

自作積分球による市販冷却 CCD カメラ BN-52E の性能評価

倉橋 拓也 (明星大学大学院 理工学研究科)

Abstract

我々は市販冷却 CCD カメラの性能評価をする基礎実験の方法と結果について発表する。明星大学では過去に上記に関する測定データが無いことから、本研究は天体観測で幅広く使われる CCD カメラの原理・構造の理解と実験方法を確立するための先行研究である。市販冷却 CCD カメラ BN-52E の性能評価を行い、研究対象の CCD カメラ が測光観測等の天体観測に適しているか否かを判断し、精度の決定や観測方法に貢献することを目的として行うものである。この先行研究ではダークとバイアスの特性、リニアリティ、読み出しノイズ、ゲインを測定した。これらの測定量から得られる特性から、CCD カメラの性能評価について議論したい。

1 Introduction

CCD は CTD (Charge Transfer Device) の 1 つであり、電位の井戸 (potential well) を利用して半導体中で電荷を転送するデバイスである。CCD (Charge Coupled Device) の略称とされており、電荷の転送を司る部分の名称とされる。CCD カメラは古今から高価であることは変わらないが、その汎用性は高く赤外線観測、可視光観測、紫外線観測、X 線観測に用いられ、CCD の特性を活かし分校測定装置や光学顕微鏡、複写機にも応用されている。輝度特性が極めて高いことから多岐にわたる観測の応用性を備えていると云える。CCD カメラはより高感度と長時間露光が要求される機器に使用されているようである。

Bitran 社製の市販冷却 CCD カメラ BN-52E をテスト対象とし、フラットフレーム、ライトフレームを取得する上で発泡スチロール性の簡易積分球を自作した。

・実験環境

研究室内に暗幕を張った簡易的な暗室を用意し、この暗室内にて実験を行った。Fig. 1 はその様子を示す。自作した発泡スチロール性の簡易積分球を CCD カメラに取り付けライトフレームを取得した。

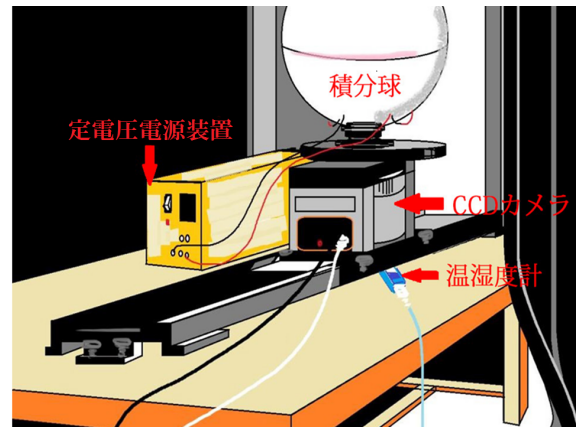


Fig. 1 暗室内の実験環境

2 Methods

観測上重要になるのは、(1) 暗電流の時間安定性、(2) 暗電流の温度依存性、(3) CCD 画素の入力に対する出力の線形性である。(1) はダークフレームをどの程度の間隔で取得すべきか重要な情報であり、(2) は CCD 素子の冷却温度を決める際に重要な情報であり、(3) は適正な露出時間や、観測に適した明るさの選別の際に重要な情報である。これらはメーカーカタログ等に記載がないので、独自の室内実験で確かめる。データ解析では IDL を用い、暗電流の時間安定性と暗電流の温度依存性は経過時間、積分時間と平均カウント数の関係性をグラフにプロットしそれぞれの測定結果を示した。その結果、暗電流の時間

安定性では約 120 分を要し、暗電流の温度依存性では冷却温度 0°C が最も低いカウント数を求めた。リニアリティー、ゲイン、読み出し雑音では分散と平均カウント数を求めグラフにプロットした結果、リニアリティーでは $-10^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ で安定した直線性を示し、ゲインでは 0°C と -30°C の冷却温度で $\pm 0.1e^{-}/\text{ADU}$ の値を求め、読み出し雑音では $0^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ の冷却温度で $\pm 0.3\text{ADU}$ の精度で値を求めた。

3 Results

CCD カメラの冷却を開始してからカウントの平均カウント数が安定するまでに、外気温が安定した状態で約 120 分要することが分かった。バイアスフレームの安定性では、 0°C と -30°C の平均カウント数が比較的ばらついていることから、 $-10^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ での観測が良いと思われる。CCD は冷却温度が低いほど暗電流および読み出し雑音が低下、或いは安定した値をとる。本実験では冷却温度が下がるにつれて暗電流の値をとったが、読み出し雑音の値は僅かに上昇値を示している。暗電流のリニアリティーでは 0°C が最も低い平均カウント数と直線性をとった。このとき $0^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ において $e^{-}/\text{sec}/\text{pix}$ の値はあまり変わらなかった。リニアリティーの測定では冷却温度 $0^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ の間で -30°C が最も $\gamma = 1$ からのずれが大きかった。

このような実験結果を踏まえると、 $-10^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ の冷却温度で測定することが良いと思われる。この冷却温度領域であればダークフレーム、バイアスフレームの安定性と、暗電流、リニアリティー、読み出し雑音が比較的安定する実験結果が得られている。

4 Discussion and Conclusion

・リニアリティー及びゲイン、読み出し雑音の測定で取得するライトフレームとダークフレームは、同じ実験内で光源からの光を照射しながらこの 2 枚のフレームを交互に撮像していき、CCD の精度を決定していくものであるが、今回はそのような実験方法はとらなかった。暗電流の測定で取得したダーク

フレームとリニアリティーの測定で取得したライトフレームを用いることにし、ゲイン、読み出し雑音を求めることにした。理論的には暗電流やライトフレームの各画素のカウント数はポアソン統計に従うことから、その時々の実験で違う値をとる。従って、ライトフレームとダークフレームは同じ実験内(若しくは観測日時)で撮像することが良いことになるが、この撮像方法においてライトフレームとダークフレームでの残像ノイズなど考慮しなければならない点が出てくるため、時間の都合上このような実験方法をとった。

・フラットフレームの取得については議論の余地がありそうである。今回の実験で自作した積分球ではフラットフレームの取得までの精度はなかった。フラットフレームは CCD 受光領域の前面に均一光を照射させ、CCD カメラから出力された画像で感度不均一性を調べたり、ライトフレームでの 1 次処理に用いるためのフレームだが、本実験で取得したフレームには接眼アダプタによる影で周辺減光が確認できたためフラットフレームの取得は出来なかった。取得したフレームの陰影を入射角と接眼アダプタの照射角度から光の強度を補正する方法でフラットフレームの取得を考えることが可能である。CCD 受光面の全面に入射できるように積分球の検出部の開口面と入射角が直角であるようにすることや、CCD 素子を取り出し積分球によりフラットフレームを取得する方法(この方法では冷却方法について議論が挙がってしまう)などでフラットフレームの取得を考えることができる。

・自作積分球に取り付けた LED だが研究の都合上につき分光分布特性を把握していない。CCD カメラの性能評価には自然白色光に近く分光分布特性がほぼ一定の分光分布を示す光源が望ましい。しかし、一般的な白色 LED の分光分布特性は Blue の波長帯が極端に高く、Green や Red の波長成分が弱い。本研究で用いた LED もこの分光分布特性を示している可能性が大いにあるため、高演色 LED を用いて波長帯と波形の細かなチューニングを施す必要が捨てきれない。このように性能評価を行う上で光源をどの様に得ていくか、議論が必要である。

・分光感度特性は CCD 校正装置(モノクロメータ)が必要になるが、性能評価として波長帯での量子効

率を知ることは測光等の研究的観測において極めて重要である。また本実験から取得したフレームからホットピクセルの位置、領域などを調べ、これがどのような特性を持っているかも評価していく上で大事な議論となってくる。

・屋外での測定を行い屋内との測定と比べるなど CCD カメラの外気温・湿度の条件 を変化させ、どの様に測定値が変動するかを調べ、観測方法を考慮する必要がある。同時に天体望遠鏡に CCD カメラを設置した状態でリニアリティーと感度ムラ の補正の精度を確立し、フラットフィールドの安定性を確かめなければならない。以上のように性能評価をする上で議論や課題は多く残っている。本実験は 12 月 1 月にかけて実施した結果、CCD カメラの冷却温度の下限が約-33 °C に制限された。今後、この研究を続けるならば CCD カメラのメンテナンスを行い、再測定を行いつつ- 40 °C 程度に冷却した理想的な環境で再度実験を行いたい。