

3.8m 電波望遠鏡による S/X バンド観測システムの開発

高橋 諒 (大阪府立大学 大学院理学系研究科)

Abstract

大阪府立大宇宙物理学研究室は、国土地理院が北海道新十津川にて測地 VLBI 観測用に運用していた 3.8m 電波望遠鏡を研究棟屋上に移設した。この移設によって大阪初の電波望遠鏡が大阪府立大学に設置された。この望遠鏡は S バンド (2.21-2.45GHz) や X バンド (8.18-8.98GHz) の測地観測に用いられていた。我々はより高周波・広帯域での観測を目指し、冷却受信機・新光学系 (広帯域フィード) の開発を検討している。私は、移設に伴った 3.8m 電波望遠鏡の観測システムの整備のための性能評価実験を行った。本ポスターではこれらの結果及び 3.8m 電波望遠鏡の現状を報告し、今後の展望を紹介する。

1 Introduction

1.1 3.8m antenna

3.8m 電波望遠鏡 (図 1) は主鏡 (パラボラアンテナ) と副鏡 (双曲面反射器) を用いているカセグレン方式のアンテナである。



図 1: 3.8m 電波望遠鏡

宇宙空間から到達した電波は主鏡で反射され、副鏡に届く。副鏡は周波数選択膜で覆われており、X バンド (8 GHz 帯) は反射される。S バンド (2 GHz 帯) は透過され、S バンド用のフィードで受ける。(図 2 左) 一方、反射された X バンドは X バンド用のフィードで受ける。(図 2 右)



図 2: S/X バンドフィード 左: S バンド (副鏡内) 右: X バンド (カセグレン焦点)

3.8m 電波望遠鏡内部の構成は図 3 のようになっている。それぞれのフィードで受けた S/X バンドの電波は円偏波発生器や方向性結合器を通り、一つ目のアンプで増幅させる。方向性結合器にはノイズダイオードがつながっており、これをパソコン制御で操作することでシステム雑音温度を測ることが出来る。一つ目のアンプを通った後、ダウンコンバータ (D/C) に入る。D/C では 2 つの PLO (Phase Locked Oscillator) から出た LO 信号 (S バンド: 2.02 GHz、X バンド: 8.08 GHz) と受信信号を用いて、ミクサーで周波数変換を行う。その後、LPF や HPF で決まった周波数を取り出し、アンプで増幅しながら受信信号 (IF 信号) として取り出す。

IF 信号の周波数は S バンド: 190-430 MHz、X バンド: 100-900 MHz であり、これは S バンド: 2.21-2.45 GHz、X バンド: 8.18-8.98 GHz に対応している。

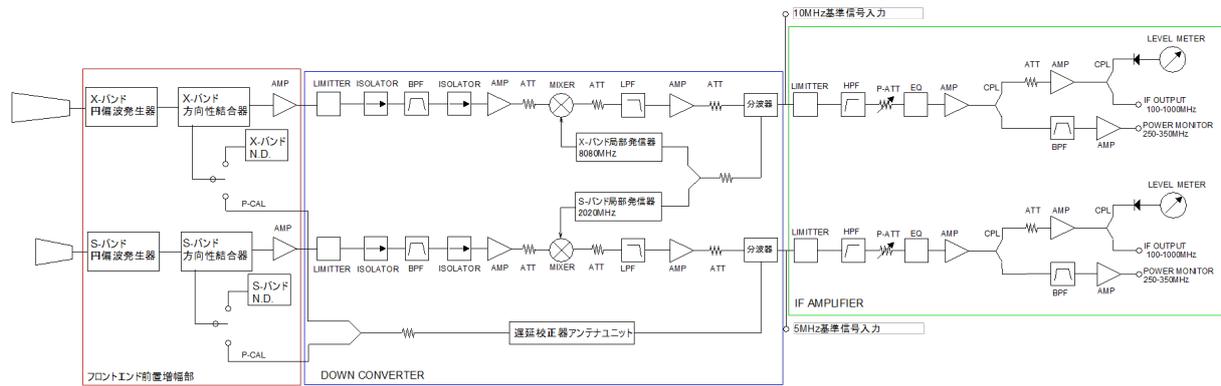


図 3: 3.8m 望遠鏡ブロックダイヤ

1.2 Purpose

我々は 3.8m 望遠鏡を運用するにあたり、以下のよう
な開発目標をあげている。

- 1) アンテナ機構の評価
- 2) 制御システム（プログラム）の開発
- 3) 光学系の改良（広帯域フィードの開発）
- 4) 広帯域で低雑音受信機の開発
- 5) VLBI 観測技術の開発
- 6) 小型衛星との通信
- 7) 電波天文観測
- 8) VLBI 観測

現在はこの中でも 8) VLBI 観測 に向けて観測シ
ステムの整備を主に進めている。

2 Transference

2014 年 11 月 17 日-20 日に北海道新十津川で 3.8m
望遠鏡の解体作業を行った。（図 4）輸送するために
望遠鏡をアンテナ、駆動部、ベース、土台に分けて
取り外した。アンテナは主鏡からステイやホーンを
取り外し、鏡一枚の状態にした後、4 枚に分解した。
また、ステイについていた副鏡も取り外した。輸送
期間を経て、11 月 23 日-24 日に大阪府立大学で設置
作業を行った。（図 5）解体作業で 4 枚に分解した主
鏡を組み立て、その後ホーンやステイ、副鏡を取り
付けた。



図 4: 新十津川での解体作業



図 5: 大阪府大での設置作業

3 Characteristics test

3.1 Surface check

鏡面精度測定をフォトグラメトリー法を用いて行っ
た。フォトグラメトリーは、3次元の物体を複数の観
測点から撮影して得た 2次元画像から、視差情報を
解析して寸法・形状を求める測量手法である。カメ
ラから取り込んだ複数の画像データをパソコンで処
理し、物体の 3次元座標値を得た。主鏡の測定結果
を図 6 に記す。X 座標は鏡面の水平方向、Y 座標は
垂直方向であり、値は理想放物面からの誤差の大き
きを示している。図 6 より垂直方向の鏡面がやや前
に出ており、ひずみによる影響がこの方向に出ている
ことが確認できた。

今回の測定より鏡面精度は 0.969mmRMS だった。この鏡面精度を ϵ [m] とすると鏡面誤差により低下した能率 η_{sf} はルッツの式で表される。

$$\eta_{sf} = \exp\left[-\left(\frac{4\pi\epsilon}{\lambda}\right)^2\right] \quad (1)$$

この式より S バンド (2.23 GHz) では $\eta_{sf} = 0.991$ 、X バンド (8.58 GHz) では $\eta_{sf} = 0.879$ であった。S/X バンドにおいては問題ないことが確認出来た。

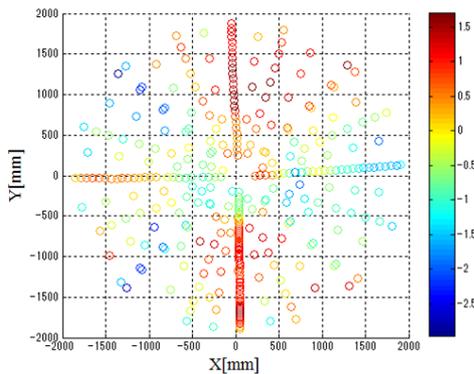


図 6: フォトグラメトリー結果 (正面図)

X 座標: 鏡面の水平方向、Y 座標: 鏡面の垂直方向
カラスケール: 理想放物面からの誤差を示す

副鏡の測定結果を図 7 に記す。

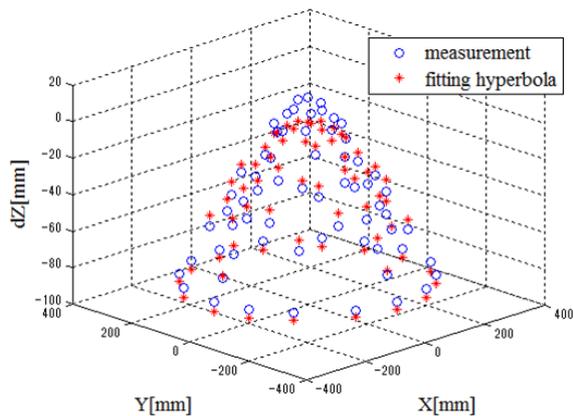


図 7: 副鏡の形状結果と近似双曲面

X 座標は鏡面の水平方向、Y 座標は垂直方向であり、Z 座標は奥行き方向である。青い丸印は測定データ、赤い星印は近似双曲面を示している。近似双曲

面は以下のように表される。

$$z = -c\sqrt{1 + \left(\frac{x^2 + y^2}{a^2}\right)} \quad (2)$$

ここで、 $a = 14.1828$ 、 $c = 0.1852$ である。図 7 からわかるように、副鏡は近似双曲面との誤差が大きい。よって、この鏡面形状は意図的に修正したものであることがわかった。そのため、二次の近似式では描けない。

また物理光学手法を用いて計算を行うソフト GRASP に、今回得られたデータを取り込み 3.8m の鏡面を描いた。(図 8) 主鏡や副鏡の位置関係は設計図面を参照した。

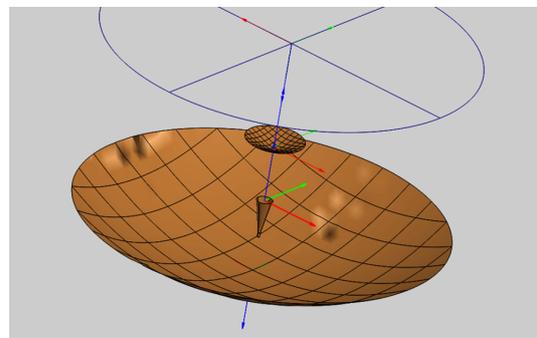


図 8: 3.8m アンテナモデル

このモデルに主鏡の真上からビームを照射したときのレイトレースを描いた。図 9 より主鏡及び副鏡で反射したビームは一つの焦点に集まるのではなく、あらゆる位置に集まっていた。この原因については調査中である。

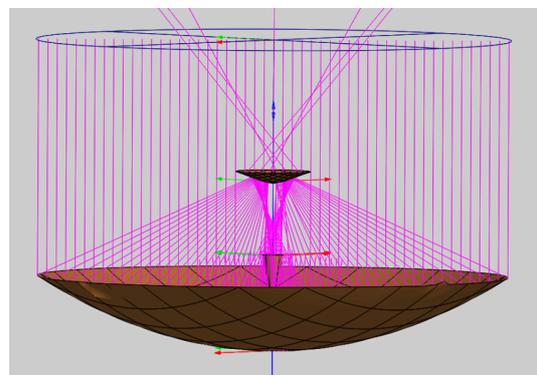


図 9: レイトレース (水平方向)

3.2 Beam pattern measurement

望遠鏡の指向精度を確認するため、コンピュータ制御で太陽を追尾して X バンドの電波で観測した。Az 方向・El 方向ともに 0.25° 間隔で 7 点に向けながら電波受信強度を測定した。図 10 に Az 方向、図 11 に El 方向の結果を示す。これらより、El 方向はおおよそ対称性がとれており、大きな問題は無い。一方、Az 方向は対称性がとれていない。よって、さらに Beam pattern 測定を行いオフセット量を導出することが必要である。

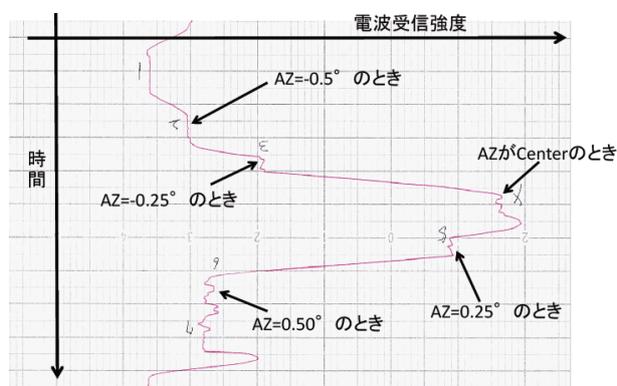


図 10: ビームパターン測定結果 (Az)

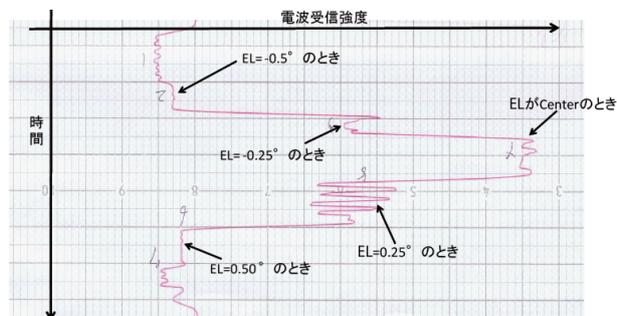


図 11: ビームパターン測定結果 (El)

さらなる Beam pattern 測定が必要になると確認出来た。1.2 章で前述した開発目標の中でも 8) VLBI 観測 に向けて、まず

- ・オフセット量の導出
 - ・3.8m 制御モジュールでのパソコン制御の確立
- を行う予定である。

Acknowledgement

基礎物理学研究所 (研究会番号: YITP-W-15-04) 及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。本研究を進めるにあたり、国土地理院の福崎順洋さんには移設についてお世話をいただきました。さらに制御プログラムについて丁寧に教えていただきました。また、防衛大学の田中宏明准教授にはフォトグラメトリー測定にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

4 Conclusion & Future works

私は 3.8m 望遠鏡の現在の性能評価測定を主に行った。特に、フォトグラメトリー測定では S/X バンドでの鏡面誤差の影響を計測することが出来た。また、太陽十字スキャン観測で指向誤差があると確認出来、