

# Meteoric and other constrains on the internal structure and impact history of small asteroids

Edward R. D. Scott, Lionel Wilson  
Icarus, 174, 46-53, 2005

## 論文紹介

第3回衝突研究会TVセミナー

2012/7/5

担当：長岡（神戸大M1）

# 1. Introduction

小惑星の内部構造や衝突史に関して異なる見解がある

- 探査機イメージや地理的データによればエロス・ガスプラ・イダのS型小惑星は内部に割れ目のある一枚岩天体(Sullivan et al., 2002)
- 小惑星衝突シミュレーション・自転速度などによればエロス・ガスプラ・イダのサイズの小惑星はラブルパイル天体(重力的に破片が結合している集合体) (Richardson et al., 2002)
- 小惑星科学や地球衝突の危険緩和のためにもこれらを解決することは重要(Asphaug et al., 2002; Cellino et al., 2002)

# 1. Introduction

## エロス・ガストラ・イダが一枚岩天体だと思われる理由

- エロス : **18km**の尾根→連続した構造、内部強度を持つ  
(Prockter et al., 2002; Robinson et al., 2002)  
: バルク密度、比較的均質な質量分布  
(Yeomans et al., 2000; Miller et al., 2002; Wilkison et al., 2002)
- ガストラ : 溝(**1km**以下)の広い分布、方向、平らな面との関係  
(Thomas et al., 1994)
- イダ : **4km**の溝→遠く離れた衝突からの応力波の伝播  
(Sullivan et al., 1996)

密度、自転速度、形状、小惑星衛星の存在、巨大クレーターから~**100m**から~**100km**サイズの多くの小惑星は重力的な集合体かもしれない(Richardson et al., 2002)

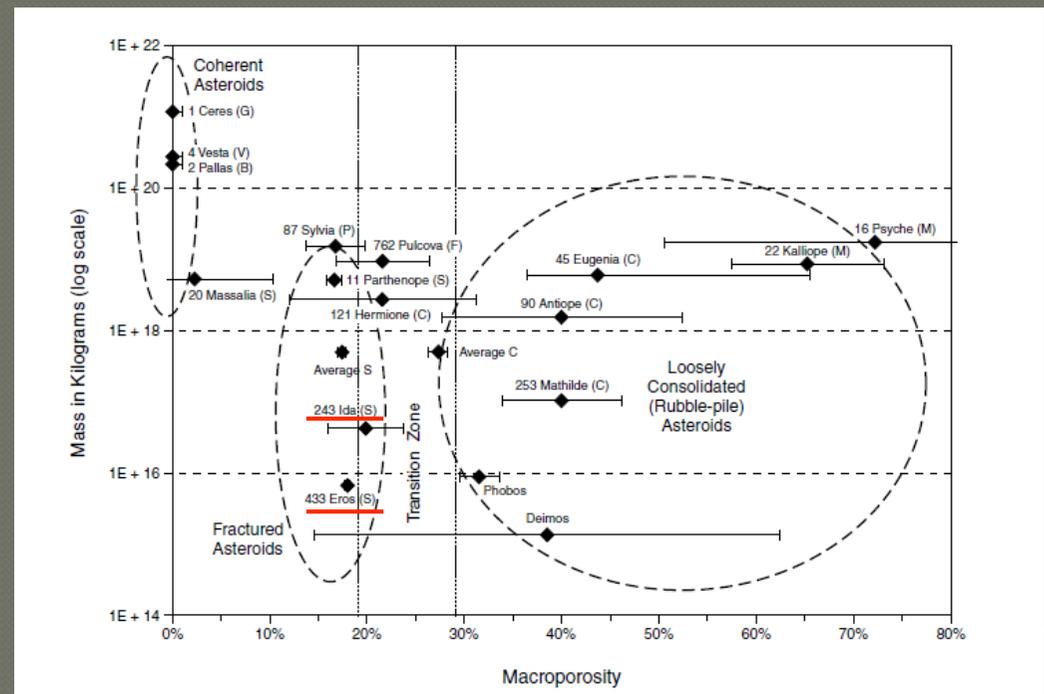
- エロス・ガストラ・イダや他の**10-50km**サイズの**S型**小惑星はラブルパイルとして形成されたが一枚岩のように変えられたかもしれない

## 2. Density and porosity of small S and C asteroids

- C型小惑星は25-50%の空隙率を持ち、ラブルパイル構造だと示唆される
- S型小惑星は15-20%で、ラブルパイル天体ではなく内部に割れ目のある天体と考えられている

(Britt and Consolmagno, 2001; Britt et al., 2002)

- エロスの空隙率：26%
- ラブルパイルの下限の空隙率は30%  
(Wilkison et al., 2002)



(Britt et al., 2002)

## 2. Density and porosity of small S and C asteroids

---

### しかし

- もし内部の空間がレゴリスで満たされれば、ラブルパイプ天体は密度が高くなるかもしれない

- レゴリスが割れ目に少しずつ落ちて溝を形成

(Hortsman and Melosh, 1989; Sullivan et al., 2002; Robinson et al., 2002)

- **Britt and Consolmagno (2001)**はレゴリス流入が摩擦によって防がれるかもしれないとしたが、**Cheng (2004)**によれば衝突励起地震によって部分的に満たされる

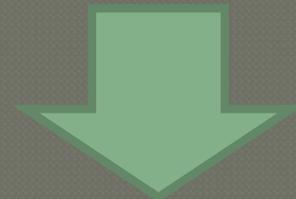
# 3. Impact history of Eros, Gaspra, and Ida

巨大な天体の衝突破壊により小惑星の族が形成された

- イダはコロニス族の1つで数十億年前に100-200kmの母天体から35kmサイズの他の小惑星と一緒に形成(Marzari et al., 1999)
- ガスプラは200-300kmの母天体から、2.1~2.5AUにおける15-20%の小惑星と一緒に形成されたフローラ族の一つ(Nesvorny et al., 2002)
- エロスはメインベルトへ移動する以前はマリア族(Zappala et al., 1997)

# 3. Impact history of Eros, Gaspra, and Ida

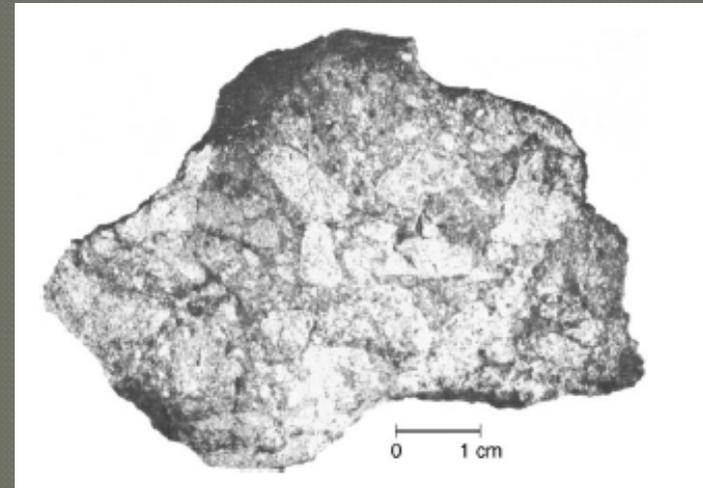
- ◎ ハイドロコードやN体計算は**2km**以上の全ての族のメンバーはラブルパイル天体だと示した  
(Michel et al. 2002, 2004)
- ◎ 約**580**万年前に形成されたカリン族はすべてラブルパイル天体(Michel et al., 2003, 2004)



**3つのS型小惑星は族形成段階でラブルパイル天体として形成された可能性がある**

# 4. Meteorite constrain on internal structure of S type and other asteroids

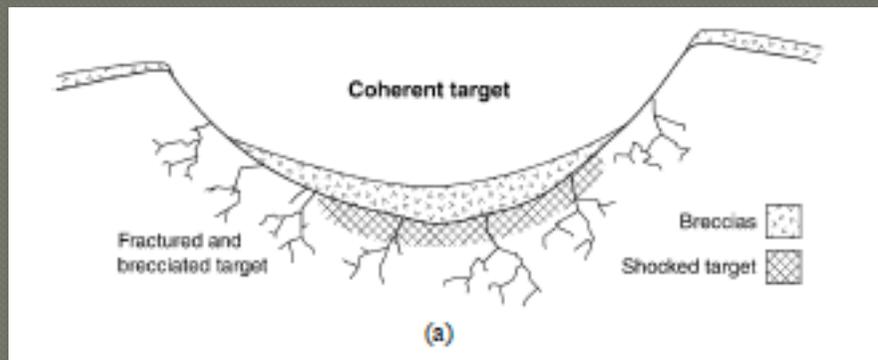
- 多くの普通コンドライトは破片角礫岩もしくはレゴリス角礫岩
- 普通コンドライトの母天体は破壊・再集積し、巨大角礫岩を形成(Crabb and Schultz 1981)
- 多くの隕石母天体は破壊や再集積を経験
- **CI, CM, CR, CH, R**グループは角礫岩化した隕石の方が多い (Bischoff et al., 2004)



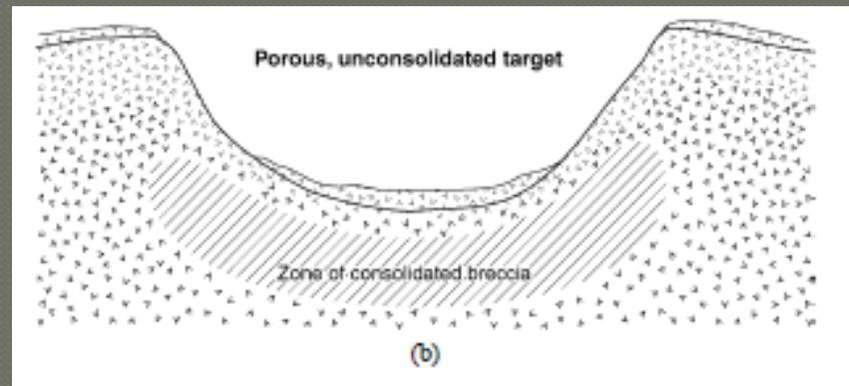
Hコンドライトのレゴリス角礫岩  
カンガス・デ・オニス隕石

# 5. Consolidation of fragmental impact debris

- ラブルパイルから一枚岩に変わることは、Holsapple et al. (2002)やRichardson et al. (2002)で簡潔に述べられている
- 衝突圧密はラブルパイルのようなものを固めうる (下図)
- 圧密の程度は衝撃度合い・揮発性物質の量・鉱物や物理的要素によって左右される



亀裂や角礫岩を形成



クレーター下で物質を圧密する

(French 1998; MacCarthy et al., 2002)

# 5. Consolidation of fragmental impact debris

- 月のレゴリスや普通コンドライトのような粉体で、**15-25GPa**の強い衝撃を与えると空隙率が低くより圧密された岩石やショックメルトを作る  
(Kieffer, 1975; Bischoff et al., 1983; Hirata et al., 1998)
- **2.5GPa**では目に見える衝撃跡はなく、ほとんどの空隙を埋め、手では壊せないくらいの岩石をつくるには十分(Hirata et al., 1998)
- ミクロンサイズのガラスブリッジ(MacCarthy et al., 2002)や金属粒子の塑性変形(Hirata et al., 1998)などによっても固められる

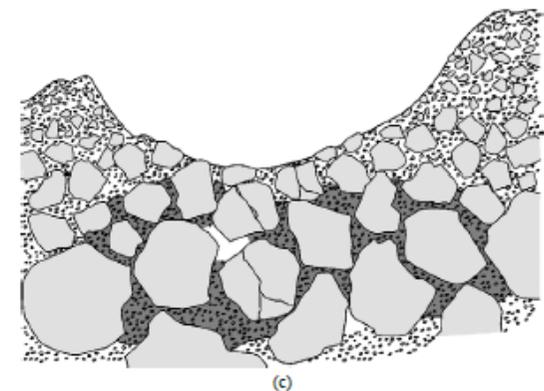
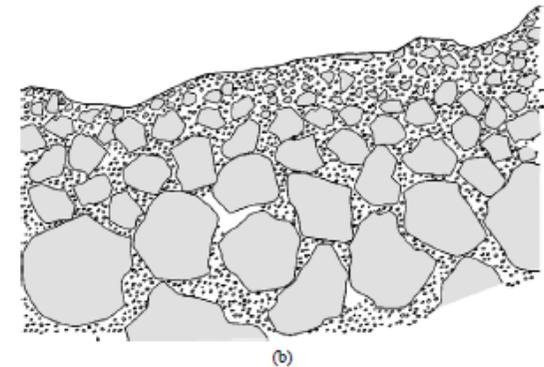
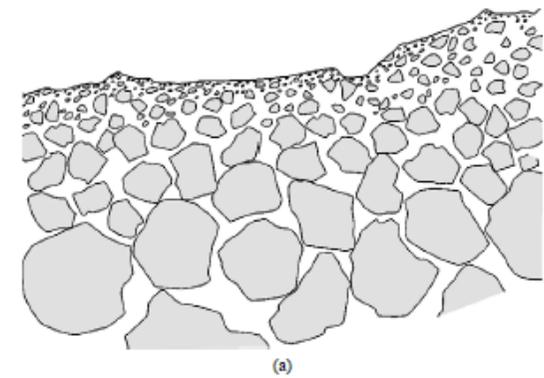


これらの過程によって小惑星は固められるだろう

# 6. Structural history of asteroids

## 6.1 Consolidation of asteroidal rubble pile by impacts

- (a) ラブルパイルとして形成後、高速度衝突によってレゴリス成長
- (b) 衝突励起地震によってレゴリス物質が部分的に内部を満たす
- (c) 巨大衝突はクレーター下の細かい物質を押し固める
  - C型小惑星に関しては揮発性物質に富むため圧密されにくい  
→ 圧力解放時にガスが放出されるため



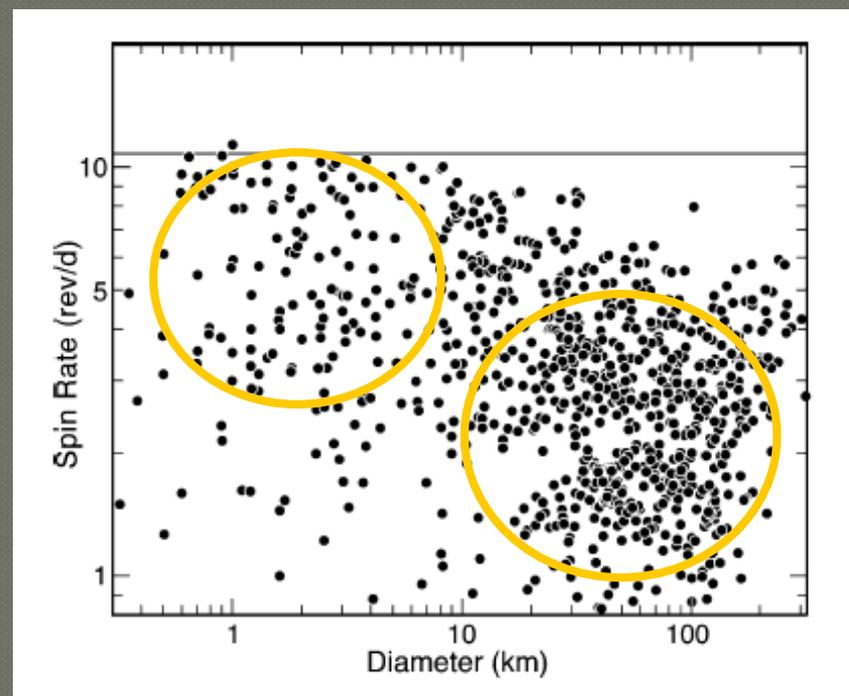
## 6.2 Other mechanism for consolidating asteroids

---

- いくつかのS型小惑星は集積後、数100万年以内放射性加熱によって1000°Cを超える温度で部分的に溶けていた  
(Benedix et al. 1998; Burbine et al. 2002)
- 熱い小惑星がラブルパイルに変えられた後、結晶成長によっても固められたかもしれない

## 6.3 Spin periods of asteroids

- 小さいサイズの小惑星は**YORP**効果によって自転角速度が変化 (Rubincam, 2000)
- 強度のない天体は引き伸ばされる (Vohrouhlicky et al., 2003; Holsapple, 2003)
- **0.6-6km**サイズの天体はラブルパイルだと示唆



## 6.4 Testing structural models

---

- エロスのプシュケ・ヒメロスクレーターでの小さな正の重力異常は大きいクレーター下の圧密と調和(Garmier et al., 2002)
- イダの溝は3大クレーターの中もしくは近くに集中しており衝突圧密と調和  
(Sullivan et al., 1996; Asphaug et al., 1996)
- 周回探査や地震計ネットワーク、高い空間解像度をもつ理論的な衝突モデルなどのさらなる小惑星の研究が必要  
(Asphaug et al., 2002; Binzel et al., 2003)