

地球惑星科学 II

第11回

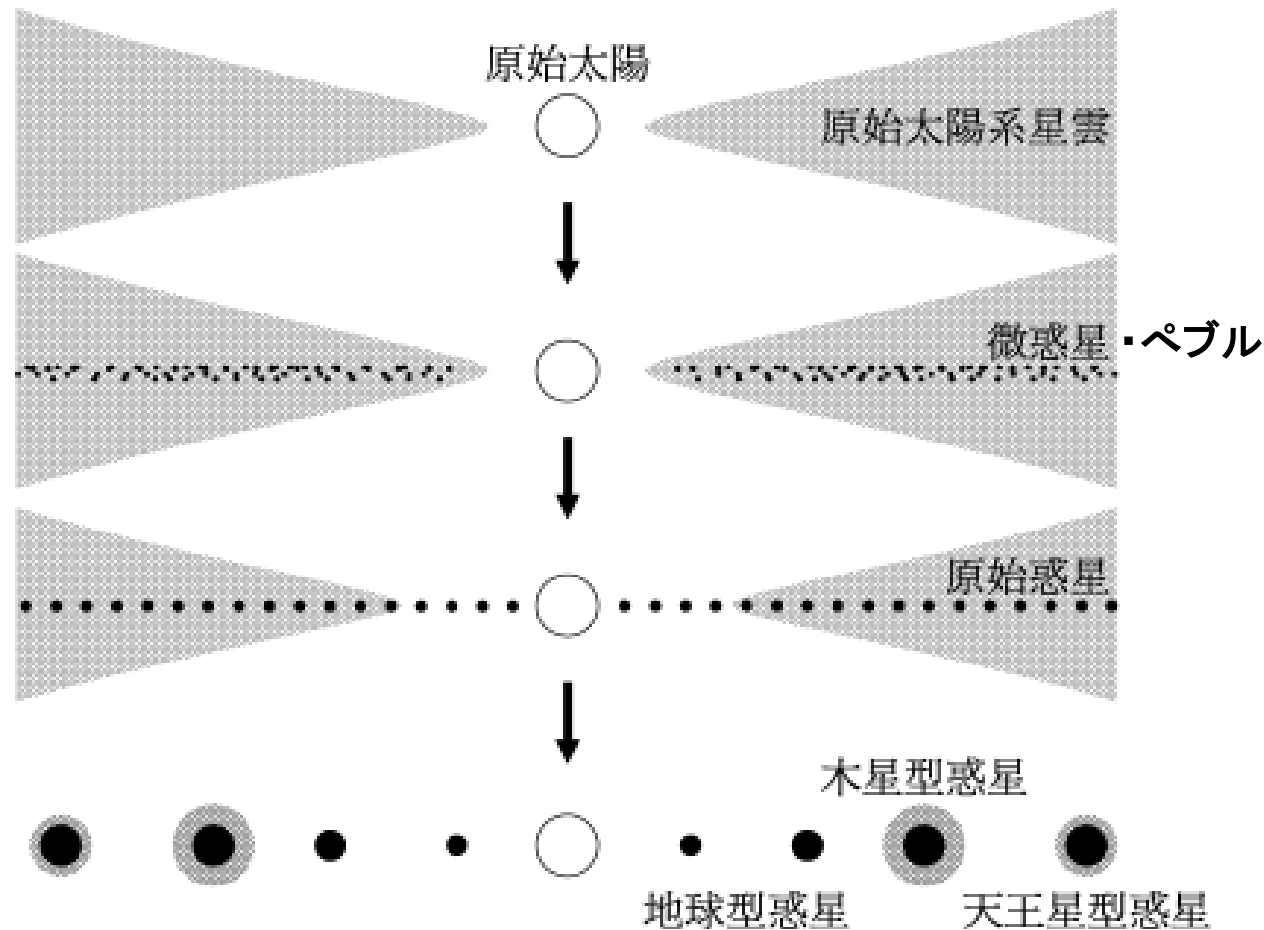
2025年12月25日

連絡：学期末試験について

- 1月29日（木）10:30から実施
- 場所：E301
- 地球惑星科学入門・地学図表・自筆ノートは持ち込み可、電卓も持ち込み可。
 - 他の書籍・紙類などは不可
 - スマートフォン・携帯電話・電子辞書は使用禁止（電卓としての使用も禁止）
- 出題形式
 - 記述問題、計算問題
 - その場での思考を問う問題も出題

今日のテーマ

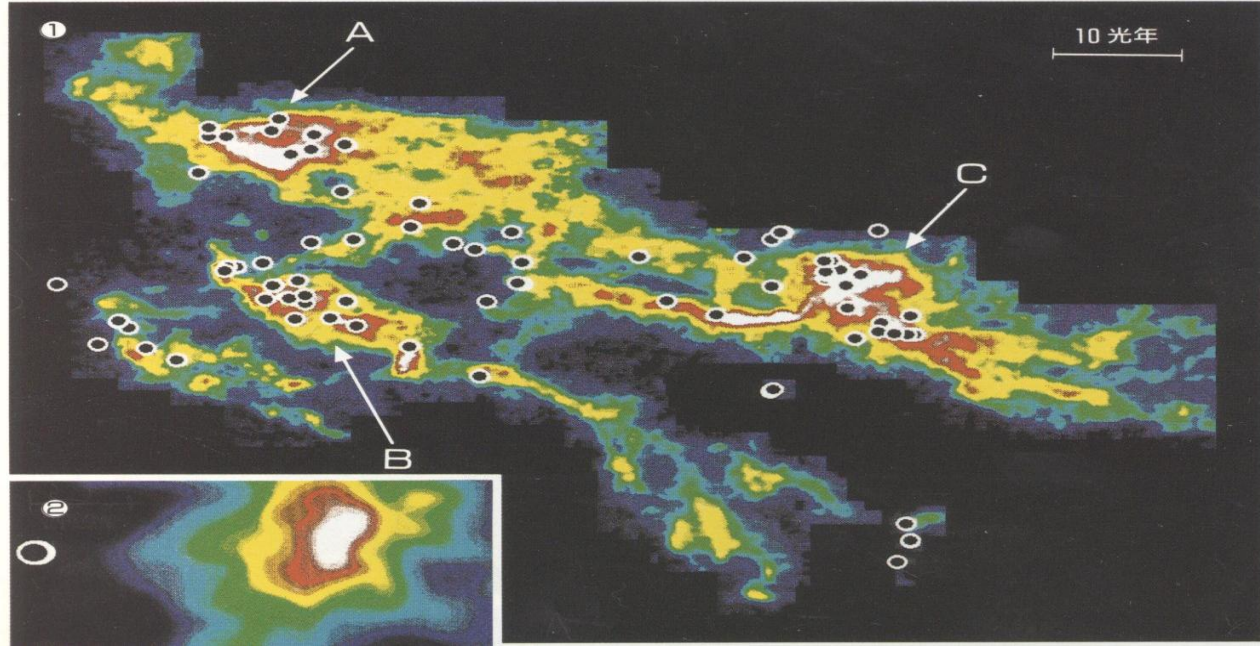
- 地球および太陽系はどのようにできたのか？
- 参照：地球惑星科学入門32章



太陽系のおおまかな特徴

- 中心に大質量の恒星(太陽)
そのまわりに惑星
- 内側の惑星は小さく、外側の惑星は大きい
- 大部分の構成物は同一面内に存在
(円盤状の形態)
- 惑星の中には大気を持つものも存在
- 惑星の中には衛星を持つものも存在

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

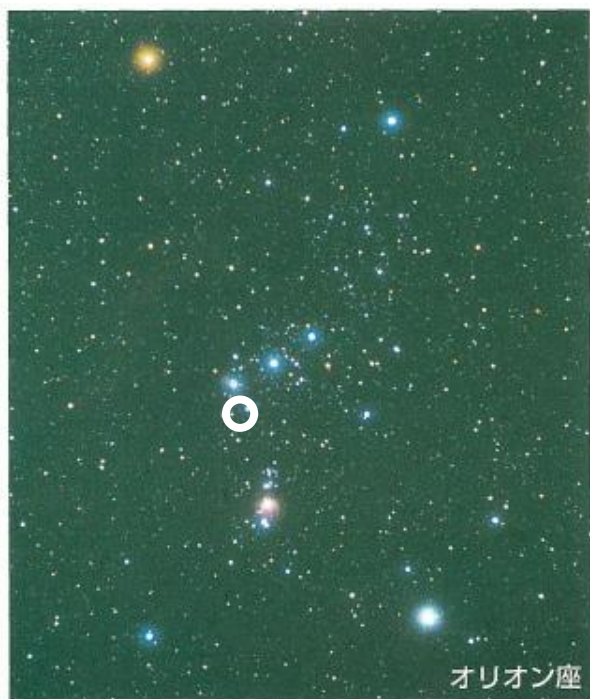
一酸化炭素が放出する電波によって観測した牡牛座分子雲

「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)



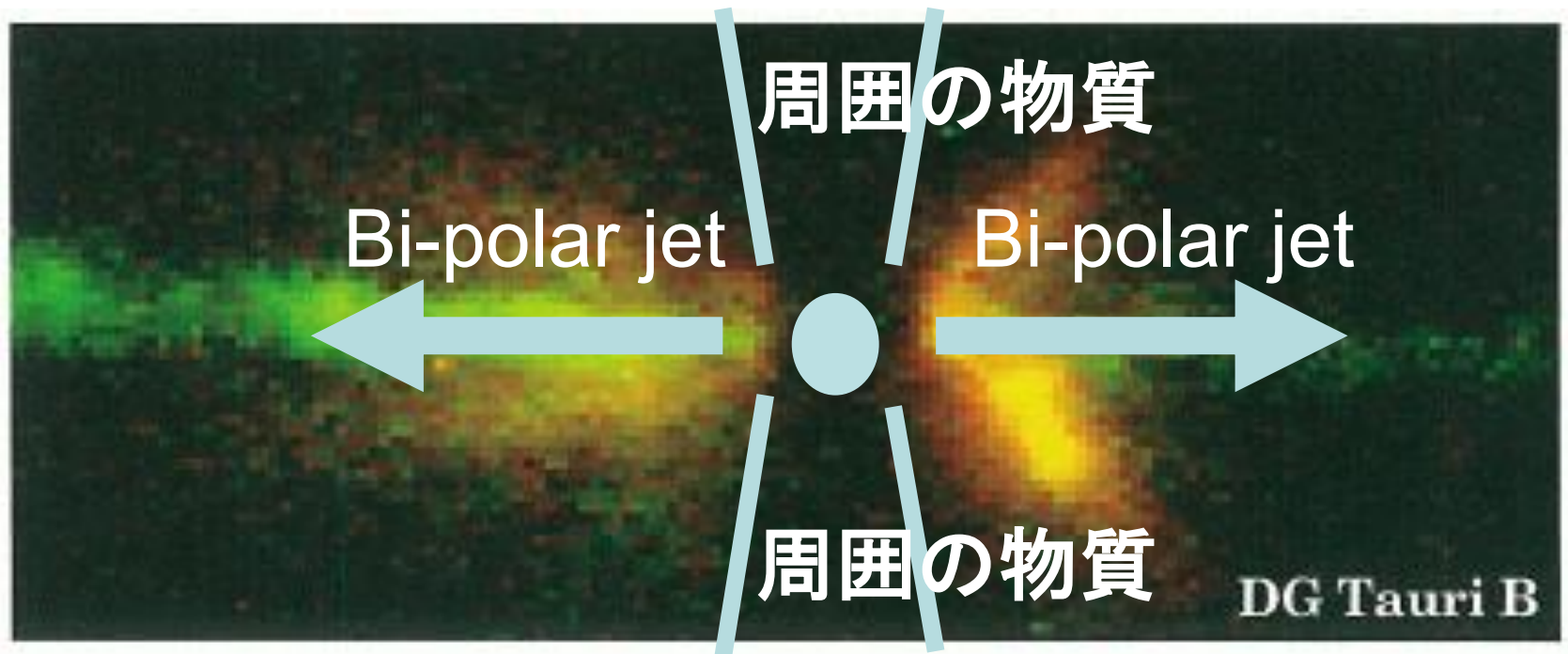
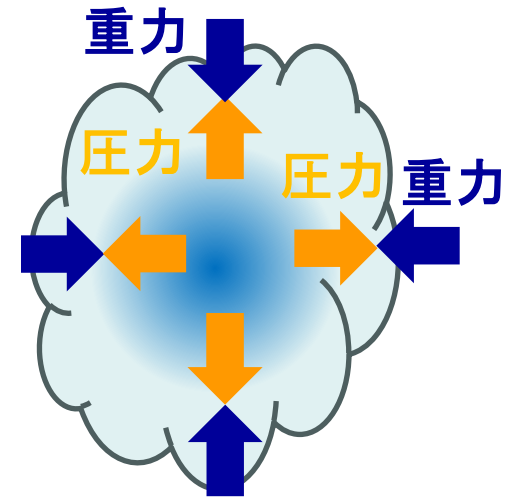
地学図表P.46



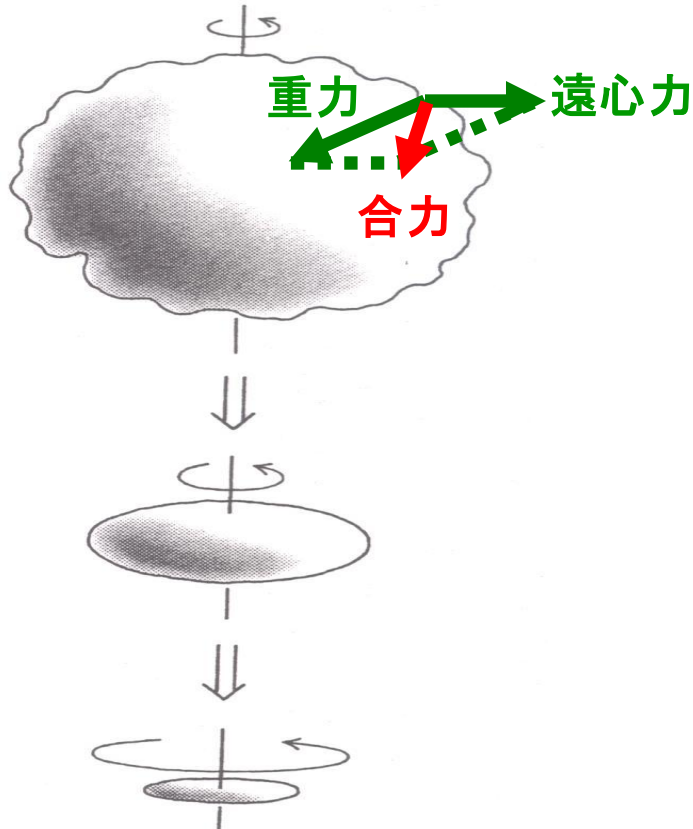
[http://www.nasa.gov/multimedia/
imagegallery/image_feature_89.1](http://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_89.1)

恒星の誕生

- 星間分子雲の質量が大きい場合重力による収縮が起こる
- 中心に恒星が形成
- 周囲からの物質(気体とダスト)が恒星に集積し恒星は成長していく



恒星の周囲：原始太陽系星雲の形成

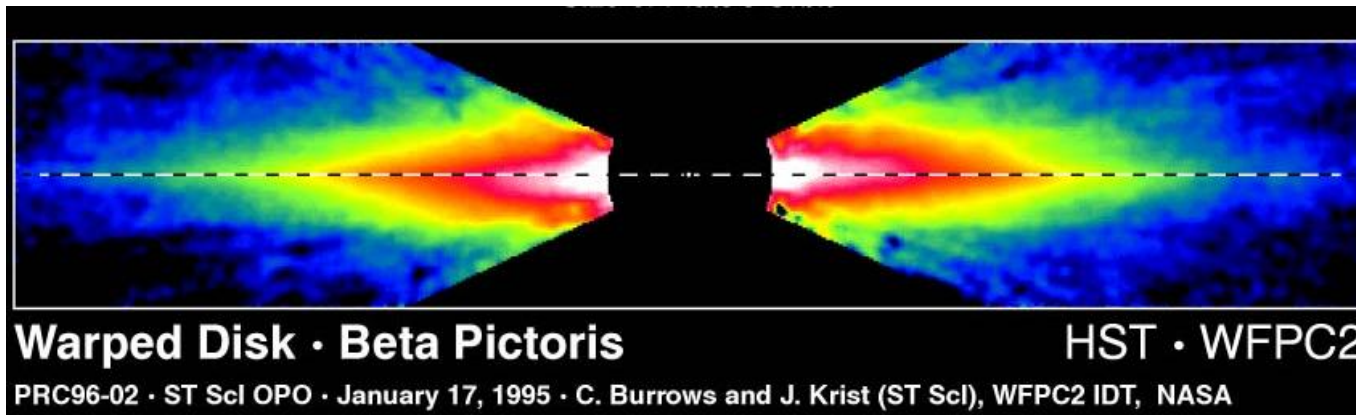


http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/shuttle/sts-103/hires/sts103_726_081.jpg
より転載

「一億個の地球,井田茂・小久保英一郎著,岩波書店」

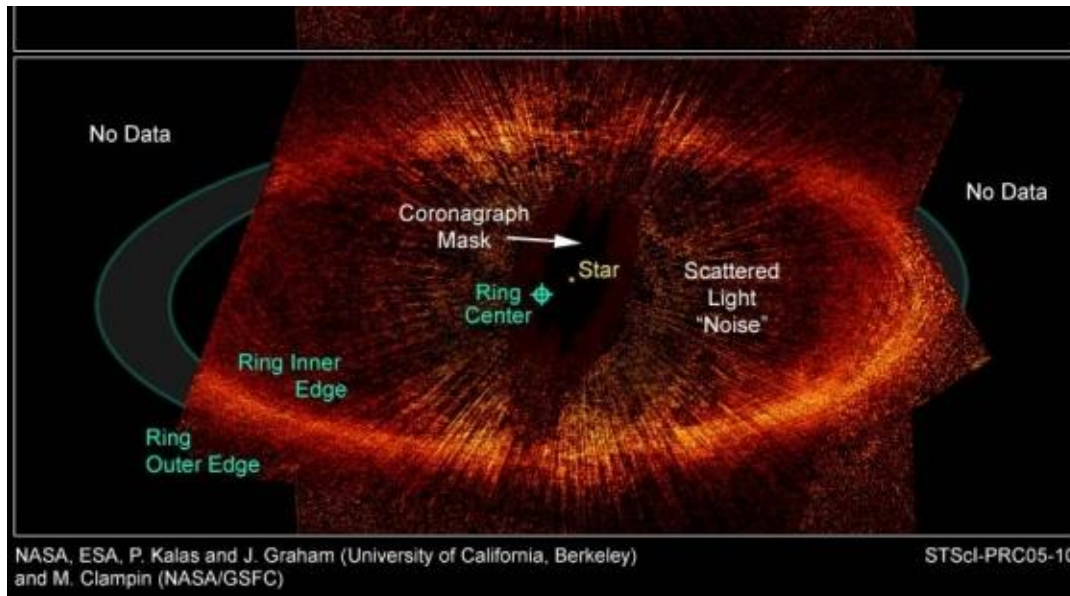
- 円盤状になって中心星の周りを回転
- 微粒子(氷または塵)と気体(ガス)から成る
- 原始太陽系星雲を調べるには、他の天体を見る

原始太陽系星雲の姿



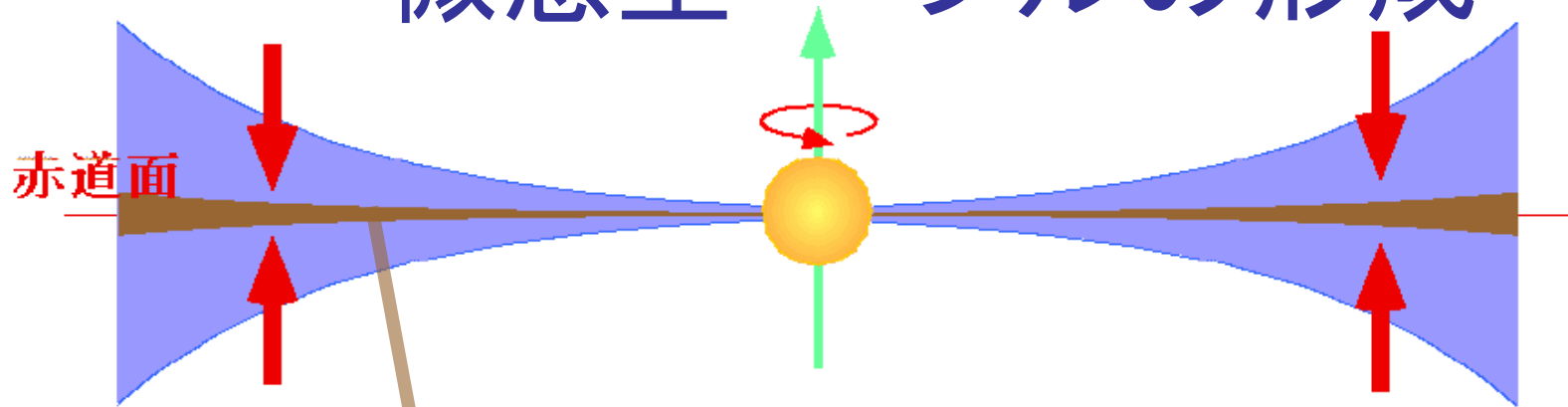
ハッブル宇宙
望遠鏡による
観測

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

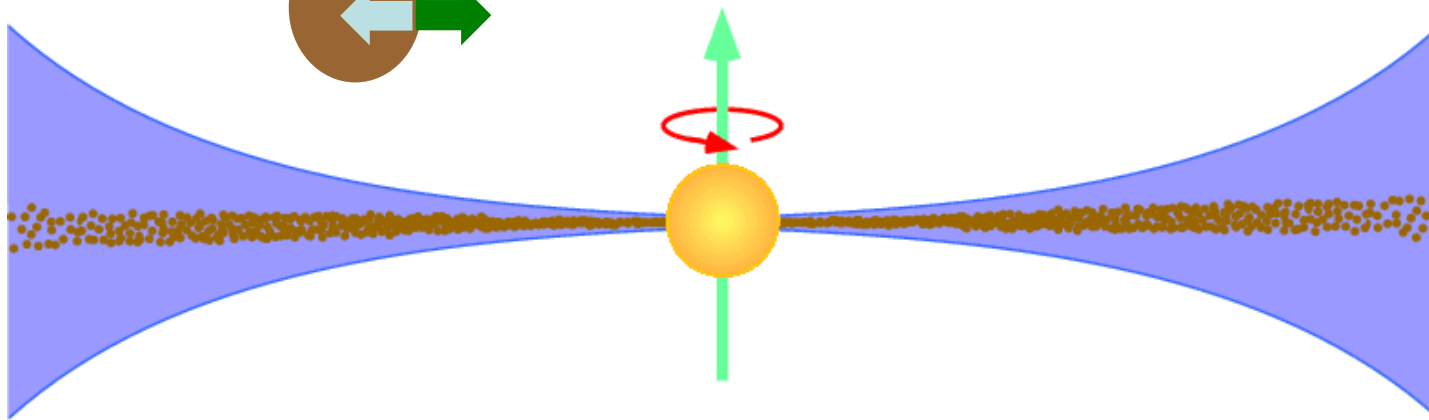
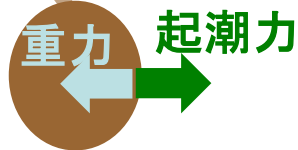


<http://www.solstation.com/starx/fomalhau.htm>より転載

微惑星・ペブルの形成

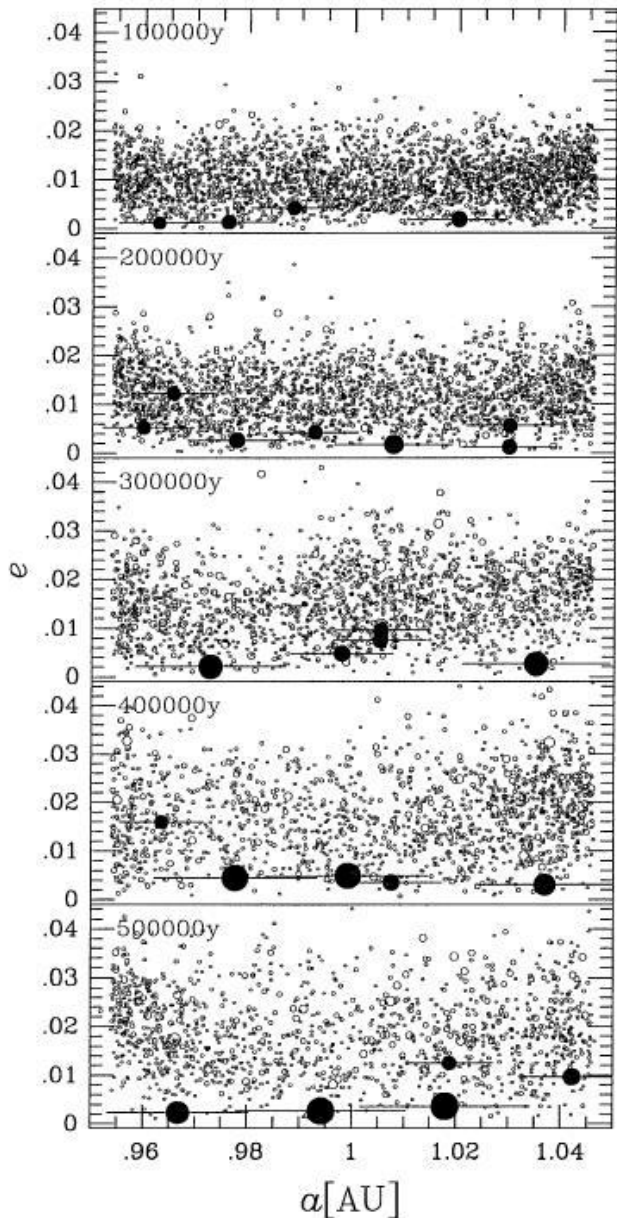


ダストが赤道面へ沈殿していき薄いダスト層を形成する。(静かに沈殿すれば)
<http://th.nao.ac.jp/openhouse/1998/poster/1997/planet/sedimentation.html>



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

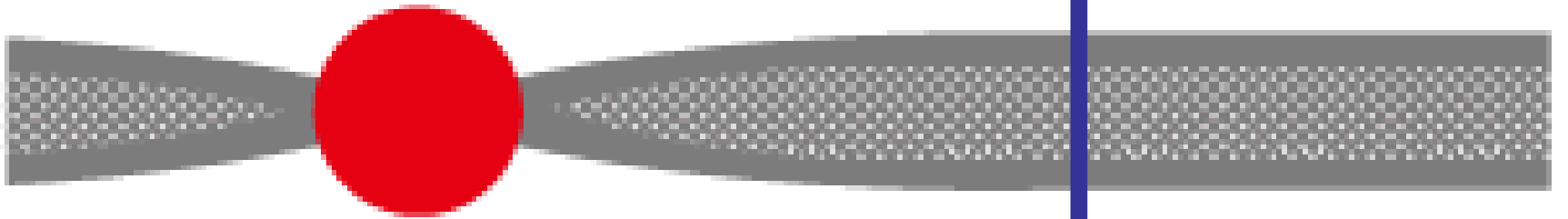
http://www.jaxa.jp/article/special/hayabusa_sp3/index_j.htmlより転載



はやぶさ

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

なぜ太陽系の外側に巨大惑星があるのか



氷微惑星融解

材料物質: 少

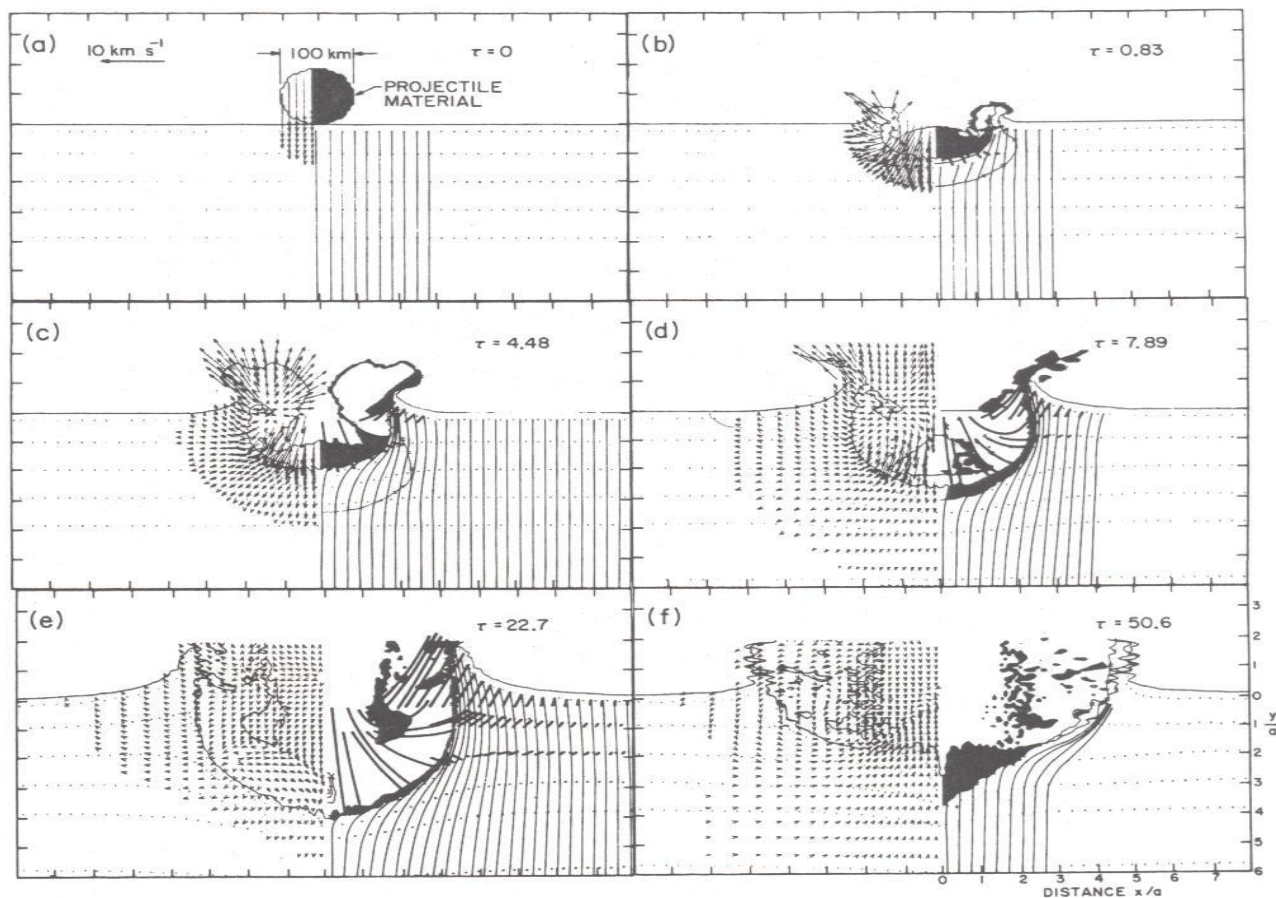
氷微惑星保持

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、地球表面の 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/cm³)
 - 微惑星衝突イベントの時間スケール: $T=1\text{sec}$

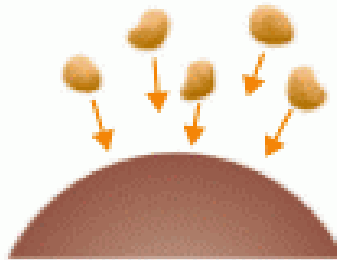
計算問題：解答例

- 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: $T = 1 \text{ sec}$

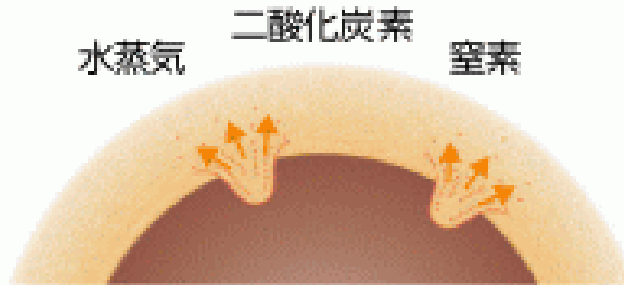
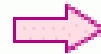
$$\begin{aligned} \frac{\frac{1}{2} \overset{\text{微惑星質量}}{M} v^2}{\underset{\text{地球表面積}}{S} \times T} &= \frac{\frac{1}{2} \times \left(\rho \times \frac{4}{3} \pi r^3 [\text{kg}] \right) \times v^2}{4\pi R^2 \times T} \\ &= \frac{(\rho \times r^3) \times v^2}{6R^2 \times T} = \frac{5.0 \times 10^3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

原始地球の形成

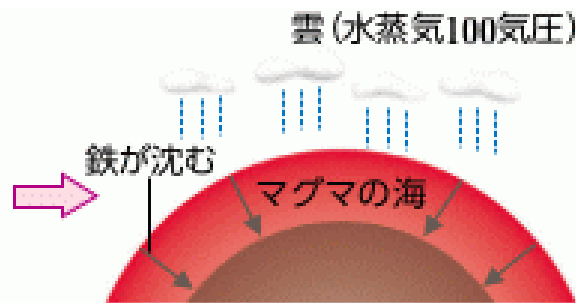
初期原始地球(半径約 750 km)



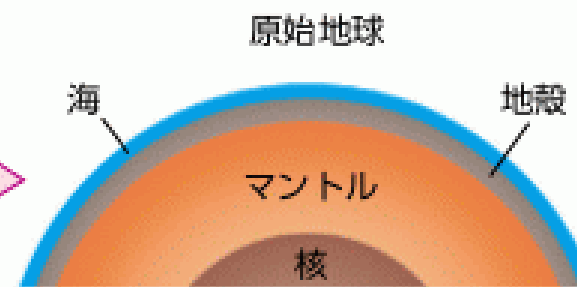
直径 10 km 程度の無数の微惑星が数十 km/s の速さで衝突・合体して成長し、初期の原始地球ができる。



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。



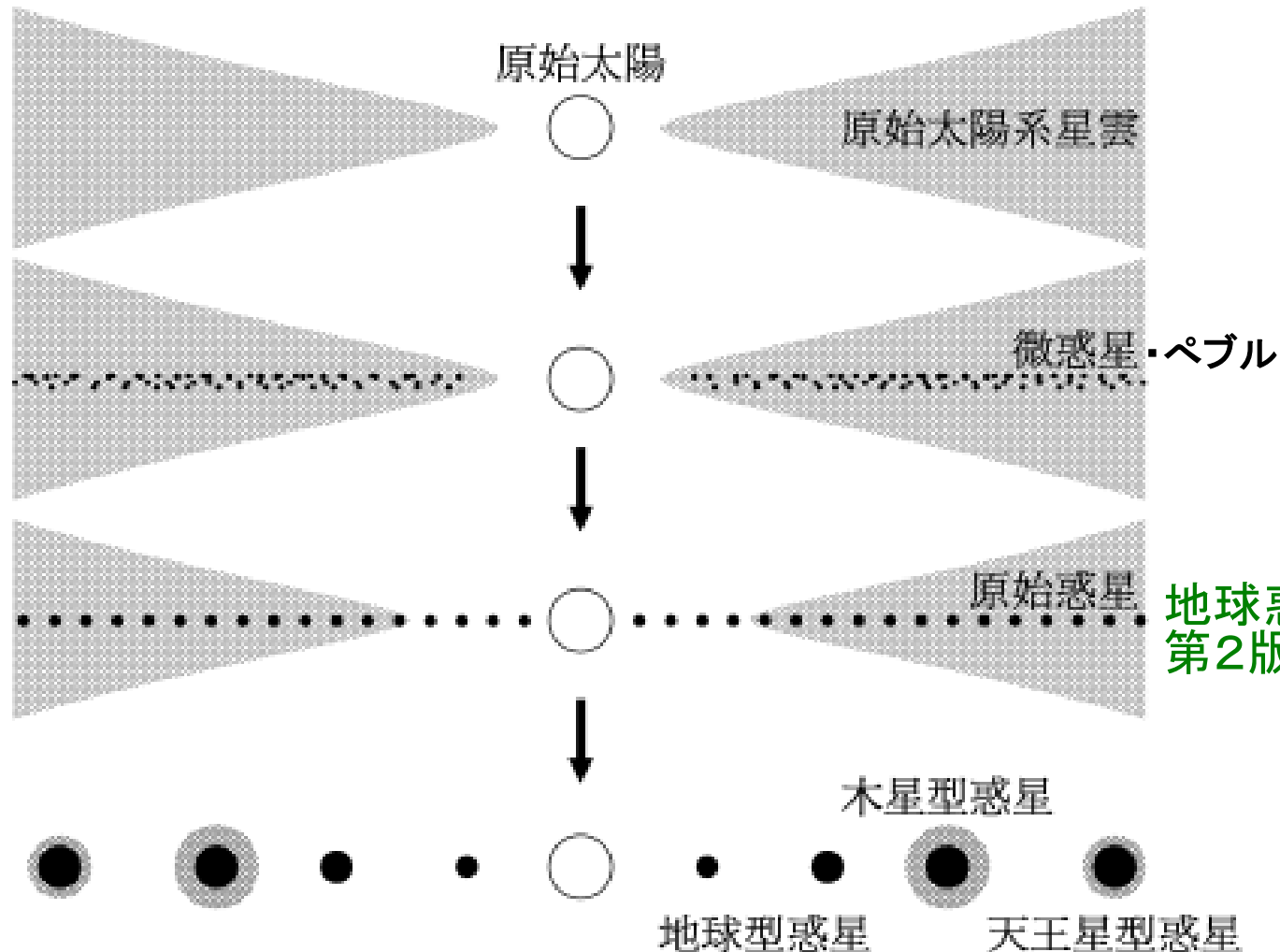
マグマにおおわれた表面は冷えて地殻になり、水蒸気は海になり、現在のような層構造ができる。大気中の二酸化炭素は海に溶け、温室効果(▶ p.159)が弱まり、気温は低下した。

月の起源



地学図表P.21

我々の太陽系の形成過程



地球惑星科学入門
第2版p382

ただしこれだけでは話は済まない

- ・ 系外惑星の場合だと惑星移動起こる
- ・ 最初にできるのは微惑星かペブルか？

今日のミニレポート

- 惑星・宇宙に関してどのような観測・探査を行うと良いか？
 - なぜそのような観測をおこなうのか？
(何が知りたいか？)
 - 観測対象、観測する物理量、観測方法なども説明してください
 - 予算は無尽蔵にあるとして良い
 - いくらお金があっても不可能なものはダメです。
例えば、ドラえもんの道具(タイムマシン、どこでもドア、地球破壊爆弾など)を使うとか
 - 何かしら観測・探査を行うことを考えてください
 - 皆さん独自の自由な発想を期待します
 - 字数制限あり(300字程度)