

H-IIA ロケットを起源とするスペースデブリの光度変動

藤原 智子

日本スペースガード協会

Magnitude Variability of Space Debris based on H-IIA Launch Vehicle Series

Tomoko FUJIWARA

Abstract

From the beginning of the Space Age in 1957, more than 5,000 space missions have been conducted by various countries. According to NASA, at least 17,000 objects still remain on-orbit, and it continues to increase. Most of them are fragmentation debris, post-mission spacecraft, mission-related debris or rocket bodies, which may cause to catastrophic damage to operated satellites. It is strongly required to know the current situation of space debris to protect the space environment.

The goal of this study is to provide data on the movement of space debris for the future strategy related to debris removal. As targets, we chose upper stages of H-IIA launch vehicles, Japan's mainstay large-size rockets and observed them with the 1.0-m Telescope and CCD at Bisei Spaceguard Center. In this paper, we show light curves and discuss the movement of 2001-038B, 2006-004B, 2008-007B, 2010-045B, 2015-068B and 2016-064B.

Key Words: H-IIA Launch Vehicle, Space debris, Rocket body, Observation, Spaceguard

1 はじめに

1.1 スペースデブリの現状

「スペースデブリ(宇宙ゴミ)」とは、宇宙に存在する無価値な人工物質の総称で、役割を終えた後の人工衛星やロケット、及びその破片や塗料片などが該当する。運用中及び使用可能な衛星はこれに含まれない。スペースデブリは秒速数km以上という高速度で地球を周回しており、運用中の衛星や宇宙ステーションな

どに衝突すると非常に危険である。また、多くの衛星は特定の軌道(高度2,000km以下の低軌道と、高度約36,000kmの静止軌道)に集中しており、これらの軌道には必然的にスペースデブリの数も多くなっている。実際、衛星同士の衝突事故も発生し、かつ人工物体同士の連鎖的衝突と破砕(ケスラーシンドローム)が起こる可能性も指摘されており、スペースデブリは人類の宇宙活動の現実的な脅威となっている。

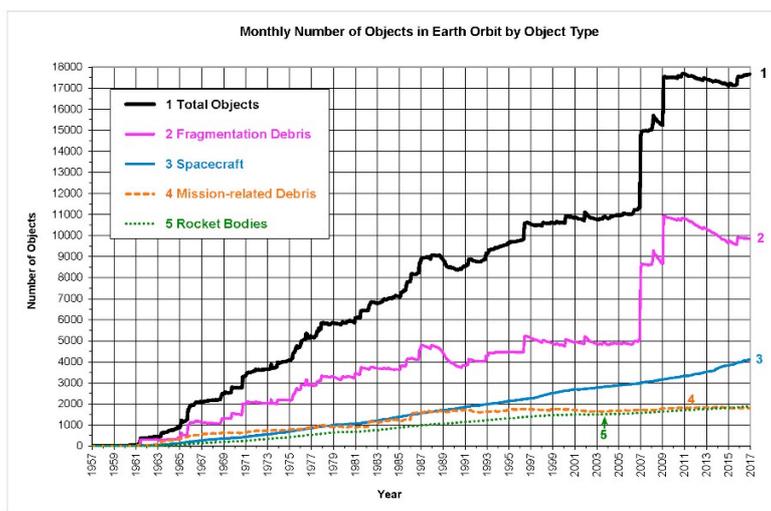


図 1 地球軌道上にある人工物のタイプ別総数の推移 1)

宇宙空間には現在、軌道上で観測できるものだけで17000件以上の人工物体が浮かんでおり、その数は年々増加している(図1)。半数近くは破片で、残りの半分は機能しなくなった古い衛星やロケットの上段部分である。2007年と2009年に破片の数が急増しているのは、中国が行った風雲1C号の衛星破壊実験と、ロシアの軍事通信衛星コスモス2251号とアメリカの通信衛星イリジウム33号の衝突事故が原因である。日本起源の事例としては、2006年8月8日に起こったH-IIAロケット8号機(同年1月24日打ち上げ)に関連する断熱材剥離で、21個の破片が生じたものがこれまでで最多である(ただしこれらは2007年1月までに全て消滅している)。

スペースデブリの現状をより詳細に把握し、また将来的にその回収を目指すためには、物体の運動を調べることが非常に重要である。本研究では、物体の形状や材質に関わる情報が比較的得られ易く、かつ十分な光度があり観測が比較的容易な、日本の大型ロケットH-IIAを起源とするスペースデブリを研究対象とした。

1.2 H-IIAロケット

現在の日本の主力大型ロケットであるH-IIAは、通信、放送、気象衛星などの多様な人工衛星・探査機の打ち上げに使われている。それ以前の世代のロケット技術を受け継いで開発が行われ、2001年の初号機以来2017年2月現在までに32基の打ち上げ実績がある(うち31基が打ち上げ成功)。2009年からは極力同一の仕様・構成を踏襲しつつ、打ち上げ能力を高めたH-IIBの打ち上げ

も開始された。現在のところ、H-IIBは高度400kmにある国際宇宙ステーションに、重さ10.5トンの宇宙ステーション補給機「こうのとり」(HTV: H-II Transfer Vehicle)を輸送するために使用されている。

H-IIAは液体酸素と液体水素を推進薬とする2段式ロケットで、本体側面に固体ロケットブースターSRB-Aが取り付けられている。SRB-Aが2本搭載された標準型(H2A202)の総質量は289トン(ペイロードを除く)であるが、このうち250トンを占めるのが推進薬で、ロケット全質量中の約9割にも達する。ロケットは軌道到達に必要な推力を得るため、推進薬が尽きた部分を次々と切り離し、全体の質量比を小さくしていく仕組みになっている(図2)。H-IIAロケットの場合、打ち上げ後大体2分ほどでSRB-Aが、4分強で衛星フェアリングが、6〜7分後には第1段部分が切り離され、海上の予定地点に落下させた後、回収される。ロケットの構成物で唯一地上に戻らないのは衛星を軌道投入する役割を担っている第2段部分(図3)で、高度数百kmで衛星を分離した瞬間から宇宙空間を漂うスペースデブリとなる。第2段部分の大きさは、全長が9.2m、外径が4m、質量が20トン(うち推進薬が16.9トン)で、衛星分離時の慣性速度は、低軌道(LEO)で7〜8km/s、静止トランスファー軌道(GTO)で10km/sにも達する。標準的なサイズの人工衛星本体よりも大きな物体が宇宙空間を高速で運動している訳であり、万が一他の宇宙機と衝突すれば大惨事になりかねない。これらのデブリに対する対策を考える上でも、その運動状態を調べることは重要である。

H-IIAロケット(H2A202) 飛行シーケンス例

Typical Flight Sequence of Launch Vehicle (H2A202)

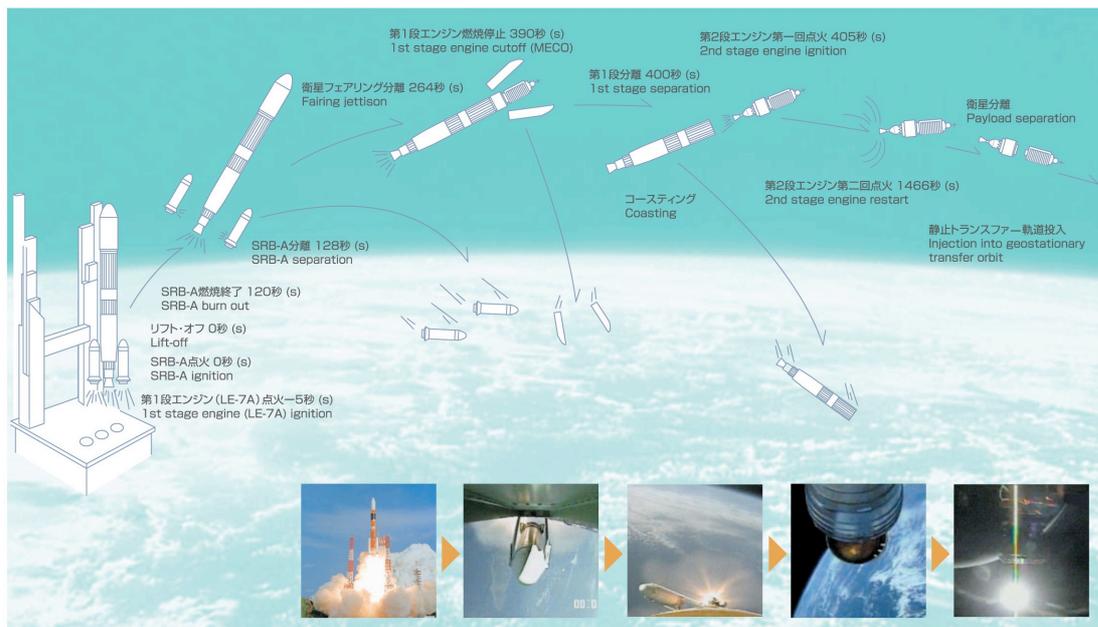


図 2 H-IIA ロケットの分離概略
Spaceguard Research Vol.9

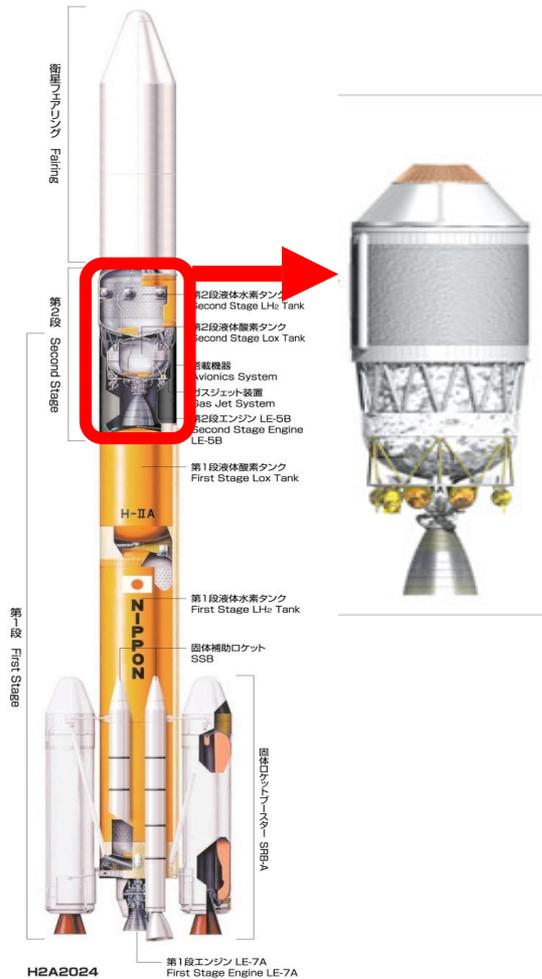


図 3 H-IIA ロケットの構造と第 2 段部分の形状

2. 観測

H-IIAロケット第2段部分のデブリの運動状態(光度変化)を調べるため、美星スペースガードセンターにて1m赤道儀式反射望遠鏡を及びCCDカメラを使用した測光観測を行った。フィルターはW(4900-9100Å)を使用した。観測は2017年2月21日に実施した。当日の天気は快晴で、月齢は26%であった。観測ターゲットはH-IIAロケット第2段部分のうち、当日観測が可能だったものを選択した。その詳細と撮像状況を表1に示す。

参考までに、観測ターゲットとなったロケットの主な搭載ペイロードは、1号機はレーザ測距装置LRE、9号機はMTSAT-2 (ひまわり7号)、14号機はWINDS (きずな)、18号機はQZS-1(みちびき)、29号機はTelstar 12 VANTAGE(カナダTelesat社製、商業衛星打上げ輸送サービスによる)、31号機はひまわり9号で、軌道はLREが静止トランスファー軌道、QZS-1が準天頂軌道、それ以外は静止軌道である。画像は全て1秒露出で、物体毎に50~250枚撮影した。CCDの読み出し時間は、画像1枚につき20秒程度である。

3. データ解析

美星スペースガードセンターの望遠鏡は、通常の日望遠鏡のような恒星追尾だけではなく、人工衛星やデブリの運動に合わせた追尾をすることができる。そのため、画像中でのデブリは、線状ではなく点光源として写る(図4)。デブリの等級は、同視野に写っている恒星を基準に求めた。恒星カタログはGSC(The Guide Star Catalog)を使用した。ただし、デブリは恒星を背景に刻々と動いていくため、画像によってデブリの等級決定の基準となる恒星が異なっている。よって、等級の値には0.5等級程度の誤差が生じることがある。また、今回は観測時間が比較的に短いため、Air massの影響は無視することとした。

表 1 観測ターゲット(H-IIA R/B)

号機	国際標識番号	NORAD Catalog Number	打ち上げ日 (UTC)	Period (min)	Incl (deg)	Apogee (km)	Perigee (km)	露出時間×撮影枚数
1	2001-038B	26899	2001/8/29	581.86	27.90	33172	246	1s露出×100(不連続)
9	2006-004B	28938	2006/2/18	521.73	28.53	29919	261	1s露出×200(同)
14	2008-007B	32501	2008/2/23	542.11	28.38	31020	270	1s露出×150(同)
18	2010-045B	37159	2010/9/11	349.48	31.98	19931	183	1s露出×150(同)
29	2015-068B	41037	2015/11/24	677.43	19.45	35703	2642	1s露出×250(同)
31	2016-064B	41837	2016/11/2	618.84	22.30	35134	221	1s露出×50(連続)

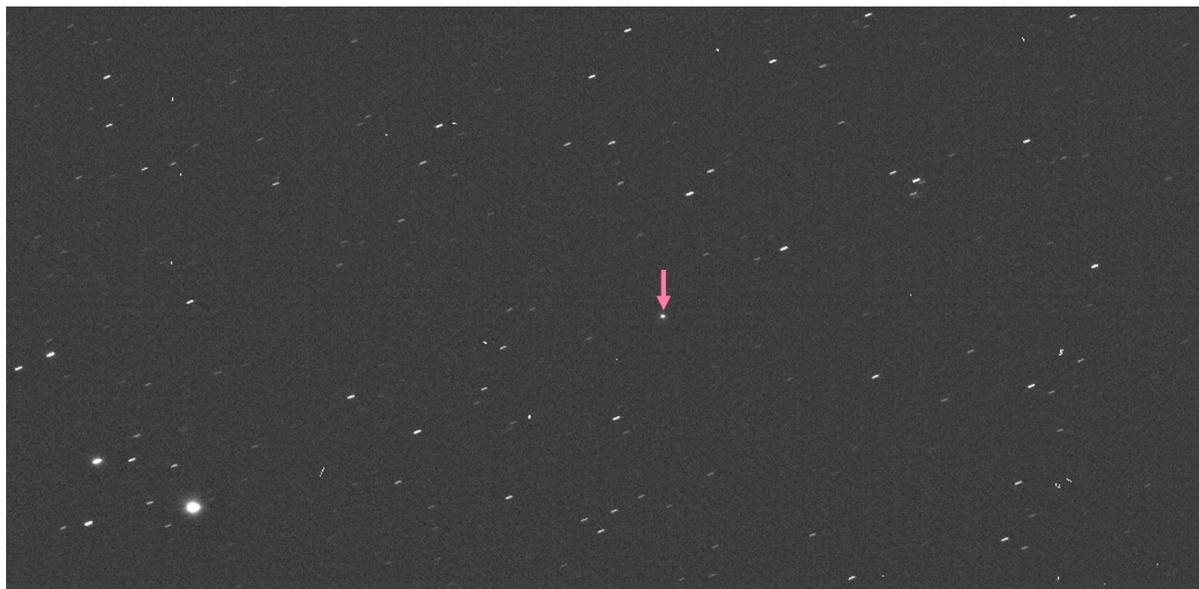


図 4 美星スペースガードセンターで撮影した画像の例

4. 結果

今回観測した6つのデブリ(2001-038B, 2006-004B, 2008-007B, 2010-045B, 2015-068B, 2016-064B)のライトカーブを図5に示す。全ての物体に大きな(1等以上の)光度変化が見られた。この変動は、測光精度を考慮してもリアルと言える。

露出時間及びCCDの読み出し時間を考慮すると、撮影間隔は最短で20秒程度となるが、2016-064B以外は数十秒という短時間で大きな光度変化を示していることが分かる。2016-064Bについても、一部の時間帯でやはり大きな変光がある。この変動は、デブリの運動に依るものである可能性が高い。ロケット第2段部分の、中身がほぼ空になったタンク状物体が激しく回転している状態と言える。変光は一見不規則に見えるが、大体決まった光度の間で変化していることから、時間分解能を上げれば周期性を確認できる可能性がある。また物体によっては、全体的に右肩上がり(増光)又は右肩下がり(減光)していく傾向が見られるものがあるが、こ

れは位相角(物体から見た太陽の方向と観測点の方向のなす角)の変移かAir massの影響によるものと考えられる。

今後は、高時間分解能での測光観測を実施し、各デブリに見られた短時間での変光の詳細を調べることと、各デブリの位相角による変光と今回無視したAir massの影響を調べるのが最優先の課題である。同時に、今回観測できなかった残りのH-IIA起源デブリの測光観測を行い、同様に変光パターンを調べていきたい。また、継続的に観測を行い、ライトカーブの形状や変光周期の長期的変動についても調べていく予定である。

謝辞

本研究の遂行にあたり、日本宇宙フォーラム、JAXA 追跡ネットワーク技術センター及び美星スペースガードセンターのスタッフの方に多大なるご協力をいただいた。この場を借りて感謝の意を表す。

H-IIA ロケットを起源とするスペースデブリの光度変動

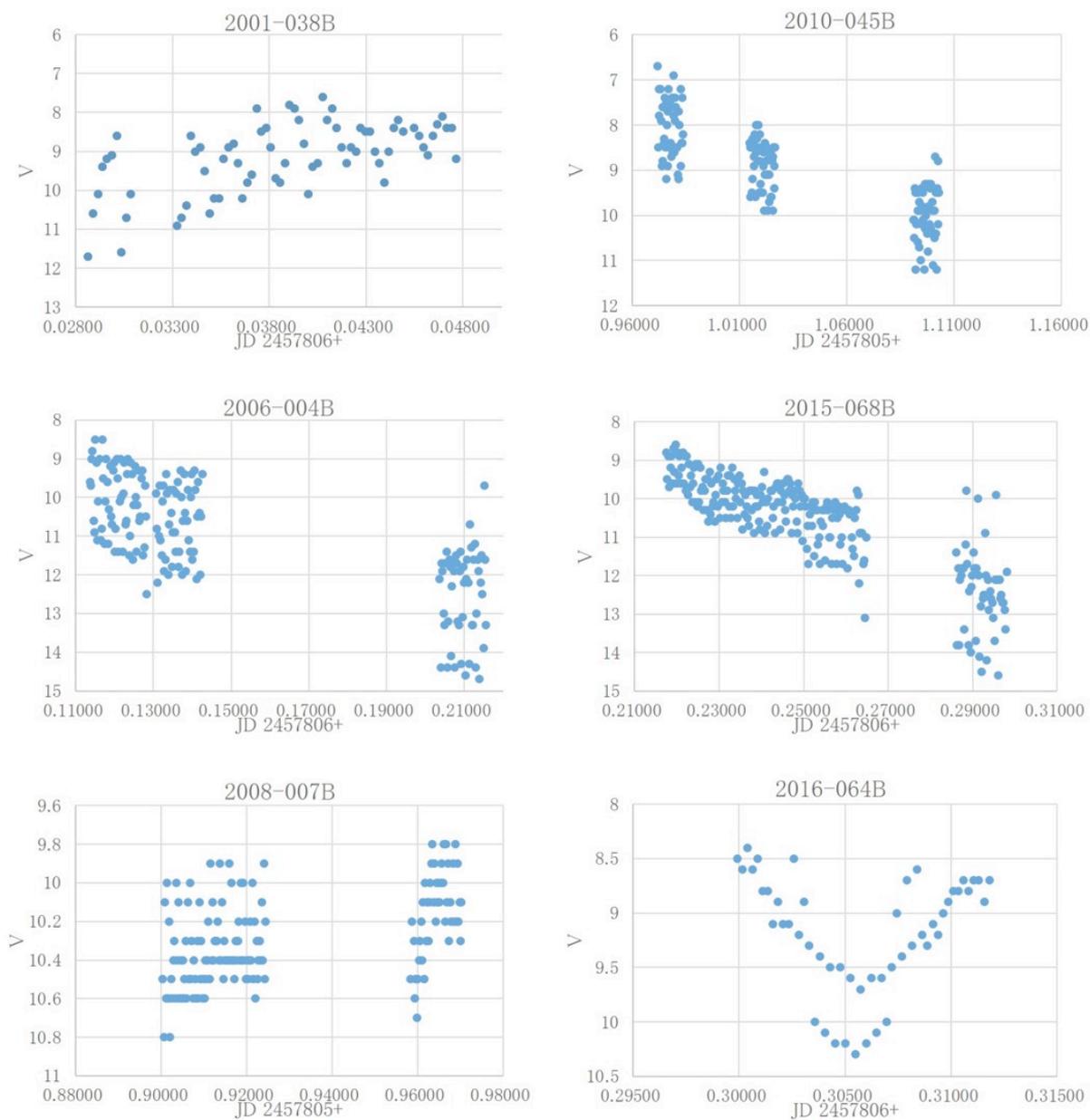


図 5 6つのスペースデブリのライトカーブ

参考文献

- 1) National Aeronautics and Space Administration(NASA), Orbital Debris Quarterly News, Vol 21, Issue 1, 2017.
- 2) National Aeronautics and Space Administration(NASA), Orbital Debris Quarterly News, Vol 20, Issue 1 & 2, 2016.
- 3) 加藤明, スペースデブリ 宇宙活動の持続的発展を目指して, 2015.
- 4) 鈴木弘一, はじめての宇宙工学, 2007.
- 5) http://www.jaxa.jp/projects/rockets/h2a/index_j.html (2017年2月27日閲覧)
- 6) Space Track (<https://www.space-track.org/>) (2017年2月27日閲覧)

(2017年7月8日受付, 2017年7月20日受理)