

茨城 32 m電波望遠鏡のアンテナ性能評価

○ 齋藤悠, 森智彦, Soon Kang Lou, 米倉寛則, 百瀬宗武, 横沢正芳 (茨城大学)

Abstract

茨城32m電波望遠鏡(日立・高萩アンテナ)の性能評価の現状を報告する。日立アンテナでは、器差補正モデル式に 180° の項を追加した結果、X帯でRMS = 0.27°と目標値(0.38°)を切ることに成功した。また開口率は、C帯で75 ~ 60% (@ EI = 10 ~ 80 deg)、X帯で73 ~ 55% (@ EI = 20 ~ 80 deg)を得た。一方高萩アンテナの指向精度は、X帯での測定評価の結果、RMS = 2.0°から0.63°に改善した。またX帯における開口率を点状の電波源 (AGN など) の OTF 観測で測定し、EI = 10 ~ 70 deg で55 ~ 60%を得た。

○ 指向精度

アンテナがどれだけ正しく向いた方向を向くかを表す精度。各方向 (Az, EI) を向いた時の Az, EI それぞれの方向に対する指向誤差 (dx, dEI) で評価。

○ 開口率

アンテナが電波を集める効率。アンテナの物理的開口面積を A_p 、有効開口面積を A_e とすると開口率 η_A は $\eta_A = A_e/A_p$ で定義。

● 評価測定・補正手順

- 1. 十字スキャン観測**
 - 位置が既知の点源天体を使用
 - 天体及びそこから Az, EI 方向に offset = $\pm 1.5', \pm 3'$ の方向の連続強度度を測定
 - 各測定は全天に渡る約 50 ~ 100 セットの十字スキャンを、主に夜間〜2 ~ 4日の期間で実施
- 2. 指向誤差量の導出・指向精度評価**
 - 1の測定結果を Az, EI 方向独立にガウスフィット
 - 全天に渡る Az, EI 方向の指向誤差量 $\langle dx, dEI \rangle$ を導出
 - 平均値 AVE, 標準偏差 STD, 及び RMS を計算し、指向精度を評価
- 3. モデルフィット・器差パラメータ値 (A1~A12) の推定**
 - 指向誤差は以下の Az, EI の正弦余弦の多項式で再現可能 (赤字は新たに追加した項)
 - dX, dEI をこれらの式でフィットし器差パラメータ値を推定
 - 推定した値とモデル式から補正値、及び実測値からそれらを用いた残差を計算 → パラメータ適用後の指向精度を予想
$$dX = A1 \cos(EI) + A3 \cos(Az) \sin(EI) + A4 \sin(Az) \sin(EI) + A5 \sin(EI) + A7 + A9 \sin(2Az) + A10 \cos(2Az) \quad (1)$$

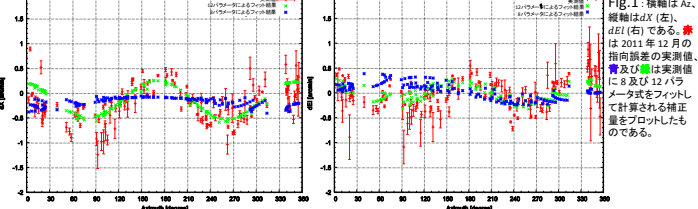
$$dEI = A2 - A3 \sin(Az) - A4 \cos(Az) + A6 \cos(EI) + A8 \sin(EI) + A11 \sin(2Az) + A12 \cos(2Az) \quad (2)$$
- 4. 検証測定**
 - 推定した器差パラメータ値を適用し検証測定 (手順1)
 - 指向精度評価 (手順2)

● 測定手順

- 1. OTF 観測**
 - 点源と見えない強い電波源を使用
 - 天体を中心とした $20' \times 20'$ の範囲の OTF 観測を行い、ビームパターンをマップを取得
 - 開口率の EI 依存性を調べるため多くの EI に渡って OTF 観測を実施
- 2. ピークアンテナ温度の導出**
 - 2次元 (dx, dEI) の軸対称ガウシアンに各マップをフィット
 - ピークのアンテナ温度 T_A を推定した
- 3. 開口率の推定**
 - T_A を用いて、開口率 η_A を導出
 - 天体のフラックス密度 F_ν を既知とすると、 η_A は $kT_A = \frac{1}{2} F_\nu \eta_A A_p$ の関係から求める (ここで k は Boltzmann 定数)

日立アンテナ

1. 背景: 日立アンテナでは2011年12月までに2回の器差パラメータ値の補正を行い、RMS = 0.54°の指向精度を達成した。しかし目標値には達しておらず、8器差パラメータ(A1~A8)のモデル式(8パラメータ式)では再現困難なAz方向に約180°周期の指向精度の変化が見られた (Fig. 1)。そこで180°周期の項(A9~A12)を加え、12器差パラメータの新たなモデル式(12パラメータ式)(1)。(2)を指向誤差にフィットした。この結果をFig. 1に示した。これを見ると、12パラメータ式の方が実際の指向誤差を良く再現できることが分かる。すなわち器差パラメータを増やすことで、指向精度の向上が見込まれた。これを受け、新たなモデル式を用いて測定を行った。



2. 測定: 2011年12月の指向精度測定(11207測定)で得た指向誤差の実測値に、12パラメータ式をフィットし、補正に必要な12個の器差パラメータ値を推定した。そして、この値を適用した検証測定を2012年4月に行った(120412測定)。以下に観測諸元を示した。

Table. 1: 120412測定観測諸元

観測日時 UT (YYDDHHMMSS)	12104093000 ~ 12104211430, 12106093000 ~ 12106205300
τ, T_{sys}	~ 0.01, ~ 20 K
観測天体	1803+784, 2021+614, 4C39.25, 3C286, 1749+096, 3C273B, NRAO530, OV2365
十字スキャン観測数	103
観測周波数帯域, 偏波	8144 ~ 8656 MHz, RHCP

3. 結果: Fig. 2 (a) に120412測定の指向誤差の測定結果を示した。またこれに対する比較として、8パラメータ式による補正を入れた状態での11207測定の結果もFig. 2 (b)に示した。結果的に指向精度は、RMSで0.54°から0.27°に向上し、目標値である0.38°を上回った (Table. 2)。これより日立アンテナでC及びX帯において観測に十分な指向精度を得た。

(a): 12パラメータ式による補正後の指向誤差

(b): 8パラメータ式による補正状態での指向誤差

Table. 2: 120412測定と11207測定の指向精度の比較

	11207測定 実測値	120412測定 実測値
AVE	0.23	0.094
STD	0.49	0.26
RMS	0.54	0.27

単位: (arcmin)

Fig. 2: 右及び中央の図はそれぞれ横軸 Az 及び EI に対する指向誤差量。右図は横軸 dx、縦軸 dEI として指向誤差量をプロットした図である。左と中央において dX, dEI を示す。8パラメータ式で補正した (b) の結果と比べ、12パラメータ式で補正した (a) の結果では指向精度が小さくなったことが分かる。

高萩アンテナ

1. 背景: 高萩アンテナでは制御系を改修し、追尾を正しく行えるようになったことを受け、2012年6月に第1回の指向精度評価測定を行った。

2. 測定: 2012年6月8、10日に第1回目の測定(120608測定)を行った。この測定結果で得られた指向誤差に対して、12パラメータ式をフィットし、補正に必要な器差パラメータ値を推定した。この値を適用し、6月16、17日に検証測定(120616測定)を行った。以下にこれらの測定の観測諸元を示した。

Table. 3: 120608及び120616測定観測諸元

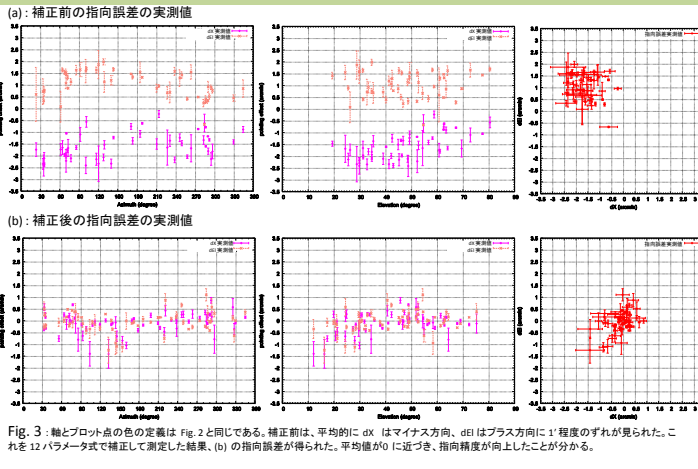
	120608測定	120616測定		
観測日時 UT (YYDDHHMMSS)	1216010000 ~ 12160211210	1216210000 ~ 12162200710	12168093000 ~ 12168204210	12169093000 ~ 12169193710
τ, T_{sys}	~ 0.01, ~ 22 K	~ 0.01, ~ 23 K	~ 0.02, ~ 27 K	~ 0.01, ~ 23 K
観測天体	1611+343, 1749+096, 1741+038, 1920-211, 2013+370, 3C45, 2021+614, 0212+735	86		
十字スキャン観測数	86			
観測周波数帯域, 偏波	8144 ~ 8656 MHz, RHCP			

3. 結果: Fig. 3 (a) に補正前、及び (b) に補正後の指向誤差の実測値を示した。また指向誤差の RMS 等の値を Table. 4 にまとめた。補正前は dx, dEI とともに平均で1'以上のずれがあったが、補正により大きく改善し、指向誤差の平均値 (AVE) は約0.1°となった。RMSは約2'から0.63'に改善した。しかし目標値(0.38')には達していないため、今後も測定及び調整が必要である。

Table. 4: 120608及び120616測定結果の指向精度の比較

	\overline{dX}	σ_{dX}	\overline{dEI}	σ_{dEI}	AVE	STD	RMS
120608測定 実測値	-1.6	0.56	1.0	0.56	1.9	0.79	2.0
120616測定 実測値	-0.10	0.45	-0.042	0.44	0.11	0.63	0.63

単位: (arcmin)



開口率

1. 背景: 高萩アンテナにおける開口率の測定を、指向精度評価と同時にを行った。

2. 測定: 強度は弱いとその値が正確に分かっていない天体3C123と、強度は強いとその値が変動する天体3C273B及び3C84に対してOTF観測を行った。まず3C123の測定結果から開口率を求めた。そして3C273B及び3C84の強度(フラックス密度)を、それぞれEI = 34°, 65°での3C123の開口率の値を用いて推定した。測定に要した1日程度の時間でこれら2天体の強度は一定であると仮し、他のEIの測定結果にもこの強度を適用し、より正確な開口率の値を推定した。Table. 5に観測諸元をまとめた。

Table. 5: 開口率測定観測諸元

観測天体	観測日時 UT (YYDDHHMMSS)	観測方位 (degree)	τ, T_{sys}	観測周波数帯域, 偏波
3C84	12192233000 ~ 12193013020	73 ~ 59		
3C273B	12193022000 ~ 12193074920	7.2 ~ 5.5	0.01, 22K	8144 ~ 8656 MHz, RHCP
3C123	12193165000 ~ 12193231420	5.6 ~ 7.7		

Fig. 5: 高萩アンテナのビームパターン (@EI=37°)

3. 結果: 高萩アンテナの開口率の測定結果を Fig. 4 (a) に示した。これよりX帯での開口率は最大値60%程度 (EI = 35° 付近) で、低及び高仰角で55%程度に低下すると分かった。Fig. 4 (b) に示した日立アンテナのX帯での開口率と比較すると、EI依存性は小さいが、全体的に開口率は低いことが明らかとなった。 (Fig. 5は EI=37°での高萩アンテナのビームパターンのマップである。主ビームは軸対称であることがこれより確認できる。)

