

衝突勉強会

第二回

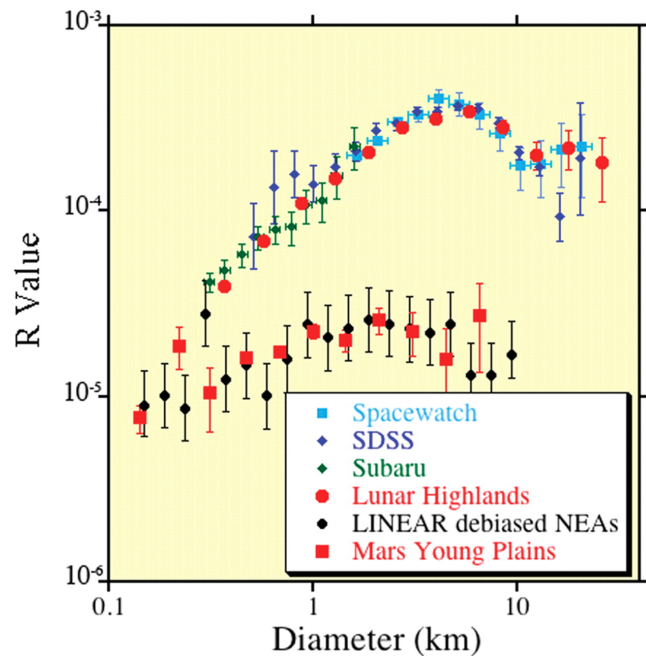
2012年12月20日(木) 16:30～

テーマ：

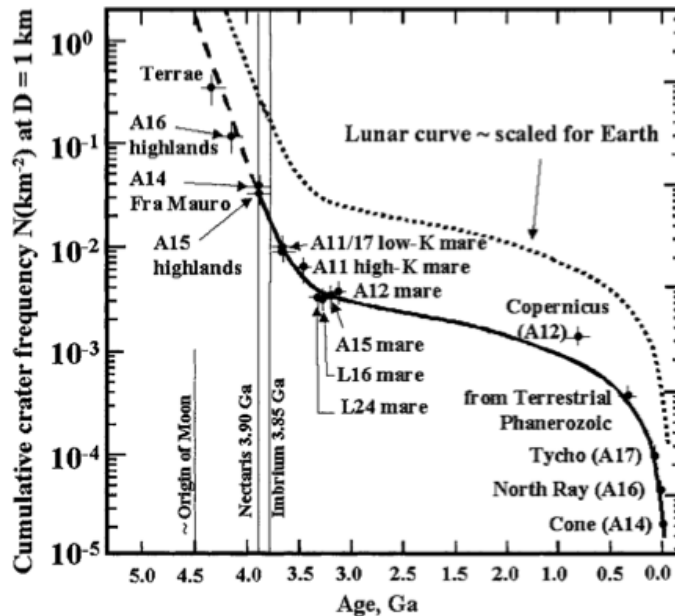
「衝突体の大気突入過程」

前回の勉強会では…

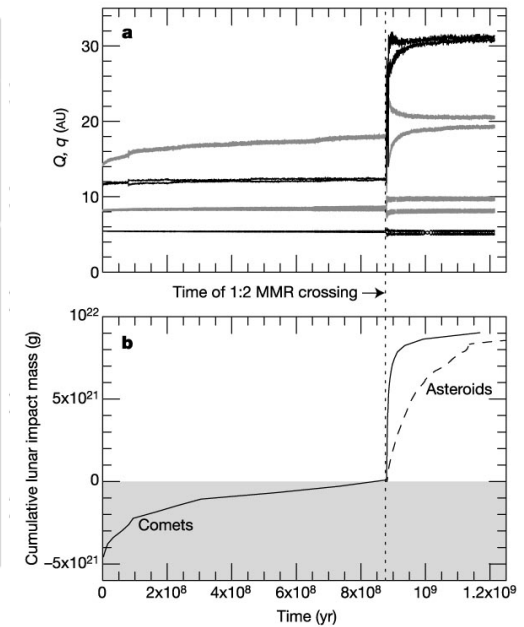
衝突天体の起源・衝突頻度・軌道進化の原因



Strom *et al.* (2005)



Ryder (2001)



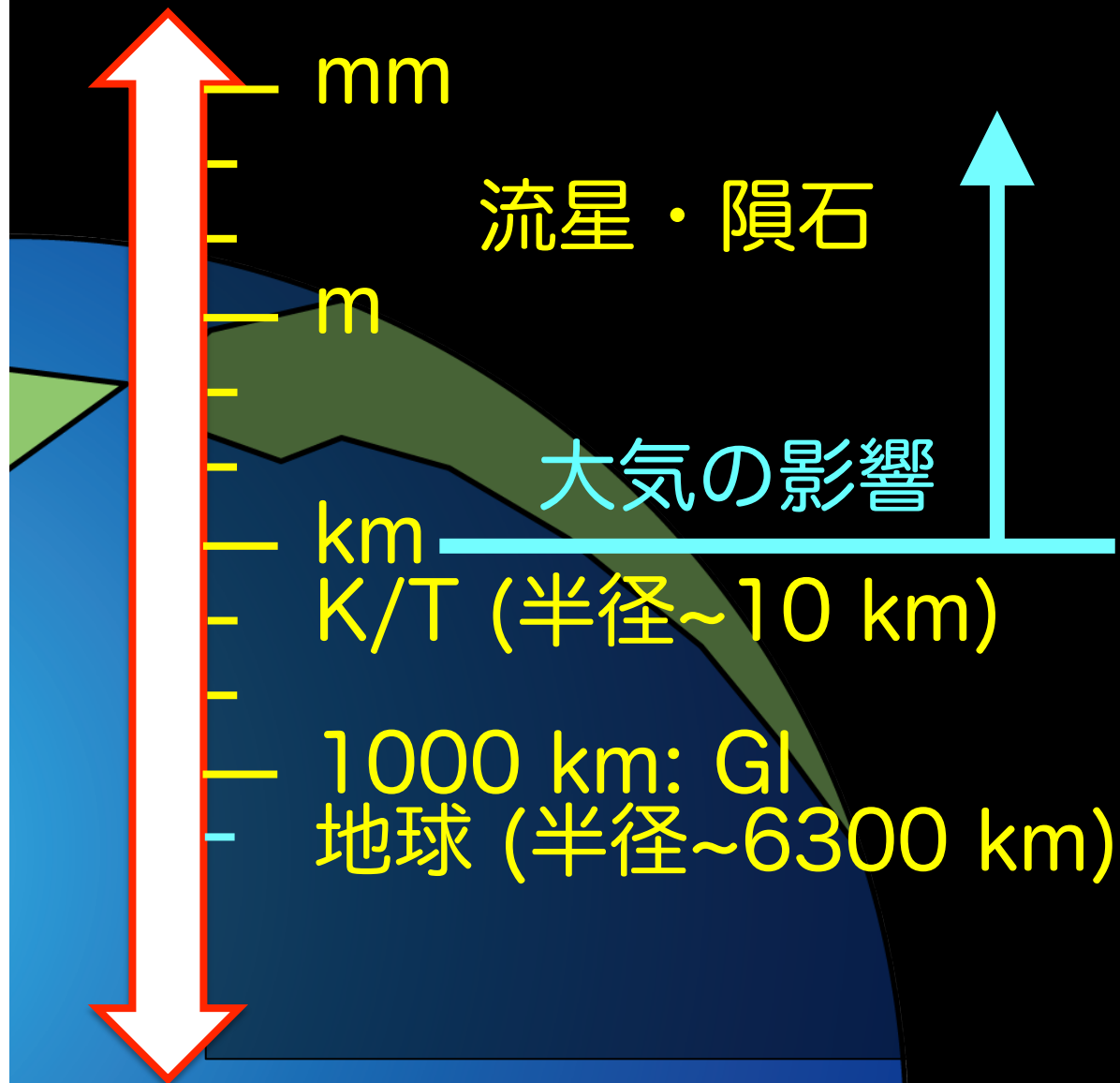
Gomes *et al.* (2005)

今回の勉強会

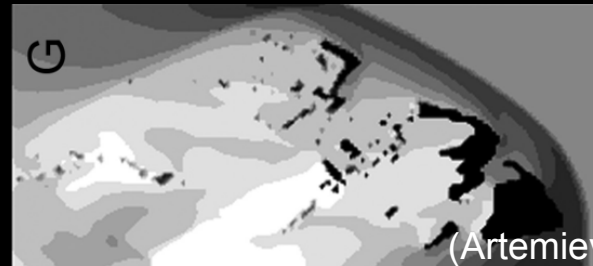
大気通過中の物理・化学過程と

その観測からわかること

大気の影響を受ける飛行体サイズ



大気の影響とは



(Artemieva et al., 2009)

一本目：<地表面でのサイズ分布> 力学的影響

1. 慣性抵抗($\propto v^2$)による減速
2. 動圧による破砕 (e.g., ~ 1 kmの天体ならサイズ $\sim 1/10$ に)
(e.g., Ceplecha et al., 1993; Brown et al., 1994; Bland & Artemieva, 2003)

二本目：流星の観測から何がわかるか

3. 空力加熱 ($\propto v^3$)
表面が加熱され、蒸発(e.g., Kolycansky, 2002, 2003)
& 周辺大気と混合して化学反応
(e.g., Ishimaru et al. 2011; Suzuki 2011)
4. プラズマ化され、蒸気・周辺大気が発光

問1：地表面でのサイズ分布は？

紹介論文

The fall and recovery of the Tagish Lake meteorite

Hildebrand et al. (2006) *Meteoritics & Planetary Science* 41, Nr 3, 407-431

～ 力学的影響のまとめ：火球観測 & 回収隕石からわかること ～

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 複雑理工学専攻 博士課程2年
羽村 太雅

関連した研究

「隕石落下の全体像」 という意味では…

- Borovicka *et al.* (2003)
- Llorca *et al.* (2005)

落下前の軌道を計算するのに十分な精度で観測された9つの火星の観測。いずれもメインベルト小惑星と関連づけられている。

「Tagish Lake隕石の落下の描像」 という意味では…

- Brown *et al.*, 2000 : 本論文の簡易版
- Brown *et al.*, 2002 : 衛星からの可視観測、地震計、infrasoundの結果からablationのモデルを調査

論文概要

Tagish Lake隕石の落下の全体像を俯瞰する

論文自体の問題設定：

IDPは統計的に軌道が制約され、対応する母天体のタイプも分かるようになってきているが、隕石と小惑星は関係が十分に明らかになってはいない。

Tagish Lake隕石は最も弱い物理特性を持っている、最も始原的な隕石なので、初期太陽系天体の起源と物理特性を知る上で重要。

【調べた事】

1. 物理特性（質量、粒子密度、バルク密度）
2. $\delta^{17}\text{O}$, $\delta^{18}\text{O}$ （天体のサイズ見積もり）
3. グラムサイズの破片のサイズ分布

論文概要

隕石の基本的なパラメータ

- ・ 分類：C2 (炭素質隕石)
- ・ 特徴：今まで研究された中で最もprimitive & 物理的に弱い
- ・ 密度： $1.64 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ ~一部のC, P, D型小惑星
- ・ 落下日時：2000年1月18日 (その後約一週間で1 kg程度回収。残りは雪解け後)
- ・ 元々のサイズ、質量：半径2.1-2.4 m, 60-90 tons
(宇宙線起源核種 & 火球のエネルギー解放)
- ・ 回収された質量：合計~10 kg
- ・ strewnfield (今回は「破片の散乱領域」)：長さ >16 km, 幅3-4 km
- ・ 衝突前の軌道：メインベルトの外の方
(∴ 軌道計算 & D- & P-型小惑星との表面(スペクトル)との対応)
- ・ 全運動エネルギー：1.7-1.8 TNT相当 (初期質量~56 ton, 初期直径~4 m)
- ・ 大気突入前の天体のporosity：37-58%
(∴ 大気中でのphysical break upのモデリング, Brown et al, 2002)
- ・ 最小結合強度：0.3 MPa
(∴ 大気中でのphysical break upのモデリング, Brown et al, 2002)
→ bulkの物理特性はchondriticな小惑星と彗星の間
：D型小惑星との関連性を示唆した反射分光の結果(Hiroi et al, 2001)と調和的
- ・ 衝突速度：36.8 km/s
- ・ 衝突角度：17.8° (低角度！)
- ・ Air burstした高度：37.6 km

破片の回収

落下の描像

高速突入中

➤ プラズマ発生 (発光)

& 破碎 (Artemieva and Shuvalov, 2001;
Bland & Artemieva, 2003)

しながら減速

3-4 km/s程度まで減速後

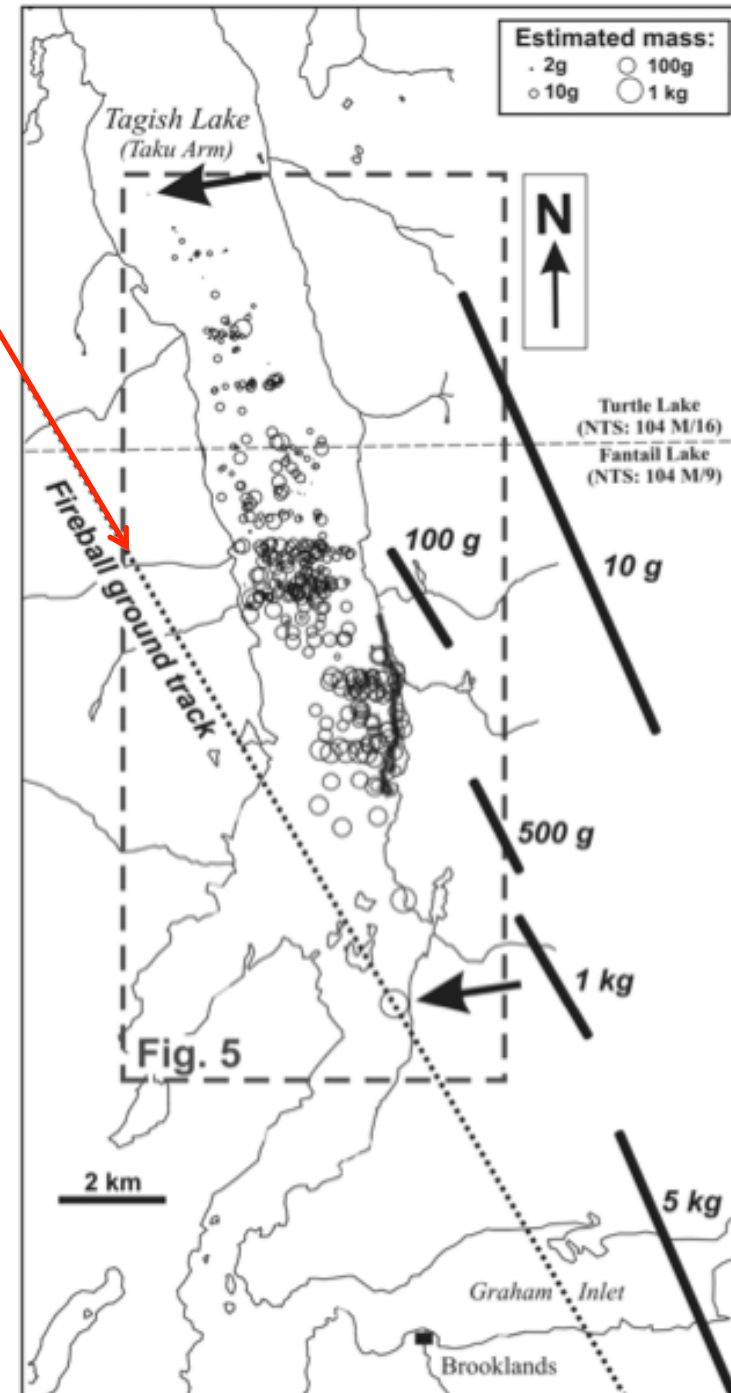
➤ Dark Flightへ

(Re Velle & Wetherill, 1981)

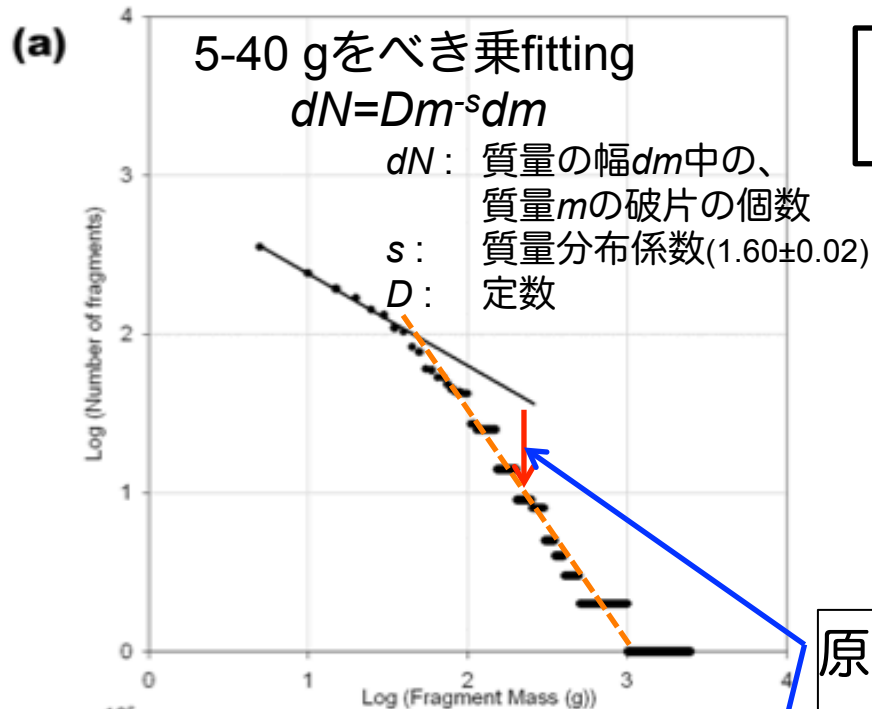
➤ 風の影響 (低速微細破片)

※ 抵抗係数の変化が観測されている。
破片「群」としての運動から、
個別破片としての運動への遷移か？

飛行経路



回収破片のサイズ分布

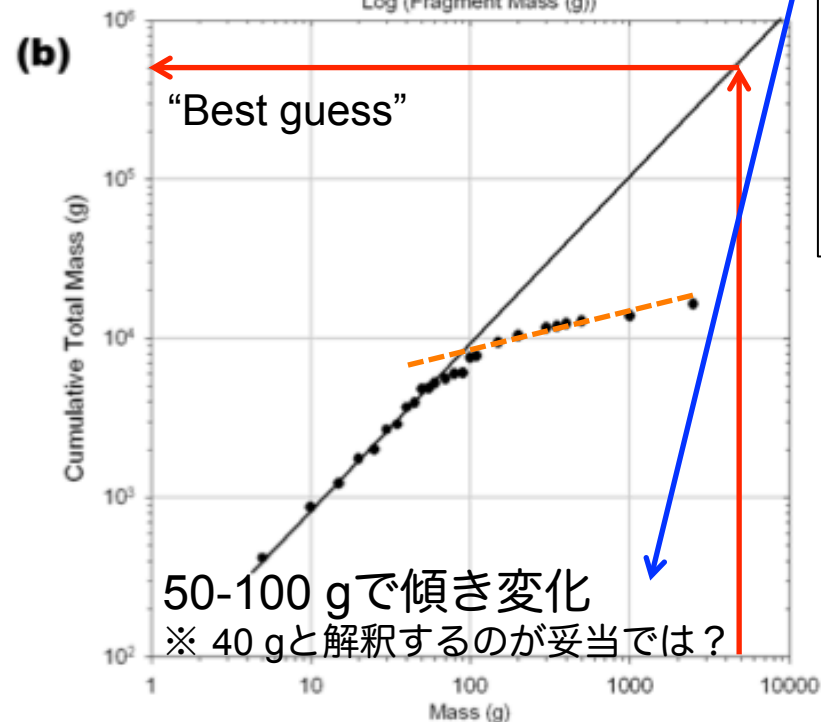


$s = 1.8$ (Murray et al. 2000)

$s = 1.7$ (Campbell-Brown and Koschny 2004)

$1.8 < s < 1.87$ (Fujiwara et al. 1989)

※ 実験室→天然のスケーリングは不明だが、 s が小さいのはTagish Lakeの脆弱な物性故か。



原因：

- サンプル数が少なく統計的でない
- サイズによる破砕メカニズムの物理的変化
- 多重破砕過程（主破壊 vs. 二次破壊）
- 母天体のmakeup

最大破片質量 vs. 単位質量当りエネルギーの関係外挿

→ 最大は変質量~0.6 kg

：2 kgという回収結果とオーダーで一致

問いの答え【破片のサイズ分布】

- ・ 回収された破片のサイズ分布(の一部)はべき乗則で表せる (10-40 gの範囲で $s = 1.6$)
- ・ 回収のバイアスにより、サイズ分布全体を厳密に求めるのは難しいが、
低質量の”べき”は高質量側にも外挿できそう

(物質強度を考慮した実験を行えば、実験室→天然のスケーリングの可否を議論できるかもしれない)

破片サイズ分布を扱う上での本論文の重要性

◇ 実験室・数値計算で求める場合の唯一のReferenceデータ