

はやぶさによる小惑星イトカワの衛星探査

布施 哲治¹⁾

¹⁾ Subaru Telescope, NAOJ

Searching Itokawa Satellites by Imaging Observation with Hayabusa Spacecraft

Tetsuharu FUJISE¹⁾

Abstract

We conducted a search for satellites around Itokawa, the target asteroid of the JAXA Hayabusa mission, using a visible imaging instrument AMICA on the spacecraft. Four images of Itokawa and its vicinity were taken on September 1, 2005. The distance of the spacecraft from Itokawa was approximately 1,700 km, somewhat longer than the original plan (~1,000 km) due to the mission schedule, and the field-of-view of AMICA corresponded to 170 km x 170 km around Itokawa. Since the Hill sphere of Itokawa was estimated approximately 33 km at the time of the observations, the images completely covered the detectable area of satellites. However, we are not able to find the motion of Itokawa satellites between the four images, because the observation period was set to 2 hr due to the mission schedule, so that the area where satellites would be observable was only within 8 km of Itokawa, which is inside the large glare of Itokawa on each image. In addition, high-energy protons produced by a huge solar flare unfortunately impacted the spacecraft during the observations, and hence the four images suffered from many random spots. Comparing the positions of the spots with the stars in the Hipparcos catalogue, we managed to identify stellar images. No evidence of satellites was found. Additionally, we evaluated the 1-m detection limit of the four images from the limiting magnitude of 9.5. The absence of satellites of Itokawa is consistent with past ground-based observations as well as other results by the Hayabusa spacecraft.

Key Words: Hayabusa mission, asteroid, satellite

1 小惑星の衛星の背景

100年以上も前から、小惑星のライトカーブ観測により衛星の存在が示唆されていた。最初の衛星は、ガリレオ探査機が 243 Ida の側を通過した 1994 年に見つけた Dactyl である。

その後、レーダー観測や波面補償光学装置を用いた地上大型望遠鏡の活躍により、これまでに数十個の衛星および衛星候補が見つかった。

2 はやぶさミッション

JAXA が進めるはやぶさミッションの経過は、以下の通りである：

- 2003年5月9日： 内之浦より打ち上げ
- 2004年5月19日： 地球スウィングバイ
- 2005年8月28日： イオンエンジン停止
- 2005年9月1日： イトカワまで1,900km
- 2005年9月12日： イトカワに到達（距離20km）
- ……
- 2010年 6月： オーストラリア・ウーメラ砂漠

で地球帰還カプセルを回収予定

図1のように、イトカワの表面には無数のボルダーが点在することから、衛星が周回している可能性がある。



図1：はやぶさによるイトカワの姿¹⁾

3 小惑星の衛星の力学

小惑星の周りに衛星が安定に存在できる範囲はヒル半径と呼ばれる。ヒル半径 R_H は以下のように表される。

$$R_H = \left(\frac{m}{3M}\right)^{1/3} r$$

ここで、 m と M はイトカワと太陽の質量、 r はイトカワの日心距離である。上式から衛星探査を予定している時期のイトカワのヒル半径は約33kmと得られた²⁾。

4 イトカワの衛星探査

2005年5月12日に、はやぶさミッションのサイエンス会議へ以下のプロポーザルを提出した。観測プランのうち、主な項目を挙げる：

距離： イトカワから 1,000km ~800km
 カメラ：小惑星多色分光カメラ AMICA (ONC-T)
 FOV: 5.7 x 5.7 度
 CCD: 1,024 x 1,024 pix
 フィルター： Wide バンド
 モード： Binning なし、可逆圧縮形式
 撮像間隔： 2 時間以上空ける
 撮像枚数： 5 枚 (最低3枚)
 露出時間： 最長の 178 秒 or 経験のある 66.7 秒

実際の観測情報のうち、上記から変更のあった項目は以下の通りである：

観測日： 2005年9月1日 UTC
 距離： イトカワから 約1,700km
 撮像間隔： 2時間
 撮像枚数： 4枚
 露出時間： 66.7秒

本観測には、いくつかのトラブルが発生した。まずイトカワと探査機の距離が約1,700kmと提案よりも遠方であり、撮像データ上の見かけのヒル半径の大きさが小さくなってしまった。つまり、衛星探査領域が狭い範囲に押し込まれている。

また、観測時に太陽表面から放出された高エネルギー粒子が探査機を直撃した。9月9日に太陽観測衛星 SOHO の画像には、高エネルギー粒子の衝突による像「Snow Storm」が無数に写っている。9月1日のはやぶさによる観測時と、SOHO による地球近傍での観測時の現象が同一である可能性は、太陽の自転運動によって説明できる。

一方、探査機の姿勢を制御するリアクションホイールが故障したため、探査機のz軸周りに回転することがわかった。-z軸方向を向いている AMICA の視野も回転することが考えられたが、露出時間内での動きはなかった。しかし、4枚の画像間では視野がわずかに回転し

ていることが確認されている。

5 データ解析

今回の観測によって得られたデータのうち、1枚目のフレームを図2に示す。全面にわたって、無数の「snow storm」が写る。スパイク状の輝線が伸びる中央がイトカワで、円はイトカワのヒル半径の大きさを表す。イトカワの右上の明るい点は光学系によるゴーストである。

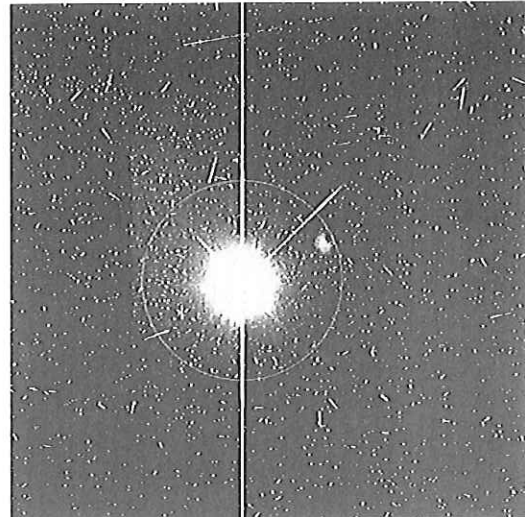


図2：衛星探査の生画像の一枚

一次処理のうち、ダークフレームは4枚の画像のメディアン合成で作成、フラットフィールドリングは打ち上げ前に積分球にて撮影したデータから作った。宇宙線除去は IRAF のタスクで行ったが、その効果は薄い。

高エネルギー粒子の衝突による像が無数にあること、撮像時のイトカワまでの距離が長い反面、撮像間隔が短く4枚の画像間で衛星の移動は見られないことから、ブリンクによる衛星探査は不可能である。

そこで、恒星の位置を参考に4枚の画像のずれを補正後、各画像を100 x 100 ピクセルごとに分け、カタログの星の位置、各フレーム上の像の位置を数値的に比較する方法をとった。5つすべてが重なったものは恒星、4つのフレームだけが重なったものが衛星候補となる。しかし、衛星は発見できなかった。

6 結果の解釈

観測データの限界等級は、約9.5等級と見積もられた。イトカワと衛星が同じタイプと仮定すると、上記の限界等級は大きさにして約1mに相当する。つまり、本観測ではイトカワ周辺の1m程度の天体は見つからなかった。

一方、衛星の移動が見られるのはイトカワのフレア内であるため、今回の観測では探査できていない。し

かし、以前から行われていた地上望遠鏡による観測やレーダー観測をはじめ、フレア内に相当する領域を撮影したAMICAによる別の観測時期のデータや他の搭載機器によるデータからも衛星は見つかっていない。

このように衛星の存在が確認できないのは、イトカワの脱出速度が毎秒1cm程度²⁾と小さいためによると考えられる。

参考文献

- 1) JAXA 小惑星探査機「はやぶさ」物語、
http://spaceinfo.jaxa.jp/hayabusa/photo/list_satellite.html.
- 2) Fuse et al., "Searching satellites of asteroid Itokawa by imaging observation with Hayabusa spacecraft", *Earth Planets Space* **60**, 33-37, 2008.

(2008年3月22日受付, 2008年6月15日受理)