



1. 新年のご挨拶
2. 188cm望遠鏡改修計画の進捗状況(Ⅲ)
3. 188cm望遠鏡改修計画の進捗状況(Ⅳ)

1. 新年のご挨拶

新年あけましておめでとうございます。本年もどうぞよろしく申し上げます。

2013年前期の共同利用観測の公募を1月11日から開始しました。今回は観測期間を5月上旬から6月上旬の約1ヶ月間に限定しての公募となっています。詳しくは観測所ホームページの公募案内をご覧ください

い。

去る1月8日から188cm望遠鏡の駆動系・制御系の改修工事が始まりました。続いてドーム制御系の改修工事も始まります。次号以降、それらの様子を逐次ご報告していきたいと思ひます。

(泉浦)

2. 188cm 望遠鏡改修計画の進捗状況(Ⅲ)

実験屋の仲間うちでは異口同音に「センサーが本来持っている精度・安定度を生かすも殺すも取付け治具次第」と言われてきました。今回の改修工事でも、新たに導入したHeidenhain社の高精度角度エンコーダが持つ本来の性能を十分に引き出す設計になっていなければ、後々まで禍根を残すこととなります(補記)。限られた予算の中、この角度エンコーダの能力をフルに生かして、掲げた目標値 1.5" rms の指向精度に到達しようとする、観測所の奮戦と苦悩とを以下にご紹介します。

兆候あり

昨年度末に行われたエンコーダ導入時の初期試験デ

ータの中に、いやーな感じのものがありました。望遠鏡静止状態で読出し値の長時間ドリフトを調査したデータが、いかにも周囲の環境温度変化と関係ありそうな様子を示しました(図1)。でも、所内の望遠鏡改修検討会議では、問題としている指向誤差 20" rms の主たる原因ではないと棚上げの雰囲気となりました。

とは言え、様子ぐらひは見ておこうと現場に行ってみると、エンコーダヘッド(前号の図1)の支持台が鉄製ではなく何とジュラルミン製でした。エンコーダのドリフト量 16" はエンコーダドラムと支持台の相対位置変化 10μm に対応します。支持台とその周囲の5カ所の温度測定をする系を柳澤さんがサクッと実装し、計測されたエンコーダドリフト量を解析してみると各部の温度変化の1次結合でよく再現できました(図2)。しかしながら、あり得ないような大きな線膨

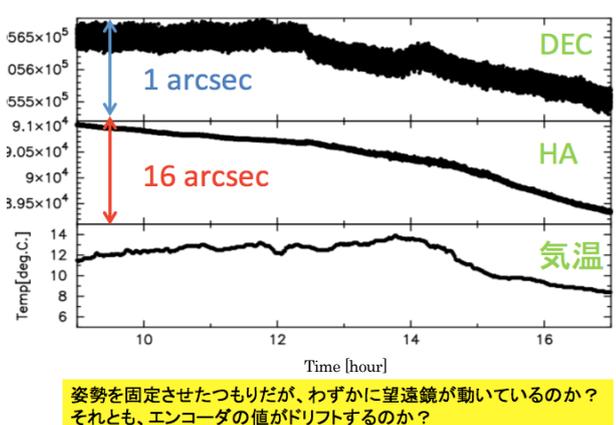


図1. 初期データに見えたエンコーダ読取り値と気温の時間変化

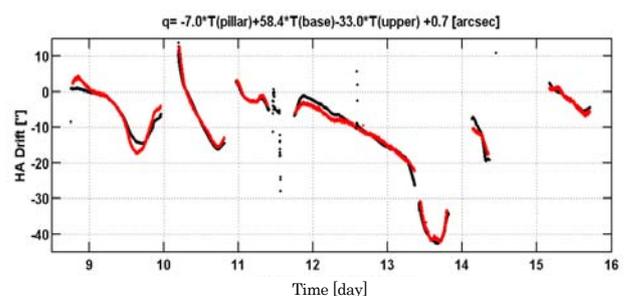


図2. エンコーダの読取り値のドリフト量(黒)と周囲温度を用いて fit した値(赤)。Fit は良好で、良好な経験式を得られたが、物理モデルに難があった。

張係数を仮定せねばならず、納得できる物理モデルを見出せませんでした。最初の物理モデルの試みは不発に終わりました。しかし、とにかく経験的モデルを使うことで、だいたいの補正が可能な感触を得たことから、この時点ではとりあえず深追いしないことにしました。

新たな熱変形モデルの提唱

前回のニュースレターで紹介したように、指向誤差解析が大きく進む中、望遠鏡の熱変形問題に再び取り組む必要性が見えてきたことを、お盆明けに所長らと軽く議論しました。そして物理モデルを再考し、日中ドーム天井部からの放射熱により極軸が湾曲するというのを考えました。(図3)。極軸の天井側と床側の温度差0.5度で極軸は4"歪みます。南端ベアリングからエンコーダドラムまでの距離が0.77mとやや長いので15 μ mも下がり、結果としてエンコーダの読取り値が25"変化すると予想されます。この話を最初にした時はみな懐疑的でしたが、一方で所員の指向誤差低減にける情熱には並々ならぬものがあり、論より証拠とばかりに、柳澤さんが極軸の4箇所温度センサーをさっそく取付け、測定を開始しました。

その後、取得したデータの解析が進むにつれ、今回の物理モデルが良さそうなが分かり始めました。図4は3日間のエンコーダのドリフト量(上段)と極軸の上下左右の温度差(下段)の時間変化のパターンを示したものです。シンプルなモデルにも関わらず測定データを良く再現することができ、また変化量の程度もモデルの予想通りでした。ドームを開いたとたんに急激な変化があること(図中の矢印)、深夜過ぎからは安定していることなどの特徴がよく現れています。観測

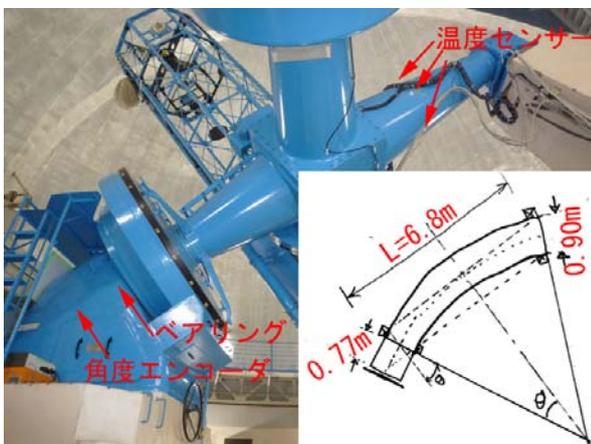


図3. 熱変形のモデル。ドーム天井部からの熱放射によって極軸に温度差が発生し湾曲する。極軸の4箇所に温度センサーを取り付けることにした。

の1時間前にはドームを開いて望遠鏡をなじませてから観測を開始した方がいいと言われることと符合しています。

対向 dual-head 化案の浮上

ニュースレター1号で紹介された天体追尾の周期的誤差の原因究明作業ではひとつ厄介な問題がありました。ヘッドがひとつしかない(single-head)測定系ではエンコーダドラムの回転と並進変位とが区別できないのです。このためデータに現れる周期的誤差成分の原因をひとつひとつ同定していく謎解き作業は煩雑なものとなりました。極軸を支えるベアリングの回転中心の周期変動、現エンコーダ系から受ける回転軸の周期的変位などなど多くのことを想定してみる必要があったからです。幸いなことに、現状の主要な周期的変動の全てが single-head の測定でなんとか同定出来たので、その時点では大きな問題となりませんでした。しかしながら、もしも対向した位置に配置された二つのヘッド(dual-head)があったなら、回転量はそれら読取り値の変化量の平均値、並進変位量はそれら変化量の差の半分なので、同様の謎解き作業はとても楽なものだったはずで。そして、dual-head化は測定系の熱変形によるエンコーダ読み値の変動、つまり、温度ドリフトの除去に関して同様に有効な手段であると考えられます。今回、温度ドリフトの妥当な物理モデルが得られたことで、今後見通し良く測定や解析の作業を進め、エンコーダ本来の性能を引き出す方策として、対向 dual-head 化の必要性を強く主張することになりました。

所長の決断

原因が分からなくても図2のように経験式でうまく記述できるならそれで良いのではないかとというのが、

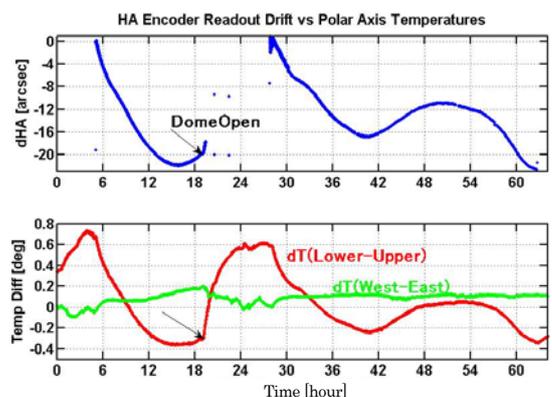


図4. エンコーダの読取り値のドリフト量(上段)と極軸に発生している温度差(下段)の比較。

最初に温度ドリフトの可能性を示した時の大方の意見でした。でも、妥当な物理モデルが見当たらないことから、経験式がどのような状況でも変化しないかどうかについては未知数でした。その様な変化が最終的な指向精度を左右する可能性が残されていました。ところが図3、4のようにそれらしい物理モデルが見つかり、測定から妥当性が実証されたことで、所内の雰囲気もガラリと変わりました。今や、dual-head 化の強い必要性は十分に認識されました。高らかに掲げた目標の指向精度を達成するには、エンコーダ読み値の温度ドリフトを取り除く有効な手段を積極的に導入すべきだという考えでまとまりました。あとは、限られた予算の中でよりよいシステムを作るため、何をどう決断するかです。このドリフト調査の進捗を受け、目標達成には対向 dual-head 化が必要不可欠であるとの判断のもと、所長はその実現に向けて動き始めまし

た。

補記

今回の事前調査データをもとに現エンコーダ系改修(1988年)について分析してみると、どうしてこのデザインにしたのか、またそれに見合った対処がないのはなぜかなど疑問な点がいくつか浮かび上がってきます。今回の調査データは現エンコーダ系でも十分な特性調査と適切な補正を行えば額面通りの1秒角程度の回転角読み取り精度は達成可能だったことを示唆しています。一度完成させた望遠鏡システムを運用し始めたら、もう手を入れたがらないのが大半の天文学者。少しでもよいシステムにしたいくて engineering time を追加要求する技術者。両者の間の攻防が古今東西の天文台で繰り返されてきた話はよく耳にします。なので、最初の一筆がとても大切なのです。(浮田)

3. 188cm 望遠鏡改修計画の進捗状況 (IV)

動く副鏡

今回の改修の目的の1つである、ポインティング精度の改善に向けて岡山観測所では日々議論を重ねてきました。その中で要因の1つとして挙げてきたのが「副鏡の変位」です。前号でもご紹介致しました通り、指向誤差測定を実施したところ、ISLE の観測では 20" rms だったものが、鏡筒部に取り付けられた案内望遠鏡では僅か 6" rms であったという結果から、鏡筒部の光学系に何か問題があるのではないかと考えるようになりました。特にその中でも副鏡機構について調査した結果を今回ご紹介致します。(主鏡については次号以降掲載する予定です。)

まず、図5のように、副鏡の焦点調節機構の縁の3

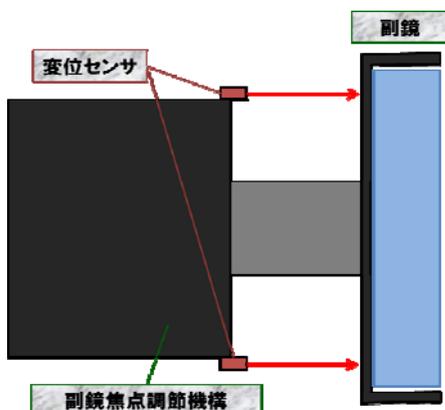


図5. レーザ変位センサー取り付け位置
3つ変位センサーで得られたデータから、副鏡の RA 及び DEC 方向の傾きを導出している。

箇所にはレーザー変位センサーを取り付け、副鏡にレーザーを照射し、軸方向の変位を測定しながら望遠鏡を様々な方向に向けることで、望遠鏡の姿勢と副鏡の傾きの相関を調べました。その結果、HA (時角) 方向に望遠鏡を動かした時(図6の実線)で最大 250 秒、DEC 方向に望遠鏡を動かした時(図7の実線)で最大 350 秒ほど副鏡が傾くことが分かりました。また図2の0時付近において、副鏡の傾きにジャンプが出現したり、

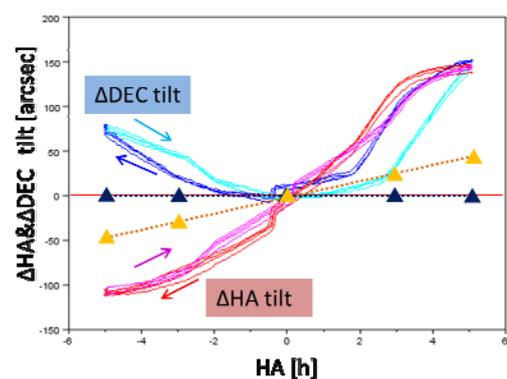


図6. HA 方向に望遠鏡を動かした時の副鏡の傾

(DEC=34 deg)

実線が実測値(赤系が Δ HA、青系が Δ DEC)。望遠鏡を動かす向きで Δ HA は赤とマゼンタに、 Δ DEC は青色と水色に区別してある。破線がシミュレーション値(黄色が Δ HA、紺が Δ DEC)。実測値に対して、シミュレーション値は遥かに小さいことが分かる。

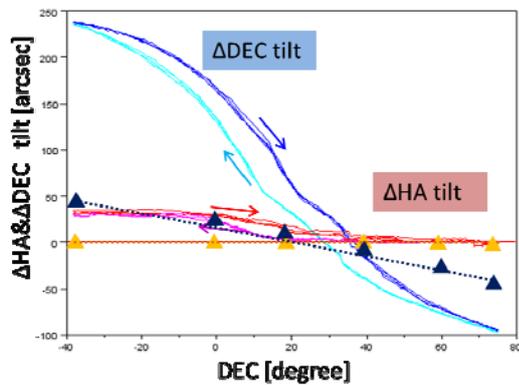


図7. DEC 方向に望遠鏡を動かした時の副鏡の傾き(HA=0) 実線が実測値(赤系が Δ HA、青系が Δ DEC)。線の色と→の関係は図2と同じ。破線がシミュレーション値(黄色が Δ HA、紺が Δ DEC)。

全体的にヒステリシス特性を含むなど特徴的な動きをしていることも分かりました。こういった振る舞いはポインティングアナリシスによるソフト的な補正は難しく、ポインティング精度に影響を与える要因になっているものと思われます。

原因究明と対策

では、副鏡周辺のどの部分が副鏡を傾けているのでしょうか。その候補は2つ考えられます。1つは副鏡焦点調節機構の支持部分です。鏡筒部から幅広と幅狭の計8本のスパイダーで支えられています(図8)、このスパイダーが副鏡及び副鏡焦点調節機構の重さに対して十分な強度を持っていないのではないか、という疑問が浮かび上がりました。そこでANSYS(※)という有限要素法によるシミュレーションソフトを用いて、副鏡構造を3次元でモデリングし、様々な方向から重力をかけ、その力学的変位を解くことで望遠鏡の姿勢依存の変位を導出しました(図9)。結果、最大でも100秒弱程度の傾きにしかならないことがわかりました。また、HA方向に動かしたときはDEC(赤緯)方向の変位はほぼ0秒(図6の破線)、同様にDEC方向に動かした時はHA方向の変位はほぼ0秒(図7の破線)であり、実測値よりも遥かに小さい変位量が求まりました。つまり、スパイダーによる支持構造には問題がないという結果が得られました。

一方、もう1つの候補は、副鏡焦点調節機構の駆動部です。駆動部のガタが焦点調節軸を介して副鏡に伝



図8. 副鏡焦点調節機構を支持しているスパイダー (黒い板状の部分)

左側(手前)に幅広4本、右側(奥)に幅狭が4本、計8本で支持している。

わり、傾きを与えているのではないかと予想しています。この部分の構造は半ばブラックボックスであり、シミュレーションで表現しきれなかったところでした。現在進行中の改修作業の中で、この部分の分解調査を進めています。今後明らかになる問題点については、最大限、必要な措置を講じる予定です。それにより、我々の目標であるポインティング精度1.5" rmsにより近づけるものと考えています。

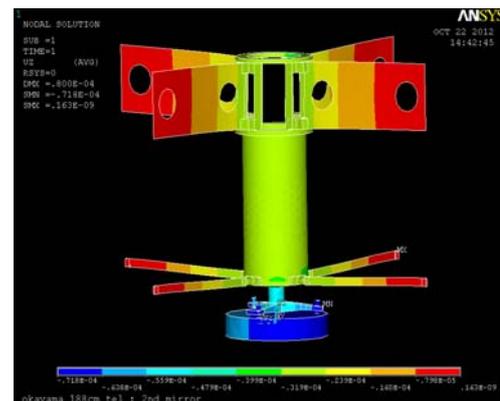


図9. 副鏡の3次元モデリングと

シミュレーション結果の一例

図は紙面の上から下に重力をかけた時(つまり望遠鏡を天頂に向けた時)のシミュレーション結果。赤から青に向かうに連れて変位が大きくなっている(最大で80 μ m)。

※ANSYSの利用ではチリ観測所にご協力いただきました。この場をお借りして感謝申し上げます。

(筒井)

おわり