

南極 40cm 赤外線望遠鏡バックラッシュ量の評価

沖田博文 (東北大)

2009/11/16

1 はじめに

南極 40cm 赤外線望遠鏡にはいわゆるガタがあり、望遠鏡のコントローラーを押したときに数秒間反応しない現象がみられる。これにはソフトウェアとハードウェアの問題が考えられるが、ハードウェアの問題と考えた場合、「バックラッシュ」と呼ばれるギヤの遊びに多くが起因していると考えられる。そこでこのレポートではバックラッシュについて考察し、試験観測によってその大きさを求める。

2 バックラッシュとは

バックラッシュとは歯車などの機械要素で運動方向に意図して設けられた隙間の事でこの隙間によって歯車は回転することができる。しかしある方向に回転していたものを逆方向に回転させた場合このバックラッシュの分だけ回転が伝達しない。

図??はバックラッシュの

記。

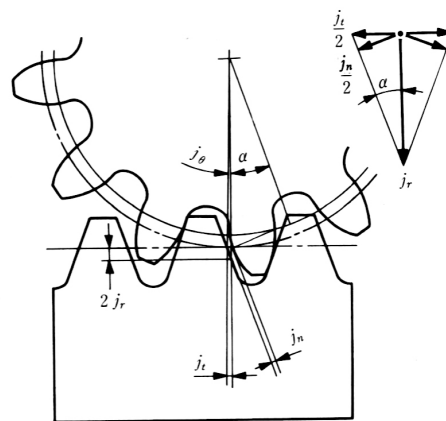


図 4.1 バックラッシュの種類と方向

図 1 バックラッシュの模式図。小原歯車工業株式会社カタログより転記。

ギヤとギヤの隙間を調整することでバックラッシュ量は変化する。しかしギヤは所定のバックラッシュを与えた上で設計製造されている為、むやみにギヤの調整を行いバックラッシュを減らそうとするのは間違いである。

3 観測方法

南極 40cm 赤外線望遠鏡に接眼部を取り付け、SBIG 社製冷却 CCD カメラ ST-7XME-D を取り付けて観測を行った。対象星を視野に入れ 15 秒インターバルで 3 秒間の露出を 25 回撮像することを 1 セット目とし、赤経方向に +4(もしくは -4)[sec angle]、赤緯方向に 60(もしくは -60)[arcsec] 動かし、再度 15 秒インターバルで 3 秒間露出を 25 回撮像(これを 2 セット目とする)、さらに望遠鏡を動かし 3 セット目、・・・とカメラの視野から天体が外れるまでこれを繰り返し行い入力した望遠鏡の移動量と観測した天体の移動量を比較することでバックラッシュ量を見積もる。

またさらに、望遠鏡を南東 北西、北西 南東と逆方向に動かすことで方向別のバックラッシュ量も求める。表??に観測装置の各種パラメーターを示す。

望遠鏡	南極 40cm 赤外線望遠鏡
口径	400 [mm]
焦点距離	4800 [mm]
カメラ	ST-7XME-D
ピクセルサイズ	9 [μ m]
冷却温度	-30 [$^{\circ}$ C]
フィルター	V
露出時間	3 [sec]
露出間隔	15 [sec]

表 1 観測装置の各種パラメーター

またこれとは別にピクセルサイズの測定・カメラの取付角度 (CCD チップの xy 軸と時角 H・赤緯 Dec 方向の角度) を測定する為、前者は離角の判っている二重星を、後者は明るい恒星を長時間露光中に望遠鏡の追尾を停止する事でそれぞれ求め、観測データの補正に用いる。

4 観測

2009 年 11 月 3 日に観測を行った。観測した恒星の詳細を表??に示す。

観測天体	V-Mag.	Seeing	RA	δ	観測開始時刻	H_0 [rad]
η -Ari	5.23	2".94	02 ^h 13 ^m 23 ^s .363	+21°15'38".272	22h01m40s	-0.196261
η -Ari	5.23	2".51	02 ^h 13 ^m 23 ^s .363	+21°15'38".272	22h39m26s	-0.0310213
SAO75203	5.96	2".42	02 ^h 13 ^m 13 ^s .280	+24°13'02".854	23h21m08s	0.152161
SAO132270	5.92	3".89	05 ^h 35 ^m 53 ^s .752	-05°24'25".142	03h03m25s	0.240376

表 2 2009 年 10 月 3 日の観測対象星

なおピクセルサイズは θ 2-Ori を 50 回撮像してその平均値から求め、カメラの取付角は κ -Ari(5.03 等) を観

測し測定した。

5 データ解析

5.1 カメラの取付角度の測定

カメラの取付角度、すなわち CCD チップの x 軸と時角方向のなす角度を明るい恒星を長時間露光中に望遠鏡の追尾を停止することで求めた。解析は ds9 に撮影した画像を表示させ、x 軸方向 50[pixel] 毎に位置を記録し、それらを直線でフィッティングし傾きを求めた。

図??は測定したカメラの取付角度の解析結果である。

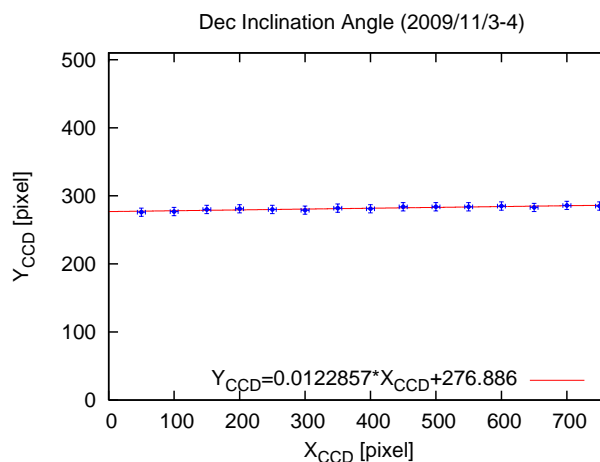


図 2 取付角度の解析結果

この結果から CCD チップの x 軸と時角方向のなす角は $0.0122857[\text{rad}]$ であることが判った。

5.2 ピクセルサイズの測定

ピクセルサイズは $\theta 1\text{-Ori}$ 、 $\theta 2\text{-Ori}$ の離角から求めた。この天体の離角は「DIMM のピクセルサイズ測定 (沖田博文、2008 年 1 月 16 日レポート)」の手法を用いて $135.07[\text{arcsec}]$ であることが判っている。そこで 2 つの天体の CCD のチップ上の位置を測定し、位置の差からピクセルサイズを求める。

シーイングの影響を除く為に 50 フレームについて位置の測定を行いその平均値をピクセルサイズとした。結果は以下で誤差は 1σ である。

$$\text{Pixel Size} = 0.399 \pm 0.001 [\text{arcsec/pix}]$$

5.3 天体の位置測定・補正

IRAF の imexamine コマンドを用いて天体の CCD 上での位置を拾い、前述のカメラの取付角度・ピクセルサイズを補正し、さらに横軸を時角方向 (+ が西、- が東)、縦軸を赤緯 (+ が北、- が南) となるように変換し

た。imexamine で log ファイルを出力する設定にし、その log ファイルから必要な情報を読み出し座標変換を awk ファイルで行った。

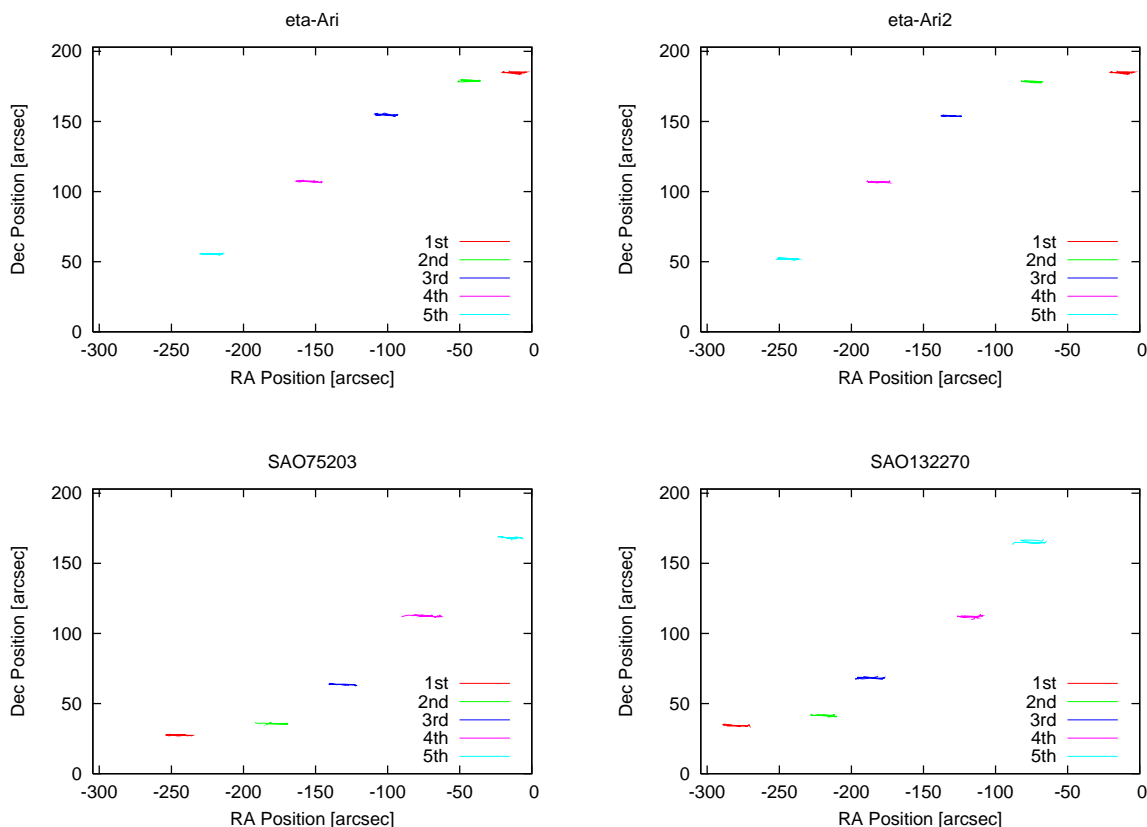
また観測開始時刻からの経過時間やシーイング (星の FWHM) も併せて記録した。

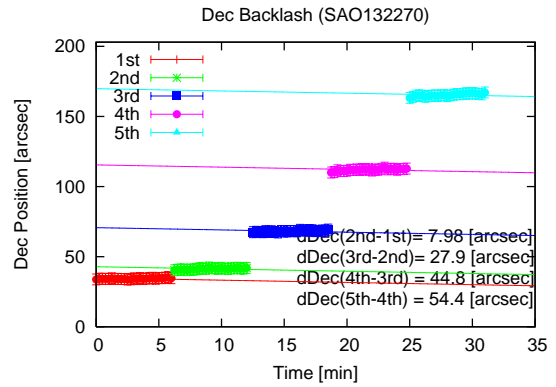
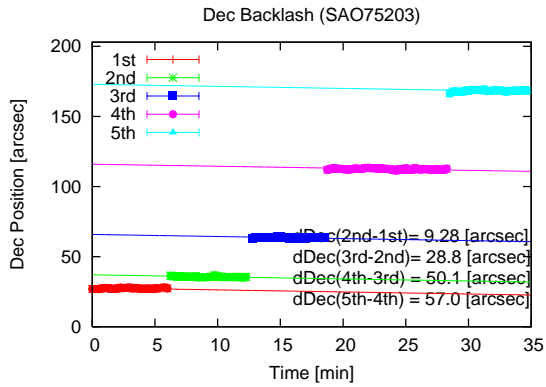
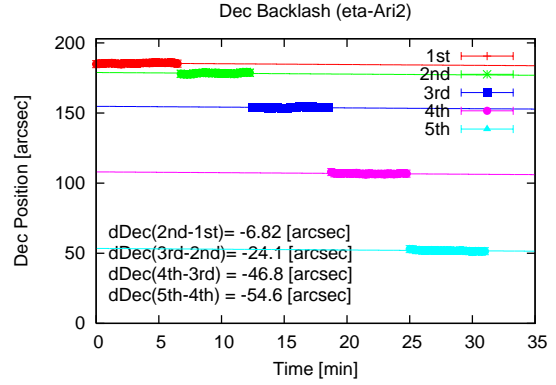
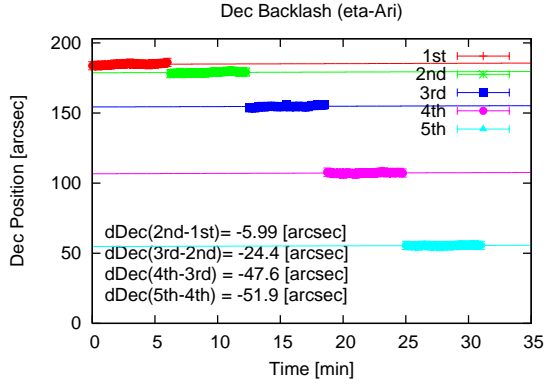
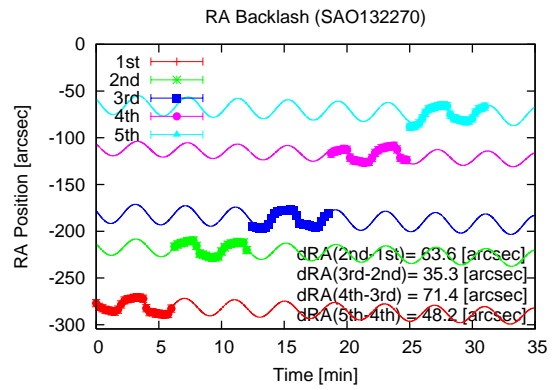
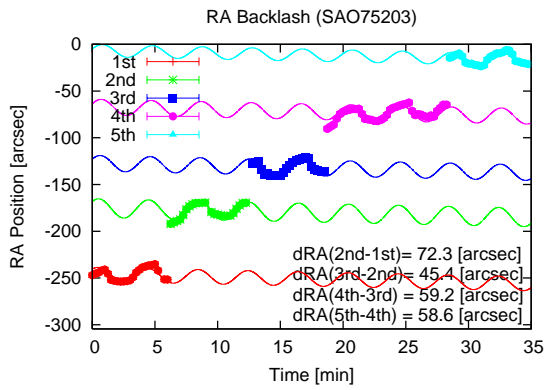
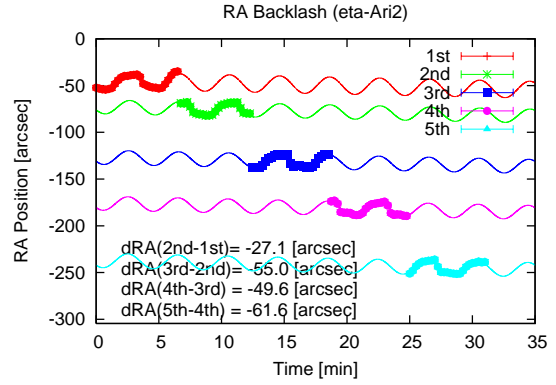
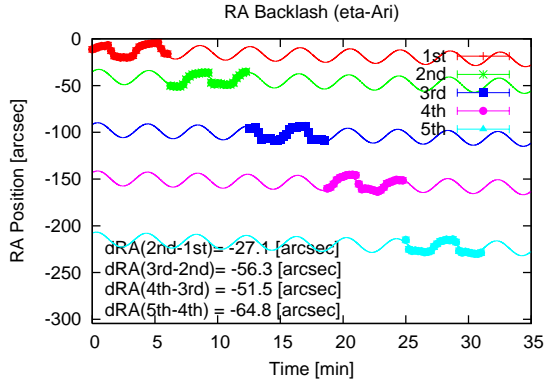
6 理論曲線とのフィッティング

「追尾エラーの定量的評価 (沖田博文、2009/11/11 レポート)」「追尾エラーの定量的評価 実際の観測 (沖田博文、2009/11/11 レポート)」より観測結果を理論曲線にフィッティングさせる。大気差は一意に計算でき、設置誤差は $\epsilon_p = 146 \pm 22[\text{arcsec}]$ 、 $H_p = -0.122 \pm 0.096[\text{radian}]$ として計算した。前述のレポートで指摘される「鏡筒のたわみ」成分の追尾エラーは無視し、観測結果に合うようピリオディックモーションの振幅をフィッティングした。

ここで CCD 上の天体の位置は上記の大気差・設置誤差・ピリオディックモーションの成分とは別に、今回は観測時に人為的に赤経方向に $+4$ (もしくは -4) $[\text{sec angle}]$ 、赤緯方向に 60 (もしくは -60) $[\text{arcsec}]$ 動かしているなのでその成分も記録されているはずである。

以下示す観測結果は最初の 4 枚がまず CCD チップ上に写った天体の位置 (座標は α, δ) を示し、その次の 4 枚が横軸を観測経過時間、縦軸を時角方向の天体の位置とした図、最後の 4 枚が横軸を観測経過時間、縦軸が赤緯方向の天体の位置を示す。図中の 1st、2nd、・・・は 1 セット目、2 セット目、・・・を表している。





7 観測結果

RA 方向の測定結果を表??に、Dec 方向の測定結果を表??にそれぞれ示す。なおこれらの表では観測結果から予定移動量をさし引いた値を表した。すなわちその値が 0 [arcsec] であれば望遠鏡は指示した通りの方向に向いた事を意味し、+ であれば移動量が大きすぎ、- であれば移動量が小さすぎることを意味する。予定移動量は RA の場合 $\pm 4[\text{sec angle}] = \pm 60 \times \cos \delta[\text{arcsec}]$ 、Dec の場合 60[arcsec] である。

	η -Ari		η -Ari		SAO75203		SAO132270	
	SE	NW(1)	SE	NW(2)	NW	SE(1)	NW	SE(2)
2nd-1st	-28.8		-28.8		17.6		3.9	
3rd-2nd	0.4		-0.9		-9.3		-24.4	
4th-3rd	-4.4		-6.3		4.5		11.7	
5th-4th	8.9		5.7		3.9		-11.5	

表 3 観測結果-予定移動量 (RA 方向) [arcsec]

	η -Ari		η -Ari		SAO75203		SAO132270	
	SE	NW(1)	SE	NW(2)	NW	SE(1)	NW	SE(2)
2nd-1st	-54.0		-53.2		-50.7		-52.0	
3rd-2nd	-35.6		-35.9		-31.2		-32.1	
4th-3rd	-12.4		-13.2		-9.9		-15.2	
5th-4th	-8.1		-5.4		-3.0		-5.6	

表 4 観測結果-予定移動量 (Dec 方向) [arcsec]

各天体毎に望遠鏡を動かした方向も記した。

8 考察

8.1 取付誤差

この方法で取付誤差を測定するのは不定性があることが「追尾エラーの定量的評価 実際の観測 (沖田博文 2009/11/11 レポート)」より指摘されている。

しかし今回の観測の場合、10月27日・29日の観測と同様 ST-7XME-D カメラは望遠鏡に取り付けたまま一度も取り外していない。よってその値は10月27日・29日の観測とほぼ同値となるはずである。実際、取付角度は 0.0122857[rad] と測定され、10月27日の値 0.0011527[rad]、29日の値 0.0164286[rad] とよく一致する。よって誤差はあるものの、その値はほぼ間違いないと言え、今回のデータ解析では今回得られた取付誤差 0.00122857[rad] を用いることにした。

8.2 ピクセルサイズ

前回の観測と同様、ピント位置はその日の気温に大きく依存する。測定誤差も小さく十分信頼できるものとする。なお、今回のピクセルサイズから推定される南極 40cm 赤外線望遠鏡の焦点距離は 4650[mm] であった。

8.3 RA バックラッシュ量

RA 軸の場合、天体追尾する為ウォームギヤは常にウォームホイールの西側を押すことになり、原理的にバックラッシュによる天体の位置ズレは起こらないはずである。

(注) なおこれは RA 軸のバックラッシュが無い訳ではなく、「今回の観測方法では検出できない」「天体の導入には影響がない」という意味である。例えば天体をガイドする際、ハンドコントローラーを押して望遠鏡を操作する訳だが W 方向はギヤが噛み合っている為にすぐ反応するが、E 方向はバックラッシュの為にしばらく反応しない時間があるはずである。

表??より、RA 方向のバックラッシュ量の平均値は -3.6 ± 14 [arcsec] であった。(誤差は 1σ) また図??は表??をヒストグラムにしたものである。

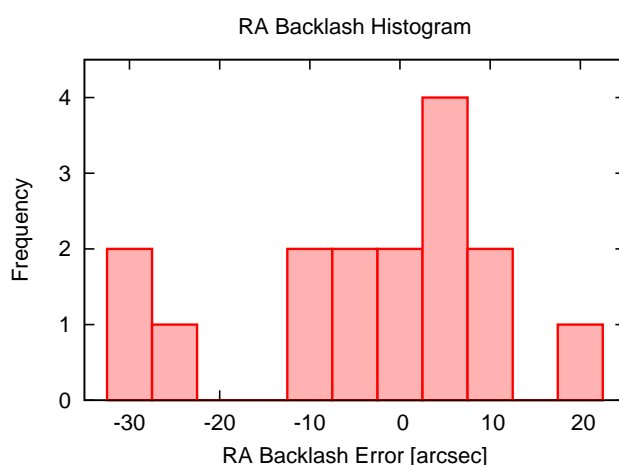


図3 RA 方向のバックラッシュ量

表??を見ると SE NW の場合おおよそマイナス プラス マイナス プラスの値を交互にとり、また逆に NW SE の場合おおよそプラス マイナス プラス マイナスの値を交互に繰り返しているように見える。

これは 2 通りの原因が考えられる。

まず 1 つめは望遠鏡制御ソフトの問題で、望遠鏡の指向に関してソフトウェアの解像度が足りない為に望遠鏡はある時は行き過ぎ、また次の時は少なめに動くといった挙動をするのではないか、というものだ。実際の観測でも望遠鏡制御ソフト R2-SV で座標を入力する際思った通りの数値を入力できない場合があった。天体の導入に関してどのようにソフトが働いているのかを問い合わせる必要がある。(ちなみにモーターは 1 パル

ス = 0.36'' で制御している。)

2 つめはハードウェア、特にウォームネジとウォームホイルの回転を伝える部分の凸凹が機械的エラーとして表れているのではないかというものだ。しかしこの場合、実際の 1[arcsec] のエラーをウォームネジとウォームホイルのギヤの当たり面間隔に換算すると 0.6[μm] となってしまう、14'' 程度の誤差があったとしても十分に研磨加工精度の範囲内だと言える。

よってエラーが大きくその値が周期的にプラス・マイナスと値を変える原因は不明である。しかしこれらをランダムな誤差だと考えると RA 方向のバックラッシュ量は原理通りほぼ 0'' であると言って問題はないといえる。

8.4 Dec バックラッシュ量

表??より、すべての観測で予定移動量に満たない量しか運動していないことがわかる。さらに 2nd-1st ではほとんど動かず、3rd-2nd でも半分程度しか動いていないことが読み取れる。この観測事実から、バックラッシュ量が 60[arcsec] より大きく、2nd-1st ではほとんど回転を伝えることができず、3rd-2nd でようやくギヤが噛み合って回転を伝えたと考えることができる。この場合のバックラッシュ量は 3rd-1st の値であると言え、その平均値は -86 ± 3.8 [arcsec] である。(誤差は 1σ)

図??は表??をヒストグラムにしたものである。

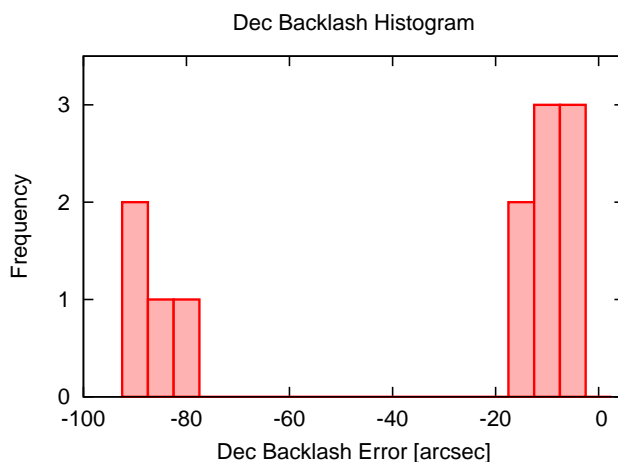


図 4 Dec 方向のバックラッシュ量

なお、図??や表??を見るとギヤが噛み合ったと考えられる 4th-3rd や 5th-4th の時の移動量も予定移動量より小さくその分散が大きいことがわかる。さらに 4th-3rd と 5th-4th のエラー量を比べても、5th-4th の方がエラーが小さくなっている。

この原因は今のところ不明である。しかし Dec 軸モーターユニットは RA 軸と異なり平ギヤを用いて減速する機構があって、ここでもバックラッシュは生じウォームネジとウォームホイルの当たりだけでは説明のできない誤差があっても不思議ではない。

今後原因の究明とその量を見積もっていく予定である。

9 まとめ

2009年11月3日にバックラッシュ量の測定を行った。南極40cm赤外線望遠鏡にST-7XME-Dを取り付け、15秒間隔で3秒露出を25回行い、望遠鏡を赤経方向 ± 4 [sec angle]、赤緯方向 ± 60 [arcsec]動かしてさらに15秒間隔で3秒露出を25回、・・・と繰り返し、カメラの視野から天体が外れるまでその位置を記録した。観測結果から大気差・設置誤差・ピリオディックモーションによる運動を差し引き、予定移動量と観測値を比較することでバックラッシュ量を求めた。その結果、南極40cm赤外線望遠鏡のRA方向のバックラッシュは -3.6 ± 14 [arcsec]、Dec方向のバックラッシュは -86 ± 3.8 [arcsec]であった。RA方向は理論的 (=この観測手法では)に0になるもので測定結果は妥当である。Dec方向はギヤが噛み合っていない時の隙間そのもので、この隙間すなわちバックラッシュが -86 [arcsec]に相当する。これらから南極40cm赤外線望遠鏡のバックラッシュ量を求めることができた。

10 参考文献

1. DIMMのピクセルサイズ測定、沖田博文(2008/01/16レポート)
2. 鏡筒のたわみによる追尾エラーへの影響の検証、沖田博文(2009/04/02レポート)
3. RA軸受け改造後のクラッチ部スリップ測定、沖田博文(2009/10/27レポート)
4. 追尾エラーの定量的評価、沖田博文(2009/11/11レポート)
5. 追尾エラーの定量的評価 実際の観測、沖田博文(2009/11/11レポート)