

The Effect of Partial Resetting on Hf-W System by Giant Impacts

佐々木貴教 (東大・理) 阿部豊 (東大・理)

Contents

- 1. Hf-W Chronometry
- 2. Previous Study
- 3. Our Study
- 4. Results
- 6. Discussion
- 5. Conclusions

1. Hf-W Chronometry

- $^{182}\text{Hf} \rightarrow ^{182}\text{W}$ (半減期 $\sim 9\text{My}$)
- Hf : lithophile W : siderophile
- Hf, Wともにrefractory

metal/silicate分離年代を示す時計！

Basic Equation

- $t = \tau$ でコア形成 (metal/silicate分離)

$$\frac{\left(\frac{{}^{182}\text{W}}{{}^{184}\text{W}}\right)}{\left(\frac{{}^{182}\text{W}}{{}^{184}\text{W}}\right)_{ch}} = 1 + 10^4$$

$$= 10^4 \frac{{}^{180}\text{Hf}}{{}^{182}\text{W}}_{ch} \cdot \frac{\left(\frac{{}^{180}\text{Hf}}{{}^{184}\text{W}}\right)}{\left(\frac{{}^{180}\text{Hf}}{{}^{184}\text{W}}\right)_{ch}} = 1 + \frac{{}^{182}\text{Hf}}{{}^{180}\text{Hf}} (e^{\lambda t} - e^{\lambda \tau})$$

$$\square \quad \square_{82\text{W}}(t) = Q \cdot f^{\text{Hf/W}} \cdot \frac{{}^{182}\text{Hf}}{{}^{180}\text{Hf}} (e^{\lambda t} - e^{\lambda \tau})$$

ch : 仮想的な始源物質 (CHUR)

$Q, f^{\text{Hf/W}}$: 測定可能量

2. Previous Study

- Lee & Halliday, 1995

- 地球のコア形成年代 $t \sim 62 \pm 10 \text{ My}$

- Yin et al., 2002

$\frac{^{182}\text{Hf}}{^{180}\text{Hf}}$ の値が下方修正

→ 地球のコア形成年代 $10 < t < 30 \text{ My}$

地球のコア形成は30My以内に起こった

■ 使われていたモデルは…

1. Two-stage model

$t = \tau$ での1回のコア形成で時計が決まる

2. Magma ocean model

コア形成はある割合で定常的に起こる

[Harper & Jacobsen, 1996]

→ 地球のコア形成年代 $10 < t < 30 \text{ My}$

[Yin et al., 2002]

■ 注目すべきこと

- 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している



- partial resetting を起こす複数回の Giant Impact を考えるとどうなるのか？

結論：

- コア形成年代は定まらない
- 惑星形成に対する制約条件が定まる

3. Our Study

- 暴走成長：連続的 metal/silicate 分離
- 火星（原始惑星）のコア形成について
- Giant Impact：partial resetting・複数回
- 実際の resetting ratio の見積もり
- Giant Impact の様相についての考察

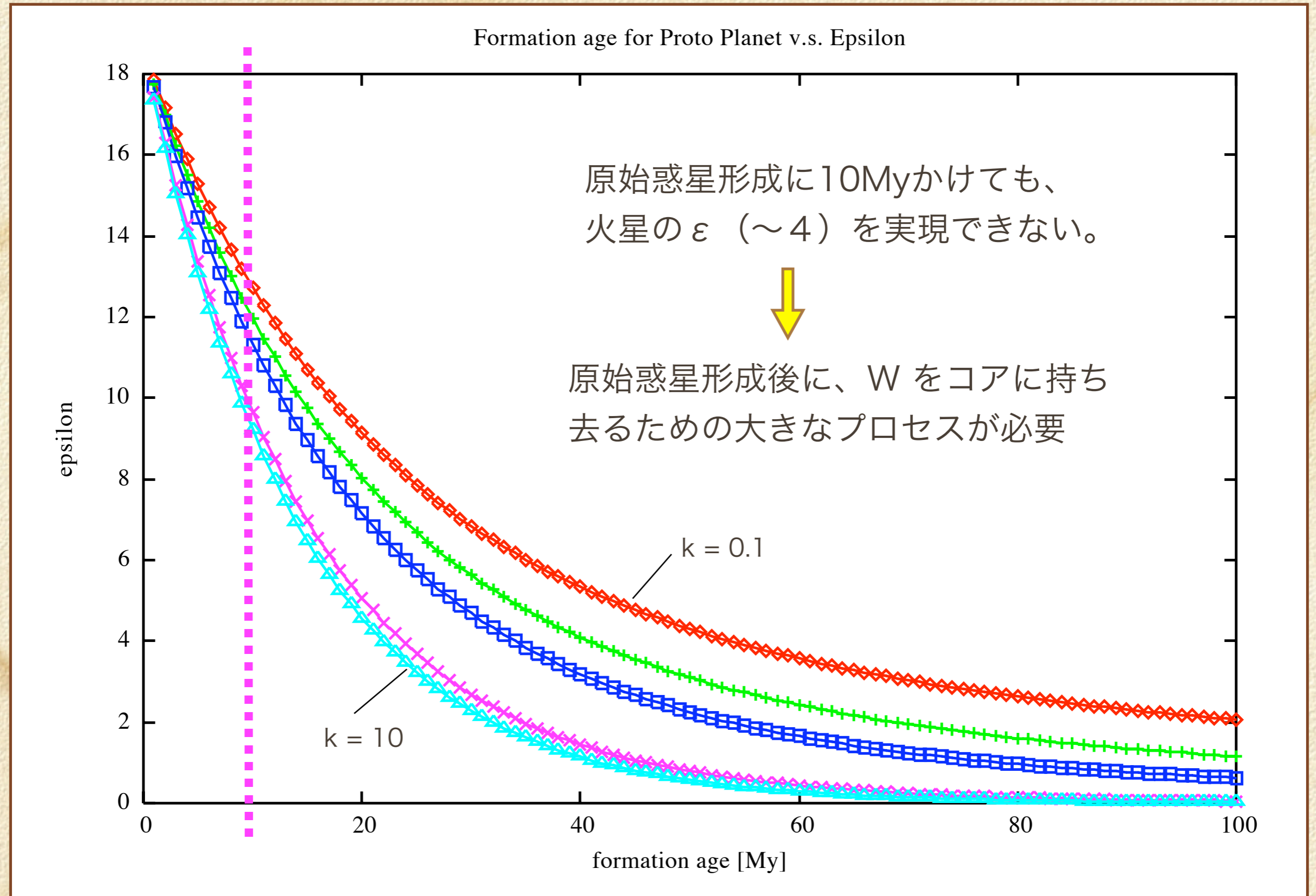
- 原始惑星形成まで（暴走成長ステージ）
 - ・ 微惑星が衝突するごとに、**微惑星の体積の**
- **k倍の体積が平衡化**され時計がリセットされる

- Giant Impact ステージ
 - ・ **Partial resetting ratio** をパラメータとして
 - n回の Giant Impact** を経験させる
 - ・ 1回目の Giant Impact：**10My**
 - ・ 2回目以降：**等時間間隔で衝突**

4. Results

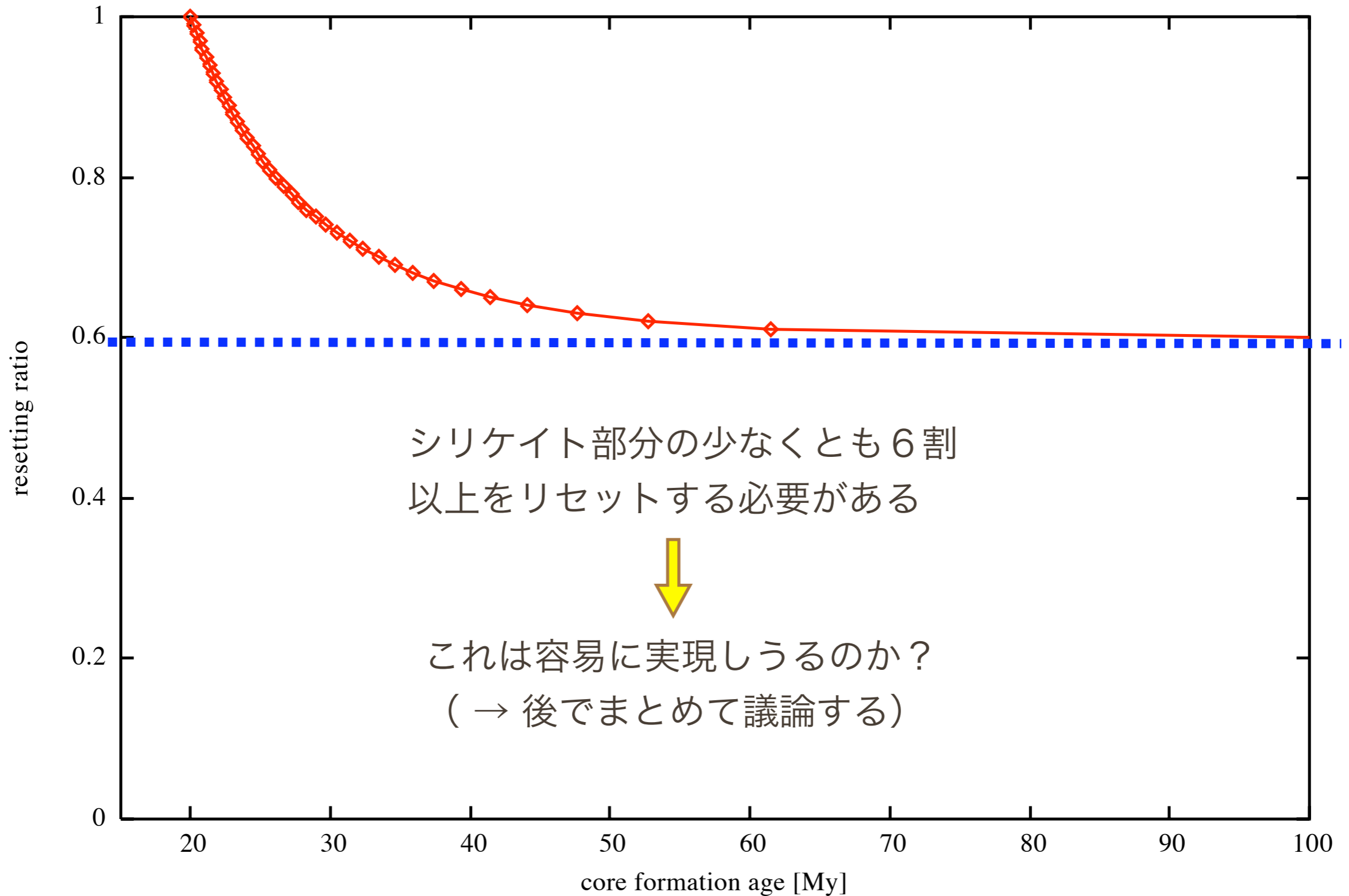
- 図1. 原始惑星の H_f/W 比
- 図2. 火星のコア形成について
- 図3. 1回の Giant Impact について
- 図4. 複数回の Giant Impact について

■ 図1. 原始惑星形成年代と Hf/W 比の関係



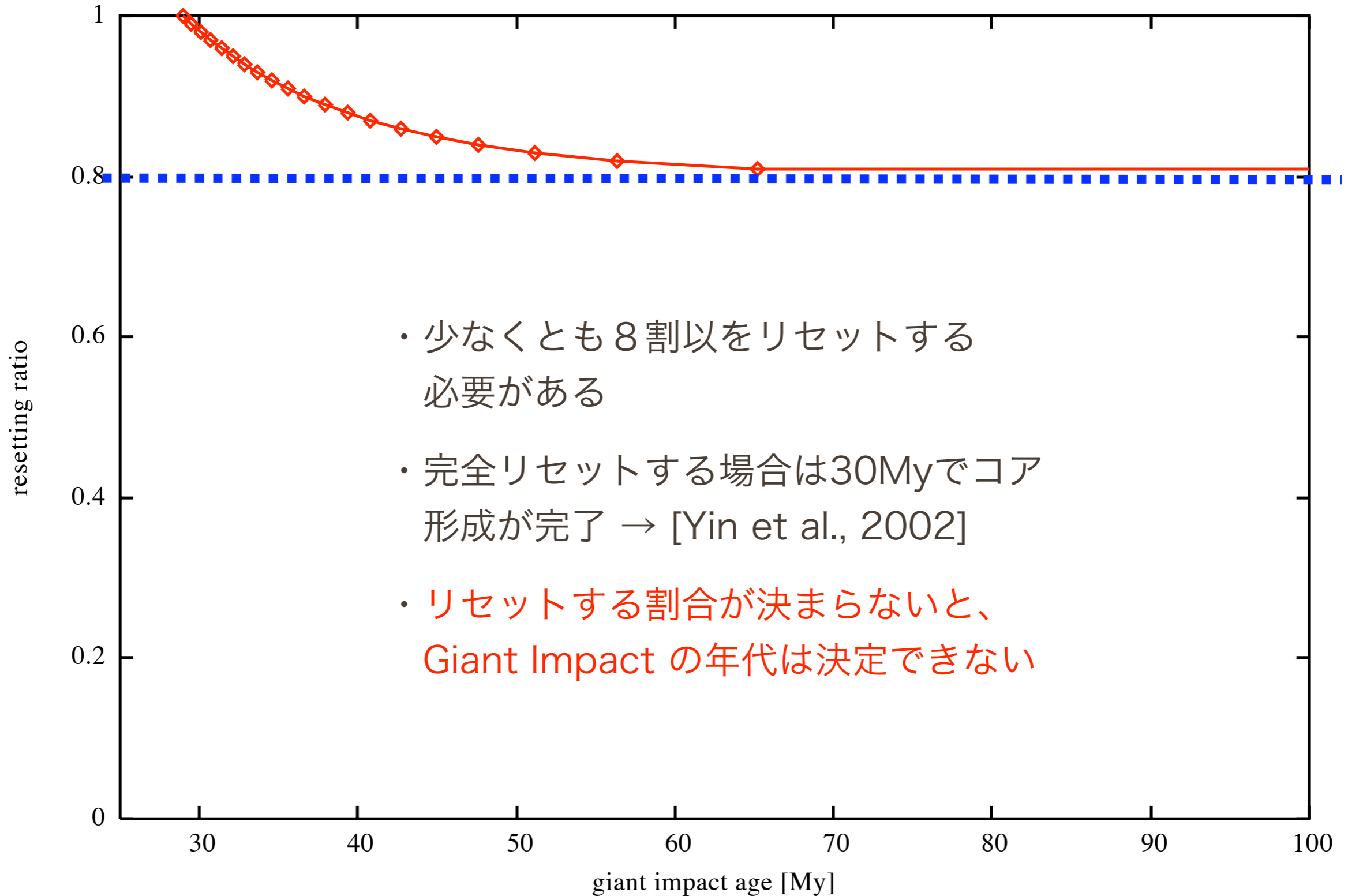
■ 図2. 火星のコア形成について

Mars core formation age v.s. Partial resetting ratio



■ 図3. 1回の Giant Impact について

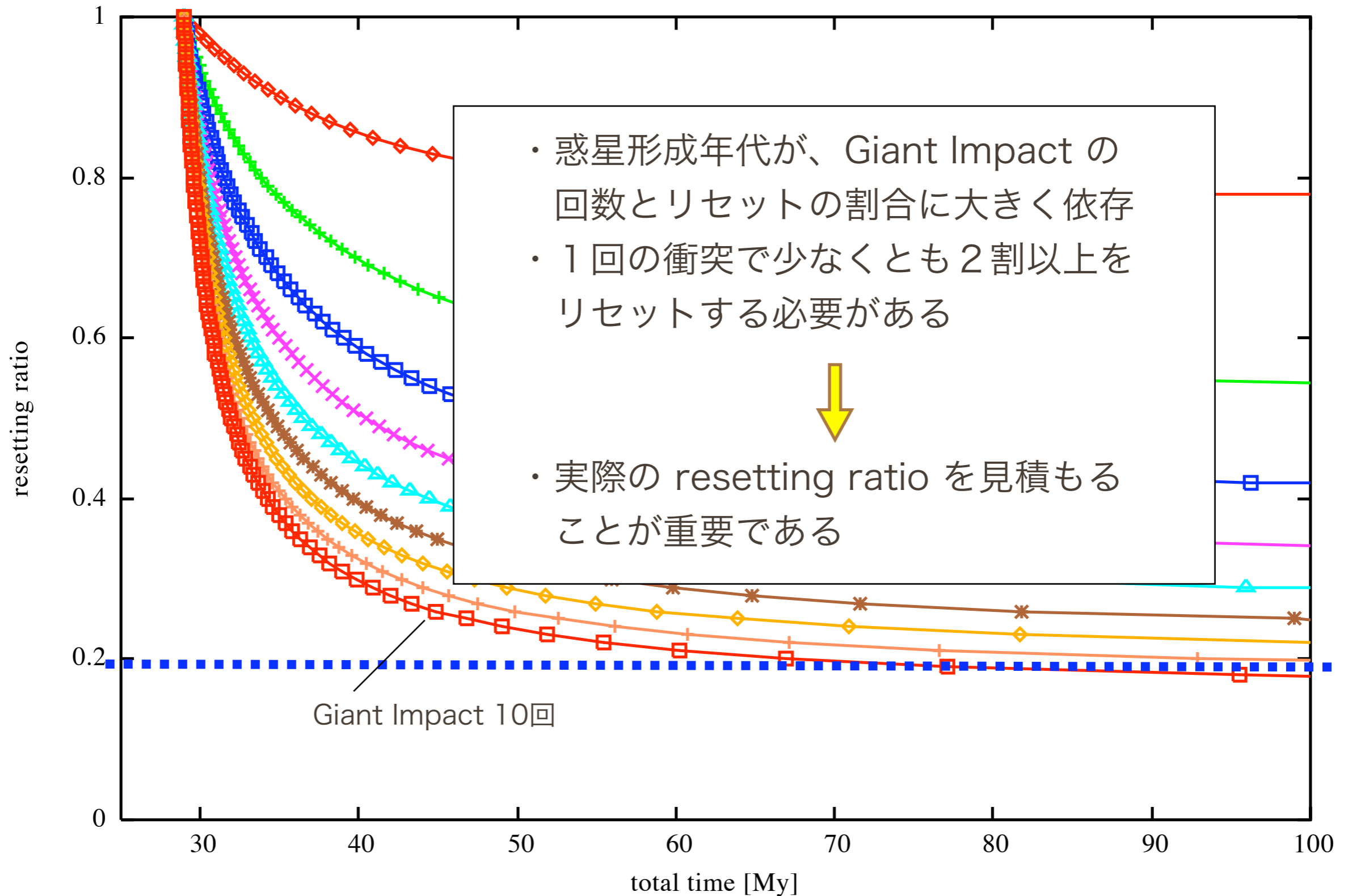
Giant impact age v.s. Partial resetting ratio



- 少なくとも8割以上をリセットする必要がある
- 完全リセットする場合は30Myでコア形成が完了 → [Yin et al., 2002]
- リセットする割合が決まらないと、Giant Impact の年代は決定できない

■ 図4. 複数回の Giant Impact について

Total time v.s. Partial resetting ratio

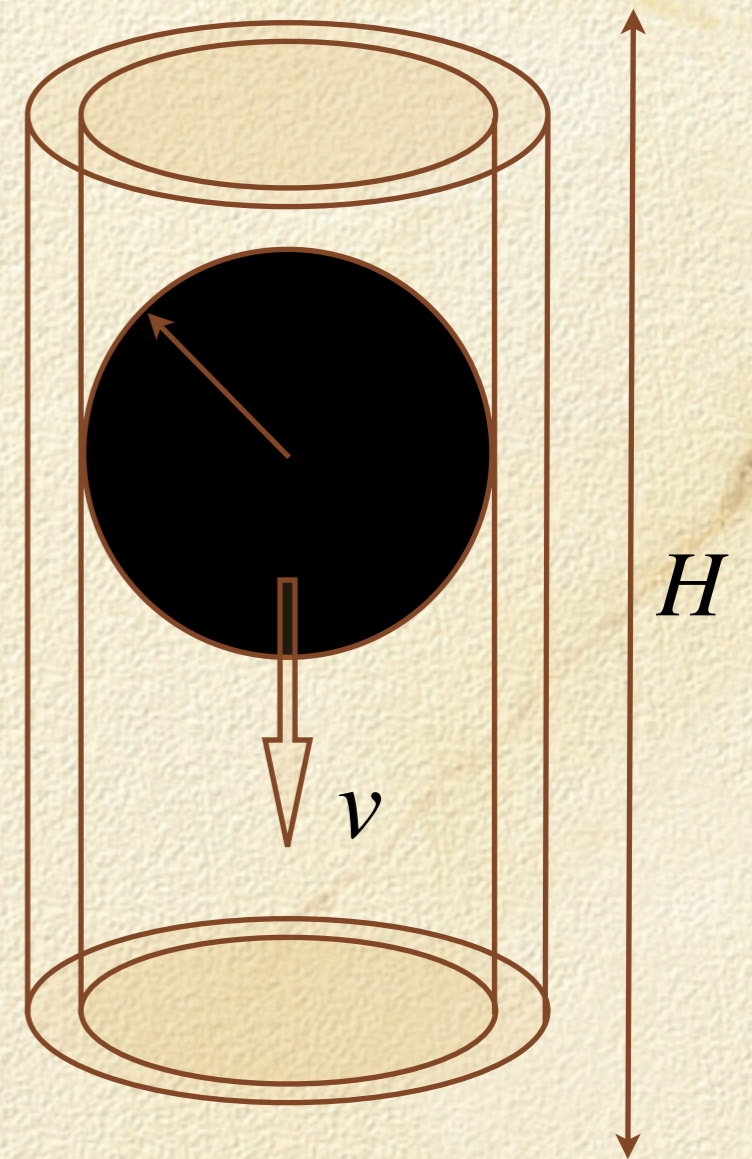


5. Discussion

- 実現されうる **Partial resetting ratio** を見積もる
- Results から要求される resetting ratio は
 - ・ 火星のコア形成 : **6 割以上**
 - ・ 一回の Giant Impact の場合 : **8 割以上**
 - ・ 複数回の Giant Impact の場合 : **2 割以上**

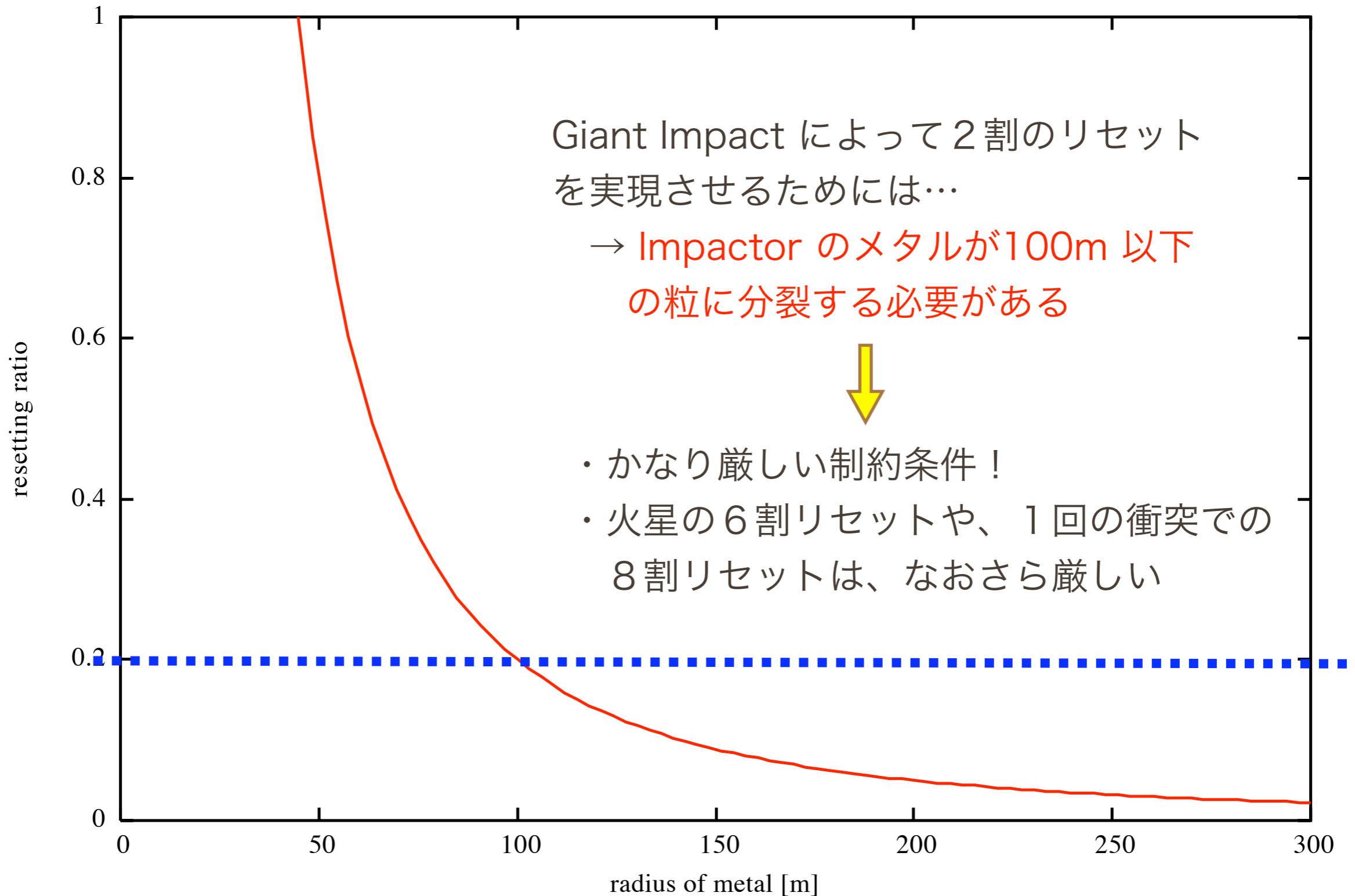
■ Partial resetting ratio の見積もり

- Impactor のメタルが n 個の半径 r の球粒に分裂したとする
- 各粒は **Stokes 沈降**しながら時計をリセットさせていく
- 右図の中空円柱の体積分だけメタルがシリケートメルト中から W をコアに持ち去る



■ 図5. Partial resetting ratio の見積もり

Radius of metal particle v.s. Partial resetting ratio



6. Conclusions

- Partial resetting を考慮すると、コア形成年代は一意には定まらない
- 火星のコア形成時には、6割以上の時計のリセットを起こす必要がある
- 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
- ただし、2割以上の平衡化は容易ではない