

太陽磁場活動望遠鏡の CCD カメラのデータ転送特性

太陽磁場活動望遠鏡 (Solar Magnetic Activity Research Telescope:SMART) の CCD カメラには、彩層活動現象と光球面ベクトル磁場の高時間・空間分解能観測を実現するために、(1) 太陽全面をカバーする広視野 (2000''), (2) 望遠鏡口径 ($\phi 20\sim 25\text{cm}$) の分解能を確保するための空間サンプリング ($0.4''/\text{pixel}$) (3) 高速画像読み出し (32MB を 5s 程度)、という 3 つの基本性能が要求される。視野と分解能を確保するためには、大フォーマットの CCD の使用、高速画像転送には転送インターフェースの最適化が、それぞれ必要となる。このために、彩層望遠鏡用には民生品で入手可能な最大の CCD チップである Kodak 社 KAF-16801E (画素数: 4096×4096) を搭載し、最大 60MB/s の速度を持つ USB2.0 を外部 I/F とする、米国 Apogee 社が新規開発した民生品 CCD カメラ Alta U16 を採用した。また、 $\phi 20\text{cm}$ のマグネットグラフ用には、測光精度を最適化するために、Atmel 社のフルウエル 250ke^{-1} の CCD チップ THX7899 (画素数: 2048×2048) を搭載した、Apogee 社の USB2.0 カメラ Alta U10 を採用した。

望遠鏡設置前に、CCD カメラが観測状態でフォトンノイズ・リミテッドとなっているかを検証するために、測光精度の評価を行った。CCD の測光誤差の要因としては、フォトンノイズ、暗電流、読み出しノイズがあげられる。遮光状態で露出時間が $0.005\sim 100\text{sec}$ の範囲で撮影したデータに基づいた photon transfer curve の解析を行い、暗電流と読み出しノイズを見積もった。その結果、 25°C の条件では暗電流と読み出しノイズはそれぞれ $0.2\text{e}^-/\text{pixel}/\text{s}$ 、 $50\text{e}^-/\text{pixel}$ となり、暗電流と読み出しノイズは観測時の典型的なフォトンノイズの大きさ $200\text{e}^-/\text{pixel}$ に比べて十分小さく、観測要求を満たすことを確認した。

カメラは地上 15m の望遠鏡内部に設置され、5 台の USB2.0 HUB を経由して、地上の観測室から制御されるが、USB2.0 では、 $0.4\text{V}(0\text{p})$ の信号を 480MBps で電送するため外部擾乱に極めて敏感に誤動作を起こしてしまう。このために、望遠鏡への設置に際しては、安定した観測システムを構築するために、徹底したノイズ対策を施した。電源ライン、グラウンドラインの伝導ノイズ計測、およびループアンテナとスペクトルアナライザーを用いた電磁波ノイズ計測、USB2.0 プロトコルアナライザーによる通信状況解析を実施し、USB2.0 誤動作状態を解析した。その結果、(1) USB2.0 HUB コントローラー IC の動作クロック ($30\text{MHz}/48\text{MHz}$) 近傍には、伝動ノイズ、電磁波ノイズのいずれもが認められること、(2) これらのノイズにより USB2.0 HUB コントローラー IC が誤動作をしていること、(3) これらのノイズは、30 系統ある望遠鏡内部のモーターシステム (コントローラー、ケーブル、モーター本体) からの漏れ電流および電磁放射であることを突き止めた。評価結果に基づき、モーター動力線のシールド化、信号グラウンドと動力グラウンドの区分を徹底、USB2.0 シールドケーブルを 2 重シールド化、を施した。

これら一連の作業の結果、5 台の USB2.0 HUB を経由して、安定してカメラを動作させることが可能となり、画像転送の速度は、カメラの設計値である 20MB/s を実測により確認した (32MB 画像の転送に 1.6 秒)。

(永田 伸一 記)