

13.11 惑星と小惑星の衛星

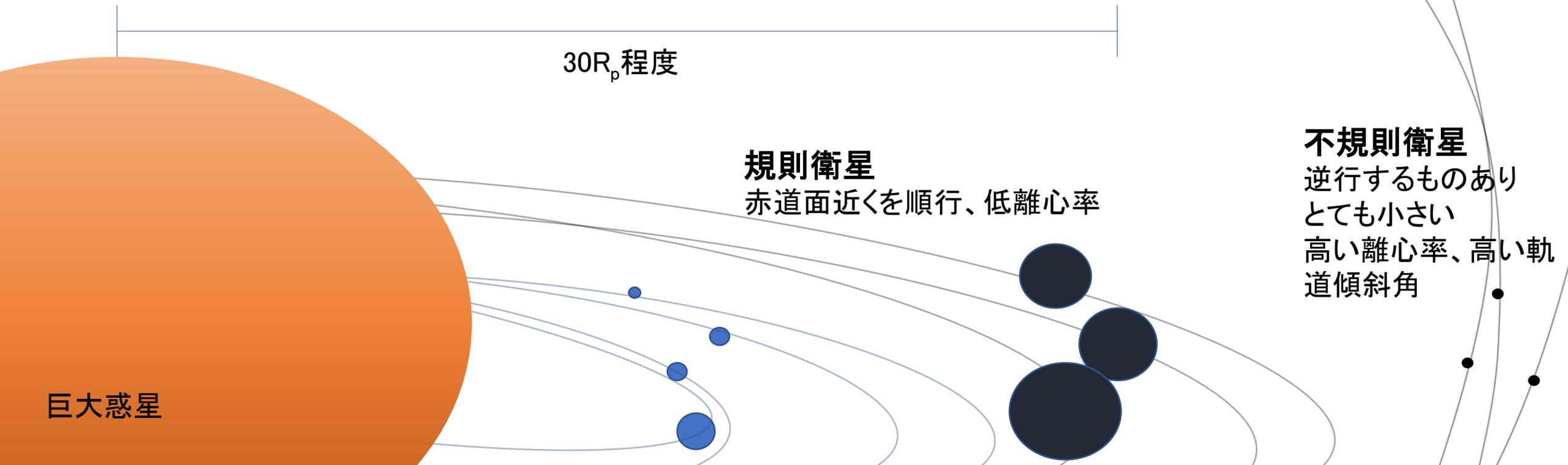
倉本鎌田研 B4 長野 剛流

13.11.1 巨大惑星衛星

-巨大惑星系のリングと衛星は、ミニチュアの惑星系と考えられる

巨大惑星の周りの衛星の特徴

- ◆巨大惑星の近く（ロッシュ半径近傍）にある衛星は小さい
- ◆巨大惑星からある程度離れた位置にある衛星は大きい
- ◆巨大惑星の衛星系の外側の領域は、高い離心率と軌道傾斜角を持った小天体を含んでいる



規則衛星と不規則衛星

◆規則衛星

- 低離心率で赤道面の近くを順行する
- 不規則衛星と比較すると、相対的に惑星の近くを周回する
- 周惑星円盤内で誕生した
 - 惑星が原始惑星系円盤内で誕生したように、惑星の周りにできた円盤内で固体が集積して規則衛星が誕生した

◆不規則衛星

- 高い離心率、高い軌道傾斜角をもち、逆行するものもある
- ほとんどは太陽周回軌道から捕獲されたもの

周惑星円盤からの規則衛星の誕生

◆周惑星円盤内で規則衛星が誕生

-例: ガリレオ衛星

Credit:NASA

-若い木星の高い光度を考慮すると、そのモデルは、木星から遠ざかっていくにつれてガリレオ衛星の密度が減少することを説明する。

→木星の光度が高い時期に木星近傍の惑星円盤内のHは吹き飛ばされてしまった→?

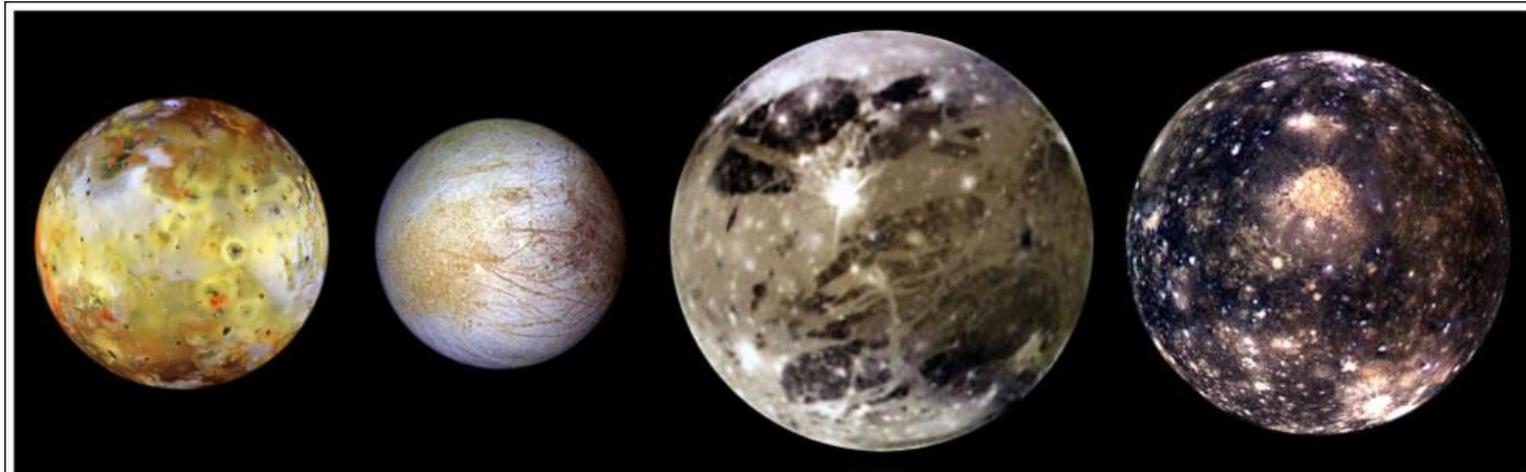
-土星、天王星は木星ほど光度が高くなり、衛星はこのような密度関係をもたない

イオ

エウロパ

ガニメデ

カリスト



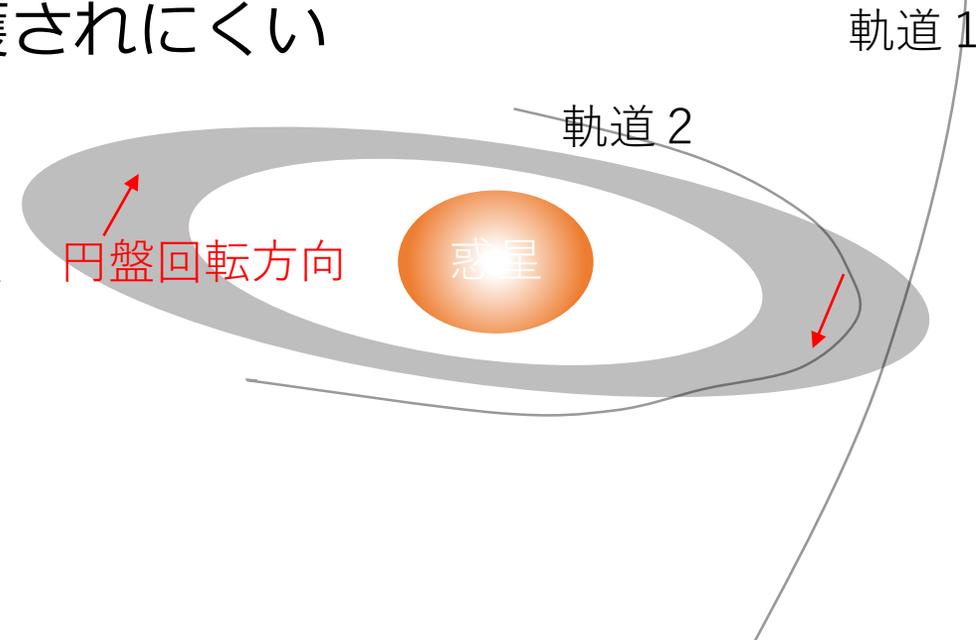
平均密度	3.528 ± 0.006	3.013 ± 0.005	1.936	1.851
g/cm ³				
氷/岩石比	0	0.08	0.45	0.56
(Sohl et al. 2002)				
半径 km	3632	3138	5262	4820

不規則衛星の誕生 -衛星の捕獲 1-

◆惑星のヒル圏に入った微惑星が、周惑星円盤に侵入した際にガス抵抗を受け、エネルギーが散逸することにより惑星の重力に捕獲される

- 離心率、軌道傾斜角が大きい微惑星ほど捕獲されにくい
- 逆行する天体は捕獲されやすい（逆行捕獲）

捕獲後、惑星へ落下するものがほとんどだが、一部は生き残って捕獲衛星となる



不規則衛星の誕生 -衛星の捕獲 2-

◆連星の潮汐破壊

連星が惑星に接近すると、重力相互作用によって連星系が破壊され、連星の片方は弾き飛ばされ、もう片方が惑星の重力に捕まる

◆規則衛星の衝突

衛星の衝突によって減速→衛星の衝突によって破片が不規則な軌道をとる

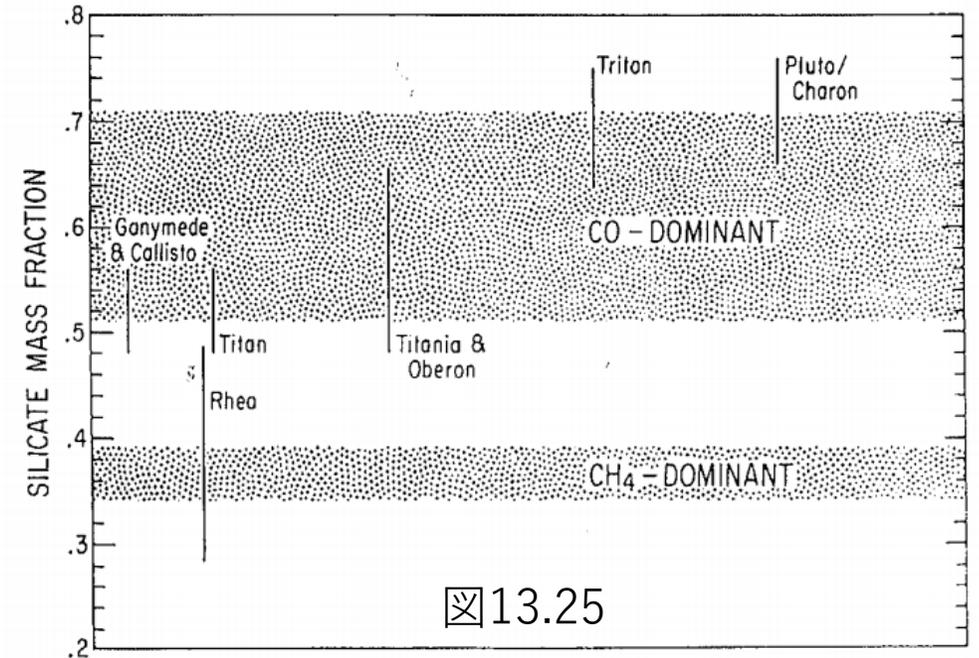
→トリトン（海王星の衛星）は低い離心率であるが、このようなプロセスによって捕獲されたと考えられている（§2.6参照）
トリトンの軌道はその後、その大きな質量と海王星への近さによって、潮汐的に環状化された可能性がある

衛星の形成場所

- ◆氷衛星と冥王星の（岩石） / （岩石+氷）の割合はそれらの天体が作られた場所に手がかりを得る。
- ◆原始惑星系円盤→COが支配的
- ◆周惑星系円盤→CH₄が支配的

◆それぞれの衛星の特徴(図13.25参照)

- 大きな衛星（ガニメデ、カリスト、タイタン）は周惑星系円盤内に降着した天体に予想されるよりも多くの岩石を含んでいる
- 天王星の衛星はかなりの岩石成分を含んでいる
- イオとエウロパは主に岩でできている（木星近傍で誕生したため降着に利用できる水が少なかった）
- トリトンと冥王星/カロンはとても良く似た高い岩石の質量分率であり、COが豊富である太陽系星雲で予想されるものと一致している



13.11.2 月の形成

月の特徴

- ◆月の密度は、地球のUncompressed Densityよりも25%小さい
- ◆揮発性成分が少ないが、地球の半分以下のカリウムはあり、ほとんど水がない
 - 月はある温度以上で液化・凝縮することのできる太陽組成のマテリアルの簡単なアマルガム（金属合金）ではない→？
- ◆地球（惑星）に対する月（衛星）の直径比率が大きい
- ◆月のバルク組成は地球のマントルの組成に似ているが、鉄が少ない



Credit:NASA

直径 3474.3 km
平均密度 3.344g/cm³
公転周期 27日7時間43.193分
自転周期 27日7時間43.193分

月の形成 古典的学説

◆親子説

自転による遠心力で、地球の一部が飛び出して月になったとする説

◆兄弟説

月と地球は同じ材料物質から、同時に作られたとする説

◆他人説

別の場所で形成された月と地球が偶然接近した際、月が地球の引力に捉えられたとする説

→いずれの説明にも問題点がある

親子説…現在の地球-月系の角運動量の説明ができない

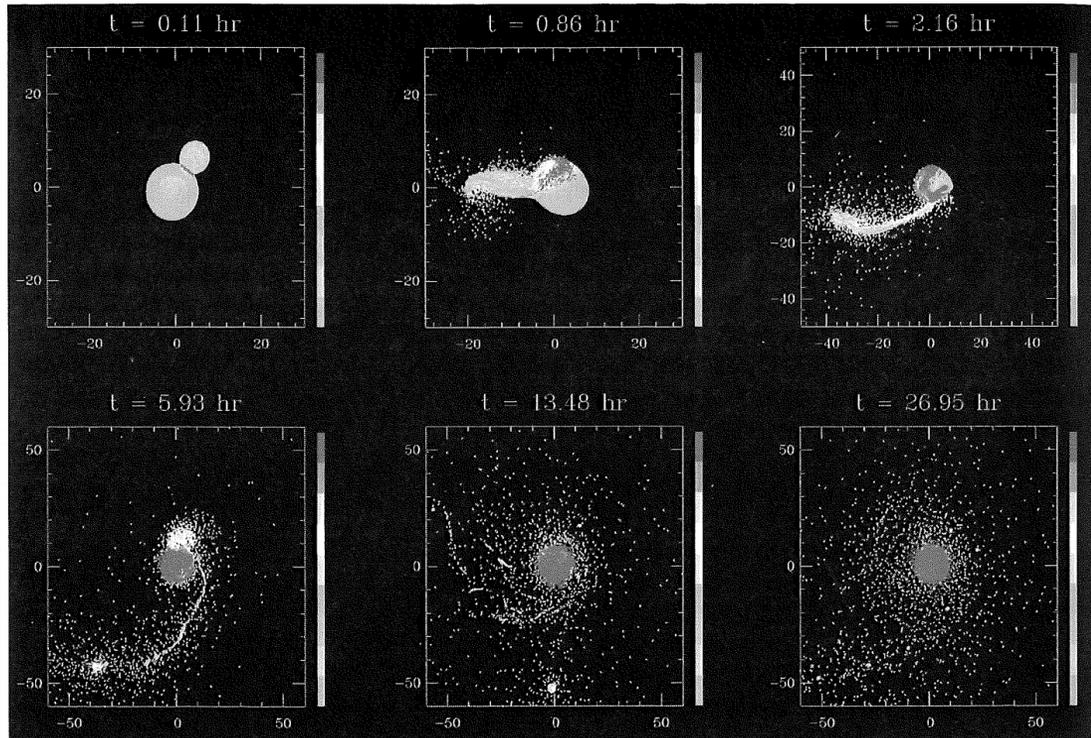
兄弟説…地球と月の平均密度が異なっている点

他人説…捕獲は起きにくい

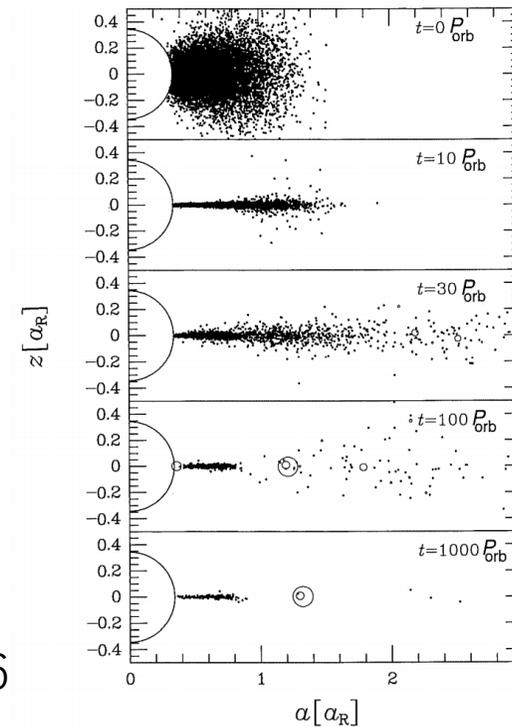
月の形成 巨大衝突説

◆ 巨大衝突説

火星サイズかあるいはもっと大きな惑星の胚が地球に衝突し、月質量（あるいはそれ以上）の材料物質を地球軌道に排出した後、材料物質が集積し月が形成されたとするもの



☒ 13.26



☒ 13.27

月の形成 巨大衝突説

- ◆ 月と地球のマントルの組成が似ていて、同時に月に揮発性成分が不足していることを説明している
- ◆ さまざまな衝突因子と衝撃パラメータにより、おおよそ1月質量の物質を、主に衝突子および/または地球のマントルから、ロッシュ限界を超えて地球の軌道に入れることができる→？
- ◆ 軌道に入った材料物質が凝縮した天体を形成するのに十分なほど冷えると、即座に1つの月へと集まる
- ◆ 月の制約条件をうまく説明できるため、最も有力視されている
- ◆ 冥王星の衛星系のジャイアントインパクト起源説にも同じようなことがみられる。

13.11.3 小天体の衛星

小天体の衛星

◆ 小天体の衛星

-例:火星の衛星 (フォボス、ダイモス)

-フォボス・ダイモスの形成過程…捕獲説/巨大衝突説



フォボス

半径 11.1 ± 0.15 km
密度 1.872 ± 0.076 g/cm³
公転周期 7時間39.2分
自転周期 7時間39.2分
軌道傾斜角 1.02°
離心率 0.0151



ダイモス

半径 6.2 ± 0.18 km
密度 1.471 ± 0.166 g/cm³
公転周期 1日6時間17.9分
自転周期 1日6時間7.9分
軌道傾斜角 1.788°
離心率 0.0002

小天体の衛星

◆ 小天体の衛星

-例:火星の衛星（フォボス、ダイモス）

-フォボス・ダイモスの形成過程…捕獲説/巨大衝突説

-**捕獲説**…衛星が完全無欠の状態に捕獲されて、そのような衛星の表面での衝突によって生成された円環状のデブリとの長時間の相互作用が衛星の離心率と軌道傾斜角を弱めたとするもの

-**巨大衝突説**…このような衛星の軌道は火星の赤道に対して平面軌道であるので、1つまたは複数の微惑星の捕獲（捕獲されたのち破壊されたこと）によって形成された小さな円盤から、おそらくそれらは降着したとするもの。巨大惑星の不規則衛星と小天体の衛星では周惑星円盤からのマテリアルの捕獲は、連星交換反応か、火星近くを通過している2つの微惑星の衝突の際に起こる

小天体の衛星

- ◆ 小惑星帯とカイパーベルトの連星の相対的なサイズと軌道は、そのようなペアのいくつかは衝突によって形成されたことをほのめかしており、一方で他のものは、3つかそれ以上のオブジェクトが接近し、2連星のペアが、1つかそれ以上のオブジェクトに力学的なエネルギーを重力的に移すことができたときに形成される。→？

→小天体の衛星について…