

原始惑星系円盤の 熱過程と自己重力不安定

大阪大学 宇宙進化グループ

M2 木村成生

共同研究者: 釣部通(大阪大学)

惑星形成モデル

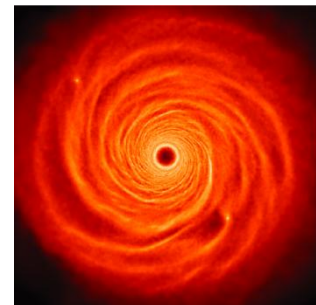
- コア集積モデル

ダストが合体・成長して惑星を作る。岩石惑星・ガス惑星・氷惑星などの多様な惑星系を説明できる。しかし、ダストが成長するのに時間がかかるため惑星を作るのに1000万年程度かかると考えられている。そのため、遠方の巨大惑星や若い惑星は説明できない。

- 円盤自己重力不安定モデル

円盤が自分の重力で分裂して惑星を作る。数十年程度で惑星ができると考えられている。また、遠方ほど分裂を起こしやすいと考えられている。しかし、多様な惑星系を作るのは難しい。

自己重力不安定となり分裂した円盤
(Meru&Bate,2011)



円盤の分裂条件

円盤の重力不安定条件 (Toomre, 1964)

$$Q = \frac{\Omega c_s}{\pi G \Sigma} < 1 \leftarrow$$

線形解析から求まる回転円盤の重力不安定条件

円盤の分裂条件 (Gammie, 2001)

$$\beta = \Omega t_{\text{cool}} < \beta_{\text{crit}} \leftarrow$$

シミュレーションから示唆された円盤の分裂条件

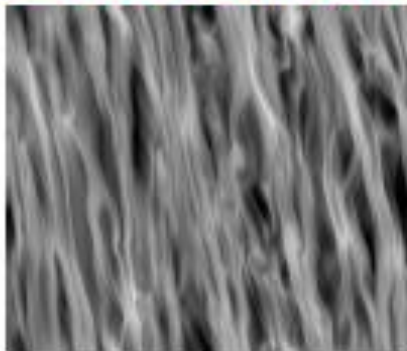
円盤が $Q < 1$ になると乱流発生

$$\beta > \beta_{\text{crit}}$$

乱流散逸による加熱

分裂抑制

自己重力乱流状態



$$\beta < \beta_{\text{crit}}$$

十分に早く冷却

温度低下・圧力低下

分裂



重力不安定が起きる領域

分裂する必要条件は $Q < 1$ であること

温度を求める必要がある。

局所的な熱収支のつり合いを考える。

粘性加熱＝輻射冷却

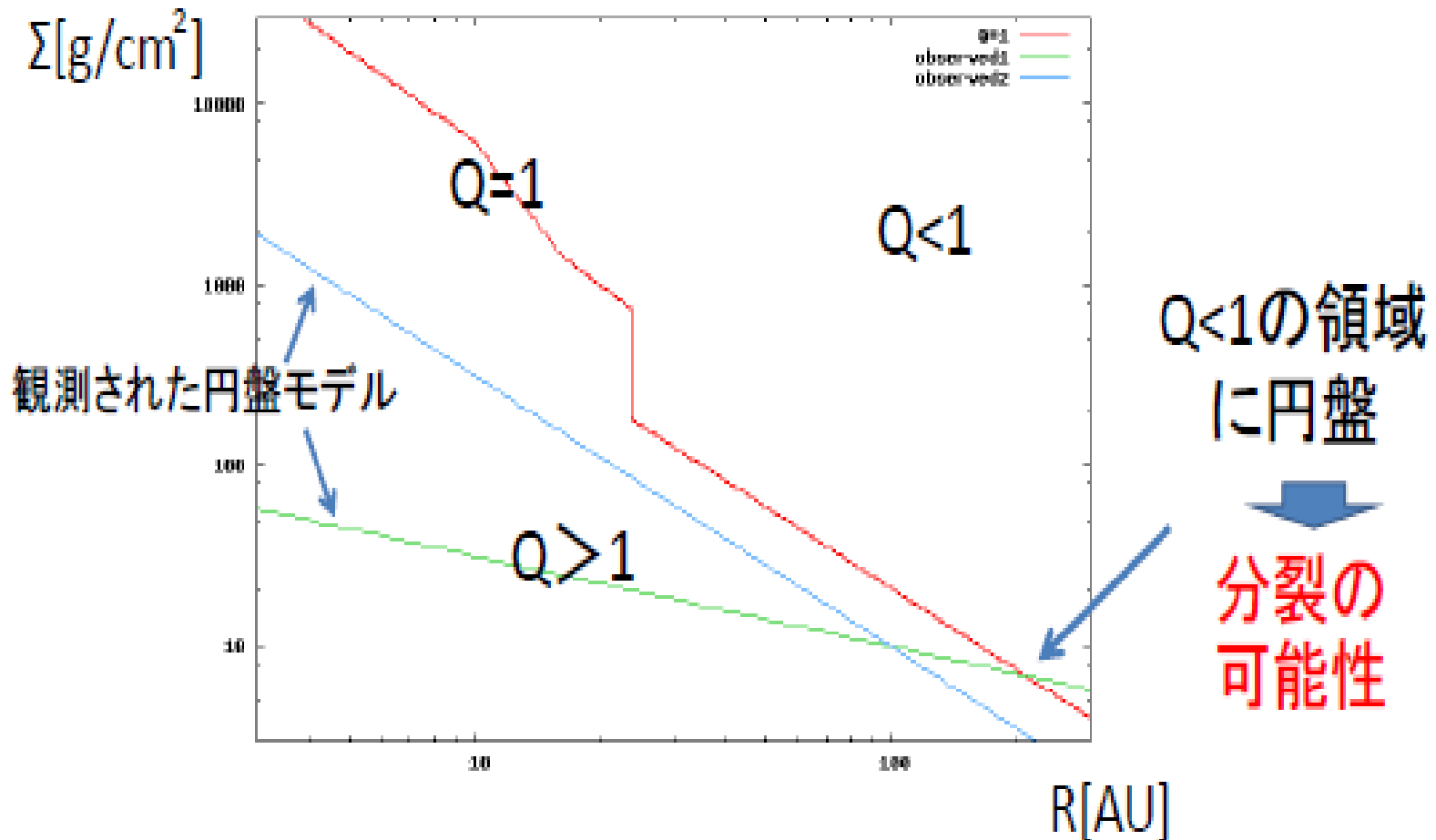
$$\frac{9}{8} \alpha \Sigma c_s^2 \Omega = \begin{cases} \frac{16\sigma T^4}{3\tau} & (\tau > 1) \\ \frac{16\sigma T^4 \tau}{3} & (\tau < 1) \end{cases} \quad \tau = \kappa \Sigma / 2$$

様々な面密度や半径を与えて、温度を計算



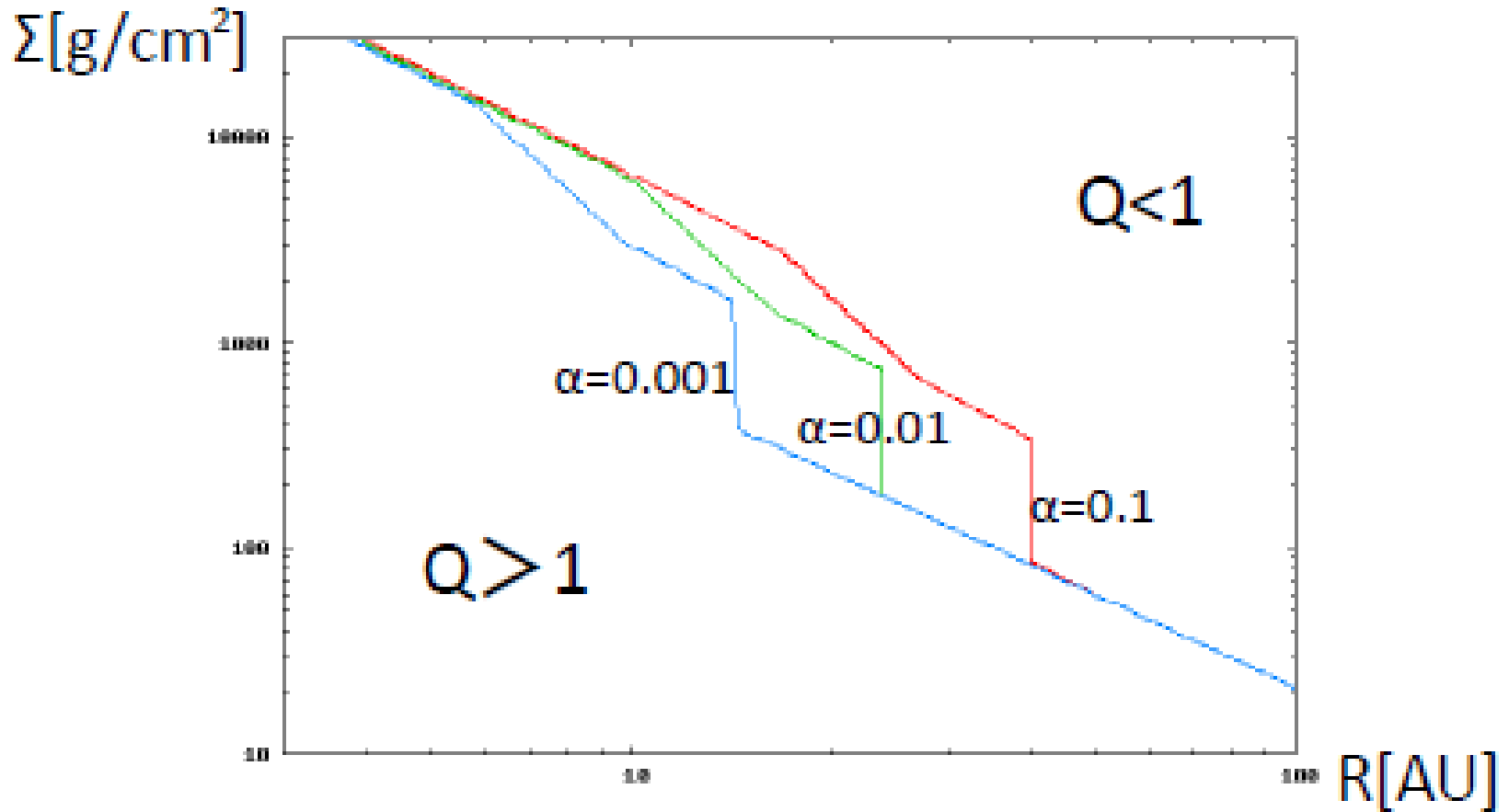
Q値を求め、 $Q < 1$ となる領域を求めた

結果1



- 半径-面密度平面上に $Q=1$ の線を引いた。線の右上が $Q < 1$ の領域になる
- 観測で見つかっている円盤をこの平面上に描くと、ある円盤は遠方で重力不安定となっている

結果2



- α を変えた時の $Q=1$ の線の変化
- α を小さくすると加熱が小さくなり、温度が下がるので $Q=1$ の線は左へ動く

まとめ

- 遠方の巨大惑星を説明するのに重力不安定モデルが注目を集めている。

- 分裂が起きる条件 $Q = \frac{\Omega c_s}{\pi G \Sigma} < 1$

$$\beta = \Omega t_{\text{cool}} < \beta_{\text{crit}}$$

- 粘性加熱と輻射冷却が釣り合うとき、 $Q < 1$ の領域



遠方で回転が遅い、かつ、高密度で自己重力が十分効くときに実現される。