

市販冷却CCDカメラシステム、 SBIG製ST-8XME-NABGの性能テスト (2) —分光感度特性について—

山縣 朋彦* 伊藤 信成**

Evaluation of the Performance of a Commercial CCD Camera System, SBIG ST-8XME-NABG(2) Spectral Sensitivity

Tomohiko YAMAGATA, and Nobunari ITO

1. はじめに

前回の報告¹⁾では、測定装置の光源のハロゲンランプ (Philips製 Type7158) の色温度を3000Kの黒体と仮定しCCDカメラの分光感度を求めた結果を報告した。今回は、浜松フォトニクス社製のSiフォトダイオードを使用して、分光感度の再測定を行ったのでその結果を報告する。

測定したCCDカメラは、文教大学地学研究室で所有しているSBIG社製CCDカメラシステムST-8XME (NABG) である。このカメラには写真 (図1) のように、2つのCCD素子がついている。1つは、オートガイドに使用するための補助の素子でTI社製TC-237Hである (下の小さい素子)。上の大きい方のCCD素子が、撮像用素子のコダック社製KAF-1603MEで、この素子の分光感度特性の測定を行った。KAF-1603MEのピクセル数は1530×1020、ピクセルサイズは $9\mu\times 9\mu$ である。この素子の表面にはマイクロレンズがついていて、開口率を稼ぐ働きをしている。冷却のために、ペルチェによるヒートエクステンジャーと水冷ポンプによる冷却支援装置がついている。露光は図1の写真で分かるように回転式シャッターで行うようになっている。CCD素子及びシャッター、制御回路は、湿気と埃を避けるために乾燥剤を封入して密閉してある。信号は密閉したふた (図2) についた窓を通して受ける構造になっている。窓材はメーカーによるとBK7とのことであるが、詳細は不明である。その他のCCDカメラの詳細は前回の報告¹⁾を参照されたい。

* やまがた ともひこ 文教大学教育学部

** いう のぶなり 三重大学教育学部

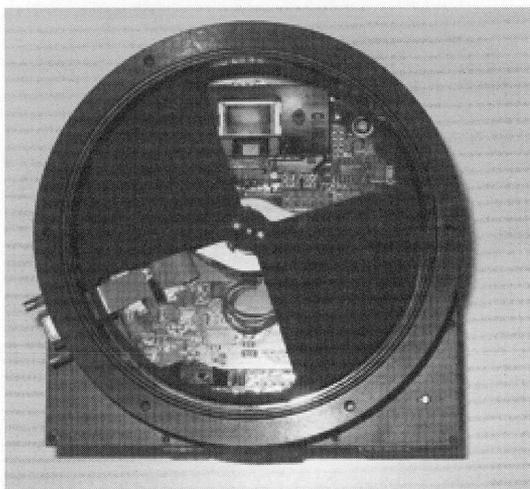


図1 CCDカメラシステムST-8XME-NABG

窓材のついた密閉蓋を外したところ。扇状の2枚の羽根はシャッター。上部にCCD素子が2つ見える。上の大きい素子がメインの撮像用素子KAF-1603MEである。下の小さい素子はオートガイド用の素子TC-237Hである。

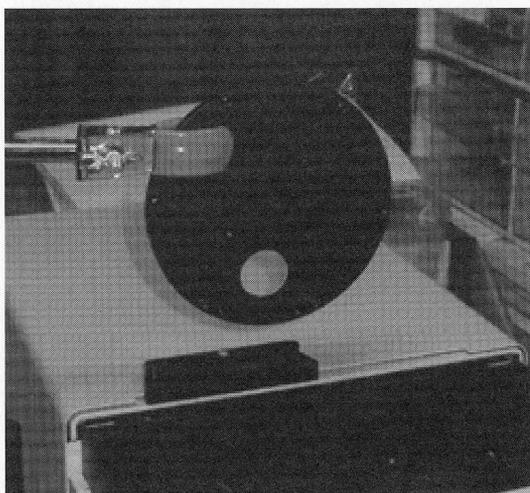


図2 CCDカメラを密閉するための蓋

透過率測定のために本体から外してある。下方の透明な丸い部分に窓材が埋め込んである。下に見えるのは透過率測定を行った島津製作所製自記分光光度計UV3100PCである。

2. CCD較正装置による測定

分光感度特性の測定は、前回同様に東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター木曾観測所が所有する日本分光製のもの²⁾で、モノクロメーターと積分球 (Oriel 40481) からなっている。光源のハロゲンランプはPhilips社製 Type7158である。装置は木曾観測所の実験室の中に

組み立てた簡易暗室の中に設置した。暗室内から実験室内にケーブルを出して、装置の制御を行ったので、前回の測定時よりは操作性が向上している。実験室内は空調により空気清浄と温度コントロールを行っている。CCDの設定温度はペルチェ及び水冷装置により -20°C にして行った。今回の測定では、CCDカメラ内部の乾燥剤の効力が落ちていて、冷却とともに素子の表面に水滴が確認された。そこで、測定を始める前に素子とその周辺を乾燥させるために温風ドライヤーでベーキングを行った。その結果、測定中にはさらなる水滴はつかなかった。水滴防止のためのドライヤーによるベーキングは現実的な方法として、実際の観測使用時においても有効と思われる。なお、測定結果の解析にはMacOSX上のIrafを使用した。

3. 分光感度特性と窓材の透過率

前回同様に、光源からの出射光の中心波長を変化させて、CCD素子にて、カウントを測定した。出射光の波長半値幅は 1.0nm である。今回は 380nm から 1000nm まで 10nm おきに波長を変えて、露光した。各波長の露光について、フィルター無しで積分球からの光を5秒間積分した。得られた各フレームからは、同一積分時間のダークフレームを減算した。CCDの測定値は、中心部分 $[600:900,400:600]$ の平均とした。

CCDの測定値を量子効率のスケールに直すために、光源のハロゲンランプの強度を、浜松ホトニクス社製Siフォトダイオード³⁾(図3)で測定した。フォトダイオードの出力は電流値であるが、それを電圧値に変換するのに、同社製アンプC2719⁴⁾を使用した。尚、このフォトダイオードの受光面積は 100mm^2 である。測定の際のアンプの増幅率はHレンジ(10^6V/A)を使用した。フォトダイオードの感度特性、量子効率はカタログ値を用いた。尚、今回の測定では、フォトダイオードの設置場所とCCDカメラの設置場所を厳密に規定することができなかったため、量子効率の絶対値ではなく相対値となっている。測定結果は図4の実線に示したとおりである。前回の結果(図5a)ではピークの位置が 600nm 付近にあり、今回の結果とはやや異なっているが、前回は 3000K の黒体を仮定したので、ピークが引きずられていた可能性がある。メーカーの提供しているCCD素子の分光感度特性のデータ(図5b)は、今回測定したCCD素子と同一のロットのものではない可能性があるため、必ずしも同一視はできないが、 550nm から 700nm 付近まで、良好かつほぼ一定の感度特性を示している。今回の測定結果は、むしろそれに近いものになって



図3 浜松ホトニクス社製のSiフォトダイオード
CCD校正装置からのハロゲンランプ光源の強度を測定した。

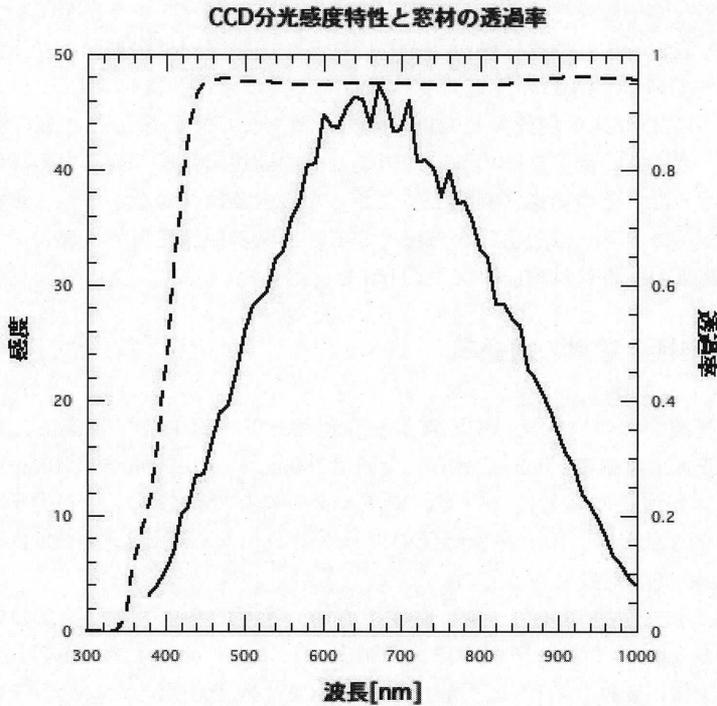


図4 フォトダイオードによる較正から求めたCCDカメラの分光感度特性(実線)と窓材の透過率(点線)

いる。また、600nm付近から750nm付近は前回の測定に比べると、感度の局所的な変動が大きくなっている。この原因としては、前回の測定間隔(20nm)よりも今回の測定間隔(10nm)が小さいので、波長変動をより拾いやすくなっていることがある。この変動の様子は微細な特性は異なっているが、メーカーの示す分光感度特性にも見えている。このような傾向はCCD素子のシリコン基板厚、ARコート特性によって発生する⁵⁾。また、このCCD素子ではCCD受光面直前に集光率向上を目的としたマイクロレンズアレイも装着されており、今回の測定結果はレンズアレイの分光透過率も重ねあわされた結果であり、その影響もある⁶⁾。基板厚調整やARコートにより、波長感度特性の平坦性が損なわれてしまうことがあるが、量子効率の絶対値は向上する。特に天体観測等の微弱光の検出に用いられるCCD素子は、波長感度の平坦性を多少犠牲にしても量子効率、即ち観測効率の向上が求められることがある。このCCD素子もその様なケースに当てはまると考えられる。

前回の測定結果(図5a)でも分かっていたことであるが、500nm付近より短波長ではメーカーのデータ(図5b)に比べて著しくCCD素子の感度が落ちている。メーカーの資料は、窓材無しで調べた分光感度特性と考えられるので、短波長の感度の違いの原因としては窓材の透過率による影響を考えるのが自然である。この窓材は、CCD素子と回路を湿気や埃から保護するために、やむを得ず入っているものであるが、必要とする観測波長によっては別のものに置き換えることを検討する必要がある。この窓材の影響を確認するために、窓材部分を本体から外して(図2)、窓材自体の透過率を測定した。

図 5a

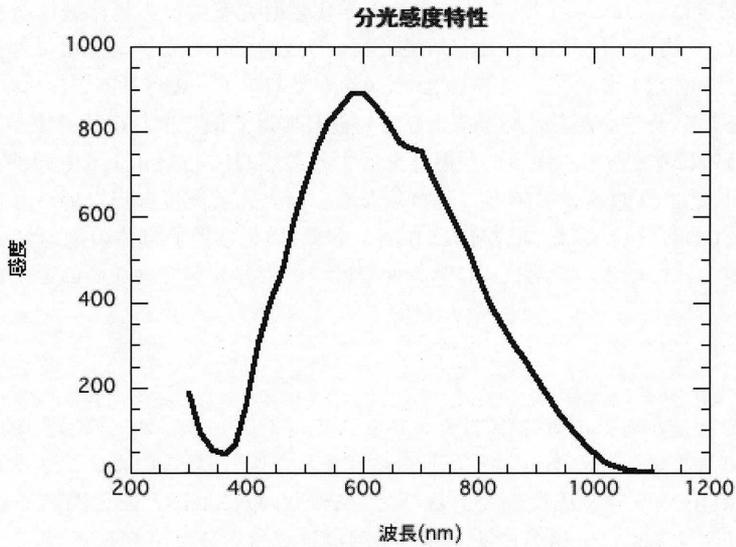
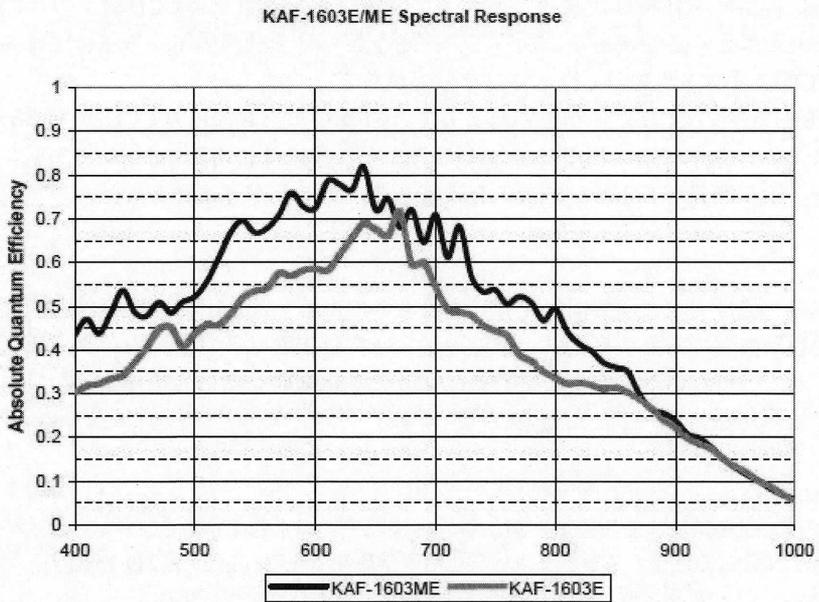


図 5b



横軸は波長(nm)で縦軸が感度を表す。図 5a は前回測定した分光感度特性で、ハロゲンランプの色温度は 3000K を仮定して求めたものである。なお、縦軸の値は任意である。600nm 付近に感度ピークが来ているのは光源を 3000K の黒体と仮定したことによる影響と考えられる。図 5b はコダックの資料⁶⁾にある CCD 素子の分光感度 (量子効率) の様子である。図中の KAF-1603ME が今回測定したカメラシステムで使用している素子のものである。尚、KAF-1603E はマイクロレンズアレイ無しの素子である。

窓材の透過率測定は、2008年1月23日に文教大学化学研究室所有の島津製作所製自記分光光度計 (UV-3100PC) ⁷⁾ を使用して行った。結果は図4の点線に示した。450nmより長波長では透過率はほぼ0.95以上を示している、このCCDカメラがVバンド、Rバンド、Iバンドでは有効に働くことが分かる。しかしながら、450nmよりも短波長では急激に窓材の透過率が落ちて320nm以下では透過率はほぼ0である。従って、窓材を通すと必然的に450nmよりも短波長では感度が落ち、350nm以下ではCCD素子の感度に関わりなく、ほとんど感度は出ないことになる。このことから、このCCDカメラでは、必然的にBバンドではCCD素子自体の能力にもかかわらず、やや効率が落ちることになる。さらに、Uバンドではほとんど使用できないことになる。

4. 最後に

今回及び前回の測定から、市販のCCDカメラシステムでは、メーカーの示すデータだけからでは知ることのできない部分があることが明らかになった。これらのカメラが本来の目的とする通常の利用はRGBカラー合成撮像であるので、そのためにはほとんど問題にはならないが、定量的な観測に使用するには、事前に基本性能を測定しておく必要がある。特にCCD素子では、メーカーの提供する仕様は代表値であり、ロットの異なる個々のCCD素子の特性を保証するものではないと考える必要がある。従って、観測などの科学計測に用いる場合には感度特性を含め個別にCCD素子の特性評価を行っておく必要がある。

現在SBIG社製のCCDカメラを初めとして、数多くの市販の冷却CCDカメラシステムが出回っている。これらを有効に利用していくためにも、今後は、市販CCDカメラシステム一般について、統一的な評価ができるシステムを構築していくことが望まれる。

謝辞

本研究の一部は文教大学共同研究費によるものである。また、分光感度特性の測定に際しては、大学共同利用機関である東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター木曾観測所の装置を利用させていただいた。窓材の透過率は文教大学化学研究室の大橋ゆか子教授のご厚意により測定させていただいた。ここに感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 山縣朋彦、伊藤信成、安田恵子、濱部勝、剣持周子、青木勉：市販CCDカメラシステム、SBIG製ST-8XME-NABGの性能テスト、文教大学生生活科学研究所紀要、第29集 249-258 2007
- 2) 日本分光：CCD校正装置仕様書、取扱説明書、日本分光株式会社、2000
- 3) 浜松フォトニクス：SiフォトダイオードS2281シリーズカタログ、浜松ホトニクス株式会社 2006
- 4) 浜松フォトニクス：Photosensor amplifier C2719カタログ、浜松ホトニクス株式会社 2003
- 5) Howell, S. B. : Handbook of CCD Astronomy second edition, Cambridge University Press, 2006
- 6) Kodak: KAF-1603E/ME Device Performance Specification, Revision 2.0 Kodak February 28, 2005
- 7) 島津製作所：島津自記分光光度計UV-3100PC取扱説明書、島津製作所分析機器事業部、1997