

スペースデブリの多色同時測光観測の役割

○坂本 強（日本スペースガード協会）

多色測光データの時間変化はスペースデブリの素材、姿勢、形状などを理解するための大変重要な手がかりとなる。特に、多くのデブリの明るさは、素材の違いや太陽の位相角によって時々刻々変化するので、同時測光データの取得はスペースデブリの3次元構造決定に大きな役割を果たす。しかし、過去の研究は単色のライトカーブ観測や同期していない多色測光観測に集中しており、多くのデブリの色の時間変化は未だ全く不明である。

そこで私は、MITSuME50cm 望遠鏡及び3色撮像装置を用いて観測を実施し、VRIの3色測光データを取得した。



スペースデブリの 多色同時測光観測の役割

Tsuyoshi Sakamoto (Japan
Spaceguard Association)

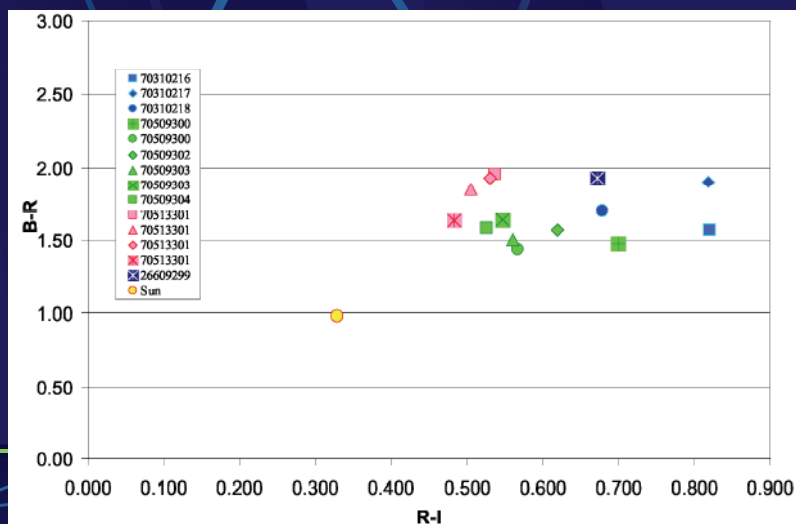
スペースデブリの色情報の重要性と最近の状況

- 多色測光観測+モニタリング観測
デブリの素材、姿勢、形状などの情報を与えるので重要。
- これまでの観測
ほとんど全て位置観測(nonfilter or W)
⇒得られる情報は軌道情報のみ。
- 衛星やデブリの物理情報はほとんど得られていない

過去の研究

- Schildknekt et al. (2008)
- 単一の望遠鏡でB->R->I...変光幅<0.5のGEOのみプロット

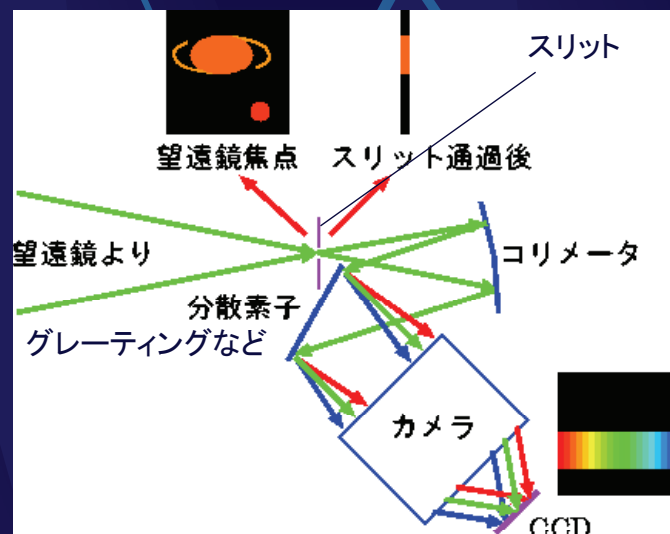
多色を同時に
観測する必要
あり



多色同時測光観測の手法

- 分光観測
分散素子を使用して、分光
- 複数台の望遠鏡+CCD
- 多色同時撮像装置
ダイクロイックミラーを使用して分光

分光器(**grating**など使用)



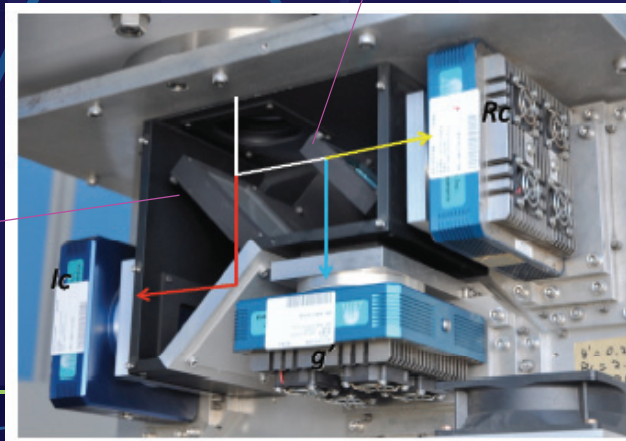
多色同時測光カメラ

● 3色の場合の例

ダイクロイックミラーを使用
ある波長よりも短い光
だけ反射、あとは透過

ダイクロイックミラー

ダイクロイックミラー



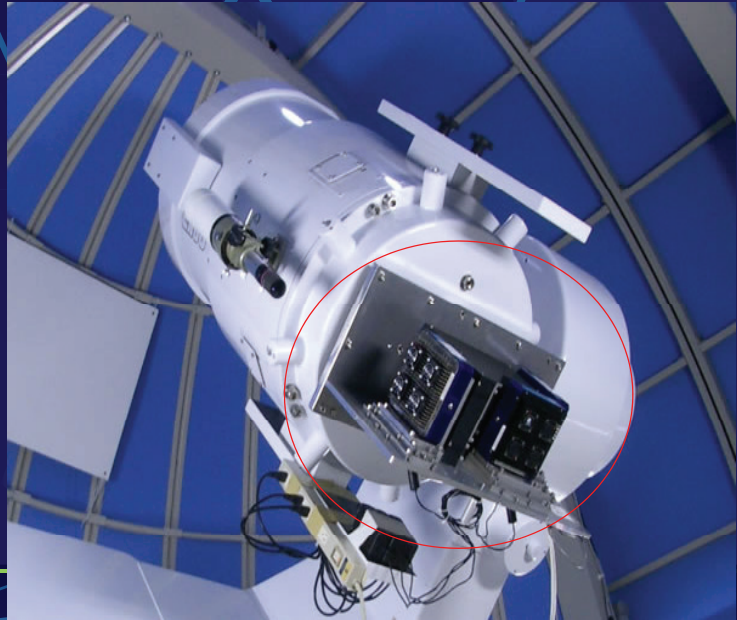
各観測手法の特徴

	分光器	複数台の 望遠鏡	多色同時 測光カメラ
太陽光の除去	○	×	×
overhead	×	○	○
ターゲットの運動情報	必要	△	△
望遠鏡の台数	1	3	1

⇒多色同時測光カメラを用いてスペースデブリを観測し、
同時刻の物理特性を調査した。

MITSUME望遠鏡+ 3色同時撮像装置

- 口径50cm
- 3色同時測光カメラ (g',R,I)
- 主な観測
ガンマ線バースト
の追跡観測
- その他の観測
銀河系ハローの
ミラ型変光星探査



観測データ

- ミラ型変光星探査の観測データに偶然
入ったデブリを3色撮像
- 3天体(6data)
 - 71006B – 4data
 - 2天体:特定できず(1datax2)

71006B

- アトラスセントールロケット
- Name: Intlsat 4-2 Rocket
- RCS: 16m²
- 観測時の高度
約22234km



解析

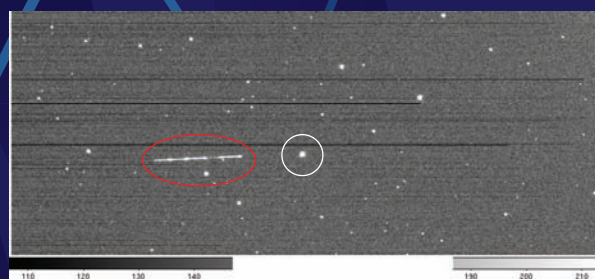
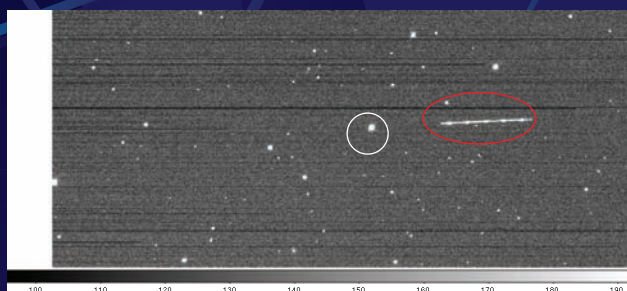
- Dark引き
- Sky flatで補正
- 楕円でaperture測光
- 相対測光

(比較星は視野内の星)

$I=13.2$

$g'-R=1.5$

$R-I=0.3$



まとめ

- 衛星やスペースデブリは多色を同時に撮像することが必要不可欠。
- 3色同時撮像装置で得られた画像にある71006Bの測光観測を行った。

Future works

- 今冬に美星天文台1m望遠鏡で分光観測を実施予定
- アーカイブデータを利用した解析
- 実験室での多色同時測光も必要不可欠

スペースデブリの多色同時測光観測の役割

坂本 強¹⁾ ・ 黒田 大介²⁾ ・ 柳澤 顕史²⁾ ・ 清水 康廣²⁾ ・ 戸田 博之²⁾ ・
長山 省吾³⁾ ・ 吉田 道利⁴⁾ ・ 太田 耕司⁵⁾ ・ 河合 誠之⁶⁾

¹⁾日本スペースガード協会²⁾ 国立天文台岡山天体物理観測所³⁾国立天文台⁴⁾広島大学
⁵⁾京都大学⁶⁾東京工業大学

Multicolor photometric observation of space debris

T. Sakamoto¹⁾ ・ Kuroda, D.²⁾ ・ Yanagisawa, K.²⁾ ・ Shimizu, Y.²⁾ ・ Toda, H.²⁾ ・ Nagayama, K.³⁾ ・
Yoshida, M.⁴⁾ ・ Ohta, K.⁵⁾ ・ Kawai, N.⁶⁾

Abstract

Some wide-field debris surveys have recently discovered debris with sizes of several ten cm and determined their orbital elements. However, their materials, shapes, and rotations still remained unclear. The luminosities of many debris change by 0.5 mag or larger over different spans, and then their simultaneous multiphotometry is essential. We perform simultaneous multiphotometry for a rocket body, 71006B, in three-bands.

Key Words: Space debris, simultaneous multiphotometry

1 Introduction

スペースデブリは地球周りを高速で軌道運動しているので、運用中の人工衛星を破壊、あるいはその一部の機能を損傷させるのに十分能力をもっている。従って、人工衛星を安定かつ安全に運用するためには、スペースデブリの軌道情報や、素材や形状などの物理情報を様々な観測手法を用いて収集することが必要不可欠である。特に、現在いくつかの国々で計画されているような、テザー衛星などによるデブリの回収は、テザー衛星のみによる撮像観測ではデブリの3次元構造や3軸周りの回転運動に関して十分な情報は得られない。従って、地上の光学望遠鏡などによる多方向からの多色モニタリング観測が重要となる。

近年、レーダーや光学望遠鏡による系統的なスペースデブリ観測が実施され、数十cmサイズまでのスペースデブリが発見されてきた。これらのデブリに関して長期にわたる追跡観測もなされてきており、高精度の軌道情報も徐々に集積されつつある。しかし、これらの観測は位置測定を目的としているので、デブリの明るさを精密測定するような解析は行っていない。また、フィルターの無い観測システムであるので、素材に関してほとんど情報が得られていない。

Schildknecht et al.(20??)は3色測光観測を実施した。その結果、一部のデブリの明るさは数秒～数分以下の短いタイムスケールで変光し、その変光幅は0.5等以上と大きいことを示した。従って、真の多色測光情報を得るためには、多色で時刻が同期した観測が必要不可欠であることを示している。

同時刻に多色の測光情報を得るためには大きく分けて3つの手法がある。

- (1) グレーティングなどの分光素子を用いた分光観測
- (2) 複数台の望遠鏡に各1台のカメラ及び1枚のフィルターを取り付け、シャッター開閉時刻を同期させた観測システムによる同時測光観測
- (3) 1台の望遠鏡に多色同時撮像装置をつけた観測システムによる同時測光観測

多くのデブリの軌道決定精度はスリット幅(数秒程度)よりも悪く、また低軌道デブリは可視の時間が短く数度/分以上の高速移動するので、一般にスリット上にデブリをすばやくのせ、追尾することは困難である。従って、分光素子を使った分光観測はGeosynchronous Equatorial Orbit(GEO)あるいはGeostationary Transfer Orbit上を運動するデブリにのみ有効と考えられる。

本研究では、多色同時撮像装置をつけた観測システムの有効性を検証する。

2 観測データ

本研究では、文部科学省科学研究費(学術創生研究費)「ガンマ線バーストの迅速な発見、観測による宇宙形成・進化の研究」(代表:河合誠之・東京工業大学教授)による研究チームが国立天文台岡山天体物理観測所に設置したMITSuMe(Multicolor Imaging Telescope for Survey and Monstrous Expolotions) 50cm望遠鏡(refs.)によって取得されたデータを用いる。この望遠鏡は遠方宇宙で起こるガンマ線バースト残光追跡観測を目的とした自動観測望遠鏡である(Kotani et al. 2005; Shimokawabe et al. 2008)。この望遠鏡には、g、R、Iの3バンドを同時撮像可能な冷却CCDカメラが取り付けられている。それぞれのフィルターの中心波長は、480、650、800nmである。望遠鏡は恒星時追尾であるので、スペースデブリがカメラ視野内を通過すると、線状に延びる。使用した画像データの視野は $26^{\circ} \times 26^{\circ}$ であり、露出時間は30秒であった。

3 解析及び結果

我々はまず、スペースデブリの正体を探るべく、線状に延びた背景の星に関して、USNOB1.0カタログを用いて座標系を決定し、線状のデブリの重心位置を測定した(図1)。なお、デブリは4枚×3バンドの画像に写っていたが、一枚の画像は星と明らかに重なっており、使用していない。3データしかないので、線形性のチェックは行っていない。次に、SpaceTrackにある最新の軌道要素から得られる予報位置と比較する。露出時間が長いので、時刻はシャッターの開いた時刻に露出時間の半分を加え、中間時刻を出し、この時刻の予報位置と観測から得られたデブリの位置のみを比較した。その結果、10分角程度の精度で71006Bの位置と一致した。71006Bはアトラスセントロールロケット(Intlsat 4-2 Rocket)、観測時の高度約22234kmであった。RCSは 16m^2 とデブリの中ではかなり大きい。

次に、IRAFを用いてスペースデブリの測光を実施した、ダーク引き、スカイフラットによるフラット補正を行い、参照星はデブリに最も近い星を使用した。Apertureは線状に延びたデブリを含むような楕円形を用いた。その結果、 $I=12.2$, $g-R=1.5$ $R-I=0.3$ となった。

このように、3色同時撮像装置を用いた観測はスペースデブリの多色測光に有効な手法である。71006Bは1枚の画像の中でも明らかな変光が見られる。これらの解析を行えば、時間分解能の高い測光情報が得られると期待される。

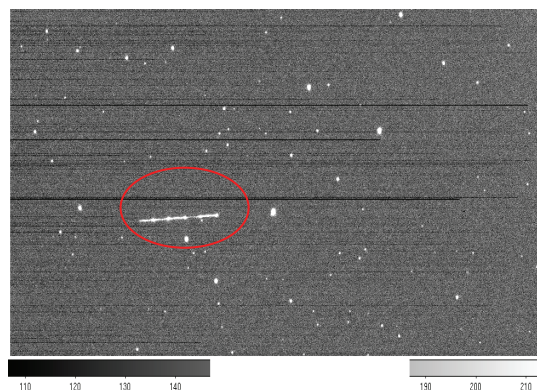


図1:Iバンドの画像。線状に延びた天体が71006B。

参考文献

- 1) Schildknecht, T., Musci, R., Fruh, C., Ploner, M. 2008, Proceedings of the Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, held in Wailea, Maui, Hawaii, September 17-19, 2008, Ed.: S. Ryan, The Maui Economic Development Board., p.E51
- 2) Kotani, T.; Kawai, N.; Yanagisawa, K.; Watanabe, J.; Arimoto, M.; Fukushima, H.; Hattori, T.; Inata, M.; Izumiura, H.; Kataoka, J.; Koyano, H.; Kubota, K.; Kuroda, D.; Mori, M.; Nagayama, S.; Ohta, K.; Okada, T.; Okita, K.; Sato, R.; Serino, Y.; Shimizu, Y.; Shimokawabe, T.; Suzuki, M.; Toda, H.; Ushiyama, T.; Yatsu, Y.; Yoshida, A.; Yoshida, M. 2005, Il Nuovo Cimento C, vol. 28, Issue 4, p.755.
- 3) Shimokawabe, T., Kawai, N., Kotani, T., Yatsu, Y., Ishimura, T., Vasquez, N., Mori, Y., Kudo, Y., Yoshida, M., Yanagisawa, K., Nagayama, S., Toda, H., Shimizu, Y., Kuroda, D., Watanabe, J., Fukushima, H., Mori, M. 2007, GAMMA-RAY BURSTS 2007: Proceedings of the Santa Fe Conference. AIP Conference Proceedings, Volume 1000, pp. 543-546 (2008)