

はやぶさ2探査ターゲット小惑星「1999JU3」の観測キャンペーン

川上恭子^{1),2)}、安部正真²⁾、長谷川直²⁾、黒田大介³⁾、吉川真²⁾、春日敏測⁴⁾
北里宏平^{1),2)}、猿楽祐樹¹⁾、木下大輔⁵⁾、宮坂正大⁶⁾、浦川聖太郎⁷⁾、奥村真一郎⁷⁾
高木靖彦⁸⁾、高遠徳尚³⁾、藤吉拓哉³⁾、寺田宏³⁾、和田武彦²⁾、板由房³⁾、Faith Vilas⁹⁾
Paul R. Weissman¹⁰⁾、Young-Jun Choi¹⁰⁾、Alan Tokunaga⁴⁾
Schelte J. Bus⁴⁾、Steve Larson¹¹⁾

¹⁾東京大学、²⁾宇宙航空研究開発機構、³⁾国立天文台、⁴⁾ハワイ大学
⁵⁾国立中央大学、⁶⁾東京都庁、⁷⁾日本スペースガード協会、⁸⁾愛知東邦大学
⁹⁾MMT observatory、¹⁰⁾JPL、¹¹⁾アリゾナ大学

Ground-based observation campaign of 1999JU3, the target asteroid of sample return mission, Hayabusa-2

Kyoko KAWAKAMI^{1),2)}、Masanao ABE²⁾、Sunao HASEGAWA²⁾、Daisuke KURODA³⁾
Makoto YOSHIKAWA²⁾、Toshihiro KASUGA⁴⁾、kohei KITAZATO^{1),2)}、Yuki SARUGAKU¹⁾
Daisuke KINOSHITA⁵⁾、Seidai MIYASAKA⁶⁾、Seitaro URAKAWA⁷⁾、Shinichiro OKUMURA⁷⁾
Yasuhiko TAKAGI⁸⁾、Naruhisa TAKATO³⁾、Takuya FUJIYOSHI³⁾、Hiroshi TERADA³⁾
Takehiko WADA²⁾、Yoshifusa ITO³⁾、Faith Vilas⁹⁾、Paul R. Weissman¹⁰⁾、Young-Jun Choi¹⁰⁾
Alan Tokunaga⁴⁾、Schelte J. Bus⁴⁾、Steve Larson¹¹⁾

Abstract

JAXA is planning the sample return mission, Hayabusa-2. 162173 1999JU3 is C-type asteroid which was selected as a mission target.

1999JU3 was observable from 2007 summer to 2008 spring. There won't be any observation chance before 2012, so we must get a lot of information as possible during this chance. We need to know asteroid's rotation period, shape, and direction of rotation axis to draw up the mission.

Key Words: Asteroid, Hayabusa

「はやぶさ」に続く小惑星サンプルリターンミッションとして、2010年代初頭に打ち上げ予定の「はやぶさ2」の検討が進められており、探査対象はC型小惑星の1999JU3である。

この天体は2007年の夏から2008年の春にかけて、発見以来約8年ぶりの観測好機を迎えた。探査機の打ち上げ前にこの小惑星の自転周期、形状、

自転軸の傾きなどを地上観測によって推定することはミッションの策定のためにも重要であり、これらを推定することが本研究の目的である。

1999JU3(162173)のこれまでの情報

- ・スペクトル型 …Cg型 (Binzel et al.2001 可視分光観測の結果より)
- ・各軌道要素 … $a=1.189$ $e=0.190$ $i=5.885$ Node=251.7 Peri=211.3 M=147.3
- ・可視絶対等級 … $H=19.21$
- ・反射率、サイズ(直径)、自転周期、自転軸の向き …不明 →本研究で調査。

1. 2007年5月から行った観測

1999JU3の観測キャンペーンとして呼びかけ、次のような観測データが得られた。※日付はUT

<可視測光観測>

- ・台湾鹿林天文台(鹿林1m望遠鏡)
2007/7/19~23、12/3~8、2008/2/26~28
のうち10晩
- ・木曾観測所(1.05mシュミット望遠鏡)
2007/9/4~15、11/7~13、2008/2/5~8
のうち13晩
- ・石垣島天文台(105cm望遠鏡)
2007/8/5、15、9/6、11、13、15、10/16、18、
11/13、15の10晩
- ・美星スペースガードセンター(1m望遠鏡)
2007/8/9、10、17、20、9/6、10の6晩
- ・ハワイ大学UH88(ハワイ大学2.2m望遠鏡)
2007/7/8、9/4の2晩
- ・アリゾナ州Steward天文台(1.55m望遠鏡)
2007/9/11~14の4晩

<赤外測光観測>

- ・赤外線天文衛星「あかり」
IRC(近・中間赤外カメラ) 2007/5/16
- ・すばる望遠鏡 COMICS(冷却中間赤外
分光撮像装置) 2007/8/28
- ・CFHT 3.6m望遠鏡
- ・WIRCcam(近赤外線カメラ) 2007/8/29~31

<可視分光観測>

- ・アリゾナ大学 MMT6.5m望遠鏡
Red Channel Spectrograph
2007/7/11、9/10、11

<可視分光観測>

- ・IRTF 3m赤外線望遠鏡 SpeX 2007/9/18、20

2. 自転周期、自転軸の向き、形状

1999JU3の自転周期を調べることは、ミッションのために重要である。自転速度の速い天体は表面速度が速いなどの理由からサンプルリターンをすることが難しく、自転周期はミッションの難易度の指標となるからである。

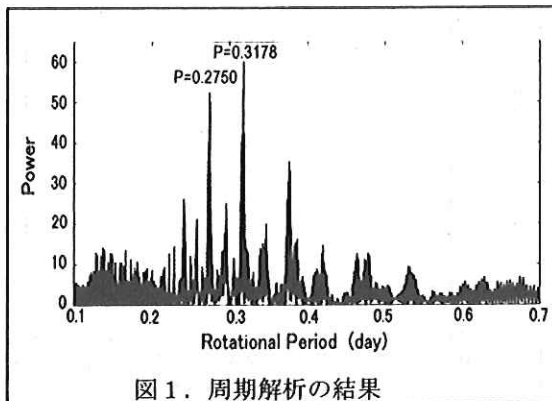
<自転周期解析に使用したデータ>

可視測光観測。7月~9月の天候の安定した13晩のRバンドデータを使用。

<自転周期解析の方法>

手順1. dark処理、bias処理、flat処理。
手順2. アパーチャー測光により、比較星に対する小惑星の明るさの変動を測定。
手順3. スペクトル解析(Period Searching & Lightcurve Fitting Program; B.Dermawanを使用。)

周期解析の結果、次ページの図1に示すような結果が得られた。自転周期として0.2750日(6.6時間)と0.3178日(7.6272時間)の2つの周期が解として求まる。前者の場合、小惑星は1日に約3.64回転し、後者の場合は1日に約3.14回転するので、ちょうど半周期分ずれているため地球上の同じ経度の地点から観測する限り、両者の周期を分離するのは難しい。



そこでアリゾナ州の Steward 天文台で観測されたデータを用いた。日本付近のみから観測すると連続して8時間以上の観測はできないが、アメリカと日本の石垣島天文台での観測データとなげると連続した17時間もの観測データが得られる。

図2はアメリカ現地時間の9/10と日本の9/11の結果、アメリカ現地時間の9/12と日本の9/13の結果をつないだものである。図2(a)には周期0.2750日の場合に想定されるライトカーブ、図2(b)には周期0.3178日の場合に想定されるライトカーブをそれぞれ描いてある。図からどちらの周期も日本での観測結果をうまく説明できるが、アメリカでの観測結果は0.3178日の周期でのみ説明できる。よって、自転周期は 0.3178 ± 0.0003 日(7時間37分38秒 \pm 21秒)であることが明らかになった。

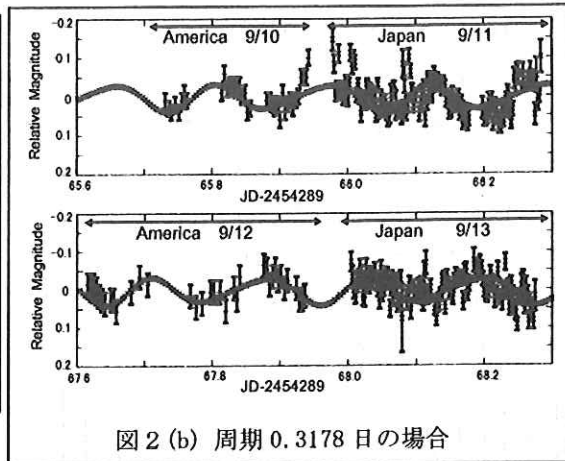


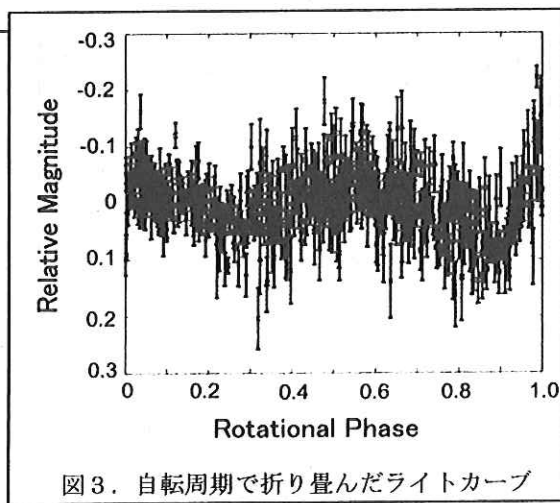
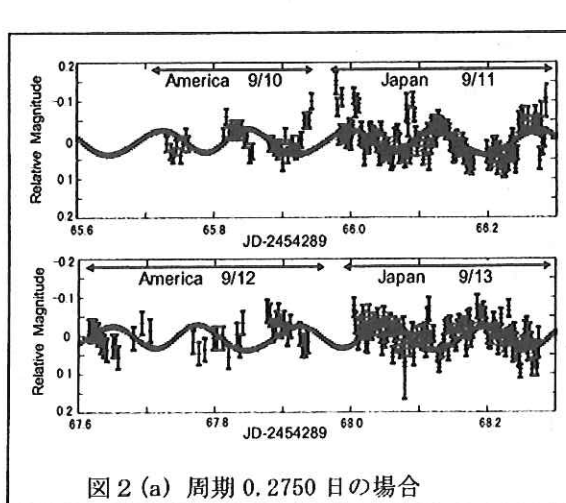
図3は周期解析に使用した13晩の観測結果を、求めた自転周期0.3178日で折り畳んだRバンドのライトカーブである。ライトカーブの振幅は約0.1等で平均的な小惑星のライトカーブの振幅より小さい。

また観測を続けた7月~3月の間に、小惑星と地球と太陽の位置関係が変化している。この時のライトカーブの位相は、見かけの自転周期が長くなる方にずれ、振幅は小さいままでほとんど変化しなかった。

このことより以下の3点が予想される。

- ・ 小惑星の自転の向きは順回転(公転と同じ向き)である。
- ・ 自転軸の傾きは黄道面に直立に近い。
- ・ 形状はいびつではなく、球形に近い。

詳しい自転軸の傾きや、軸比は今後推定する。



3. 1999JU3 のスペクトル

<可視多色測光>

B, V, R, I バンドでの可視多色測光は3度観測を行った。7月に台湾鹿林天文台、9月にハワイ大学 UH88、アリゾナ州 Steward 天文台である。

図4はVバンドで規格化したスペクトルの傾きであり、3度ともC型小惑星に典型的な平らなスペクトルを示した。

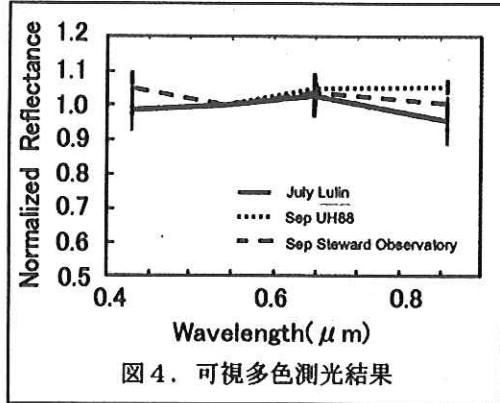


図4. 可視多色測光結果

<可視・近赤外分光観測>

アリゾナ大学 MMT 6.5m 望遠鏡による可視分光観測結果と、IRTF 3m 赤外線望遠鏡による近赤外分光観測の結果をつなぎ合わせたのが図5である。図6は、C型小惑星とS型小惑星の典型的な可視・近赤外のスペクトルである。1999JU3は可視から近赤外の波長でもC型小惑星に典型的な平らなスペクトルを示していることがわかる。

また、特徴的な吸収は見られない。

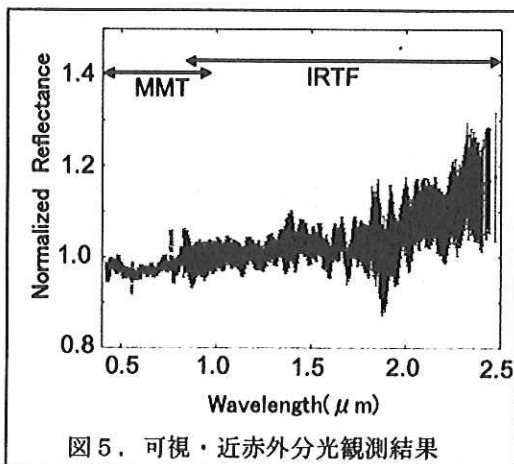


図5. 可視・近赤外分光観測結果

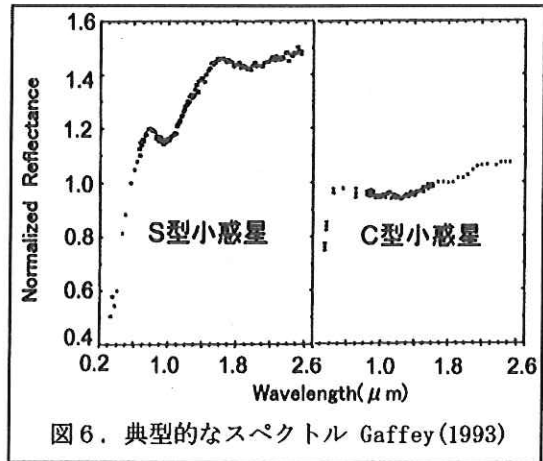


図6. 典型的なスペクトル Gaffey(1993)

4. 1999JU3 のサイズ (直径)、反射率

図7は、5月に赤外線衛星「あかり」で15μm, 24μmのフラックスを観測した結果である。図8は8月にすばる望遠鏡 COOMICS で8.8μm, 9.7μm, 10.5μm, 11.7μm, 12.4μmのフラックスを観測した結果である。

これら赤外でのフラックスの情報と、可視の絶対等級がH=19.2という情報を使って簡易な熱モデル (NEATM) を用いた計算の結果、あかりのフラックスからは直径 $D=989 \pm 0.1m$ 、アルベド $p_v=0.037 \pm 0.001$ と求めた。また、すばるのフラックスからは直径 $D=980 \pm 29m$ 、アルベド $p_v=0.037 \pm 0.002$ という結果が得られた。両者の結果は調和的である。

すばる望遠鏡ではこれに加えて、11.7μmでの赤外線のライトカーブ観測も行っている。この結果は今後、可視のライトカーブと合わせて小惑星の熱慣性の情報を得る手がかりとなる。

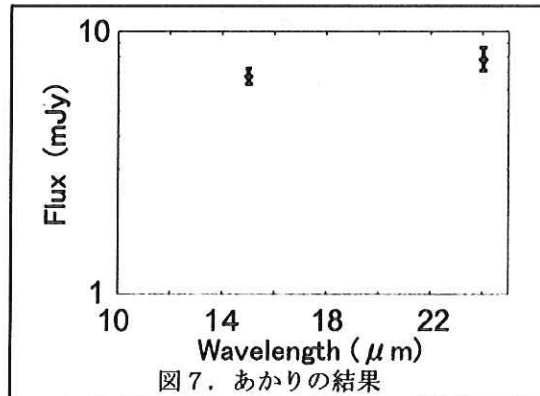


図7. あかりの結果

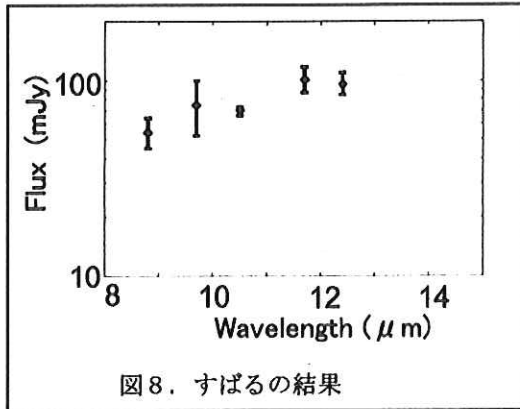


図8. すばるの結果

5. まとめ

1999JU3(162173)を探査するための観測が2007年5月から始まった。新たな情報として以下の結果が得られた。

<結果>

スペクトル型	C型ということが、多色測光や可視・近赤外分光観測でも確認された。
反射率	0.037 ± 0.002 (C型小惑星の典型値)
サイズ(直径)	$980 \pm 29\text{m}$
自転周期	7.6272 ± 0.0072 時間 (探査機が着陸できる速度である。)
自転の向き	順方向、自転軸は黄道面に直立に近い。
その他	イトカワのようにいびつではなく、球形に近い。

2007年7月から始まったライトカーブ観測は、2008年4月に終わる。今後はこれらの集まったデータから、小惑星の自転軸の傾きや形状を詳しく調査する。また、小惑星表面の熱物性なども推定したいと考えている。

(2008年3月22日受付, 2008年6月15日受理)