固体核形成シミュレーション

- N体 シミュレーション
 - 衝突に伴い合体と少ない仮定。
 - もっとも信頼性の高い結果。
 - 扱える粒子数に限りがある。
- 統計的シミュレーション
 - 質量、動径方向に対してメッシュを切り、その面密度の進化を<mark>追う。</mark>
 - 扱える天体の数が大きい。
 - 正確にシミュレーションできているか、確認が必要。





— 統計的 --- *N*-body

(Kobayashi et al. 2010)

衝突カスケードの比較

- ・天体のランダム速度が高い時。
- ・衝突カスケードにより、
 天体の総質量が減少。
 ・解析解との比較
- (Kobayashi & Tanaka 2010)



統計的シミュレーション





(see HK, Tanaka, Krivov, Inaba 2010)

$$\begin{split} \frac{\partial mn_{\rm s}(m,a)}{\partial t} &= \frac{m}{2} \Omega_{\rm K} \int_{0}^{m} dm_{1} \int_{m-m_{1}-m_{\rm c}}^{\infty} dm_{2} \\ &\times (h_{m_{1},m_{2}}a)^{2} n_{\rm s}(m_{1},a) n_{\rm s}(m_{2},a) \langle P_{\rm col} \rangle \\ &\times \delta(m-m_{1}-m_{2}+m_{\rm e}) \\ &- \Omega_{\rm K} mn_{\rm s}(m) \int_{0}^{\infty} dm_{2} (h_{m,m_{2}}a)^{2} n_{\rm s}(m_{2},a) \langle P_{\rm col} \rangle \\ &+ \frac{\partial}{\partial m} \Omega_{\rm K} \int_{m}^{\infty} dm_{1} \int_{0}^{m_{1}} dm_{2} (m_{1}+m_{2}) f(m,m_{1},m_{2}) \\ &\times n_{\rm s}(m_{1},a) n_{\rm s}(m_{2},a) (h_{m_{1},m_{2}}a)^{2} \langle P_{\rm col} \rangle \\ &- \frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial a} [amn_{\rm s}(m,a) v_{\rm drift}(m,a)], \qquad \frac{m_{\rm c}}{m_{1}+m_{2}} = \frac{\phi}{1+\phi} \\ \frac{de^{*2}}{dt} &= \left(\frac{de^{*2}}{dt}\right)_{\rm grav} + \left(\frac{de^{*2}}{dt}\right)_{\rm gas} + \left(\frac{de^{*2}}{dt}\right)_{\rm coll}, \qquad = \begin{cases} m_{\rm e} \left(\frac{m}{m_{\rm L}}\right)^{-b} & \text{for } m < m_{\rm L}, \\ m_{\rm e} & \text{for } m \ge m_{\rm L}, \end{cases} \end{split}$$





原始惑星の成長(無破壊)







質量分布の進化







10⁷

破片の大きさ



天体の半径



(参照 Ormel & Kobayashi 2012)

原始惑星の成長率 $\frac{dM}{dt} \approx \Sigma_{\rm s} \pi R^2 \left(1 + \frac{v_{\rm esc}^2}{e^2 v_{\rm V}^2} \right) \Omega_{\rm K}$ 微惑星 初期のサイズ(Q_D*) 高い離心率(集積効率低い) 破片 ガス抵抗により ~5m程度(Q_D*) 中心星に落下 低い離心率(集積効率高い)

5AU in MMSN

どこまで成長 できるか?

- 3つの主成分:
 - 原始惑星
 - 微惑星
 - 破片
- 微惑星がなくなる、 または、破片がなく なるが成長が止まる 理由。

Timescale [yr]









大気による断面積の増加



捕獲の上昇

(Inaba & Ikoma 2003)





・小さい微惑星は高速成長するが、大きくなれない。

- Ormel, C., Kobayashi, H., 2012: Understanding how planets become massive. I. Description and validation of a new toy model, Earth and Planetary Astrophysics, The Astrophysical Journal, Volume 747, id 115
- Inaba, S., Ikoma, M., 2003: Enhanced collisional growth of a protoplanet that has an atmosphere, Astronomy and Astrophysics, v.410, p.711-723
- Kobayashi, H., Tanaka, H., Krivov, A., Inaba, S., 2010: Planetary growth with collisional fragmentation and gas drag, Icarus, Volume 209, Issue 2, p. 836-847
- Kobayashi, H., Tanaka, H., 2010: Fragmentation model dependence of collision cascades, Icarus, Volume 206, Issue 2, p. 735-746
- Kobayashi, H., Tanaka, H., Krivov, A., 2011: Planetary Core Formation with Collisional Fragmentation and Atmosphere to Form Gas Giant Planets, Astrophysical Journal 738, pp. 35-45
- Wetherill, G. W., Stewart, G. R., 1993: Formation of planetary embryos -Effects of fragmentation, low relative velocity, and independent variation of eccentricity and inclination, Icarus, vol. 106, p. 190