

次期小惑星探査のサンプリング機構 開発について

野口高明(茨城大)
矢野創(JAXA/ISAS)

「地球外起源固体微粒子に関する総合研究」に関する小研究会
2005年7月12日

次期小惑星探査

- 「理学探査ミッション」
- サンプルリターンを想定
 - 現地におけるその場計測でなくサンプルの回収を行なう主な理由:
 - ①探査機に搭載されている分析機器では不可能な詳細な分析が可能である
 - ②試料が地球に持ち帰られた時点の最新の分析手法が適用できる
- 10年後くらいのサンプル回収を想定??
 - Small missionとLarge mission

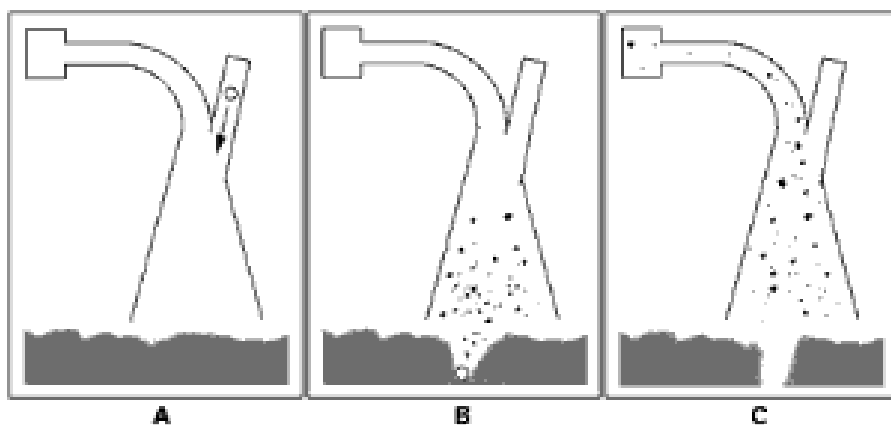
- 2004/5/28 次期小天体探査第2回全体会議
- 2004/7/2 第1回次期小天体探査ターゲット小研究会
- 2004/8/3 第2回次期小天体探査ターゲット小研究会
- 2004/9/1 サンプルングサブグループ第1回会合
- 2004/10/19 サンプルングサブグループ第2回会合
- 2004/11/29 サンプルングサブグループ第3回会合
 - 2004/11/30 次期小天体探査第3回全体会議
 - 2005/1/6 宇宙科学シンポジウム これまでの検討結果を発表
- 2005/3/3-4 隕石中有機物のUV蛍光実験 SSPと連携
- 2005/3/7 サンプルングSGブレンストーミング会議
- 2005/3/28 第1回リモートセンシング勉強会 「地球外起源固体微粒子に関する総合研究」に関する小研究会と連携
- 2005/5/16 次期小天体探査第4回全体会議
- 2005/7/14 テザー技術検討報告会開催を予定

探査候補天体について

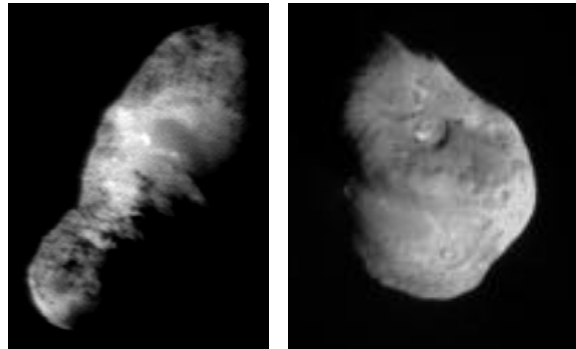
- 第2回次期小惑星探査WG全体会において、隕石や宇宙塵の物質科学的視点から特に興味深い探査候補対象天体について議論を行なった。
- 探査候補天体は大まかに分けて3種類：
 - (1) CAT (Comet-Asteroid Transitional)天体
 予想される主要構成物質：有機物，オリビン，輝石，硫化鉄，金属鉄など
 研究テーマ例： 太陽系を形成した鉱物，有機物の解明
 - (2) 炭素質コンドライト類似と考えられる未分化小惑星 (C, B, G, F, P, D, T型)
 予想される主要構成物質：層状珪酸塩，磁鉄鉱，硫化鉄，炭酸塩，オリビン，輝石
 研究テーマ例： (a) 含水小惑星における有機物の化学進化の解明
 (b) 太陽系最初期の“水”の性質の解明
 - (3) 分化小惑星 (V型およびS, A, R型)
 予想される主要構成物質：輝石，長石など
 研究テーマ例： 惑星物質の分化過程の解明

サンプリング装置に対する要請について

- はやぶさ探査機では、さまざまな表層状態（岩盤、レゴリスなど）に影響されにくいサンプル回収方法ということで、プロジェクタイルを打ち込み、砕けた標的物質を回収するという機構が採用された
- 次期小惑星探査WG全体会において最も多かった意見は、「未分化小天体からの層状情報を保持したサンプリング」
- 何を志向するかで「層序情報を保持する」程度は異なる
 - 宇宙風化を受けていない天体内部のフレッシュな試料が欲しい
 - > インパクターで掘削でもよいはず
 - “宇宙風化”や“続成作用”といった変化の過程を見るサイエンスを行なう
 - > 「表面から地下のある深さまでの連続した層序情報」を保持必要



CAT天体におけるサンプリング



直径 約5km
がけの高さ 150m

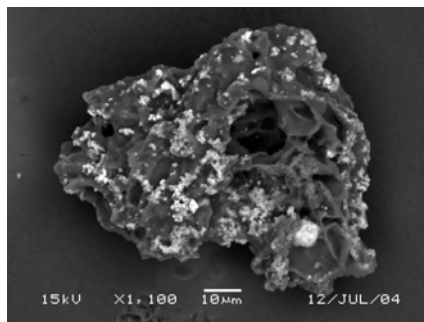
アルベド 0.03-0.04 → 炭素質物質を多く含むため？

無水惑星間塵



Washington Univ.
HPより

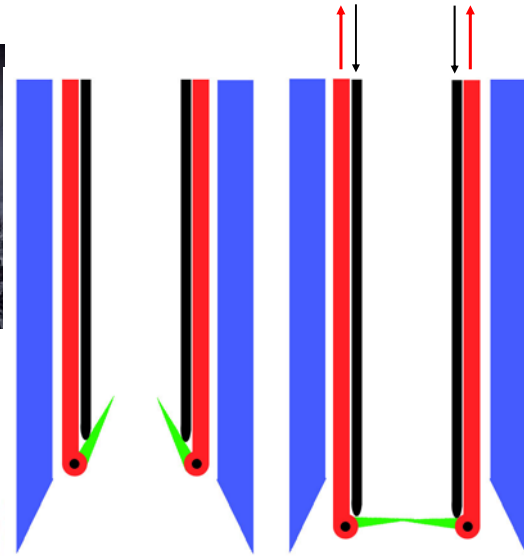
超炭素質微隕石



日本の南極観測隊が回収
した試料より我々が発し
た超炭素質微隕石

表面物質はもろいと予想されるが、非常にもろいかどうかは分からない。

Rosetta Lander

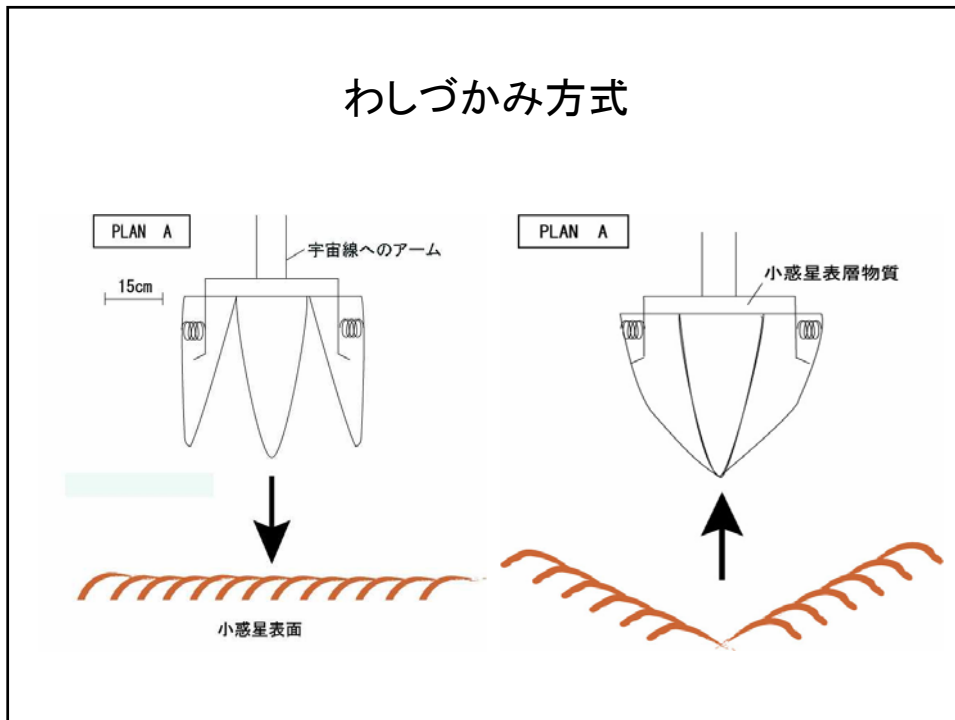


筒の押し込みと内部の筒+試料の回収

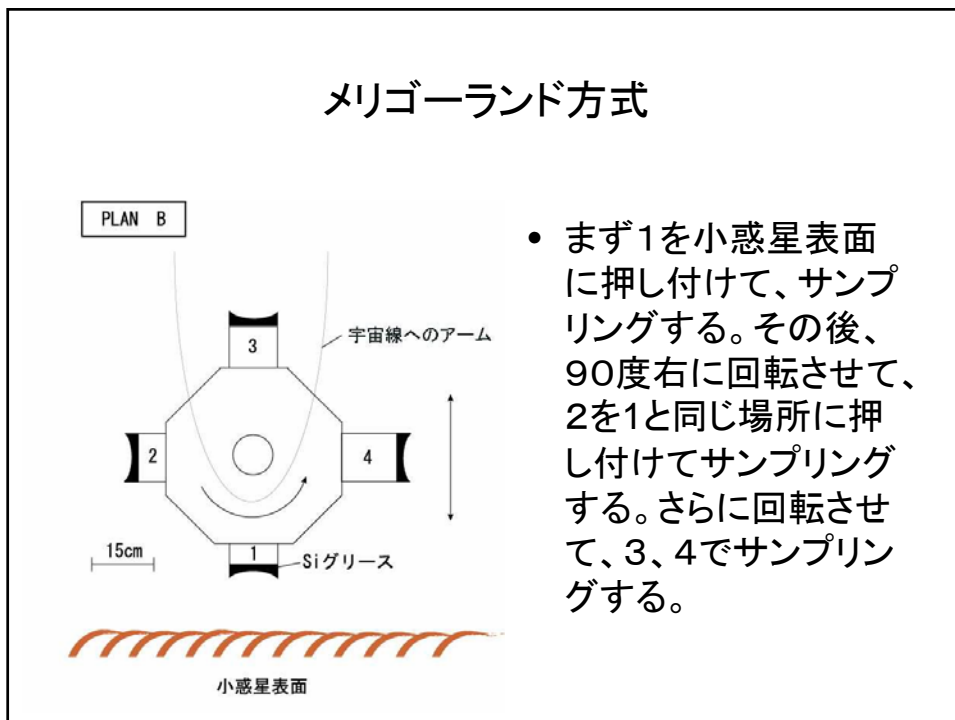
炭素質の天体におけるサンプリング装置

- 炭素質の天体の表面物質は、CI, CM, Tagish Lakeに似た物質であろう
- 表面物質の硬さについては研究者によって予想は相当異なる
 - (a) いずれもやわらかい物質（適度に乾いた泥～乾いたカステラくらい）である
表層の物質が岩石であろうがレゴリスであろうが違いはない
 - (b) CI的な比較的柔らかいものからCV的な固いものまで多様なのではないか

わしづかみ方式



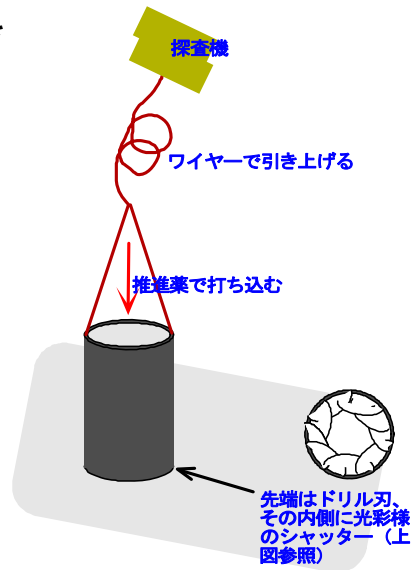
メリゴーランド方式



筒撃ち込み+テザー引き抜き

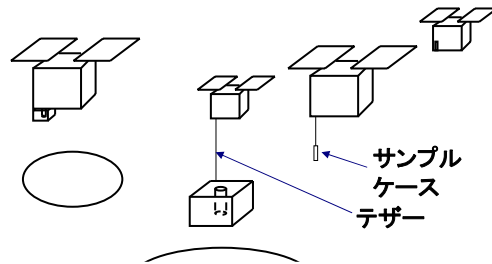
CAT天体からのサンプリング装置とほぼ同様なものが、筑波大の三田さんが炭素質コンドライト類似物質から成る小惑星からのサンプリング装置としても提案している。

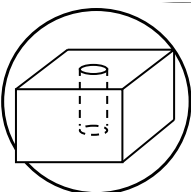
こちらの案では、筒の回収には**テザー**を使用する。



自律型コアリング装置+テザーを使った試料回収

表面物質は比較的硬いと考えると、コアラーを表層に降ろしてドリリングし、サンプルケースごと**テザー**で回収





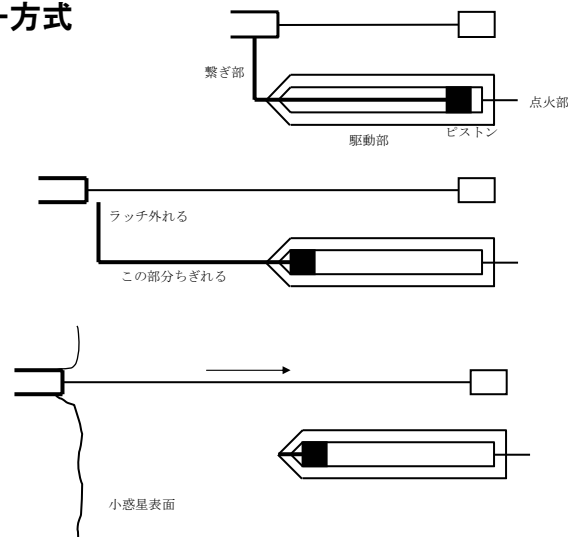
~50 cm X ~50 cm

構成要素

1. 自律型パッケージ
2. 自己保持
3. 電源
4. メカニカルコアリングシステム
5. 確実にサンプルを脱離
6. サンプルコア容器のみ回収 (~3 cm X ~50 cm)

打ちこみ／テザー方式

および、
発破＋打ち込み



サンプリング装置の機構をつめるに当たり、理学研究を行う際に譲れない点を明確化する

(1)採取試料の深さとサイエンス成果の定量的評価をして欲しい

(2)試料の深さ方向の連続性の情報がサイエンスにどれほどクリティカルか検討して欲しい

(3)弾丸衝突や爆薬爆破などによるコンパクション、衝撃、加熱などの影響が、各サイエンスに与える影響はどれほどか検討して欲しい

1. 対象天体は、C型(あるいはD型)小惑星とする

2. 有機物の研究が最もシビアな試料回収条件を与えるので、これを基準とする

3. 小惑星の起源に関する研究と共に、地球では絶対に入手不可能な惑星物質である小惑星表層物質を用いた研究を行う

(1)採取試料の深さとサイエンス成果の定量的評価をして欲しい

「定量的評価」 ミッション・サクセスレベル

たとえば, ミニマムを採取するにはどれだけ?

有機分析の点から挙げると、優先順位で

1. 有機物・水の存在(含水鉱物、層間水でもよい)を確認できること。
2. アミノ酸の存在を確認でき、そのDL体比を明らかにできること。
3. 核酸塩基の存在を確認でき、その種類を明らかにできること。
4. 有機物全体の立体化学(偏光など)が解明できること。
5. 有機物・有機分子の同位体比を明らかにでき、それらの起源・生成メカニズムを解明できること。
6. 有機物の変質度と化学進化の関係を解明すること。

(岡山大・奈良岡氏)

三田氏(筑波大)の回答

A. アミノ酸の存在を確認でき、そのDL体比を明らかにできること。

- 有機物全体を考えるより、分析、汚染源の検討が容易なため、アミノ酸に限定した方が結果が得られやすい。
 - 原田先生のアポロSoil試料の分析では、着陸船の推進薬の汚染はアミノ酸に限定すればバックグラウンド以上生成しないと判断している。

B. 有機物を確認できること。

- はやぶさ初期分析で奈良岡氏のグループが提案しているように、PAHなどが比較的容易な対象である。多分、検出自体は最も容易だが、火薬の汚染、小球衝突による影響を受けやすい。

C. 有機物・有機分子の同位体比を明らかにでき、それらの起源・生成メカニズムを解明できること。

- B.である程度の濃度さへ検出されれば、同位体比は得られるだろう。

D.水の存在(含水鉱物、層間水でもよい)を確認できること。

- 水は衝突の影響も受けやすいと考えられ、回収後の保持も困難であり、帰還後の汚染(吸着)もあり得ますので有機物よりは難しいだろう。

→層間水は600°Cくらいまでの加熱なら抜けないはず(野口)

E. 有機物全体の立体化学(偏光など)が解明できること。
 ・ 三田氏が分析手法の開発を目指したいと考えている分野。このプロジェクトで試料が地球に届くまでにはなんとかしたい。分光学的手法が使い易い部分なので、SSPIに観測機器を載せることを考えたい。

F. 核酸塩基
 ・ 炭素質隕石の分析結果から考えても非常に可能性は低い。見つければ非常にインパクトは大きい。

G. 有機物の変質度と化学進化の関係を解明すること
 ・ 上記の成果の全体のまとめとなるはずだが、「定量評価」とは結びつきにくいのでは。

月の分析例を考えると、深さ「数cmから10数cm」でA.B.C.は結果が得られそうな気がします。D.は外界の影響を受けやすそうなので、もう少し深い方が見つけやすいように思えます。E.F.は深度の問題より、分析技術や核酸塩基そのものが存在し得る化合物なのかどうかということに起因すると思います。(これらは定量的なデータに基づくものではなく、全く個人的なイメージです。)[三田氏コメント]

(2)試料の深さ方向の連続性の情報がサイエンスにどれほどクリティカルか

- もし深いところからサンプルを1つ取るということであれば、**30cm以深**をひとつの目安にしたい
- もっとも、その宇宙線が有機物に及ぼす影響というのはまさしく、表面から連続的にサンプルリングしなければわからないことである。(奈良岡氏)
- 最低限のレベルはレゴリス層とその直下、さらには数cmから10数cm、欲を言えば数10cm。**
- 深い試料であればより有機物を検出できる可能性が高いことになるだろう。しかし、うまくいけば、レゴリス層の直下から数cmの試料でも有機物を確認できる可能性がある。
- 試料の採取深度と有機物の検出の期待値を数値化するのは出来そうにない。たとえ、できたとしても、ある期待値の深さまでのサンプリング方法を考えるのではなく、技術的に可能な深さのサンプリングということになるのでは？
- 深さの問題より、天体の分化度の方がよりおおきな違いを生じるだろう。(三田氏)
- 天体の起源に関する研究だけが本探査の目的ではないので、地上からの観測とダイレクトに比較できるデータを与え、また、C型小惑星における宇宙風化を解明する点でも、小惑星表層の物質の回収の必要はある。層序というほどの厚さの試料が取れないにしても、**上下方向の混合の起きていない数cm試料**の回収は非常に重要である。(野口)

(3)弾丸衝突や爆薬爆破などによるコンパクション、衝撃、加熱などの影響が各サイエンスに与える影響はどれほどか

- 爆発物に炭素化合物系のものは使わないで欲しい。
- 炭素があって、衝撃波があれば、おそらく酢酸とかPAHなどはできるだろう。

(奈良岡氏)

- レゴリス層を吹き飛ばす時は、掃く等の物理的な方法が汚染を防ぐ上では望ましい。化学反応でガス成分を作る場合は有機成分を吹き付けることにはならないようにお願いしたい。
- 発破により表層の岩を取り除き、はやぶさタイプで対応する場合だと、発破はどうしても有機物が混入するので問題ではないか。数値化は非常に難しいが、有機物汚染が期待される有機物の含有量を超えてしまう可能性もあるのではないか。

(三田氏)

サンプリングSGブレインストーミング会議について

(層序を保持した)サンプルの回収にテザーを使うことは可能かどうか

はやぶさの今までのシークエンス

+

引き抜きと切断

+

サンプルのみならず容器ごと回収する

<シークエンス>

・ 射出

→ 弾式、ローラー槍

*爆薬

汚染

・ 打ち込み/採取

→ ハンマー(上とも関わる)

深さ

容器引き抜き/切断

容器回収(内部でも層序維持) → ステムビーム, パイシステム,

小惑星物質の想定

リール型テザー, テープ型テザー

debris cloud

(これらファーストケース解析)

GNC精度

→ ハンマーの一部として,

理学内のアイデア(弁付き)

コアラーのスケーリング

現在の状況

- 撃ち込み実験
 - はやぶさ型プロジェクターとサンプラーホーンの改良
 - C型小惑星の模擬物質の物性測定
 - 破壊強度, コアラーの引き抜き力?
- テザー技術のフィージビリティ評価
- 爆破に関する実験(火薬の選定, 実際に爆破実験を行なう, クレーターない試料の分析評価)
- 試料変成, 汚染および採取深さ・量についての分析側からの評価および設計要求の確定(?)