

太陽系小天体用小型分光システムの性能評価

奥村真一郎¹⁾・浦川聖太郎¹⁾・西山広太¹⁾・坂本 強¹⁾・
高橋典嗣¹⁾・吉川 真²⁾・田邊健茲³⁾

¹⁾ 日本スペースガード協会、²⁾ JAXA/ISAS、³⁾ 岡山理科大学

Performance evaluation of a compact spectrograph for small solar system bodies

Shin-ichiro OKUMURA¹⁾, Seitaro URAKAWA¹⁾, Kota NISHIYAMA¹⁾, Tsuyoshi SAKAMOTO¹⁾,
Norisugu TAKAHASHI¹⁾, Makoto YOSHIKAWA²⁾, and Kenji TANABE³⁾

Abstract

We are developing a compact spectrograph for small solar system bodies, and planning to observe the time variation of the reflected spectra of asteroids, in order to investigate surface property of the asteroids. The system consists of a commercially available spectrograph, DSS-7, manufactured by SBIG. It is a very small package but contains a slit, a grating, and other optical elements. It covers the wavelength range from 4000 to 8000 angstroms, in standard use, such as coupling use with an SBIG ST-402 765x510 CCD array. We are planning to use it as the spectrograph that covers the range between 4300 and 8600 angstroms, in using with an order-cutting filter and a larger formatted CCD array. The system will be mounted on a MEADE 30-cm Schmidt-Cassegrain telescope. Evaluated basic performances of the CCD detector and the spectrograph are presented here.

Key Words: Small solar system bodies, Spectroscopy

1 はじめに

1970年以降、地上観測により様々な小惑星の反射スペクトルが観測されてきた。小惑星は隕石の供給源と考えられており、小惑星の反射スペクトルと隕石の反射スペクトルの間には多くの場合、その構成物質を反映した対応関係が見られる。しかし、隕石の中で大部分を占めている普通コンドライトの反射スペクトルに対応する小惑星が非常に少なく、一方地球近傍小惑星で最も数の多いS型小惑星の反射スペクトルに対応する隕石が非常に少ないという矛盾があった。近年、スペクトルの変化が「宇宙風化作用」により起こると考えられるようになり、普通コンドライト組成の天体の表面が「宇宙風化作用」により徐々に変化し、観測されているS型小惑星に多く見られるような「赤化」を受けた反射スペクトルを持つようになる、と理解されている。ところで、「はやぶさ」からの観測により、小惑星「イトカワ」の表面は場所により宇宙風化の度合いが異なることが明らかとなっている。また、地上からの観測により小惑星「ベスタ」や小惑星「カリン」について、自転に伴ってスペクトル形状やカラーが変化するという報告もある。小惑星の向きにより表面の反射スペクトルが変化する原因としては、衝突により風化を受けていない物質が噴出したか、もともと組成や風化度の異なる天体同士の衝突合体

により形成されたものである場合などが考えられるが、スペクトルの時間変動を丁寧に観測した例はほとんどなく、スペクトルやカラーの時間変化を検出できた例はまだ数えられるほどしかない。

そこで、例えば自転の何十周期にもわたるデータを取得することによって小惑星の反射スペクトルにおける時間変動を高精度でとらえる事を主な目的とし、それを実現させるために融通の利く豊富な観測時間を確保するため、自由に使える小口径望遠鏡と小型分光器を利用した小型分光システムを独自に開発することとした。

2 装置概要

装置については、経費と開発の手間を省くため既製品を組み合わせてシステムを組み上げることとした。各コンポーネントについて簡単に紹介する。

2.1 分光器

分光器にはSBIG社のDSS-7を使用する。DSS-7はスリットとグレーティング、CCDカメラに再結像させるための光学系を内蔵する市販品の分光器であり、F/10の光学系(望遠鏡)と接続するとマッチするように設計されている。4000~8000Åの範囲をカバーし、16Åの波長分解能を達成する。分光時には1次の回折光を使用するが、CCD

から0次の反射光を見る角度にグレーティングの向きを切り替え、同時にスリットを光軸からはずすことにより簡易撮像モードとして使用することができ、スリットへの天体導入に便宜が図られている。本システムでは小惑星のスペクトル型診断に重要となる、比較的長波長側の波長を重視し、4300Å以下の波長をカットするオーダーカットフィルターを併用することにより4300~8600Åの範囲の分光器として使用する。分光器の光学レイアウトを図1に示す。

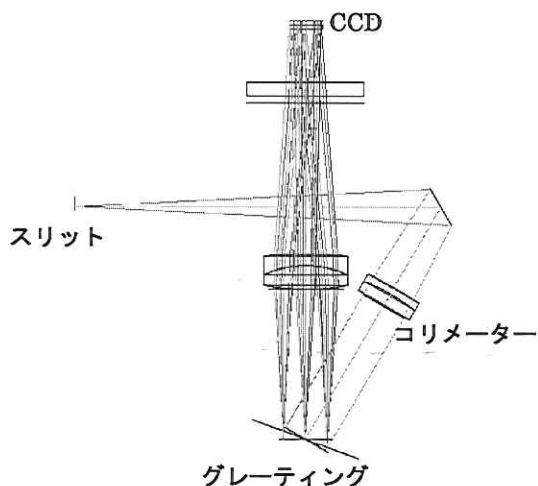


図1 SBIG 社分光器 DSS-7 の光学レイアウト。左にあるのが入射窓、上部に CCD が付く。SBIG 社作成のマニュアルより。一部日本語に改変。

2.2 CCDカメラ

CCDカメラも既製品であるSBIG社製ST-8Eを使用する。ピクセルサイズは9 μ m、DSS-7と組み合わせた際の波長方向のサンプリング間隔は5.4Å/pixelである。DSS-7とのカップリング時(図2)には同じピクセルサイズでフォーマットの小さいST-402の使用では4000~8000Åの範囲しかカバー出来ないが、1530×1020画素を有するST-8の使用により中心部の800×600画素付近のみの使用となるが9300Å付近までデータを取得出来る。これにオーダーカットフィルターを併用し4300~8600Åの範囲をカバーする。ST-8EとDSS-7はWindows上の同じソフトウェアから同時に制御可能である。

2.3 望遠鏡

望遠鏡はMeade社製の口径30cm、F/10シュミットカセグレン望遠鏡LX-200を用いる(図3)。本来は経緯台式の望遠鏡架台であるが、赤道儀への変換ウェッジをもちいて赤道儀式架台として使用する。



図2 分光器DSS-7(上)とCCD(下)を接続した状態。SBIG 社作成のマニュアルより。



図3 Meadeの30cmシュミットカセグレン望遠鏡LX-200。

3 開発状況

2009年夏より物品の調達を開始、2010年1月に主要部品はそろった。CCDカメラと分光器DSS-7とを接続し、調整と性能評価を進めながら別途望遠鏡の立ちあげを進めてきたが2010年11月に望遠鏡が故障したため、現在は代替となる望遠鏡について検討している。

4 性能評価

望遠鏡に取り付けた試験が実施出来ていないため、CCDと分光器のみの性能評価についてのみ紹介する。美星から夜光のスペクトルを取得したものが図4である。これは昨年度の研究会で発表したものと同スペクトルであるが、昨年は25Åまでしか達していなかった波長分解能はその後の調整により、20Åを達成している。

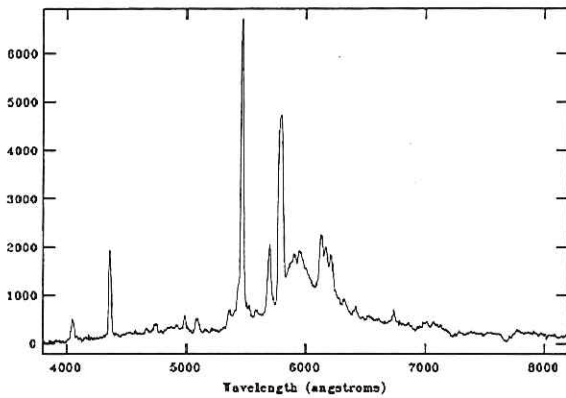


図4 分光器 DSS-7 と CCD を接続し、夜光のスペクトルを取得したもの。写っている輝線のほとんどは都市に起因する人工光である。

CCDのダークカレント（暗電流）、線形性について簡単に評価した結果を以下に示す。図5は暗電流の温度依存を調べたもの、図6は入射光量に対する出力を調べた結果である。

A/D変換は16bitで行われるので、65536カウントまでは使用出来るはずであるが、実際には図6のように46000カウントで頭打ちとなる。これは、素子の容量（full well capacity）による制限である。図6で30000以下の出力値の結果を用いてフィッティングした直線からのずれは、30000カウントを超えると1%を超える。従って1%以下の精度を必要とする観測の場合には出力値が30000以下になるように露出時間等を設定しなければならない。

5 今後

今後はまず、代替となる望遠鏡を確保するところから始めなければならない。また、図6で示した結果は不安定な光源を用いて行った、あくまで簡易実験の結果であり、CCDの評価に際してはさらに精密な測定が望まれる。

(2011年3月28日受付, 2011年5月15日受理)

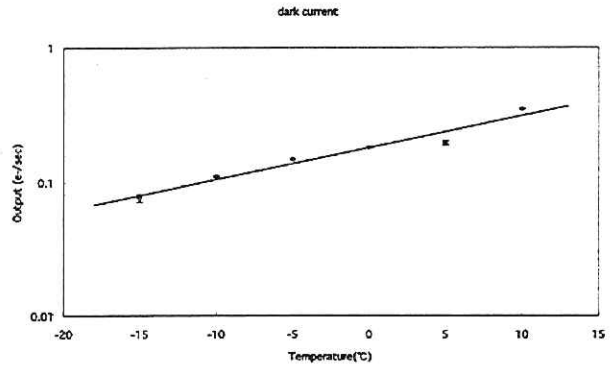


図5 暗電流と CCD 温度の関係。

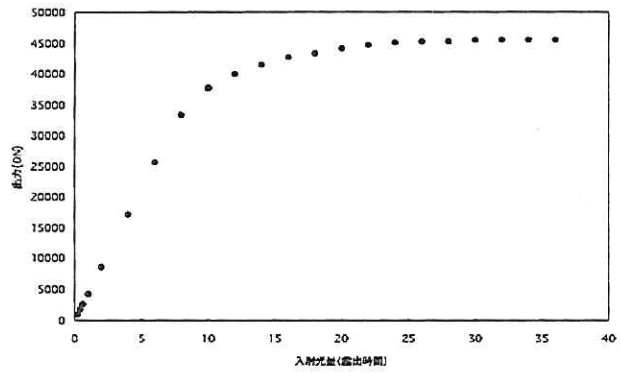


図6 入力と出力の関係（入出力のリニアリティ）。