

1. はじめに
2. 188cm望遠鏡改修計画の進捗状況(Ⅱ)
3. ISLEによるトランジット観測のためのハイブリッド・オートガイドシステムの構築

1. はじめに

OAO ニュースレターNo.1 の内容はいかがだったでしょうか?観測所ではいよいよ来月(2013年1月)から、188cm望遠鏡の駆動系・制御系の機能更新(以下、改修)作業が始まります。請負者は1~2m級の研究用光学赤外線望遠鏡を数多く手がけてきた(株)西村製作所です。今回の改修は、セルシン(シンクロ電機)表示のコントロールデスクでオペレーターが望遠鏡を操作する方式を廃し、角度エンコーダ準拠のPC制御に移行した、1988年の大改修以来の大規模なものです。赤経軸と赤緯軸のそれぞれで微動駆動系と粗動駆動系の両方に手を加え、かつ、それらの制御系も更新します。その駆動と制御の基準となるのが、今号で改めて紹介されている高精度エンコーダで

す。その能力を十分発揮できる条件を整えることが、改修の成果を最大にするためのカギだと考えており、観測所では現在もその条件の吟味を続けています。

望遠鏡改修に向けた準備が着々と進められている一方で、現状の観測技術の改良による観測精度の向上も弛みなく追求しています。今号では、ISLEによる精密相対測光観測における、さらなる精度改善の成功を報告しています。また、望遠鏡の改修後にも、まだまだ精度向上の見通しのあることが示されています。

これから数か月間、一皮むけた188cm望遠鏡による早期の観測再開を目指して、一段と集中して準備を進めて参ります。

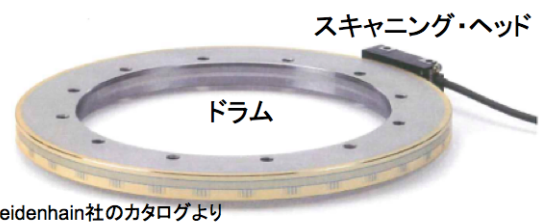
(泉浦)

2. 188cm望遠鏡改修計画の進捗状況(Ⅱ)

74吋(188cm望遠鏡)の指向精度はあまり良くないと言われ続けてきました。今回の改修の目玉のひとつは、これを1.5" rms(目標)に仕立て直し、観測の効率化を目指すことです。そのために導入したのがHeidenhain社の高精度角度エンコーダです。昨年度末に設置し、望遠鏡改修に向けて種々の調査を行い、改修工事の内容とその仕様を決めてきました。この目標値をクリア出来ると期待させる調査結果が得られたので以下に紹介いたします。

頼りになるHeidenhain製角度エンコーダ

この角度エンコーダは、目盛りが刻まれたドラムを回転軸に直結し、非接触の光学式読出しを行い、高精



Heidenhain社のカタログより

HEIDENHAIN ENCODERSの特性調査

図1. 非接触タイプの角度エンコーダ

度な角度検出を行う装置です(図1)。最小読出が0.008秒角、角度精度 ± 1.1 秒角(社検データ)という優れたものです。

早速、3月の最終週にビット落ちの検証、再現性の確認、疑似トラッキング試験、望遠鏡静止状態で読出値の長時間ドリフト調査など様々な試験が手際よく行われました。精度(再現性)は 0.06 秒角であることが確認され、またこの初期データからも前回のニュースレターで紹介された望遠鏡駆動系の周期的な誤差が明らかにされました。

望遠鏡本体の指向精度は悪くないかも

続いて 4 月 2 日の観測所時間にカセグレン焦点の ISLE を用いて、指向誤差解析 (PA) 用のデータを取得しました。その際、現エンコーダと並行して新エンコーダの角度データも取得しました。さらに 6 日には、赤緯軸端の鏡筒部に取り付けられた案内望遠鏡 (15-cm 屈折) を用いて、赤経・赤緯軸の動きをダイレクトに捕らえる同様の指向誤差測定を行いました。ISLE の測定ではどちらのエンコーダ値を使っても相変わらずの約 20" rms ですが、案内望遠鏡のデータでは驚いたことに 6" rms という結果でした。どうやら本体光学系に問題があることが示唆され、この時点で特性調査の方向性は二分岐することになりました。ひとつは望遠鏡の姿勢変化に伴う主鏡と副鏡の変位に、単純な Pointing Model (初期設定誤差と重力変形) では説明出来ない振舞いのあることが推察されたことです。特にミラーセルの中で鏡が期待とは違う動きをしていることが疑われ、その原因について大いに議論・調査することになりました。もうひとつは望遠鏡架台本体が本来的にどこまでの精度を持っているのかを見極める追加調査です。

iGuide (いつでもガイド望遠鏡) システム

この後者の調査のためには、更に PA 用データが欲

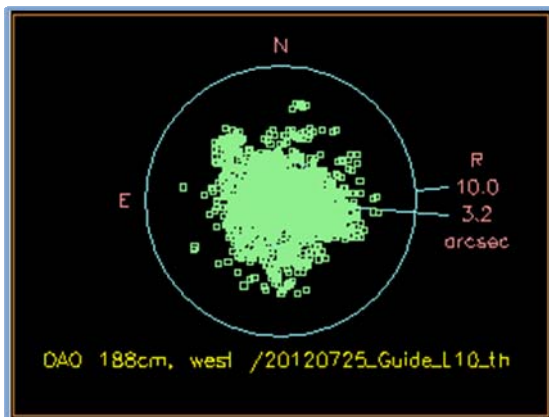


図2. ガイド望遠鏡による残留指向誤差。3.2" rms という値は改修後には 1.5" rms が達成できることを予感させます。

しいとなるわけで、その為に観測所時間を特別に割り当てるのが検討されました。しかし電波分野から移籍してきた筆者にこれは少々奇異に映りました。というのは、HIDES-Fiber の観測は PA 測定しているのと同じはずで、ガイド望遠鏡の画像を常時取得しておいて、後で共同利用観測者が観測した天体の座標値と観測時刻さえ判れば、PA 解析が出来るはずです。という訳で 2 本あるガイド望遠鏡の一つを PA 専用にすることにし、19 時から翌朝 5 時まで 30 秒毎に撮像するシステムが立ち上げられました。

望遠鏡本体指向精度の素性はいい

図 2 は 7 月 25~29 日の 5 日間の HIDES_Fiber 観測中の iGuide の星像データを解析したもので、残留指向誤差は 3.2" rms です。解析では既に分かっている周期的誤差の補正を織込むなどしたため手間と時間がかかり、お盆の頃にやっと完了しました。UM に間に合わなかったのは残念でしたが、ひとつの Pointing Model で 5 日間の指向誤差をこの精度で記述できるというこの結果は我々を大いに勇気づけるものでした。

Next Step

3.2" rms、つまり 15 ppm に到達です。この数値は鉄の線膨張係数と同程度で、更に上を目指すなら望遠鏡本体の熱変形問題をそろそろ真面目に考え始めてもよい段階にあることを示唆しています。実際、残留指向誤差を時間軸に対してプロットしてみると、全くランダムというのではなく、うねうねしているのが判ります(図 3)。何やら熱変形の影響がありそうな様子です。このあたりのことは次回以降のニュースレターで紹介できたらと思っています。(浮田)

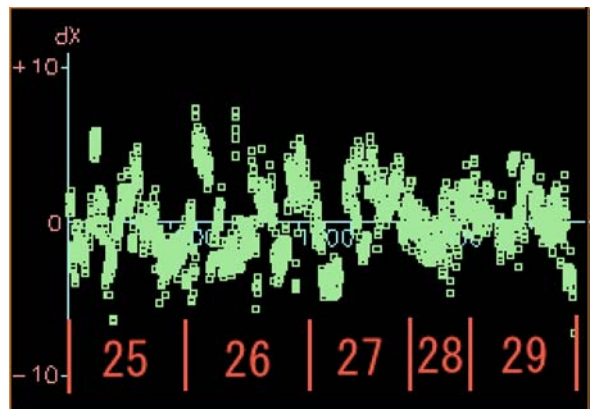


図3. 5日間の Hour Angle 方向の残留指向誤差。

3. ISLE によるトランジット観測のためのハイブリッド・オートガイドシステムの構築

ここ数年、188cm 望遠鏡の共同利用において近赤外線撮像分光装置 ISLE を用いた系外惑星トランジット測光観測の採択課題が急増しており、岡山観測所における重要な研究課題の一つとなりつつあります。一方で、トランジット観測でより多くの成果を出していくためには測光精度の追求が必要不可欠です。特に、1%未満といった微小なトランジットの減光を捉えるためには、1 ミリ等級 (0.1%) レベルの非常に高い測光精度が必要になります。また、ISLE のような赤外線検出器では、可視の CCD に比べて光量に対する線形性やピクセル間の感度の一様性が劣るため、より繊細な観測が求められます。

これまで ISLE では、 $J=9.3$ 等の星に対して約 1 ミリ等級 (RMS, 60 秒露光) という高い測光精度を達成してきました (2010 年度岡山 UM 柳澤集録参照)。その高精度化の秘訣は 2 つあり、一つはデフォーカスをして観測すること、もう一つはオフセットガイド^{*1} を使用してオートガイド観測を行う事です。デフォーカス観測の利点はまず、星の光をより多くのピクセルで受けることでピクセル間の感度ムラの影響を緩和させることです。さらに、明るい星でも光量を飽和させずに観測出来るという利点もあります。次にオフセットガイドを使用した観測では、星像を常に検出器上のほぼ同じ位置に固定出来るため、望遠鏡の追尾誤差の影響で星の位置が徐々にずれていき、ピクセル間の感度ムラの影響を拾ってしまうという事態を防ぐことが出来ます。

しかし、これまで ISLE の観測では、オフセットガイドを使用してガイドをしているにも関わらず、数時間と観測を続けていくうちに、星像位置が数ピクセル (1 ピクセルは 0.245 秒角) ほど徐々にずれていくという問題がありました (図 4)。そのため、ピクセル間の感度ムラの影響を拾ってしまい、測光精度のさらなる向上を妨げていました。

星像位置が徐々にずれる原因として、ISLE とガイド用カメラの相対位置が望遠鏡の姿勢に依存して僅かにずれてしまうことが考えられますが、その原因箇所の究明は容易ではありません。そこで我々は、その要因を取り扱う代わりに、観測中に得られた画像を即座に解析し、ISLE とガイドカメラの相対位置のずれ量を計算してガイド量に修正を加えるような機能を加えました。つまり、オフセットガイドを使用した通常のオートガイドに加え、画像解析によりオフセット補正を行う「ハイブリッド・

^{*1} カセグレン焦点の ISLE の視野外にある星を使ってオートガイドを行うシステム。

ハイブリッド化前の星像位置変化

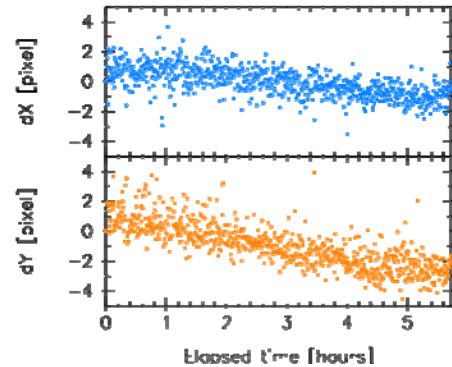


図 4. オートガイドのハイブリッド化前の ISLE 検出器上での星像の位置変化の様子。上のパネルは X (東西) 方向、下のパネルは Y (南北) 方向の変位を示す。

ハイブリッド化後の星像位置変化

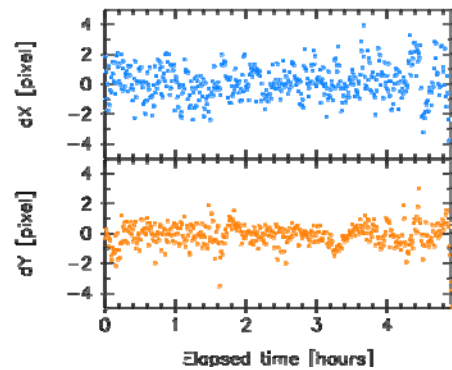


図 5. ハイブリッド化後の星像の位置変化。

オートガイドシステム」を構築しました^{*2}。その結果、星像の位置が徐々にずれる問題は解消され、特に Y (南北) 方向では変位の RMS が約 0.6 ピクセルと変位量が大幅に小さくなりました (図 5)。

一方、X (東西) 方向では、一方向へ徐々に変位する事は無くなりましたが、依然として RMS が 1.1 ピクセルとやや大きな変動を示しています^{*3}。そのため、この変動が依然測光精度の悪化を招いていました。しかし、Y 方向の変位量が小さくなったおかげで、測光値と X 方向の変位量との間にきれいな相関が見られるようになり、X

^{*2} ちなみに、画像解析によるガイドだけでは、ガイドの頻度が 1 露光毎 (例えば 60 秒毎) になってしまうため星像の位置固定が高精度に行えない。

^{*3} この変動は 188cm 望遠鏡の RA 軸駆動の周期的なガタ (OAO ニュースレター No.1 参照) に起因していると考えられるため、来年に行われる予定の望遠鏡の改修によって改善が期待される。

方向の変位量に応じて測光値をうまく補正することが出来るようになりました。図6はJ=9等台のトランジット惑星系をハイブリッド・オートガイドシステムを使って観測した際の光度曲線です。30秒露光データに対して、光度曲線のモデルとの残差のRMSは0.15%ありました。一方、図7はX方向の変位量と残差の関係を示しており、左上から右下に向かう相関が見られます。光度曲線に対してこの傾向を補正すると図8のようになり、モデルに

対する残差のRMSは0.12%と、測光精度の大幅な改善がみられました。

この「ハイブリッド・オートガイドシステム」の構築によって、今後ISLEによって多くの成果が出るものと期待しています。(福井)

X方向の変位量で補正前の光度曲線

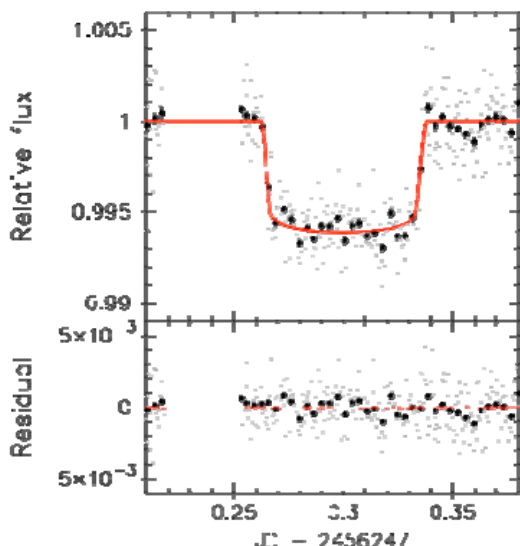


図6. (上パネル) J=9等台のトランジット惑星系に対するISLE/Jバンドでの光度曲線。ハイブリッド・オートガイドを使用して観測。灰色の点は30秒露光のデータ、黒の点は5分ピンングしたデータ。赤実線はベストフィットのトランジットモデルを示す。(下パネル) モデルとの残差を示す。30秒露光データの残差のRMSは0.15%。

X方向の変位量で補正後の光度曲線

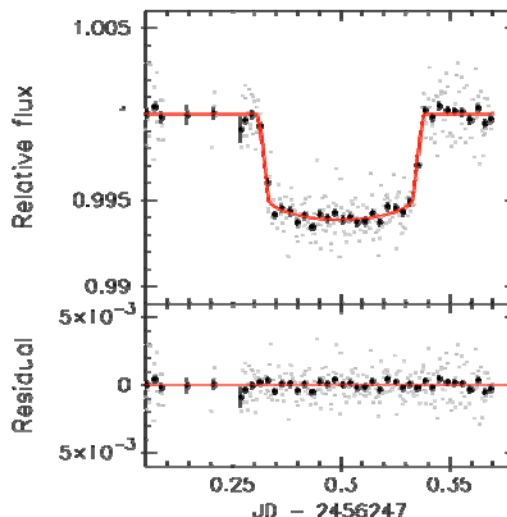


図8. 図6の光度曲線に対し、X方向の変位量で測光値の補正を行ったもの。30秒露光データのベストフィットモデルに対する残差のRMSは0.12%と、補正前に比べて改善がみられた。

光度曲線の残差とX方向の変位の相関

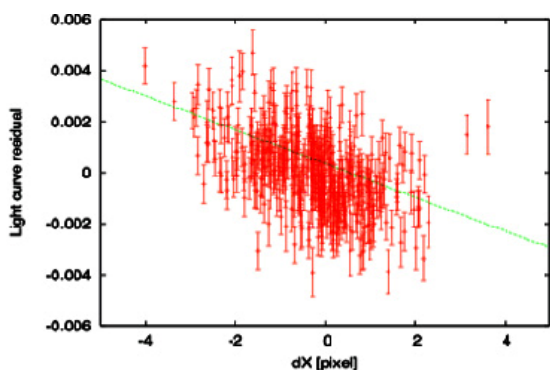


図7. 図6の光度曲線のモデルに対する残差とX方向の変位量との相関図。左上から右下に向かう相関が見られる。緑の点線は直線フィットの結果。

おわり