

彗星ダストトレイルの可視サーベイ観測

猿楽祐樹 (東京大学 木曾観測所)

石黒正晃 (ソウル大学)

臼井文彦 (東京大学)

上野宗孝 (JAXA/ISAS)

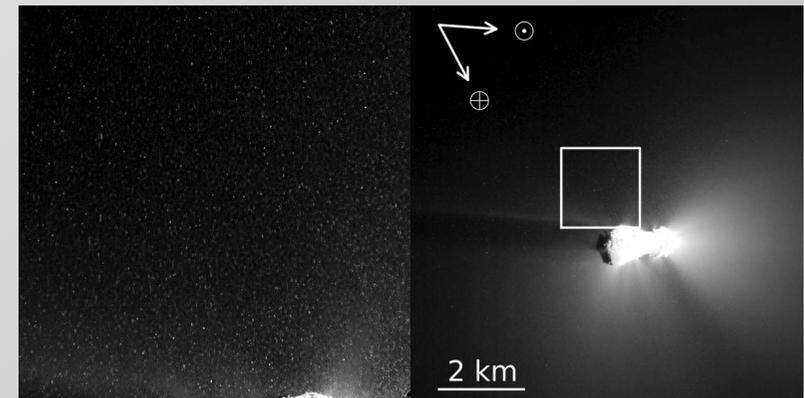
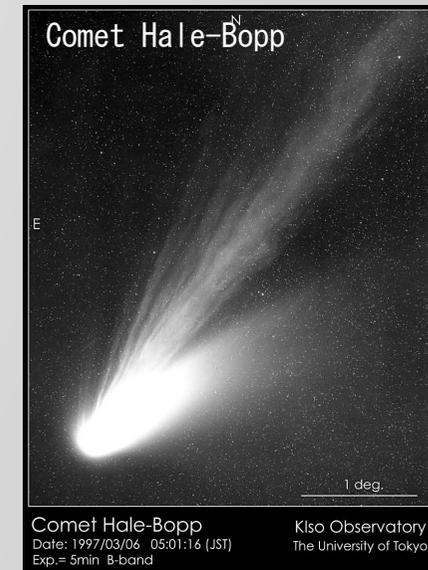
彗星に含まれる大きいダスト

□ 彗星

- 氷とダスト → 太陽に近づくとガス、ダストを放出
- 始原的な天体 → 太陽系形成初期の情報
- 本体(核)の組成、構造？

□ 大きい(>mm)ダスト

- 彗星の質量分布、質量放出に支配的
(e.g., Sykes & Walker 1992, Rotundi+2015)
- 彗星表面の強度はダストの最大径に依存
(Blum+2014)
- 原始惑星系円盤の集積プロセスの情報？
- 流星の源

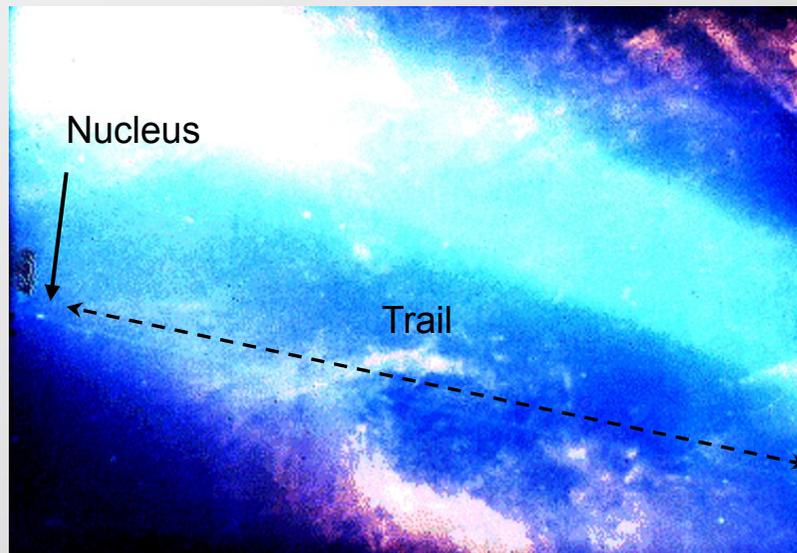


✓ 彗星ダストの最大径は重要なパラメータ

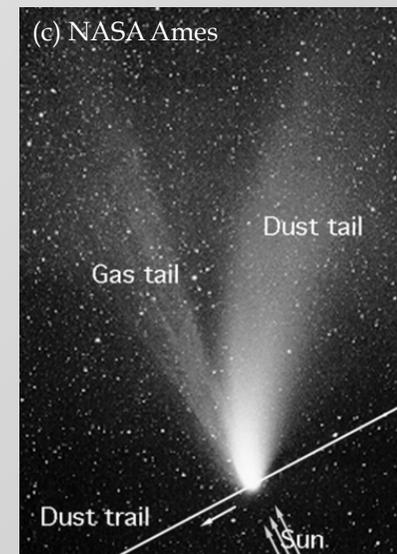
10-20 cm-sized dust ejected by
103P/Hartley 2 (A'Hearn+2011)

彗星ダストトレイル

- 母天体軌道にそって伸びた飛行機雲のような構造
- mm-cmサイズのダストで構成
- 流星雨の原因
- 赤外線天文衛星IRASによって初めて検出(Davis+1984, Sykes+1986).



Dust trail of 10P/Tempel 2
(Skyles & Lien+1990)



Tail vs Trail

✓ (放出された)ダストの最大径を彗星ダストトレイルの観測から推定できる

先行研究 (1)

- ▣ Sykes & Walker 1992
 - Infrared Astronomical Satellite (IRAS), 1983
 - **Detected dust trails for eight comet**
 - dust/gas ratio ~ 3 (estimate by observation of tails: 0.1-1)
 - mission lifetime < 1 year \rightarrow unclear whether trail is common for comet?
(cf. typical orbital period of Jupiter family comet ~ 6 years)
- ▣ Ishiguro+2002
 - Kiso Schmidt Telescope + 2kCCD camera
(**optical wavelength, ground-based**), 2002
 - 22P/Kopff (had been observed by IRAS)
 - Start survey at Kiso Observatory, 2002-
- ▣ Reach+2007
 - Spitzer Space Telescope, 2004-2006
 - **Detection rate: 27/34**
 \rightarrow trail is common for comet
 - Observed area is only near nucleus
(± 10 arcmin.)
 - Maximum size?

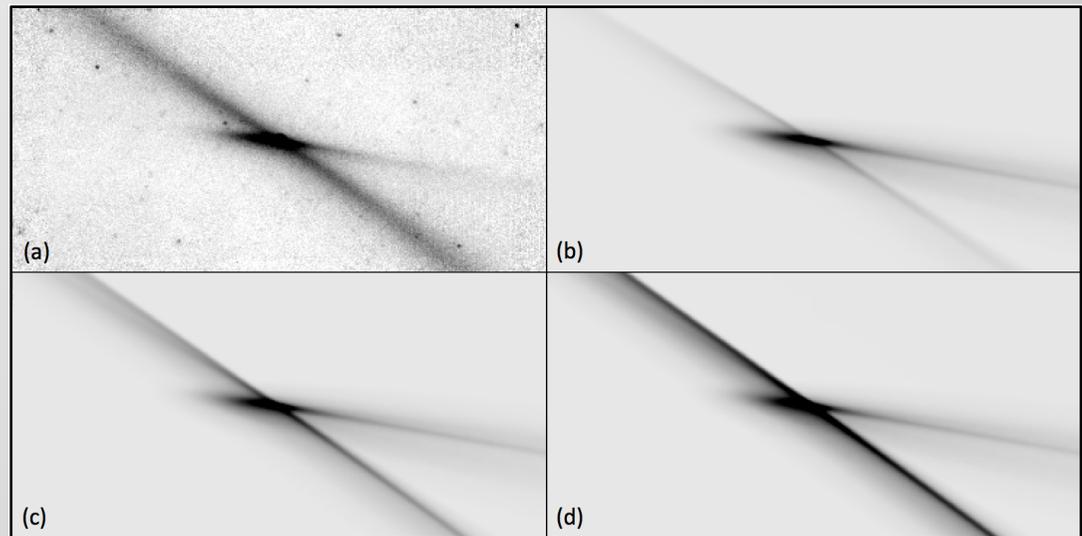
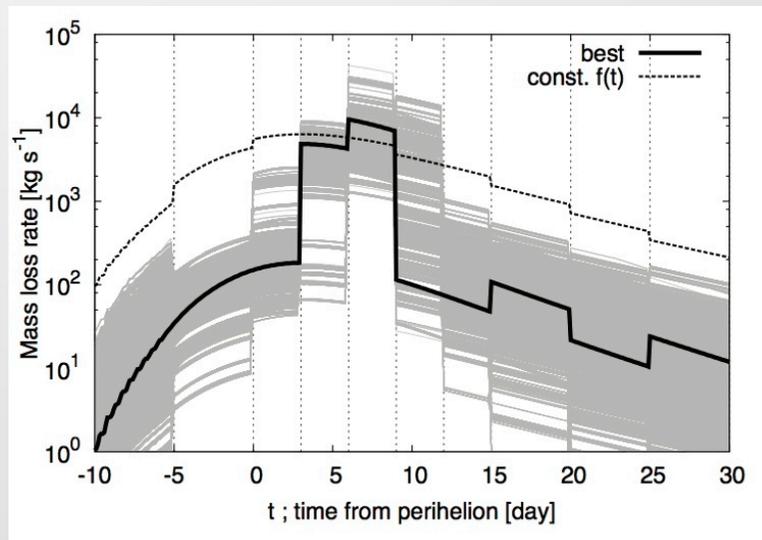


Ishiguro+2002

- ✓ ダストトレイルは短周期彗星に普遍的に存在
- ✓ しかし、ダストの最大径は系統的には調べられていない

先行研究 (2)

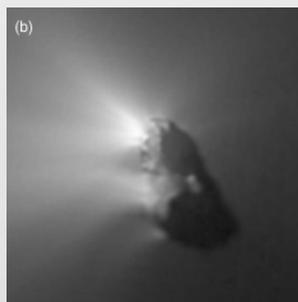
- ▣ Sarugaku+2015
 - Formation of 2P/Encke dust cloud.
 - Simulation: rotational pole, active region
 - Ejected particle size: 4-10 cm



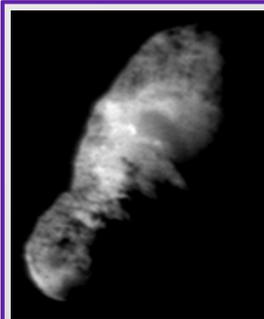
✓ cm-mサイズのダストは彗星に普遍的か？

本研究

- Kiso 105cm Schdmit telescope + 2kCCD Camera.
 - Wide field of view: 50 x 50 arcmin.
 - (sensitivity is lower than IR observation from space)
- Survey in 2002-2010
 - longer than typical orbital period of Jupiter family comets.
- Detection: 8/137
 - 2P/Encke, 4P/Faye, 10P/Tempel 2, 19P/Borrelly, 22P/Kopff, 67P/Churyumov-Gerasimenko, 74P/Smirnova-Chernykh, 81P/Wild 2
- Analysis without detailed modeling



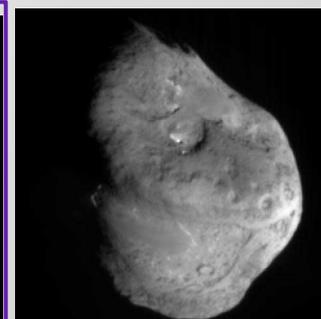
1P/Halley



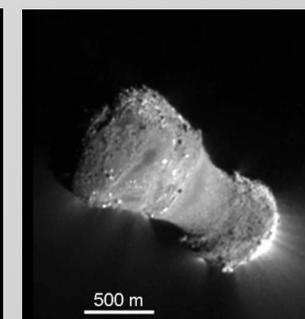
19P/Borrelly



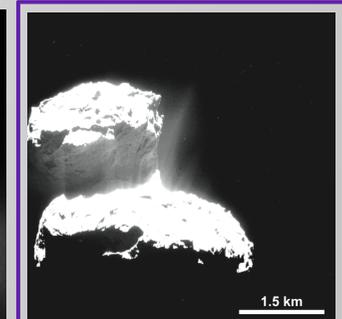
81P/Wild 2



9P/Tempel 1



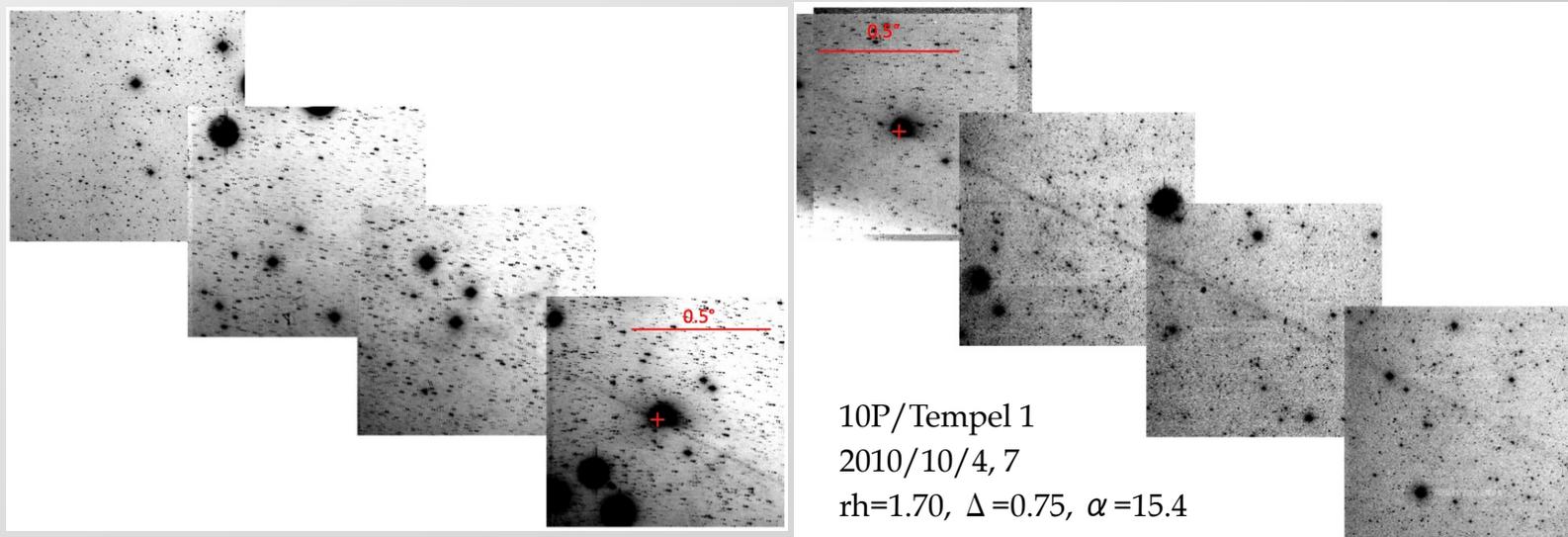
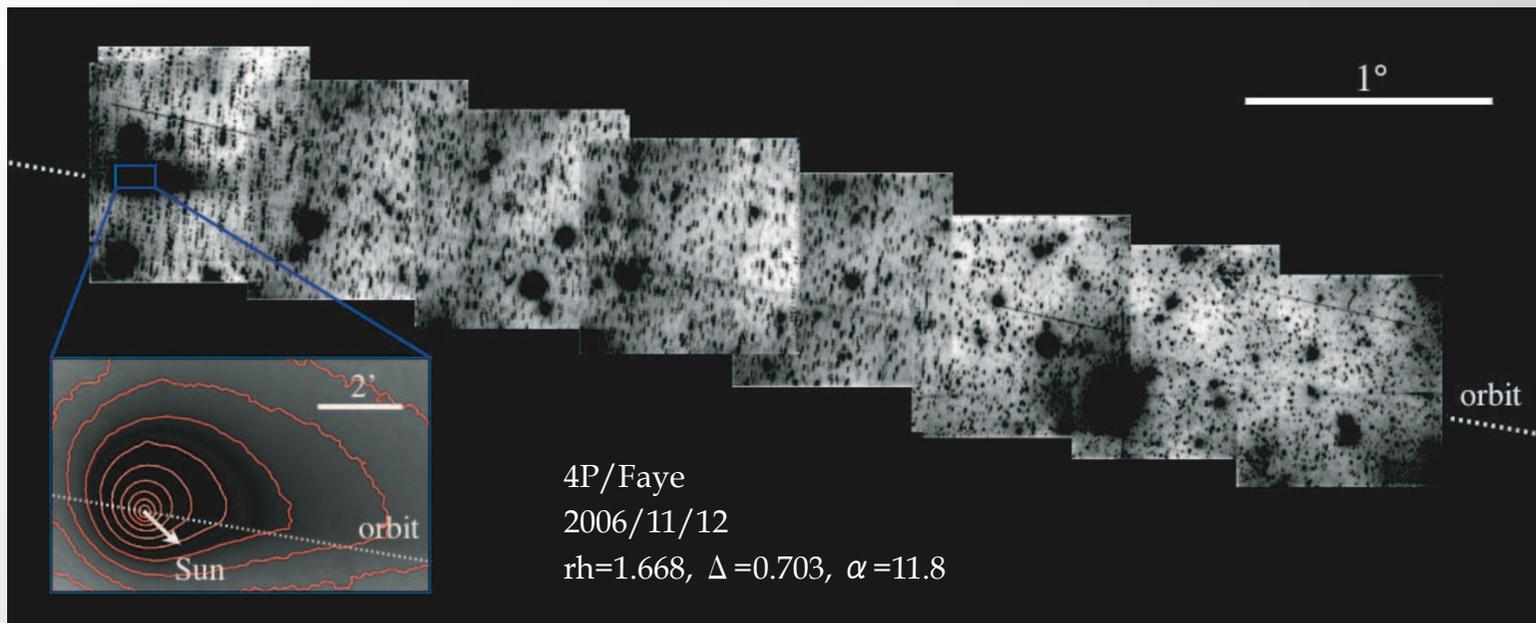
103P/Hartley



67P/Churyumov-Gerasimenko

- ✓ 広視野画像からダストトレイルの明るさプロファイル
- ✓ シンプルな仮定のもと、ダストの最大径を推定

観測画像



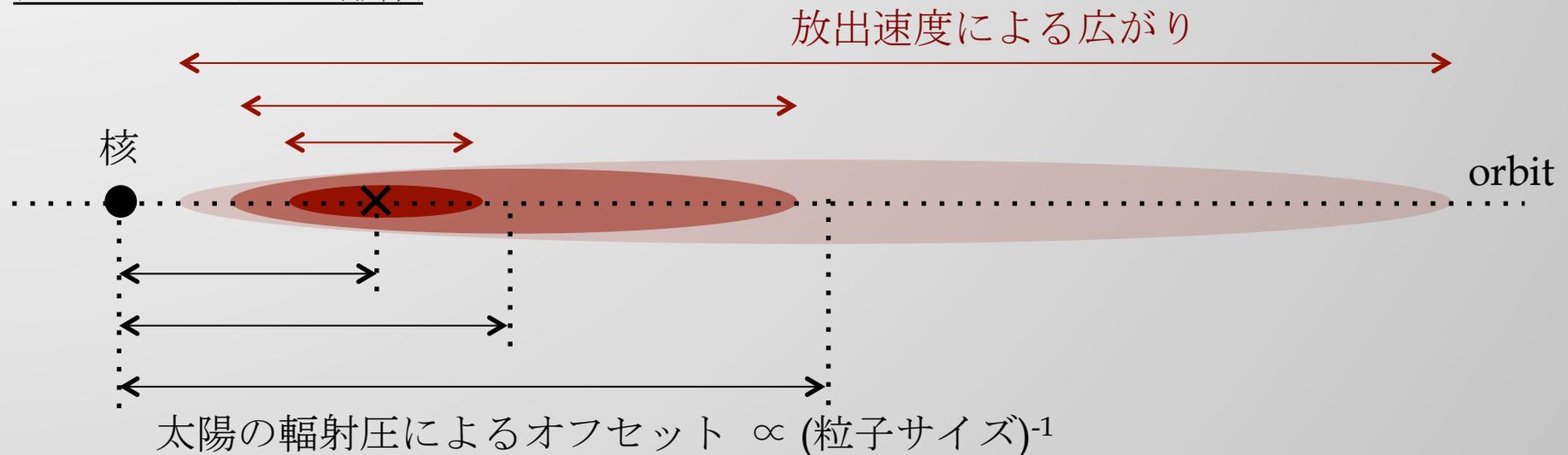
✓ ダストトレイルの明るさのピーク位置が分かる

ダスト最大径の推定

□ 仮定

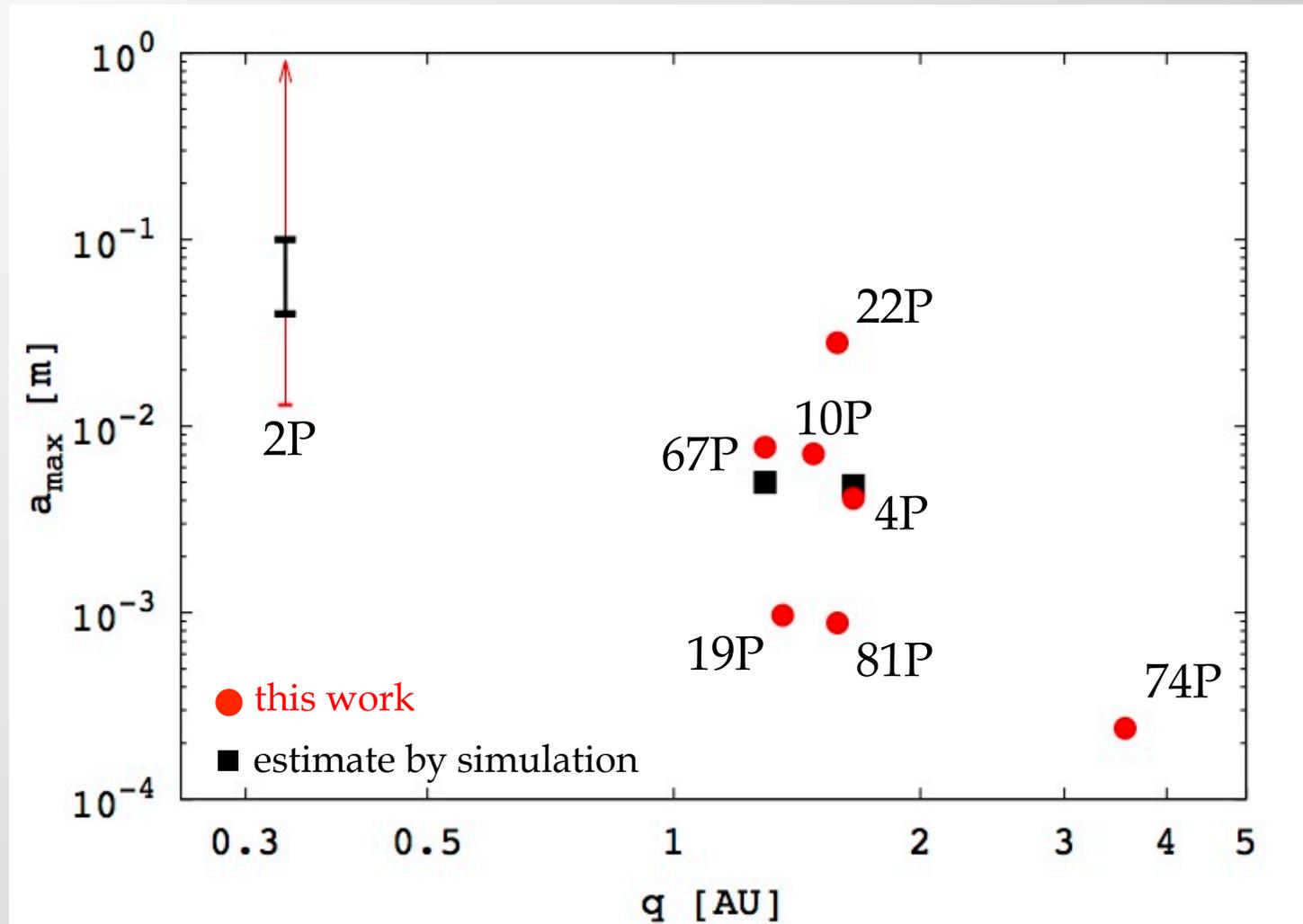
- ダスト：球形、均質、密度 $\rho = 1 \text{ g cm}^{-3}$
- 放出面：太陽側
- 放出率：日心距離に単調に依存
- 放出速度：日心距離、粒子サイズに単調に依存

ダストトレイルの形成



- ✓ 明るさのピーク位置 ~ 最大径のダストが存在する位置
- ✓ 複雑なモデリングなしに最大サイズを推定可能

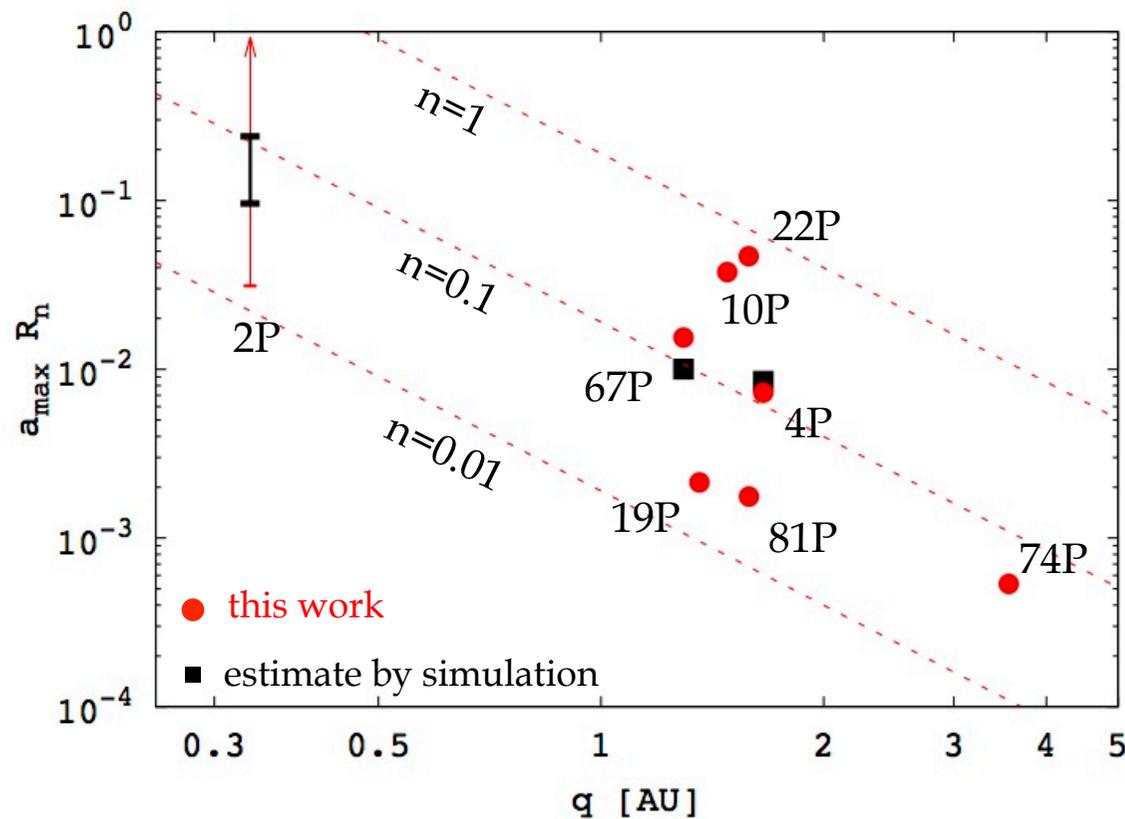
結果：最大径(a_{\max}) vs 近日点距離(q)



✓ 最大径(a_{\max})は日心距離(q)に依存

議論

- 最大径 (a_{\max}) の近日点距離 (q) 依存。
 - 表面ダストの熱変性？
 - 彗星活動？



定常的なガス流で放出される
ダストの最大径

$$a_{\max} = 0.19 n r^{-9/4} R_n^{-1}$$
$$\rightarrow a_{\max} R_n = 0.19 n r^{-9/4}$$

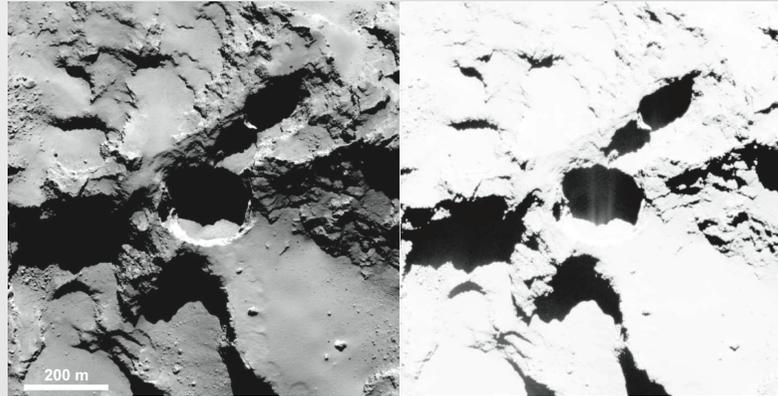
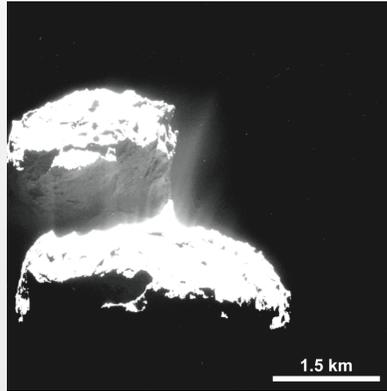
- a_{\max} : maximum particle radius
- n : ratio of energy used for sublimation to the solar radiation
- r : heliocentric distance
- R_n : radius of nucleus (Whipple 1951)

- ✓ 観測から得られた最大径は、日心距離による彗星活動に依存
- ✓ mm-mサイズのダストは彗星に普遍的に存在

今後の展開

ロゼッタミッション

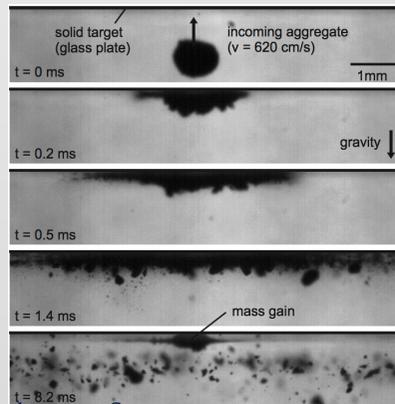
- 彗星核の構造やダスト放出過程が明確に
→ より現実的なモデルの構築



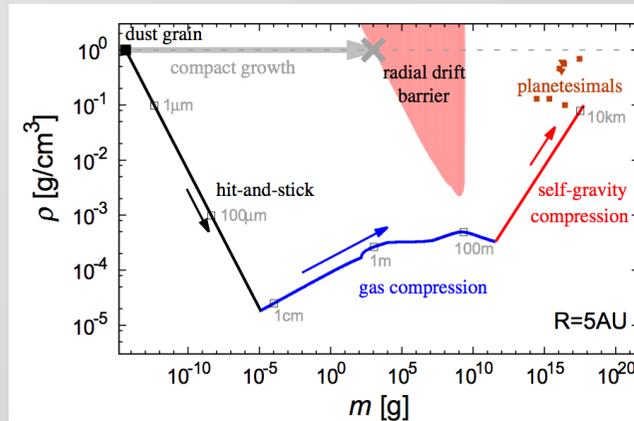
67P/Churyumov-Gerasimenko
(Sierks+2015)

原始惑星系円盤におけるダスト成長の理論的、実験的研究

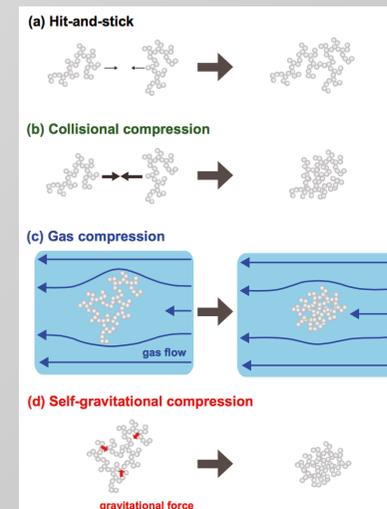
- いつ、どのように大きいダストが形成?
→ 観測との整合性の確認



Collision of porous aggregate with a solid target (Güttler+2010)



Pathway in the planetesimal formation (Kataoka+2013)



まとめ

- ▣ 彗星ダストの最大径は重要なパラメータ
- ▣ 彗星ダストトレイルのサーベイ観測から推定
- ▣ 木曾シュミット望遠鏡+2kCCDカメラの広視野が有効
- ▣ 放出されるダストの最大径は日心距離に依存
- ▣ cm-mサイズのダストは彗星に普遍的に存在すると考えられる