

小型望遠鏡を使用した太陽観測の自動化

須藤 謙人 (茨城大学大学院 理工学研究科 修士前期課程)

Abstract

太陽活動と類似したプラズマ現象は、恒星や原始星で多く見られる。そのため地上での太陽観測を含め、太陽活動の究明は他の天体のプラズマ現象の理解に重要である。また、地上からの太陽観測は、太陽専門望遠鏡が主に活躍している。しかし専門望遠鏡での観測は、夜間は当然不可能であり、また天候によっても左右される。そのため単一地点での定常的観測は不可能と言える。各地に観測網を巡らし、複数地点での観測を行う観測システムが必要である。そこで必要不可欠となる全自動観測を目的として、現在望遠鏡を赤道儀に乗せ、市販の天文シミュレーションソフトウェアを使用し、PC から赤道儀を制御することで観測を行っている。これらを利用して、定時に太陽を導入し、追尾、撮像し続け、自動で画像処理するシステムを開発中である。このシステムにより、自動で毎日太陽を撮像し続け、太陽の突発的な現象や長期的変動を捕えるためにデータの蓄積を行う。小型軽量、安価であることから、多くの晴天率の良い場所での観測を増やすことで、より恒常性の高い観測を行いたいと考えている。今回は、赤道儀に可視光望遠鏡を取り付けたものを利用し、リモートでの観測システムを確立した。

1 Introduction

太陽を観測するには、主に衛星観測と地上観測の 2 種類の方法がある。衛星観測は、人工衛星により宇宙空間から直接太陽観測を行う。そのため地球大気の影響を受けず、シーイングを無視できるという利点がある。また、太陽光が大気による吸収を受けないため全波長での解析が可能であり、衛星軌道によっては太陽を常時観測することもできる。しかし、宇宙まで望遠鏡を運ぶため、望遠鏡の大きさが限られ、口径を大きくすることは難題となっている。

地上観測では、主に太陽観測専用の望遠鏡を使用している。太陽専門望遠鏡による高性能な太陽観測及び解析が行われているが、晴天率や、気流の影響が少ない場所での観測に限定される。飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡 (SMART) では、2012 年の撮像可能日は 281 日であった。晴天率の低い日本では、1ヶ所での太陽観測を 1 年間通して定常的に行うことは不可能である。また地上太陽観測は夜間は当然不可能であり、また天候によっても左右される。そのため、各地の観測網を巡らし、比較的天候の良いときに観測を行う観測システムが必要である。また、自動化されていない場合は運用当番等、人手が必要でそのためのコストを考慮すべき

である。

2 Instruments

本研究に使用する望遠鏡は口径 60 mm の BORG60ED である。望遠鏡の架台は Vixen 社の GP2 赤道儀を使用している。赤道儀とは、二つの軸を動かして天体の日周運動を追尾することができる架台である。一方の軸（赤経軸）を地球の自転軸と平行に備え付け、本機では付属のコントローラ (STARBOOK-Type S) を使用することで天体の日周運動を追尾する。使用している Vixen 社のオートガイダー機能が付いているコントローラである STARBOOK-Type S は、ソフトウェアによってコンピュータから制御することが可能である。まず、市販されている天文ソフトウェアのステラナビゲータでは、コントローラとコンピュータをクロス LAN ケーブルで接続することで天体の自動導入や、赤道儀のコントロールが可能になる。天体の自動導入は、コンピュータ上の天体をクリックするだけで簡単に導入することができる。また赤道儀を東西南北、自在に動かしコントロールでき、導入速度の変更も可能である。

撮像には、CCD カメラを使用する。天候や時刻によって変化する太陽光強度に合わせて、減光フィルターと露出時間を決定し撮像する。しかし露出時間は、シーイングなどの影響を最小限に抑えるため最小値の値で撮像できるよう減光フィルターを使用する。

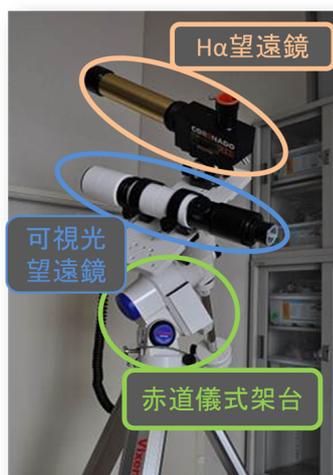


図 1: 研究室で保有している望遠鏡と赤道儀

3 Methods

太陽観測に現在使用している場所は、茨城大学理学部 S 棟 7 階ロビーである（緯度：36.4 度、経度：140.4 度、高さ：約 20 m）。室内に望遠鏡などの使用機器を用意して観測する。

赤道儀は一般的な夜間の天体観測に使用されるものである。主に夜間の天体観測に使用されるため、一般的な天体の日周運動の速度（1 恒星日は 23 時間 56 分 4.091 秒）に設定されている。太陽の日周運動は、地球が太陽の周辺を自転しながら公転しているため、一般の天体と異なっている（1 太陽日は 24 時間）。つまり赤道儀で太陽を追尾すると望遠鏡に導入したあとにずれてしまう。そのため架台を 1 日 4 分ほど遅らせる速度にしなくてはならない。太陽の正確な追尾は、太陽を常時観測するために必要不可欠なことであるため、重大な課題の 1 つである。

使用機器とコンピュータを用意し、観測の準備をする。まず、赤道儀の位置を合わせる。赤経軸を地球



図 2: 観測している茨城大学 S 棟 7 階ロビーでの望遠鏡設置写真

の自転軸に合わせ、北極星近傍を基点とするが、室内での観測であるため北極星が見えない。そのため、観測場所である理学部 S 棟から真南にある建物を基準にしている。望遠鏡を水平にし南に向けて建物を視野に入れ、真南を向ける。こうすることで、逆側である真北を決めて、赤道儀を設置している。そのため、真の意味で北を向いているわけではない。

設置が完了したら、減光フィルターを望遠鏡先端に取り付ける。まず BORG フィルターをつけ、太陽に向けてから光量を考慮し、必要ならさらに減光フィルターを取り付ける。次に赤道儀に付いているモーターとコントローラを使用して望遠鏡に太陽を導入する。CCD カメラを取り付け、得られる画像から太陽が導入されているか確認し、太陽にピントを合わせる。この際に、カメラでの露出時間などを変更することができる。露出時間、ピントの調整ができた状態で CCD カメラとソフトウェアを使用して、太陽を撮像し保存する。

次にダークフレーム減算処理とフラット処理に必要なダークフレームとフラットフレームを撮像する。ダークフレームは、太陽を撮像した直後に望遠鏡に蓋をすることで入射光をない状態で撮像している。撮像した際の温度と積分時間の条件を同じにして撮像したダークフレームを使用することで、暗電流をキャンセルすることができる。フラットフレームは、太陽撮像後、望遠鏡と太陽の間をトレーシングペーパーで遮り、撮像する。しかし、このままでは光量が減少しすぎてしまうため、露出時間を変更することで光量を取り入れて撮像する。ただしこの方法では未解決の課題が残っている。

4 Observations

2013 年 5 月 17 日の観測で以下のような画像が得られた。CCD カメラにより、約 10 秒間で 243 枚の画像を撮像し、画像処理を行った。太陽の方角は、正確には考慮できていない。画像からは黒点がはっきりと見えているのが分かる。

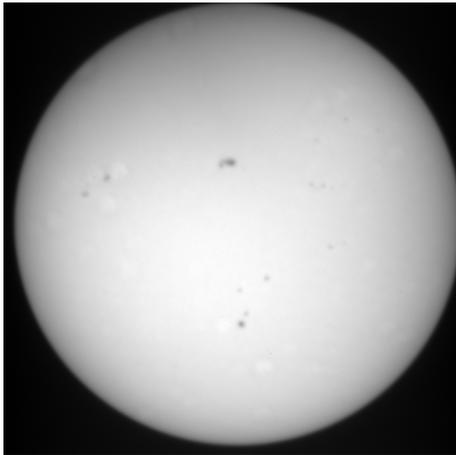


図 3: 2013 年 5 月 17 日に可視光望遠鏡で撮像した太陽全面像。

観測実施日：2013 年 5 月 17 日午前 9 時頃

観測場所：茨城大学理学部 S 棟 7 階ロビー

観測方法：露出時間 5×10^{-3} 秒で撮像

観測装置：・BORG 可視光望遠鏡

口径 60 mm

最大空間分解能 1.9 秒角

・CCD カメラ (DMK41AU618.AS)

画素数 1280×960

画像処理プログラムは、ダークフレームによる減算処理、フラットフレームによる除算処理、コンポジット処理を自動で行えるものを作成した。それぞれ各 1 枚のデータからダークフレーム、フラットフレームによる処理を行い、撮像した枚数分コンポジット処理を行ったものが図 3 である。

ダークフレームによる減算処理、フラットフレームによる除算処理は、CCD カメラの特性によって生じるノイズをキャンセルするために行う。次にシーイングとランダムノイズによる影響を低減させるために、コンポジット処理を行う。コンポジット処理とは画像を重ね合わせ画質を改善する画像処理方法で

ある。各ピクセル毎の加算平均をとることで、シーイングやランダムノイズの影響を低減することができる。

またステラナビゲータと CCD カメラ制御ソフトを使用して、コンピュータから赤道儀と CCD カメラを制御し、リモートでの観測を可能にした。

ステラナビゲータ、CCD カメラ制御ソフトを起動しているコンピュータと、他コンピュータからネットワークにより遠隔操作する。そこからステラナビゲータを起動、操作することで太陽を常にカメラの視野内に収めておくように操作する。したがって、太陽を長時間観察し続けることができた。

5 Results and Discussions

小型汎用の望遠鏡を使用して、コンピュータでソフトウェアを使用することにより赤道儀を操作することで太陽観測を長時間行うことを可能にした。太陽全面像では、黒点の構造を分解できた。また自動でダークノイズ減算処理、フラット処理、コンポジット処理を行うプログラムを作成することができた。作成したプログラムにより画像処理をすることでノイズの少ない画像を入手することができた。結果から使用している機器による太陽観測は、最大限行うことができている。画像処理によりノイズを消去することができている。ソフトウェアを使用することで、赤道儀をコンピュータから操作することができている。自動化に向けて、正確な追尾方法の検討と、導入、格納の方法やそれらの精度に関して議論する必要がある。また、長時間の撮像を行える環境を作り、日中撮像し続けられるように改良していく。