2012/03/07 作成

山口 32m電波望遠鏡 22 GHz 受信機によるビームパターン測定

山口大学 M2 宮村 太基

1. はじめに

2011 年 12 月 5 日から数日間掛けて、山口 32m電波望遠鏡において 22GHz 帯冷却受信機の搭載および 真空・冷却作業を行った。その後、システム雑音温度測定およびノイズソースによる較正試験を行い、シ ステム雑音温度は約 110 K(天頂・大気込み)という結果を示しノイズソースによるシステム雑音温度較 正も良好な結果が得られている。故に現在、山口 32m電波望遠鏡 22 GHz 帯では遠隔による観測が可能な 状態となっている。

今回は遠隔観測により 22 GHz 帯 Orion-KL の水メーザーを用いて山口 32m電波望遠鏡のビームパター ン測定を行った。以下では観測の詳細および結果を報告する。

2. 観測天体の選出

我々が天体から受け取る信号はアンテナのビームパターンとの畳み込みの結果である。したがってビー ムサイズに対して十分小さな点源と見なせる天体をアンテナビームの端かり端まででスキャンした場合、 得られるパワーのパターンはアンテナビームパターンと見なすことができる。山口 32m 電波望遠鏡のよ うに口径 32m のアンテナで 22GHz 帯を扱う場合、そのビームサイズは簡単な理論式から見積もると約 1.5 分角と非常に細いビームとなる。故にビームパターン測定に用いる天体は既に述べた(A) ビームに 対して十分点源と見なせるサイズであることに加えて、(B) 十分強度の強い天体であること、という条件 を満たす必要がある。(B) の条件には、ビームパターンの感度の低い(ガウシアンの裾の付近)でもしっ かり受信することでビームの形状をしっかりとらえるという目的がある。

以上の条件を踏まえて、観測天体には Orion-KL の水メーザーを用いることにした。Orion-KL は比較 的に強度変動の激しい天体ではあるがそのタイムスケールは早くても数日スケールで、少なくとも 10000 Jy 以上のフラックス密度を持っている

3. 観測概要

観測は図1に示すように、天体を中心(Az:El)=(0':0')としてAz方向に-4.0 分角から+4.0 分角お よび El 方向に-4.0 分角から+4.0 分角の領域を 0.4 分角間隔でスキャンしていくマッピング観測法を 用いた。実際の観測ではまず El をオフセット・4.0 分角に固定して、Az 方向に-4.0 分角から+4.0 分角ま で 0.4 分角間隔でスキャンし、次に El を+方向に 0.4 分角ずらしたオフセット・3.6 分角に固定して同様 にスキャンした。この作業を El が+4.0 分角までスキャンを繰り返し行った。スケジュール設定は各測定 点の滞在時間は 3 秒、次の測定点までの移動時間を 7 秒に設定した。移動を含めて 1 つの測定点にかか る時間が 10 秒であり、総測定点数は 441 点なので観測に掛かる時間は 1 時間 13 分 30 秒となる。この 測定の場合、長時間観測をすると El の変動範囲が大きくなり、大気の変動を考慮しなくてはいけなくな るので、できる限り短時間で観測を行うことが望まれる。しかし今回の測定では Orion-KL の天頂での El が 40 度程度であり、天頂付近で観測を行ったので El の変動は 5 度以下となり大気の変動による影響は 無視できると判断した。



4. 測定結果·解析方法

図2に得られた Orion-KL の水メーザースペクトルを示す。



図2 Orion-KLの水メーザースペクトル

この結果では、観測システムによるゆらぎ(ベースライン)の上に天体の信号が付加されている状態なの でこのゆらぎを除去する必要がある。そのゆらぎを除去するために(i) 0N 点/0FF 点処理によるベースラ インの補正、(ii) 最小二乗法によるベースラインフィッティング、の2 段階の処理を行った。

ON/OFF点処理

まずアンテナが天体を向いているとき(ON 点)に得られるデータと天体を向いていないとき(OFF 点)

に得られるデータを用意する。OFF 点では天体の信号を受信していないので得られた結果は観測システム によるゆらぎの成分のみとみなすことができる。故に ON 点のデータを OFF 点のデータで割り算すれば、 ベースラインを1に規格化することができる。

今回の観測では半値全幅 1.4 分角(理論値)の細いビームで天体を中心とした 8 分角× 8 分角の領域 を見ているので測定結果のなかには天体のスペクトルが検出されないものが複数存在する。そのデータを OFF 点のデータとみなして全測定結果に対して ON 点/OFF 点の処理を施した。処理後に得られた結果の 1 つを図 3 に示す。



図3 ON/OFF点処理で得られるスペクトル図

<u>・ベースラインフィッティング</u>

次にベースラインを1 次の直線とみなし、スペクトル成分の両側の9.5 - 11.5 MHz と 19.5 - 21.5 MHz の部分のデータを取り出して最小二乗法によって近似直線を求め、その直線ですべてのデータを割り算し て規格化して1引くことでシステムのゆらぎを除去するという手法を用いた(ベースラインフィッティン グ)。ベースラインフィッティング処理後のスペクトル部分(12 - 21.4 MHz)の値をすべて足し合わせた ものをその測定点のトータルパワーとした。実際の処理は自身で作成したC言語によるプログラムを用い



図4 ベースラインフィッティングの模式図

4. ビームパターン算出

今回の観測で得られたデータ点数は方位角方向 21 点×仰角方向 21 点の計 441 点あり、各データ点の 間隔は 0.4 分角で 8 分角四方の領域をカバーしている。前述のベースラインフィッティング処理を施した 後の全データのトータルパワーは、その中の 1 番パワーの強い値で割り算することで規格化している。規 格化した後の各測定点のトータルパワーを横軸Az、縦軸E1、高さをパワーとして 3 次元マップで表し たものが図 4.7 である。結果、第一サイドローブまでしっかり確認することができた。ただしこのサイド ローブにはどちらのチャンネルでも 3 か所に影のようなものが見られる。推論ではあるが、これは副鏡を 支えている 3 本の支持棒の影響かもしれない。

次に、得られた三次元のビームパターンをAz 方向にスライスして縦軸パワー、横軸Az方向のオフセットのグラフを作成した。Az 方向にスライスする場合、得られるグラフは21 個となる(El オフセット± 4 分角の範囲で 0.4 分間隔なので)。そのうちの主ビームのピーク位置でスライスして得られたビームパターンを図4.11 に示す。図4.11 で示す主ビーム部分に対してガウシアンフィッティングを行い、ビームサイズ(半値全幅)を算出した。モデル式には次式を用いた。

$$P_n(\theta) = A \exp\left[-4\ln 2\left(\frac{\theta-B}{C}\right)^2\right]$$



(上) LHCP



(下) RHCP図5 解析後得られた3次元ビームパターン



(上) LHCP



(下) RHCP図6 解析後得られた2次元ビームパターン(対数表示)



図7 測定から得られた両偏波での主ビームパターン(対数表示)

項目	意味	CH1 (LHCP)	CH2 (RHCP)
А	振幅	1.017 ± 0.011	1.019 ± 0.014
В	指向誤差 [分角]	0.417 ± 0.008	0.415 ± 0.011
С	半値全幅[分角]	1.506 ± 0.020	1.546 ± 0.025

表1 フィッティング結果

A は振幅、B はピーク位置のオフセット、C はビームサイズである。フィッティングには gnuplot を用 いており、最小二乗フィッティングにより各パラメータを決定した。結果を表 4.5 に示す。

ビームサイズは LHCP 側で 1.51 分角、RHCP 側で 1.55 分角となった。分解能を表す式 $\theta = \lambda/D$ から 求めた、単純な理論値は 22GHz 帯では 1.46 分角であり、LHCP 側では 2.7%、RHCP 側では 5.2 %の精度 で一致を示した。

次に各 E1 において Az 方向にスライスしたビームパターンのグラフから、第一サイドローブの最大値を 調べた。その結果、第一サイドローブの最大値(測定値)は LHCP 側がメインビームの 11.0 % (-9.58 dB) で RHCP 側が 9.3 % (-10.33 dB)の強度であった。国立天文台 VERA 局 20m においては小笠原局を除く 3 局においてサイドローブレベルは 3.2% (-15dB)であり、3 倍高いサイドローブレベルを持っていること が分かった。図 8 (A) に LHCP における仰角オフセット 0.8 分角の位置で方位角方向にスライスして得ら れたグラフを、図 8 (B) に RHCP における仰角オフセット 1.2 分角の位置で方位角方向にスライスして得 られたグラフを示す。



図8 方位角方向にスライスして得られるビームパターン(対数表示)