

# Hf-W システムにおける 巨大衝突による部分平衡化の影響

佐々木 貴教 (Takanori Sasaki) 阿部 豊 (Yutaka Abe)  
Department of Earth & Planetary Science, University of Tokyo

## Hf-W システム

- $^{182}\text{Hf} \rightarrow ^{182}\text{W}$  (半減期~9My)
- Hf: 親石性 W: 親鉄性 Hf, Wともに難揮発性  
→ metal/silicate 分離年代を示す時計!
- $t = \tau$  で分離が起こった場合  
$$\epsilon = \left[ \frac{(^{182}\text{W}/^{184}\text{W})_{\text{sample}}}{(^{182}\text{W}/^{184}\text{W})_{\text{CHUR}}} - 1 \right] \times 10^4 = f(\tau)$$
  
CHUR: 仮想的な地球物質  
→  $\epsilon$  を測定すれば  $\tau$  が求まる ( $\epsilon$  (地球)~2,  $\epsilon$  (火星)~4)

## Yin et al., 2002

- 1回の Giant Impact で完全な時計のリセットが達成されると仮定  
→ 地球のコア形成は 30My 以内に起こった

## 本研究の目的

時計のリセットが不十分な場合どうなるのか?  
Partial Resetting を起こす複数回の Giant Impact が Hf-W システムに与える影響について考察する

## 本研究のまとめ

1. Partial Resetting を考慮すると、惑星形成年代の推定値は大きく変動しうる
2. 火星は Resetting Ratio が6割を超えるような大きな平衡化イベントを経験している必要がある
3. 地球形成には2割以上のリセットを起こす、複数回の Giant Impact が必要である
4. ただし、2割以上の平衡化を実現することは容易ではない

## モデル

- 原始惑星形成まで (図1) Giant Impact (図2)

衝突する微惑星の体積の k 倍の体積分がリセット

$$\epsilon_{n+1} = k \cdot \frac{dV}{V} \cdot \epsilon(t) + (1-k) \cdot \frac{dV}{V} \cdot \epsilon_n$$

$\epsilon_n$ : 微惑星が n 個集積した場合の原始惑星の  $\epsilon$

$\epsilon(t)$ :  $t = t$  で metal/silicate 分離が起きたときの  $\epsilon$

V: ターゲット天体の体積  
dV: 微惑星の体積

ターゲット天体の体積の p 割がリセット (p: Resetting Ratio と定義)

$$\epsilon_{n+1} = p \cdot \epsilon(t) + (1-p) \cdot \epsilon_n$$

$\epsilon_n$ : Giant Impact が n 回起きた場合の地球の  $\epsilon$

$\epsilon(t)$ :  $t = t$  で metal/silicate 分離が起きたときの  $\epsilon$

1回目の Giant Impact は 10My で起きたとし、2回目以降は等間隔での衝突を仮定

## 平衡化の割合の見積もり

- Giant Impact の際に、インパクターのメタルが小さな球粒に分裂
- 各粒は、シリケートメルト中を Stokes 沈降しながら W をコアに持ち去り、右図の中空円柱の体積分だけ時計がリセットされる

$$V_{\text{reset}} = \int_{r_{\text{min}}}^{r_{\text{max}}} 2\pi r \cdot \sqrt{\kappa t} \cdot H dr, \quad \tau = \frac{2r}{v}$$

$\kappa$ : シリケートメルトの拡散係数

H: シリケートメルトの深さ

v: Stokes 沈降の速度

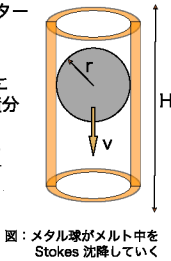
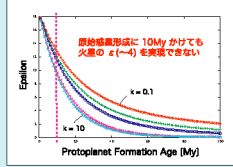


図: メタル球がメルト中を Stokes 沈降していく

図1. 原始惑星形成年代と  $\epsilon$  の関係

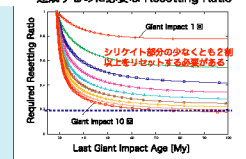


## 結果1

原始惑星が Giant Impact を受けずにそのまま残った天体を火星だと仮定すると  
↓  
火星は、形成後に大きな平衡化イベント (コア形成) を経験する必要がある

火星のコア形成で何割のリセットを実現すれば、現在の火星の  $\epsilon$  (~4) を達成できるか (図3)

図2. 最後の巨大衝突の年代と、地球の  $\epsilon$  (~2) を達成するのに必要な Resetting Ratio



## 結果2

1. 惑星形成年代は、Giant Impact の回数や Resetting Ratio に大きく依存する
2.  $\epsilon$  の観測値から、要求される Resetting Ratio の下限が求まる

図3. 火星のコア形成年代と、火星の  $\epsilon$  (~4) を達成するのに必要な Resetting Ratio

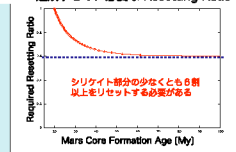


図4. 球粒の半径と、その時に実現しうる Resetting Ratio の関係 (全球粒が同じサイズと仮定)

