

# 改修後の岡山188cm望遠鏡の性能評価とリモート観測への対応

○黒田大介, 泉浦秀行, 柳澤顕史, 神戸栄治, 福井暁彦, 筒井寛典, 小矢野久, 浮田信治, 沖田喜一, 戸田博之, 坂本彰弘, 今田明, 清水康廣 (国立天文台岡山)

岡山天体物理観測所188cm望遠鏡は、2013年に駆動系の更新と高分解能エンコーダを使ったフィードバック制御の導入する改修を行い、近年のサイエンスから要求される観測時の高い駆動性能の実現と信頼性の向上を果たした。昨年報告した駆動系の更新に引き続き、望遠鏡制御の詳細、新システムにおける性能評価について報告する。また、取り組みを始めたリモート観測への対応についても紹介する。

## 1. 望遠鏡改修の概要と新制御システム

188cm望遠鏡は、50年以上前の技術で建設された望遠鏡であり、主に指向時に使う粗駆動と天体追尾やディザリングを行う微駆動の2つの駆動系をもつ。今回の改修では、事前調査を行い、継続利用が可能な部品は再利用する方針とした。駆動構造を改良した主要部分には、観測時の性能に直接影響する微駆動と副鏡焦点調節機構である。旧来、微駆動では、複数台のモーターとギアトレインを切り換えることで、恒星時追尾、天体のガイド、数秒角の低速駆動など様々な速度域に対応していた。今回の改修では、微駆動に位置センサー付きモーター1台を時角軸はウォームギア、赤緯軸はタンジェンシャルスクリュウに直結することで、性能の劣化要因となる周期的変位やバックラッシュを伴うギアトレインを使用しない駆動構造になった。副鏡焦点調節機構は、外箱と副鏡セル取付けジグは再利用して、リニアガイド上に載せて支持することによって、副鏡がどの位置にあっても、また望遠鏡の姿勢によらず、スムーズな動きができるようになった。その他、駆動系の切り換えに電磁クラッチの導入、配線はすべて新規に敷線粗駆動、カセグレンローテータ、主鏡ミラーカバーのモーターを更新することで、望遠鏡駆動の信頼性を向上させた。

望遠鏡の姿勢制御は、時角軸と赤緯軸に直結した実効分解能0.06秒角をもつ高分解能エンコーダを計測することで、実際の軸の動きに合わせ追従をするように、フィードバックをかけながら行う仕組みを導入した。時角軸エンコーダでは、図1のように極軸の温度勾配による相対位置変化が見つかったため、東西対向に位置読み取りヘッドを搭載し読み取り精度の劣化を防ぐ対策をしている(図2)。このフィードバック制御は、西村製作所が経緯台望遠鏡用に開発したコントローラを、今回初めて赤道儀望遠鏡に適用していて、100ミリ秒のサイクルで命令値と現在値の差分がなくなるように駆動している。これにより、望遠鏡姿勢の精密な位置測定を元に、高精度に望遠鏡を駆動することが可能なシステムが構築された。

岡山天体物理観測所では、ドーム、既存観測装置とこの新しい制御システムをつなぐインターフェースとして、旧来のソフトウェアcont74をベースに、描画と操作性の向上させたGUIを含むncont74を開発した。

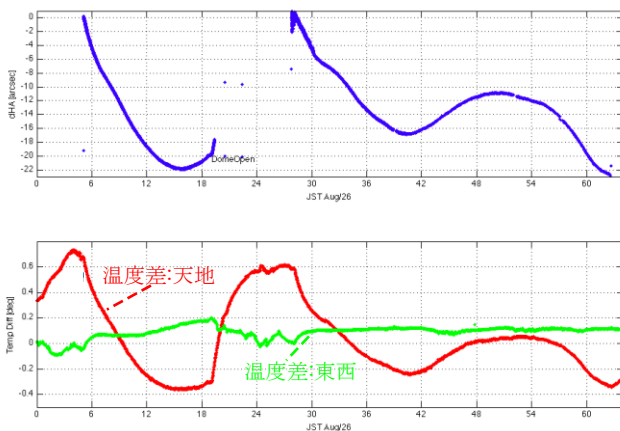


図1 時角軸エンコーダのドリフトと極軸温度差  
上図は望遠鏡停止時の読み取り1ヘッドのエンコーダ測定値、下図は極軸の温度差を示す。

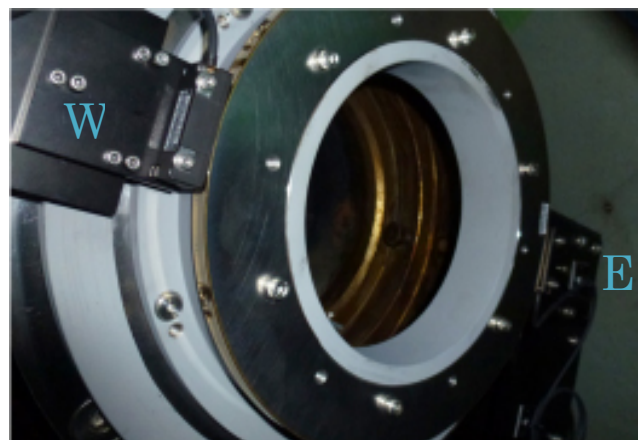


図2 時角軸エンコーダと東西対向2ヘッド  
望遠鏡の姿勢は東西対向ヘッドの読み取り値の平均値を使用する。

## 2. 望遠鏡の駆動性能の評価

望遠鏡の指向精度の検証から、主鏡・副鏡の光学系を含まない望遠鏡の機械としての性能が、近年建設された望遠鏡と遜色がないことが確認できた。指向精度は、カセグレン焦点と鏡筒に設置した口径10cmのガイド望遠鏡の2種類を使用し、約100天体についてデータを取得して、望遠鏡指向解析ソフトT-Pointを使って解析を行った。モデルフィットの結果、改修前のRMS比、カセグレン焦点では1.8倍、ガイド望遠鏡では9倍向上していることが分かった。図3には、それぞれ、改修前後のカセグレン焦点とガイド望遠鏡の解析結果を示す。これらの結果から、ガイド望遠鏡は、望遠鏡の機械としての性能を示しているの、副鏡や改修対象となっていなかった主鏡などに指向劣化要因があると考えられる。また、ガイダーを使わない恒星時追尾では、望遠鏡姿勢に依存して時間とともに一定方向へドリフトがみられたが、指向を繰り返しとなっているため、指向性能の向上とともに改善すると考えている。

実際の観測ログから導いた望遠鏡の指向速度は、ターゲットまでの角距離と指向時間の関係をプロットした図4に示すように、従来の1/4と大幅に改善した。駆動モーター更新による粗駆動の最高速度は約2倍になったが、さらに2倍速くなったことになる。図4に示したデータ点のばらつきから分かるように、毎回の指向の安定性が向上して信頼性が高くなったと判断できる。

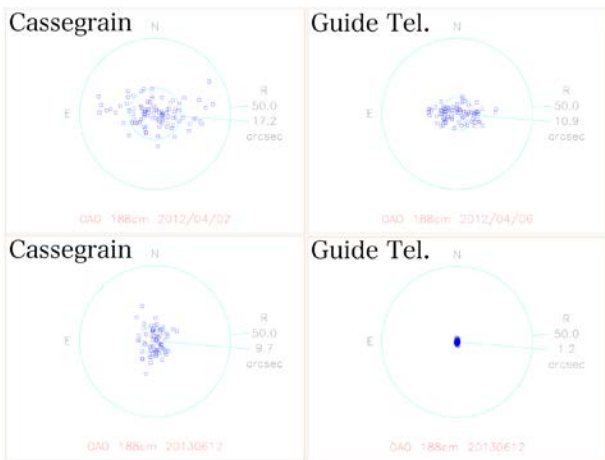


図3 T-Pointによる指向解析の結果  
上図は改修前、下図は改修後のRMSを示す。

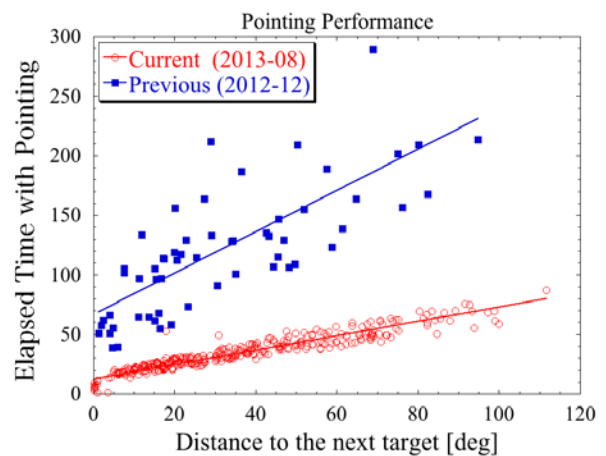


図4 指向時間とターゲットまでの角距離  
縦軸は指向開始から終了前までの時間、横軸はターゲットまでの角距離を示す。

ディザリングや天体を任意の位置に導入する際など、観測視野内で精密に動かす際に使用する微小角駆動性能は、微駆動系によって行われ、指令値に対する誤差は約0.3秒角RMSと高精度化を達成した。この評価には、図5に示すように、異なる望遠鏡の姿勢5箇所、10秒角を一方向に5回動かす、その後逆方向へ同じく5回動かすことを繰り返したカセグレン焦点による試験結果で行った。旧来は、とくに赤緯軸でバックラッシュの影響が顕著であり、移動方向が変わる部分では命令値と移動量の差が大きく、図中でも差分が明らかに分かる状態であった。

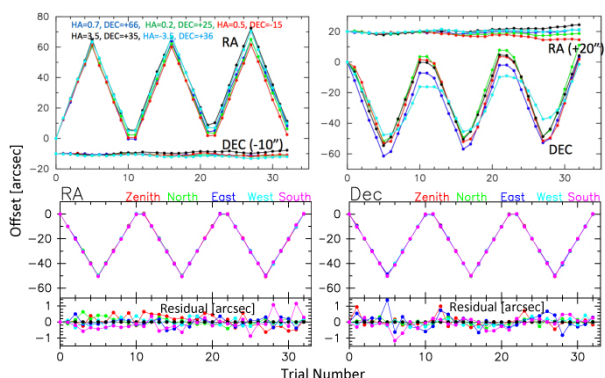


図5 微小角移動させた実際の移動量上図は改修前、下図は改修後の結果を示す。縦軸は移動量、横軸は試行回数である。

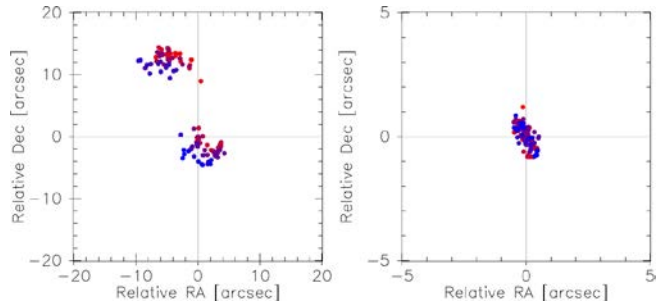


図6 副鏡焦点調整駆動  
左図は改修前、右図は改修後であるが、軸スケールは4倍異なる。縦軸は赤緯方向、横軸は赤経方向の相対位置ずれを示す。

副鏡焦点駆動では、観測時に使う0.1mmの範囲では0.2秒角以下のずれとなって、典型的なseeing以下になることが確認された。カセグレン焦点において、副鏡を1.1mm出し入れした星像の結像位置の変位は約2秒角と得られ、10秒角の離角で結像位置が2極化するような飛びがあった旧来の結果と比べ、スムーズで連続的な動きができていたことが分かった(図6)。

これらの評価を観測への影響を以下にまとめる。指向誤差起因する追尾性能は、岡山天体物理観測所の各装置に搭載されたオートガイド機能を使用する限り影響はほとんどない。微小角移動性能では、スリットやファイバーへ天体導入時の自動化、ガイド性能の向上により光量ロスが低下し観測効率が上がるなど、観測へのさまざまな良い効果が期待される。副鏡焦点調整では、長時間露出時の露光中の焦点位置調整や自動調整機構、より詳細な焦点位置調整が可能である。望遠鏡の機械・駆動系由来の誤差は解消したが、観測に使用するカセグレンやクーデ焦点では、光学系由来の誤差に改善の余地があり今後の課題である。

### 3. リモート観測への対応

今回の望遠鏡改修によって、高精度に駆動でき、信頼性も高い望遠鏡を利用して、遠隔地からの観測を実現する準備を始めた。遠方のユーザー、観測機会の多いユーザー、ToO観測や隙間時間の利用などの今後のニーズに対応するために、国内の大学や研究機関から観測を実施することが目標である。

我々の考えるリモート観測は、188cm望遠鏡ドーム内における観測環境と同じ操作性を遠隔地にも用意することである。図7に示すように、岡山観測所内にマルチプラットフォームの計算機を遠隔コントロールできるKVM-over-IP(Raritan社 Dominion® KX III)を設置した。ユーザーが利用するクライアント計算機は、このKVM-over-IPへ接続することで、188cm望遠鏡ドーム内のリモートホストとなる計算機と望遠鏡操作用の計算機へのアクセスできる。リモートホスト計算機と望遠鏡操作計算機からは、188cm望遠鏡ドーム内で観測する際と同じように、共同利用観測装置を操作することができる。とくに、望遠鏡操作は、望遠鏡・ドーム操作を統合するソフトウェアncont74を実行することで、通常観測時と同じくGUIを利用できる。ncont74には、遠隔地に188cm望遠鏡ドーム内の音声を伝える機能、操作の音声案内、マウス操作で望遠鏡の微小角移動が可能なタッチパッド、ドーム内電灯のON/OFFなどのリモート環境で必要な機能が提供されている。

図8は岡山天体物理観測所の会議室から行った試験観測の様子である。このようなリモート観測環境は、経験を積む目的で、ネットワークとして内部の扱いになる国立天文台三鷹から実施できるように環境整備を行う予定である。

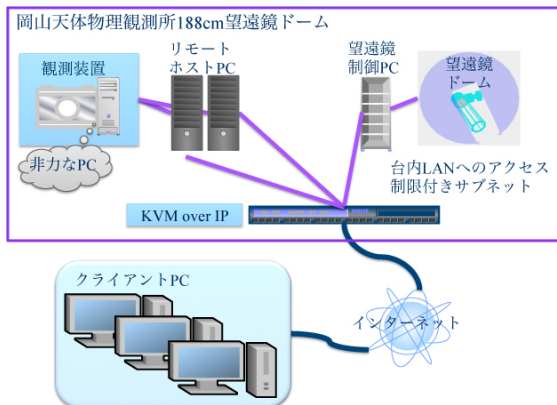


図7 リモート観測環境の概念図



図8 OAO会議室からの試験観測風景

### 4. 今後の展望

すでに述べてきたように、望遠鏡の駆動性能に光学系に起因する劣化が確認されており、とくに主鏡による変位の特定と対策が最重要な課題である。観測の自動化率を上げ高効率の観測システムの構築が、最終的な目標である。