

巨大惑星周りの衛星形成とその多様性の起源

佐々木貴教, 井田茂 (東工大)

Glen R. Stewart (U. Colorado)

木星衛星系と土星衛星系はこんなに違う



岩石



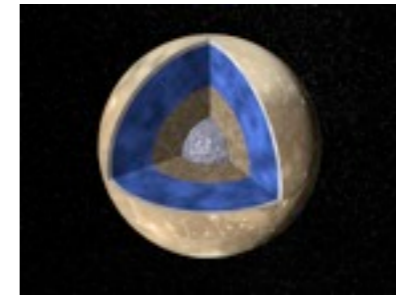
イオ

岩石



エウロパ

氷



ガニメデ

氷 未分化



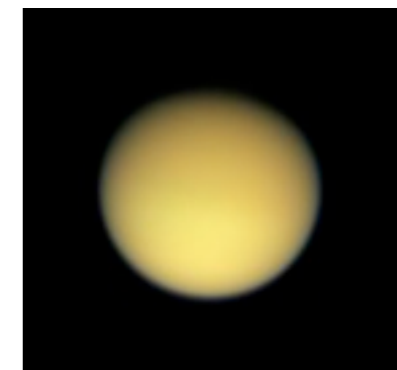
カリスト

イオ～ガニメデは互いに軌道共鳴にある



氷

大きな衛星は
タイタンのみ
(全衛星質量の95%)



タイタン

木星衛星系と土星衛星系はこんなに違う

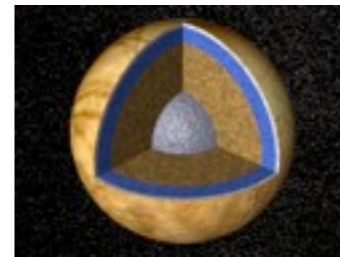


岩石



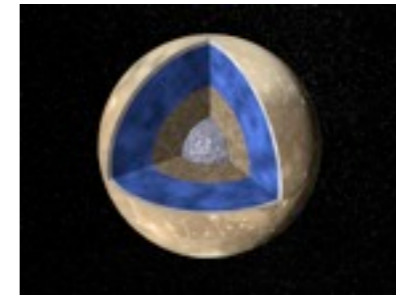
イオ

岩石



エウロパ

氷



ガニメデ

氷 未分化



カリスト

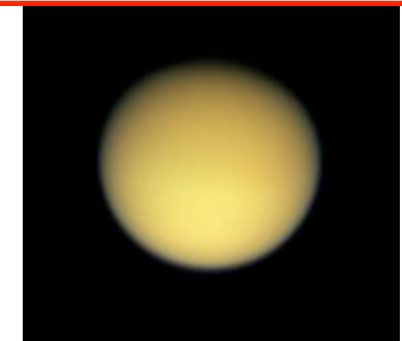
異なる形成過程からの作り分けは可能か？

狭い範囲内での多様な衛星形成は可能か？

大きな衛星は

タイタンのみ

(全衛星質量の95%)



タイタン

本研究の流れ

周惑星円盤モデル

Canup & Ward, 2002, 2006

衛星系形成モデル

Ida & Lin, 2004, 2008

本研究のオリジナルアイデア

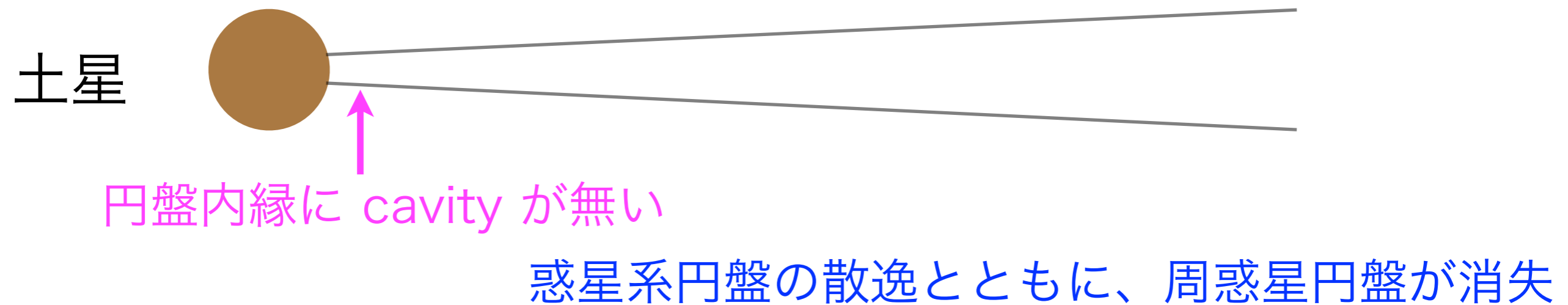
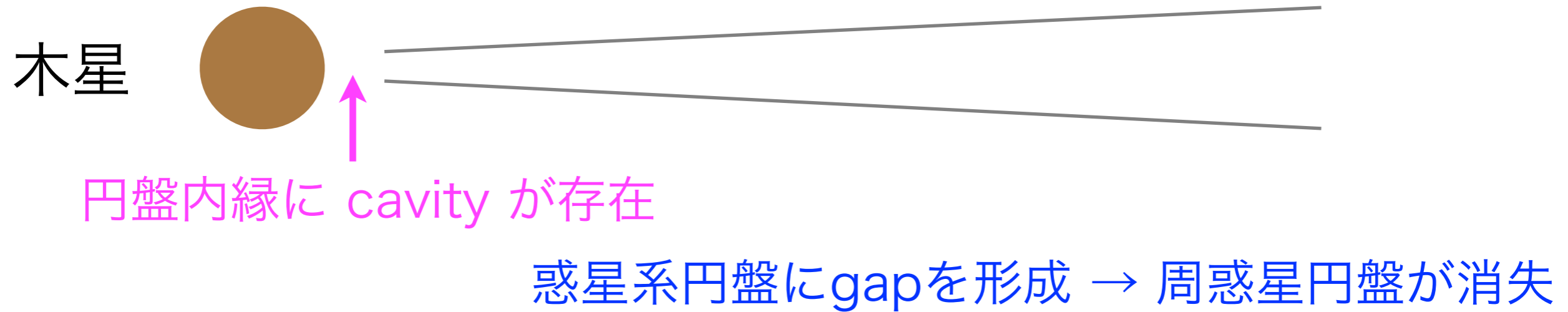
木星系・土星系円盤の違い

衛星系の違いと特徴は必然的に生まれうる！

[2009年 連合大会]

- ・ 構成物質, 軌道共鳴など細かい特徴も再現できるか？
- ・ 未分化なカリストを作ることはできるか？
- ・ 土星のみがリングを持つことは説明できるか？

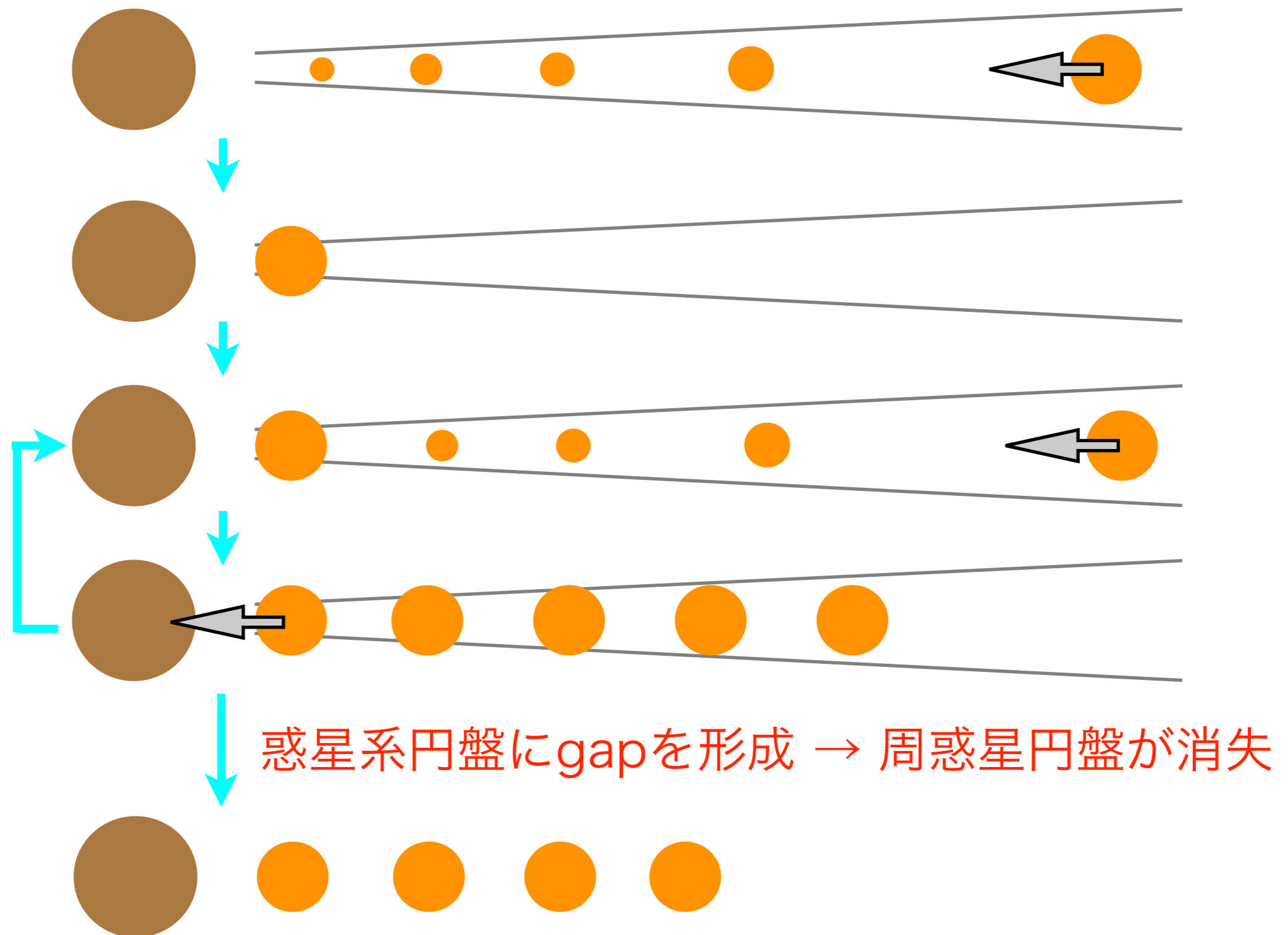
本研究のアイデア



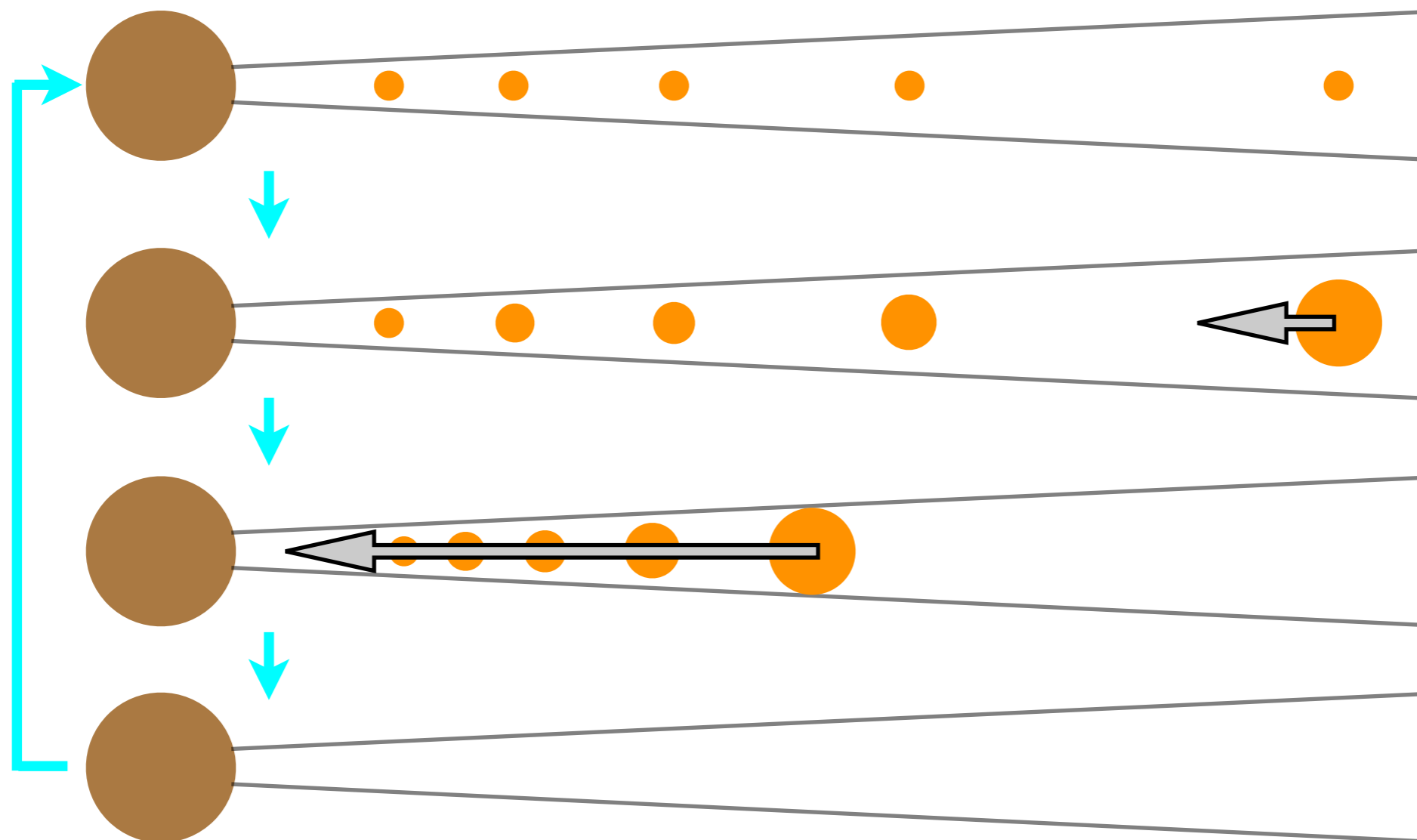
※Königl (1991), Stevenson (1974) などから示唆される

※gap形成の有無については Ida & Lin (2004) 参照

木星衛星系の形成シナリオ



土星衛星系の形成シナリオ



惑星系円盤の散逸とともに、周惑星円盤が消失

計算結果

Monte Carlo Simulation (n=100)

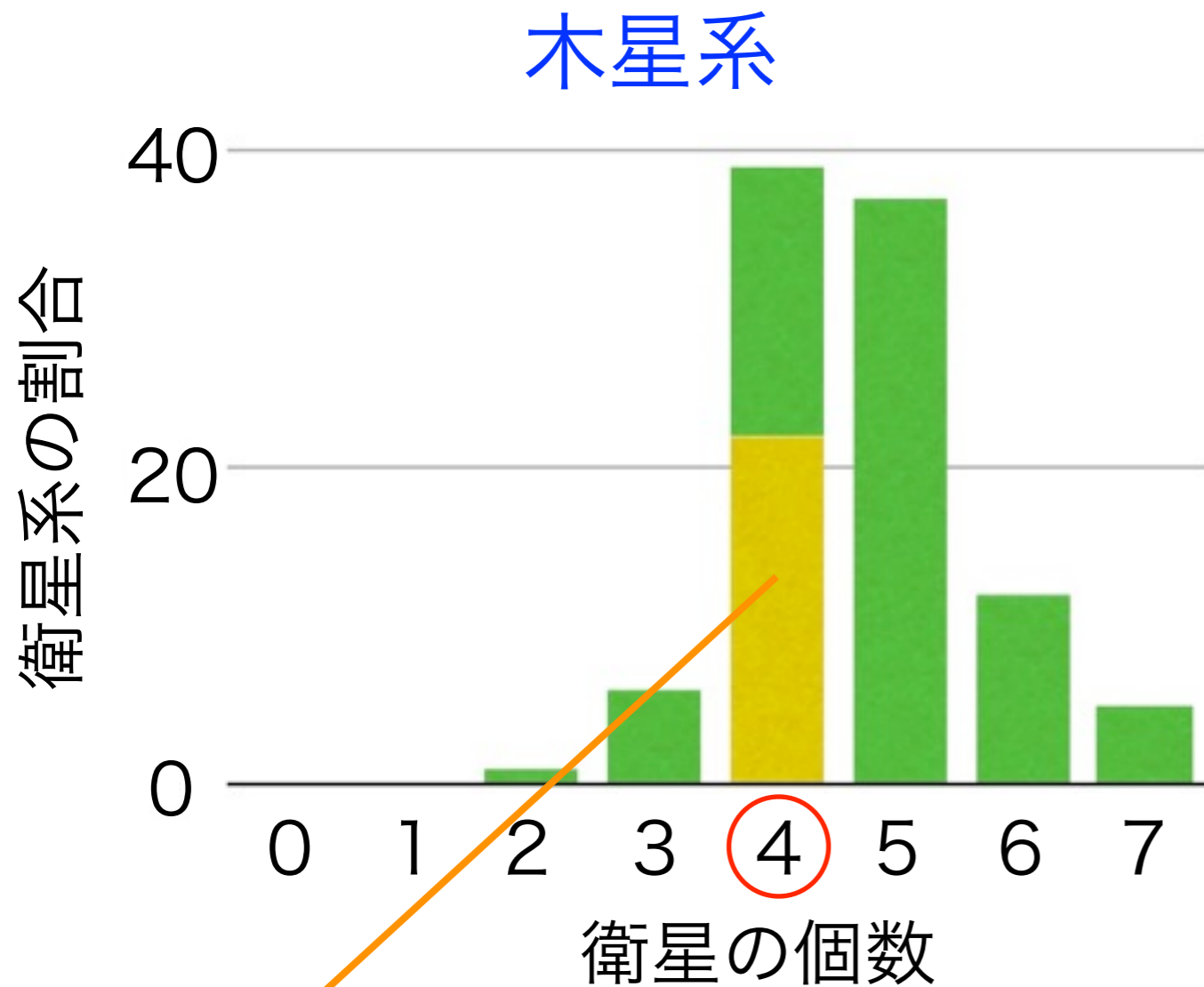
パラメータ：

円盤の粘性 (α モデル) $\alpha = 10^{-3} - 10^{-2}$

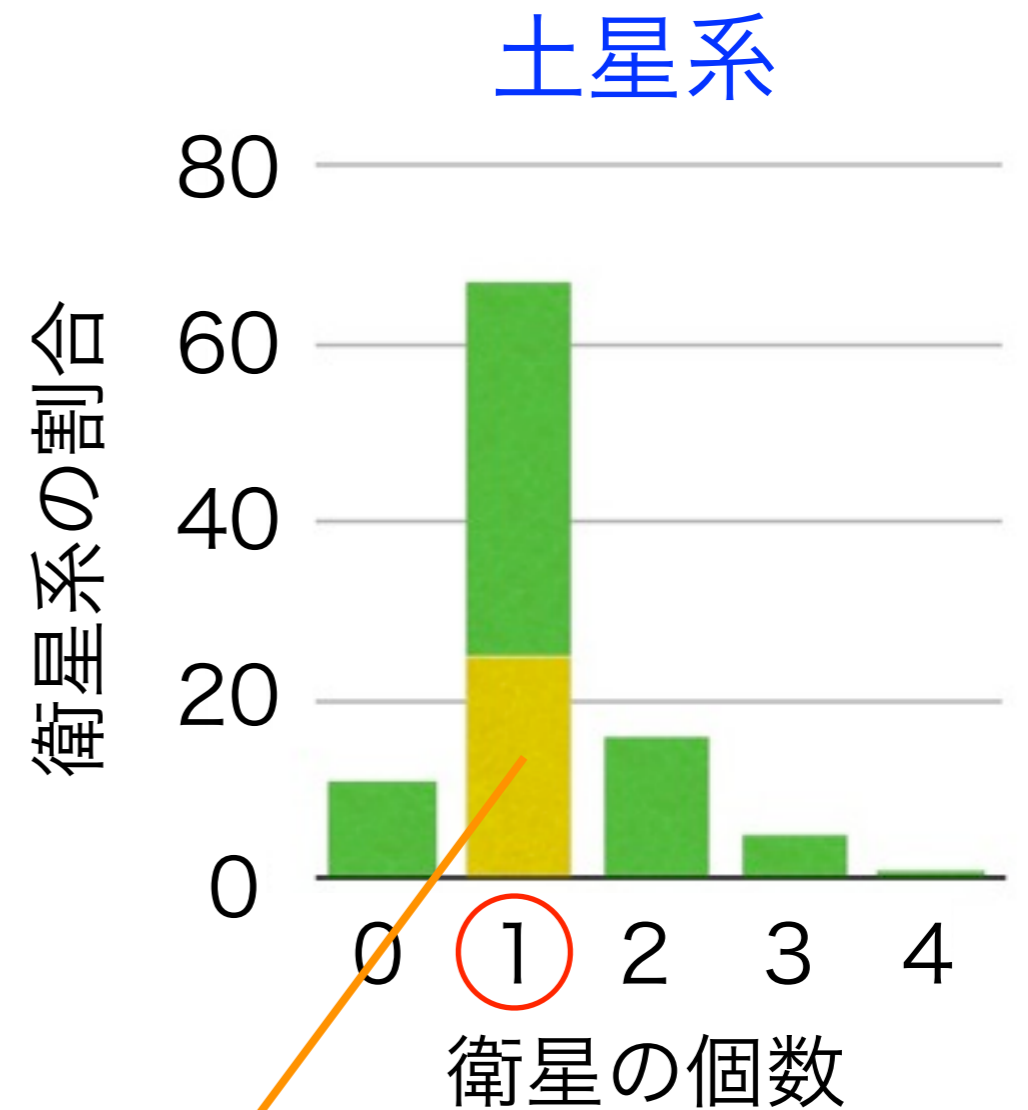
円盤散逸のタイムスケール $\tau_{in} = 3 \times 10^6 - 5 \times 10^6 \text{ yr}$

微衛星の種の数 $N = 10 - 20$

計算結果 1. 大きなサイズの衛星の個数



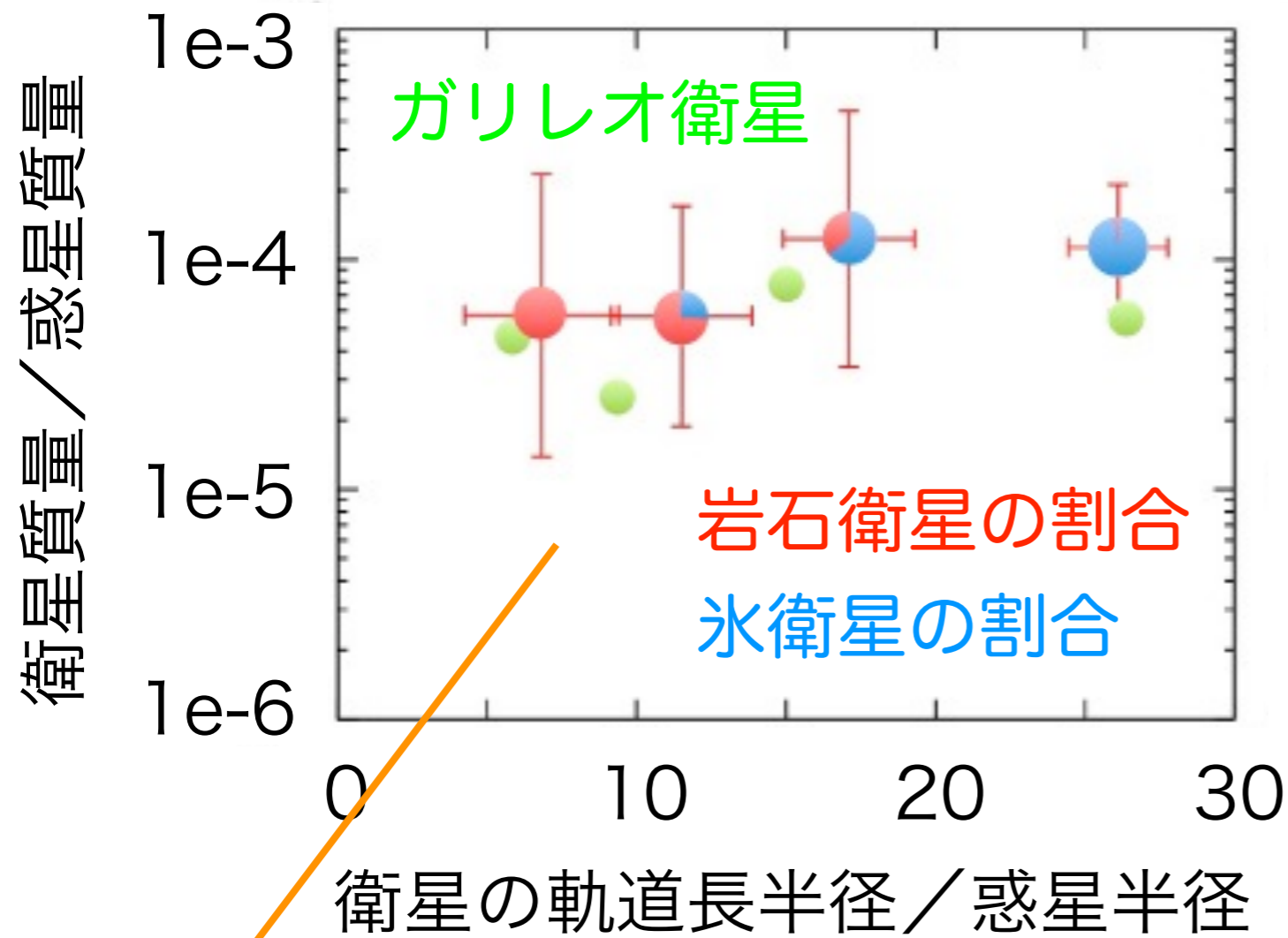
岩石・岩石・氷・氷
の衛星系になっている場合



氷衛星で質量がタイタン
と同程度ある場合

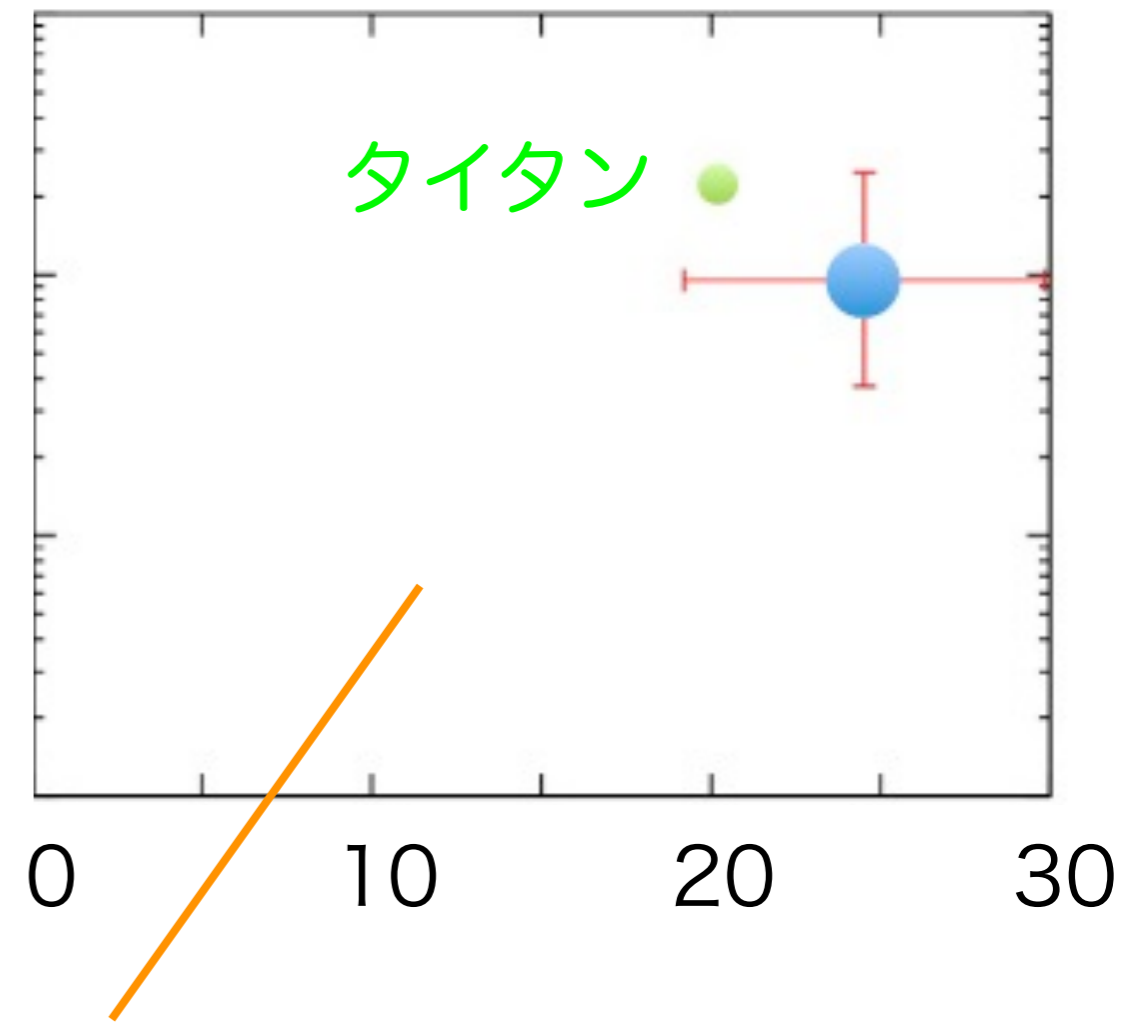
計算結果 2. 衛星の位置・質量・構成物質

木星系



内側の3衛星は軌道共鳴

土星系



最大の衛星が全衛星質量の90%以上を占める

議論 1. 衛星の形成時間について

・カリストの形成時間（未分化問題）

必要条件：形成時間 $> 5 \times 10^5 \text{yr}$ [Barr & Canup, 2008]

計算結果：形成時間 $\sim 10^5 \text{yr}$



gap 形成後も一様な弱い物質流入を仮定 [D'Angelo et al., 2003]

○形成時間 $> 10^6 \text{yr}$ の衛星がカリスト軌道付近に形成

○全体的な特徴（個数・位置）はガリレオ衛星と調和的

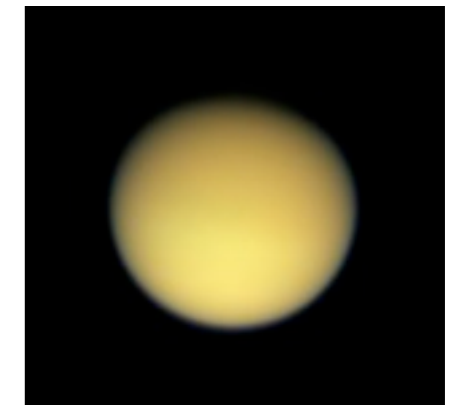
△衛星の総質量が実際より1桁近く大きくなる場合もある

→ 物質流入のさせ方に結果が依存（より詳細な研究を！）

・タイタンの形成時間

計算結果：形成時間 $> 10^6 \text{yr}$

→ タイタンも未分化である可能性を示唆



議論 2. 土星のリング形成について

- 有力？なリングの起源：

ロッシュ半径付近の原始衛星が破壊されて形成 [Charnoz et al., 2009]

ロッシュ半径と共回転半径の位置関係がポイント

$R_{\text{Roche}} < R_{\text{Synch}} \rightarrow$ 原始衛星は潮汐で中心惑星に落下

$R_{\text{Roche}} > R_{\text{Synch}} \rightarrow$ 原始衛星はロッシュ半径付近に留まる

- 土星のみがリングを作れる！：

木星系：岩石を多く含む原始衛星が残りやすい

\rightarrow 密度 2g/cm^3 以上だと $R_{\text{Roche}} < R_{\text{Synch}}$

土星系：氷を多く含む原始衛星が残りやすい

$\rightarrow R_{\text{Roche}} > R_{\text{Synch}}$ を満たす氷リングの種が残る

天王星・海王星：原始衛星の密度によらず $R_{\text{Roche}} < R_{\text{Synch}}$

まとめ

周惑星円盤モデル

Canup & Ward, 2002, 2006

衛星系形成モデル

Ida & Lin, 2004, 2008

本研究のオリジナルアイデア

木星系・土星系円盤の違い

衛星系の違いと特徴は必然的に生まれうる！
成分, 共鳴, リングなどの細かい特徴も調和的！

この後も周惑星円盤&衛星形成の話が続きます！

- ・ 原始衛星の共鳴軌道へのトラップ → 荻原くん (次)
- ・ 周惑星円盤による微惑星の捕獲 → 谷川さん (次の次)