

卒業論文

高萩 32m 電波望遠鏡の駆動試験及び
能率、ビームパターン測定

茨城大学

理学部理学科物理学コース

学籍番号 16s2027g

氏名 永野 稜大

概要

茨城大学で運用している高萩 32m 電波望遠鏡の性能を評価するために、駆動試験と能率、ビームパターン測定を行った。

高萩アンテナには仰角 (EL)、方位角 (AZ) それぞれに対して、2つの駆動回路を用いたアンチバックラッシュ機構が導入されているが、2018 年 8 月末の不具合により AZ 方向の駆動回路が片方停止している。それによって起こりうるアンテナの不具合を調査するために 2019 年の 9 月から 11 月に駆動試験として天体追尾試験を行った。その結果、高萩アンテナは駆動角速度が低速の時、駆動が不安定になり振動することが明らかになり、その可能性としてトルク不足が考えられる。

アンテナの基本的な性能である開口能率とその EL 依存性を調べるために 2020 年 1 月に cross scan という方法を用いて観測を行った。今回は真のフラックス密度がわかっている 3C286 と真のフラックス密度がわからない 3C84, 3C454.3, 3C273B の計 4 天体を観測することで開口能率とその EL 依存性を求めようとしたが、基準となる 3C286 の測定結果から求めた開口能率が先行研究と比較して大きすぎた。今後は 3C286 の結果を再確認し、それを用いて開口能率とその EL 依存性を求める必要がある。

目次

1 研究背景.....	3
1-1 駆動試験.....	3
1-2 能率、ビームパターン測定	4
2 駆動試験.....	5
2-1 方法	5
2-2 結果	5
2-3 考察	23
3 能率、ビームパターン測定	25
3-1 方法	25
3-2 結果と解析	26
4 まとめと今後	30

1 研究背景

高萩 32m電波望遠鏡（以下、高萩アンテナ）の性能を評価するために以下の2つについて測定を行った。

1-1 駆動試験

高萩アンテナは方位角(AZ),仰角(EL)とも、それぞれ2つの駆動回路によるアンチバックラッシュ機構(図1)によってギアとモーター間のあそびを無くして駆動している。しかし2018年8月末の不具合によりAZ方向の駆動回路は片方が停止しており、現在は1つの駆動回路によってアンテナを動かしている。そのため、潜在的な問題として以下の3つの可能性が考えられる。

- (1) アンテナの回転方向を反転した際にあそびが生じアンテナの指向方向がずれる。
- (2) アンテナを時計回りと反時計回りの異なる駆動方向に動かした際に指向精度が異なる。
- (3) 駆動回路が不足しているためトルクが不足し駆動が不安定になる。

これらを調査するために2019年9月～11月にアンテナの駆動試験を行った。

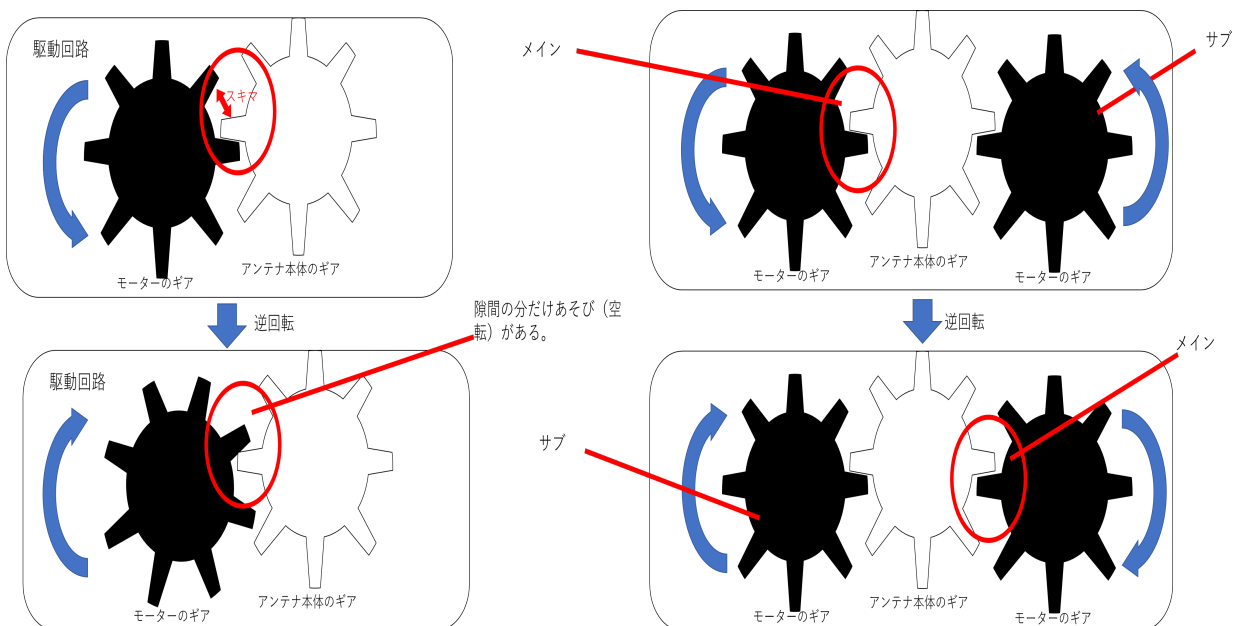


図1 アンチバックラッシュ機構

左図のようにアンテナ本体のギアとモーターのギアの間にある隙間によって生じるあそびを右図のようにモーターのギアを2つにすることによってなくす。

1-2 能率、ビームパターン測定

アンテナの光軸に対する感度の角度依存性をビームパターンと呼び、アンテナの物理的

な面積に対する有効的な面積の比を開口能率と呼ぶ。これらはアンテナの性能を評価する値として用いられる。2020 年 1 月に高萩アンテナの開口能率 η_A およびその EL 依存性を測定するために cross scan という方法を用いて観測を行った。

2 駆動試験

2-1 方法

高萩アンテナの駆動試験として、下記の表 1 の日程で天体を追尾し続ける試験を行った。高萩アンテナの駆動中はアンテナが実際に向いている方向（実測値）とアンテナ制御計算機が計算した方向（指示値）が ang ファイルとして記録されている。追尾試験中の AZ について、横軸を時間、縦軸を AZ の実測値とした図を作成する。作成した図を目視で確認し、滑らかでない部分があった場合その部分を拡大する。その部分を直線で近似し実測値と差をとることにより実測値と指示値のずれ dAZ(以下、ずれまたは dAZ と呼ぶ)を求める。10/3 と 10/3-10/4 に観測した天体は天頂より北側の天体であり、それぞれ東西の低空で AZ が方向を反転するような動きをとる。

測定日	開始時刻 (UT)	終了時刻 (UT)	開始 AZ (°)	開始 EL (°)	終了 AZ (°)	終了 EL (°)	天体名	測定目的
2019/9/1	4:45:48	13:12:14	124.7380	7.3264	237.4433	5.0323	Jupiter	南回りの 天体追尾試験
2019/9/6	4:59:36	12:53:52	130.2421	12.3417	237.3774	5.0241	Jupiter	南回りの 天体追尾試験
2019/10/3	5:28:09	13:24:07	348.9566	85.7269	319.0992	5.0165	CygX3+5	北回りの下りの 天体追尾試験
2019/10/3 -10/4	21:38:25	5:13:33	43.3540	7.5235	10.9842	85.7331	CygX3+5	北回りの上りの 天体追尾試験
2019/10/4	1:11:12	15:29:21	55.7068	8.1531	306.8851	5.0090	3C395	南回りの 天体追尾試験
2019/10/15 -10/16	10:30:10	0:49:18	56.1270	5.0392	303.8151	5.0172	3C123	南回りの 天体追尾試験
2019/11/4	6:11:26	17:27:21	90.2856	11.4916	274.5050	5.0159	2345.061	南回りの 天体追尾試験

表 1 追尾試験の日程

2-2 結果

上記の方法で dAZ を求め、dAZ が14.4"より大きかったものについて、作成した図を図 2~25 に示し、ずれの発生時刻と dAZ 最大値をまとめたものを表 2 に示す。14.4"という値は高萩アンテナの 6.7GHz におけるビームサイズが4.8'であり指向精度誤差の理想がその 1/20 であるため、 $0.24' = 14.4''$ 以下の dAZ は問題ないと判断し設定した。なお、10/3 06:40:00-09:20:00 を示した図 18, 19 と 10/4 01:30:00-04:00:00 を示した図 20, 21 は北回

りの天体追尾試験で AZ が反転する区間であり、AZ は曲線を描いて変化している。この区間の dAZ は近似曲線ではなく、ang ファイルに記録された AZ の指示値を実測値から引くことで求めている。

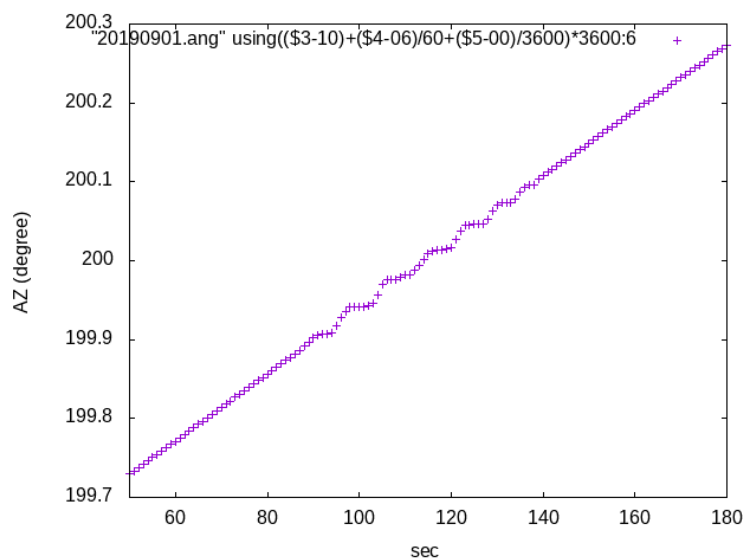


図 2 9/1 10:06:50-10:09:00

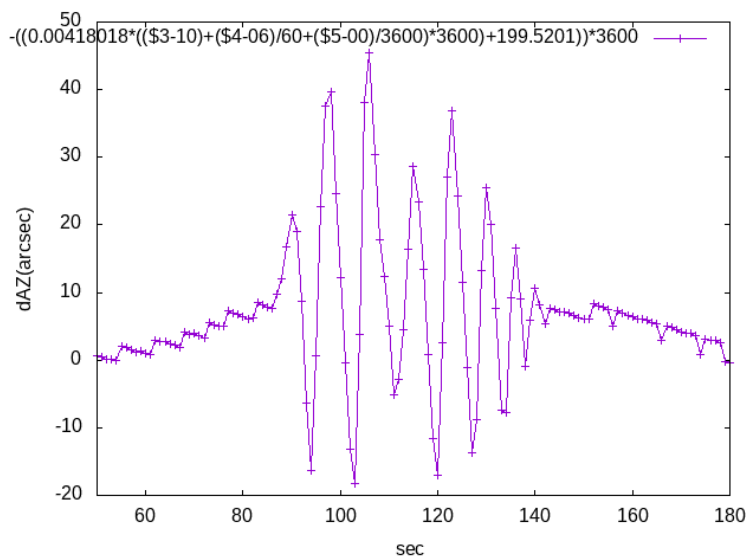


図 3 9/1 10:06:50-10:09:00 dAZ

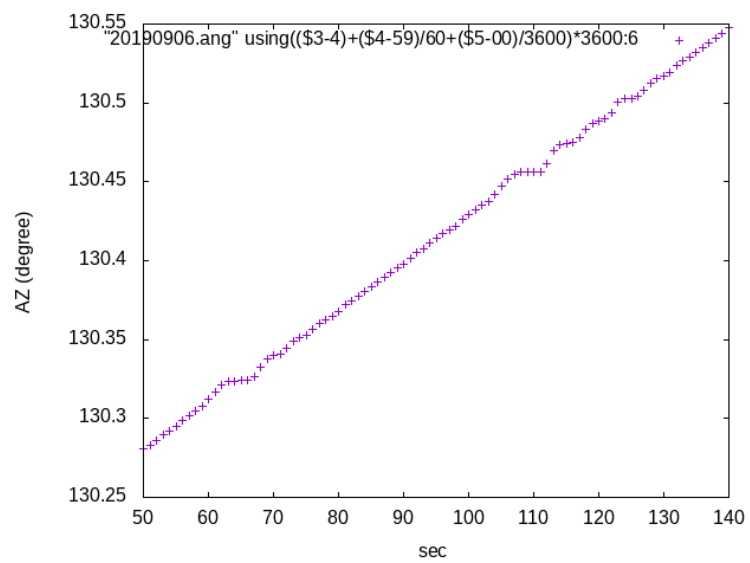


図 4 9/6 04:59:50-05:01:20

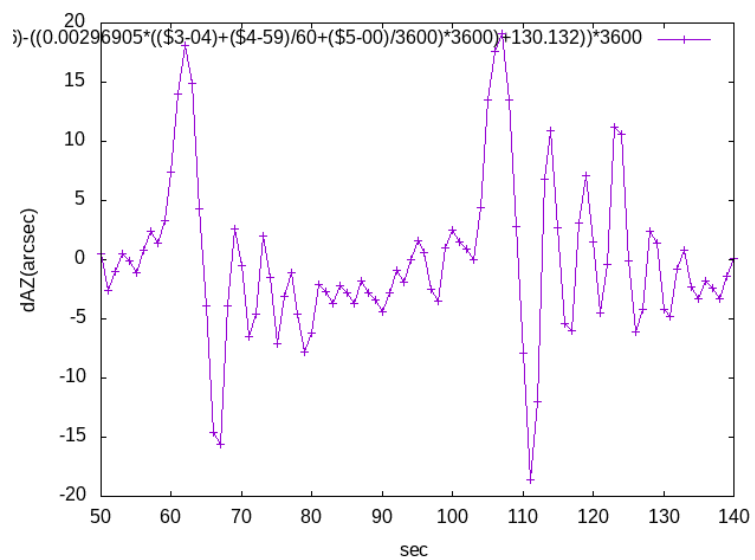


図 5 9/6 04:59:50-05:01:20 dAZ

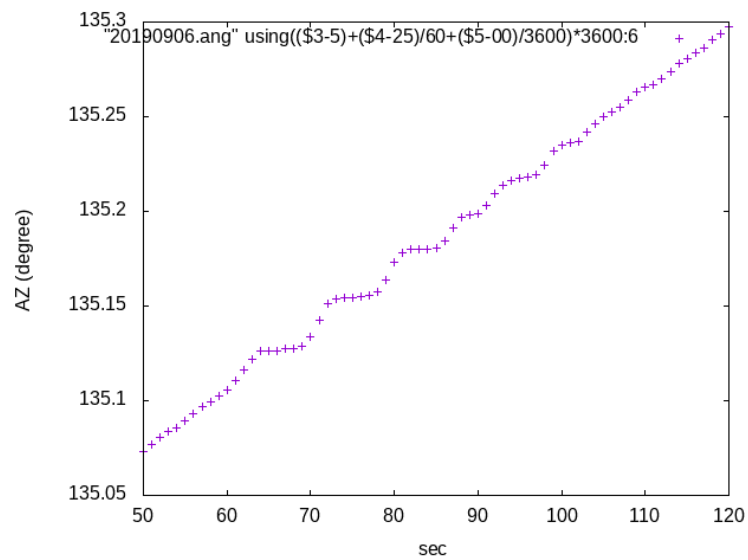


图 6 9/6 05:25:50-05:27:00

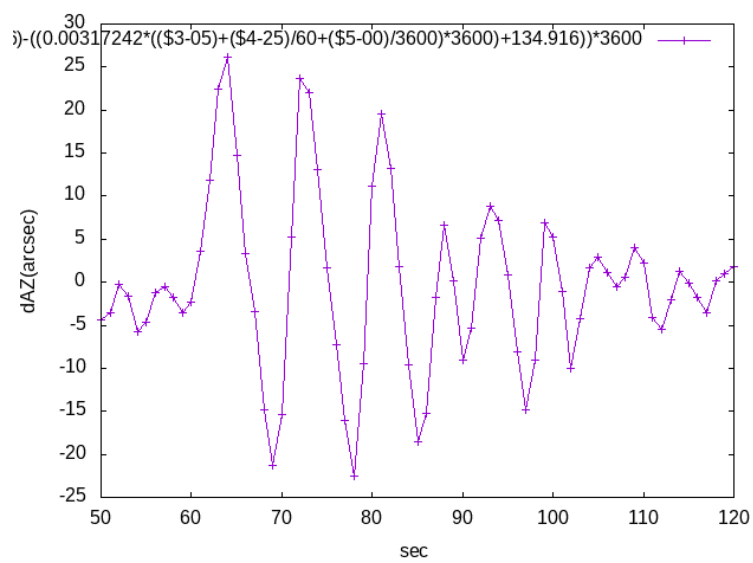


图 7 9/6 05:25:50-05:27:00 dAZ

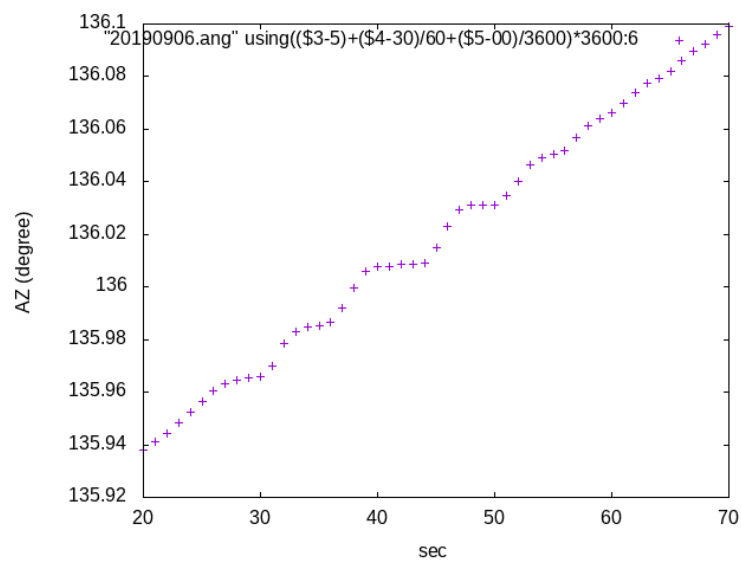


图 8 9/6 05:30:20-05:31:10

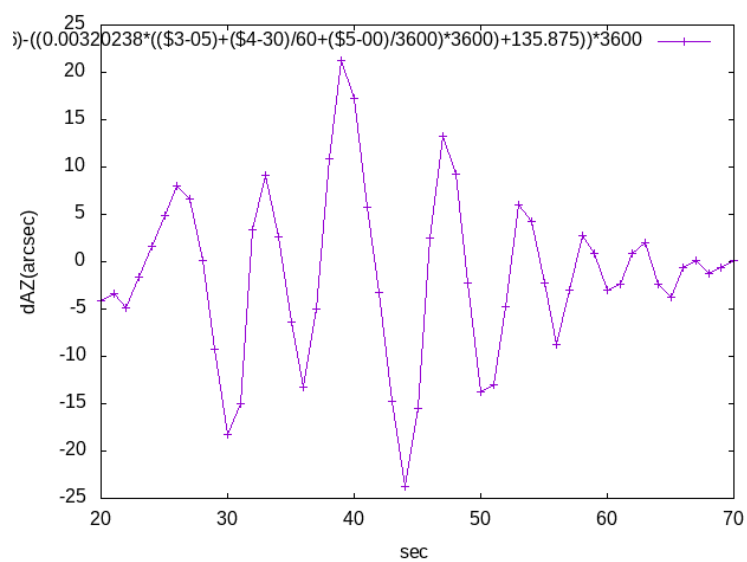


图 9 9/6 05:30:20-05:31:10 dAZ

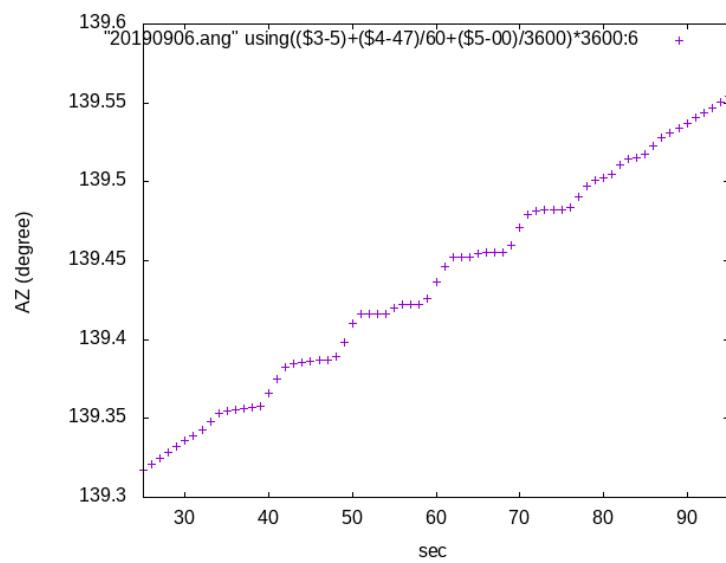


图 10 9/6 05:47:25-05:48:35

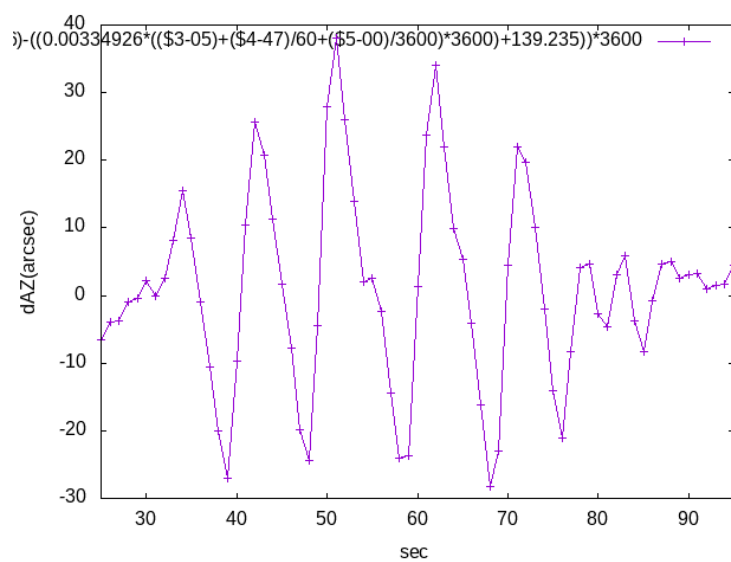


图 11 9/6 05:47:25-05:48:35 dAZ

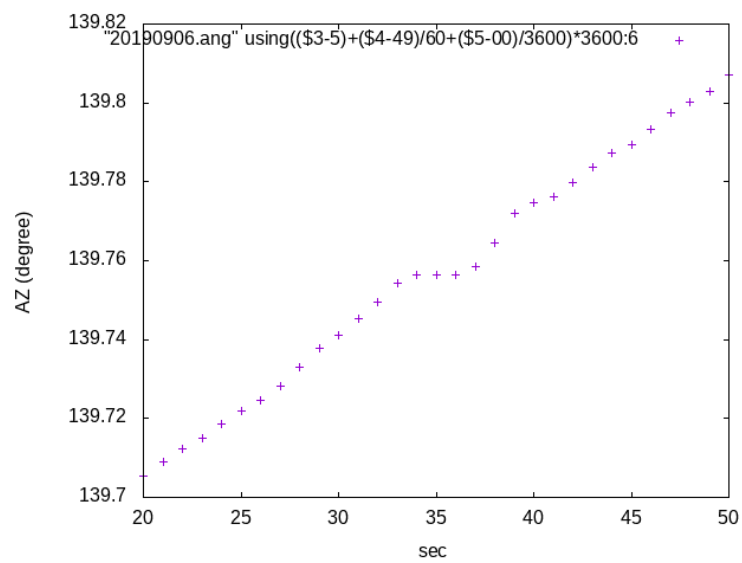


图 12 9/6 05:49:20-05:49:50

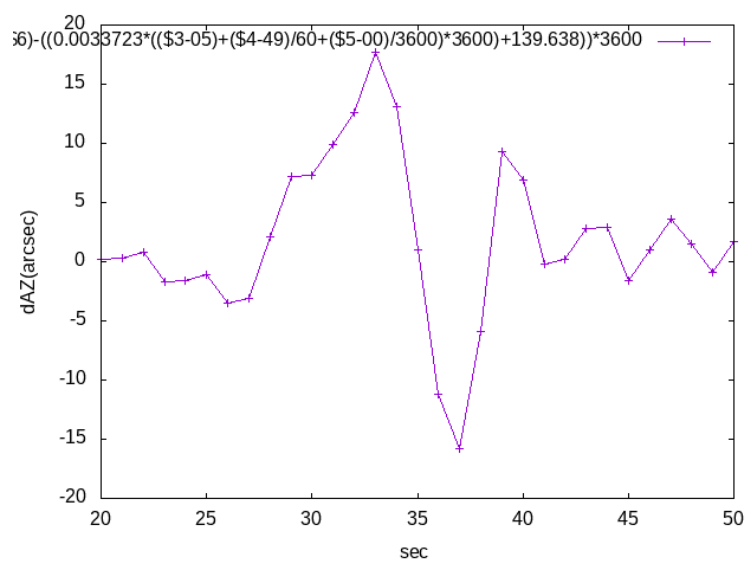


图 13 9/6 05:49:20-05:49:50 dAZ

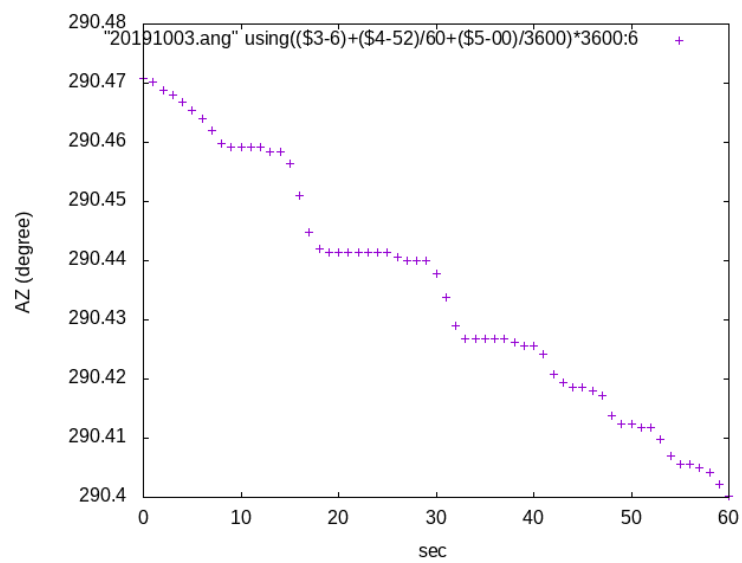


图 14 10/3 06:52:00-06:53:00

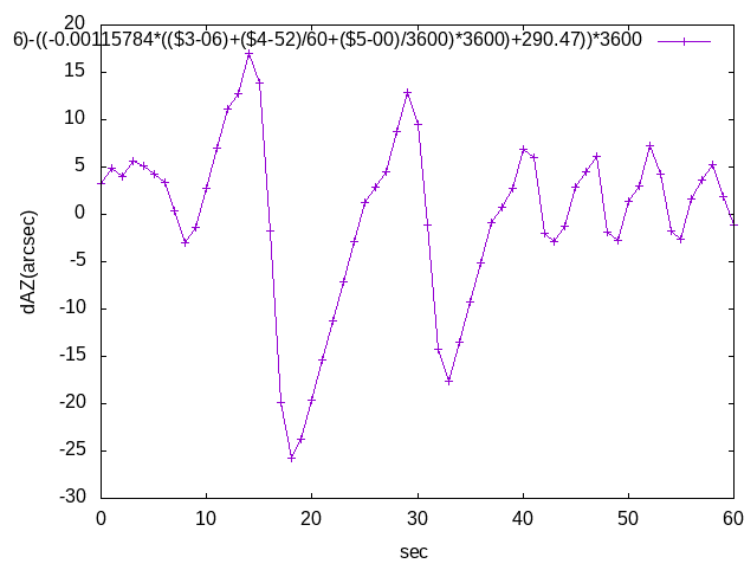


图 15 10/3 06:52:00-06:53:00 dAZ

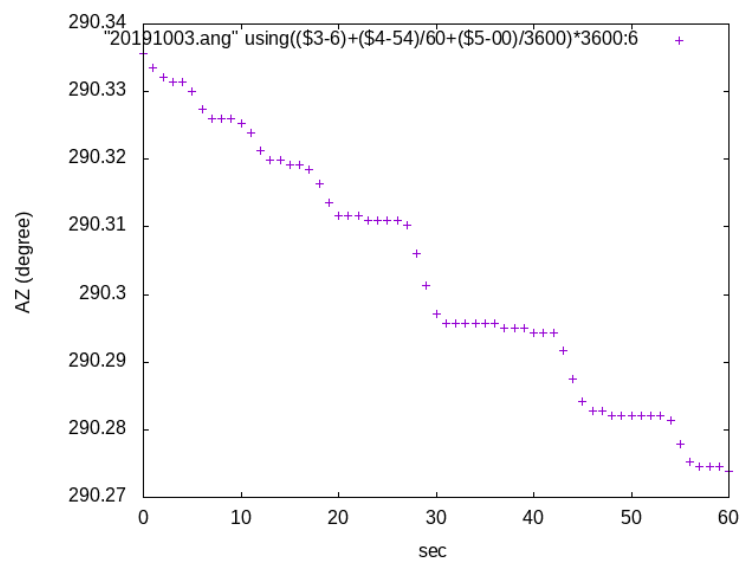


图 16 10/3 06:54:00-06:55:00

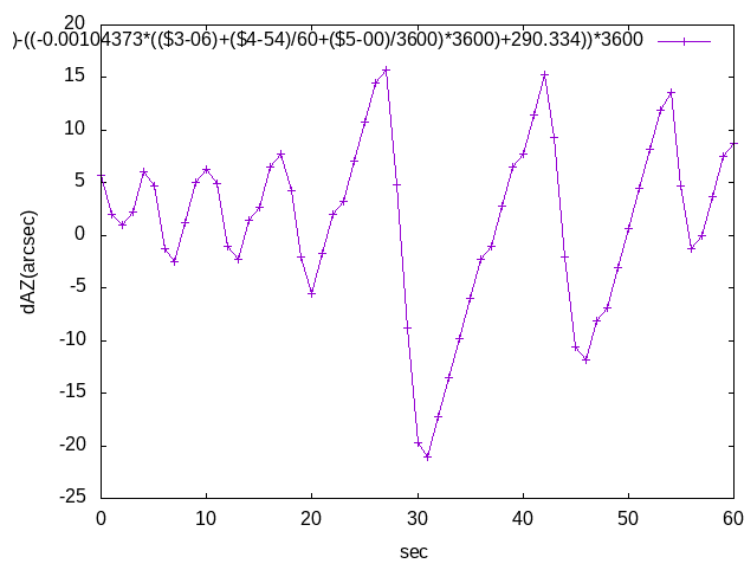


图 17 10/3 06:54:00-06:55:00 dAZ

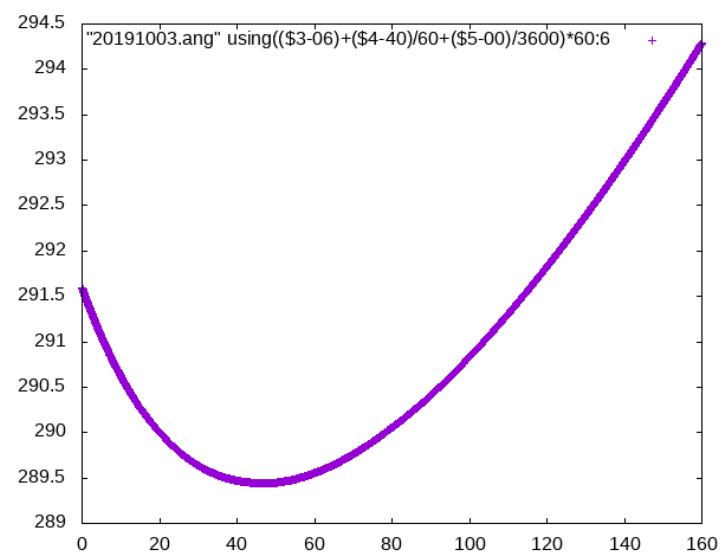


图 18 10/3 06:40:00-09:20:00

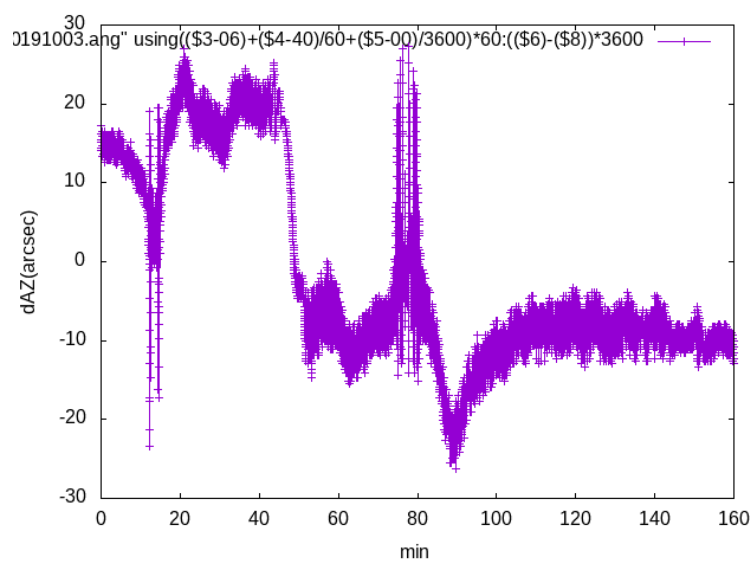


图 19 10/3 06:40:00-09:20:00 dAZ

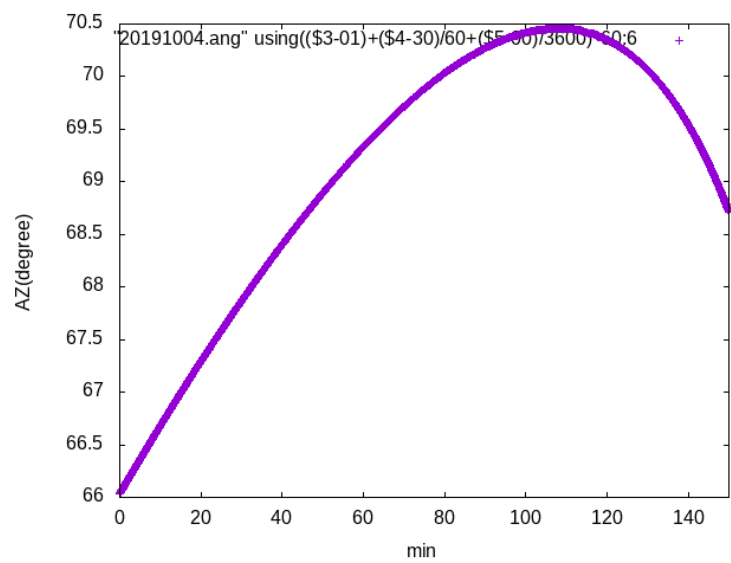


图 20 10/4 01:30:00-04:00:00

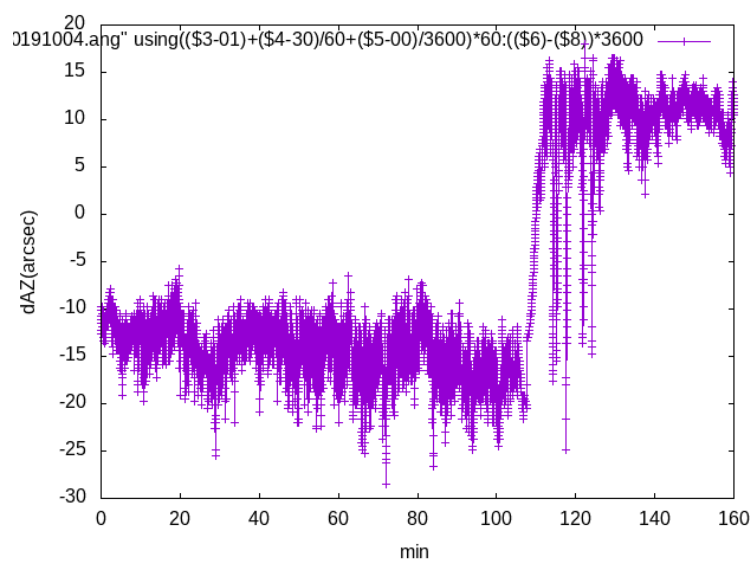


图 21 10/4 01:30:00-04:00:00 dAZ

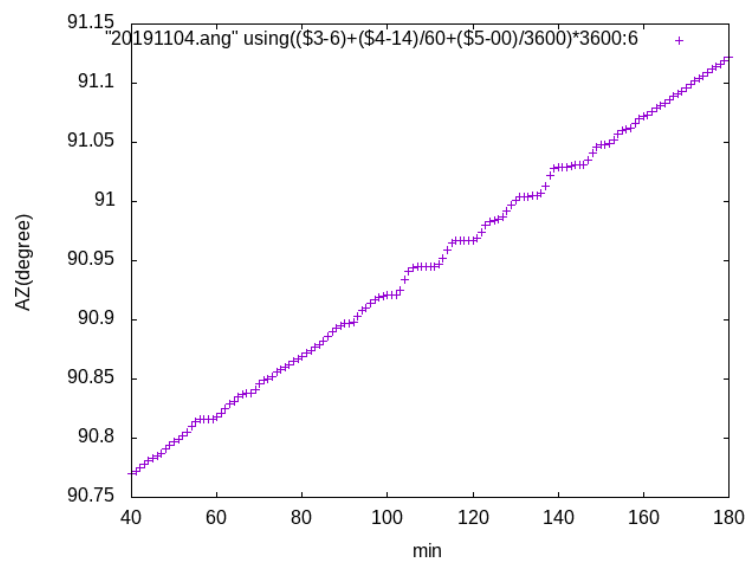


图 22 11/4 06:14:40-06:17:00

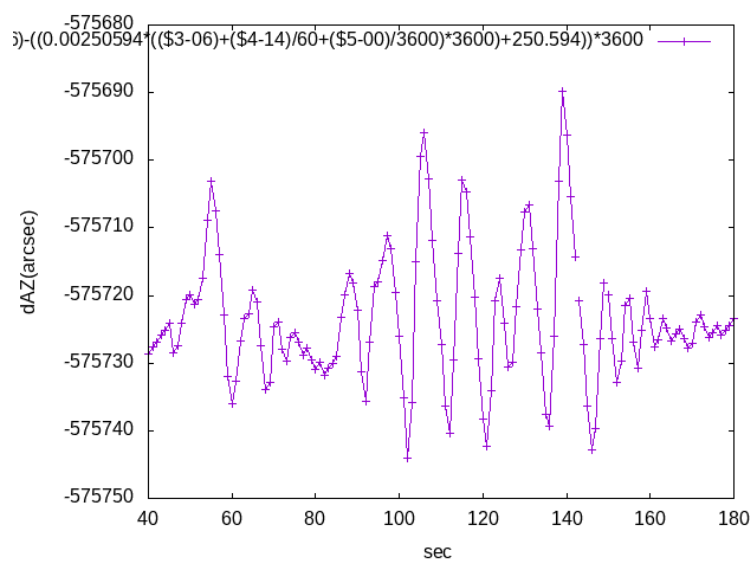


图 23 11/4 06:14:40-06:17:00 dAZ

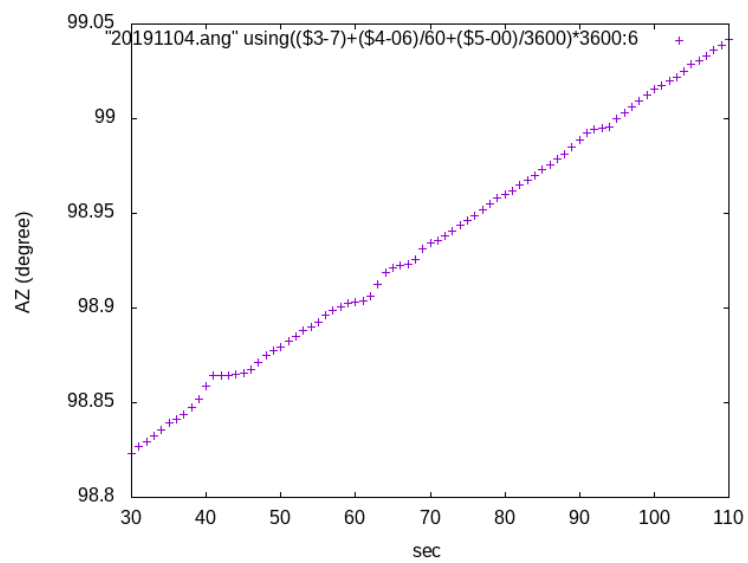


图 24 11/4 07:06:30-07:07:50

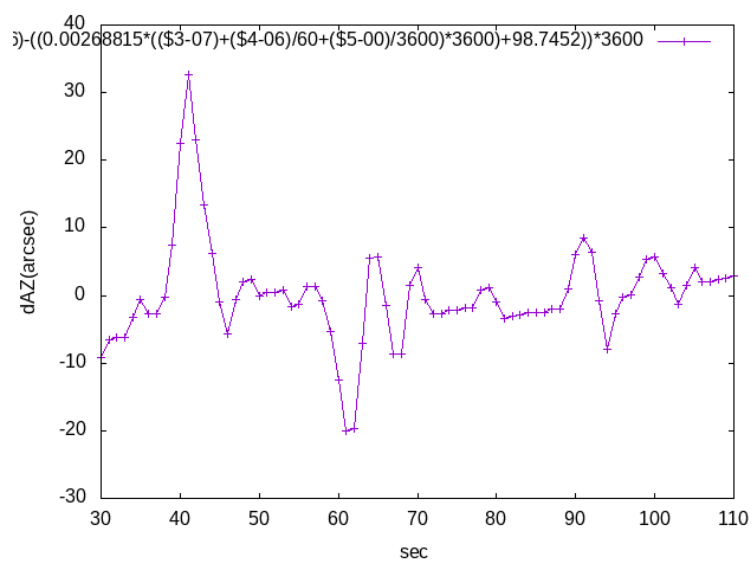


图 25 11/4 07:06:30-07:07:50 dAZ

年月日	発生時刻 (UT)	ズレの最大値 (arcsec)
2019/9/1	10 06 50-10 09 00	42.48
2019/9/6	04 59 50-05 01 20	-18.72
	05 25 50-05 27 00	25.92
	05 30 20-05 31 10	-23.76
	05 47 25-05 48 35	34.20
	05 49 20-05 49 50	18.72
	06 52 00-06 53 00	-25.92
2019/10/3	06 54 00-06 55 00	-20.88
	06 40 00-09 20 00	27.36
	01 30 00-04 00 00	-28.44
2019/10/14	なし	なし
2019/10/15-10/16	なし	なし
2019/11/4	06:14:40-06:17:00	33.84
	07 06 30-07 07 50	32.76

表 2 駆動試験結果まとめ

図 20 で示した 10/4 01:30:00-04:00:00 の曲線について、曲線の左端、頂点、その中央付近にあたる 2 分間をそれぞれ拡大した図とその時刻におけるアンテナの指示値の図を図 26~31 として下記に示す。これらの図より、特に頂点付近においてアンテナは駆動と停止を小刻みに繰り返し、実測値の駆動と停止の間隔が指示値よりも長いことが読み取れる。同様に、図 18 で示した 10/3 06:40:00-09:20:00 でも実測値の駆動と停止の間隔が指示値よりも長かった。

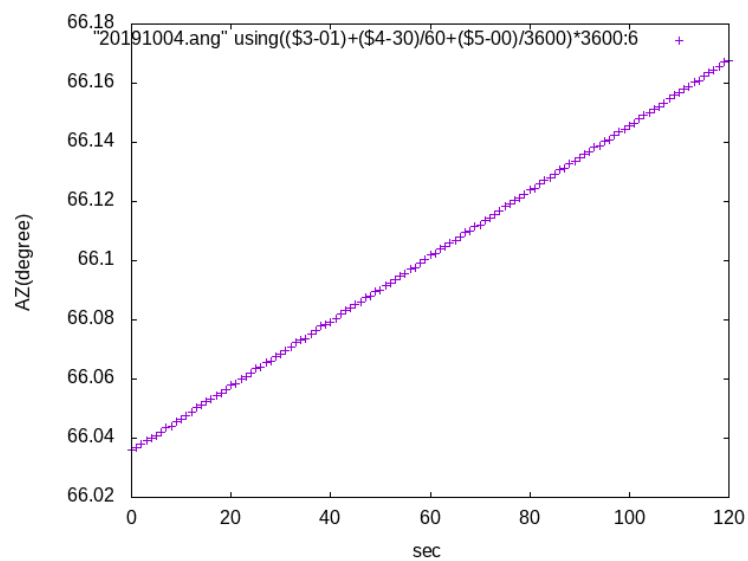


図 26 10/4 01:30:00-01:32:00(図 20 の $x=0-2$) 実測値

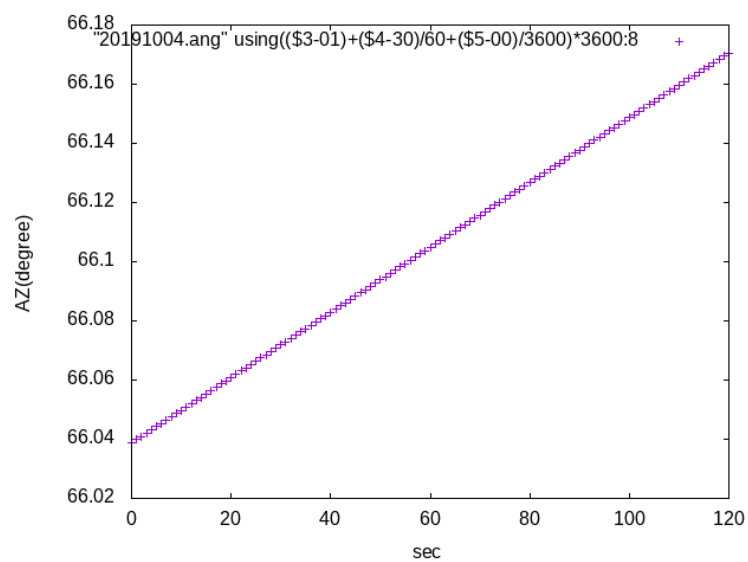


図 27 10/4 01:30:00-01:32:00(図 20 の $x=0-2$)指示値

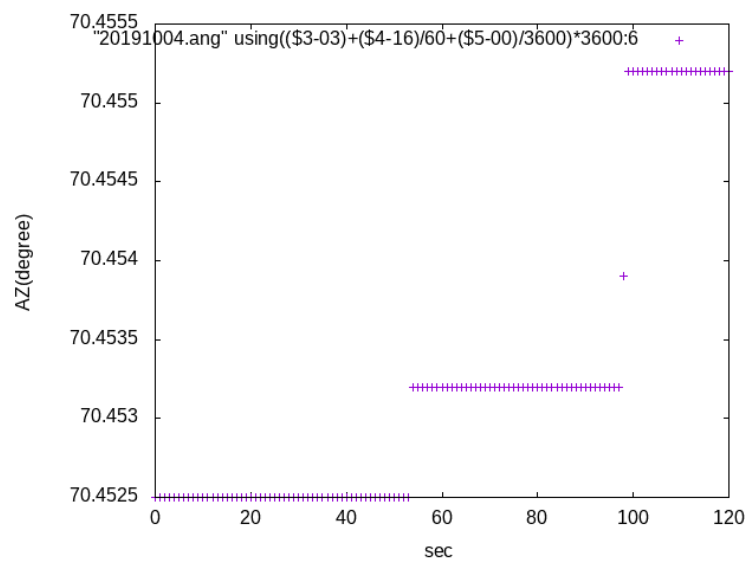


図 28 10/4 03:16:00-03:18:00(図 20 の $x=106-108$)実測値

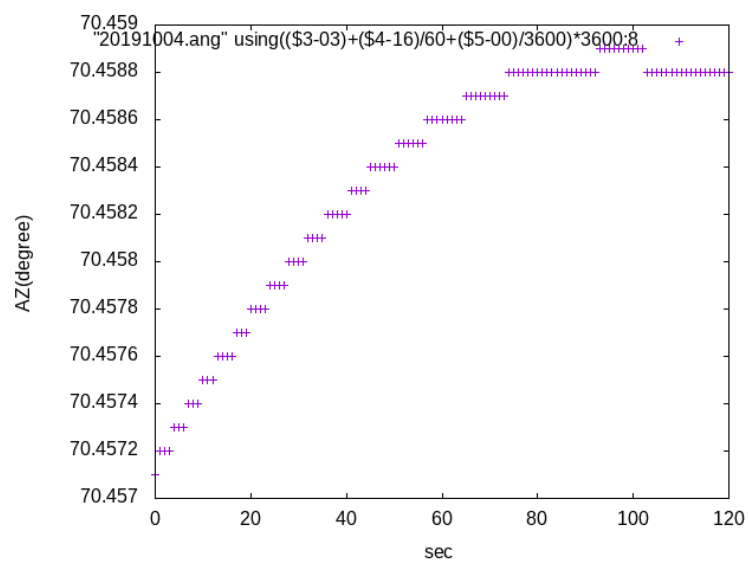


図 29 10/4 03:16:00-03:18:00(図 20 の $x=106-108$)指示値

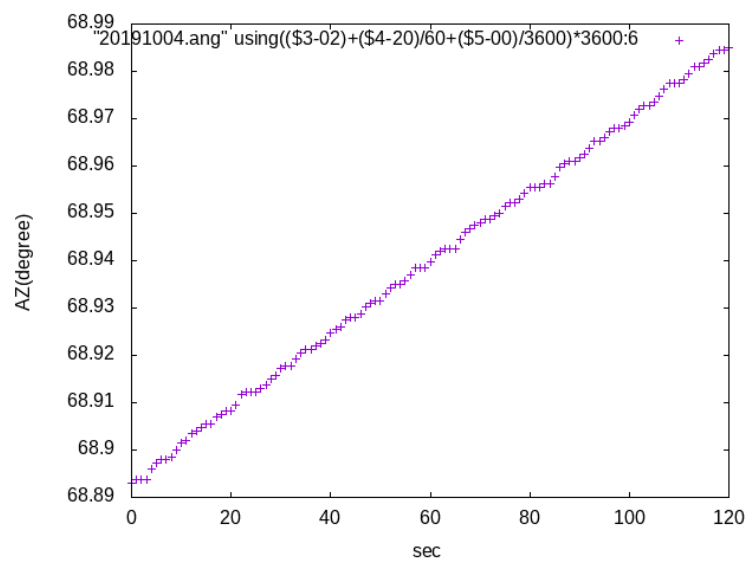


図 30 10/4 02:20:00-02:22:00(図 20 の $x=50-52$)実測値

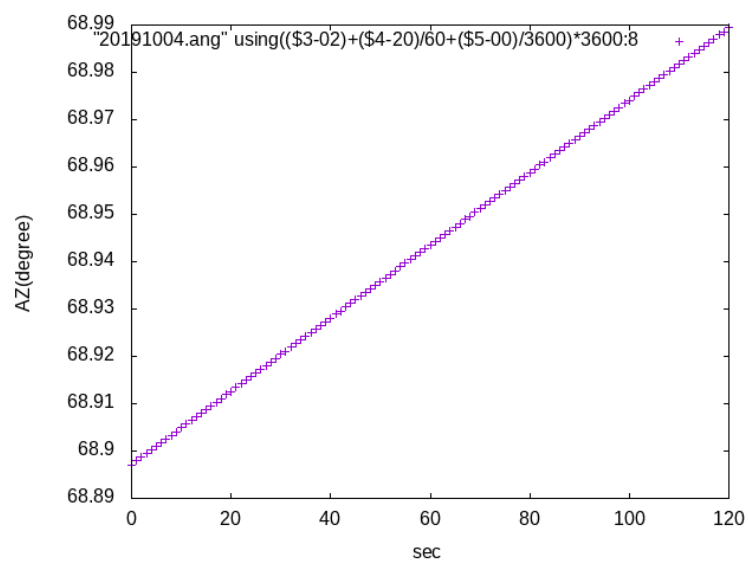


図 31 10/4 02:20:00-02:22:00(図 20 の $x=50-52$)指示値

表 2 で赤く示した 11/4 06:14:40-06:17:00 は EL も振動していた。その区間における EL 及び dEL の図を図 32, 33 として以下に示す。

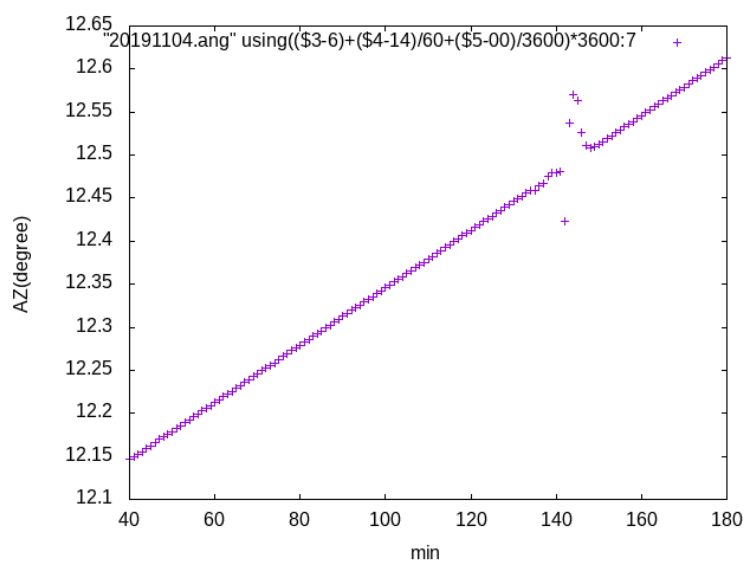


図 32 11/4 06:14:40-06:17:00 EL

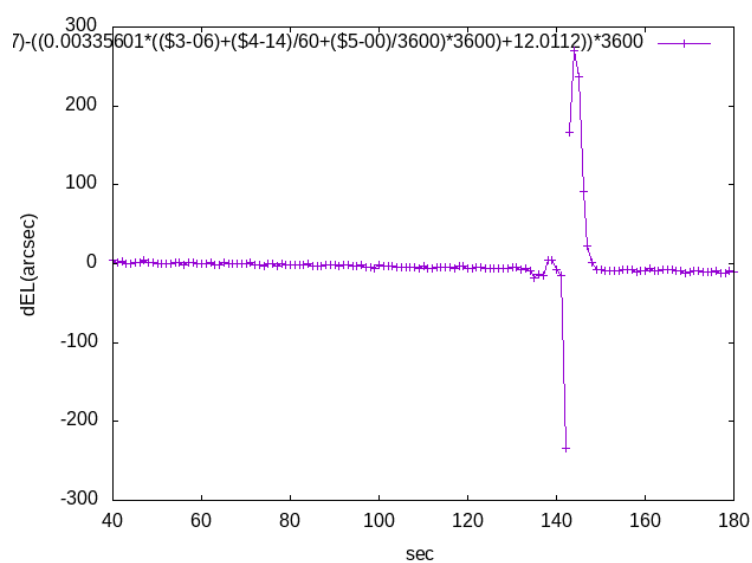


図 33 11/4 06:14:40-06:17:00 dEL

2-3 考察

まずはじめに、9/1 と 9/6 は同じ天体の追尾試験であり開始終了時刻もほとんど変わらないが、ずれの発生時刻が異なっていた。このことからアンテナの駆動が不安定になるという現象は特定の AZ, EL によらない現象であるということがわかる。

次に、AZ のみが振動している場合があった。この原因としてはトルク不足の影響が考えられる。AZ が曲線的に動いていた時を除いたズレ発生時のアンテナの速度を、作成した近似直線の傾きから求めた。その結果を表 3 として以下にまとめる。高萩アンテナの最大駆動角速度は 360arcsec/s であり、追尾試験中の角速度は遙かに小さいため、この現象は低速時の現象であると考えられる。

年月日	発生時刻 (UT)	移動角速度 (arcsec/s)
2019/9/1	10 06 50-10 09 00	15.05
2019/9/6	04 59 50-05 01 20	10.69
	05 25 50-05 27 00	11.42
	05 30 20-05 31 10	11.53
	05 47 25-05 48 35	12.06
	05 49 20-05 49 50	12.14
2019/10/3	06 52 00-06 53 00	4.17
	06 54 00-06 55 00	3.76
2019/11/4	06 14 40-06 17 00	9.03
	07 06 30-07 07 50	9.68

表 3 追尾試験中の角速度

次に、AZ が曲線的に変化していた場合を考える。図 26~31 をみると上記のように実測値の駆動と停止の間隔が指示値よりも長い。この原因としてはアンテナの減速及び加速時にアンテナ本体のギアとモーターのギアの間にあそびが生じてしまい駆動が不安定になった可能性が考えられる。また、このときのアンテナ駆動角速度も低速であるため上記のようにトルク不足の影響も考えられる。

最後に表 2 で赤く示した AZ と EL がどちらも振動していた場合を考える。図 32, 33 を見ると 06:16:00 からの約 10 秒間のみ EL も振動していることがわかる。この原因としては風の影響が考えられる。高萩アンテナがあるアメダス日立観測地点とアメダス北茨城観測地点の風速を図 34 として記載する。赤く囲んだズレ発生時刻の風速を見ると北茨城市の最大瞬間風速が 10m/s を超えており、平均風速も 6m/s を超えている。これは強風であり、この区間の振動は風が一因と考えられる。

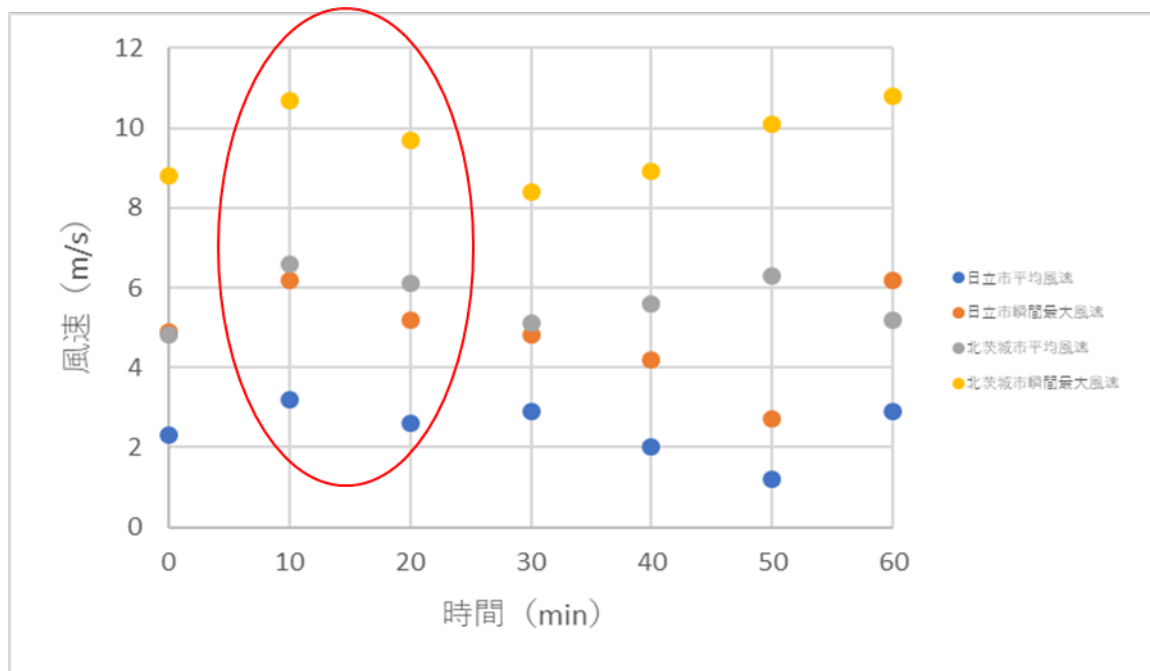


図 34 11月4日 06:00~07:00(UT)の風速
(アメダス日立観測地点、アメダス北茨城観測地点)

1. 気象庁アメダス過去の気象データ検索より
2. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

3 開口能率、ビームパターン測定

3-1 方法

測定は cross scan という方法を用いた。cross scan は下記の図 35 のように点源とみなせる天体を中心に AZ, EL 方向にオフセットをかけ、アンテナを各点に向けた時のフラックス密度を測定する方法である。指向誤差がなかった場合、天体の方向を向いたスキャンの中心で強度がピークとなる。指向誤差があった場合、測定結果を 2 次元ガウシアンで近似しピーク強度を求める。それぞれの測定には天体を追尾し続けながら 50~60 回ほどの cross scan が含まれている。今回は真のフラックス密度 F がわかっている 3C286 と、真のフラックス密度が分からないが強度が 3C286 よりも強い 3C84, 3C454.3, 3C273B の計 4 天体を対象に 8 回の測定を行った。測定の日程と観測対象を下記の表 4 として示す。

この方法で各 EL ごとのフラックス密度を測定し、4 つの天体についてそれぞれ横軸が EL、縦軸がフラックス密度の図を作成する。これらの図は EL に依存しているはずであり、値は異なるが相似型になるはずなので 3C286 は値を変えずに 3C84 を a 倍、3C454.3 を b 倍、3C273B を c 倍し、4 つの図を重ねる。このときばらつきが最小になるように a, b, c を決める。作成した図を 3 次関数で近似する。この関数を $f(EL)$ とすると求めるべき EL 依存性は $\{(3C286 \text{ の真のフラックス密度}) / f(EL)\}$ となる。

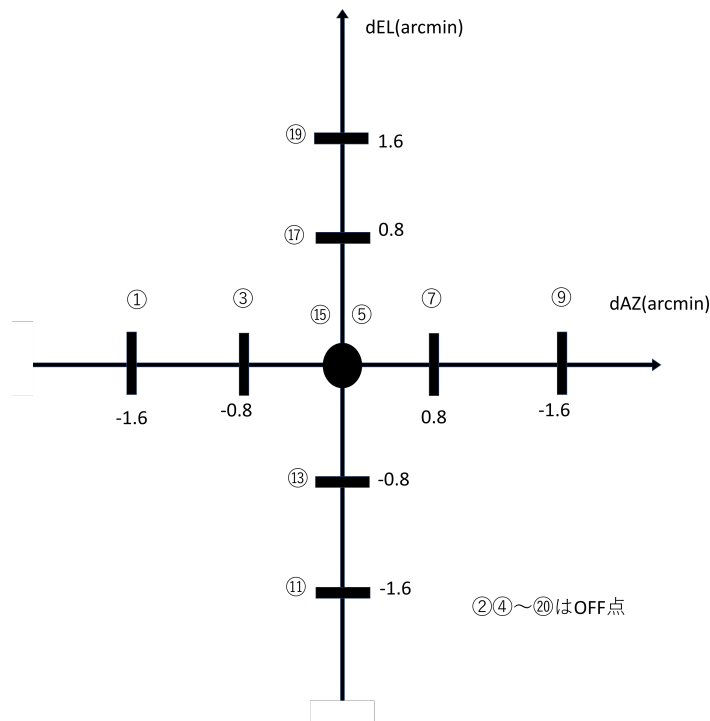


図 35 cross scan

今回は 10 秒観測、35 秒移動の繰り返しとなっている。

測定日	開始時刻 (UT)	終了時刻 (UT)	観測対象
2020/1/4	3:30	18:45	3C84
2020/1/5	0:30	12:45	3C454.3
2020/1/5-1/6	14:45	1:30	3C273B
2020/1/6	3:22	18:37	3C84
2020/1/9	3:10	18:25	3C84
2020/1/9-1/10	14:15	3:30	3C286
2020/1/10-1/11	14:11	3:26	3C286
2020/1/13-1/14	13:59	3:14	3C286

表 4 cross scan 日程

3-2 結果と解析

作成した 4 つの図を図 36~39 として下記に示す。3C286 の結果について、観測されたフラックス密度 F_{obs} と真のフラックス密度 F を用いて $F_{obs} = F \times \eta_A$ より η_A を求める。既知の 22.2GHz におけるフラックス密度 $F = 2.54^1 \text{ Jy}$ を用いると $EL = 49.7^\circ$ の η_A は $\eta_A = 0.701$ となる。同じ EL における 3C286 の 8GHz での η_A は約 0.60^2 であり、一般に、鏡面がでこぼこしている場合は観測周波数が高くなるほど η_A は小さくなるが、今回の測定結果は値が大きすぎるため今後再確認する。また、3C286 以外の 3 天体に関して 5 回の観測を上記の手法で重ねて作成した図を図 40 として下記に示す。今回は強度があまり変わらない $EL = 25 \sim 35$ の範囲でそれぞれの天体のフラックス密度の平均をとり、3C84 を基準とした平均値の比から a, b, c を決めた。それぞれの値は $a=1, b=1.37, c=1.33$ となった。

¹ 参考 <https://science.nrao.edu/facilities/vla/docs/manuals/oss/performance/fdscale>

² 参考 Yonekura et al. 2016

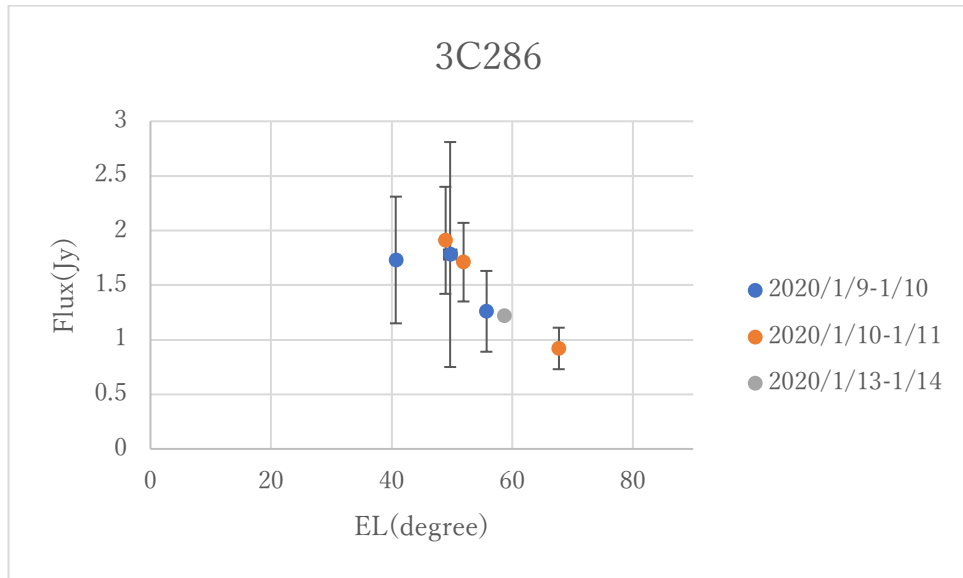


図 36 3C286 cross scan 結果

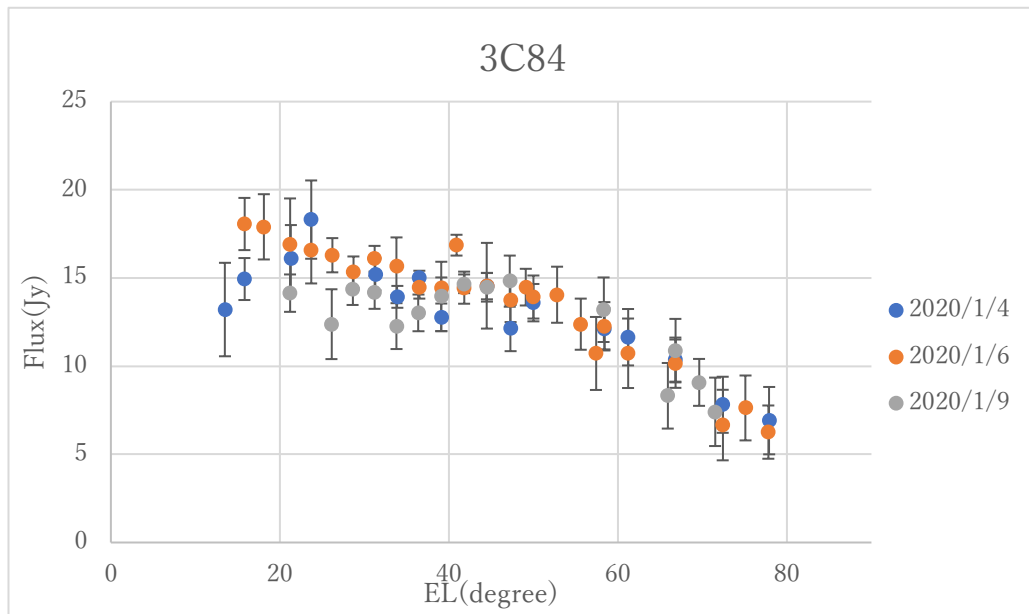


図 37 3C84 cross scan 結果

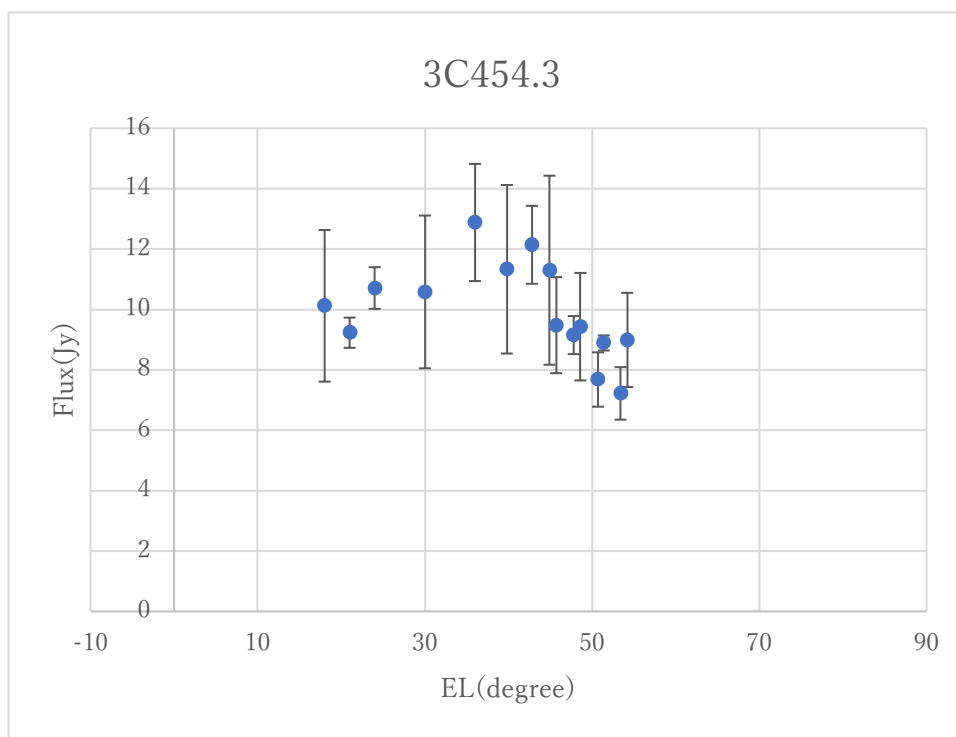


図 38 3C454.3 cross scan 結果

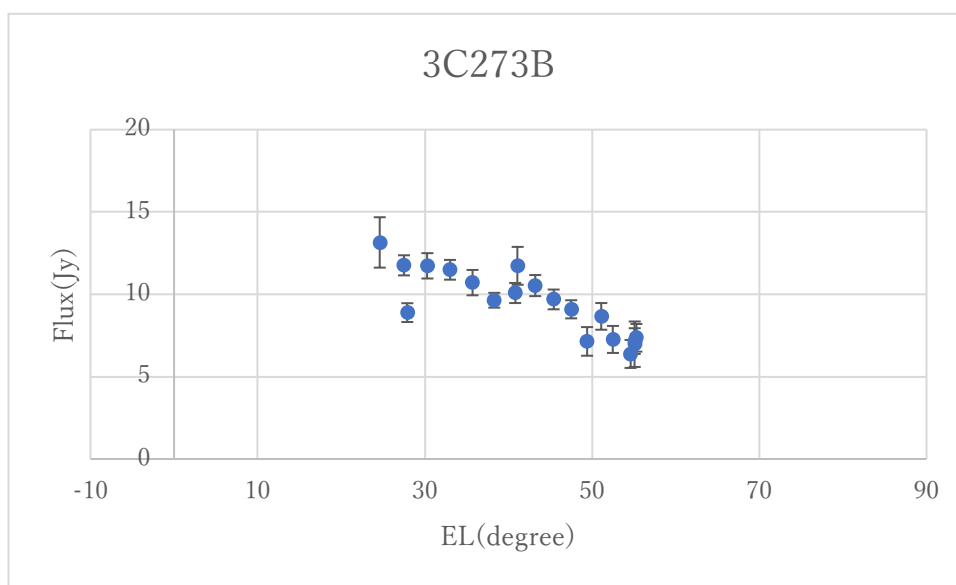


図 39 3C273B cross scan 結果

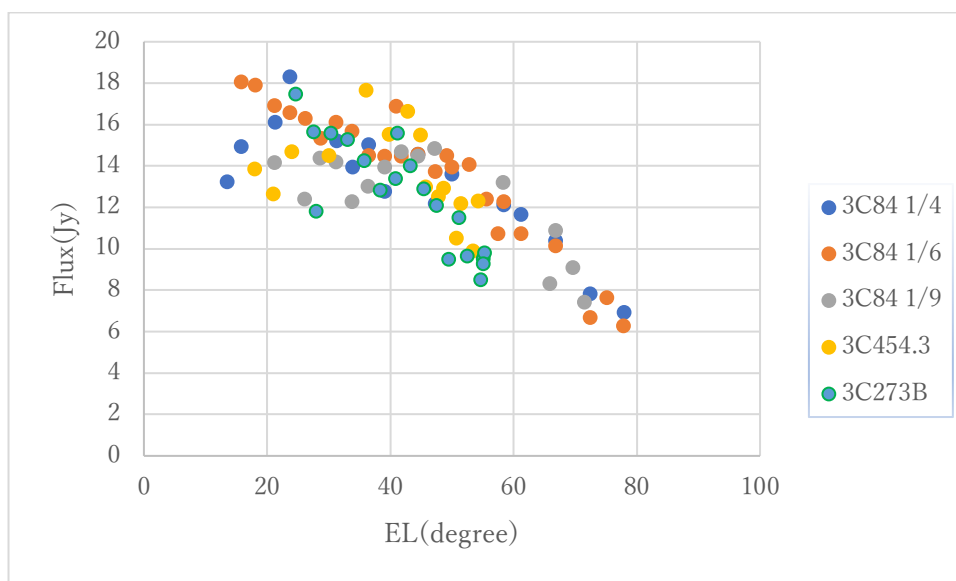


図 40 3C84, 3C454.3, 3C273B を重ねた図

4 まとめと今後

駆動試験の結果より、高萩アンテナは駆動角速度が低速の時、駆動が不安定になり振動することが明らかになり、その可能性としてトルク不足が考えられる。今回の結果からは規則性などは特に見られなかったが、もし規則性があった場合はそれを改善し、高萩アンテナの指向性の改善を目指すのが今後の課題である。

開口能率、ビームパターン測定に関しては、3C286 の測定結果を再確認し、正しい値で開口能率およびその EL 依存性を求めるのが今後の課題である。

謝辞

本研究を進めるに当たって、指導教員である米倉覚則先生には大変お世話になりました。ゼミやポスター発表では百瀬宗武先生にも指導を頂きお世話になりました。感謝申し上げます。また、ゼミや普段の生活、モニター観測では、研究員の方々、先輩方、同期に多くの知識や助言を頂きました。感謝申し上げます。最後に、今まで支えてくださった家族のおかげで、大学 4 年間の生活や研究を充実して進めることができました。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] 気象庁アメダス過去の気象データ検索(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)
- [2] National Radio Astronomy Observatory
(<https://science.nrao.edu/facilities/vla/docs/manuals/oss/performance/fdscale>)
- [3] Yonekura et al. 2016
Publications of the Astronomical Society of Japan (2016), Vol. 68, No. 5, 74