

ポインティング精度の向上について

藤沢健太

1. はじめに

2006年に山口32mで22GHz観測を行うための評価・試験観測を行った。その結果、開口能率が20%以上ある見込みを得て、2007年度には本格的な観測システムの構築へ向けた開発を行なうこととなった。

山口32mで22GHz観測を行うために、指向・追尾精度の改善が必要である。2003年にポインティング測定および追尾精度の向上を実施し、 1σ の残差が0.5分角以下という精度を達成している。しかし22GHz観測ではビーム幅が1.3~1.4分角程度であることがわかっており、精度良い観測を行うためには指向・追尾誤差が0.2分角以下であることが望ましい。

これまでの測定によって、指向誤差には系統的な成分が卓越しており、また8個の機差パラメータでは吸収できないことがわかっている。この原因はエンコーダの非直線性などに起因するものと考えられている。しかしこれまでの測定では全天での指向誤差がどのように分布するのか十分に明らかにはされていない。

22GHz観測システムの構築の一環として、8GHz受信システムを用いて指向誤差の全天分布測定（ポインティング測定）を行ったので、以下に報告する。

2. ポインティング測定

ポインティング測定方法は2003年に実施したのと同じである。天体に対して望遠鏡のビームを少しずつ移動させ、受信パワーの変化を測定することでビームのずれを測定する。今回の測定方法では30秒ごとに2分角のオフセットを重畳し、方位角・仰角それぞれの測定を行い、4分間の周期で1個のデータセットを得る。

測定は2007年3月20日から4月19日の間、よく晴れた8日を選んで実施した。1回の観測で複数の天体を観測したケースもあり、合計で16回の観測が行われた。観測周波数は8.4GHz、システム雑音温度は45-50Kである。観測時間の合計は約80時間である。観測はL/RHCP両円偏波で同時に行なわれた。観測方向が天球面にできるだけ均等に分布するよう、天体は赤緯-40度付近の南天天体(1424-418)から天の北極に近い天体(1803+784)まで11天体を使っている。これらの天体はNEDに記載されたフラックス密度の大きい天体から選択されている。表1に測定のパラメータを記載した。左から観測実施日、開始時刻と継続時間、天体名、フラックス密度、測定を行った角度の範囲である。方位角は6-323度、仰角は7-82度の範囲で測定を行っている。測定の再現性を調べるために、3C273と3C48では同一の方位角・仰角で測定を行った部分がある。測定を行った位置を図示したものが図1である。天頂が図の中心、北が上、東が右側に表示されている。ほぼ全方位・仰角にわたって測定を行ったことがわかる。

表 1. ポインティング測定

実施日	開始時刻 (UT)	継続時間	天体	フラックス ス密度 [Jy]	角度分布
2007/03/20	079-03:00:00	4 時間	3C454.3	10	Az:215-275 El:70-25
2007/03/20	079-07:00:00	4 時間	3C48	3	Az:277-295 El:62-23
2007/03/20	079-12:00:00	8 時間	3C273	30	Az:107-254 El:24-57
2007/03/20	079-21:00:00	6 時間	3C345	10	Az:291-310 El:77-11
2007/03/22	081-08:30:00	2 時間	3C48	3	Az:284-296 El:45-21
2007/03/22	081-11:00:00	4. 5 時間	3C286	3	Az:65-99 El:19-75
2007/03/22	081-15:40:00	1. 5 時間	3C273	30	Az:182-215 El:57-52
2007/03/22	081-11:00:00	6 時間	3C286	3	Az:243-301 El:82-8
2007/03/23	082-00:00:00	2. 8 時間	3C48	3	Az:69-84 El:31-65
2007/03/25	084-11:00:00	8 時間	1803+784	3	Az:6-14 El:24-43
2007/03/30	089-15:40:00	8 時間	NRA0530	5	Az:113-232 El:9-42
2007/04/09	099-12:40:00	5 時間	0831+557	2	Az:316-323 El:59-21
2007/04/09	099-17:30:00	3. 5 時間	0V-236	10	Az:133-171 El:7-26
2007/04/18	108-13:00:00	8 時間	2021+614	3	Az:12-35 El:13-61
2007/04/19	109-14:00:00	4 時間	1424-418	3	Az:159-202 El:9-14
2007/04/19	109-18:00:00	4 時間	3C454.3	10	Az:75-111 El:8-53

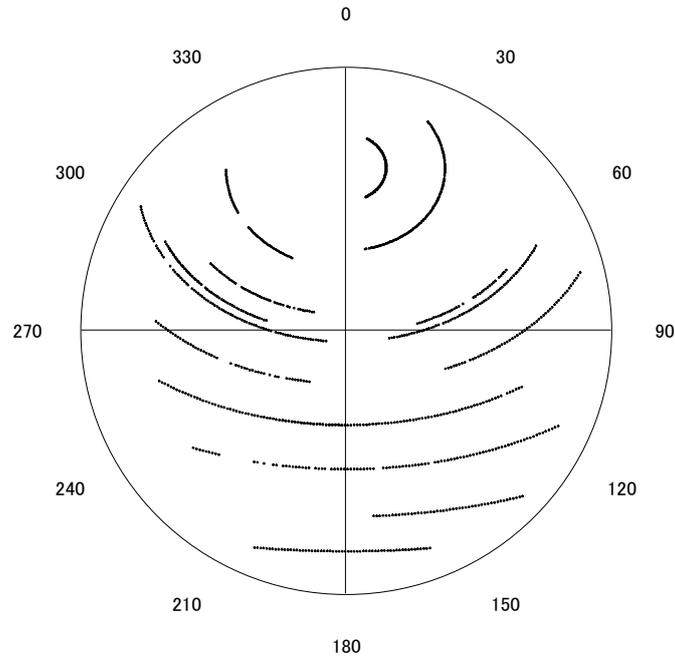


図 1. 測定方向の分布

3. 解析と結果

測定したデータは、やはり2003年の測定と同様の手順で解析を行った。4分毎のオフ点（方位角で30分離れた位置）のデータを直線補間し、各点での受信強度を計算、その値からオフセット値、ビーム幅、ピーク強度を自由パラメータとしてガウス関数でフィッティングした。得られたオフセット値を時系列に表示し、明らかに異常データと思われるものは手作業で除去した。最終的に得られたデータ点数は1061点である。オフセット値を方位角に対して（図2）、また仰角に対して（図3）示す。またオフセット値の平均値、標準偏差、ビーム半値幅を表2に示す。

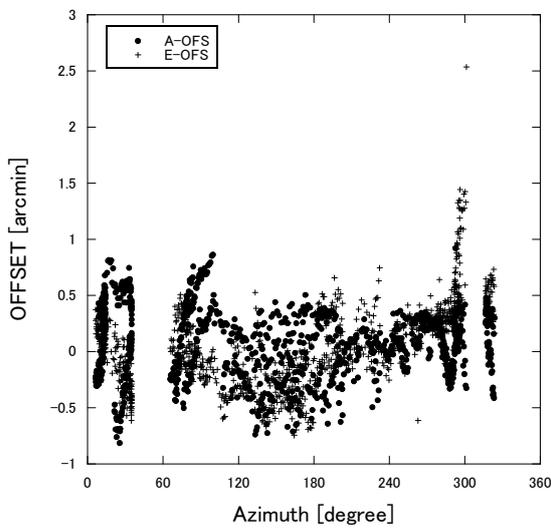


図2. 方位角に対する表示

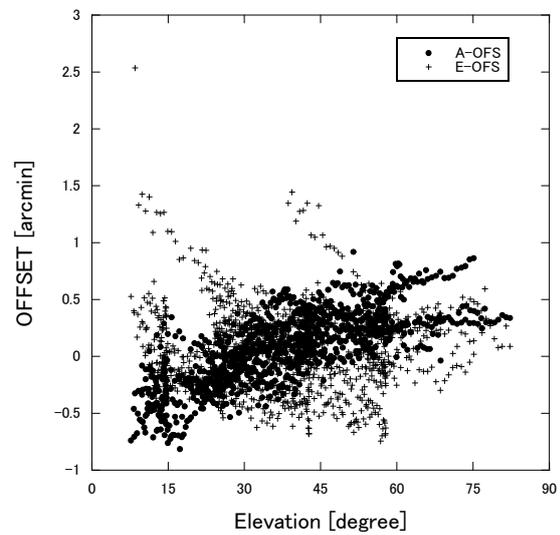


図3. 仰角に対する表示

表2. 測定結果

	オフセット		ビーム半値幅
	平均値	標準偏差	
方位角	0.080	0.317	4.21
仰角	0.071	0.368	4.19

数値の単位は分角。

ビームの半値幅に対してオフセットの平均値は2%程度である。2003年に行われたオフセット補正によって定数成分は除去できていることが明らかである。しかし標準偏差は約8%と大きく、1分角以上のオフセット値を示すデータも存在している。8GHzでは十分な精度であるといえるが、22GHzではビーム幅を超えるオフセット値となり、フラックス密度の測定値に大きな誤差を生む要因となりうる。

オフセット値は平均値の周囲に雑音的に分布しているのではなく、方位角・仰角の関数

として系統的な傾向を示している。方位角・仰角の2次元平面においてオフセット値をベクトルで表現したものが図4である。グリッド線は方位角・仰角共に30度間隔である。

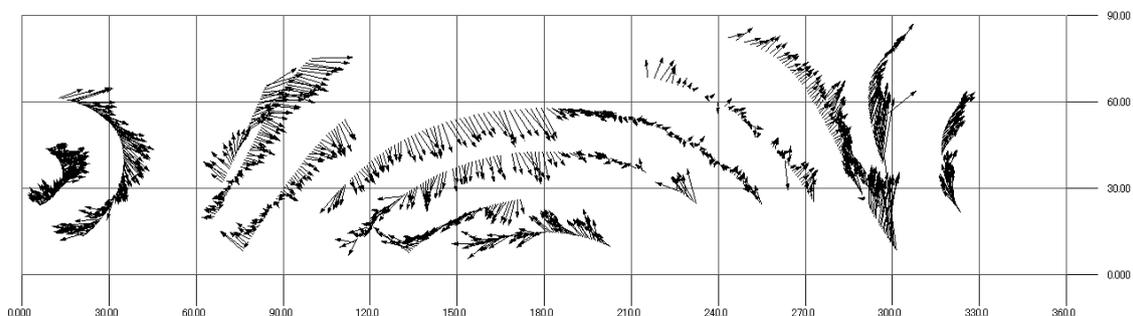


図4. オフセット値のベクトル図

オフセットが方位角・仰角の関数として系統的な値を示すことが明らかである。また、オフセットは

- ・ 再現性は良い
- ・ 比較的近接した方位角・仰角においてもオフセット値は大きく変化することがあるという特徴を示している。

再現性を示す結果として、3C273の測定部分を拡大（方位角：150-210度、仰角：30-60度）して図5に示した。NRAO530の一部も表示されている。2回測定を行っている16点について差を計算し、平均値と標準偏差を表3に示した。

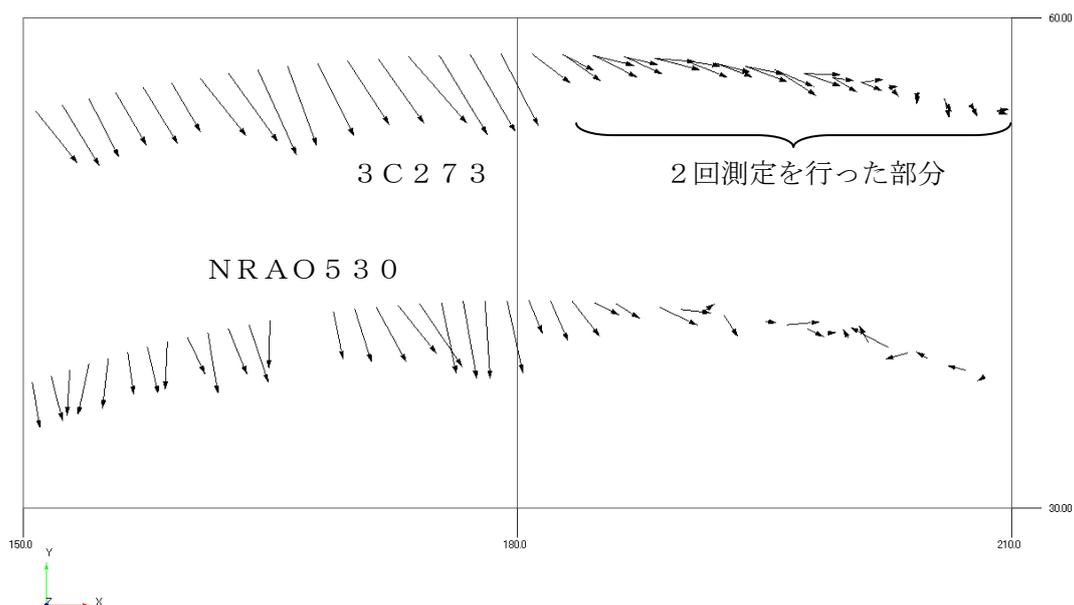


図5. 3C273の測定結果の一部

表 3. 3 C 2 7 3 の測定再現性

	差の平均値	差の標準偏差
方位角	-0.010	0.024
仰角	0.077	0.023

差は0.1分角（6秒角）以下となり、きわめて良い再現性を示している。差の標準偏差は2秒角以下である。この結果から、望遠鏡の追尾精度（追尾の滑らかさ）は22GHzの観測にも十分耐えられる高精度であることがわかる。

しかし、図5からも明らかなように、数度異なる方向でのオフセット値が大きく異なるという現象が見られる。特に方位角180度を越えると仰角オフセットが大きく変化する。このことはNRAO530の測定でも見られる。数度の角度差でオフセット値が変化することは、3C286および3C48に対して行われた東の方角の測定結果（図6）でも明瞭に見て取れる。約5度の角度差で、オフセットベクトルの向きが90度変化していることがわかる。

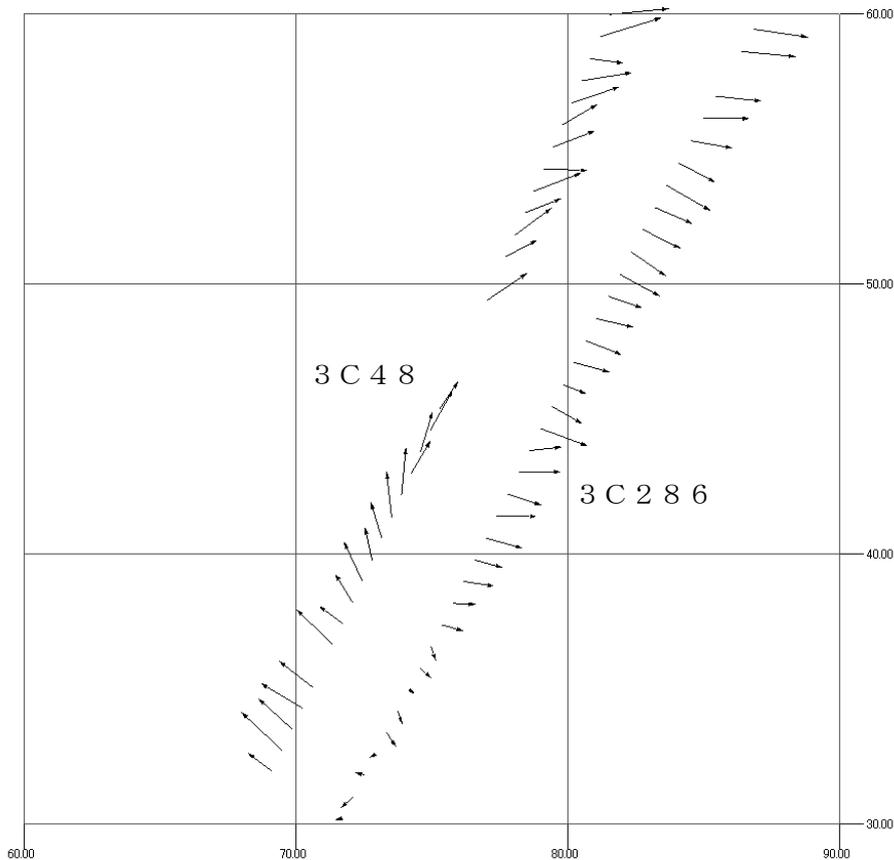


図 6. 東の方向の測定

5度の角度差で変化するオフセット値の分布をモデル化するためには、高次の関数が必要である。球面調和関数で展開する場合、5度の角度分布を表現するためには

$$J = \frac{180}{5} = 36$$

によって36次の方位角量子数 J が必要となる。これは約1000項の多項式で展開することを意味し、現実的でない。

将来の22GHz観測時の対策として、以下の3項目が適当であると考えられる。

- 1) ソフトウェアの改修：できる限り高次の級数展開を行う
- 2) 観測方法の改善：観測中にも頻繁にポインティング測定と修正を行う
- 3) ハードウェアの改修（長期的）：オフセットを生み出していると考えられる角度検出器をより高精度のものに交換する

==以上==