

次世代小天体サンプルリターン探査：彗星から太陽系の起源に迫る

黒川宏之¹, 鳶生有理², 坂谷尚哉², 深井稜汰², 癸生川陽子³, 青木順⁴, 巽瑛理⁵, 津田雄一², 森治², 丸祐介², 佐伯孝尚², 次世代小天体サンプルリターン WG

1: 東工大, 2: JAXA, 3: 横浜国大, 4: 大阪大, 5: カナリア天体物理研

2022年2月に宇宙理学委員会の下に設立された次世代小天体サンプルリターンワーキンググループ(WG)は、先んじて宇宙工学委員会の下に設立された同名のWGと共同で検討を進め、2024年3月の戦略的中型探査提案を目指す。我々は本探査提案を「彗星から太陽系の起源に迫る」探査であると位置づけている。サイエンスゴールとして、I. 銀河系物質進化を辿る太陽系物質進化の解明、II. 微惑星形成過程に迫る太陽系天体進化の解明の2つを掲げる。サイエンスゴールI, IIそれぞれを実現するためには、地下物質サンプルリターンとその場分析、そしてレーダー・地震計による内部構造探査がキーとなる。探査検討を進めるノミナル天体は289P/Blanpainである。その場合、2033年打ち上げ・2040年天体到着・2046年地球帰還という計画となる。

次世代小天体サンプルリターン探査： 彗星から太陽系の起源に迫る

黒川宏之¹， 鳶生有理²， 坂谷尚哉²， 深井稜汰²， 癸生川陽子³，
青木順⁴， 巽瑛理⁵， 津田雄一²， 森治²， 丸祐介²， 佐伯孝尚²，

次世代小天体サンプルリターンWG

1: 東工大, 2: JAXA, 3: 横浜国大, 4: 大阪大, 5: カナリア天体物理研

本提案に至る経緯

- 2020年10月–2022年3月
 - 次世代サンプルリターン勉強会：はやぶさ2ヘリテージによる2030年代のサンプルリターンを議論
 - **惑星圏研究会・惑星探査ワークショップ(WS)**：コミュニティの幅広い意見の吸い上げ
 - ⇒ **E型・D型・活動的小惑星・彗星**といった様々なタイプの探査候補天体とそのサイエンス意義の抽出
- 2022年4月–9月
 - 宇宙工学委員会の下に次世代小天体サンプルリターンワーキンググループ(WG)設立（代表：津田）
 - 工学検討チーム：探査天体を限定しない形で工学検討に着手 → 工学GDIへ提案
 - 理学検討チーム：惑星探査WS等を経て、**(枯渇) 彗星**を対象天体に選定 → 太陽系GDIへ提案
- 2022年10月–2023年1月
 - **太陽系GDI・惑星科学会来る10年2との議論**：理学検討チームがサイエンス意義を再定義
 - ⇒ **太陽系の起源を解明するための彗星探査計画** となり、将来探査案として推薦を受ける
- 2023年2月–
 - 宇宙理学委員会の下に次世代小天体サンプルリターンWG設立（代表：鳶生・黒川）：
 - サイエンス・ミッション機器検討を担う

工学WG・理学WGが両輪となり、2024年3月の戦略的中型探査提案へ

惑星科学のフロンティア：太陽系の起源

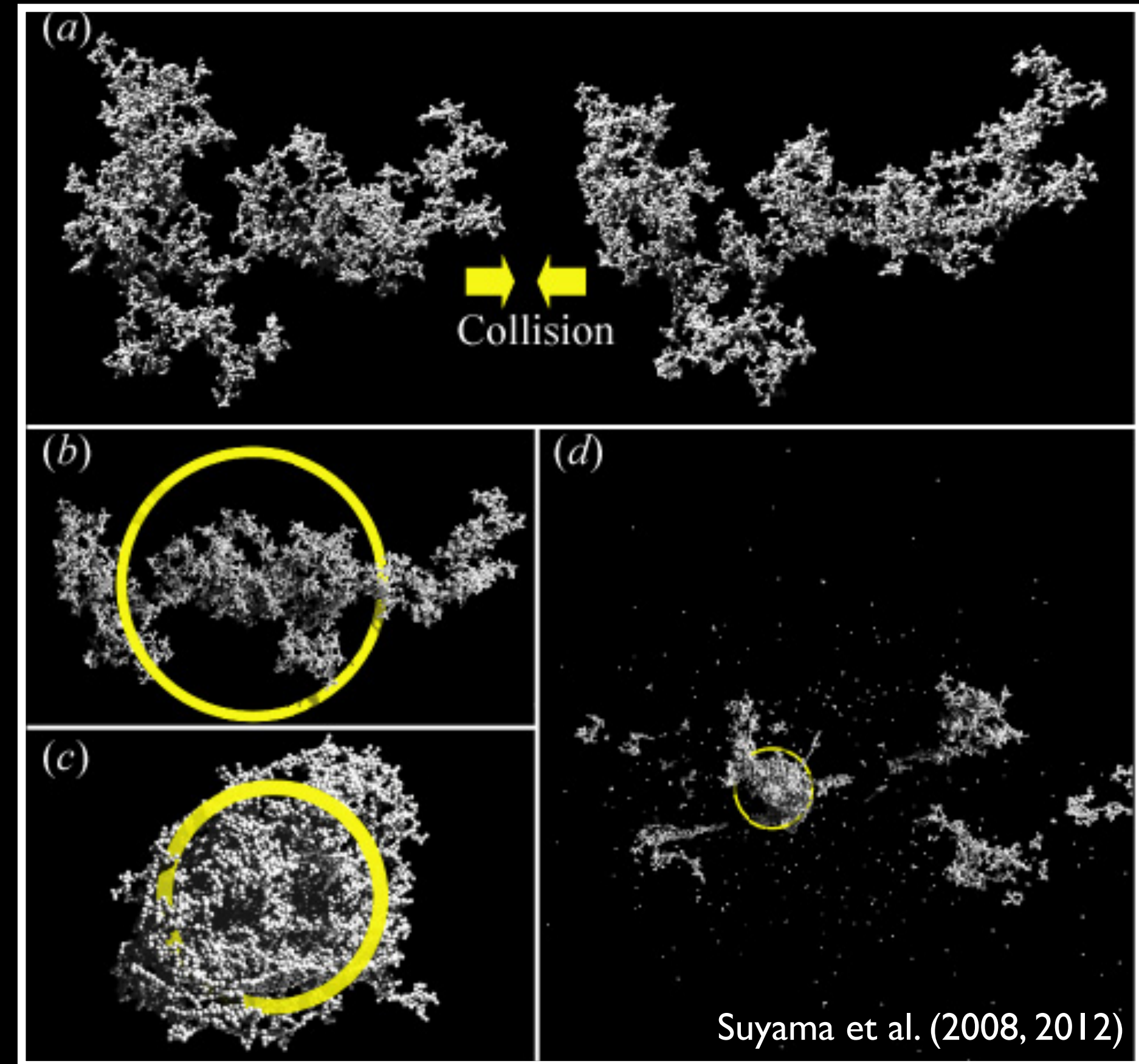
サイエンスゴール

- I. 銀河系物質進化を辿る太陽系”物質”の起源の解明
- II. 微惑星形成過程に迫る太陽系”天体”の起源の解明

太陽系の起源を記録する彗星

小惑星：分化・変成・破壊
⇒ 母天体集積時の情報を失う

彗星：分化・変成・破壊(?)を未経験
⇒ 始原天体の化学・物理情報へのアクセス



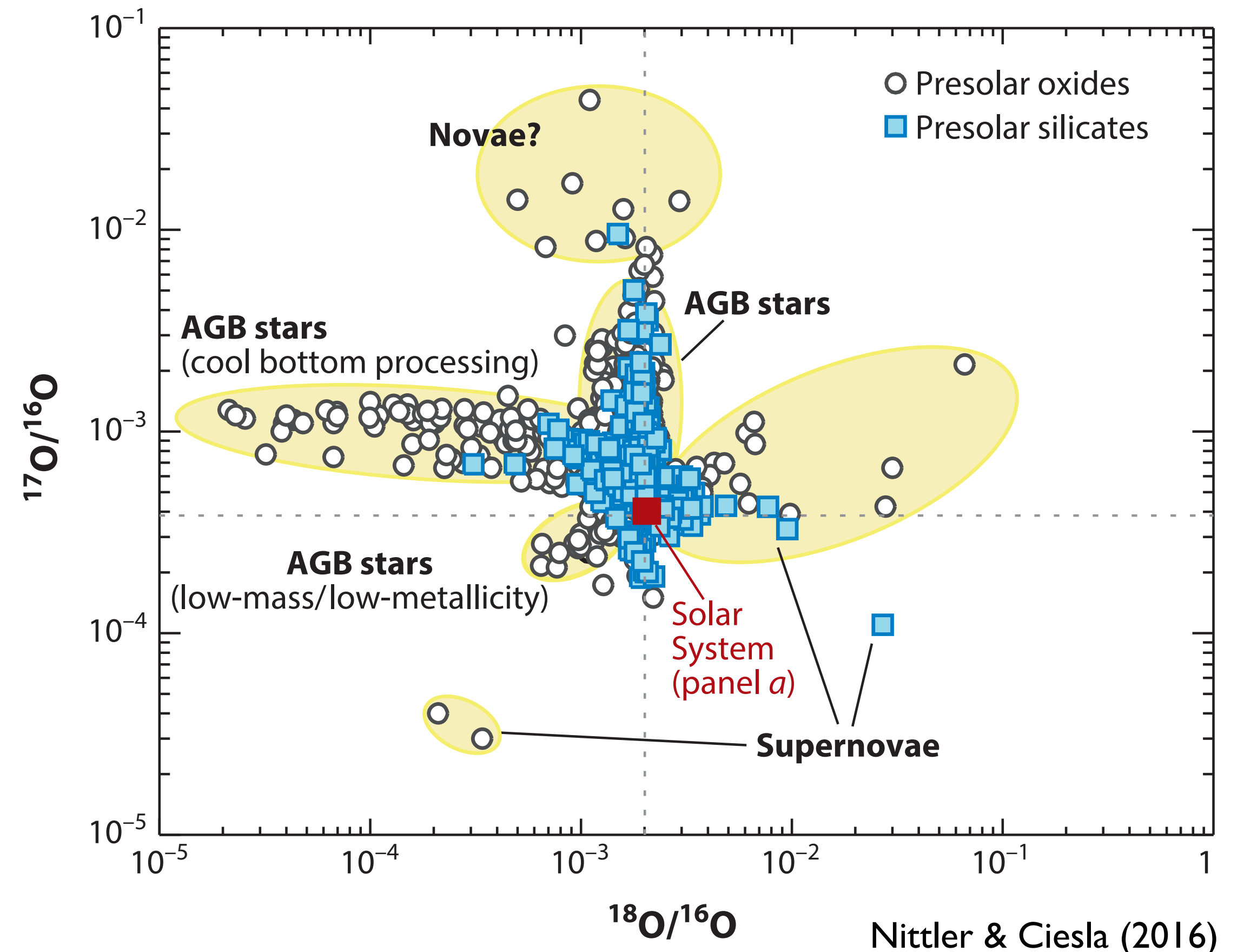
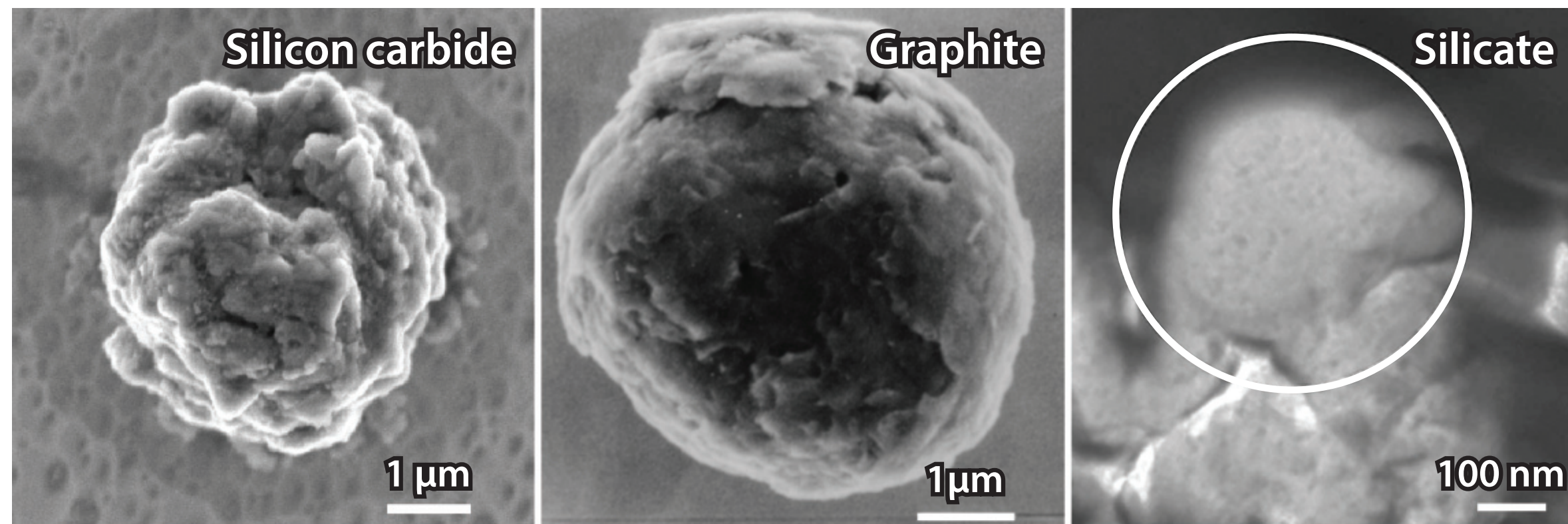
I. 太陽系物質の起源

I-1. 太陽系の親星の種類と割合の解明

無バイアスな彗星試料中のプレソーラー粒子の同位体組成分析

Stardust ミッションからのアップデート

隕石中のプレソーラー粒子とその同位体組成

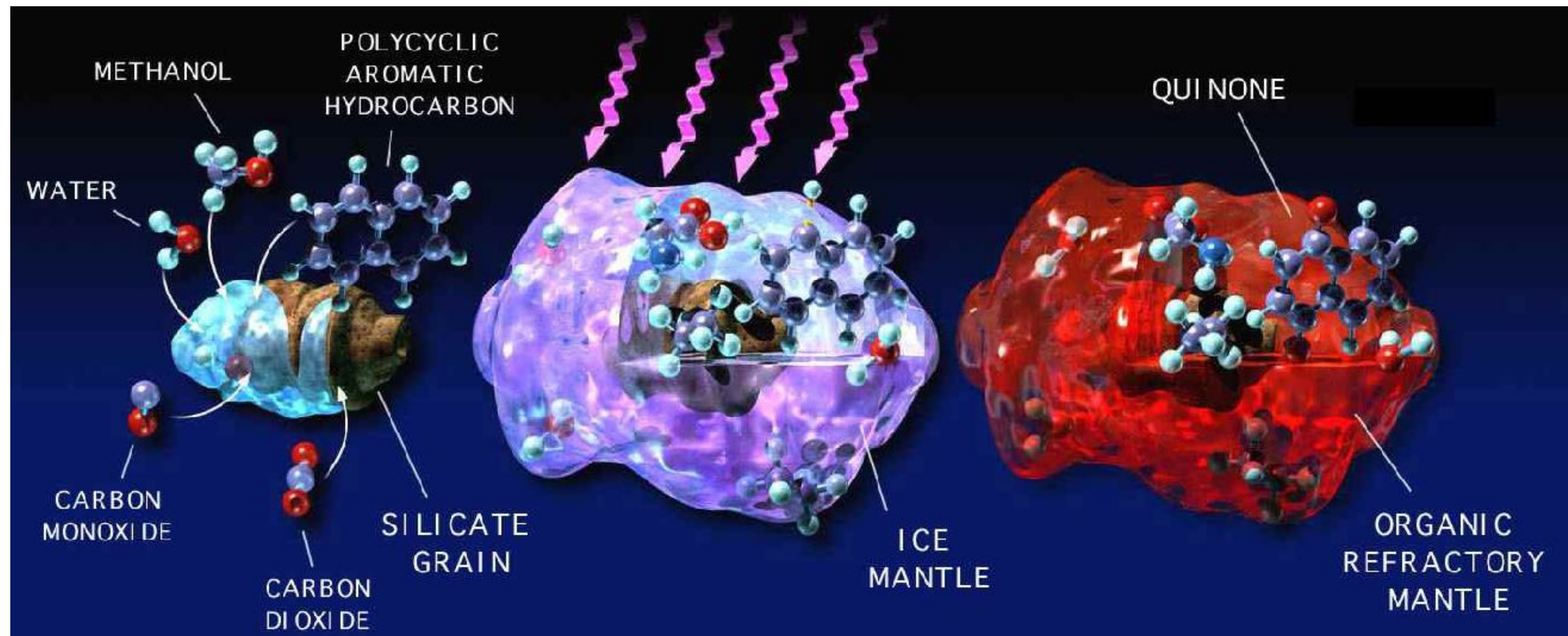


I. 太陽系物質の起源

I-2. 彗星有機物の起源の解明

彗星活動・宇宙風化を免れた地下物質中の有機物の分析

星間氷への紫外線・宇宙線照射による有機物生成モデル

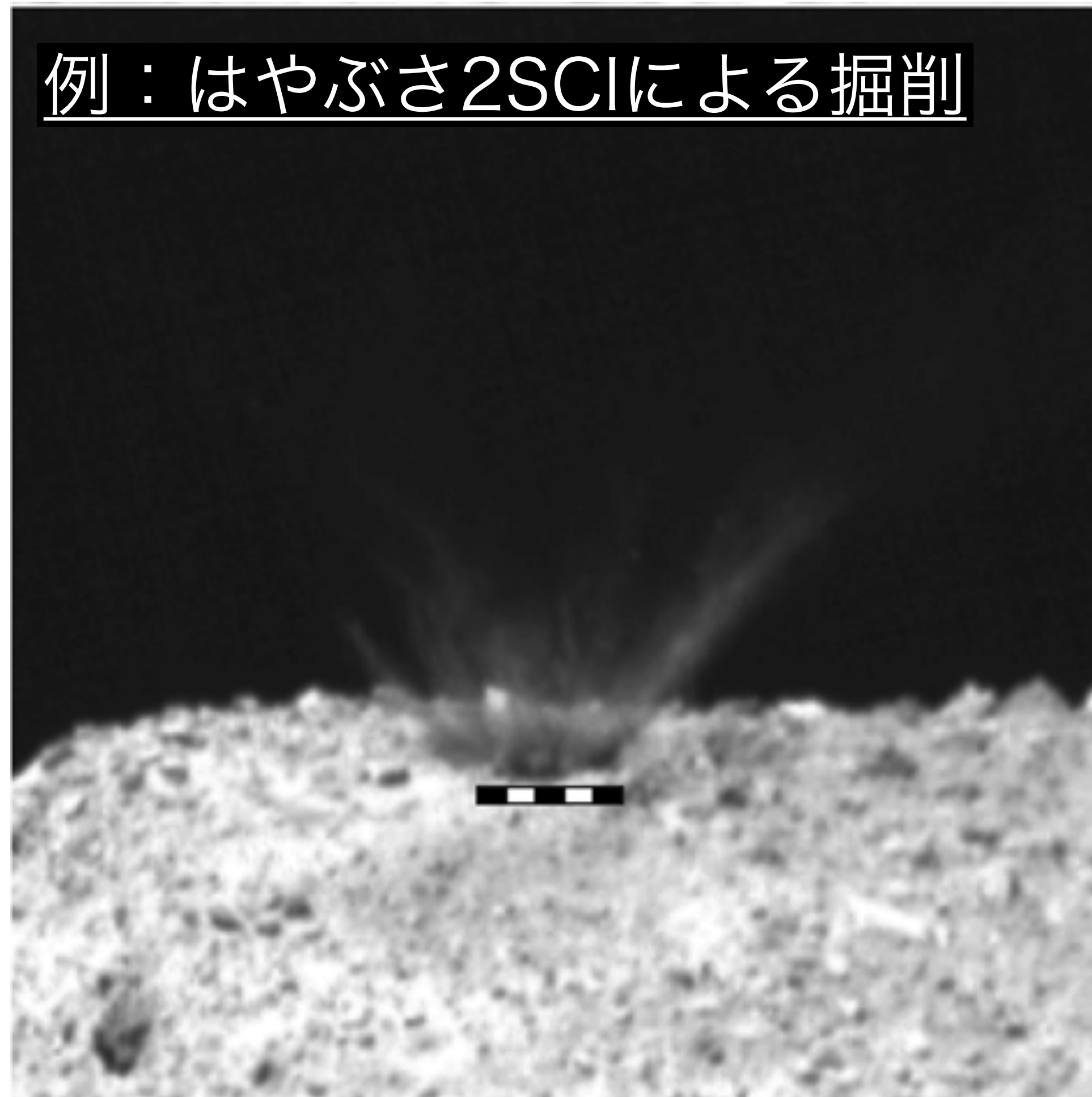


Noguchi et al. (2015); Dobrică et al. (2012); Bernstein et al. (1999)

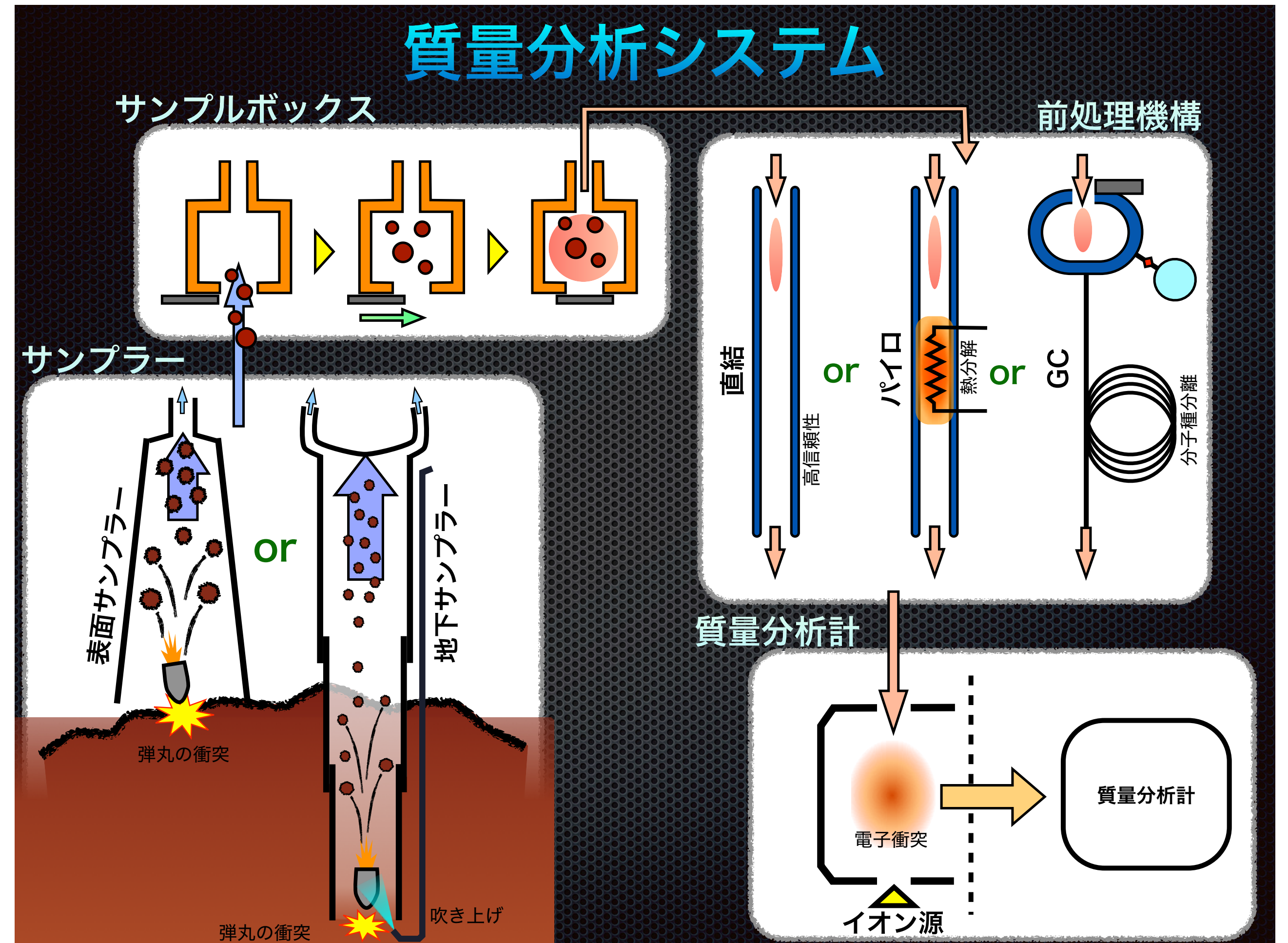
彗星地下物質サンプルリターンとその場分析

地下(~1 m)物質アクセスとサンプルリターン

揮発性物質のその場分析



Arakawa et al. (2020)



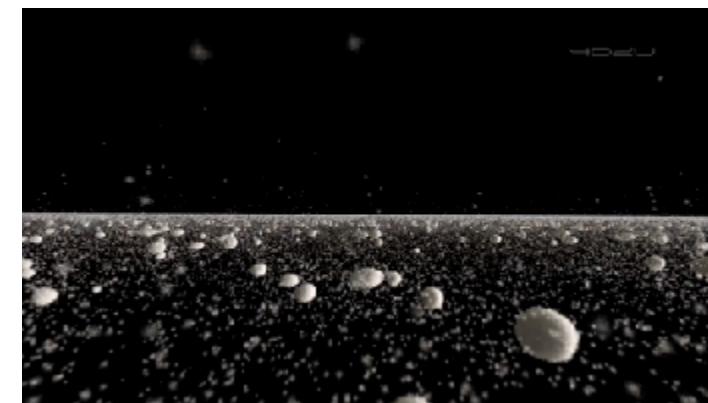
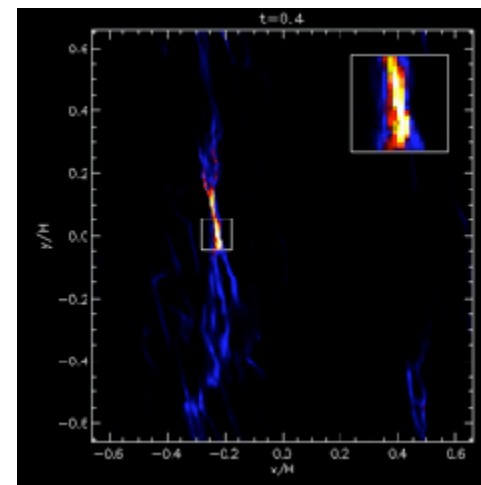
Credit: Jun Aoki

II. 太陽系天体の起源

II-1. 彗星がラブルパイル天体かペブルパイル天体かを解明

全球的な mスケールの空隙（破壊再集積の証拠） 分布の探査

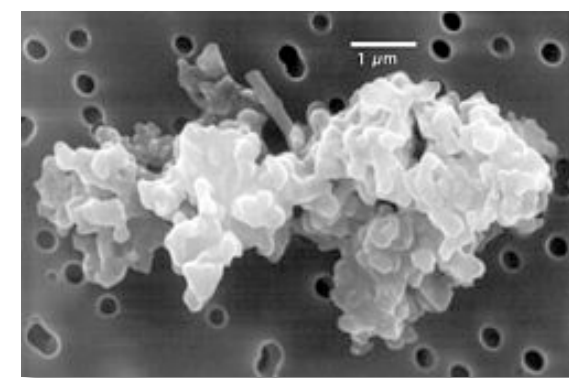
Rosetta ミッションからのアップデート



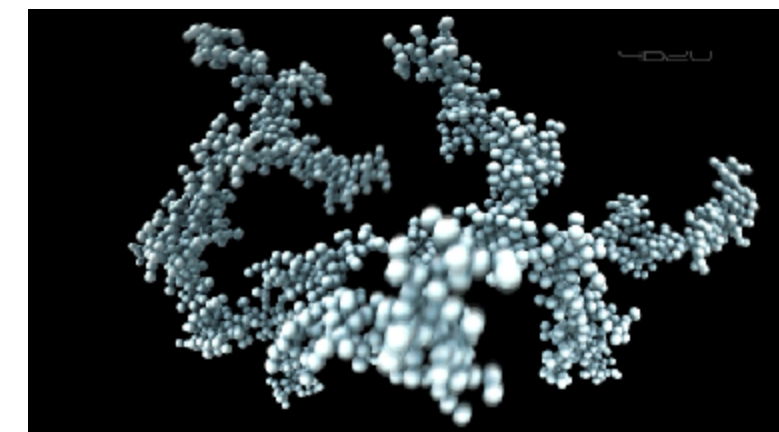
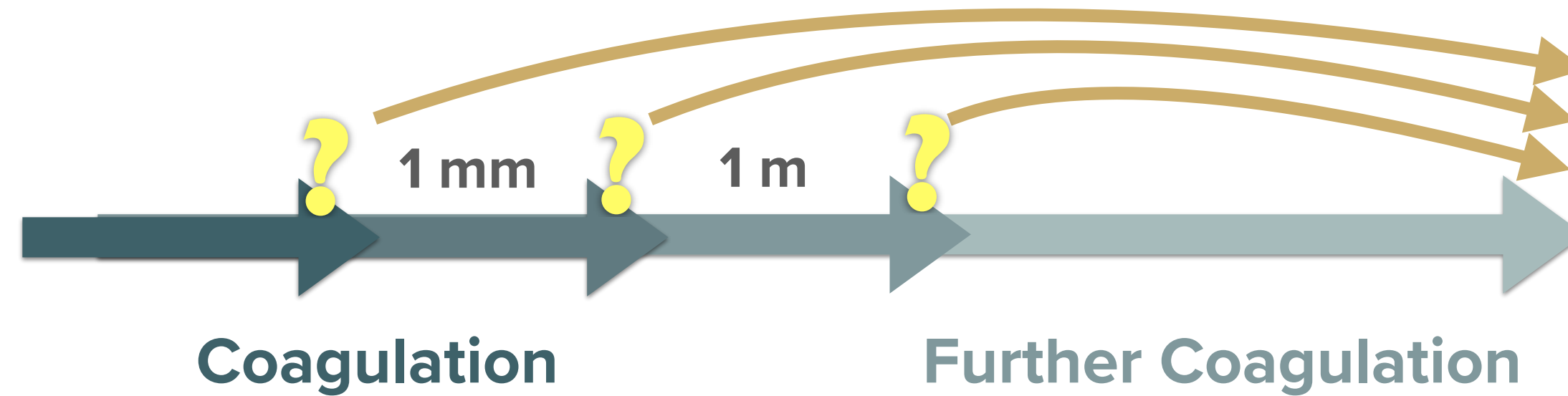
Credit: NAOJ 4D2U

Streaming / Gravitational Instabilities

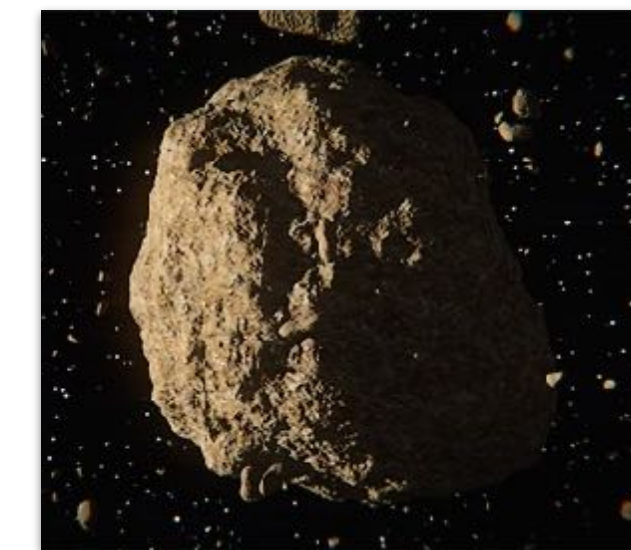
Goldreich & Ward (1973), Youdin & Goodman (2005), Johansen et al. (2007,2009), Blum et al. (2014), ...



Dust ($\leq \mu\text{m}$)



Credit: NAOJ 4D2U, K. Wada



彗星そのもの(ペブルパイル説) or
彗星の母天体 (ラブルパイル説)

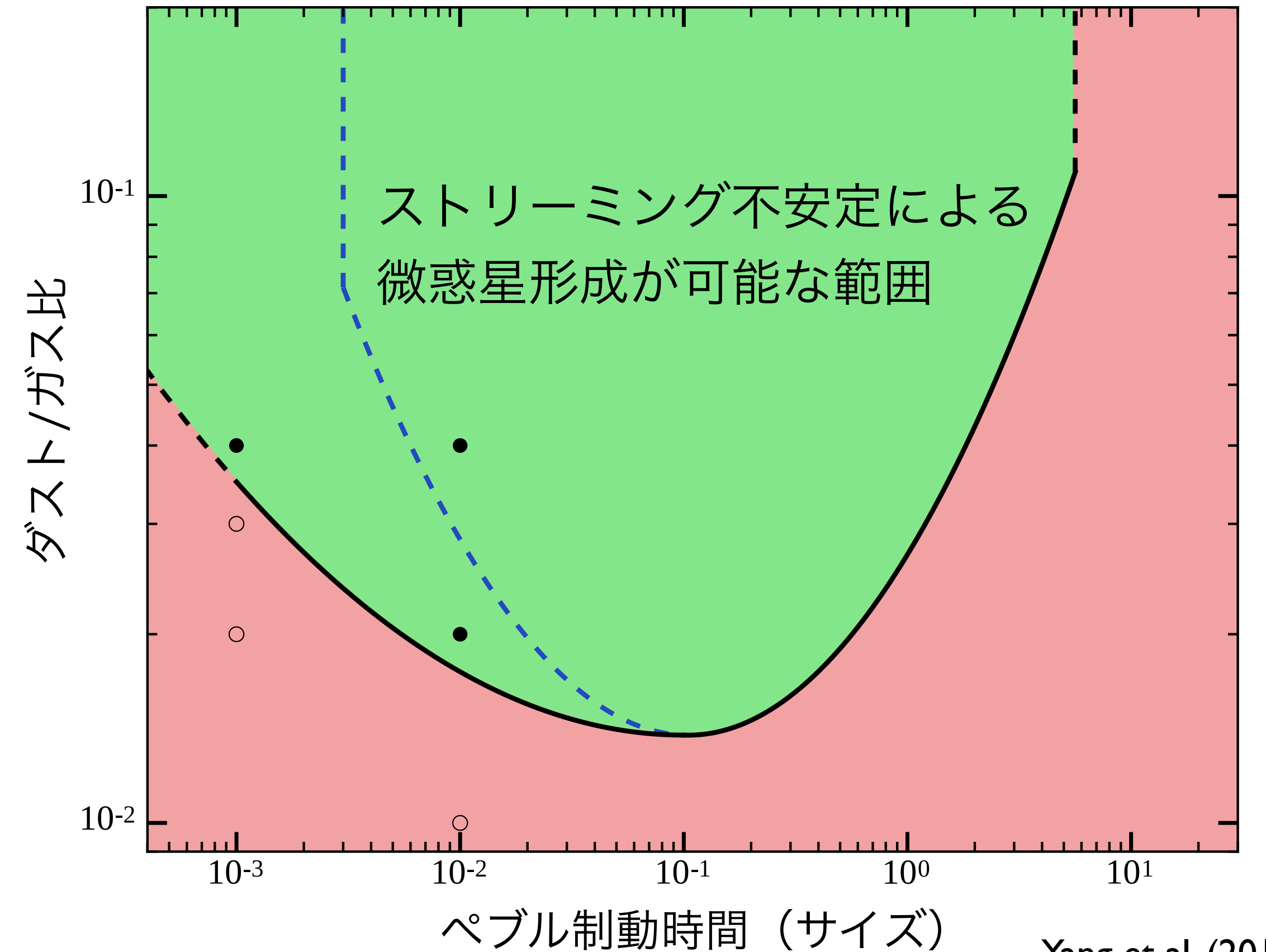
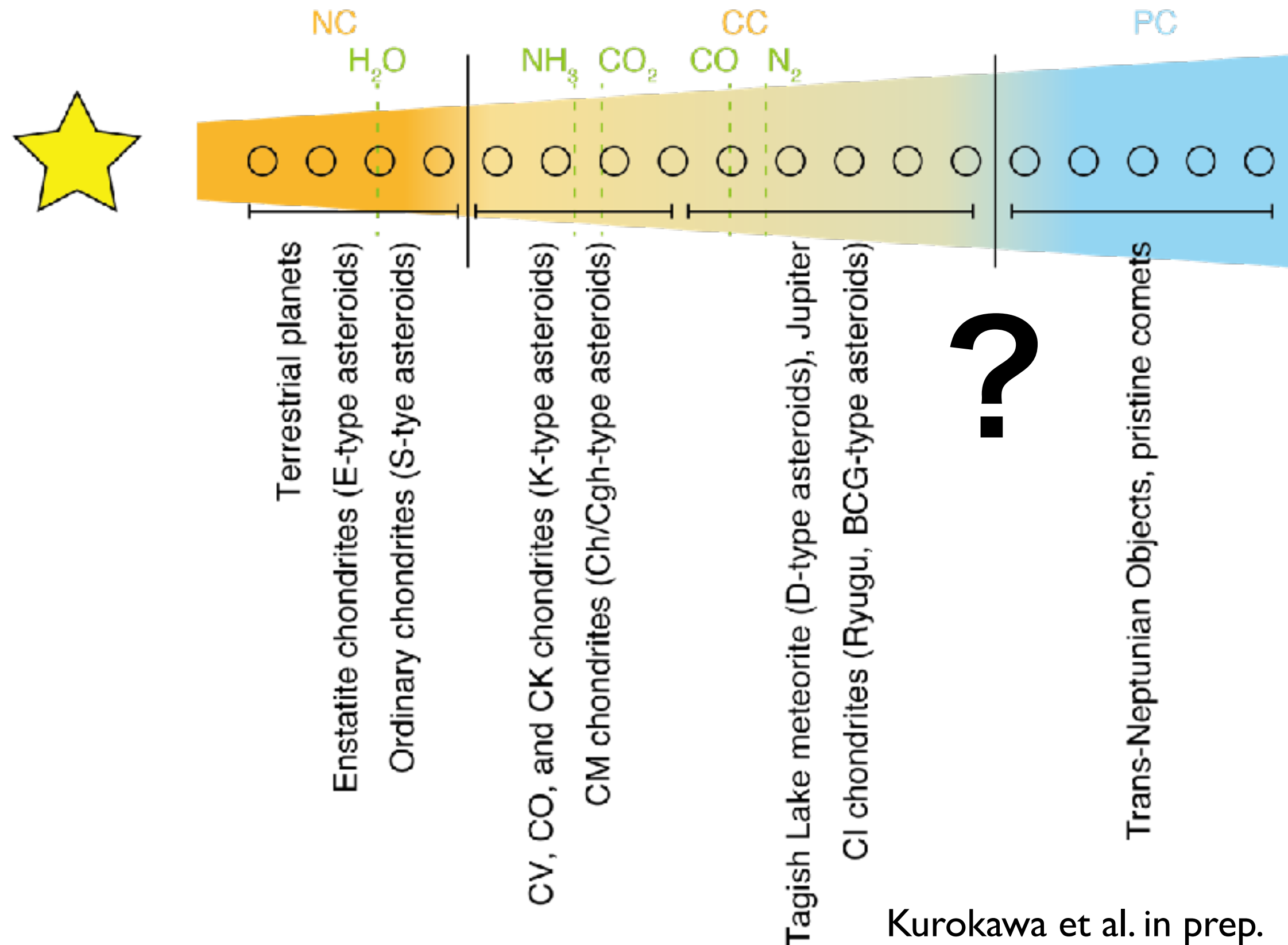
Weidenschilling (1997)
Okuzumi et al. (2012),
Windmark et al. (2012),
Kataoka et al. (2013)
Davidsson et al. (2016)

II. 太陽系天体の起源

II-2. 彗星の形成環境を解明

難揮発性元素の同位体組成・揮発性物質の存在・ペブルサイズ

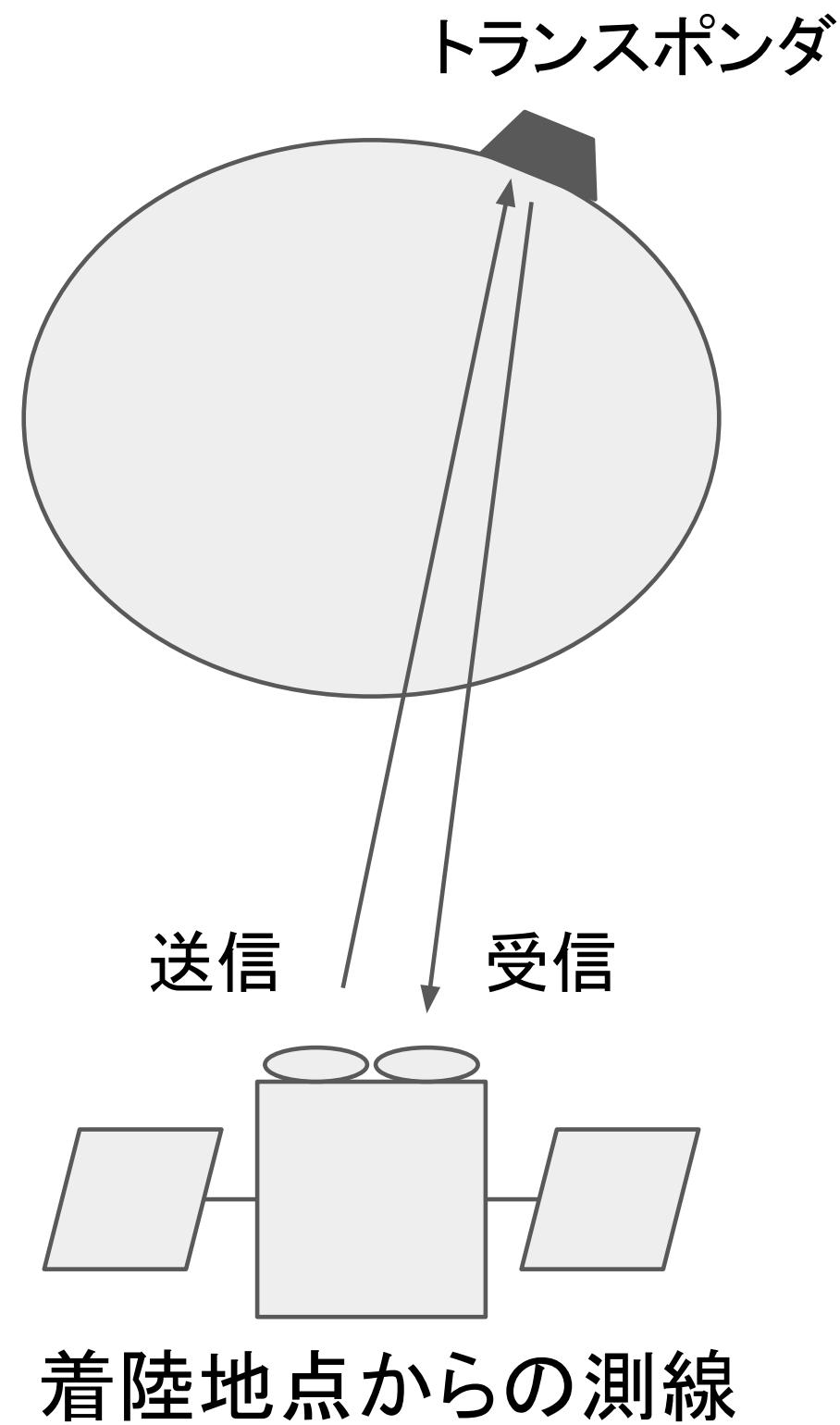
Class II to nebula dissipation stage ($\sim 10^6$ yrs)



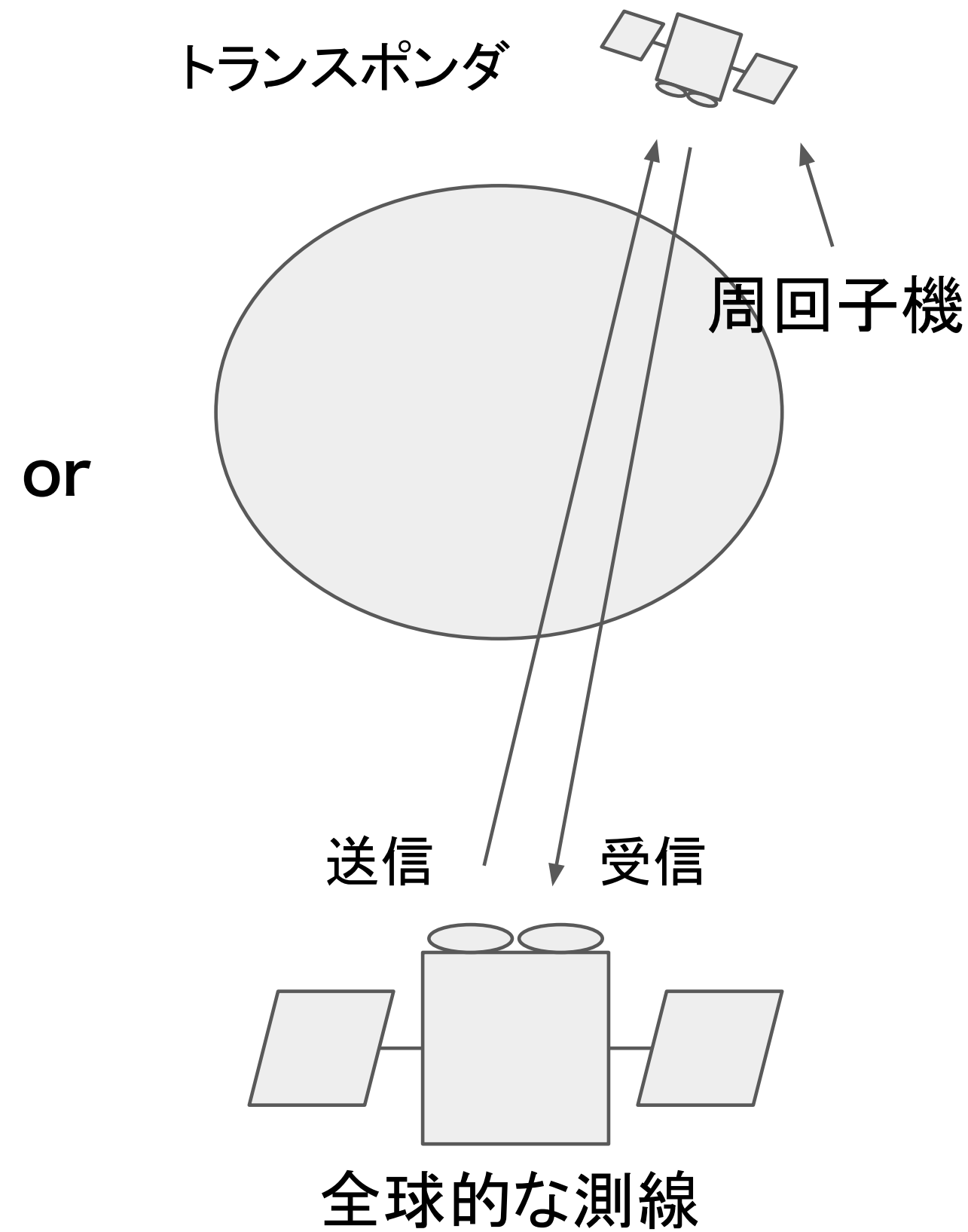
彗星の内部構造探査

地下レーダー探査

低周波トモグラフィ探査

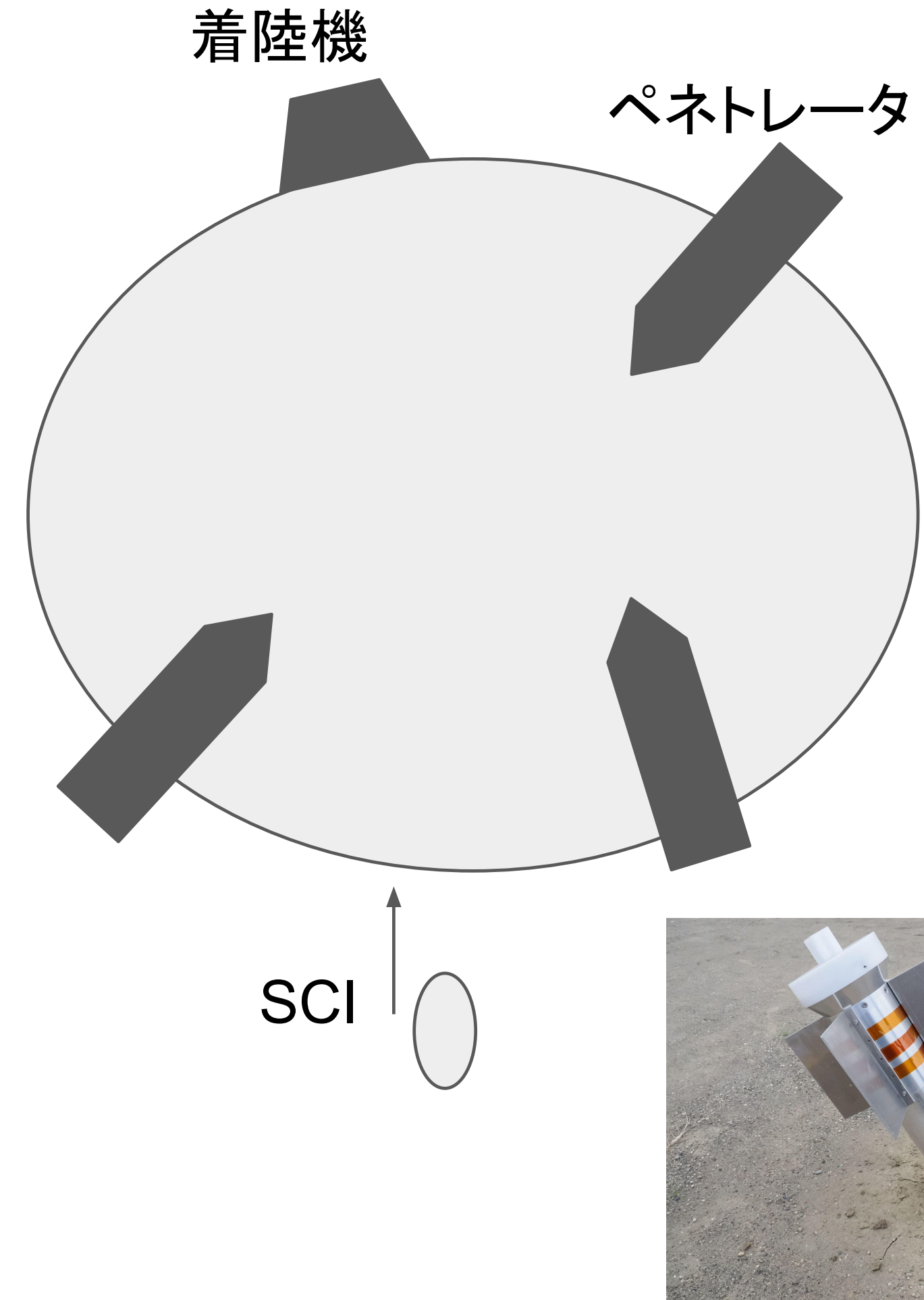


低周波トモグラフィ探査



Credit: Sakatani, Kumamoto, Miyamoto

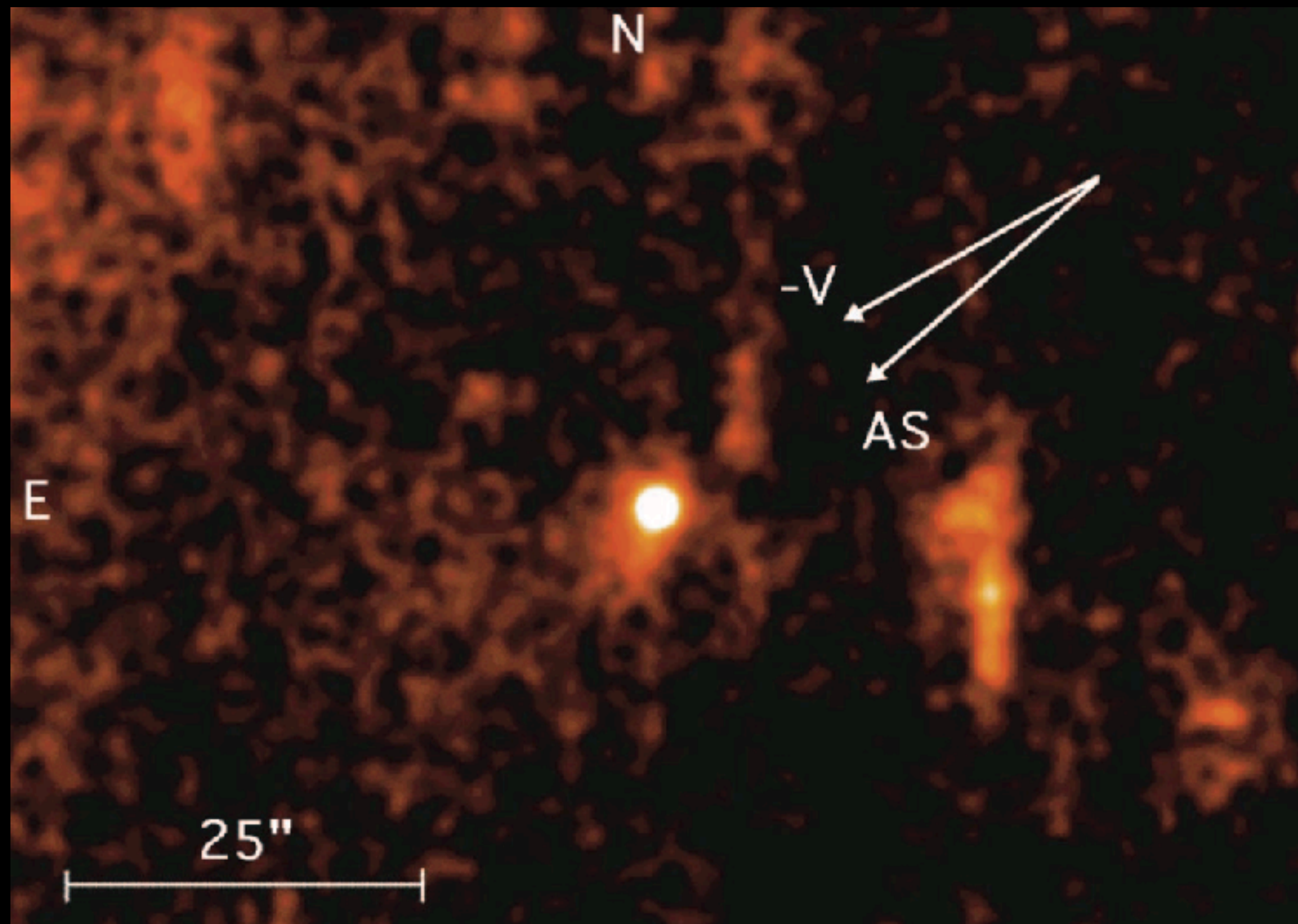
SCI/発振器による人工地震波探査



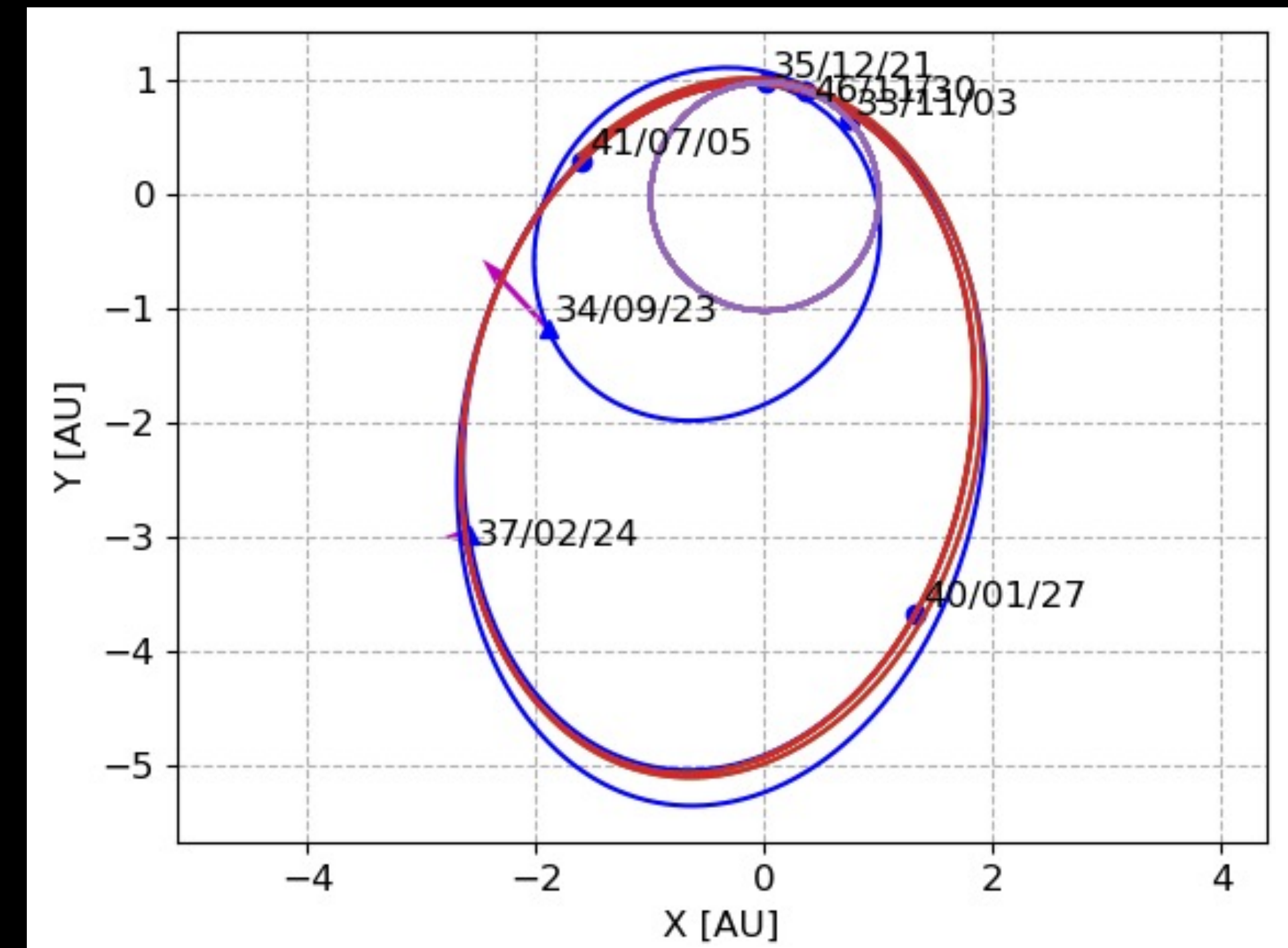
Credit: Sakatani, Tanaka, Kawamura, Tsuji, Onodera, Nishiyama

探査候補天体：289P/Blanpain

R-band image (Jewitt, 2006)



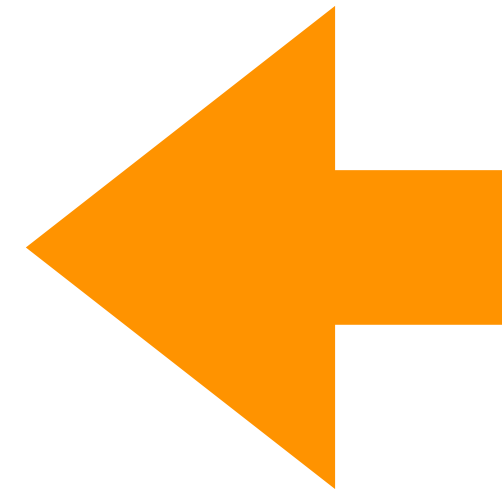
探査機の軌道の一例 (工学WG提供)



- ほうおう座流星群の母天体として知られる、直径 ~300 m の低活動度木星族彗星
- 2033年打ち上げ・2040年到着・2046年地球帰還

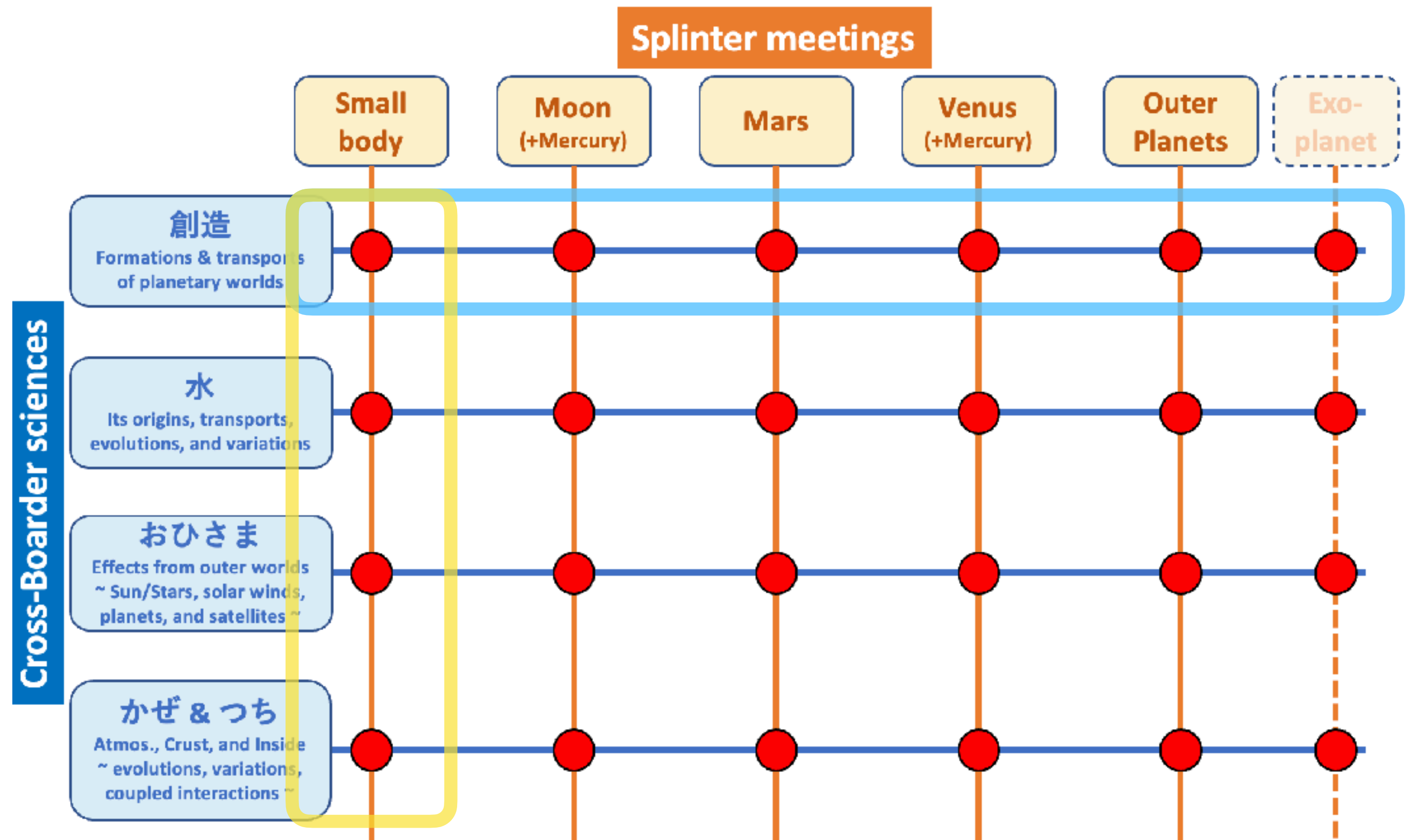
次世代小天体サンプルリターンの開拓するサイエンス

天文学・天体物理学
(銀河系進化)



世界観の拡張

惑星科学・太陽系科学



まとめ

- 理工WG共同で2024年3月の戦略的中型探査提案を目指す
- 彗星から太陽系の起源に迫る
- 銀河系物質進化を辿る太陽系物質進化の解明
→ 地下物質サンプルリターンとその場分析
- 微惑星形成過程に迫る太陽系天体進化の解明
→ レーダー・地震計による内部構造探査
- 289P/Blanpainの場合、
2033年打ち上げ・2040年到着・2046年地球帰還