

山口32m電波望遠鏡のビームパターン測定

藤沢健太

1. はじめに

ビームパターンは鏡面の照射分布を反映しているためアンテナの特性を表す重要なパラメータである。また観測を行う上ではメインローブ・サイドローブパターンを知っておくことが観測結果の解釈において必要となる。

山口32mはポインティングを行った際の副産物としてAz/E1角方向のビーム半値幅が4.1分角と得られているが、詳細なビームパターンはこれまで測定されていなかった。今回、8GHzでのビームパターンを測定したので以下に報告する。

2. 測定

2-1. 測定方法

今回は8GHzの給電部で測定を行った。受信機は1CH（LHCP側）である。測定ではアクティブスキャン、すなわちアンテナを対象に対して能動的に動かしながら受信強度を測定する方法を用いた。測定に用いた天体は、強度が大きく角サイズがビームに対してじゅうぶんに小さいという条件から3C273（約30Jy）を採用した。受信パワーを測定する部分はポインティング、IDV観測で用いられている方法と同一である。測定日は2004年3月28日（#1）、同30日（#2）、同31日（#3）、4月4日（#4）の4回である。

スキャン方式はラスタースキャンである。例えばAzが増える方向に1回スキャンし、次にE1を少し変化させて再びAzが増える方向のスキャンを行う。1スキャンは25回の測定からなる。ビームサイズと追尾特性（1分角のオフセットには数秒で収束・追尾する）を考慮し、1分角毎にグリッドを設定し、各グリッドに時間で10秒間滞在する。したがって250秒間で長さ25分角の1スキャンを得ることができる。これを垂直な方向に1分角ずらしながら25回測定する。これで1分角間隔の25×25点のマップデータを得る。実際にはポインティングが時間と共にずれる可能性があるため、2回のスキャン毎にポインティングの測定を行った。この測定シーケンスにより、1マップデータを得るのに約3時間半必要である。3C273が適当な仰角にある条件を考慮すると、1回（1日）の観測で1枚のマップが得られることになる。#1と#3の観測ではスキャンはAz方向に、#2と#4ではE1方向にスキャンした。表1に観測をまとめた。

表1. 観測のまとめ

	観測日	観測時間 UT	仰角	スキャン	その他
1	3月28日	12:00-15:30	35→57	Az	快晴
2	3月30日	13:00-16:30	46→57→55	E1	快晴
3	3月31日	13:00-16:30	47→57→53	Az	快晴
4	4月4日	13:00-16:30	49→57→53	E1	快晴

天体：3C273 (RA=12h 29m 6.6997s, Dec=2° 3' 8.5958" epoch=J2000.0)

2-2. 時刻あわせ

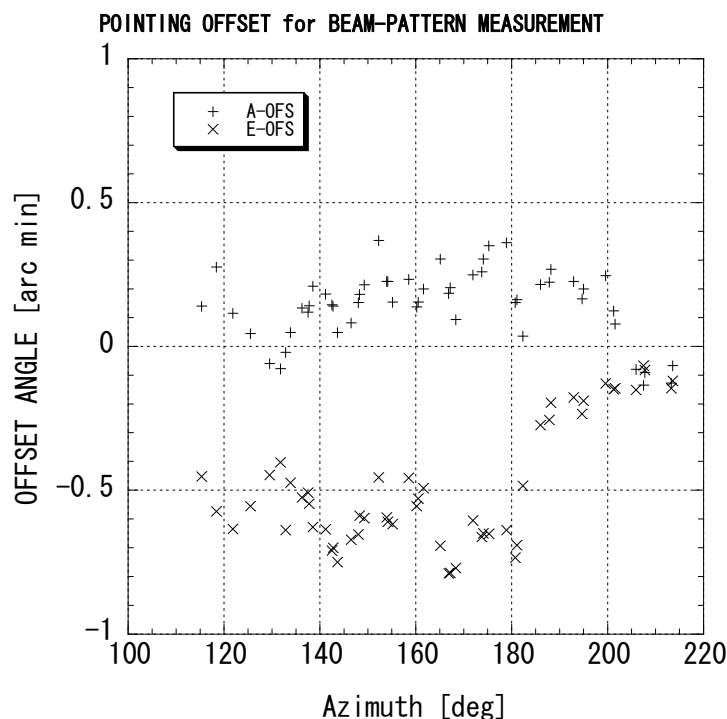
追尾システムの n t p が正常に動作するようになったため、追尾側では時刻の設定は行っていない。時刻を取得しているサーバは高度情報システム www.info.sci.yamaguchi-u.ac.jp である。時報 1 1 7 で確認した結果、追尾システムは 0.5 秒以下の精度で J S T に一致している。

3. 結果と解析

3-1. ポインティング測定結果

ポインティング測定の結果を図 1 に示す。図の + は方位角方向、× は仰角方向のオフセット角であり、方位角に対してプロットされている。方位角方向のオフセットは平均 + 0.15 分角、標準偏差 0.12 分角でほぼ一定値を示しているが、仰角方向のオフセットは方位角 = 180 度をはさんで 0.5 分角程度の「飛び」を示している。この大部分はアンテナの追尾システムによるものである。アンテナが指向する方向は指示角に対して常にわずかの遅れをともなっている。そのため方位角が 180 度までの仰角上昇中は指示値に対して低い側にオフセットし、方位角が 180 度を超過して仰角が低下をはじめると指示値に対して高い値をとる。その残差は 0.002 度程度であり、180 度をはさんだ飛び値は 0.004 度 = 0.24 分角となる。実際にはその倍近い飛びが観測されているが、これは器差補正で吸収されなかったアンテナ固有のパラメータによるものと考えられる。

0.5 分角は FWHM (4.1 分角) に対して 12% 程度の大きさである。測定間隔が 1.0 分角であることを考えると、これはヌル点の測定では影響を及ぼしうる大きさであるが、サイドローブの高さや形にはあまり影響を及ぼさない。したがって今回の解析では補正は行わなかった。



3-1. データ

図2に観測データの例を示す。

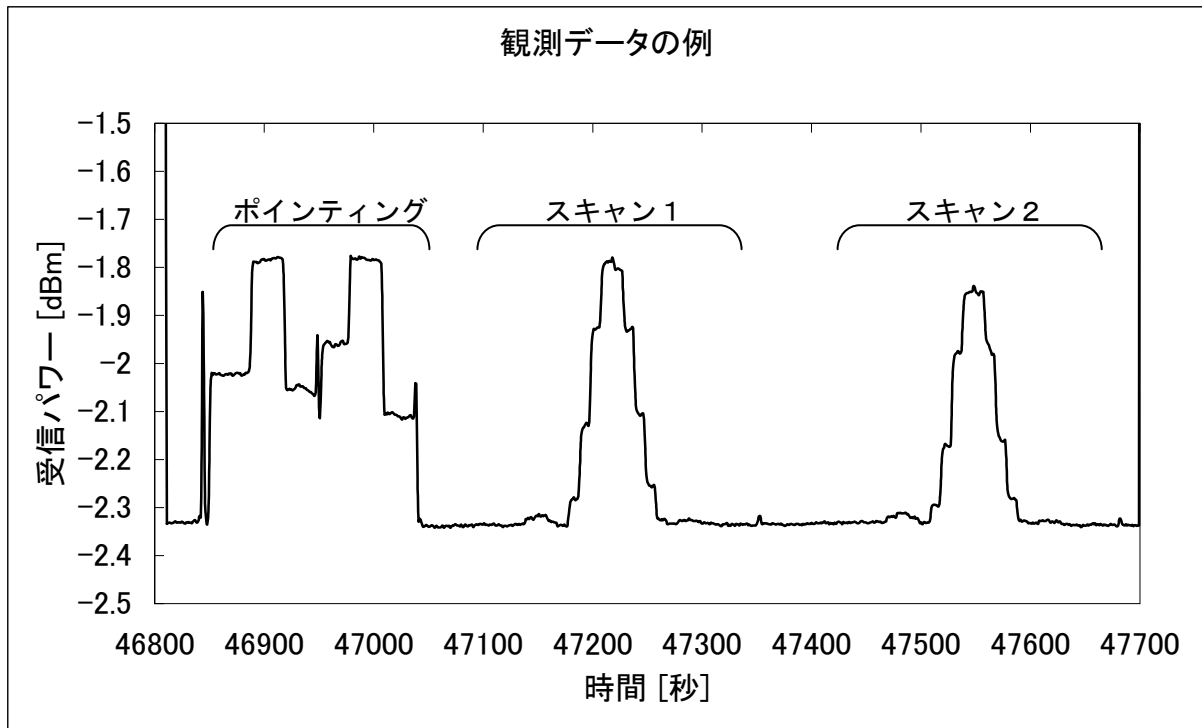


図2. 観測データの例

観測した連続取得データから、各点の滞在時間10秒から3-6秒のデータを平均化して1点のデータとした。

次に、スキャン方向に対してドリフトの除去を行った。まず、どのスキャンもスキャンの前半と後半それぞれにヌル点またはじゅうぶん受信強度が小さい点を含んでいる、ドリフトは直線的であると仮定した。補間直線の選択のため、まずスキャンの最初の10点と最後の11点から任意の1点を選んで補間直線を計算した。10×11=110種類の補間直線のうち、ベースラインとして差し引き計算した場合に、25点からなるスキャンのうち0以下になる値が4点以上発生する場合は不适当として除去した。この条件を満足した補間直線のうち、差し引き計算をした結果の自乗和が最も小さくなるものを最適ベースラインとした。その結果、

- ・負になる値が少ないというもってもらしさの実現
- ・異常値をベースラインとして採用してしまう誤りを避ける

ことができた。しかし上記の手続きはかなり経験的なものであり、この測定にのみ適用できるものであることに注意しなくてはならない。

ベースライン補正を行った結果、4枚のマップが得られた。これらのマップに対してピーク強度が一致するように適当な係数を掛けた後、平均化した。またピークが1となるように規格化した。

今回の測定では、方位角方向と仰角方向それぞれについて測定を行ったが、これらを互いに組み合わせた編みこみ平均操作は行っていない。これは今後のマッピング観測における課題である。

3-4. 結果

測定によって得られたビームパターンを図3-7に示す。図3は直線スケールで表示したビームパターンで、鳥瞰図で表している。大きなメインビームの周りに弱いがはっきりとしたサイドローブが取り囲んでいることがわかる。

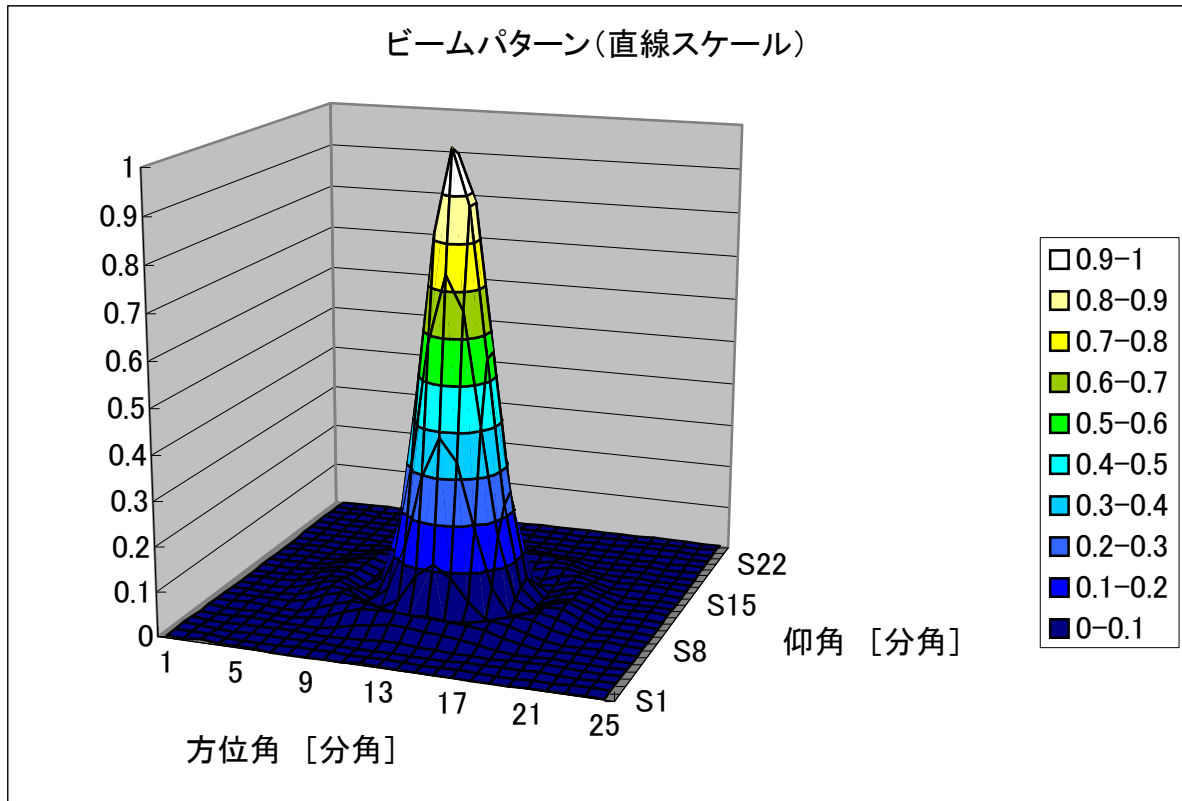


図3. ビームパターン (直線スケール、鳥瞰図)

これをより詳細に表示するためにdBで表示したものが図4である。はっきりとサイドローブが見られ、またその形状が中心軸に対して対称でないことがわかる。図5は図4を色つき等高線図として表したものである。第1サイドローブの高さは南側が最大で-14dB、第1サイドローブより外側ではメインビームに対して-20dB以下となっていること、-20dB以下のパターンはノイズによる影響が大きいため明瞭ではないが、第2サイドローブと考えられるリング状の構造存在することなどが見られる。第1サイドローブの非対称性は仰角方向でいちじるしく、仰角の大きい側(上側)のビームはサイドローブが低く、下側のサイドローブは高い。これはメインビームを含む方位角方向のスカン(図6)、仰角方向のスカン(図7)で明瞭である。第1サイドローブの高さは、方位角方向では1dB以内で一致しているが、仰角方向では3dB(2倍)以上の差がある。

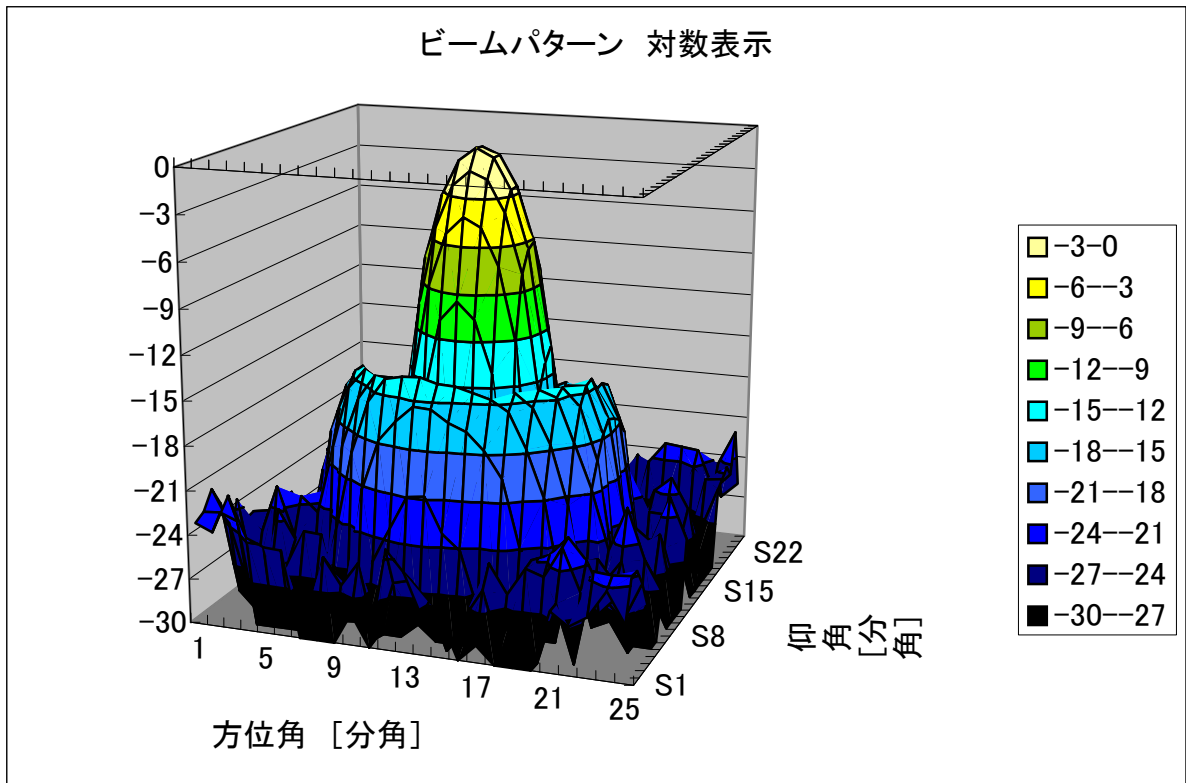


図4. ビームパターン (対数スケール、鳥瞰図)

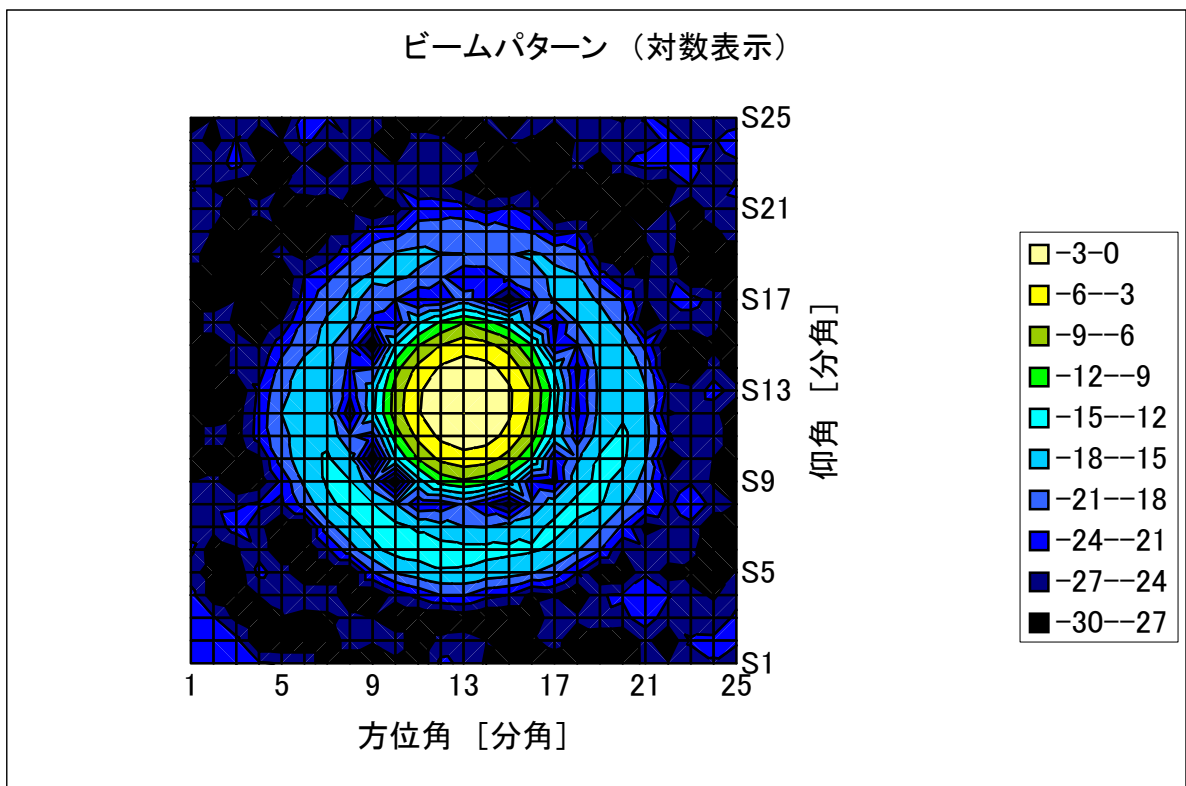


図5. ビームパターン (対数スケール、色つき等高線図)

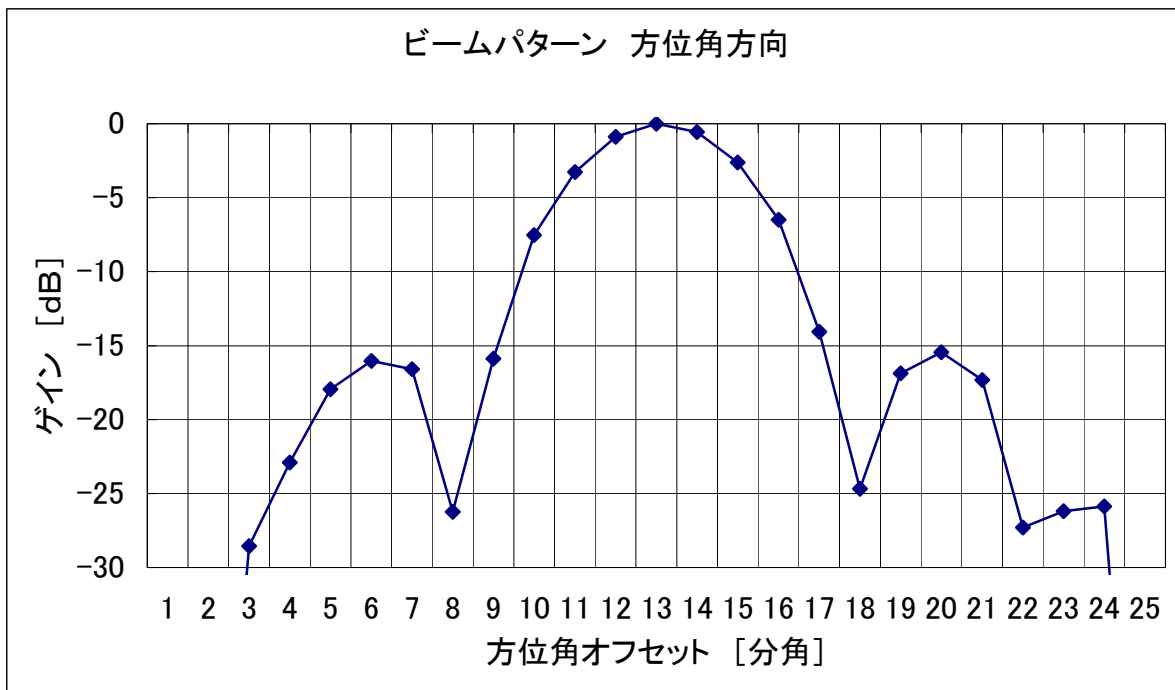


図6. ビームパターン (方位角方向のスキャン)

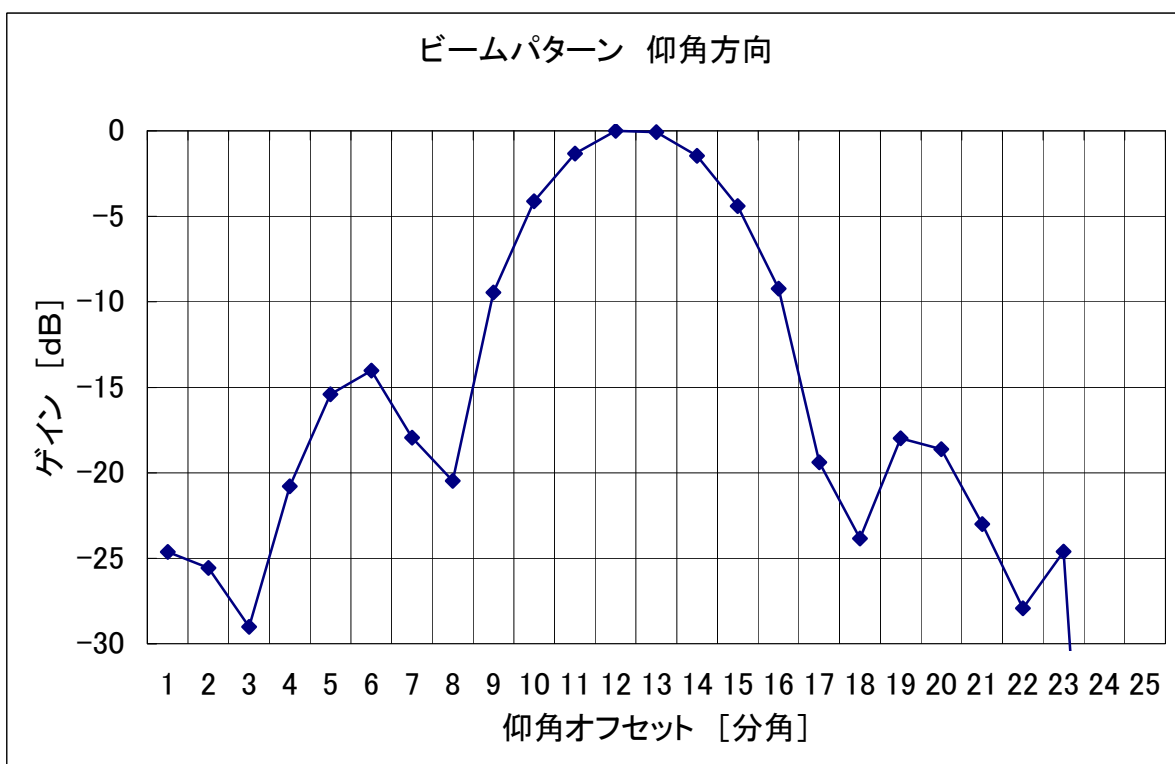


図7. ビームパターン (仰角方向のスキャン)

4. 考察

4-1. 信号雑音比

今回の測定ではIFをパワーメータで読み取り、計算機で時間平均を行った。IFの帯域は400MHzであり、各点4秒の積分を行い、さらに4枚のマップを平均化したので、熱雑音に起因する受信信号のゆらぎは

$$\Delta T = \frac{T_{\text{sys}}}{\sqrt{B\tau}} = 0.5 \text{ [mK]}$$

となる。実際には10mK以上のゆらぎが見られ、これは大気の揺らぎに起因するものと、測定システムのゆらぎに起因するものが原因であると考えられる。測定に用いた天体は3C273(約30Jy)であり、アンテナ温度は約5Kである。したがって $\Delta T = 10 \text{ mK}$ では-27dBが測定の限界となる。測定結果からも-27dBが測定の限界となっていると考えられる。

今回の測定では1回の測定に3時間半かかっており、その間に仰角や大気の状態が変動すると、系統的なゆらぎの原因となる。これらの問題を解決するためには高速なアクティブスキャンを行うシステムを構築する必要がある。これは今後の課題である。

4-2. 主ビームの形状

測定結果を理論値と比較した。計算モデルとして鏡面照射が一様で直径2.9mの副反射鏡が光軸上に存在する場合のビームパターンを用いた。実際の計算は田村さんが行った。今回の測定値と比較した結果が図8である。▲が計算値、◆が方位角方向、■が仰角方向のビームパターンである。計算値と比較するために中心軸が一致するようにオフセット角は適当に補正してある。

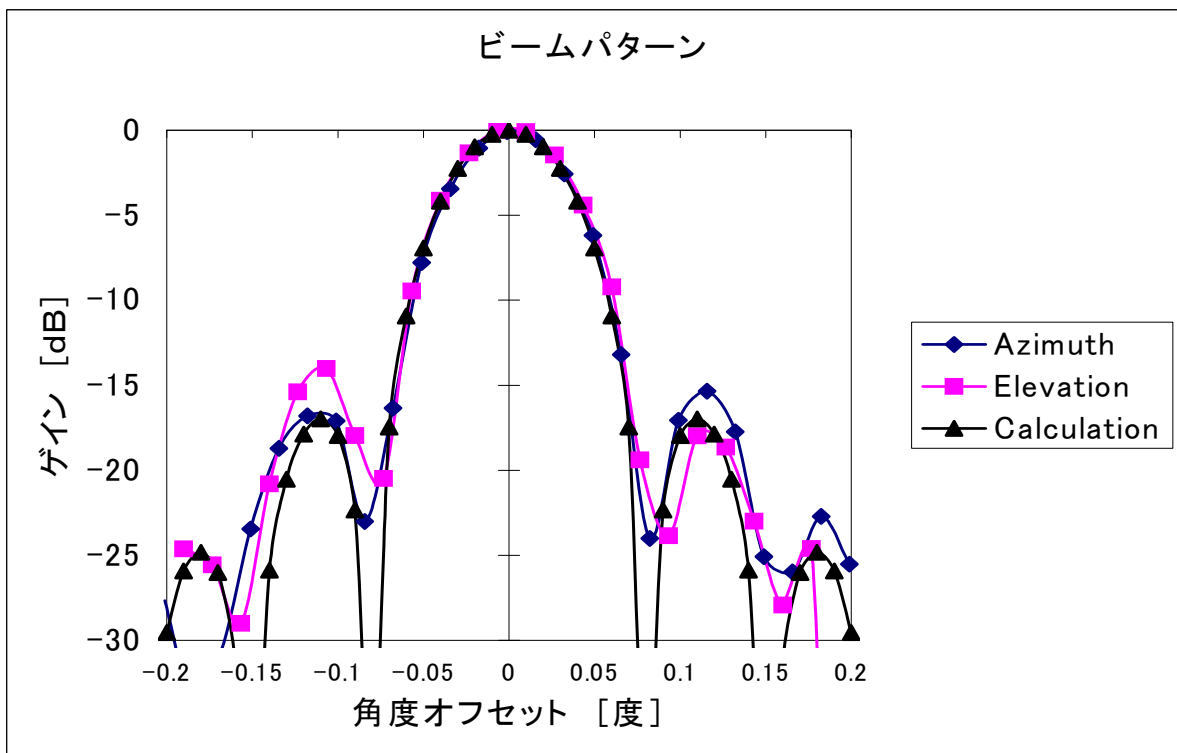


図8. 計算値との比較

メインビームの形状は第1ヌル点（理論値は4.8分角=0.008度）の直前まで測定範囲内ではほぼ一致している。FWHMは方位角・仰角共に4.1分角¹であり、理論的な計算値（4.13分角）に一致している。測定間隔が1分角と粗いためヌル点を正確に把握できていないが、測定値の極小点、第1サイドローブのピーク位置ともにより一致を示している。しかし第1サイドローブの高さは方位角・仰角共に理論値よりも高い。方位角方向では理論値よりも1-2 dB高く、仰角方向では南側で約4 dB高く、北側では理論値にほぼ一致する。南北で3 dB以上の大きな差があることも明らかである。第2ヌル点および第2サイドローブは測定限界に近いめははっきりしていないが、理論値と一致する傾向がある。中心軸に対する角距離で平均するとはっきりとした傾向が現れるのではないかと思われる。上記の南北での偏差があるため、この確認は行っていない。

測定した範囲内で、ビームパターンは一様照射のパターンにかなり近い結果となった。これは開口能率を重視した設計のため、鏡面照射が一様になっていることのあらわれであると考えられる。サイドローブが高いのは副鏡からのスピルオーバーの影響がある可能性が考えられる。南北でサイドローブの高さに差があるのは、照射の位相分布の傾斜によるものではないかと考えられる。これらの問題は将来のホログラフィー測定によって解決されるだろう。

4-3. 一般の観測への影響

メインビームはきれいな円形であるため、一般の観測ではFWHM=4.1分角のガウス型を仮定すればよい。一方、第1サイドローブが-14 dBと高いため、高ダイナミックレンジを要求する観測、例えば明るい点源を含むマッピング観測や、強力なメーザ天体の近傍の観測を行う場合に、結果の解釈において注意が必要である。ビーム中心から0.15度（9分角）離れるとゲインは-20 dB以下となる。したがって20 dB以下のダイナミックレンジの測定を行う場合、0.15度以上離れている位置であればサイドローブの影響は無視できると考えられる。

==以上==

ビームパターンは東西と南北が、おそらく逆！詳細な検討を要す！！

¹ これは今回の測定値ではなく、ポインティング測定などで得られた測定値である。