

ソーラー電力セイルによる トロヤ群小惑星帯サンプルリターンのミッション解析

松本純¹, 船瀬龍¹, 森治², 白澤洋次², 大野剛¹, 濱崎拓¹, 林直宏¹,
中条俊大¹, 元岡範純¹, 田中啓太¹, Marco Giancotti³, 大谷翔¹

¹ 東京大学 ² JAXA ³ Sapienza University of Rome

概要

ソーラーセイルWGではソーラー電力セイルによる外惑星領域探査を検討中であり、本稿では探査機がトロヤ群にランデブーした後の、小惑星サンプルリターンに関する検討について報告する。本検討では探査機自身のサンプルリターンや子機によるサンプルリターンなど複数の方法を挙げ、各候補についてのサンプル採取方法やシステム成立性に関して検討を行っている。本ミッションにおける特徴は次の4点である。1つ目は、サンプルリターンミッションに割り当てられる重量が限られるため、大掛かりな装置を使えないこと、2つ目は伝搬遅延時間が大きいため探査機自身に高度な自律機能が要求されること、3つ目は太陽から約5AU離れた小惑星近傍での十分な電力の確保であり、特に子機を分離する場合は、電力セイルが必要な場合があること、そして4つ目は地球-トロヤ群小惑星帯往復の長期ミッションであることから、復路にかかる年数を可能な限り削減する必要があることである。

探査機構成案

本検討では、**サンプルリターンを200kgほどの重量で行う**ことを考えている。以下の探査機、サンプル採取方法の構成を検討した。

	サンプル採取方法	帰還する探査機	帰還時推進方法	補足	ナンバリング
3000m ² セイルがサンプル採取	コンベックステープによる採取	3000m ² セイル	電気推進		(1-1)
	小型衝突装置による採取				(1-2)
	分離型サンプル採取装置の使用				(1-3)
子機がサンプル採取	コンベックステープによる採取	子機 (100m ² セイル)	電気推進	子機が完全に独立してサンプル採取	(2-1)
	小型衝突装置による採取				(2-2)
	分離型サンプル採取装置の使用				(2-3)
	サンプラーホーン (はやぶさ相当)	子機	化学推進	親機が小惑星近傍まで子機を運ぶ。サンプル採取後 3000m²セイルに一度ドッキング後帰還*	(2-4)
	サンプラーホーン (はやぶさ相当)	子機	化学推進	親機が小惑星近傍まで子機を運ぶ。 サンプル採取後、 子機がそのまま帰還	(2-5)

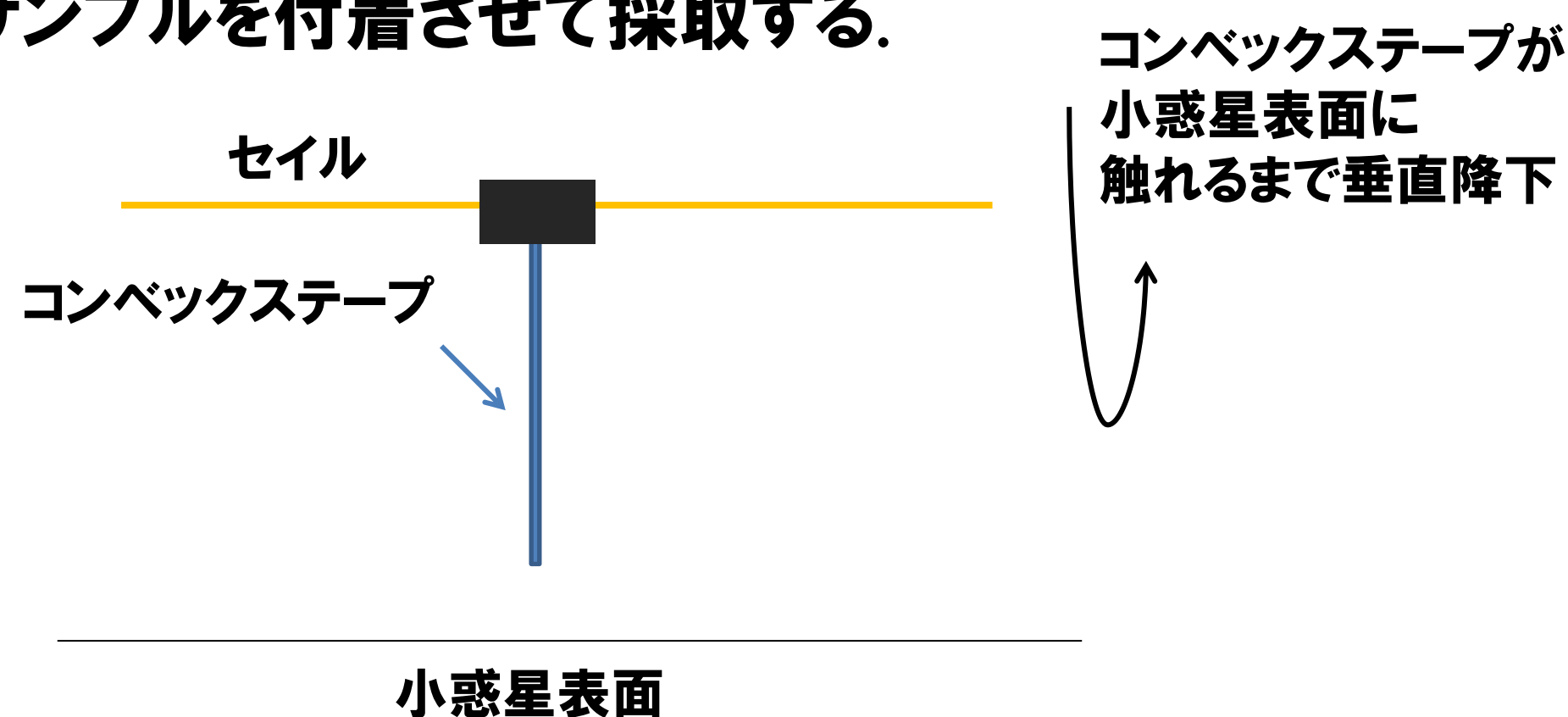
※ 3000m²セイルのサポートの下、安定した状態で地球帰還に必要なΔVを噴く。

サンプル採集手法案

本検討では以下のサンプル採取手法を候補に挙げ、各案における探査機重量や技術的実現性を検討した。

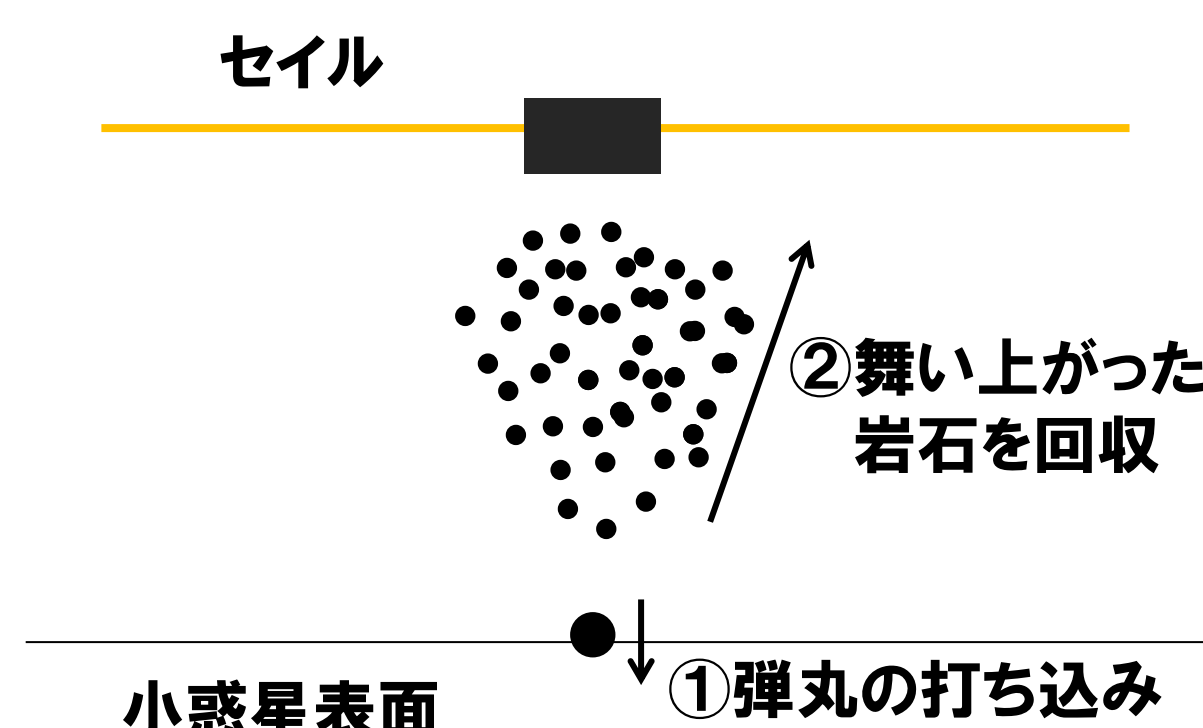
(i) コンベックステープによる採取

コンベックステープを垂らしながら、小惑星表面に向けて垂直降下し、コンベックステープの先端にサンプルを付着させて採取する。



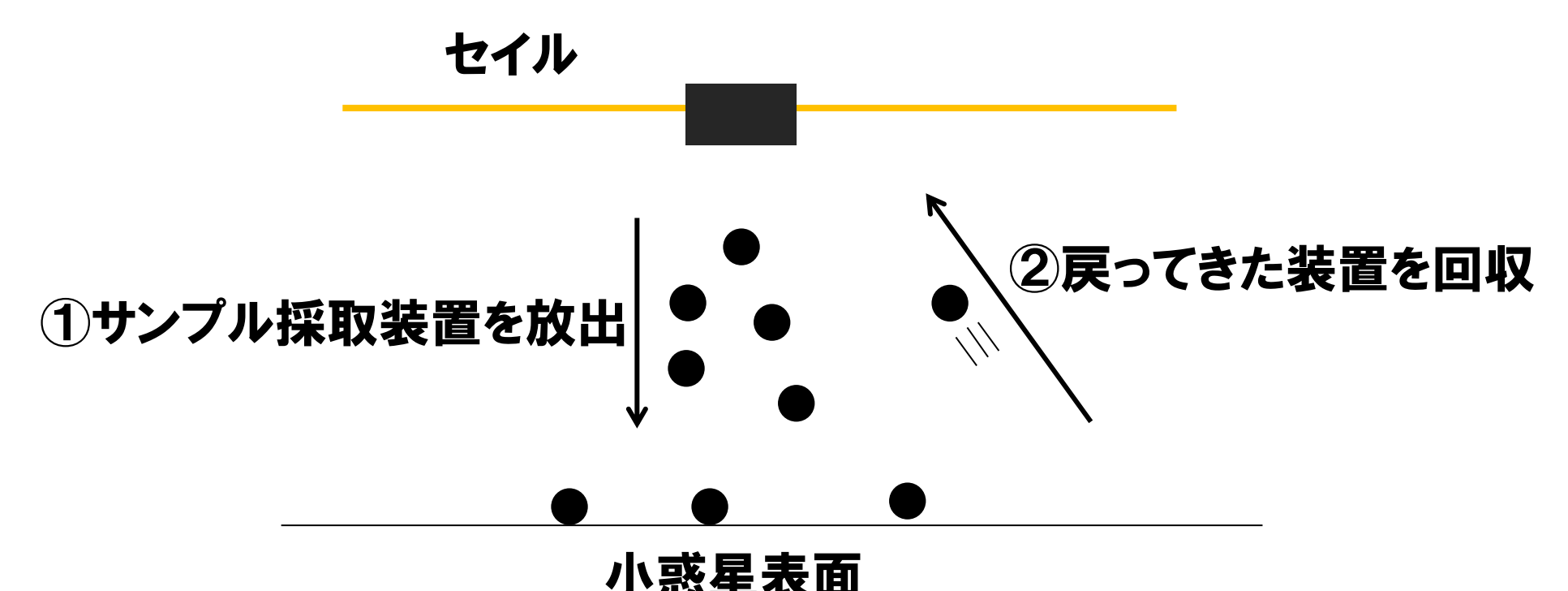
(ii) 小型衝突装置による採取

小惑星表面に高速の弾丸を打ち込み、舞い上がった岩石を回収する。



(iii) 分離型サンプル採取装置の使用

サンプル採取装置を放出し、その中から最低1つ回収する。



各探査機構成の比較を表1にまとめる。

方式	タッチダウン時消費燃料	サンプル量	航法誘導・姿勢制御要求	安全性
(1-1) (2-1) *5	○*1	△	△	△
(1-2) (2-2)	×	×	○	×*2
(1-3) (2-3)	△	×	×	×*2
(2-4)	△	○	×*3	×*3
(2-5)	○	○	×*4	△

表1 構成比較①

※1 1回のタッチダウンに必要な燃料は、小惑星Eurymedonの場合、23kgである。
※2 セイルが傷つく可能性があるため
※3 ドッキングの制御要求は厳しく、3000m²セイルを傷つける可能性も高い
※4 小惑星離脱時に見失う可能性がある
※5 セイルが小惑星表面に接触することを避けるためコンベックステープの長さは(1-1) 50m (2-1) 10m ほど必要である。

帰還時推進方法および地球帰還軌道

(a) 電気推進を用いた帰還軌道

帰還時の姿勢制御方式を(a-1) 三軸制御方式(a-2) スピン安定方式のいずれにするかで、電気推進の効率が変わってくる。
軌道計算の結果、帰還に必要なΔVは
(a-1) 三軸制御方式: 6.6 km/s (a-2) スピン安定方式: 7.9 km/s となる。

(b) 化学推進を用いた帰還軌道

小惑星出発時のΔVは、平均的に5.5km/sほどとなる。

各探査機構成の比較を表2にまとめる。

方式	結果
(1-1,2,3)	(a-2) の場合でも帰還に必要な燃料は180kgほど。(IESの寿命には注意が必要)
(2-1,2,3)	100m ² セイルにIESを搭載する場合、子機全体重量が300kgを超える。
(2-4,5)	200kgで子機を構成すると、燃料を除いた重量は28~34kgしかない。

表2 構成比較②

(2-1,2,3) は重量要求を満たさず、(2-4,5) は現実的には不可能である。
一方、(1-1,2,3) は重量要求を満たし、実現可能である。

結論

以上の検討の結果、
最も有力な案は、「(1-1) 3000m²セイルがコンベックステープでサンプル採取し、そのまま電気推進で地球へ帰還する」である。
この方式では、タッチダウン用燃料、サンプル採取装置、帰還に必要な燃料全てを合わせても、必要重量は200kg+αの範囲に収めることが可能である。