

はやぶさ2衝突装置の科学目標

高木靖彦(愛知東邦大学)、はやぶさ2 プリプロジェクトチーム

はじめに

「はやぶさ2」のミッション目標のうち、搭載衝突装置に関連する部分は、

目的	目標(ミニマム)	目標(フル)	目標(エクストラ)
理学目的 2 小惑星の再集積過程・内部構造・地下物質の直接探査により、小惑星の形成過程を調べる。		衝突体の衝突により起こる現象の観測から、小惑星の内部構造・地下物質に関する新たな知見を得る。	衝突破壊・再集積過程に関する新たな知見をもとに小惑星形成過程について科学的成果を挙げる。
工学目的 2 衝突体を天体に衝突させる実証を行う。	衝突体を対象天体に衝突させるシステムを構築し、小惑星に衝突させる。	特定した領域に衝突体を衝突させる。	衝突により、表面に露出した小惑星の地下物質のサンプルを採取する。

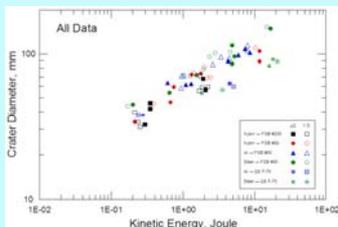
となっている。このうち、工学目標に関しては、別で詳しく述べられているので、ここでは理学目標に関連した項目に関して報告する。

地下物質のサンプル採取

工学目的2のエクストラ目標「地下物質のサンプルを採取する」を達成するためにキーとなる物量は、搭載衝突装置により形成されるクレーター直径と深さである。これに関しては、昨年度いろいろところで報告しているのので、ここでは簡単に紹介するにとどめる。

【数値計算による推定】

Autodyn (Lagrange, SPH) による計算から
直径 $D = 2 \text{ m}$ 深さ $d = 50 \text{ cm}$



【微小重力実験からの推定】

土岐の落下カプセル内で行った衝突実験 (Takagi *et al.*, 2004) の結果

$$E = 3.4 \times 10^4 D^{3.5}$$

から、 $D = 4.0 \text{ m}$

【経験式からの推定】

Holsapple & Housen (2007)による経験式

$$\frac{R_c}{r} = 1.03 \left(\frac{gr}{v_i^2} \right)^{-0.17} \left(\frac{\delta}{\rho} \right)^{0.332}$$

から、 $D = 7.4 \text{ m}$

推定値に幅はあるが、少なくとも直径2 mのクレーターが形成されることが予測される。この大きさは、可視分光カメラの分解能 (10 cm@1 km) で十分に識別可能な大きさである。直径 2 m の領域に着陸しサンプル採取が可能かは、誘導制御の検討が進められており、十分に可能なことが示されている (詳細は別発表を参照)。

また、熱慣性の推定値 (200 ~ 600 Jm⁻²s^{-0.5} K⁻¹, Müller *et al.*, 2010) から、深さ 50 cm の部分では、近地球軌道での熱の影響が及んでおらず、表面とは異なる地下物質が保存されていることが期待される。

地下物質の観測

搭載科学観測機器の空間分解能 (現在検討中の値) は、

中間赤外線カメラ 0.583 mrad

近赤外線分光器 1.745 mrad=0.1°

となっている。したがって、小惑星から1000 mの地点から高解像度観測を行えば、クレーター内のデータを取得可能である。そこから、表面物質と地下物質のスペクトルの違い、熱慣性の違いなど地下物質に関する知見を得ることが期待される。搭載科学観測機器の詳細に関しては、別ポスターで発表されている。

衝突現象 (イジェクタ・カーテン) の観測

衝突現象の科学に関する知見を得ることは、ミッション目標には含まれていないが、衝突現象を観測する貴重な機会であり、そこから小惑星内部構造 (空隙率) を推定できる可能性がある。

しかし、衝突の瞬間を母船 (着陸帰還機) の各種搭載観測機器で観測することはできない。なぜなら、搭載小型衝突装置 (SCI) の爆薬部に着火すると、その衝撃によりSCIの各部品は爆薬ケースと共に高速度で四散するからである。母船 (着陸帰還機) は、小惑星の陰に退避をする必要があり、直接観測はできない。そこで、IKAROSで使われた分離カメラ相当の装置により観測することが想定される。

ここでは、イジェクタ・カーテンの散乱断面積が十分かを検討する。

前述の計算から形成されるクレーターは、

半径 1 m

深さ 0.5 m

形は円錐

と仮定する。すると、クレーター体積 = 放出物体積は

$$0.52 \text{ m}^3$$

となる。ここで、放出物の平均粒径を

10 μm

とすると、全粒子数は、

$$1.0 \times 10^{15} \text{ 個}$$

となる。この粒子が

角度45°

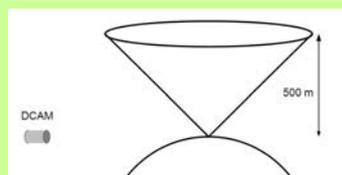
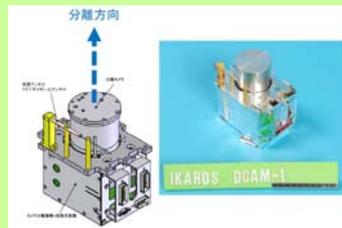
高さ 500 m

のカーテン形状に広がったところを

横から観測すると、粒子断面積は

$$0.071 \text{ m}^2 / \text{m}^2$$

すなわち、粒子の占める割合は7.1%となる。



この計算で重要な点は、粒子断面積の割合が、

$$h^2 r^{-1}$$

に比例することである。ここで、 h はカーテンの高さ、 r は平均粒径である。したがって平均粒径が、1 mm=1000 μmになってしまうと、粒子の占める割合が 0.071%となり、観測はかなり困難になってしまう。

そのような場合にも対応できるようにするためには、カーテンの広がり方が1/10、すなわち $h = 50 \text{ m}$ の時に撮影する必要がある。イジェクタ速度は標的物質の音速と同程度と考えられるので、200 m/secと仮定すると、5コマ/秒程度の撮影頻度が必要になる。

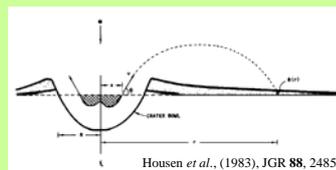
この程度の撮影を分離カメラから行うことができれば、イジェクタ・カーテンの角度等の測定が可能になり、衝突直下点の空隙率などの知見を得られる可能性がある。

しかし、この画像から速度分布を求めることは不可能である。速度分布を求めるスキームは次に述べる。

放出物速度分布の見積り (イジェクタ堆積物厚さの観測)

クレーターの中心から x の地点から速度 v で放出された粒子が距離 r の地点に堆積したとすると、クレーター掘削段階の流線から、それより内側 (下図で網掛け部分) の粒子はより速く飛ばされることがわかる。この関係から、イジェクタ堆積物の厚さとイジェクタの速度分布を結びつけるスケーリング則が幾つも提案されてきた (例えば、Housen *et al.*, 1983)。

この関係を逆に用いれば、堆積物の厚さからイジェクタの速度分布の推定が可能となる (幾つもの仮定の上であるが)。「はやぶさ2」衝突装置の実験においても、このスキームを用いることで、速度分布の推定、さらには再集積仮定に関する知見を得ようと考えている。そのため、画像のみから堆積物の厚さを見積りする方法の検討が必要になる。



Housen *et al.*, (1983), JGR 88, 2485