

茨城 32m 電波望遠鏡・日立アンテナ能率測定

栗橋潤、齋藤悠、滝沢美里、田中智明、米倉覚則、百瀬宗武、横沢正芳 (茨城大学)

茨城 32m 電波望遠鏡日立アンテナでは 2011 年 6 月に仰角 (El) $20^\circ - 80^\circ$ の範囲で、8.4GHz 帯の開口能率 η_A とビームパターンの測定が行われている。4C39.25 を用いた測定であり開口能率は $El = 20^\circ$ における $\eta_A = 0.75$ から高仰角になるにつれ徐々に低下する事、メインローブは軸対称である事、サイドローブはメインローブのピークに対し約 3 % 程度の強度である事、また高仰角においてサイドローブの一部が消失してしまうことが分かっている。しかしその測定において 20° 以下の低仰角はスカイラインの為測定できなかった。今回はより広い El 範囲を調べる為、また他天体による再現性の確認をする為追加測定を行ったので報告する。

1 測定

観測天体はビームサイズ (約 3.8 [arcmin]) に対して広がり十分小さく点源と見なせる天体のうち、フラックス密度 S_ν [Jy] が正確に分かっており強度変動の少ない 3C286 を選んだ。物理的開口面積が A_p [m²]、開口能率 η_A であるアンテナで S_ν の点源を観測したときのアンテナ温度を T_A^* [K] とすると、

$$kT_A^* = \frac{1}{2} S_\nu \eta_A A_p \quad (1)$$

と表される。これらの関係より η_A を求めた。しかし 3C286 は絶対強度自体は弱く測定による相対誤差が大きくなってしまふので精度の良い測定を行う事ができない。その為強度変動が激しく絶対強度は不明であるが、フラックス密度が 20 [Jy] 以上と大きい 3C273B も測定した。ただし強度は測定における時間スケール (半日程度) では変化しないものと仮定した。3C273B による η_A の算出は、ある仰角で得られた測定結果 T_A^* には同じ仰角で得られた 3C286 の η_A が適用できるとして S_ν を推定し、様々な仰角における 3C273B での η_A を再度式 (1) を用いて計算した。

JST	観測天体	赤経 (RA)	赤緯 (DEC)	フラックス密度 S_ν [Jy]	
				@8400MHz	測定 El 範囲
10/12 05:00-13:15	3C286	13 31 08.288	+29 40 13.819	5.20	$9^\circ - 83^\circ$
10/26 04:15-10:40	3C273B	12 29 06.700	+02 02 08.598	約 28	$7^\circ - 55^\circ$

表 1 測定天体と諸元。フラックス密度は Ott et al. 1994 による。ただし 3C273B のフラックス密度は実際の測定値から推定した値である。

測定は 2011 年 10 月に行い、天候は快晴だった。また観測時の T_{sys}^* は 両日とも LHCP = 30 [K]、RHCP = 24 [K] であり τ は 0.010 であった。観測周波数帯域は 8400MHz \pm 256MHz であり、LHCP \cdot RHCP の両偏波をそれぞれパワーメータで測定した。また VEE で作成された取り込みソフトでデータを記録した。On The Fly 法というアンテナを天体に対して連続的に動かし、広範囲を短時間でマッピングする測定方法で行った。今回は点源に対して $20[\text{arcmin}] \times 20[\text{arcmin}]$ の範囲を仰角方向の間隔 $dEl = 1[\text{arcmin}]$ で方位角 (Az) 方向に $20[\text{arcmin}]$ のスキャンをした。20 秒で 1 回の Az スキャンを行い、デー

タは 1 秒間に 5 点取得した。これはビームサイズに対しサンプリングが十分に密である事に対応する。合計 21 回の Az スキャンを繰り返し、約 10 分で 1 枚のマップが得られた。点源を追尾しながらマッピングする事で様々な El でのマップを得た。メインローブは軸対称なガウス関数であるとし、各マップ毎に $P(dAz, dEl) = a \exp \left[-4 \ln(2) \frac{(dAz-b)^2 + (dEl-c)^2}{d^2} \right] + e$ のモデル式に最小自乗法で近似しピーク強度 a を推定した (式中で b, c は指向誤差、 d は半値幅 θ_{HPBW} 、 e はベースラインを表すパラメータである)。

2 結果、考察

■ビームパターン 3C286 は $El = 9^\circ - 83^\circ$ の範囲で 34 枚、3C273B では $7^\circ - 55^\circ$ で 35 枚のマップを得た。得られたマップをそれぞれのピーク強度で規格化しビームパターンとした。図 1 は 3C286 の結果の一例である。 $El = 20^\circ$ より 30° 毎に任意に選び、LHCP・RHCP 共に示した。

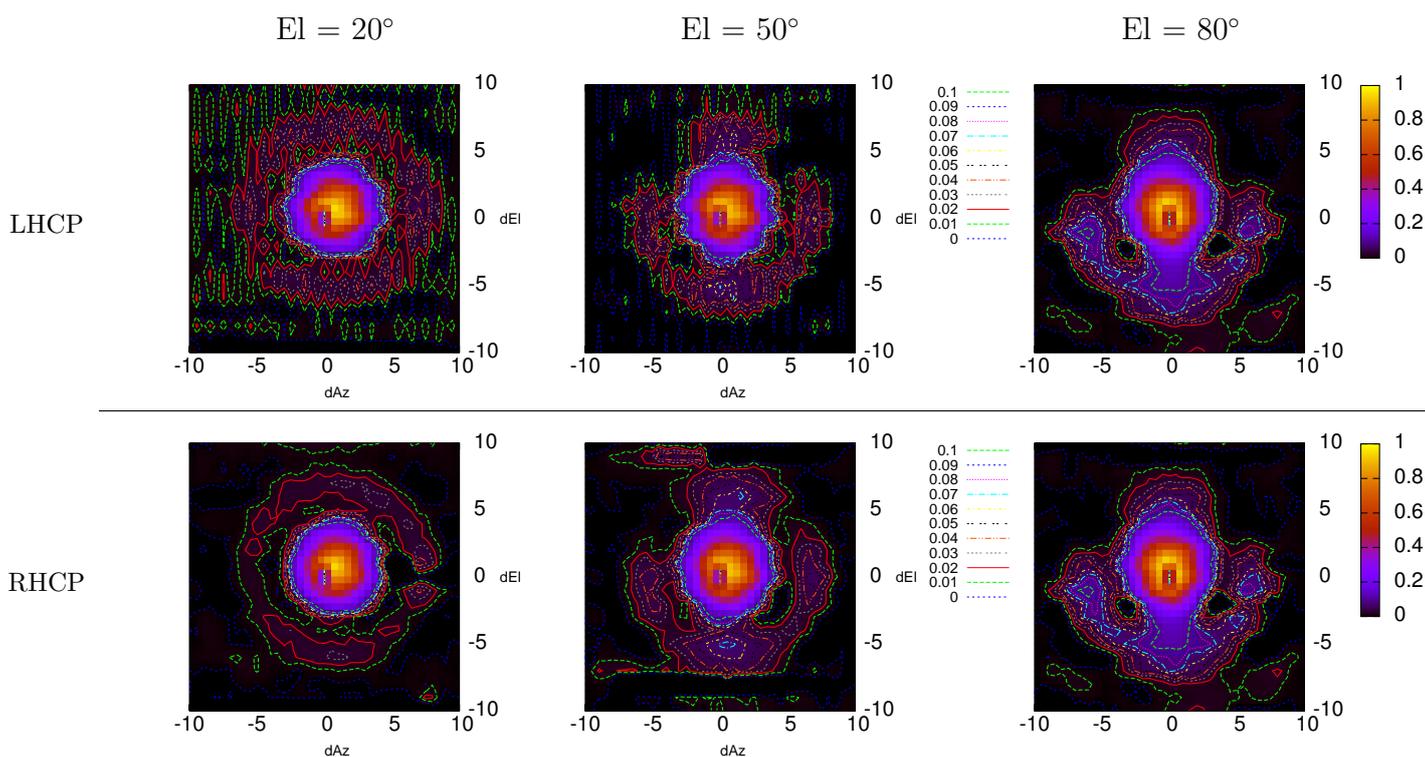


図 1 8GHz 帯におけるビームパターンの仰角依存性。サイドローブ強度を見る為主ビームピーク強度の 0.1 以下に 0.01 (1%) ごとのコントラストも表示した。オフ点は各 Az スキャンをした際の $dAz = -10[\text{arcmin}]$ と $+10[\text{arcmin}]$ の測定値 (実際にはそれらを線形補完したもの) としており、正しくオフ点をとれていない (第 2 サイドローブを見ている可能性がある)。LHCP @ $El = 20^\circ$ においてベースが揃っていない (1% のコントラストがある) のはこの為である。

メインローブやサイドローブ強度等のビームパターン形状は 2011 年 6 月の結果とほぼ同様となった。高仰角においてサイドローブの上側が消失してしているのは主鏡の重力変形による焦点面の変化に合わせて副鏡位置を調節できない事が影響していると思われるが、十分な検証が必要である。また、LHCP と RHCP では残差が約 3% で一致している事がわかった。

■開口能率 開口能率の測定結果を仰角に対して示したものが図2と図3である。エラーバーはガウス関数にフィッティングした際のエラー値と測定誤差を足し合わせたものである。どちらの天体においても誤差の範囲で一致しており再現性が確認された。 η_A は LHCP と RHCP 共に $El = 20^\circ$ 付近で約 0.72 程度で最大となり、 El が大きくなるにつれて悪化し $El = 75^\circ$ 付近では約 0.52 程度となった。またこの結果を El を関数とする 3 次多項式の近似曲線とした。

$$\eta_{Ls}(El) = 1.37912 \times 10^{-6} El^3 - 0.000207815 El^2 + 0.00621504 El + 0.657819, \quad (2)$$

$$\eta_{Rs}(El) = 1.0603 \times 10^{-6} El^3 - 0.00017171 El^2 + 0.00498983 El + 0.670286. \quad (3)$$

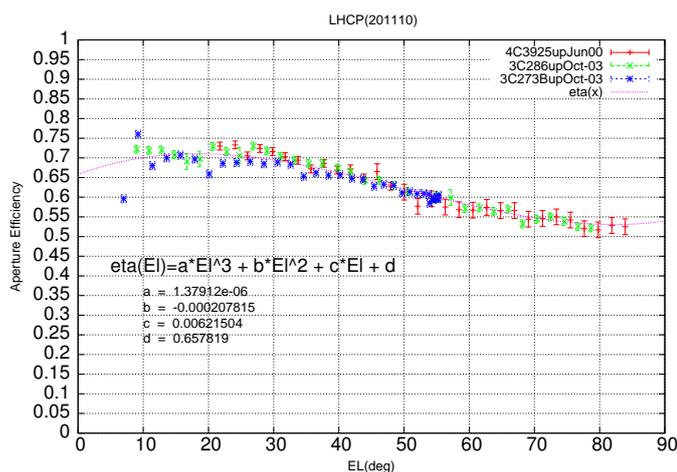


図2 8.4GHz 帯 LHCP の開口能率

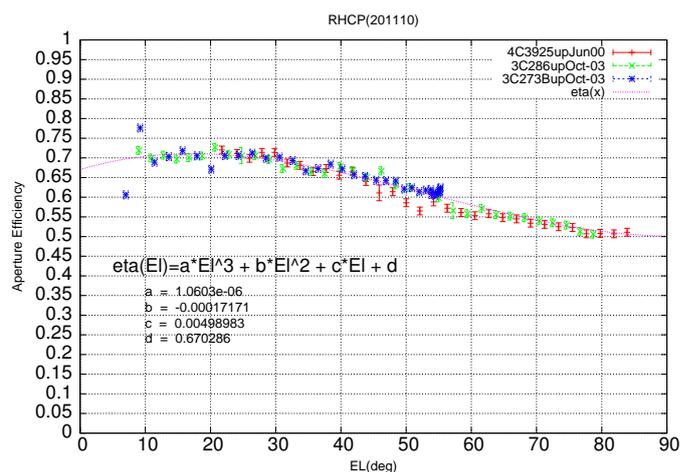


図3 8.4GHz 帯 RHCP の開口能率

仰角依存性により開口能率が低下する原因として鏡面誤差による影響が考えられる。アンテナの理想放物面からのズレを ϵ [m] とすると鏡面誤差により低下した能率 η_{sf} はルッツの式 $\eta_{sf} = \exp\left[-\left(\frac{4\pi\epsilon}{\lambda}\right)^2\right]$ で表される。日立アンテナにおける鏡面誤差は三菱検査報告書(昭和 58 年)より $\epsilon = 0.414$ [mm] (@ $El = 35^\circ$)、 $\epsilon = 1.07$ [mm] (@ $El = 90^\circ$)である。近似曲線より $El = 35^\circ$ において $\eta_A = 0.68$ であるが、上記の鏡面誤差のみを受ける場合ルッツの式より $El = 90^\circ$ において 0.60 と計算される。これは実際の測定(近似式より $\eta_A = 0.53$)と一致しない。これより η_A 低下の原因は鏡面誤差が昭和 58 年当時よりも悪化している可能性、その他スピルオーバー等開口面上の照射パターンが仰角により変化しているという事が考えられる。

3 今後の課題

今後は上記のような仰角依存性原因の検証、6.7GHz における開口能率測定を行う必要がある。