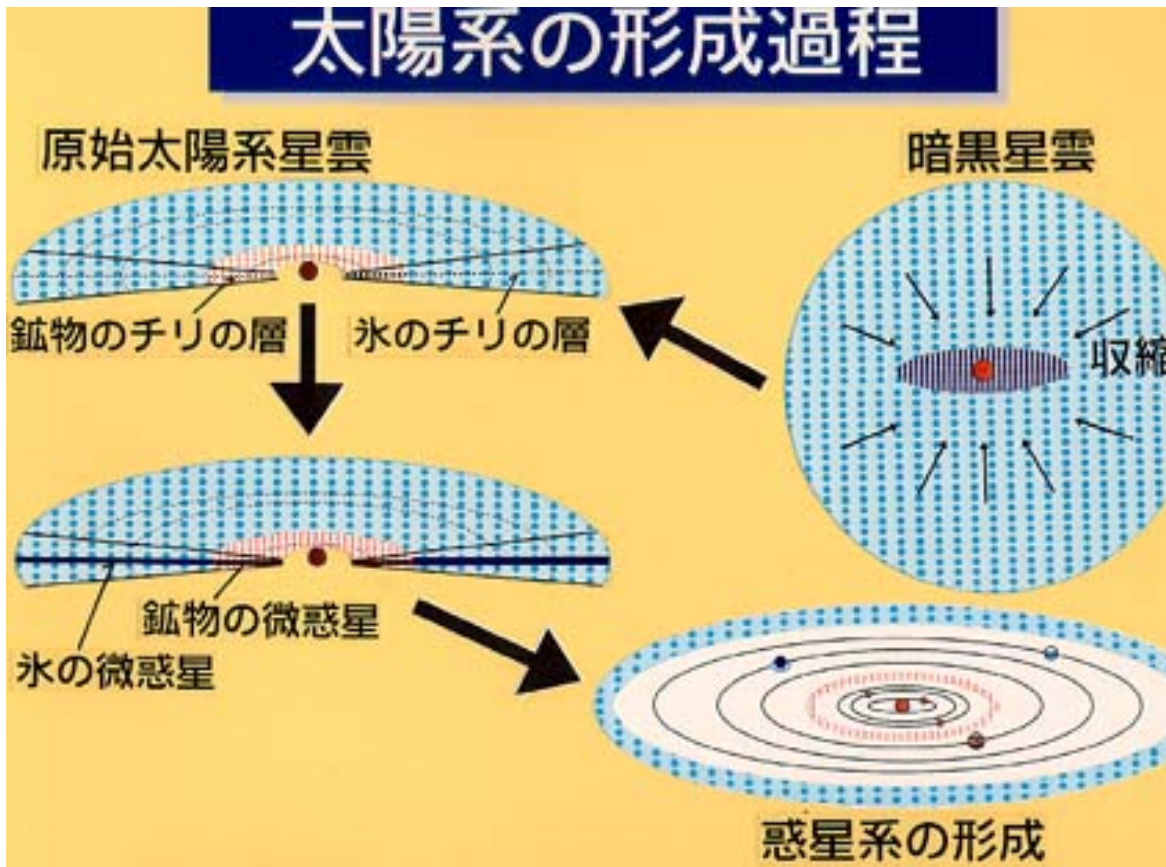


焼結による粒子集合体の 強度獲得と惑星形成

名大・環境学
城野信一

惑星形成のシナリオ

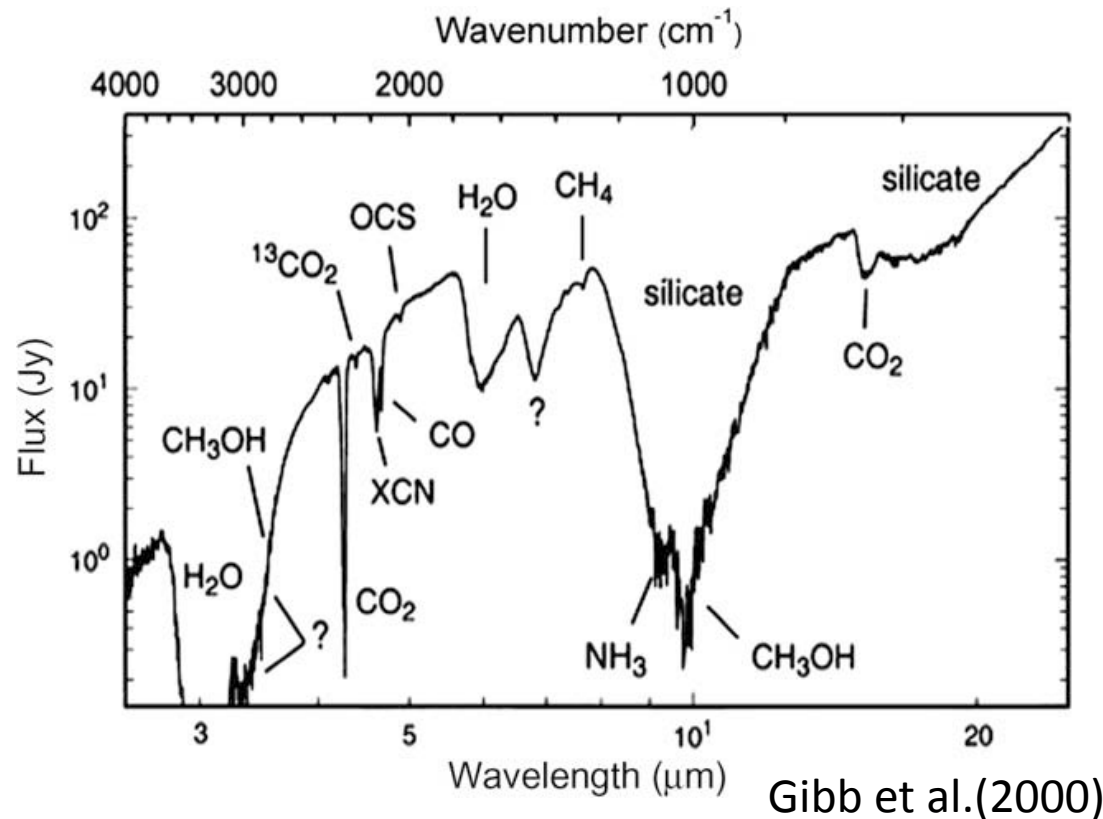


- 「星間塵」から惑星が形成
- 組成は？

固体成分(星間塵)

- ケイ酸塩鉱物
 - 星のまわり
- 氷
 - ケイ酸塩グレイン表面にて生成
 - 生命材料物質
- 有機物
 - 宇宙線により氷が進化
 - 生命材料物質

氷の組成



- H₂O以外にも様々な分子種
- 原始惑星系円盤に取り込まれる
- 分子種毎に異なる昇華温度

円盤の物質分布、温度分布

- 星間塵が円盤内に分布
- 惑星の材料物質の量
- 惑星の材料物質の組成
 - どのような惑星ができるか？
 - 生命は誕生するのか？
- 温度分布と物質分布は関連

物質・温度分布を左右する要因

- 温度分布
 - 光がどれだけやってくるか？
 - ダストの量と分布に依存
- 物質(ダスト)分布
 - ダストはアグリゲイトに: 運動が独立
 - アグリゲイトの運動: **サイズ**に依存
 - アグリゲイトの成長: **力学的性質**に依存

温度が上がるとどうなる？

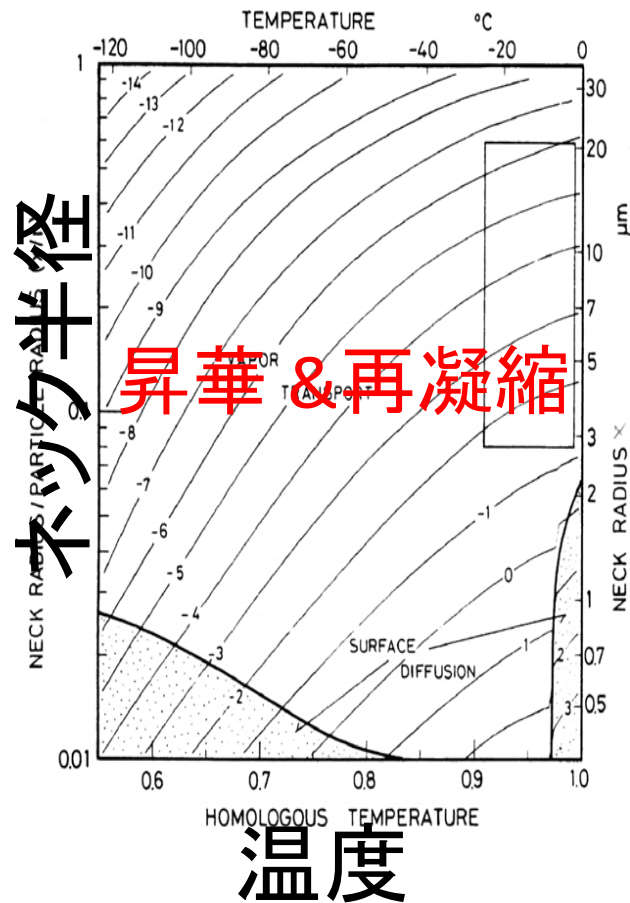
- 太陽へ落下、円盤上層へ移動
- **焼結**: ネットワークが成長 (Sirono, in prep.)
 - 力学的強度が大きくなり上昇→成長に影響
- **焼結分裂** (Sirono, submitted)
 - サイズが大幅に減少→移動に影響
- **昇華 + 再凝縮** (Kuroiwa & Sirono, in prep.)
 - 構成ダストサイズ、力学的強度の変化
- **完全に昇華** (Saito & Sirono, submitted ApJ)
 - ケイ酸塩鉱物、有機物の放出→移動に影響

焼結の物理

- 表面形状による化学ポテンシャルのずれ
 - ラプラス圧、 $\mu \propto \log(P)$
- 化学ポテンシャル低下する方向に分子移動
 - 出っ張りは引っ込み、くぼみは埋まる



焼結によるネックの成長



Maeno & Ebinuma (1983)

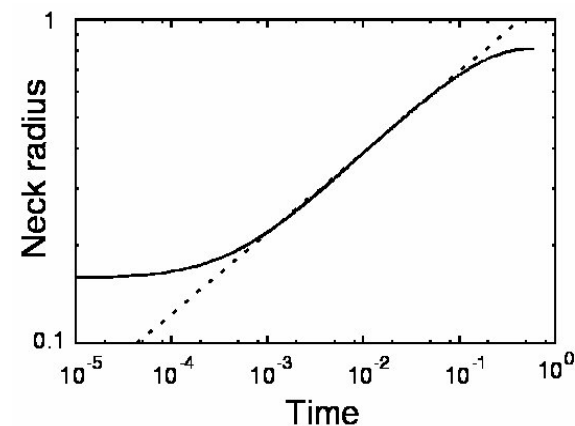
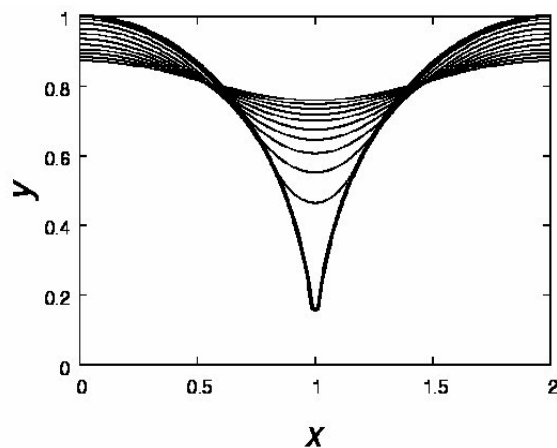
Blackford (2007)

- 昇華 + 再凝縮により分子がネックに移動
- 力学的性質が大きく変化 (Sirono (1999))

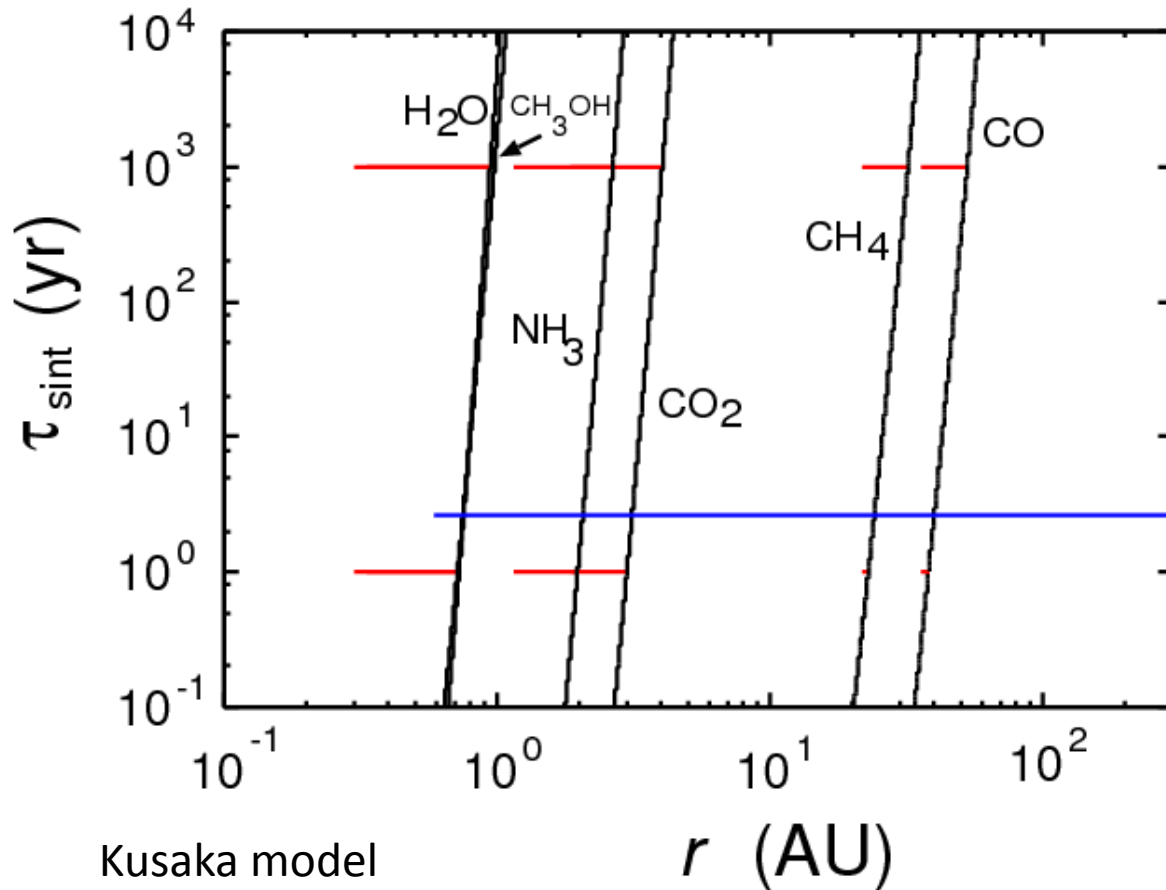
焼結タイムスケールの算出

- 質量比でH₂Oの1/100存在
- グ레인サイズ 0.1ミクロン
- 温度分布: Hayashi (1981), Kusaka et al.(1970)
- 一時的な温度上昇 Chiang & Goldreich (1997) 赤道面から上層へ 時間0.1yr
- デッドゾーン内も乱流は発達 (Okuzumi & Hirose in prep.)

$$\tau = \alpha \frac{a^2 \sqrt{2\pi m k T} k T}{P_e(T) \gamma \Omega^2}$$



焼結領域



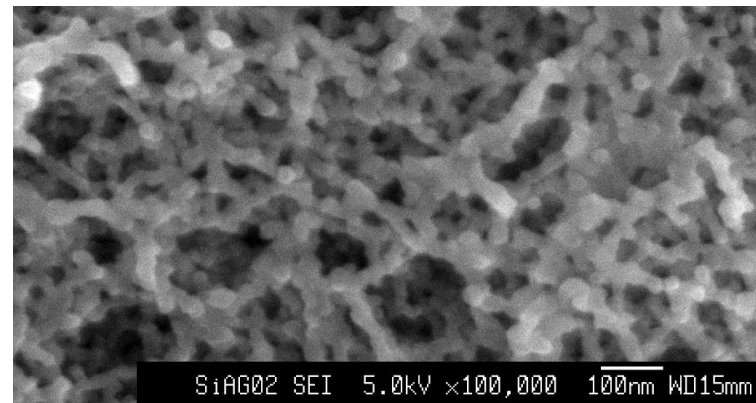
- 成長領域 (赤)
- スノーラインの外
 - 下: 1年
 - 上: 1000年
- 独立した領域でネットワークが成長
- 温度変化 (青)

焼結アグリゲイトの模擬物質： エアロゲル

- 数nmサイズ粒子の集合体
- 脆性体 → 破壊 or 跳ね返り
- サイズ分布進化が変更
- 面密度分布に影響

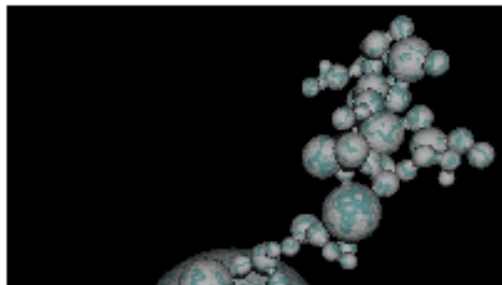


[http://www.newscientist.com/blog/technology/
uploaded_images/aerogelhand-785423.jpg](http://www.newscientist.com/blog/technology/uploaded_images/aerogelhand-785423.jpg)

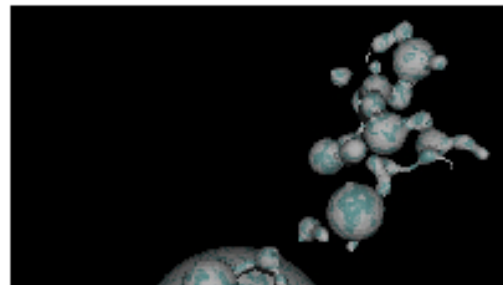


[http://www.ppl.phys.chibau.jp/~makoto/et_cetera/
SciencePromenadeSpecialExhibition2009.pdf](http://www.ppl.phys.chibau.jp/~makoto/et_cetera/SciencePromenadeSpecialExhibition2009.pdf)

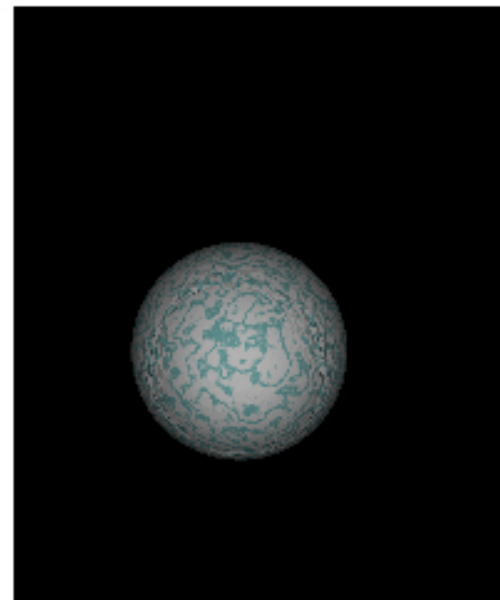
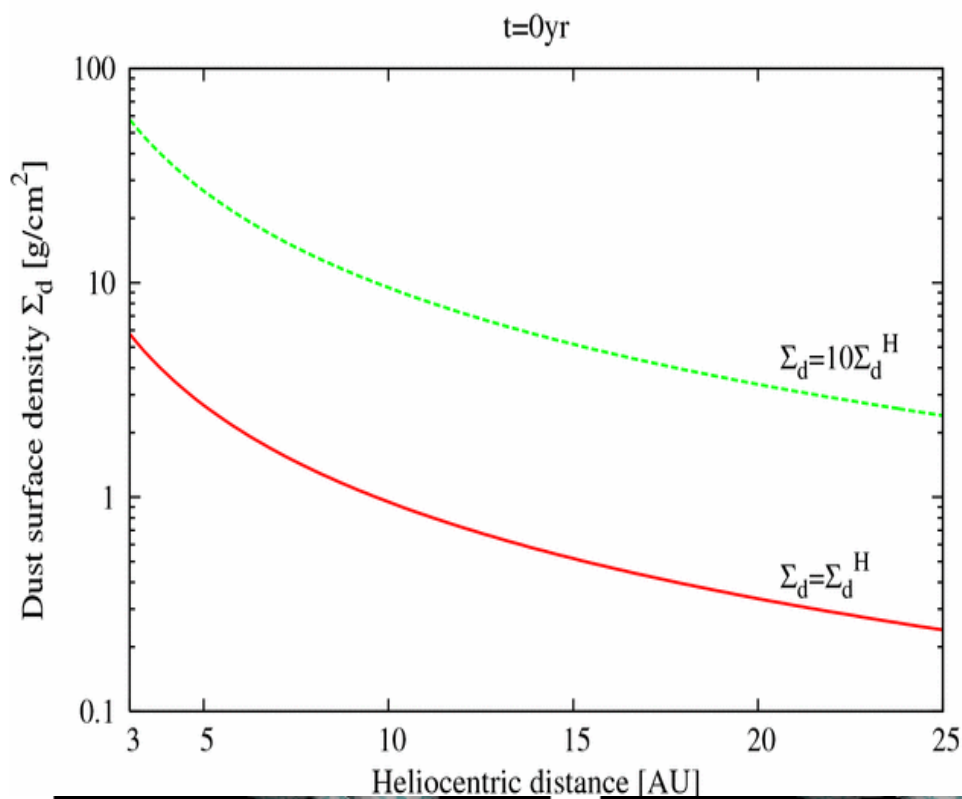
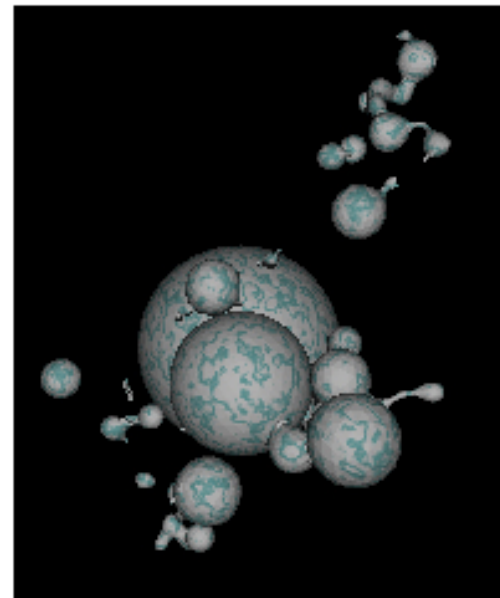
$t=0.0 \tau_{a_0}$



$t=0.005 \tau_{a_0}$



$t=0.01 \tau_{a_0}$



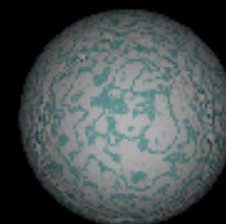
$t=0.2 \tau_{a_0}$



$t=0.5 \tau_{a_0}$



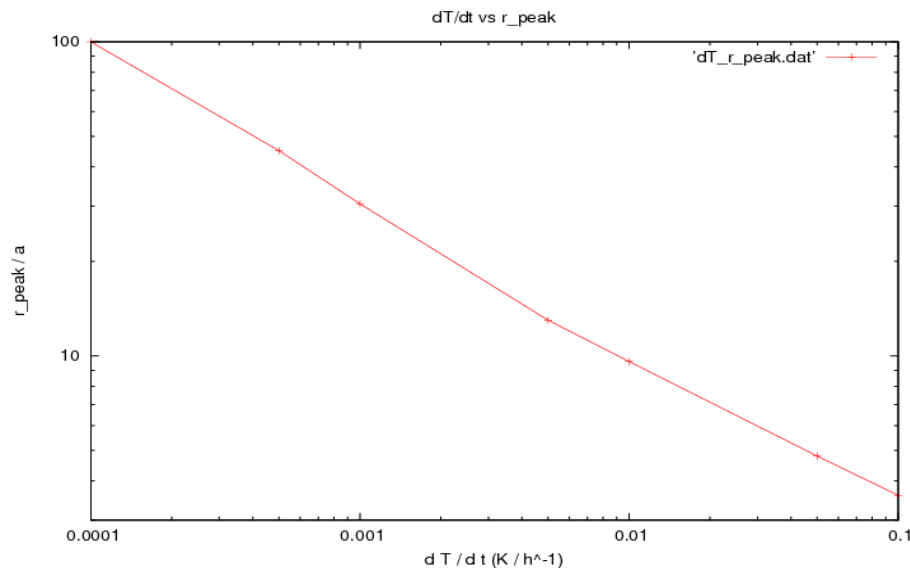
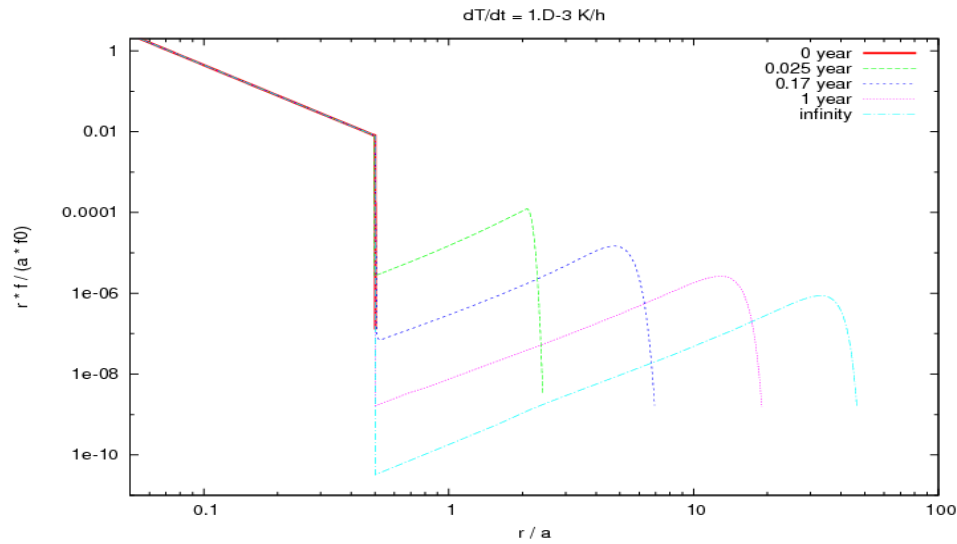
$t=0.8 \tau_{a_0}$



昇華 + 再凝縮によるサイズ変化

- H₂Oの昇華 + 再凝縮
 - 乱流による円盤表面への拡散
- 再凝縮：大きなダストに選択的
 - ダストサイズが変化
 - 形状の変化：球からlcへ
 - アグリゲイトの力学的性質が大きく変化

数値計算の結果



- ダストサイズ分布:
二極化
 - 少数の大きなダスト
 - 大多数はそのまま
- 質量の大部分は大きなダストに集中
- 温度変化率↑
サイズ↓

今後の課題

- アグリゲイトの熱進化 \Leftrightarrow 円盤の物質・温度分布
 - 移動+サイズ分布進化 (Brauer et al.2008)
- 力学的性質の変化
 - 引力あり散逸ガス \rightarrow 硬い網
 - どこからクラックが走りだすか？
 - アグリゲイトの脆性塑性転移