

木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡のポインティング性能改善

近藤 莊平（東京大学 木曾観測所）

概要

木曾観測所 105cm シュミット望遠鏡には、84 個の CMOS センサをモザイク状に並べた 9 度 × 9 度の視野を一度に観測できる Tomo-e Gozen カメラが搭載され、大半の時間で全天サーベイをおこなっている。そのデータから現状のポインティング精度を調査、それを用いてポインティング補正パラメータの最適化をおこなった。その結果、天体導入の位置精度は、今までの 10 分角以上から 10-20 秒角となり、1 つの CMOS センサのサイズの約 1%まで向上した。

1. はじめに

木曾観測所は 1974 年に設立、非常に広い視野を持つ 105cm シュミット望遠鏡を有している。現在、Tomo-e Gozen カメラが取り付けられており、2k × 1k の画素数を持つ CMOS イメージセンサを 84 枚モザイク状に並べ、一度の露光で 9 度 × 9 度の視野をカバーできる。これにより、高度 30 度以上の全空を 2 時間で観測できる。また、CMOS センサの特徴を活かし、通常 2fsp、最大 68fsp の高速フレームレートで撮像を行う。観測運用として、通常は全天領域の動画サーベイ (2 fps × 18) と特定領域の高頻度動画サーベイ (2 fps × 12)を進め、即時の広域追観測 (重力波、ニュートリノ、GRB など)、特定天体の観測 (地球接近小惑星など)を割り込み的に実施している。

2. ポインティング精度の把握

木曾シュミット望遠鏡と Tomo-e Gozen カメラは視野が広いために、日常的に行なわれるサーベイ観測を行っている限り、ポインティング精度はそこまで気にされていなかった。一方で、Tomo-e Gozen の観測が進むにつれて、サーベイ観測で見つかった天体の追加観測や 1 つのセンサの特定のピクセル領域だけを用いた高いフレームレートの観測、空のある特定領域を他の望遠鏡や観測装置と同時観測などが増え、それらの観測者からポインティング精度がいまいちであるとの報告が上がっていた。

初めに、現状のポインティング精度を確認した。Tomo-e Gozen では観測データには解析パイプラインによってセンサ毎に wcs (world coordinate system) が求められ、データベースに登録されている。同時に望遠鏡が計算機上でポインティングしているはずの座標もデータベースに登録されている。よって、両者を比較することで、ポインティング精度を評価できる。そこで、1 晩中観測できたある日の観測データをすべて調べたところ、ポインティング精度は平均的に 10 arcmin 以上となり、現状のポインティングは非常に大きくずれていることが分かった。

3. 望遠鏡駆動ソフトウェアの確認

次に、望遠鏡駆動ソフトウェアの内部計算方法の確認を行った。望遠鏡駆動ソフトウェアで望遠鏡をある天球座標にポインティングする際、望遠鏡の機械座標から天球座標への変換やその逆変換が正しくなされなければならない。そこで制御ソフトの日周運動、分点変換、さらに章動、年周光行差といった微少補正量や微分大気差補正といった座標変換部分について調べた。文献に掲載されている式やそれを用いた計算結果、信頼できるコードによる計算結果と実際の望遠鏡駆動の該当部分のコード自体やそれを動かしたときの値と比較し、望遠鏡駆動ソフトの計算に間違いがないことを確認した。よって、ポインティング精度を運用側で改善する必要がある。

4. 最適な補正パラメータの推定とその改善結果

実際の望遠鏡の駆動に対して、望遠鏡の光学的なずれ(e. g., 極軸のずれ)や機械的なずれ(e. g., 鏡筒のたわみ)などによって理想的なポインティングから僅かにずれてしまう。それをソフトウェア的に補正できる多くのパラメータが用意されている。パラメータの最適値を見つける手続きを単純にするため、ソフトウェアの更新時にたまたま補正パラメータが入っていないときの観測データを用いた。望遠鏡のポインティング補正パラメータの最適値を推定するソフトウェアとして広く使われている「Tpoint」を用い、7 個のパラメータの値を求め、RMS として 15 arcsec のポインティング精度となるという結果を得た。しかし、そのパラメータの値を採用し、観測を実施、そのデータを調べたところ、ポインティング精度は RMS で 100 arcsec 程度となった。Tpoint 内で各々のパラメータの望遠鏡駆動に対する補正の仕方についての具体的なソースコードは公開されていないため、我々の望遠鏡の駆動の際のパラメータによる補正の仕方との相違点の確認は出来なかった。よって、我々の望遠鏡駆動ソフトのソースコードの該当部分をそのまま使い、再度最適なパラメータを求め直すことを試みた。計算方法としては、該当するソースコード部分を用い、望遠鏡の機械座標から天空座標を計算、それらが観測データの天空座標と一致するように補正パラメータの値を求めれば良い。主に赤経と赤緯軸の値に対する赤経、赤緯の値の残差のパターンを確認しながら、8 個の補正パラメータの値を求め、RMS で 20 arcsec 以下となるような結果を得た。そのパラメータを採用し、観測を実施したところ、計算結果と同じポインティング精度の RMS で 20 arcsec という結果が得られた。その後、望遠鏡の主鏡の再蒸着が行われ、その際に主鏡を動かすために、ポインティング精度が変わる可能性が生じた。その後の観測結果から、それまで少し残っていたシステムチックな残差が少なくなる方向に変化し、最終的にポインティング精度は RMS で 10-15 arcsec となっていることを確認、これは今までの約 50 倍の導入精度である。またこれは、1 つの CMOS センササイズで約 1%の位置に天体を導入できることに対応し、サイエンスで要求される値を十分満たす結果である。

5. 今後の取り組み

指向精度を確認するツールを作成し、毎朝、昨晚の観測結果を確認しているのだが、それを

tomoe のスケージュルシステムに組み込み予定である。また、現在は補正パラメータの追求は残差のパターンを目で確認しながら進めているが、将来的には、日々のデータから自動で最適値が求められるシステムの作成を考えている。