

次期小惑星探査機はやぶさ2の探査候補天体の観測

黒田大介¹, 北里宏平², 安部正真³, 長谷川直³, 猿楽祐樹³, 吉川真³

¹国立天文台, ²会津大学, ³宇宙航空研究開発機構

イントロダクション

S型小惑星(25143)イトカワへのサンプルリターンミッションを成功させた「はやぶさ」に後継計画として、より始源的なC型小惑星をターゲットにした「はやぶさ2」プロジェクトが2011年5月に正式に発足した。これまで木曾観測所を始め、複数の望遠鏡を使って探査候補となる小惑星について数多くの地上観測を実施してきた。地上観測から得られる物理情報は、探査機を送る上で事前を知っておくべき必要不可欠なものであり、例えば、大きさや形状、自転の情報は探査機がランデブーする際に、表面の反射率や状態は、探査機や搭載装置の設計などに利用されている。イトカワの探査結果から、これら物理情報について、地上観測とよく一致していることが分かったことは大きな成果のひとつであった。

本研究では、「はやぶさ2」プロジェクトの紹介と最有力探査候補天体である(162173)1999JU3について、2007年から2008年に行った可視測光観測の結果と最新の研究成果を報告する。また、今後の観測計画についてもその重要性とともに報告する。

はやぶさ2計画の概要

S型小惑星より始源的であり、有機物や含水鉱物が存在するとされるC型小惑星への探査を行う。小惑星は太陽系の形成と進化の過程の中で、衝突進化を繰り返してきた微惑星の生き残りと考えられているため、太陽系初期の情報を現在も保有している。特に、原始的とされる天体の探査は、地球の生命や水、鉱物の元となった物質の起源や進化、相互作用についての新たな知見と科学的成果を得ることができると期待されている。

2014年に打ち上げられた場合、2018年に小惑星1999JU3に到着、2020年に地球へ帰還する予定である(図2参照)。



図1 はやぶさ2 イラスト

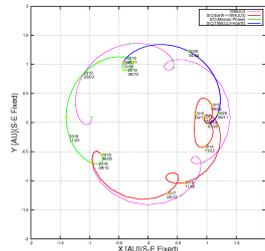


図2 はやぶさ2 ミッションスケジュール

探査候補天体の地上観測

「はやぶさ」計画以前からの取り組みとして、探査機の行きやすい(指標としてΔVが小さい)地球接近小惑星(NEA)について、スペクトル型(表面組成の特徴で分類)を判別する多色測光観測や自転周期を得るためのライトカーブの観測を行ってきた。その結果を表1に示す。赤字は本研究で初めて得られたデータを示している。

表1 過去の小惑星探査候補天体の測光観測の結果一覧

Name	ΔV(km/s)	Class	Period(day)	Name	ΔV(km/s)	Class	Period(day)
(25143) Itokawa	4.630	S	0.585515	(68278) 2001 FC7	5.772	C	-
(162173) 1999 JU3	4.657	C	0.3178	(11284) Belexus	5.781	X	-
(141018) 2001 WC47	4.793	D	-	(138404) 2000 HA24	5.792	S	-
(10302) 1989 ML	4.881	X	-	(137799) 1999 YB	5.874	S	0.1649
2001 QC34	4.980	S	0.79167	2005 TF	5.902	S	-
(65803) Didymos	5.117	X	0.094167	(154007) 2002 BY	6.050	X	0.62
(136618) 1994 CN2	5.150	D,X	>0.58	(153591) 2001 SN263	6.069	C	0.14267
(67367) 2000 LY27	5.166	-	-	(14402) 1991 DB	6.118	C	0.0946
(163000) 2001 SW169	5.241	-	-	2006 GB	6.328	X	-
(52381) 1993 HA	5.306	-	-	(85867) 1999 BY9	6.340	-	0.65
2002 TD60	5.372	S	0.118792	(142348) 2002 RX211	6.350	S	0.2006
(136617) 1994 CC	5.410	-	-	(65679) 1989 UQ	6.379	CB	-
(1943) Anteros	5.422	S	0.11956	(171819) 2001 FZ6	6.500	-	-
(3361) Orpheus	5.528	V	0.149167	(138175) 2000 EE104	6.522	-	-
(141424) 2002 CD	5.593	-	-	(4015) Wilson Harrington	6.575	CF	0.2979
(85585) Mjolinir	5.598	D	-	(159467) 2000 QK25	6.608	X	-
(206378) 2003 RB	5.674	S	-	(164282) 2004 EW	6.738	C	-
(163692) 2003 CY18	5.750	-	>0.67	(163899) 2003 SD220	7.816	D	0.42083
(5797) Bivoj	5.769	S	0.11275	2003 UC20	8.675	C	-

(162173) 1999 JU3の可視測光観測

1999JU3の観測好機であった2007年7月から2008年4月までに、木曾観測所、鹿林天文台、UH88、石垣島天文台、美星スペースガードセンター、Steward天文台において観測データが得られた。これらの解析結果はKawakami (2009)にまとめられている。

木曾観測所では2007年9月4日-18日、11月7日-14日と2008年2月4日-9日の合計17晩の観測を実施した。合計52夜のデータを解析し得られたライトカーブから、表2に示すような物理情報を導いた。

表2 1999JU3 可視測光観測から導いた物理情報

自転周期	0.3178 ± 0.0003 日
自転軸	黄経 327.3 ± 10°, 黄緯 +34.7 ± 10°
軸比(アンプリチュード法)	a : b : c = 1.3 : 1.1 : 1.0
軸比(Kaasalainen のモデル)	a : b : c = 1.22 ± 0.10 : 1.05 ± 0.04 : 1.0
絶対等級(V-band)	18.82 ± 0.02 V等級
Slope parameter	-0.110 ± 0.007

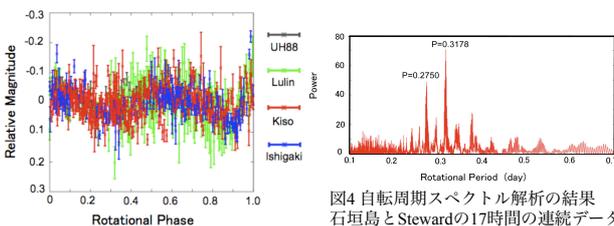


図3 1999JU3の自転周期0.3178日で重ね合わせたRバンドライトカーブ

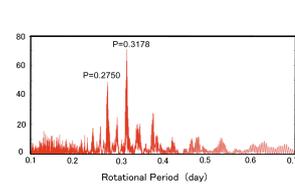


図4 自転周期スペクトル解析の結果 石垣島とStewardの17時間の連続データから自転周期は0.3718日と決まった。

1999JU3の最新の研究成果

Müller et al. (2011)では、これまでに得られた可視測光観測の結果と Subaru望遠鏡、赤外線天文衛星AKARI (Hasegawa et al., 2008)とSpitzer宇宙望遠鏡 (Campins et al., 2009)の赤外線観測と合わせ、熱慣性を考慮した自転軸の向きと形状モデルを導いた。新たに得られた物理情報は表3にまとめた。

表3 1999JU3の熱物理情報

自転軸	黄経 73°, 黄緯 -62°
熱慣性	200-600 J m ⁻² s ^{-0.5} K ⁻¹
ジオメトリックアルベド	0.070 ± 0.006
直径	0.87 ± 0.03 km

1999JU3の形状モデルを熱慣性をそれぞれ、弱い場合(左)と強い場合(右)を仮定した結果を図5に示した。図6は、Müllerの形状モデルを使って、可視ライトカーブを再現したもので、観測点とよく合っていることが分かる。

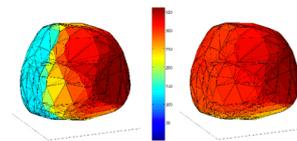


図5 1999JU3の形状モデル カラー表示は温度(K)を示す。左右の違いは熱慣性の強度。

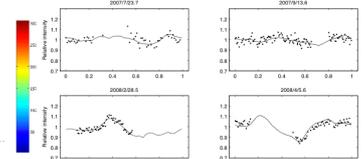


図6 ライトカーブシミュレーション 実線は形状モデルから計算されたフィットライン、黒点は実際の観測データ点。

Campins et al., 2009, A&A, 503, L17
Kawakami, 2009, Master's thesis, Univ. of Tokyo.

Hasegawa et al., 2008, PASJ, 60, 399.
Müller et al., 2011, A&A, 525, A145.

今後の観測計画

小惑星1999JU3は、2014年の打ち上げを考えると、地上観測の可能な最後の機会を迎える。21等級より明るいことを条件とすると、2011年8月から約1年間に観測可能である。自転軸の方向の精度向上や形状モデルの推定には、さまざまな方向から小惑星を観測する必要があるため、今後の課題はデータのない部分を埋めていくことである。図7は、小惑星をどの方向から観測したかを示す指標であるPAB (Phase Angle Bisector)を図示した。

2011年は最大光度20等級、可視時間帯は2-3時間程度と観測条件は良くないが、データの欠損している9月下旬から10月にかけての観測が重要となる。等級が暗いため、木曾観測所ではKWFCを使った観測を提案する。

2012年6月には、最大17.7V等級まで明るくなり、PABの方向からも観測好機となる。さらに、これまでデータの存在しない位相角が0から20度以下のデータを取得できる(図8)。この際、最も効率よく(1自転周期を1晩で観測可能)なのは、南半球にある望遠鏡であり、miniTAOのターゲットとして提案するつもりである。

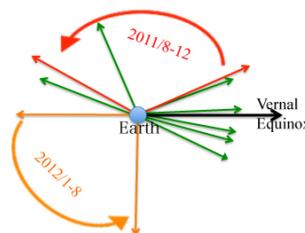


図7 地球からみた観測時のPABの方向 緑色の矢印は既知の観測データ取得方向を示す。

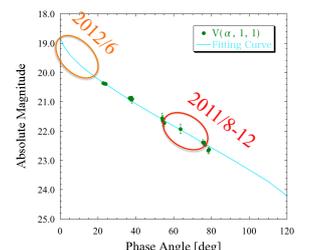


図8 小惑星の絶対等級Hと位相角変化理論式を当てはめスローパラメータGを導く。