彗星、行きまーす

CHAR PROJECT

Comet High-speed Approach Research

2017/1/11

チーム名:赤い彗星

平田直之・牛尾康一・鎌田有紘・柏岡秀哉・松本明佳





彗星の定義 = 尾を持つ小天体

彗星には実は二種類ある



- ・短周期彗星 (Ecliptic Comets)
- 周期 < 200年
- ・長周期彗星 (Nearly Isotropic Comets) - 周期 ≥ 200年

周期の違いによって分類されているが これらの彗星は生まれも育ちも違うのかも しれない



カイパーベルト

木星以遠のほぼ黄道面に沿う 領域にある小天体群

オールト雲

1万~10万AUにある仮想的天体群。 1兆個もの小天体が存在するとされ、 数という点で太陽系最大のグループ である

オールト雲天体は内太陽系で作られ 複雑な力学進化を経たのち 外縁部に移動したという説が 提唱されている



COMETS VISITED BY SPACECRAFT







81P/Wild 2(6.4yrs) 67 5.5×4.0×3.3km Stardust,2004

67P/Churyumov-Gerasimenko (6.45yrs) 5×3km Rosetta,2014 103P/Hartley 2 (6.48yrs) 2.2×0.5km Deep Impact/EPOXI,20 10

1P/Halley(75.32yrs) 16×8×8km Vega 2,1986 19P/Borrelley(6.84yrs) 8×4km Deep Space 1,2001

9P/Temple 1(5.58yrs) 7.6×4.9km Deep Impact/ Stardust,2005

これまで探査された彗星は<u>すべて</u>ECsである

ミッションコンセプト



本ミッションは世界で初めてNICsをTargetとするもの である

<u>今回のミッションのアイデア</u>

- ・事前に探査機をスタンバイさせ、NICsへの探査を可能にする
- ・到達可能なNICsに幅をもたせるため、高機動力をもつ身軽な 探査機とする

今まで探査が行われてこなかった理由 発見してからプロジェクトを立ち上げるのでは時間がかかり、 目標とする数年で彗星に到達させることができない

ミッション目的



- ・NICsへの彗星探査および サンプルリターンを実現することを目的とする
- ・オールト雲由来とされるNICs を探ることで オールト雲の天体の形成と進化を探る (カイパーベルト起源の彗星との比較の実施)
- ・本計画は世界初の長周期彗星探査という位置付けであり、彗星科学のさらなる発展を図ることを目指す





- オールト雲の天体は長周期彗星・非周期彗星として 地球近傍に落ちてくると考えられている
- NICsを探査することで、未踏のオールト雲天体に ついて世界で初めてその姿・組成・進化の一端を 明らかにすることを目指す
- カイパーベルト天体と似通った性質が観測された場合、
 カイパーベルト天体とオールト雲天体は近い領域に
 起源をもつことが示唆される



スターダストにおいて行われた主な調査

分析手法	分析内容	わかったこと	示唆されること
透過型電子顕微鏡 (TEM)	結晶構造分析	輝石が溶けている	1500℃ 付近までの加 熱の経験した粒子の 存在
二次イオン質量分析 計 (SIMS)	有機物の水素,炭素, 窒素の同位体分析 (高感度)	水素と窒素の同位体 異常	極低温(~ 20K)の 星間分子雲を起源と する粒子の存在



太陽付近で形成された高温物質がカイパーベルトまで運ばれた



これらの分析を可能にしたのは・・





透過型電子顕微鏡

二次イオン質量分析計



ミッション意義



ECsの彗星核 10m/pixelの画像が得られている

- クレーターはほとんどない
- 昇華によって凹凸地形が多い
- ダストに覆われた滑らかな領域
- 一部、アルベドの高い氷の露出 した領域





- 太陽にあぶられた天体だった
- 太陽から遠く離れたNICsはどんな進化を遂げたのか、 を明らかにしたい

設計要求フロー

何をしたいか

NICs の核の表層の 観測

NICs の構成成分の 同定 何を計るか クレーター 凹凸 彗星核の形状 彗星核サイズ 「ボルダー・レゴ」 リスの有無 要求(手法) :システム, 機器

• Imaging

元素組成

同位体比

鉱物組成

結晶構造

・コマ成分の捕集 ・サンプルリターン





No	ミッション要求	詳細
1	彗星軌道への航行	彗星軌道に接近するための∆Vを 獲得すること
2	彗星へのフライバイ実施	彗星本体への接近(300-600km)
3	彗星核の近接撮像	分解能5m×5m
4	彗星塵の非破壊捕集	サンプル量0.1mg
5	サンプルリターン	地球軌道に帰還すること

フライバイ距離の条件

フライバイ距離のトレードオフ(相対速度20km/sでのフライバイを想定)

	100km	500km	1000km	10000km
Imaging	×	Ø	0	×
ダスト密度	Ø	0	0	\triangle

Imaging

- MRI camera (Deep impact搭載)の最小露光時間は0.1s
- 100kmフライバイは彗星の移動が画素の1/10程度になってしまう
- 遠距離フライバイ(1000km超)では、5mの解像度で撮影することはできない

ダスト密度

• 距離が近いほど粒子は多いが、10000km以内でも捕れる 最適な接近距離は300km~600kmと結論





- (1)予算:総額が800億円以内であること
- (2)期間:発見から彗星軌道交差まで2-3年で実施できること 打ち上げから15年以内に地球に帰還できること



(1)上述(2)を満足するロケットを使用すること (2)長周期彗星が探査機発射より2年前に発見されること

現在:全天1.5mの望遠鏡(地上) 6-7AUで発見可能 将来:LSST8.4mの望遠鏡(地上) 20AUで発見可能 パンサースカイよりも最大2倍の距離のものが捉えられるはず





	システム要求項目
彗星へのフライバイ	目標天体に対し、軌道計画を策定し、それに 沿った軌道・姿勢制御が実施可能なこと。
彗星核の近接撮像(分解能5m×5m)	画像によって彗星を認識し、フライバイ時の 相対位置制御が可能なこと。また、表面の特 徴を高解像度で調べる。
彗星塵の非破壊捕集(0.1mg以上)	サンプラーは、対象彗星のコマから試料を採 取できること
発射から15年以内のサンプル帰還	カプセルが、地球に対し無限遠速度(10km/s) 程度で進入する場合でも回収可能であること
地球に持ち帰った試料を分析する (オプション)	試料を分析する設備・体制を保持すること





観測等に必要なミッション機器・性能

No		用途	精度
1	ナビゲーション/高解像度カメラ	軌道修正/ 彗星核の撮像	数秒角
2	ダストカウンター	ダストのフラックス計測	
3	サンプル捕集機構	彗星塵の捕集	相対速度12- 20km/sでの塵の 非破壊捕集
4	帰還カプセル	サンプルリターン	

システム要求 –カメラ

- 距離300~600kmでフライバイ するので、Deep impactに搭載 されたMRIと同程度のカメラで よい、(得られる画像解像度は 3~6m/px)
- MRI onboard Deep Impact の仕様→
- ・視野10mrad、1024pixel、モノクロ
- <u>http://sbn.astro.umd.edu/holdings/dif-c-hriv-2-epoxi-hartley2-v1.0/document/instruments_hampton.pdf</u>より

Instrument optical summary.

	HRI	MRI	ITS
Telescopes			
Diameter (cm)	30	12	12
Focal length (m)	10.5	2.1	2.1
<i>f/</i> #	35	17.5	17.5
Visible			
Format	$1,024 \times 1,0$	24 split frame tr	ansfer CCD
Pixel <i>s</i> ize (µm)	21	21	21
IFOV (m-rad)	2.0	10.0	10.0
FOV (mrad)	2.0	10.0	10.0
FOV (°)	0.118	0.587	0.587
Scale per pixel (m)	1.4 at 700 k	m 7 at 700 km	n 0.2 at 20 km
IR			
Format	512×256 HgCdTe FPA ^a		
Pixel <i>s</i> ize (µm)	36		
Spatial			
IFOV (µ-rad)	10.0		
FOV (mrad)	2.5		
FOV (°)	0.15		
Spectral			
IFOV (µ-rad)	10.0		
FOV (µ-rad) (slit width)	10.0		
Spectral range	1.05–4.8 μm		
Minimum $\lambda/d\lambda$	216		

^a1,024 \times 512 rebinned 2 \times 2.





スターダストと同様に エアロジェルでの捕獲を行う

秒速20km/s程度で捕獲できるような集 塵器を開発し搭載する(スターダストに 搭載されたものでは、12km/sの衝突で も融けずに捕獲できる)

ミッションシーケンス

1.彗星発見
 2.打ち上げ
 3.彗星近傍でのフライバイ
 4.サンプル採取
 5.地球へのサンプル発射

彗星近傍でのシーケンス







	項目	内容
	打ち上げ時期	対象彗星発見後1年以内
全体	打ち上げロケット	アトラスV551(米) C3:80(km²/s²) ペイロード:2ton
ドシス	ミッション期間	10年
ヘテム	質量	300kg*
	電力	350W*
	地上システム	UDSC













		質量(kg)	備考
バス	通信系 姿勢軌道制御系 太陽電池パネル系 他	20	最大8kbps
	光学系		
ミッション	ダストカウンター	180	
	サンプル捕集		
	カプセル		
	推薬量	100	
総計		300	

*はやぶさ・Stardustより参照

リスク分析



リスク分析	リスク対策
彗星塵の衝突による太陽電池パネルへの影響	太陽電池パネル全面にシールド面を設置
非重力効果による彗星軌道の変化	探査機本体の推進剤に余裕を持たせる
推進器の異常	推進器に冗長性を持たせる
カプセルの落下地点	ビーコンで落下位置を特定する

END

サクセスクライテリア

	評価基準
ミニマムサクセス	彗星核を撮影し形状を調べる。また、 フライバイ時にサンプラーを展開し、 コマ部分を通過する。
フルサクセス	ミニマムサクセスに加えて、サンプル を地球に持ち帰り、始原天体起源の有 機物や含水鉱物の分析を行う。
エクストラサクセス	フライバイ時の探査機の軌道から彗星 の質量・密度を求める。

カメラ

核の画像を取ることで、 何をしたいか?

- 彗星核が古いものか新しいものかを知りたい
- どのような進化をしているのか(例:衝突と昇華どちらがドミナントか?)を知りたい
- ダストマントルがあるかどう かを知りたい





撮れるカメラを

要求する。

搭載されたカメラ



Deep Impact

- カメラは二つ
- 1. The Medium Resolution Imager (MRI)中解像度(科学観測とナビ 兼用)
- 2. The High Resolution Imager (HRI) 高解像度(科学観測用)

性能

- MRI 700kmの距離で7m/pxの画像 が撮れる
- HRI 700kmのフライバイで1~2 m/px(焦点ずれのため不使用)

Star Dust

- カメラは一つ(科学観測
 とナビ兼用)
- NAVCAM instrument

- 性能
- 高度180kmで11m/px

スターダストにおいて行われた主な調査

• 非破壊試験

	分析内容	わかったこと	示唆されること
放射光分析 (X 線回折、 X 線 CT)	トラックの三次元構 造	バルブ状の部分の存 在	揮発性物質(有機物 や氷)の存在
	元素組成と分布	ケイ酸塩鉱物と金属 鉄原始が密になった 構造	高温環境の経験
走査型透過x線顕 微鏡(STXM)とx線 吸収端近傍構造解析 (XANES)	有機物の組成分析	極低温(~ 20K)の 星間分子雲を起源と するものが含まれて いた	低音環境の経験

スターダストにおいて行われた主な調査

• 破壞試験

非破壊試験	分析内容	わかったこと	示唆されること
透過型電子顕微鏡 (TEM)	組成分析	Fe/(Fe+Mg)比の 変動幅が大きい	彗星内で熱変成の 影響をほとんど受 けていない
	結晶構造分析	輝石が溶けている	1500℃ 付近までの 加熱の経験
	表面分析	カンラン石粒子内 に高密度らせん転 位の組織(27 GPa 以上の衝撃圧力)	円形の窪みは衝突 によってできたク レーター
レーザ共鳴イオン 化質量分析法 (RIMS) 二次イオン質量分 析計(SIMS)	同位体分析(高感 度)	¹⁶ 0に富む酸素同位 体異常が見つかっ た	炭素質コンドライ トとの類似性 30

結晶構造分析





探査機システム仕様					
			質量(kg)	電力(W)	備考
バス	通信系	高利得アンテナ	7	20	最大 8kbps
		中利得アンテナ	2	20	
		低利得アンテナ	1(3基)	20	
	姿勢軌道制御系	リアクションホイール等	5		
	太陽電池パネル系	左右両面(6m ²)	5		
ミッショ	光学系	カメラ	3	18	
	ダストカウンター		2	2	
	サンプル捕集	エアロジェル・骨格	50		
ン	カプセル		50		
	推薬量		150		
	他		180		
	マージン		45		
	総計		300		22

今日までは到達可能な長周期彗星の発見頻度は1年に1回程度に過ぎず(発見自体は年に40個程度)、本計画を実現するには探査機を発射場で一年間待機しなければならなく、現実的ではなかった。しかし、今後数十年の望遠鏡技術の進展により長周期彗星の発見頻度が多くなると予想されるそのため、探査機を短い待機期間で打ち上げることが可能になると期待される

過去10年間の近日点距離3AU未満の長周期彗星の発見個数

Inclination(deg)	sample
<20°	11
<30°	24
<40°	30
<45°	37

探査機の軌道①



①弾道飛行で彗星の近日点まで飛ぶ





①地球スイングバイ:探査機の軌道面を彗星軌道面に変更