

<問3: 後期重爆撃期、Nice modelとは何か?>



**Origin of the cataclysmic Late  
Heavy Bombardment period of the  
terrestrial planets**



地球型惑星が受けた激しい後期重爆撃の起源



神戸大学 M1 松本 恵里



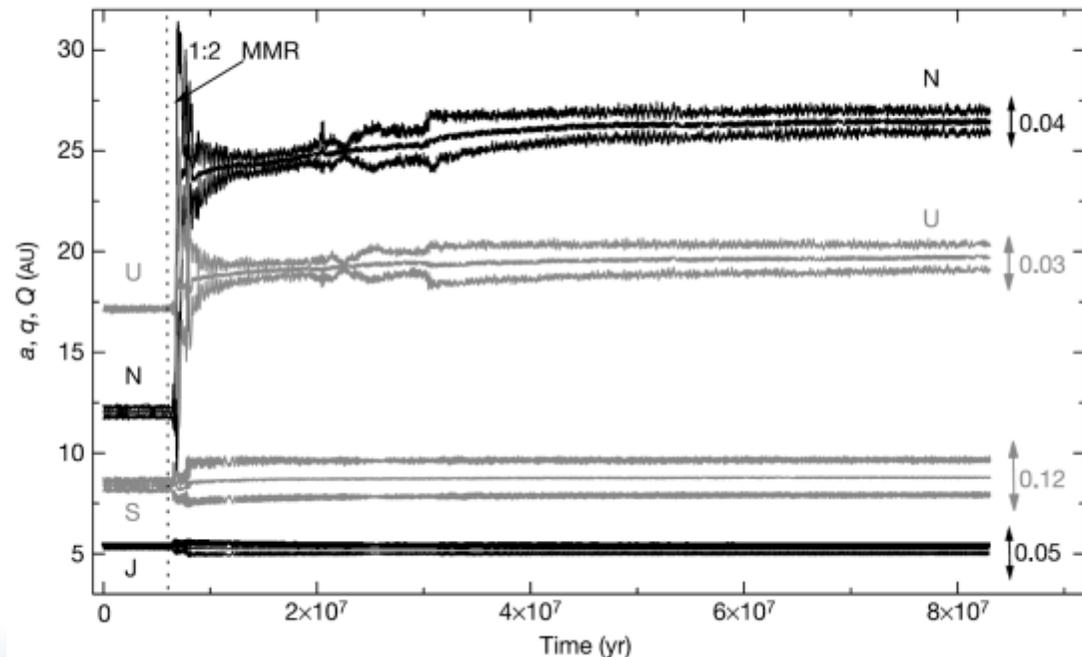
# 先行研究

## ◆ 「太陽系の巨大惑星の軌道構造の起源」

既存の惑星形成論：天王星、海王星形成の説明が困難  
(位置、離心率、傾斜角)



**ニース・モデル**：太陽系初期の惑星移動モデル





## 後期重爆撃期(LHB) :

41億年～38億年前、太陽系の内側の惑星に微惑星が激しく衝突した期間のこと（地球誕生は46億年前…）

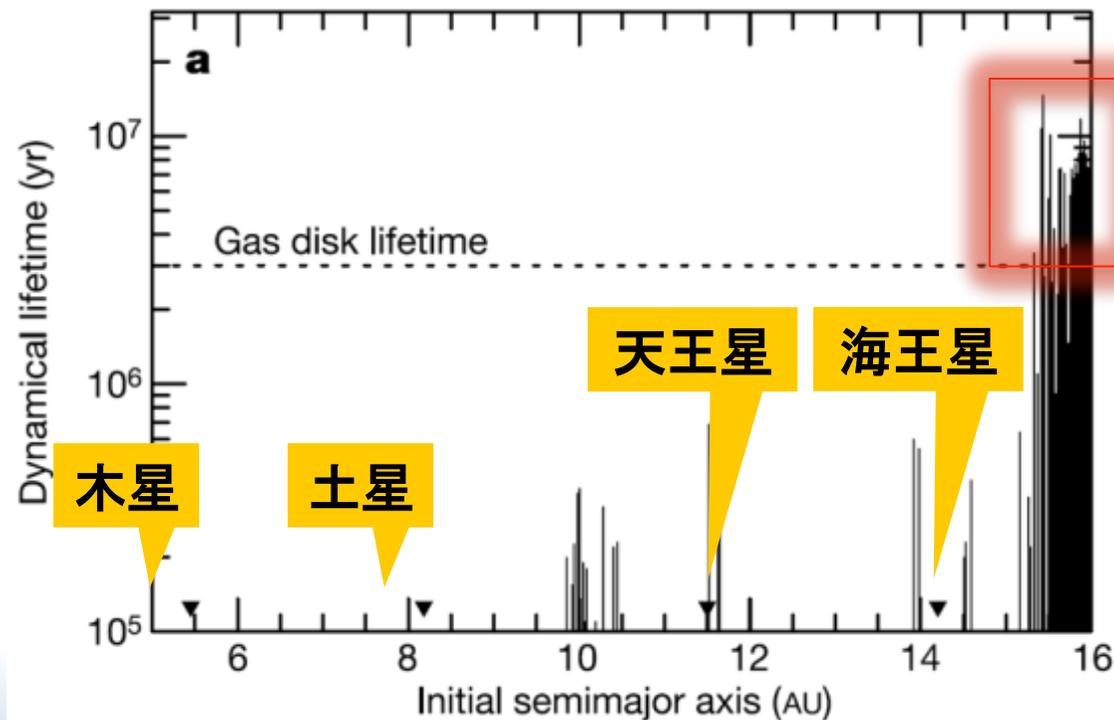
- 5～8億年遅れたのには何か理由が？
  - ◆ 長く静穏な時期の後に起こった巨大惑星の急速な移動が、LHBの引き金になったと考えられる
  - 惑星軌道の外側の微惑星円盤が不安定化したことが、微惑星が太陽系の内側へ激しく送り込まれた原因
  - ◆ ニース・モデルが正しければ、LHBを説明できる？
  - ◆ 惑星移動過程を遅らせる包括的なメカニズムがあるか？
- 
- 

# 円盤の位置とLHBのタイミング

## a. 力学的寿命と初期長軸半径

- ◆ 惑星円盤のもつ粒子群は $\sim 15.3$  AU以降で、原始太陽系星雲(ガス)よりも力学的寿命が長い

➤ 内端は海王星から $1\sim 1.5$  AU離れたところが望ましい

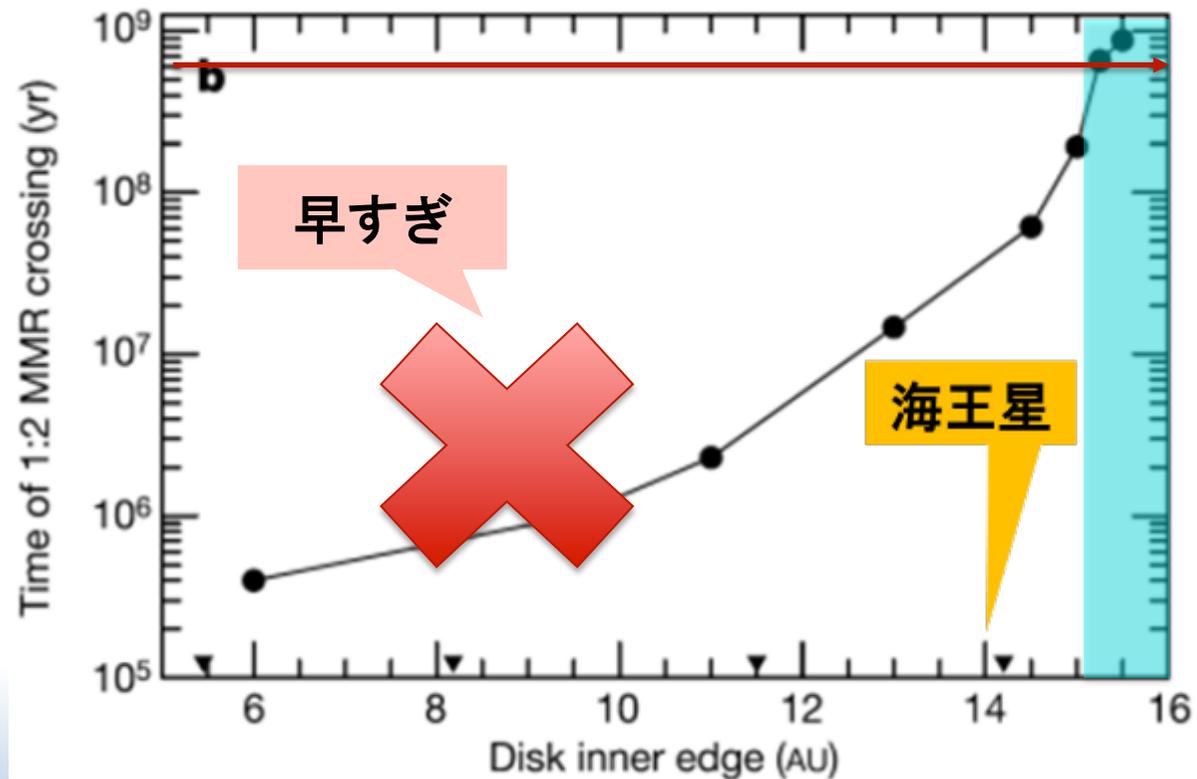


## b. 円盤の内端の位置と1:2MMRするまでの時間

➤ 起こったのは惑星形成から、およそ8億年後

◆ 時間は以下に依存する

- ① 共鳴位置からの距離
- ② 内端に近い円盤の表面密度
- ③ 円盤の内端と氷巨大惑星の相対位置



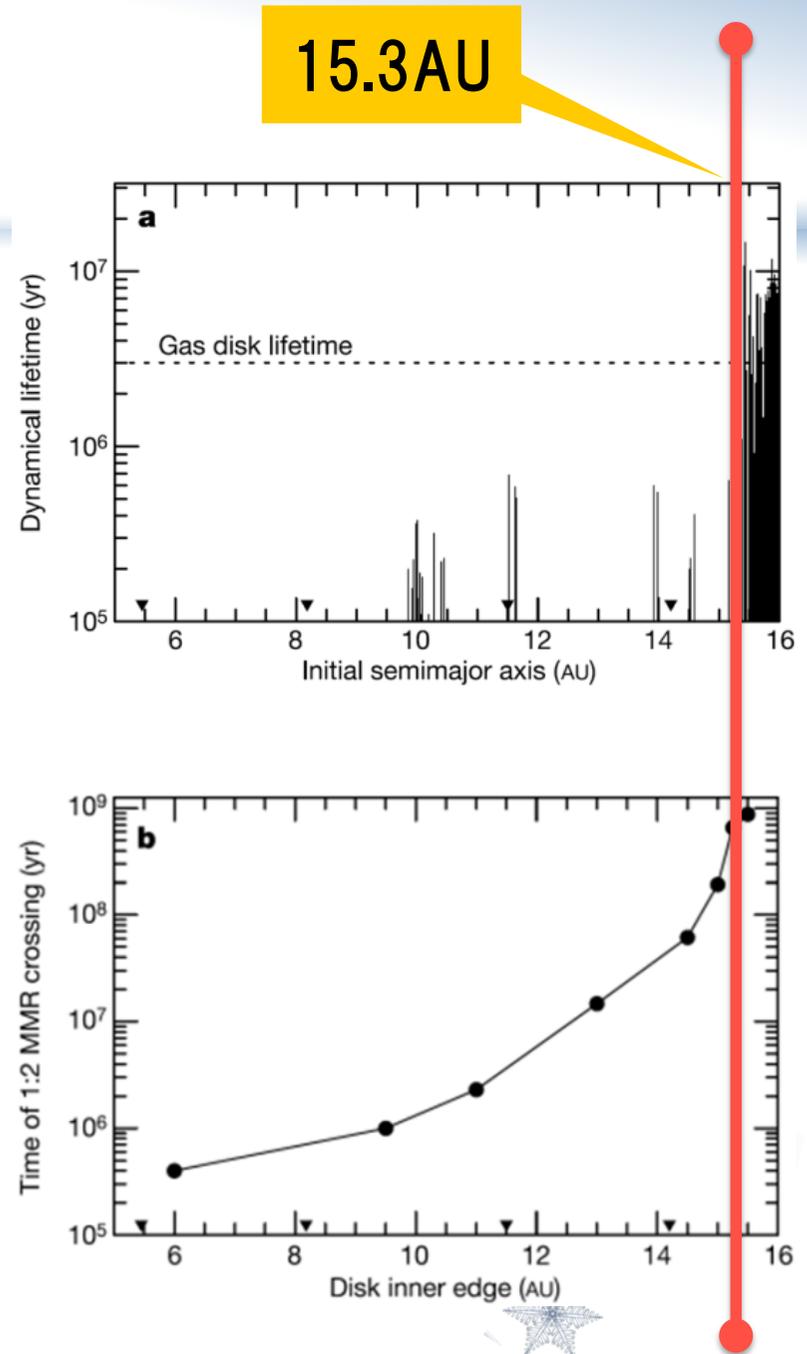
二つを比較して・・・

◆ 惑星円盤の内端の位置と、  
1:2MMRする時間は、強い相互  
関係にあるといえる

◆ 15.3AU付近に内端をもつ円盤  
の共鳴点の通過は8.8億年頃で  
あることがわかった

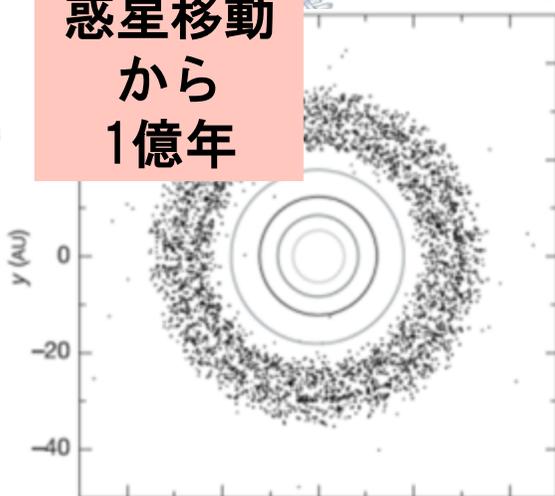
◆ この円盤と惑星軌道の相互作用  
を計算していく

➤ ニース・モデル

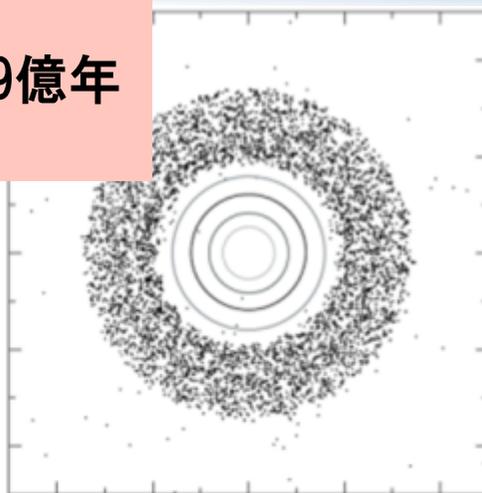


# 初期平均軌道平面上の惑星軌道と円盤粒子の位置

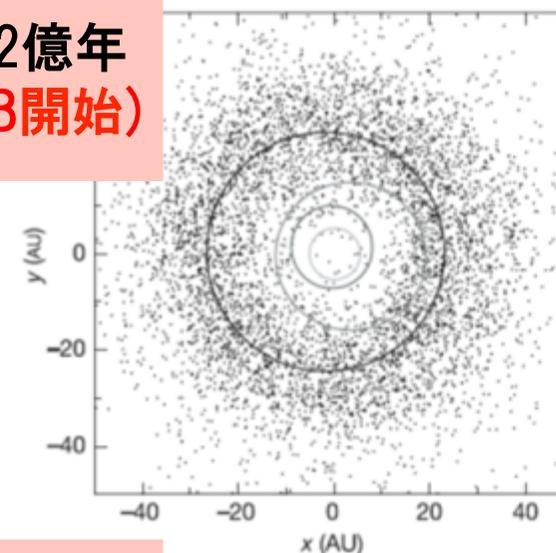
惑星移動  
から  
1億年



8.79億年



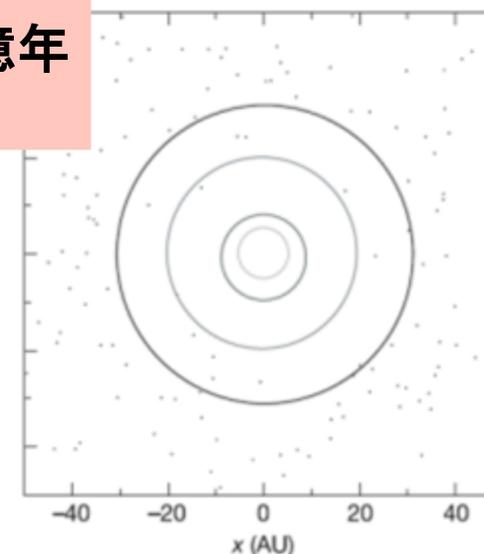
8.82億年  
(LHB開始)



- ◆ ニース・モデルでは、走らせてから11億年まで共鳴を遅らせることができた（図は8回行ったうちの1つ）

- ◆ 始めのLHBのタイミングの見積もりとあっている

10.82億年



# 惑星移動と太陽系の内側に向かう質量flux

土星の遠日点距離

木星の遠日点距離

土星の近日点距離

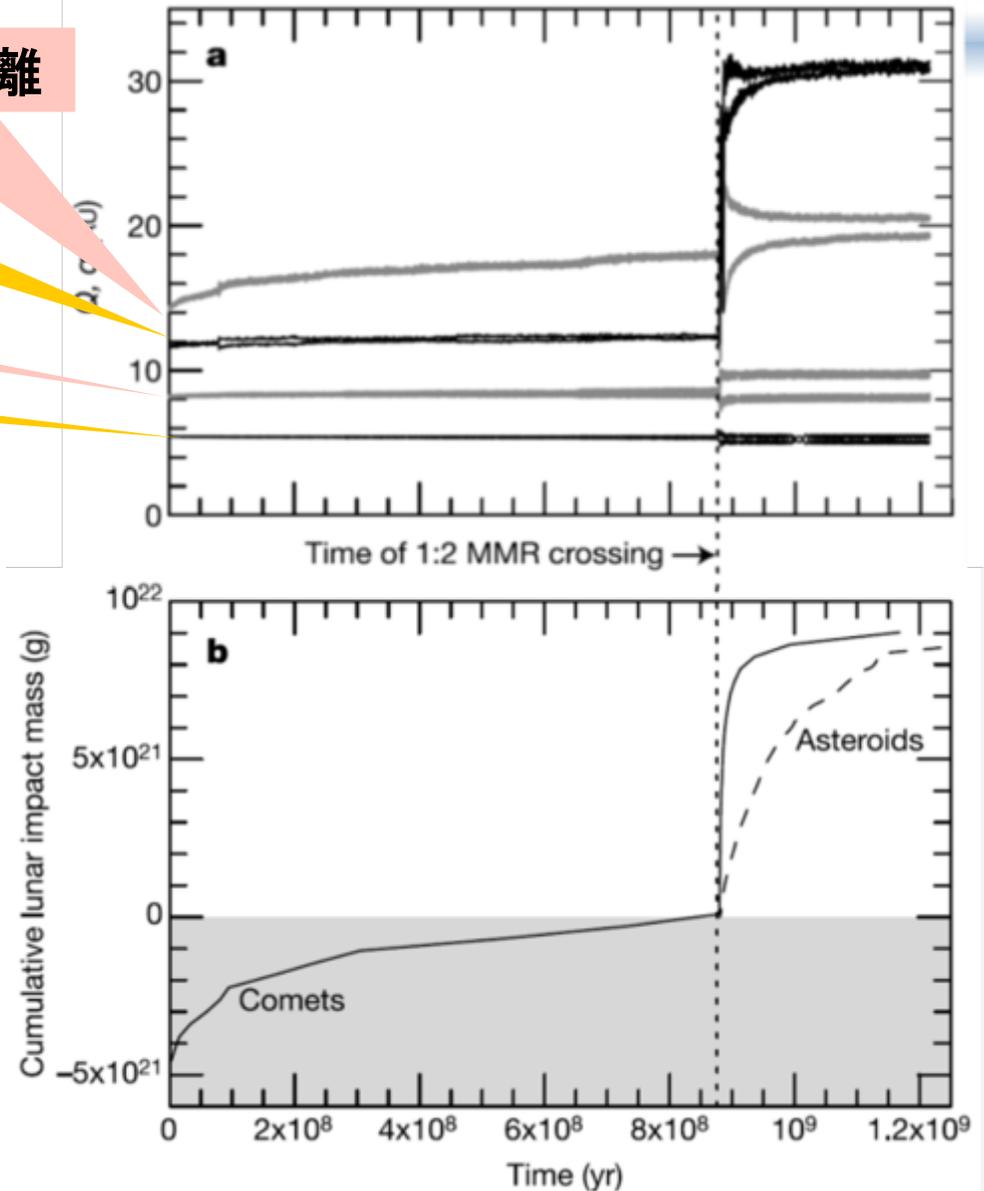
木星の近日点距離

◆ 巨大惑星はゆっくり移動していた

- 8.8億年持続
- そこで木星と土星が1:2MMRとなる

◆ 共鳴点通過後、

- 軌道は不安定
- 円盤は散逸



◆ 月にあたった物質の量を示している

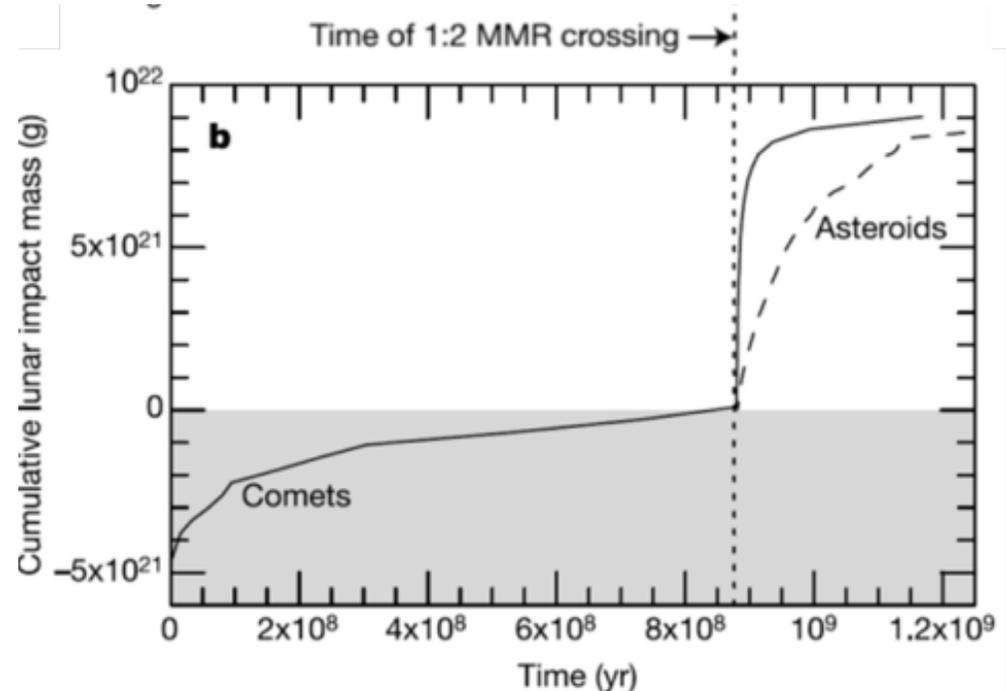
➤ 総量は  $9 \times 10^{21}$  g

➤ LHB期に形成された、月の盆地の数とサイズ分布から見積もった総量は  $6 \times 10^{21}$  g

◆ 彗星と小惑星を予測しているが、正確ではない

➤ 質量流入は小惑星帯からの物質流入も含んでいる

◆ 後期重爆撃期は、まだ確かなものではない…



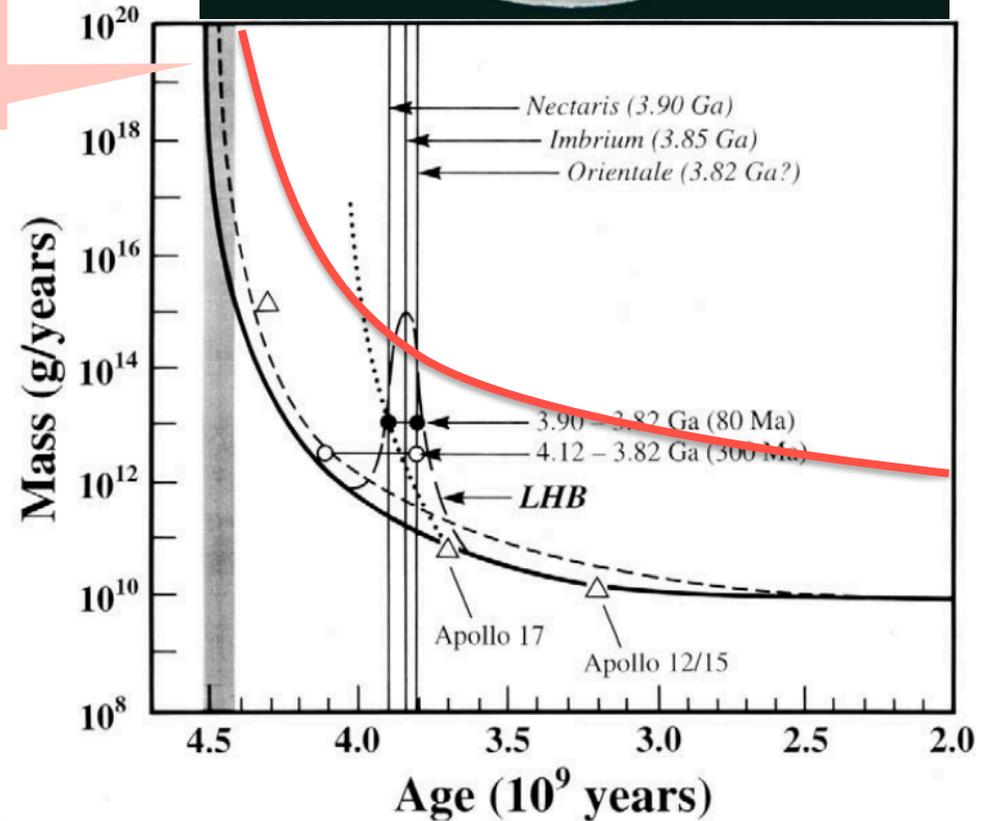
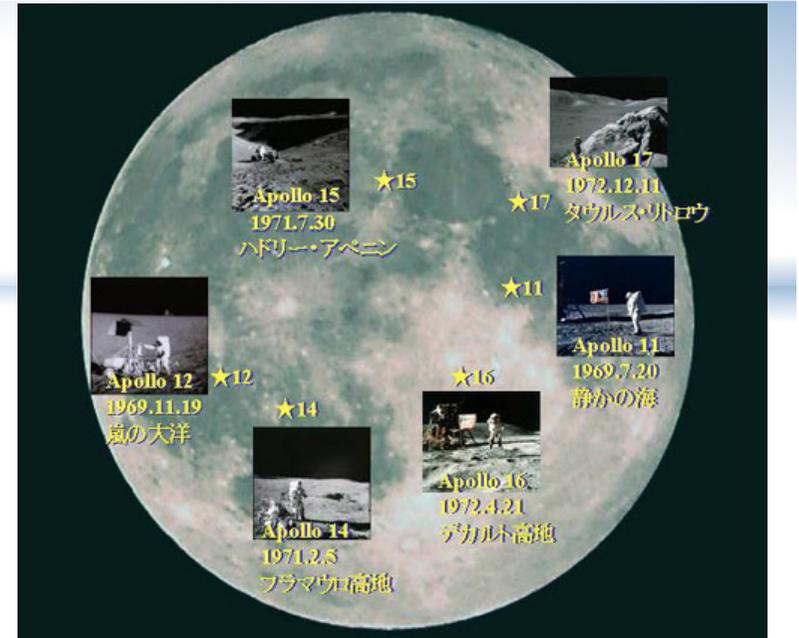
# LHBへの反論

◆年代測定を行った月の石は一部

➤ 全球を調べた訳ではない

◆この **本当はこうかもしれない**  
い訳ではない？

- 局所的で少ないサンプルからの見積もり
- 月の盆地の数やサイズの誤り



## <問3: 後期重爆撃期、Nice modelとは何か?>

◆ ニース・モデルは、微惑星と巨大惑星の相互作用で巨大惑星の軌道が動いたことを表すモデル

➤ 最近観測された惑星軌道、LHB、メインベルト小惑星の現在の軌道分布、木星トロヤ群の起源を説明する

◆ LHBは太陽系の内側に激しく微惑星が降ってきた期間

➤ 月において、ある時期に衝突が頻発した原因を説明

➤ ニース・モデルによって、裏付けを得る

➤ しかし、後期重爆撃期はなかった、という人も…

➤ 月の岩石データや探査データが不十分