

# 巨大天体衝突

玄田 英典 (地球生命研究所ELSI・東工大)

Special thanks to 小久保英一郎、井田茂、小林浩、田中秀和、関根康人、  
舟津太郎、細野七月、斎藤貴之、牧野淳一郎、上田翔士、荻原正博、  
A. Morbidelli、P. Michel、T. Guillot

典型的な  
巨大天体衝突

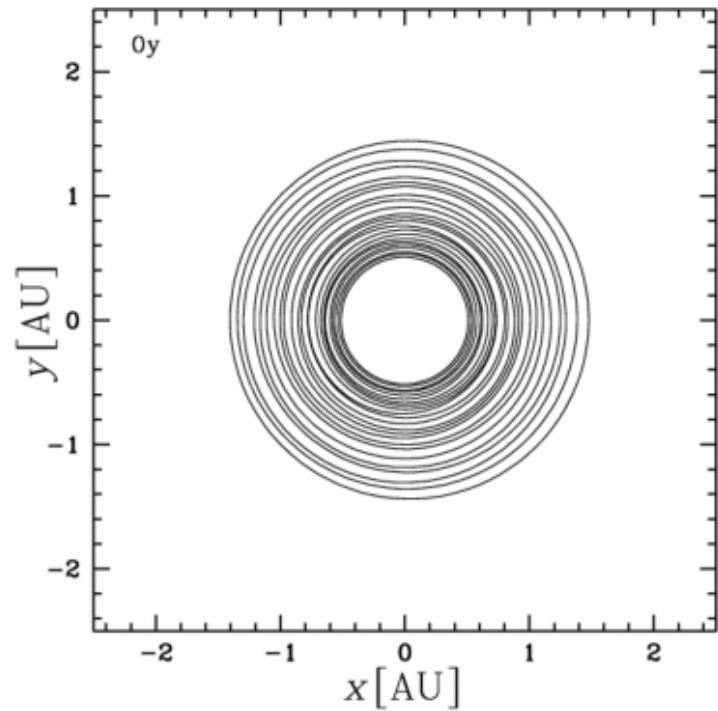
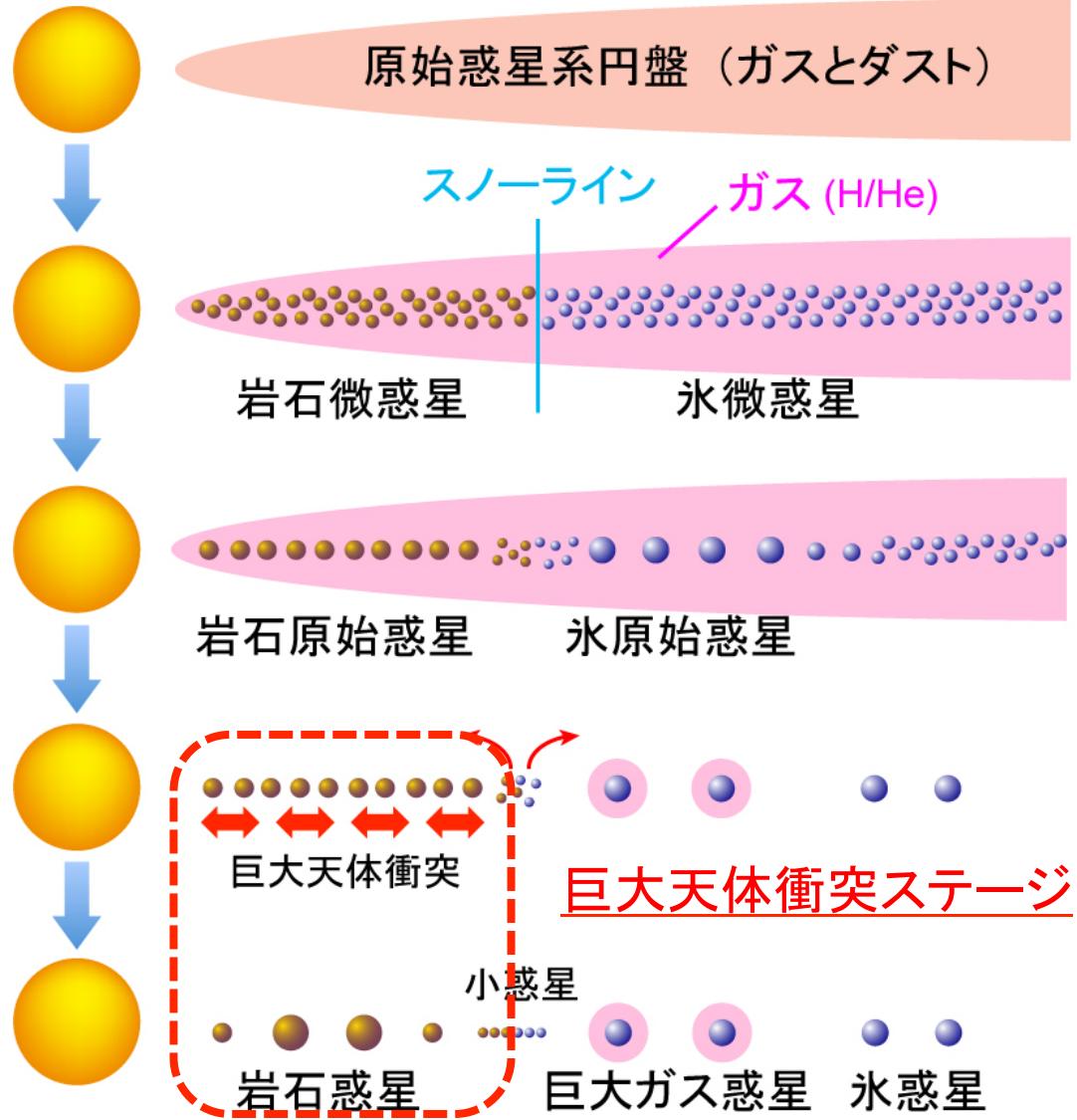
地球型惑星形成後期  
原始惑星(火星サイズ)  
同士の衝突

衝突速度:~5km/s  
衝突角度:45度

Movie: 4D2U/NAOJ  
Data: Genda Kokubo &  
*Ida (2012) ApJ*



# 惑星形成時の天体衝突



*Kokubo and Genda (2010) ApJ*

複数回の巨大天体  
衝突が起きる  
約1億年づく

# 巨大天体衝突の影響

- ▶ 月の形成 cf) 火星衛星の形成  
*e.g., Canup (2004), Ida et al. (1997)* *Citron, Genda & Ida (2015) Icarus  
Rosenblatt, ... Genda et al. submitted*
- ▶ 最終的に形成される地球型惑星の数、軌道要素( $a, e, I$ )、自転状態(自転速度、自転軸傾斜角)  
*e.g., Agnor et al. (1999), Kokubo & Genda (2010) ApJ*
- ▶ マントルの剥ぎ取り (ex. 水星の異常に大きな金属コア)  
*e.g., Benz et al. (2007), Asphaug & Reufer (2014)*
- ▶ 初期の熱状態・混合状態 (ex. マグマオーシャンの形成)  
*e.g., Nakajima & Stevenson (2015), Hamano, Abe & Genda (2013) Nature*
- ▶ 大気・海の形成 *e.g., Genda & Abe (2005) Nature*
- ▶ デブリの生成 (ex. 高温デブリ円盤:若い星の赤外超過)  
*e.g., Genda et al. (2015) ApJ*

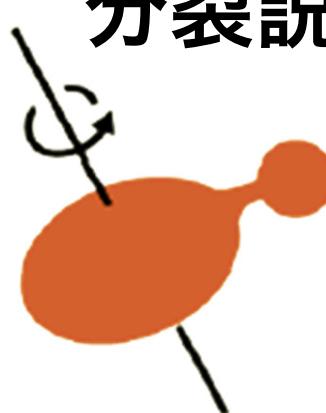
# 徹底比較！月の起源

玄田 (2010) 遊星人

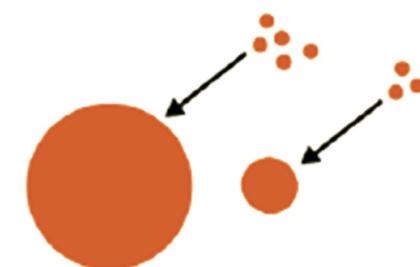
捕獲説



分裂説



双子説



巨大衝突説



容易さ 大衛星 大溶融 撃発欠乏 コア小 O同位体

捕獲説

△ △ △ ✕ ✕ ✕

分裂説

✗ ○ △ △ ○ ○

双子説

△ △ ✕ ✕ ✕ ○

衝突説

○ ○ ○ ○ ○ △

# 衝突計算コードの改良

標準SPH法

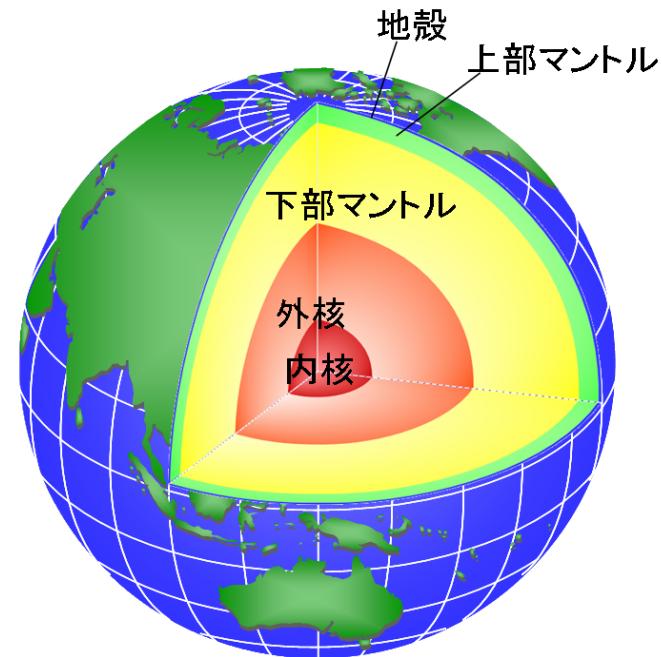
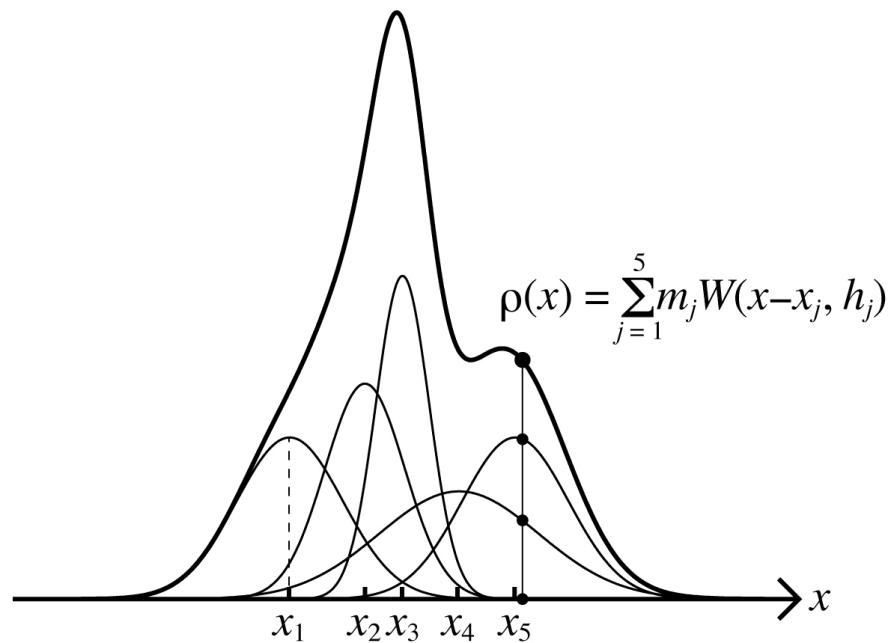
↓  
30年間のGI研究

密度を他の粒子の広がりを  
足し合わせたもので表現

DISPH法 (Density Independent SPH)

*Saitoh & Makino (2013), Hosono et al. (2013)*

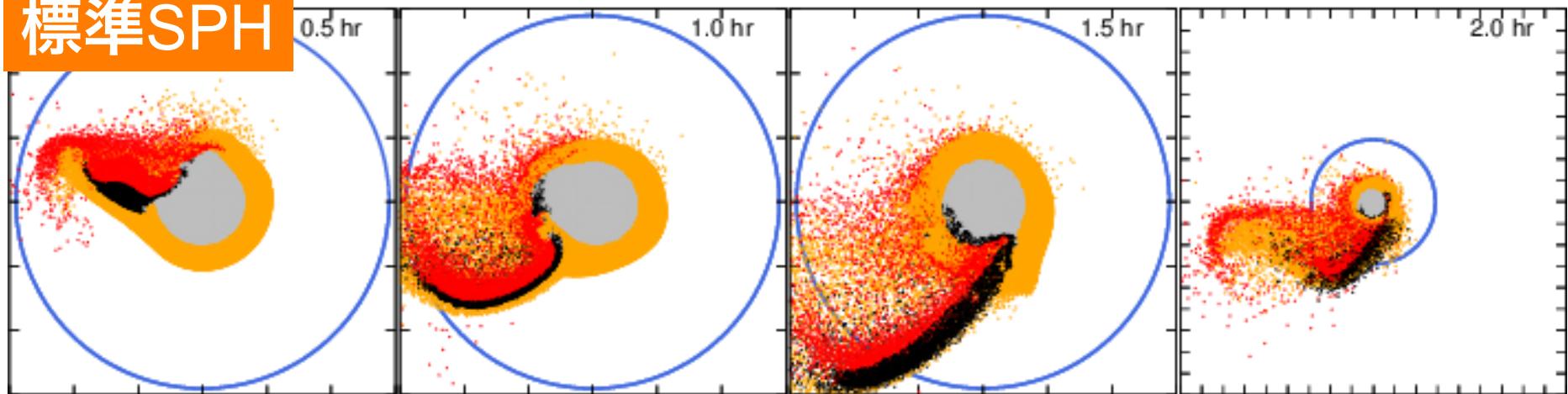
密度に不連続が存在  
境界で密度の見積もりに誤差



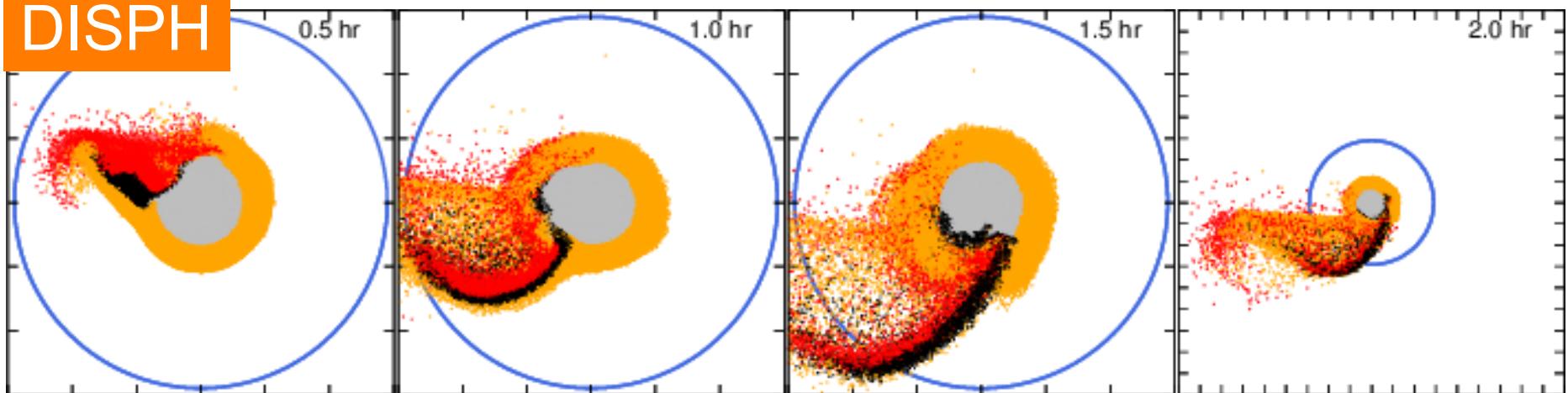
# DISPHによる月形成巨大衝突

*Hosono, Saitoh, Makino, Genda, Ida (2016) Icarus*

標準SPH

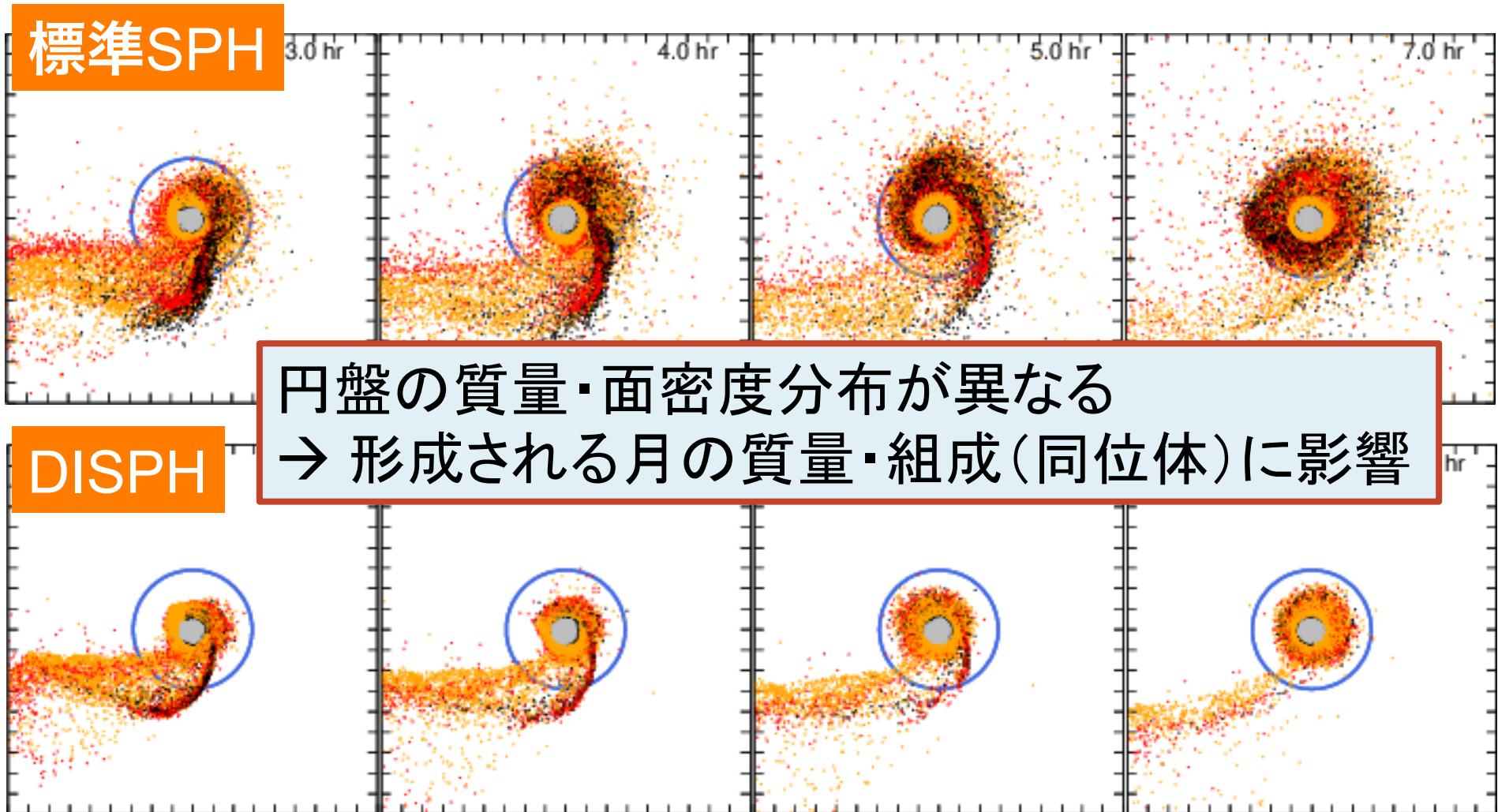


DISPH

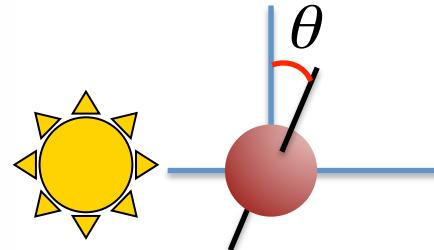
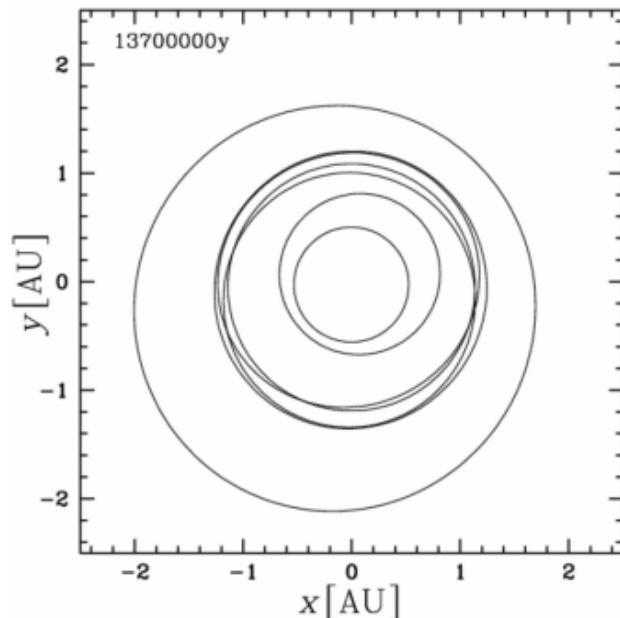


# DISPHによる月形成巨大衝突

Hosono, Saitoh, Makino, Genda, Ida (2016) *Icarus*



# 自転軸傾斜角



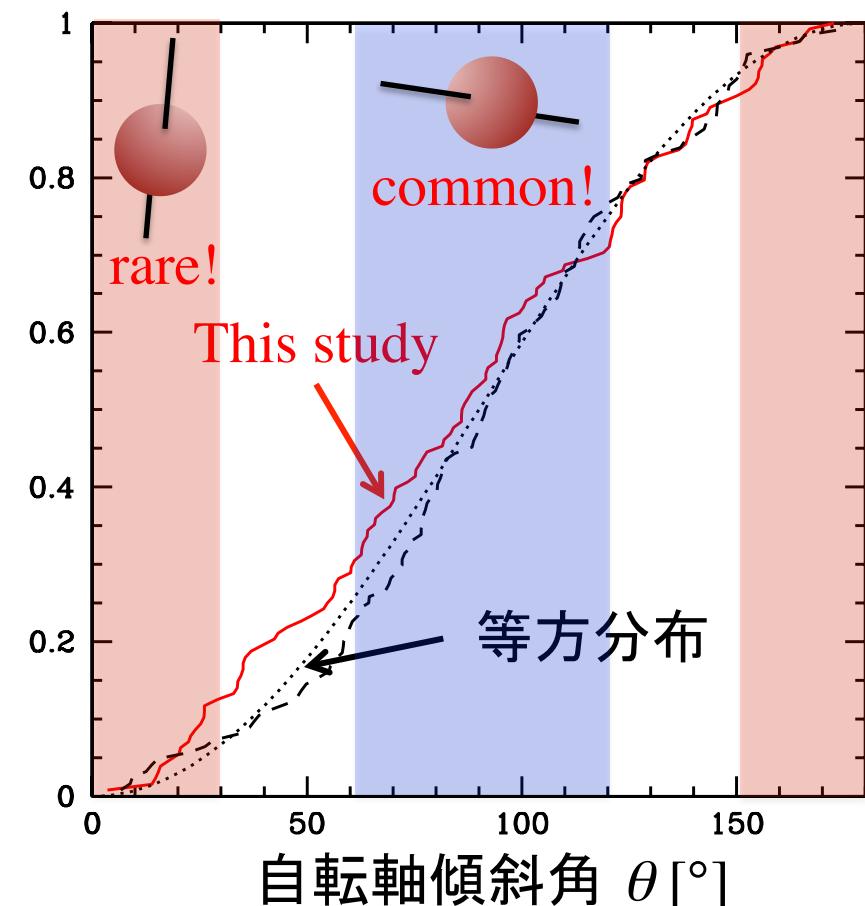
GIステージ50通りの計算

Kokubo & Genda (2010) *ApJ*

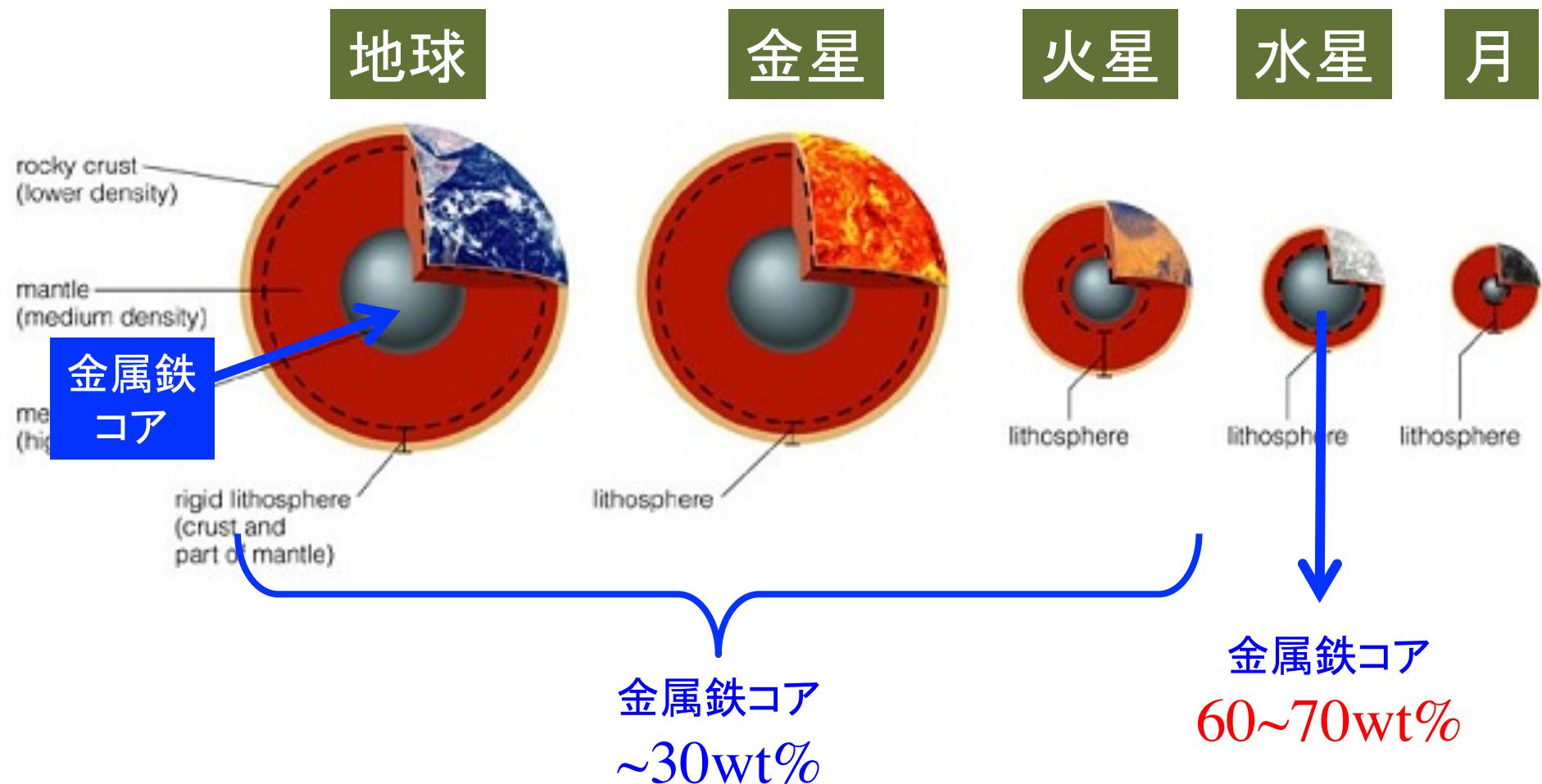
## 地球型惑星の自転軸傾斜角

- { 水星 :  $0^\circ$
- 金星 :  $178^\circ$
- 地球-月系 :  $6^\circ$  (地球:  $23.4^\circ$ )
- 火星 :  $25^\circ$

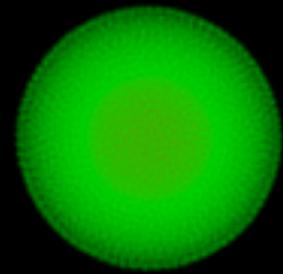
巨大天体衝突ステージ後の  
129個の地球型惑星



# 地球型惑星の金属鉄コア



# **4M<sub>Mars</sub> vs. 1M<sub>Mars</sub>**



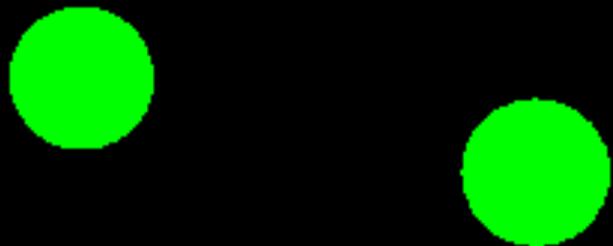
原始金星

**2.6xV<sub>esc</sub>**  
**30 degree**



# Example of Giant Impact

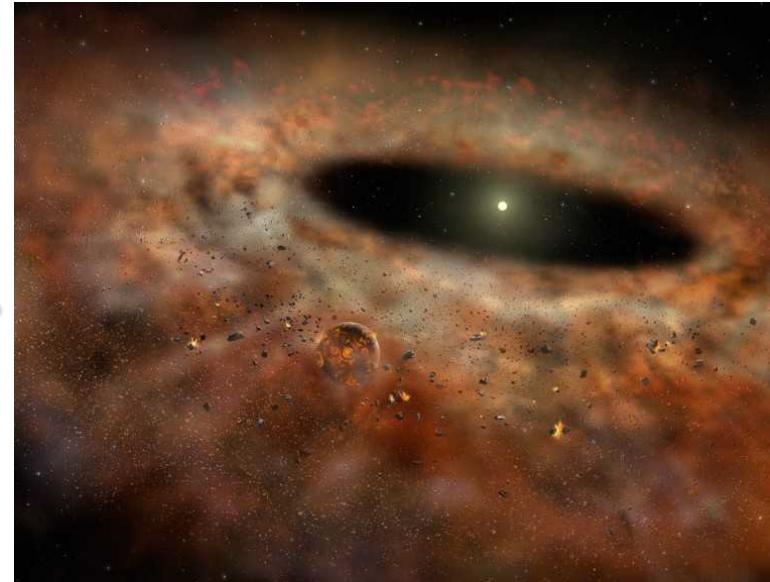
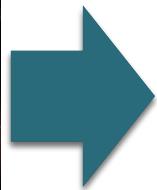
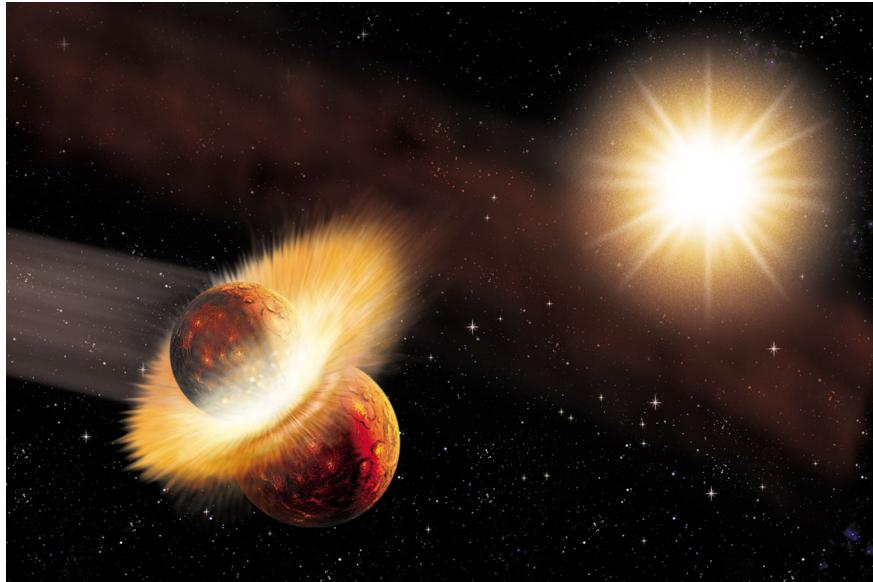
Kokubo & Genda (2010)  
Run1 – Coll#11



Impact Condition –

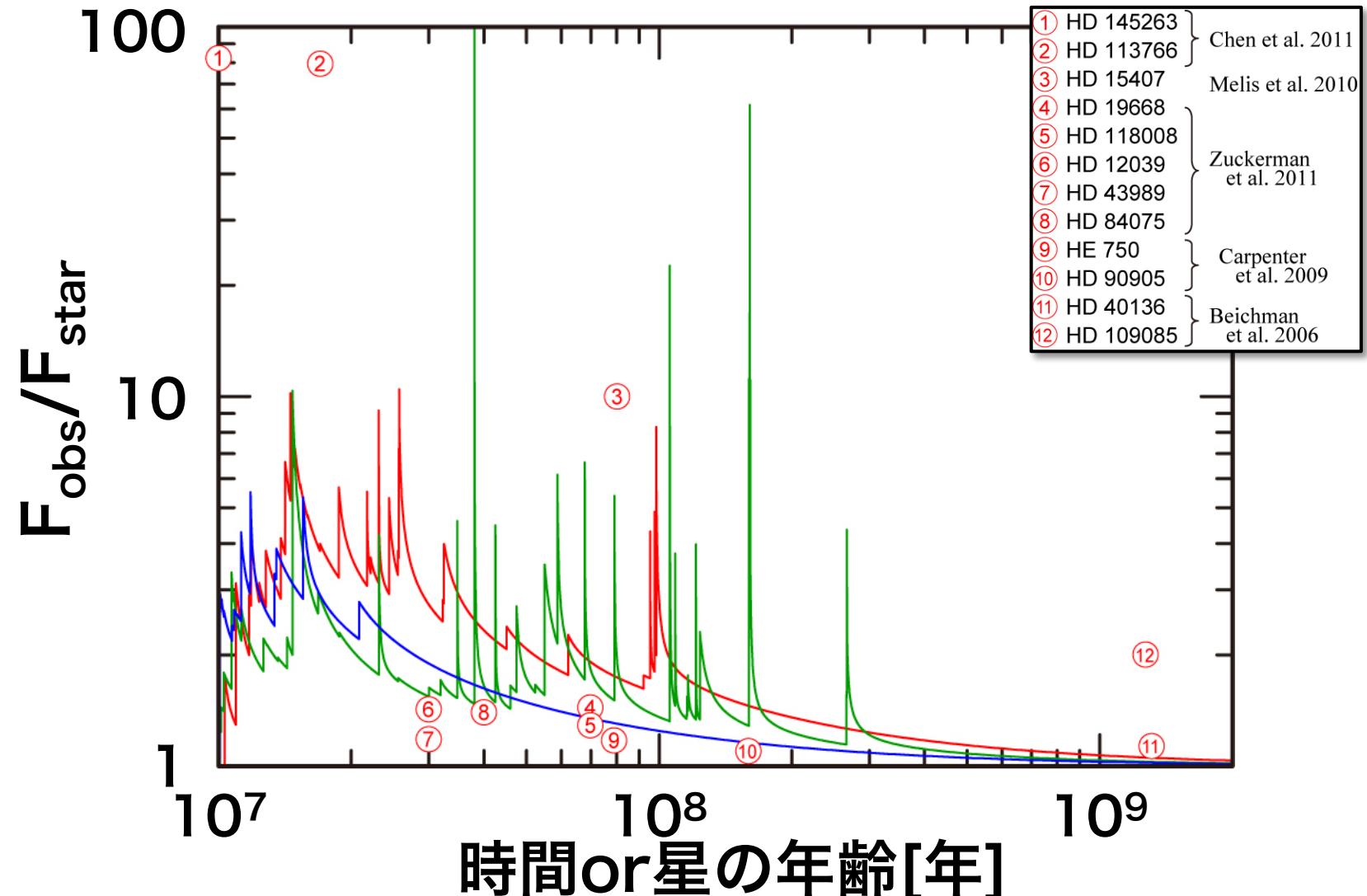
mass :  $6.7 \times 10^{23}$  kg vs.  $6.1 \times 10^{23}$  kg  
impact velocity : 9.95 km/s  
impact angle : 16.5 deg

# デブリ円盤の生成



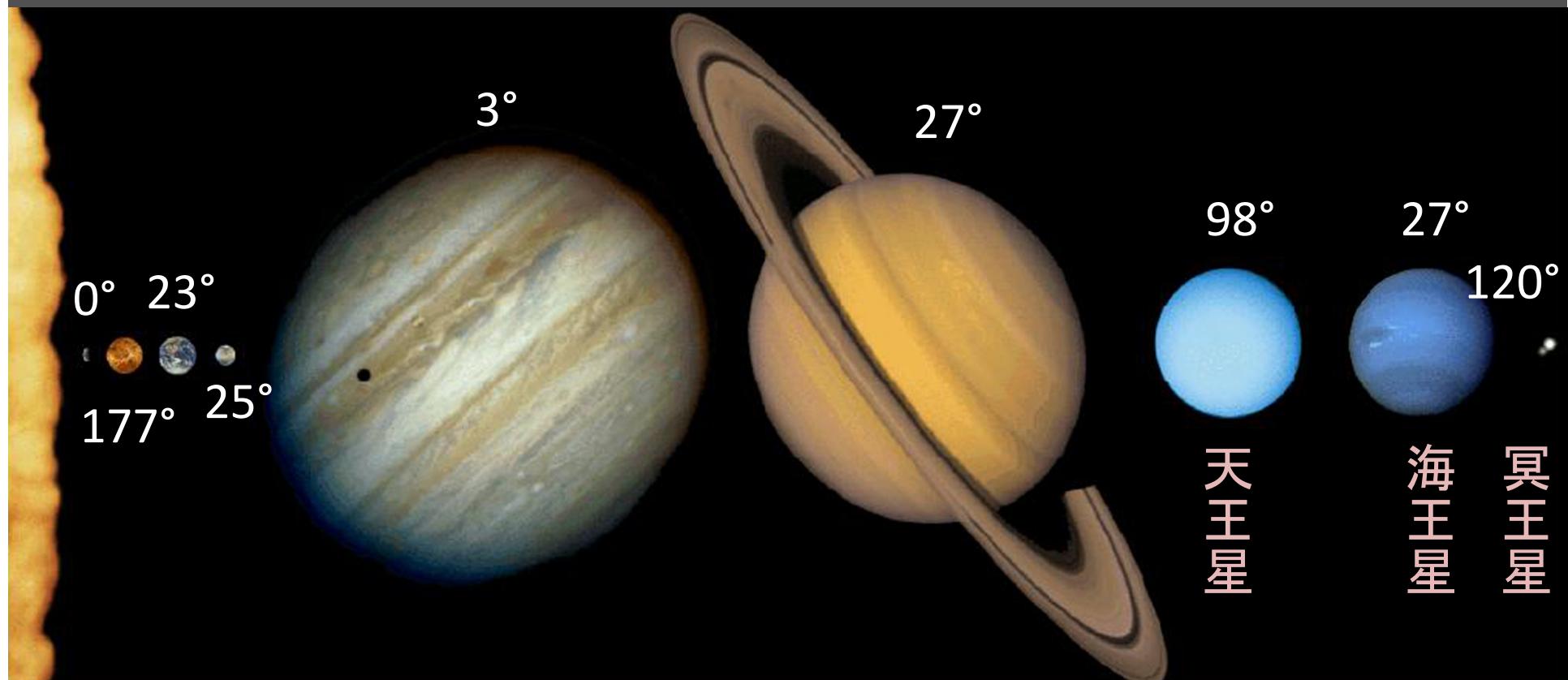
Spitzer Space Telescope

# 赤外超過 (24μm)



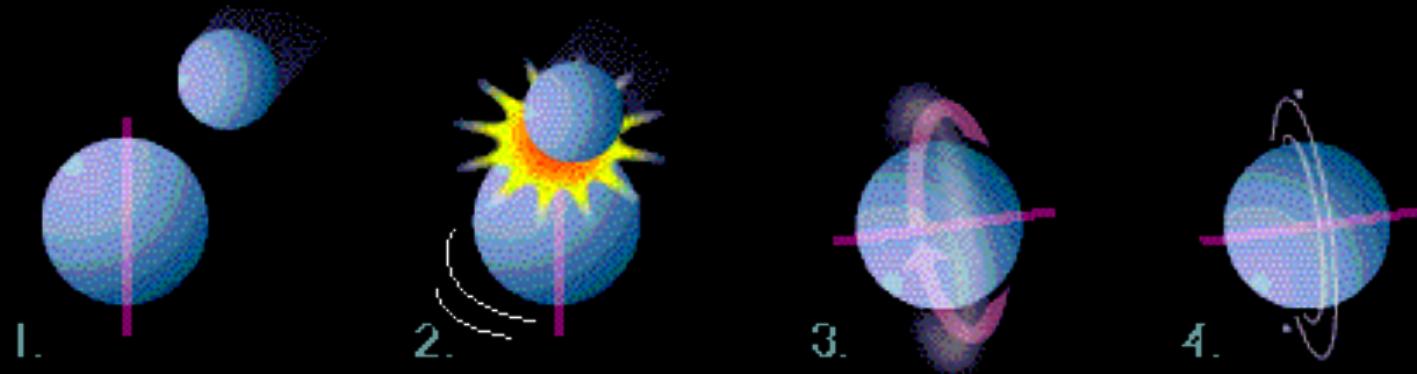
Genda Kobayashi & Kokubo (2015) ApJ

# 惑星の自転軸傾斜角



# 天王星への巨大天体衝突

Safronov (1966) → 天王星の7%の質量( $\sim 1M_E$ )で倒れる



Slattery et al. (1992)の衝突シミュレーション(SPH 8000粒子)

- ・横倒しになる
- ・円盤が形成される(衛星が作られかも)

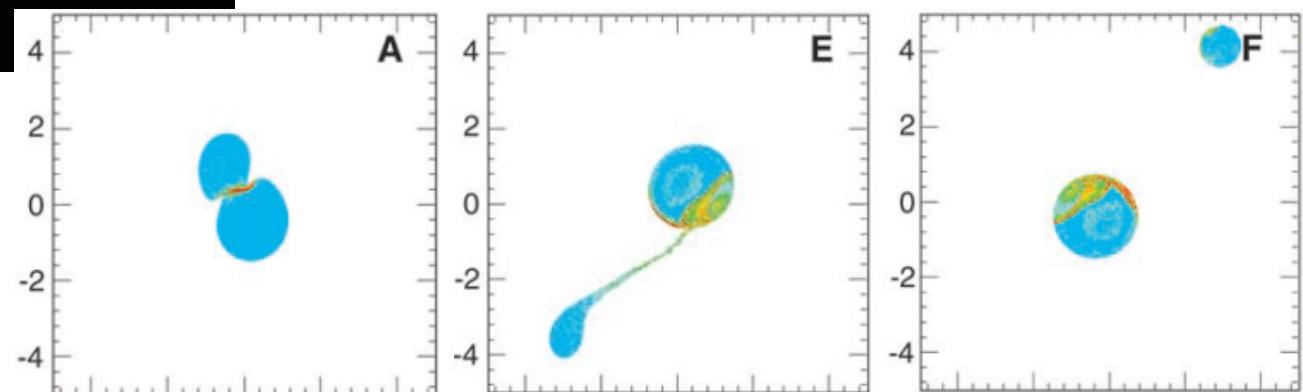
# 巨大天体衝突（冥王星）



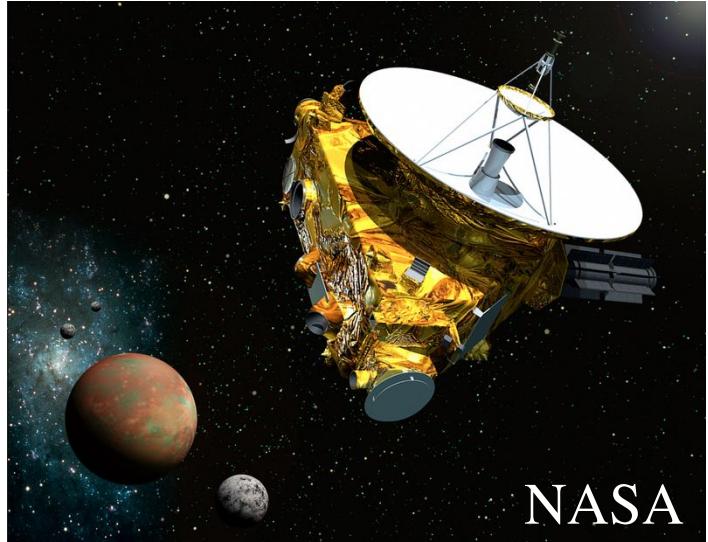
地球 : 月 = 80 : 1  
冥王星 : カロン = 10 : 1

巨大衝突起源？

*Canup (2006) Science*



# 探査機 New Horizons

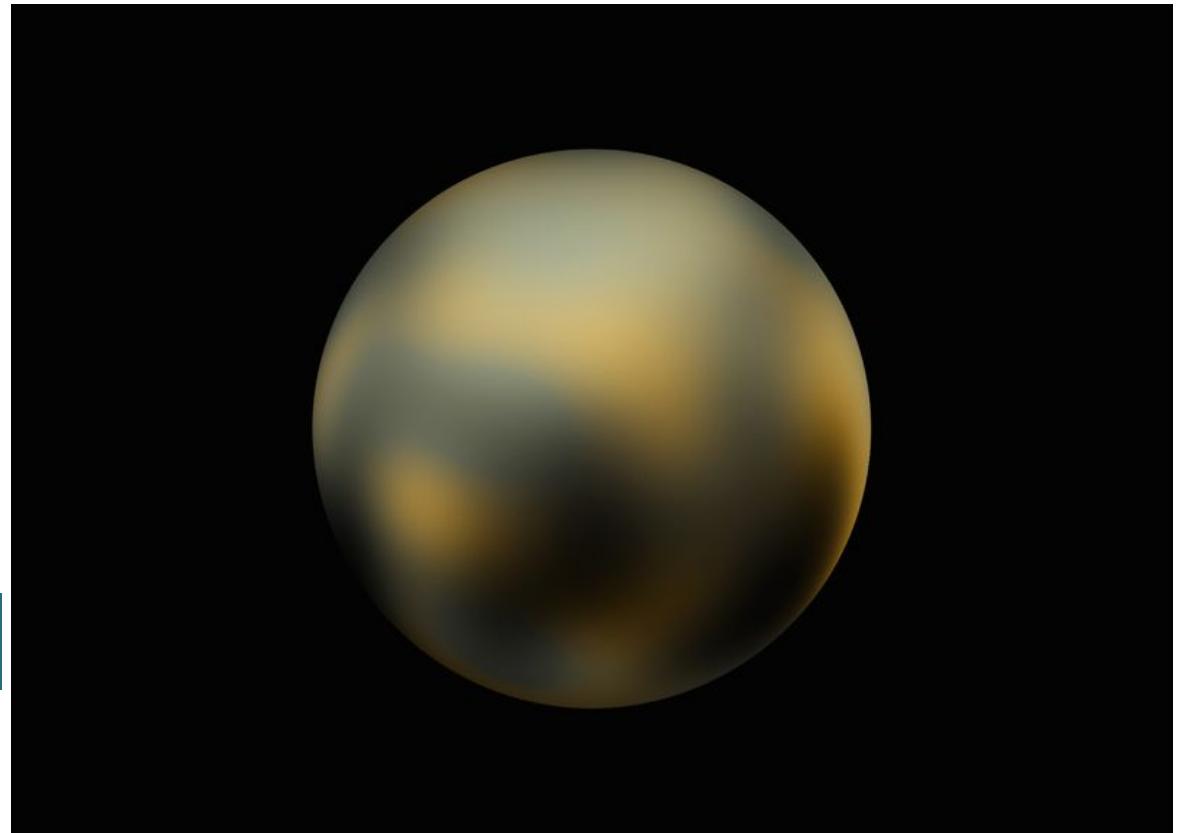


NASA

New Horizons Spacecraft

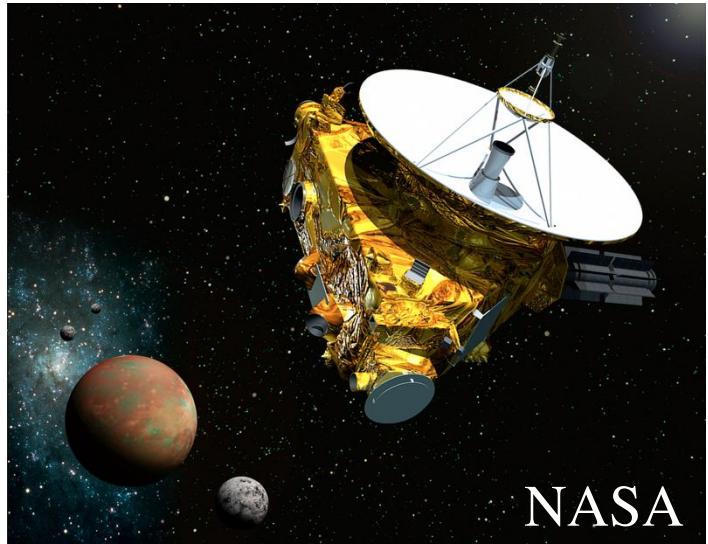
打ち上げ: 2006年

冥王星接近: 2015年



Hubble Space Telescope (2010年)

# 探査機 New Horizons



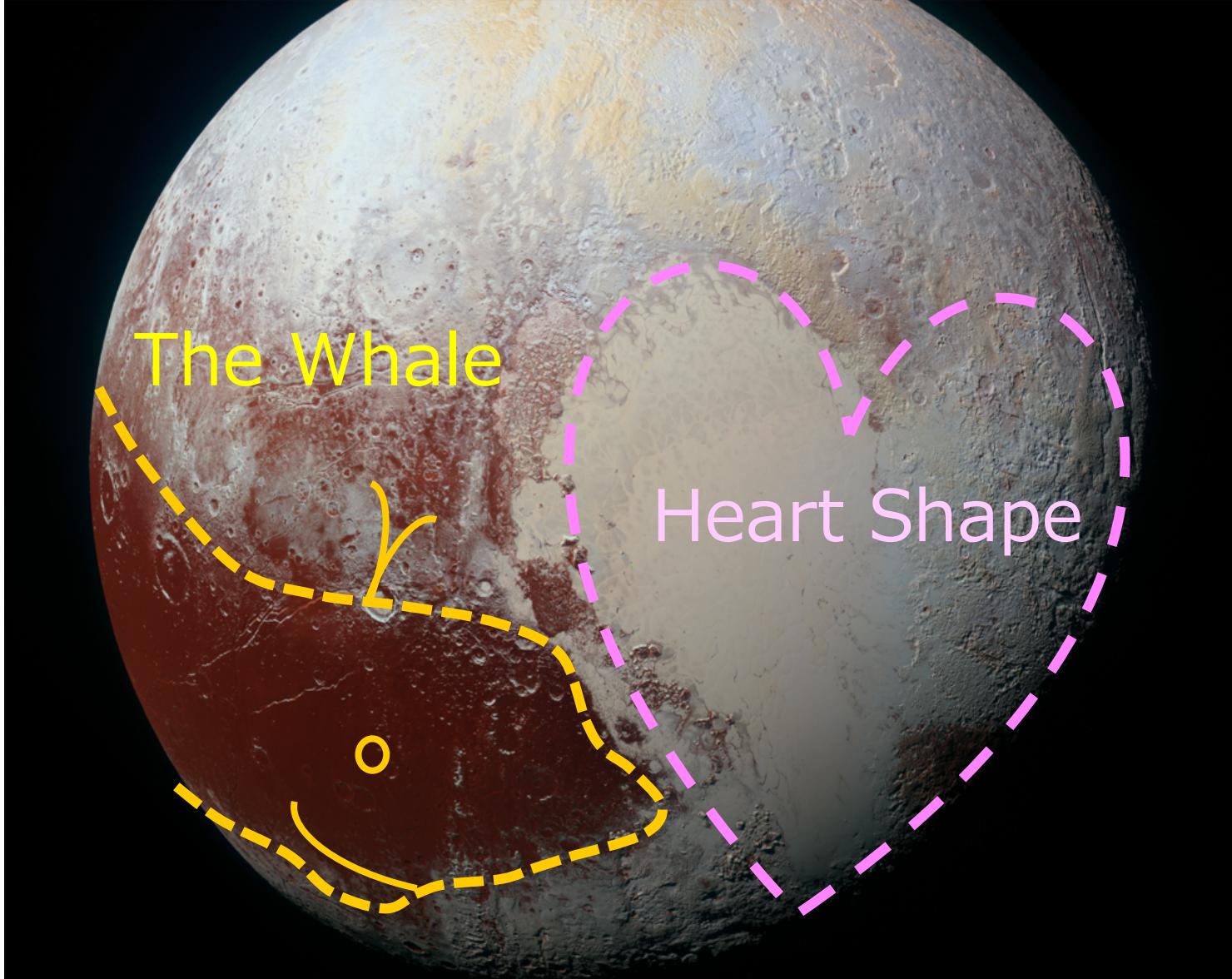
New Horizons Spacecraft

打ち上げ: 2006年  
冥王星接近: 2015年



New Horizons in 2015

# 多様な冥王星表面



# まとめ

巨大天体衝突は、惑星の様々な性質を特徴づける

- ▶ 衛星の形成(月、火星衛星、天王星衛星、カロン)
- ▶ 最終的に形成される惑星の数、軌道要素  
( $a, e, I$ )、自転状態(自転速度、**自転軸傾斜角**)
- ▶ 惑星の組成を大きく変える可能性がある
  - ・マントルの剥ぎ取り (ex. 水星の異常に大きな金属コア)
  - ・系外惑星の多様な密度
- ▶ デブリの生成 (系外地球型惑星形成の現場)