

# Spectroscopic observation of 1999 JU<sub>3</sub> and implications for collisional evolution

杉田精司<sup>1)</sup>, 黒田大介<sup>2)</sup>, 亀田真吾<sup>3)</sup>, 長谷川直<sup>4)</sup>, 鎌田俊一<sup>1)</sup>, 廣井孝弘<sup>4)</sup>, 安部正直<sup>5)</sup>  
石黒正晃<sup>6)</sup>, 高遠徳尚<sup>2)</sup>, 吉川真<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup> 東京大学, <sup>2)</sup> 国立天文台, <sup>3)</sup> 立教大学, <sup>4)</sup> ブラウン大学, <sup>5)</sup> 航空宇宙研究開発機構, <sup>6)</sup> ソウル大学

## 1 はじめに

小惑星162173 (1999 JU<sub>3</sub>)は、はやぶさ2の探査対象天体である。1999 JU<sub>3</sub>が広義のC型小惑星であることは確実であるが、C型のどのサブタイプのスペクトルを持つのかについては議論の余地が残る状況である。どのサブタイプの小惑星なのか、どの程度の表面不均一性を持った小惑星なのかによって、最適な観測運用計画も期待される科学成果の内容は大きく異なってくる。最適な観測運用計画の立案には時間がかかるし、科学成果最大化のためには事前に十分な時間を掛けて関連研究を進めることが必須である。こうした事前準備を行うためには、はやぶさ2が探査小惑星に到達する十分に前に基本的なスペクトル観測を行う必要がある。本稿では、最近の我々の地上観測の結果を紹介する。

## 2 過去の観測で得られた1999 JU<sub>3</sub>の可視スペクトル

はやぶさ2の探査対象天体である1999 JU<sub>3</sub>については、地上望遠鏡で様々な観測がされており、いずれもC型小惑星の特徴を示している[1,2]。例えば、可視分光観測からは、平坦なスペクトルを持っており[3,4]、アルベドも $0.070 \pm 0.003$ と低い値が得られている[1,2]。

しかし、1999 JU<sub>3</sub>の可視反射スペクトルデータは、C型小惑星の中のどんなサブタイプの小惑星であるかを議論したり、具体的な鉱物の吸収帯の同定をしたりするに十分な信頼性を持つとは言えない。非常に解釈が難しい。現状では、1999 JU<sub>3</sub>がCM2隕石(水(~10 wt%)や炭素(2~5 wt%)を豊富に持つ)に近いスペクトルを持つことを示唆するデータ ([4]による2007年7月のデータ)と、炭素質隕石の中では水(~0.1wt%)や炭素(~0.2wt%)に乏しいタイプの隕石CV3に似た形のスペクトル ([3]による1999年のデータ)の両方が得られている。また、[4]による2007年9月のスペクトルは両者とさらに異なる形状である。Vilas [4]は、1999 JU<sub>3</sub>が3つの異なる物質で覆われている可能性を主張しているが、観測誤差の結果として表れた見かけのみのスペクトルの変化である可能性も否定はしていない。Vilasによる2007年7月の観測結果には、0.65 $\mu$ m近傍に吸収帯と解釈できる凹みが見られる。Vilas [4]は、この凹みがCM2隕石によく見られる0.7 $\mu$ m吸収帯ではないかと論じている。しかし、この吸収帯の位置は、Murchison

隕石の吸収帯と比較すると、かなりはっきりと短波長側にずれている。さらに、この凹みの深さは誤差の10%とほぼ同じであることにも注意する必要がある。この2つの事実は、この凹みが何らかの誤差に起因している可能性を示唆する。

その一方で、メインベルト中の小惑星には、Murchison隕石の0.7 $\mu$ mより短波長にずれた吸収帯を持つものも散見される。したがって、1999 JU<sub>3</sub>の2007年7月のデータに見える0.65 $\mu$ m付近の凹みが実際に蛇紋石の吸収帯に起因する可能性は十分ある。

1999年取得のBinzel et al. [3]のスペクトルもかなりバラツキが見られる。この観測ではair massは1.5以上であったので、大気透過率補正に短波長側で大きめの誤差が出る危険性もある。短波長領域のスペクトル感度補正に10-20%程度の誤差があると考えたと、観測データに見られる左下がりの傾向は誤差の範囲に入ってしまう。これも、解釈に注意が必要である。

これまでに得られた3つのスペクトルの中で最高精度のデータは2007年9月にVilasが取得したデータである[4]。このデータは0.7 $\mu$ mの吸収帯を完全に否定はしないものの、強い吸収が存在しないことを示している。

## 3 GEMINI-Sによる可視分光観測

このような状況のもと、2012年夏に訪れた1999 JU<sub>3</sub>の観測好期においては、世界の多くの大望遠鏡と共に我々も1999 JU<sub>3</sub>の可視分光観測を行った。今回の観測好期には1999 JU<sub>3</sub>の南天にあったため、すばる望遠鏡など北半球の望遠鏡にとっては観測が難しい状況であった。そこで、チリにあるGEMINI-South望遠鏡およびGMOS装置によって可視分光を用いて観測を行った。しかし、この時期はチリの天文台においては天候が悪い時期であり、良い天候条件を待つために何日も待つ必要があった。しかし、結果として、6月24日, 26日, 7月5日の3夜において良好な大気条件で観測を行うことができた。その際の1999 JU<sub>3</sub>の見かけ等級は19.13-19.66であり、太陽位相角は22.7-30.3°であった。また、標準星にはHD142801とSA107-998の2つを用いて高い較正精度を目指した。

## 4 観測と解析の結果

予備的解析からは、Vilas [4]が2007年9月に得たデー

タに類似した非常にフラットなスペクトルが様々な自転位相に対して得られるという結果が得られた。これらのスペクトルを主成分分析したところ、我々の得たスペクトルは、Binzel et al. [3]が得たスペクトルとは大きく離れており、Vilasの2007年9月のデータと非常に近いことが定量的に示される結果となった。また、最近の他の望遠鏡での観測結果[5,6]も我々の結果と概ね調和的であり、非常にフラットなスペクトルを持つ物質が1999JU3の表面の多くの面積を覆っている可能性が高いことを強く示唆している。

その一方、Vilas [4]の2007年7月のデータを修正ガウスモデルでフィットしたところ、 $0.65 \mu\text{m}$ 近傍に見える吸収帯が、メインベルトに見られる $0.7 \mu\text{m}$ 吸収帯と整合的なバンド幅およびバンド中心波長の値を示した。

さらに、人工的に加熱した炭素質隕石の試料の反射スペクトル[7]と、本研究および過去の研究で得られた1999 JU<sub>3</sub>のスペクトルを比較した。その結果、大きなバラエティーを持ついずれのスペクトルも、Murchison隕石 (CM2) の試料の幾つかの温度での加熱実験結果と非常に良い一致をすることが分かった。その一方で、このような一致は、Allende隕石 (CV3) やIvuna隕石 (CI) の加熱試料との間には見ることができなかった。

## 5 結論

本研究の観測および過去の観測で得られたデータを

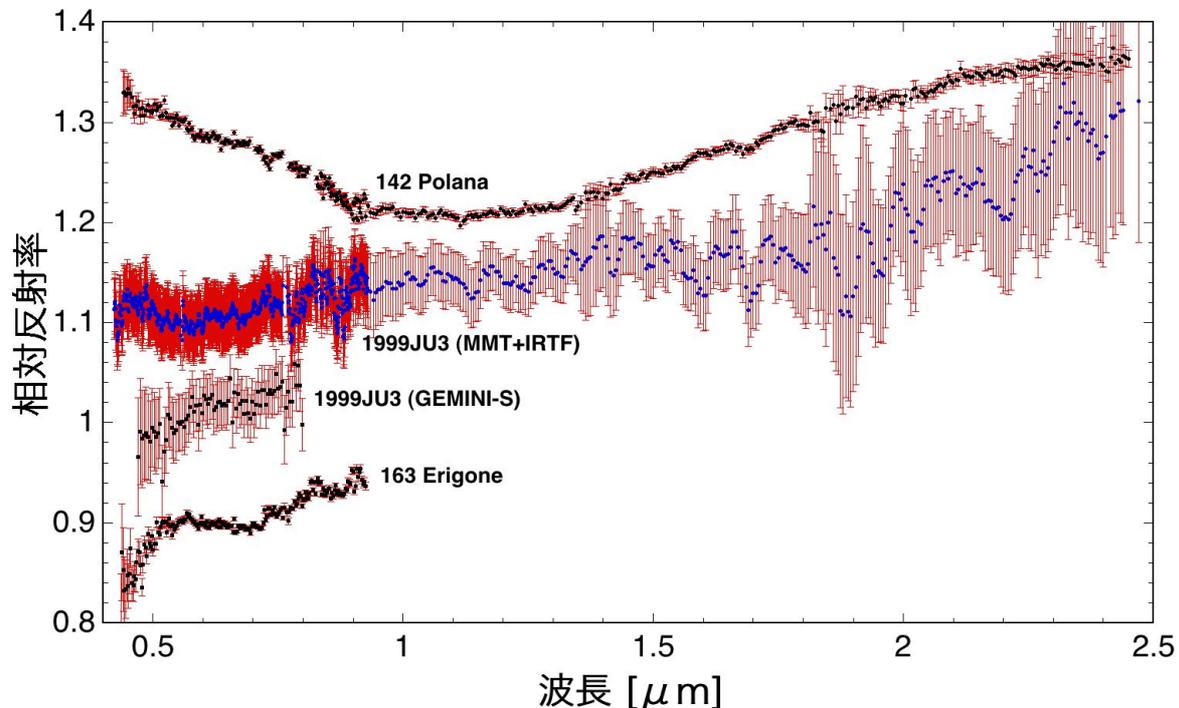


図1. メインベルト小惑星 (142) Polana, (163) Erigone の可視光・NIRスペクトルと1999 JU<sub>3</sub>の比較。PolanaとErigoneのスペクトルは、SMASS IIデータベースより[3]。1999JU3(MMT+IRTF)については、2007年9月に取得されたデータ[4,9]を併せている。

総合すると、1999 JU<sub>3</sub>の大部分の表面は比較的高温に加熱脱水を経験したCM2隕石に似た物質で覆われている可能性が高いことが示唆される。また、これまで報告されてきた多種多様なスペクトルは、CM2隕石の異なった温度での加熱によって説明できることも判明した。これは、1999 JU<sub>3</sub>が基本的には、CM2隕石に似た非常に水や有機物に富んだ母天体の衝突破片ないしその集合体である可能性を示唆する。軌道計算に基づいて、1999JU3が $\nu_6$ 共鳴帯付近の小惑星族起源である可能性が提案されている[8]。この条件に合う小惑星族は多くなく、図1に示すような小惑星163 Erigoneが有力な候補となるかもしれない。

**謝辞：**本観測の実現ためには、国立天文台からの多大なるご支援を戴いた。ここに謝意を表したい。

## 参考文献

- 1) Hasegawa et al., PASJ, 60, pp. S399–S405, 2008
- 2) Müller, T. et al., A&A, 525, pp. 1–6, 2010.
- 3) Binzel, R. et al., Icarus, 151, pp.139–149. 2001,
- 4) Vilas, F., Astron. J., 135, pp. 1101–1105, 2008.
- 5) Moskovitz, N. et al., DPS, 44, 102.04, 2012.
- 6) Lazzaro, D., et al., A&A, in press, 2013.
- 7) Hiroi, T. et al., MAPS, 31, pp. 321–327, 1996.
- 8) Campins, H. et al., ACM Mtg., #6452, 2012.
- 9) Abe, M. et al., LPSC, 39, #1594, 2008.