

NHAO60cm 望遠鏡の持つ追尾エラーに関する調査

坂元誠

兵庫県立西はりま天文台

Fixing the Tracking Error of 60cm Telescope of NHAO

Makoto SAKAMOTO

Nishi-Harima Astronomical Observatory, Sayo-cho, Hyogo 679-5313, Japan

E-mail: sakamoto@nhao.go.jp

(Received 2004 March 6)

概要

西はりま天文台 60cm 望遠鏡は天文台開設以来、周期的に星像がジャンプする問題を抱えている。幾度かの改修にもかかわらず根本的に改善されることはなかった。今回は駆動部を構成する減速機、モーター、ギア、軸受けなどの要素を十分に調査することで、原因となる個所の特定範囲を狭めることができた。

Abstract

60cm telescope of NHAO have the tracking error which is jumps periodically, since starting. It has not been fundamentally settlement in spite of improve of how often. This time, inspected and evaluated strictly the driving units, such as a motor and gear wheels. As a result, the factor has been specified to some extent.

Key words: telescope, tracking

1. はじめに～これまでの経過

60cm 望遠鏡の追尾エラー（ジャンプ現象）については長期間に渡り調査されてきた。今回（2003年）、あらためて行った調査結果と原因の予想について報告する。西はりま天文台の 60cm 望遠鏡は 1991 年に設置、4 分間の周期的な追尾エラーが確認された。その後、1993 年に望遠鏡本体の更新、第 2 次減速系のギア比変更を行なったが周期的エラーは解消されなかった（エラー周期はギア比変更に伴い 4 分→6 分）。その後、第 1 次減速機も更新しているが、エラーに変化はなかった。現象の内容は以下のようにまとめられる。

1. 6 分間隔の周期エラーは R.A の一方向におこる
2. 連続的ではなく、ジャンプするようなエラーである
3. ジャンプ量は 30 分露出しても起こりつづける

その後、2002 年にサーボモーターシステムを別製品に更新している。

2. エラー要因の特定

調査するにあたって、現象がピリオディックモーションであるため、機械系に原因があるものとした。次にジャンプを起こすように見える現象であるため機械的なストレスがあり、開放されるときに起こる現象であろうと考えた。第1次減速機に関しては1993年以降に行なわれた更新作業前後で現象に大きな変化が見られなかった。したがって、要因とは考えられず、調査対象は第2次減速機とした。さらに以下の3項目で検討し、調査方法を決定した。

スラスト方向のあそび スラスト方向のあそびは望遠鏡メーカーが調整（軸受けに与圧をかける）を行い、エラーに対して無視できる量になっているということであった。確認を行ったが報告通りであった。

ウォーム軸回転にかかるストレス まず、ラジアル回転でのストレスはベアリング単体に起因すると考えられるが、ベアリングに関して異常は見られなかった。組み合わせても手で回転させたときに周期的なストレスは感じられなかった。また、ラジアル回転にストレスがたまりエラーが生じたのであればサーボモータシステムが、指令回転誤差によりエラーを返すはずであり、可能性はきわめて低い。

ウォーム軸がラジアル方向に受けるストレス 次に、ベアリングの取り付け誤差による軸、軸受けの同芯性誤差によりウォーム軸が受けるストレスから生じるエラーの可能性に関して検証した。この場合、ラジアル回転に関してエラーがなくてもラジアル方向に対して応力の開放がおり、ジャンプ現象を起こす可能性がある。第2次減速機のウォーム歯角を 30° と仮定する。ウォームギアがラジアル方向で 1μ ふれると、赤経方向で $0.57''$ 角の移動となり、その量から原因である可能性は十分にあるといえる。

以上から、ウォーム軸がラジアル方向にかかるストレス変形について調査することにした。

3. 調査

3-1. 調査方法

ウォーム軸がストレスを受け、ラジアル方向に変形を生じているかについての検査を行なった。検査は2002年6月に、望遠鏡R.A.ウォームユニットを取り外し、定盤上で行なった。第2次減速機であるウォームユニットの構成は図1のとおりである。

まず、ウォーム台の軸受けベアリング取り付け穴加工位置誤差を検査することにした。検査は $1/100\text{mm}$ 読み取りのデジタルハイトゲージに丸穴検査用ユニットを取り付けおこなった。(図2)結果は読み取り精度以下であり $1/100\text{mm}$ 未満であることがわかった。

次に図3のように定盤上にウォーム台ユニットを設置し、モーター取り付け端にラジアル方向の荷重をかけ軸の触れ量をダイヤルゲージを用いて測定した。測定位置は図にあるようにウォーム歯に対して可能な範囲で近い点をとることにした。

3-2. 結果

ユニット軸受け調整前 深溝玉軸受けに与圧をかけた場合とかけない場合で測定。与圧をかけない場合は $25 \pm 1\mu$ のふれ、与圧をかけた場合で $4 \pm 1\mu$ のふれが認められた。

ユニット軸受け調整後アンギュラ玉軸受けの背面組み合わせではさまれていた出荷用スペーサーを取り除き、調整を行なった結果、ラジアル方向の触れは $0.5\mu\text{m}$ 以下に収まった。

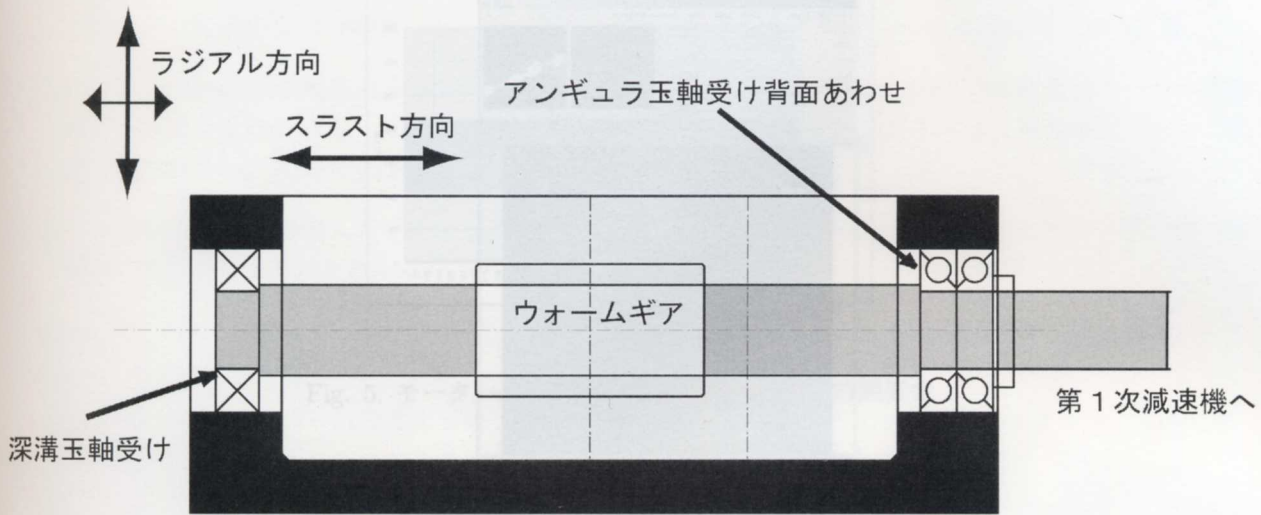


Fig. 1. 第2次減速機（ウォーム減速機）

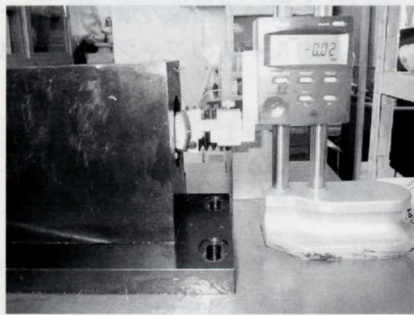


Fig. 2. ベアリング取り付け穴加工位置検査



Fig. 3. ラジアル方向でのウォーム軸ふれ検査

2. エラー要因の特定

調査するにあたって、現象がピリオディックなジャンプを繰り返すように見える現象で、周期的なエラーを考えた。第1次減速機に関しては1994年10月に調整を行った。したがって、要因とは考えられず、方法を決定した。

スラスト方向の遊び、オートガイドの調整、ガイドエラーに押し付けられた。

ウォーム軸回転に付随する回転軸のずれ、ベアリングの調整、スラスト方向の遊び、オートガイドの調整、ガイドエラーに押し付けられた。

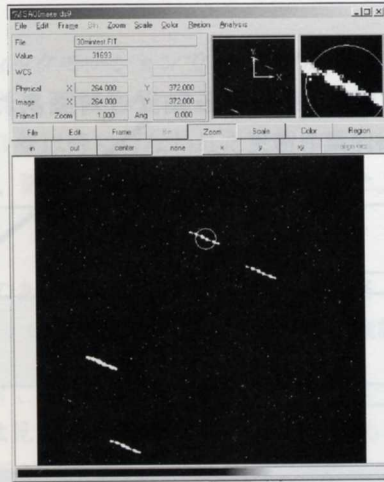


Fig. 4. 6分周期で起こる周期的追尾エラー

調整後の結果ではピリオディックエラーは0.3"角未満に収まるはずである。これを検証するためにカセグレン焦点に冷却 CCD カメラを取り付け、赤道上、南中付近で30分露出を行い、ガイドエラーを検証した(図4)。

結果、エラーは解決していなかった。IRAF を用いて星像の飛び量 (dec 方向成分込み) を測定したところ、以下のような結果を得た。空間角度にして平均5.8"角のジャンプが5回あったことになる。しかも、ジャ

Table 1.

測定	星像の飛び量 (pixels)
1 回目	9.87
2 回目	9.8
3 回目	8.53
4 回目	11.6
5 回目	8
R.A 方向偏移量	約 44
平均	9.56 標準偏差 1.4

ンプ減少はその飛び量の推移からみて収束へ向かっているような傾向は見られない。先に調査した機械の遊び量から見ると一桁多くエラーを出している(図4)ことから機械的な誤差によるものである可能性は極めて低くなった。また、観測領域(子午線付近)から、星像が R.A 方向に大きく移動していることについて極軸のずれでは説明できない。可能性としてコントローラーからモータードライバーにパルスが渡されるときになんらかの潜在的エラーがあると思われる。

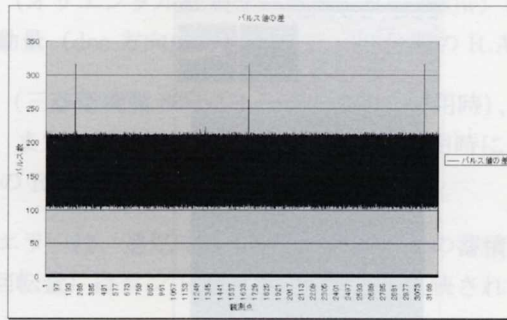


Fig. 5. モータードライバーの処理パルス数の時間変化

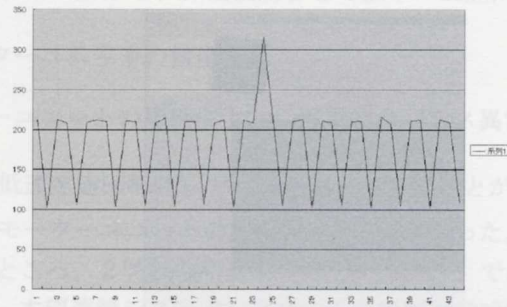


Fig. 6. モータードライバーの処理パルス数の時間変化 (一部拡大)

3-3. 追調査

この後、モーターのトルク不足を理由に 60cm 望遠鏡サーボモーターをオリエンタル社製 200W から三菱電機製 400W に変更。しかし、トラッキングエラーは解消されなかったとの報告（時政による）を受けた。三菱電機社製サーボモータードライバユニットにはステータスモニター機能が搭載されているため、それを用いてモーターの振る舞いに関して可能な範囲で調査することにした。

(a) モーターへの負荷

モーターにかかる負荷をチェックすると天の赤道南中付近では追尾時に 1~2% であった。おそらくオリエンタル社製モーターでも 5% 以内だったであろう。ラジアル回転の負荷が大きいためのトラッキングエラーである可能性はない。

(b) モーターのパルス処理

次に追尾時にモータードライバーがコントローラーから受けて処理したパルス数を調べた。(図 5、6)

カウント値に細かな周期がみられるのはパルスの出力周期と、ステータスモニターの表示更新周期の違いによる共鳴であろう。その中で 10 分 35 秒程度の周期でパルスが出力されているのがみられる。図 6 はその部分拡大である。これ以前に時政からのジャンプ現象は進むセンスであるという報告とも合致する。しかし、ピ

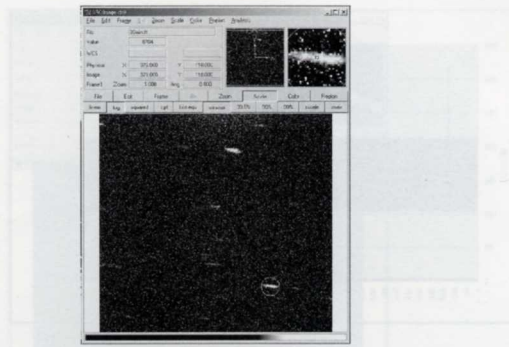


Fig. 7. 三菱社製サーボモーター変更後の追尾エラー

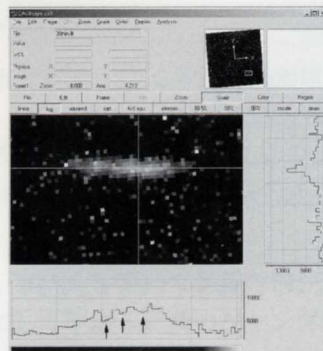


Fig. 8. 三菱社製サーボモーター変更後の追尾エラー（拡大）

リオディックの周期が6分ではなく10.5分になっていることは整合性が取れない。モーターユニット変更によって現象に変化が見られないか確認するために再度、30分間の撮像を2度にわたって行なった。なお、事前に可能な範囲（decのギアギャップが大きかったため）で、極軸調整を行なった。結果を見ると、明らかにモーターユニット交換前とは様子が異なっていた。（図7）

- 30分間でのR.A方向の総移動量に変化が見られた（約45pixel→約20pixel）
- 明確なジャンプ現象がみられない

この二点からモーターユニット交換によってコントローラのパルス受け渡しに変化が生じたことが示唆される。図8にあるように拡大し、プロファイルを描くとモーター交換時にあったような明確なジャンプエラーはみられないものの、軌跡には3箇所ほどの減光がみられる。

4. 考察

以上の調査結果以下の点が明らかになった。

結果1. 顕著なピリオディックエラーは機械系によるものではない。

結果2. サーボモーター交換前（オリエンタル社製サーボモーター 200w）に約6分の周期で見られたジャンプ現象では約5.8"角の移動量（dec方向成分込み）で、30分間のR.A方向の総移動量は約27"角。

結果3. サーボモーター交換後（三菱電機製サーボモーター 400w 使用時）、約10.5分の周期でモーターが過剰なパルスを受けている。また、オリエンタル社製モーター使用時に見られるような明確なジャンプ現象は見られない。30分間のR.A方向の総移動量は約12"角。

結果4. 天体自動導入時の導入エラーは、追尾時におこるエラー成分の蓄積に比べ小さいためモーター軸の回転量（エラーによる過剰回転量）はコントローラーの座標に反映されていない可能性が高い。

望遠鏡のテレスコープコントローラーの仕様書を確認してもアルゴリズムのバグ考えられず、原因個所としては以下のように考察できる。

結果1からガイドエラーは制御系、動力系の疑いが濃い。さらに結果2及び3（モータユニットの変更）にあるように現象に変化が見られたことから、原因個所として以下の二点に絞り込める。

1. 指令パルスに対するモーターユニットの精度
2. コントローラーとモーターユニットの相性により、周期的なパルス異常が起こる現象

さらに、結果の4から追尾時（低速定速回転時）で顕著な現象であることがわかる。

これを受けて追尾動作時にモーターユニットの誤差チェックを行なった。まず、電圧は時間分解能の低い電圧テスターで数分間計測したところ、2%以内の変動（99V～101.8V）であった。しかし、電圧の変動は速度制御の場合は影響を及ぼすが、本望遠鏡システムで採用する位置制御では特に問題とならない。また、指令パルスと帰還パルスの間で特にズレ（長時間にわたる溜まりパルスの）もなかった。

オリエンタル社製モーターをはじめ数度にわたってモーターを交換しているにもかかわらず、現象が起こっていることから、モーターの個体差によるものとは考えにくい。したがって、モーターユニットの製品が仕様としてもつ精度であるか、コントローラーとモーターユニットの組み合わせ相性によるエラーの可能性が高いと考えられる。もちろん、設置環境によってノイズが乗るなどの影響も考えられるが、他の同型コントローラーを採用した望遠鏡システムでモーターユニット交換により同様の追尾エラーが解決した経験があるという望遠鏡メーカーのコメントとも整合性が取れる。今後これらの点についてより詳細な調査を行なう必要があるだろう。

膨大なパルスデータを処理してくださった西はりま天文台の田村善美さんにお礼申し上げます。