

## バイナリーアステロイド [65804] 1996 GT の測光観測

北里宏平 (東大・ISAS/JAXA)

安部正真 (ISAS/JAXA)

三戸洋之 (東大天文教育センター)

はじめに.

[65803] 1996 GT は  $a = 1.642$  AU、 $e = 0.383$  AU、 $i = 3.396$  deg. (MPO 53373) の PHA (Potentially Hazardous Asteroid) のグループに属する近地球型小惑星で、確定番号のついている小惑星の中では、HAYABUSA の探査候補天体にもなった小惑星 [25143] Itokawa、[10302] 1989ML、[4660] Nereus について、5 番目に探査機が到達しやすい小惑星である [1]。しかし、この小惑星は軌道要素以外の情報が明らかにされていない。また、この小惑星は 11 月の中旬から 12 月の中旬にかけて、明るさが 12 等級台になり太陽位相角が大きく変化するという貴重な観測好機であった。これまで同一の望遠鏡で一期間の間に広範囲の太陽位相角のデータを取得した観測はほとんどない。今回の観測目的は、次期小惑星探査ミッションのための候補天体サーベイと、小惑星と隕石の対応関係における位相角の影響についての議論である。

観測及び解析について.

今回の観測では、長期間のライトカーブを取得するために東京大学木曾観測所の K.3T (Kiso 30-cm Telescope) を使用した。K.3T は変光天体や突発天体の観測を主な目的として、近年木曾観測所で新たに開発されたロボティックテレスコープである。K.3T を使用した観測期間中に太陽位相角は 40 度から 2 度まで変化した。また、多色測光を行うために 1.05-m Kiso Schmidt Telescope 2KCCD も使用した。それぞれの望遠鏡で観測した日付及び使用したバンドフィルターについては Table 1. に示してある。また、オブジェクトの絶対光度を求めるために、各観測日で Landolt の標準星も撮像した [2]。

解析と一時処理には、天文学画像解析ソフト IRAF のパッケージを使用した。まず、ダーク、バイアスの差し引き及びフラットの補正などの一時処理により測光するための画像を作成し、photo タスクを用いて測光し、

instrumental magnitude を求めた。そして、比較星との差分からオブジェクトの相対等級を、標準星を用いた大気減光とオフセットの補正から絶対等級を求め、最後に距離の補正をして reduced magnitude を求めた。

Data Set	UT Date	Telescope
RI Photometry	11/13,14,16-18, 21-23,25-27/03, & 12/1-4/03	K.3T
BVRI Photometry	12/1,2,4/03	Schmidt
UBVRI Photometry	12/3/03	Schmidt

Table1. Observational summary.

ライトカーブ.

ライトカーブとは、小惑星の主に大きさや形状に起因する自転に伴う光度変化であり、通常規則的な周期を持ったカーブで描かれる。しかし、われわれの解析結果により、1996 GT のライトカーブはそのルールに適さないことが示された。2003 年 11 月 23 日に K.3T の R バンドで取得されたライトカーブを Fig. 1 に示してある。

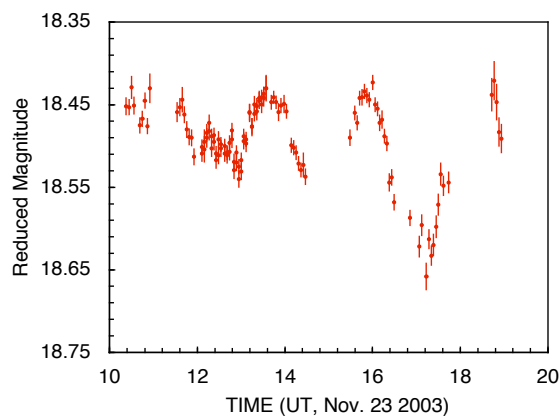


Fig. 1: Lightcurve of 1996 GT, taken on Nov. 23 2003 using with K.3T at R-band.

1996 GT の各観測日のライトカーブは振幅 0.10 等の基本周期に加えて、一時的な減光イベントが存在することがわかった。この結果は、1996 GT の衛星存在可能性を示唆している。そこで、1996 GT が binary asteroid で二重周期を持つことを想定して、その周期性を求めた。自転に対する光度変化について、primary asteroid の自転をフーリエ波で、occultation による減光をガウス関数で解釈して考えることにより以下の式で、Fig. 1 の 1996 GT のライトカーブを再現した。

$$V(t) = V_0 + \sum_{l=1}^m \left[ A_l \sin \frac{2\pi l}{P} (t - t_0) + B_l \sin \frac{2\pi l}{P} (t - t_0) \right] + \sum_{i=1}^n s_i \cdot \exp \left\{ \frac{-(t - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2} \right\}$$

ここで、 $V$  : reduced magnitude、 $t$  : 時間、 $A$ 、 $B$  : フーリエ係数、 $P$  : 周期、 $s$  : ガウスの強度、 $\mu$  : ガウスのピーク位置、 $\sigma$  : ガウスの半値幅である。この結果、primary の光度変化の周期が  $2.37 \pm 0.01$  時間で 17 時付近に 0.13 程度の減光があることが求められた。

しかし奇しくも、最近われわれと同時期にこのオブジェクトを観測していた海外のグループにより、1996 GT の binary 説を既に IAU circular に報告されており (<http://www.asu.cas.cas.cz/~ppravec/65803.htm> 参照)、われわれの結果は世界初の 1996 GT の binary system の検出ということには結びつかなかった。しかし、彼らはカラーやスペクトルタイプについてまでは報告していない。一方で、われわれはシュミット望遠鏡を用いて多色測光を行っているので、それらの結果を以下に示す。

#### 紫外-可視-近赤外波長域のスペクトル。

シュミット望遠鏡により観測した UBVRi バンドでの reduced magnitude より 1996 GT のカラーを求め、それらを太陽のカラーに変換し、各バンドに対する相対反射率を V バンドで規格化して算出した。各バンドでの中心波長には Johnson & Johnson Cousin System を使用した。その結果得られた 1996 GT のスペクトルを Fig. 2 に示してある。Fig. 2 には比較のために S-、X-、C-class の平均的なスペクトルもオフセットをかけて加えてある。S-class とは始原的な石質隕石である普通コンドライトに似た物質からなると考えられている小惑星である。小惑星の多くがこのタイプに属し、HAYABUSA のターゲット天体である Itokawa もこのタイプである。一方、X-class

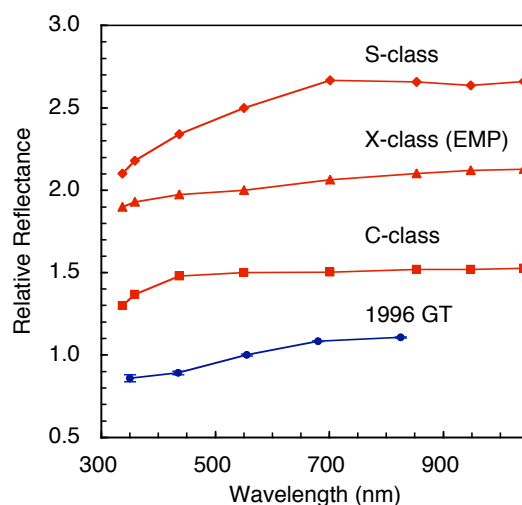


Fig. 2: Relative reflectance of 1996 GT normalized at V-band. Those of S-, X-, C-class are added to compare.

はスペクトルの情報だけでは区別がつかない E-、M-、P-type の小惑星を含めたグループである。この中で M-type 小惑星は隕鉄のような鉄ニッケル合金の固まりのような小惑星であると考えられており、小惑星の中では稀なタイプである。また、C-class は有機物質を多く含む炭素質コンドライト的な物質からなる小惑星として考えられている。ここで、1996 GT の spectral slope を求めると moderate な値になり、X-class に相当することが考えられる。

#### 太陽位相角に対する光度変化。

小惑星の光度は太陽位相角が小さくなるほど明るくなることがわかっており、その関係を説明するツールとして、IAU H-G Magnitude System があり、以下の式で表される [3]。

$$H_R(\alpha) = H_R(0) - 2.5 \log[(1 - G)\Phi_1(\alpha) + G\Phi_2(\alpha)]$$

ここで、 $H_R(\alpha)$  は日心距離、地心距離を 1 AU、位相角を  $\alpha$  deg. としたときの小惑星の R バンドでの絶対等級である。また、 $G$  はスロープパラメータとよばれる小惑星表面のオポジションエフェクトの効き具合を表すようなパラメータで、過去の研究の統計データより、この値から小惑星の taxonomical type を区別することができる。 $\Phi$  は位相関数である。そこで、K.3T より得られたデータ点から、非線形の最小二乗法フィッティングにより最適パラメータを導いた。その結果、 $H_R = 17.7 \pm 0.03$ 、 $G = 0.20 \pm 0.02$  となった (Fig. 3 参照)。

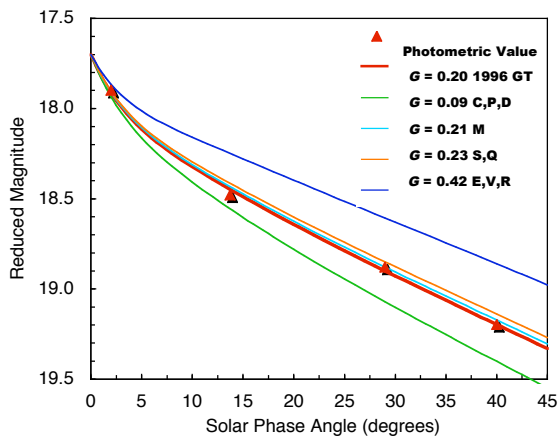


Fig. 3: Solar phase angle behavior of 1996 GT at R-band. Phase curves derived from various slope parameter  $G$  are also presented to compare.

### ジオメトリックアルベド.

小惑星の分類はジオメトリックアルベドとよばれる、天体表面を完全ランベルト面と仮定、位相角を 0 deg. としたときの天体の反射率、からも導き出すことができる。小惑星の直径及び V バンドでの絶対等級、ジオメトリックアルベドの関係は以下の式で表される [4]。

$$D(km) = 10^{-H_v/5} 1329 / \sqrt{p_v}$$

1996 GT の直径は上述した海外の観測チームによるレーダー観測から得られた値を採用し、また V バンドでの絶対等級は上記で求めた R バンドでの絶対等級からカラー変換して求めた。それらの値を上式に代入し、1996 GT のジオメトリックアルベドが  $p_v \doteq 0.15$  であることが導かれた。

そこで、以上で求めた 1996 GT のスロープパラメータとジオメトリックアルベドの値を過去の研究から求められた数値と比較すると、1996 GT は E-, M-, P-の X-class のなかでは M-type に相当することが示された (Table. 2)。

### まとめ.

今回の観測の結果、K.3T により得られたライトカーブから 1996 GT が binary asteroid であることが証明された。また、シュミットから得られたカラーと K.3T から得られたスロープパラメータ及びジオメトリックアルベドの値から、1996 GT の taxonomical type が M-type であることが予想された。1996 GT は探査機の到達しやすい天体であるので、binary

Taxonomical type	Slope parameter ( $G$ )	Geometric albedos
B, C, D, F, G, P, T,	$0.09 \pm 0.09$	0.02-0.11
M	$0.21 \pm 0.06$	0.10-0.18
S, Q	$0.23 \pm 0.11$	0.10-0.22
E, R, V	$0.42 \pm 0.08$	0.25-0.60
This study	$0.20 \pm 0.02$	0.15

Table 2: Comparison of slope parameter and geometric albed. Data from [5], [6].

でかつ M-type 小惑星であるとなると、ミッションとしては多くの科学的意義が込められると思われる。

### 参考文献 :

- [1]: Abe (2003) *Proceedings of 24<sup>th</sup> the Solar System Symposium in ISAS* 89-92. [2]: Landolt A. U. (1992) *Astron. J.* **104**, 340-371. [3]: Bowell E. B. *et al.* (1989) In *Asteroids II* pp.524-556. [4]: Harris A. W. (1998) *Icarus* **131**, 291-301. [5]: Harris A. W. and Young J. (1988) *Bull. Am. Astron. Soc.* **20**, 865. [6]: Verbischer A. J. and Veverka J. (1995) *Icarus* **115**, 369-373.