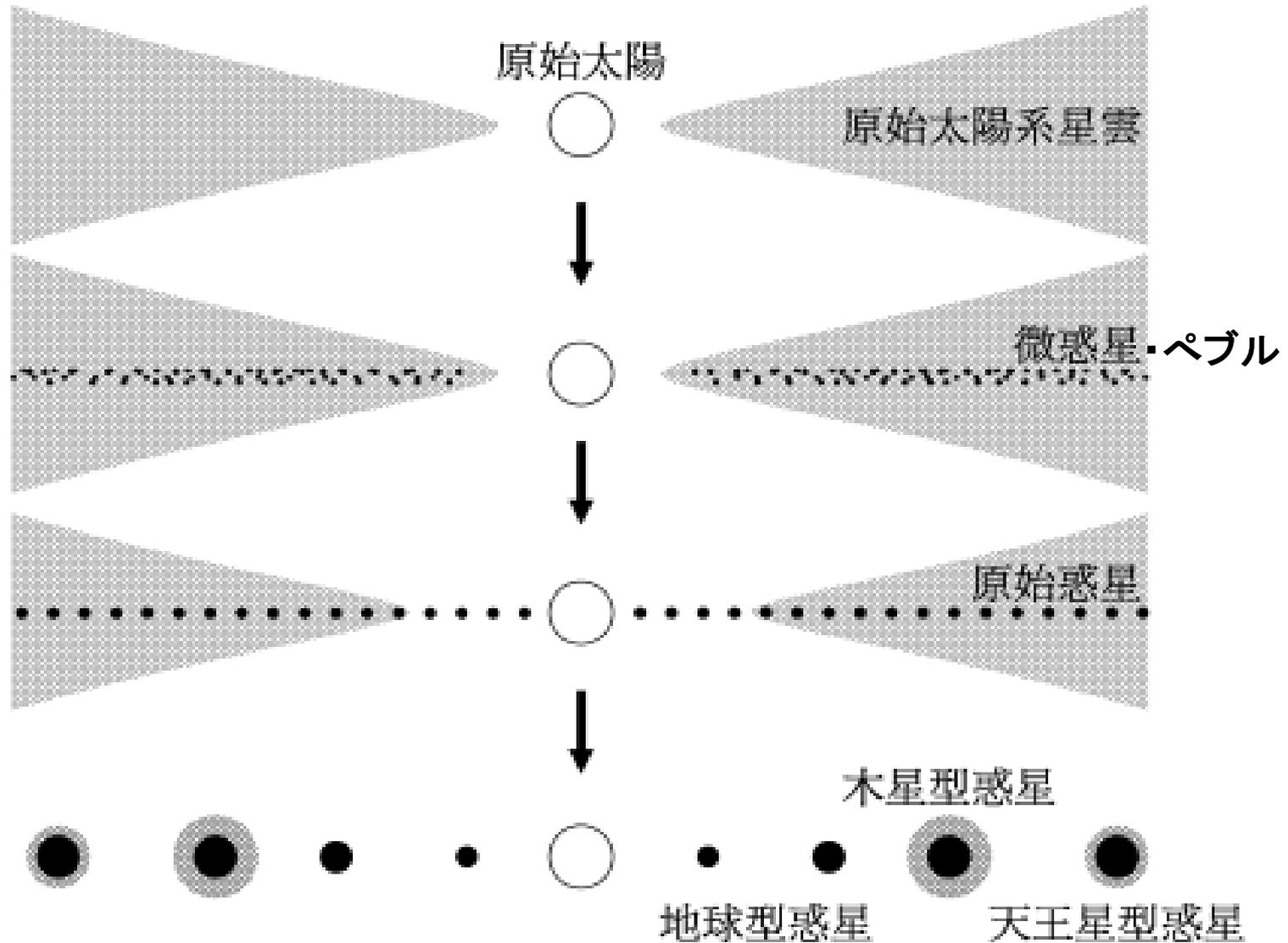
マグマにおおわれた表面は冷えて地殻になり、水蒸気は海になり、現在のよ
うな層構造ができる。大気中の二酸化炭素は海に溶け、温室効果 (▶ p.159) が弱まり、気温は低下した。

月の起源



地学図表P.21

我々の太陽系の形成過程



今日のミニレポート

- 地球を作るためには直径10kmの微惑星を何個程度集めないといけないかを見積もれ