

隕石と流星群が示す 小天体の局所的部分溶融の痕跡

荒井朋子

千葉工大・惑星探査研究センター

最新の小天体研究成果

- イトカワS型小惑星：前駆天体で加熱・破砕後、再集積 (Nakamura et al., 2011)
- ◆ 小惑星2008TC3 及び由来隕石 (Almahta Sitta)
→ 複数タイプの始原的隕石及び分化隕石の混合 (Jenniskens et al., 2009, Bischoff et al., 2010)

小天体の既存概念

太陽系の始原的物質が集積したもので、

均質組成を持つ (単一隕石種に対応)

太陽系始原物質=小天体・惑星の材料物質
がどのような分化をどの程度経ているか

- 太陽系科学の根本概念の見直し
- 太陽系形成史の正しい理解

太陽系最初期の物質分化プロセスとは？ 過渡的（遷移的）状態を残すもの

原始太陽系星雲でのプロセスと
母天体でのプロセスが共存・混在するもの。

始原的隕石→分化隕石
平衡コンドライト
原始的エコンドライト

彗星→小惑星
活動的小惑星
枯渇彗星

太陽系物質分化のプロセス@母天体

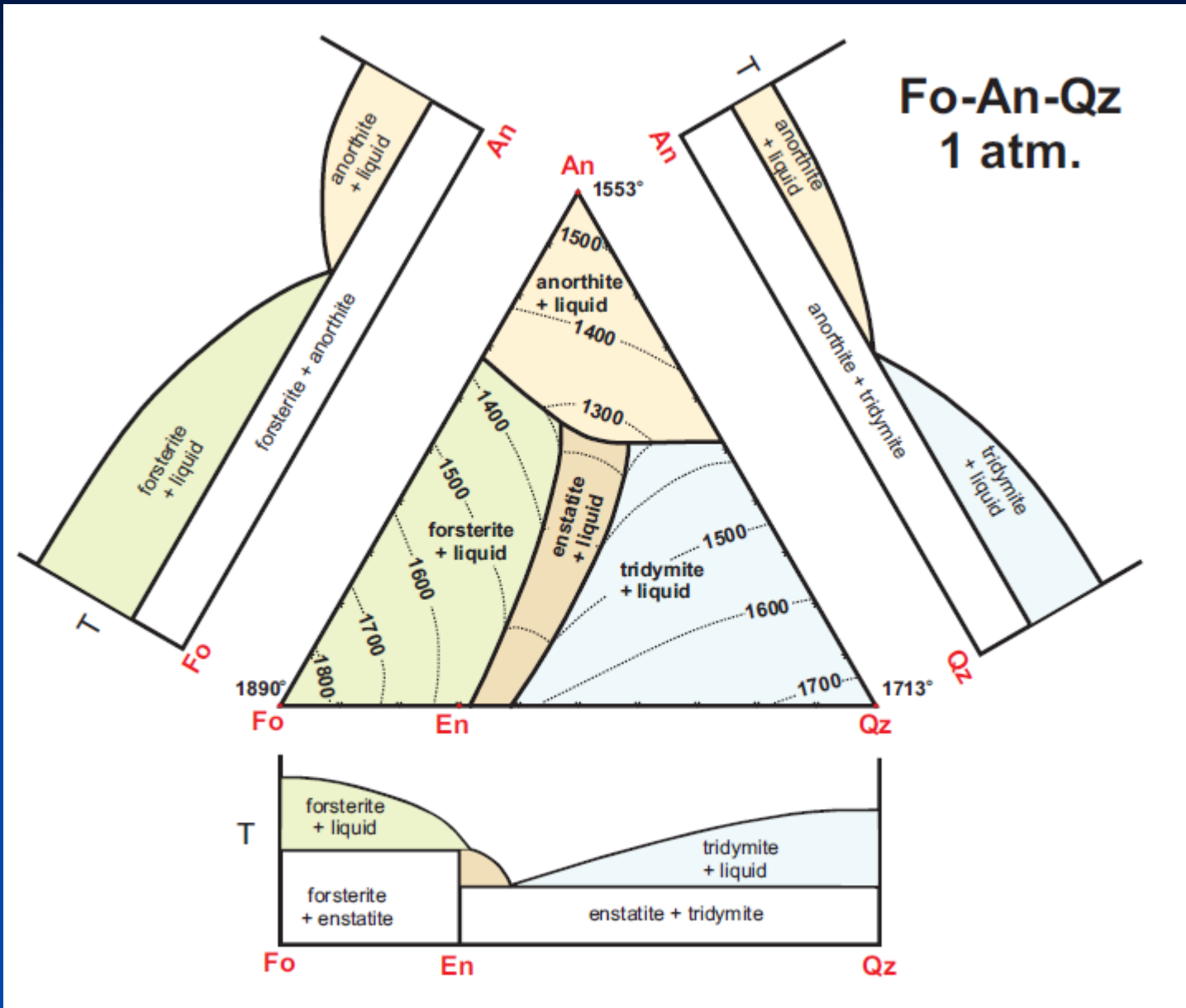


- 部分溶融 (partial melting)
- 結晶分化 (Fractional crystallization)
- 機械的分別 (Mechanical segregation)

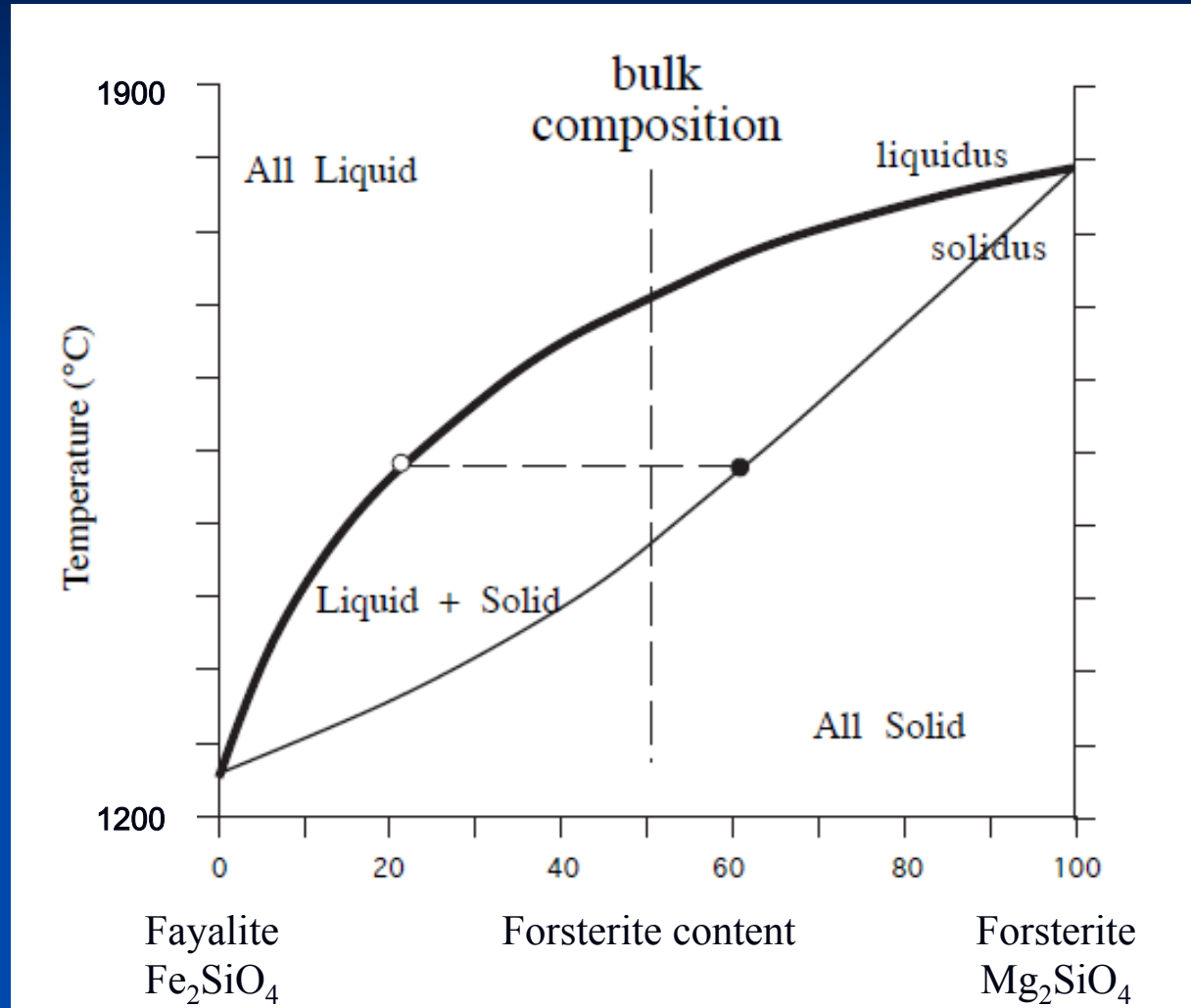


Mineralogical and chemical differentiation

部分熔融

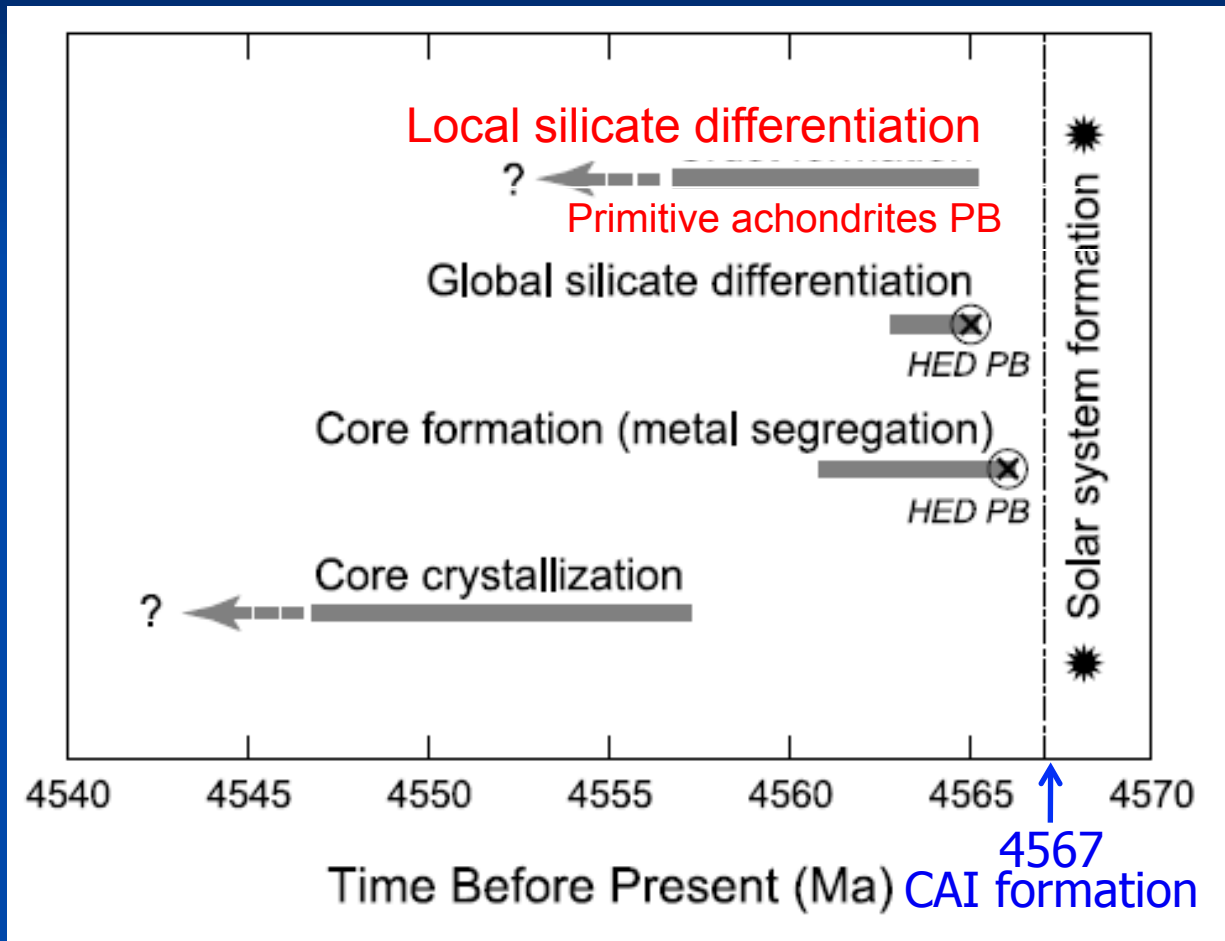


結晶分化



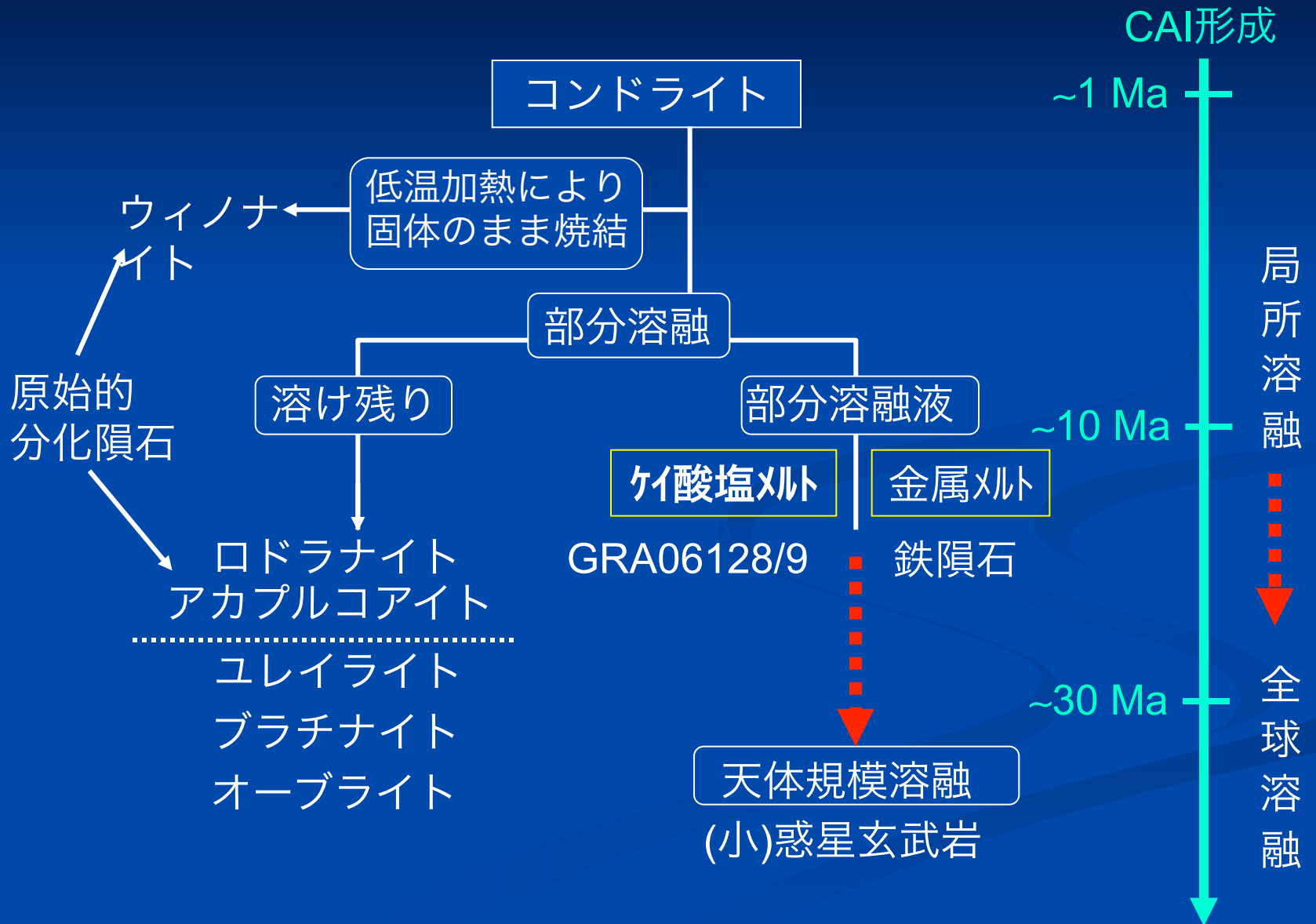
かんらん石の相関
係

Timescales of planetesimal differentiation



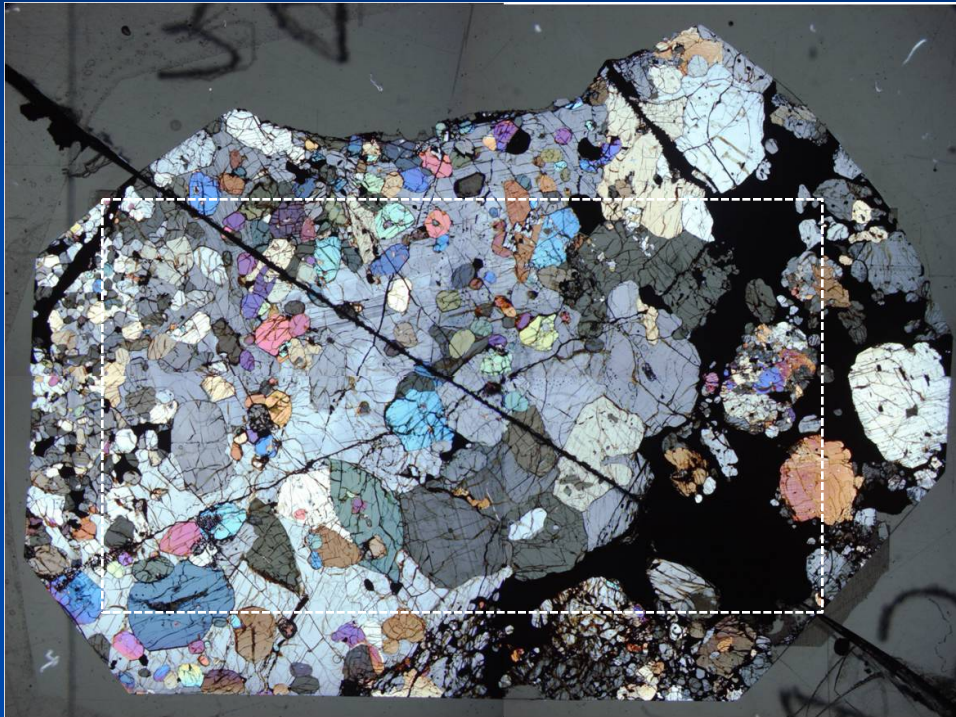
Wadwa et al. (2006)

隕石に残された太陽系物質進化の記録

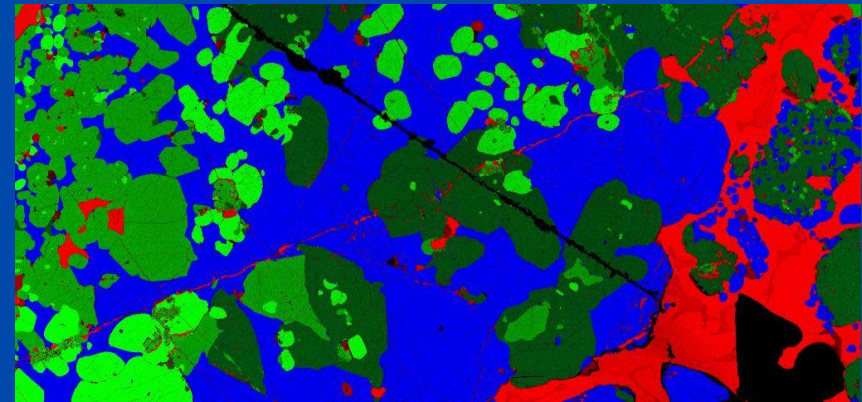


Caddo County: IAB iron with silicate inclusion

Photomicrograph (FOV: 2.1 cm)



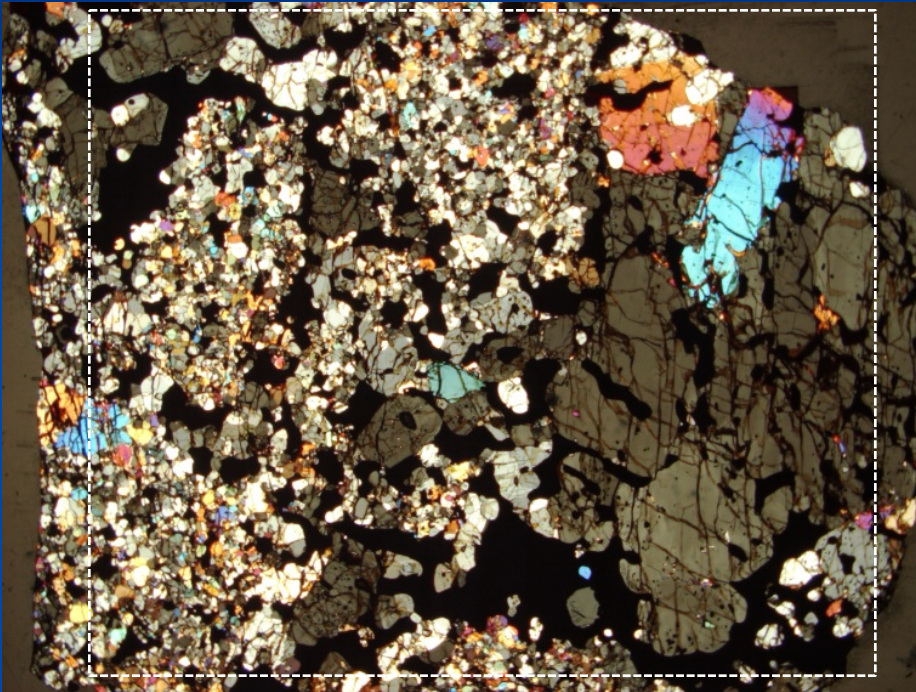
Color-composite elemental maps
(red: Fe, green: Mg, blue: Na)
(FOV: 1.5 cm)



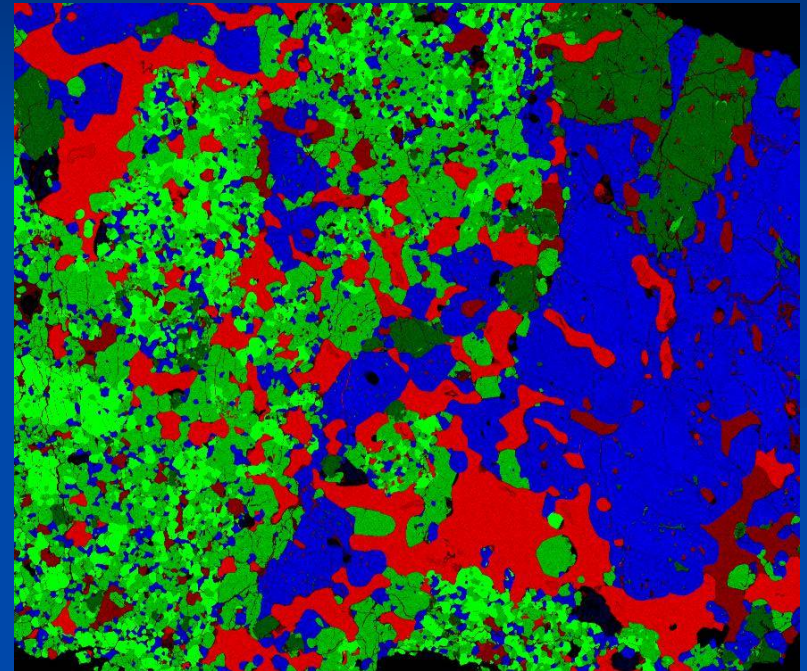
Red: FeNi metal and troilite
Blue: Na-rich plagioclase
Bright green: olivine, orthopyroxene
Dark green: diopside

LEW 86220: Lodranite-acapulcoiite transition

Photomicrograph (FOV: 1.2 cm)

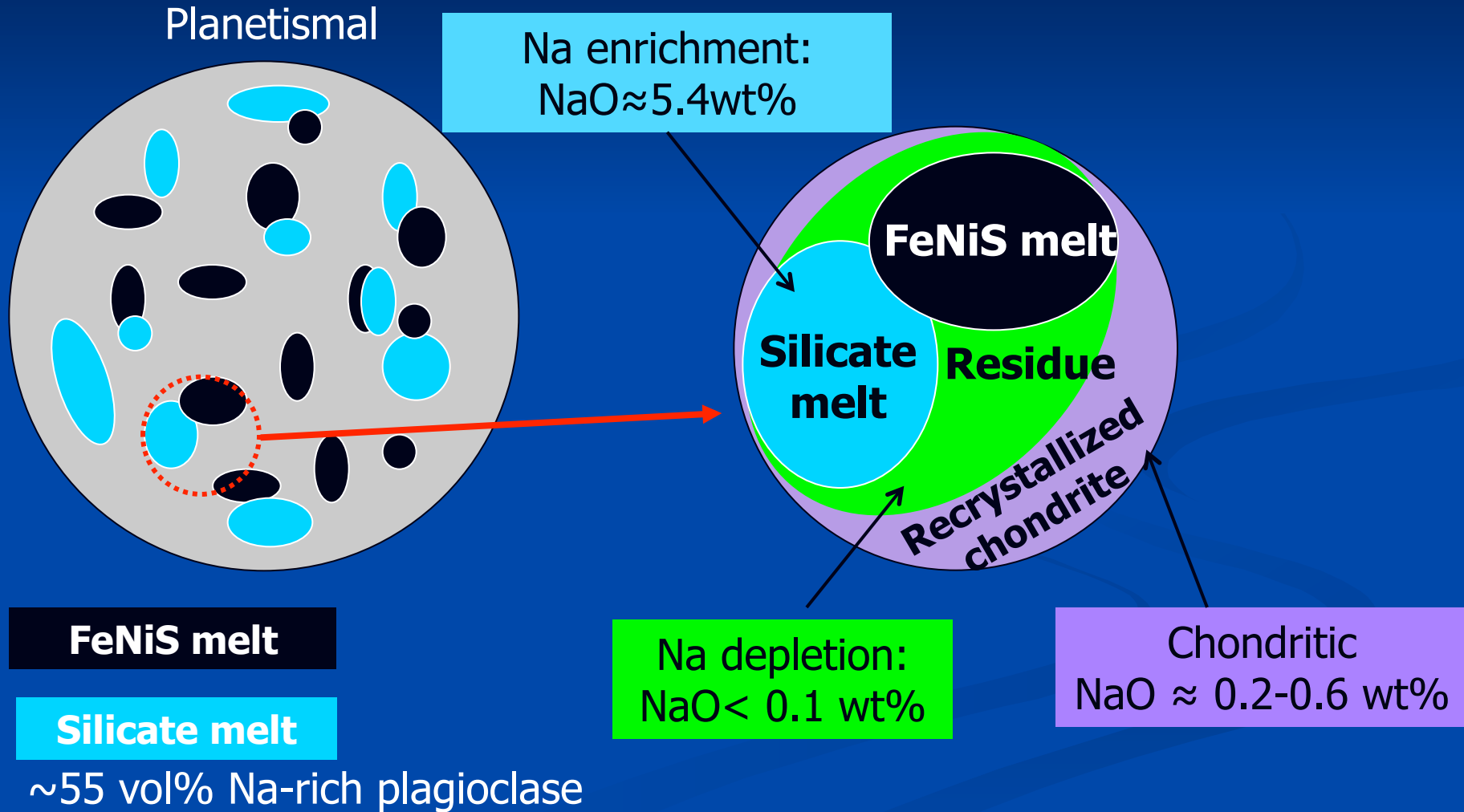


Color-composite elemental maps
(red: Fe, green: Mg, blue: Na)
(FOV: 0.9 cm)



Red: FeNi metal and troilite
Blue: Na-rich plagioclase
Bright green: olivine, orthopyroxene
Dark green: diopside

Incipient partial melting causes cm-scale Na heterogeneity within planetismals



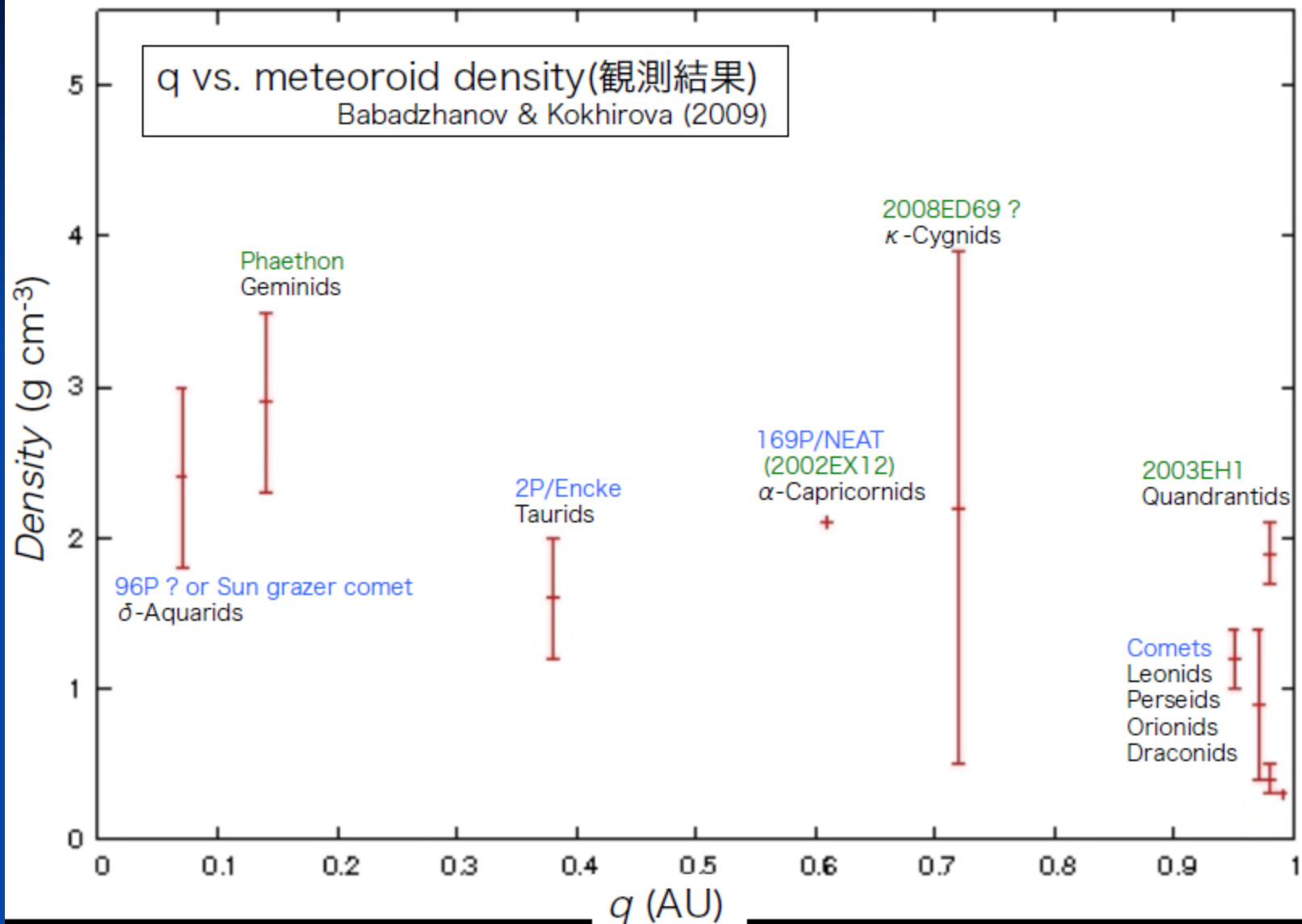
3200 Phaethon

- ApolloタイプのNE asteroid, B/F型小惑星 (C型のサブタイプ)
- 水星、金星、地球、火星の各軌道を横切る。軌道傾斜角大
- 太陽に最も接近する小惑星：近日点距離0.14 AU
- 複数のfamily天体有り (2005UD, 1999YC, 2Pallas)
(Ohtsuka et al., 2006, Jewitt & Hsieh, 2006; Kasuga & Jewitt, 2008; de Leon et al., 2010)
- 双子座流星群の母天体 (Whipple, 1983)
- 彗星活動稀、近日点での増光の報告あり (Jewitt & Li, 2010)
→ 枯渇彗星、活動的小惑星

彗星→小惑星の“遷移的”特徴を持つ天体

- 双子座流星群で、顕著なNa枯渇及び不均質が観測 (Kasuga et al., 2005)。母天体の不均質を反映？ (Kasuga et al., 2006)

始原天体 分化天体の“遷移的”特徴を持つ天体



双子座流星群の紫外可視分光観測

- Na不均質 (太陽組成より枯渇) (Kasuga et al., 2005)
- Na組成不均質 (Borovička (2001), Trigo-Rodríguez et al. (2003, 2004)

粒子サイズ (mm-cm)から、不均質は隕石と同様の空間スケールで分布。
Phaethonは化学組成が調べられている唯一の小惑星?!

Phaethon-Geminid天体中でNa濃度不均質→局所溶融の痕跡?!

Table 1. Metallic abundances of the Geminid meteor, solar abundances and other Geminid meteor research.

	Geminid (this study)	Solar abundance (Anders & Grevesse 1989)	Geminid (other research) (Trigo-Rodríguez et al. 2003)
Fe/Mg	0.43 ± 0.07	0.84	–
Ca/Mg	0.0031 ± 0.0005	0.057	0.017 ± 0.009
Ni/Mg	0.078 ± 0.012	0.046	–
Na/Mg	0.0036 ± 0.0005	0.054	0.10 ± 0.03
Mn/Mg	0.0072 ± 0.0011	0.0090	0.0054 ± 0.0020
Cr/Mg	0.0082 ± 0.0012	0.013	0.0078 ± 0.0035

Phaethon 探査がもたらす成果

- 惑星科学の多分野（天文学、天体力学、小惑星・彗星科学、隕石学、実験岩石学）に渡る根本的概念を見直すきっかけとなる
- Phaethon探査が迫る本質的課題
 - 小惑星の出発物質は何か？惑星の出発物質は？
 - 小惑星と惑星の違いは何か？
 - 彗星は始原的物質なのか？
 - 彗星と小惑星の違いは？
Activated asteroid or dying comet, main-belt comet
 - 彗星の「成れの果て」はどうなるのか？

Phaethon探査のサイエンス要求

表層での加熱脱水効果

• Sample return

表層組成の不均質

表層と内部組成の差異

• VIS-NIR分光
(Ol, Px, Pl, Metal)

• IR分光 (水質変成鉱物)

• XRS (Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Fe, S, (Ti, Cr))

-Global (10-100m in pixel) to local (cm-mm) mapping.

内部組成、構造、温度分布

• Penetrator
• Impactor



ダストの密度・粒径

• Dust monitor

噴出ガス組成

• Gas analyzer
• Mass spectrometer

Yarkovsky効果
Killer asteroid評価

• Measure orbital property

Phaethon探査検討チーム

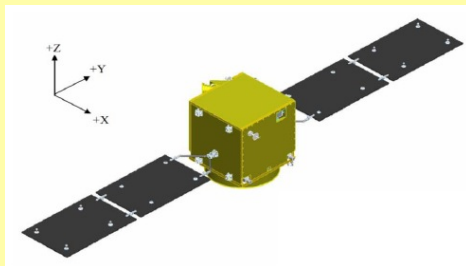
- 荒井朋子 (千葉工大・惑星探査研)
春日敏測 (国立天文台)
大塚勝仁 (東京流星観測網)
中村智樹、中藤亜衣子 (東北大・理)
中村良介 (産総研)
渡部潤一、伊藤孝士 (国立天文台)
小林正則 (千葉工大・惑星探査研)
川勝康弘 (JAXA・ISAS)
中村圭子 (NASA・JSC)
小松睦美 (早稲田大学)
亀田真吾 (立教大学)
中宮正樹 (京大・生存圏)
千秋博紀、和田浩二、大野宗佑、石橋高、石丸亮 (千葉工大)

DESTINY:

Demonstration and Experiment of Space Technology for INterplanetary voYage



μ 20 ion engine

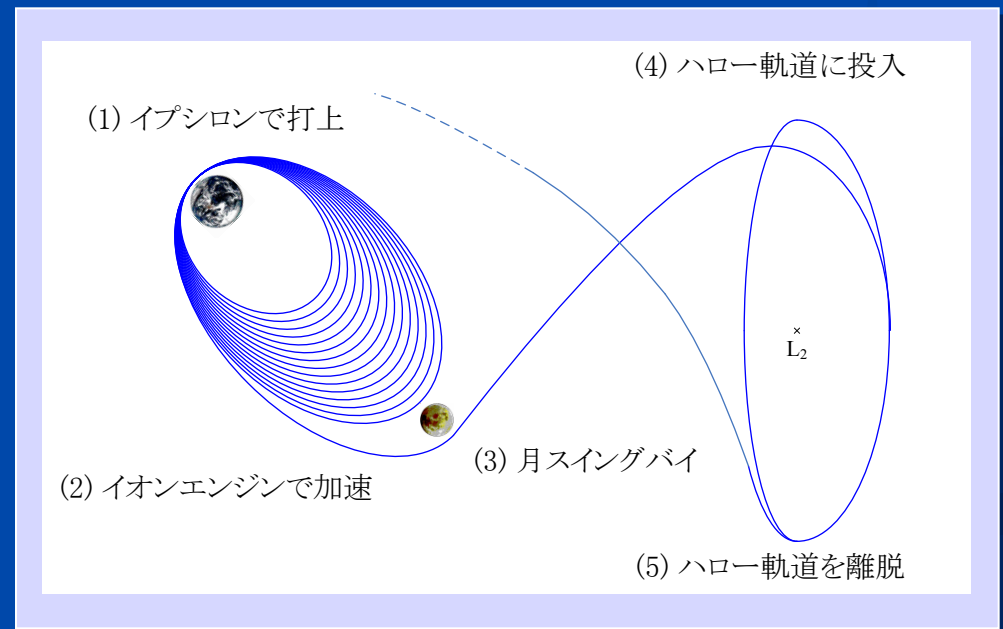


Small science
satellite standard bus
system (1m cube)



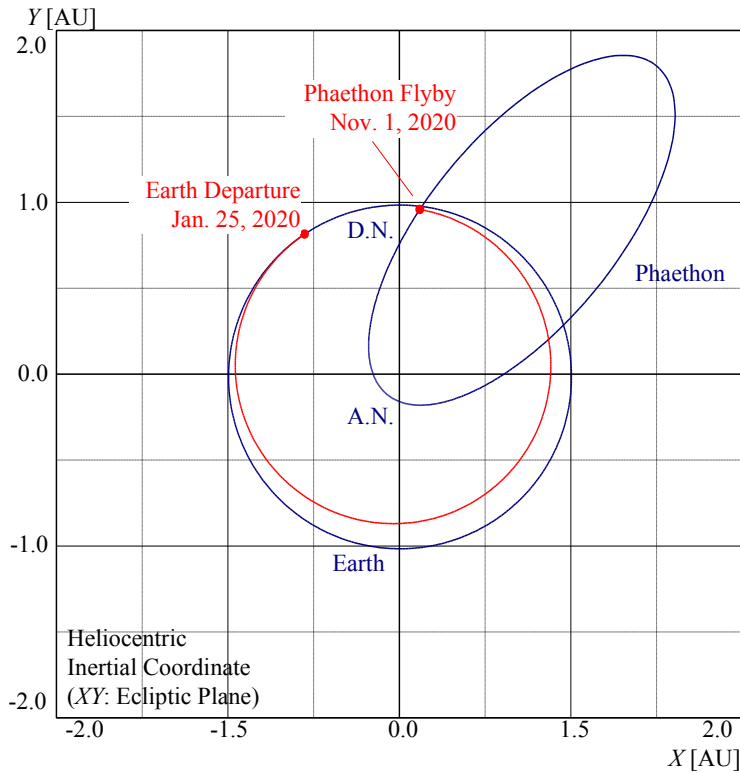
Launch by
Epsilon rocket

Suitable for fly-by or impact mission(s)
to Phaethon

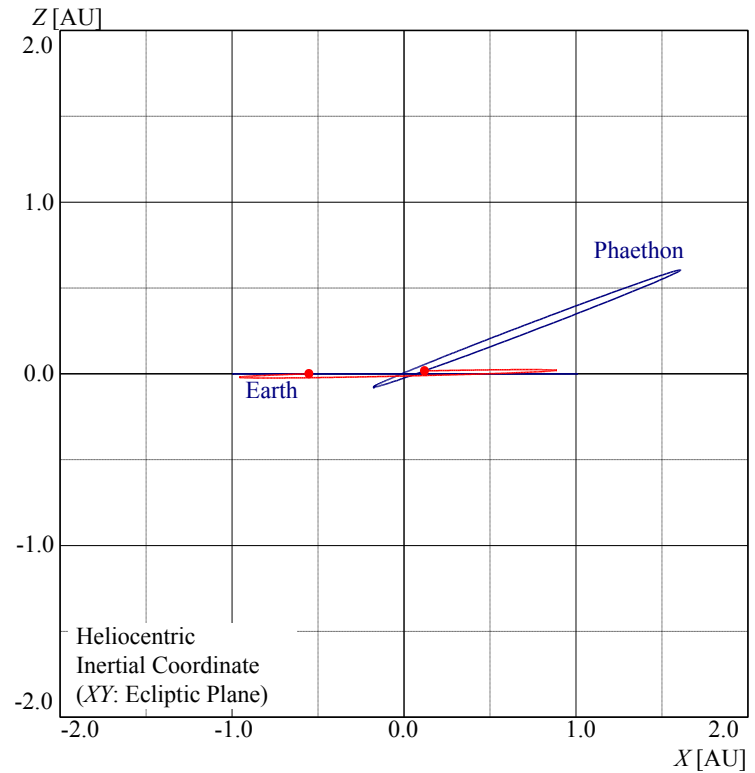


350 kg mass to L2 Halo orbit

Phaethon Transfer Example



(a) XY plane.



(b) XZ plane.

Fig. 3 Phaethon Transfer Example