

茨城 32m 電波望遠鏡の単一鏡分光観測システム開発

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

1 概要

茨城大学では、茨城県高萩市および日立市にまたがる 2 台の 32m 電波望遠鏡の立ち上げを行っている。観測予定周波数は、6.7, 8.4, 22 GHz 帯である。両望遠鏡の観測環境は整いつつあり、日立局は大学連携 VLBI にて成果も残しているが、単一鏡分光観測を行うシステムは整備されていなかった。そこで、デジタル分光計 K5/VSSP32 を用いた単一鏡分光観測システムの開発に着手した。まず K5/VSSP32 のリニアリティ測定を行い、分光計への最適入力強度範囲を決定した。また、安定性評価のためにアラン分散測定も行ったので、その結果についても報告する。

2 リニアリティ測定

2.1 測定方法

電波吸収体を電波望遠鏡のビーム伝送系内に挿入した状態での受信機出力を、IF 系に挿入したアッテネータを介して K5/VSSP32 に入力した。アッテネータの減衰率を変化させることにより、サンプラー入力信号強度を -15 dBm \sim $+10$ dBm の範囲で 1 dB 刻みで変化させながら、スペクトルを取得した。

観測アンテナ:	日立アンテナ
RF 周波数:	6.652-6.684 GHz
分光計設定:	64 MHz サンプリング, 4 bit, 64 - 96 MHz の高次サンプリング
積分時間:	10 秒
偏波:	LHCP

表 1: リニアリティ測定時の設定

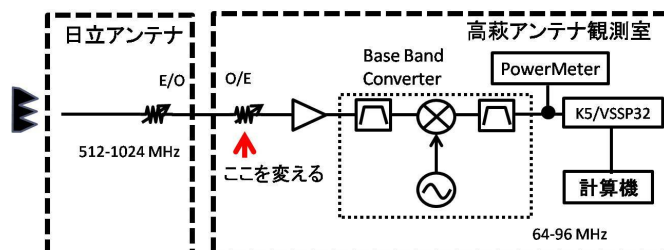


図 1: リニアリティ測定時の望遠鏡の構成

2.2 解析方法

まずアッテネータの値と K5/VSSP32 への入力強度の対応付けをするために、Base Band Converter の後ろにあるパワーメーターで強度をモニタして入力強度を測定した。次に、リニアリティのある範囲を決定するために、下記手順で計算を行った。これは、アッテネータの表示が必ずしも正確で無い事を補正するためである。

A dBm 入力時の分光データの各チャンネルの強度 $\{S_A[\text{dBm}](n \text{ ch})\}$ からスケーリングファクターを引き、さらに 0 dBm 入力時の各チャンネルの強度 $\{S_0[\text{dBm}](n \text{ ch})\}$ を引く事によって残差の割合を求める。ここで、スケーリングファクターは、 A dBm 入力時および 0 dBm 入力時のパワーメーターで測定された強度 x_A dBm, x_0 dBm の比 $(x_A - x_0 [\text{dBm}])$ である。その後、残差の割合を全チャンネルで平均し、入力強度と残差の割合の相関関係を調べることにより、リニアリティがどの入力強度の範囲にあるかを判定した。

2.3 結果

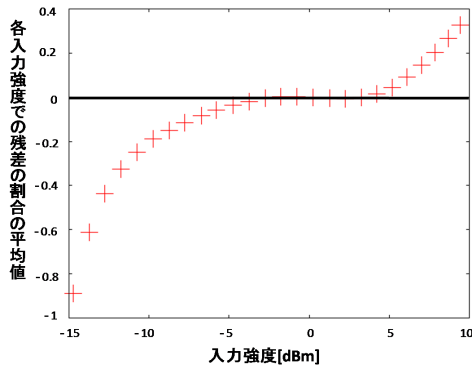


図 2: 入力強度に対する残差の割合の平均値

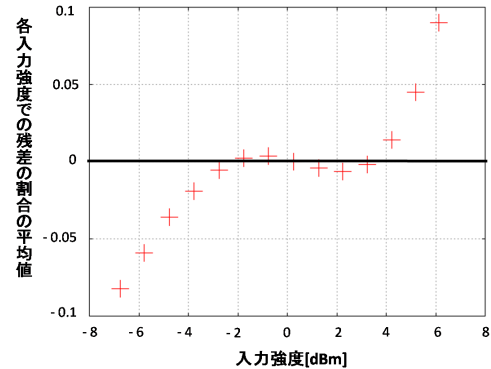


図 3: 入力強度 0 dBm 付近の拡大図

図 2、図 3 の縦軸はリニアスケールとした。

2.4 考察

茨城 32m 電波望遠鏡の目標となるダイナミックレンジは電波吸収体と sky の出力差 ~ 12 dB($T_{\text{sys}} 20$ K) である。これを満たし、残差の割合が最小になる入力強度の範囲は、 -6 dBm $\sim +5$ dBm であるが、残差が $\sim 6\%$ となる。ここで、リニアリティの判定条件として、チョッパーホイール法の標準的な誤差 10 - 15 % より十分に小さい事を採用した。そのため、今回の測定では残差が $\sim 5\%$ 程度になる範囲をリニアリティがあるとした。よって、残差が $\sim 5\%$ 程度になる入力強度の範囲 -5 dBm $\sim +5$ dBm をリニアリティのある範囲と決定した。これは、電波吸収体と sky の出力差と比べるとダイナミックレンジが小さいが、アンテナが天頂方向を向いている際の受信機出力信号強度と、アンテナの駆動範囲の下限である仰角 5 度の強度との差 ~ 4 dB より十分大きいため、観測時にアッテネータの調整をする必要が無いことを示している。電波吸収体出力測定時には、アッテネータを入れることによって、リニアリティを確保している。

3 アラン分散測定による安定性の評価

システムが安定な時間スケールを測定するために、典型的な観測条件を与える天候下でアンテナを観測時の典型的な角度である仰角 30 度、観測で使用する角度のおおよその下限である仰角 15 度に向けた状態、及び電波吸収体を電波望遠鏡のビーム伝送系内に挿入した状態の合計 3 通りで、K5/VSSP32 を用いて測定した。

	30 度	15 度	電波吸収体出力
測定日時	2011 年 10 月 17 日	2011 年 10 月 21 日	2011 年 11 月 2 日
天気	晴れ	くもり	くもり
T _{sys}	25.4K	27.1K	25.9K
τ	0.01	0.01	0.01
使用アンテナ:	日立アンテナ		
観測時間:	8 時間		
RF 周波数:	6.652-6.684 GHz		
分光計設定:	64 MHz サンプリング, 4 bit, 2048 点分光		

測定したデータでアランプロットを作成し、それぞれの測定条件での安定時間を評価した。ch1010 の 1ch の絶対値と ch1010-ch1110 , ch910-1110 , ch910-ch1210 , ch810-ch1210 , ch710-ch1210 , ch510-ch1510 , ch10-ch2010 の離れた 2 ch 間の相対値のアランプロットを作成した。

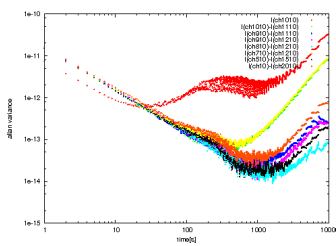


図 4: 仰角 30 度でのアランプロット

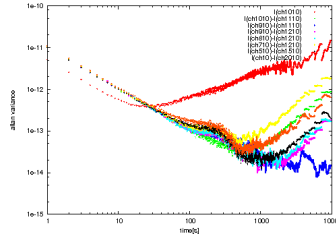


図 5: 仰角 15 度でのアランプロット

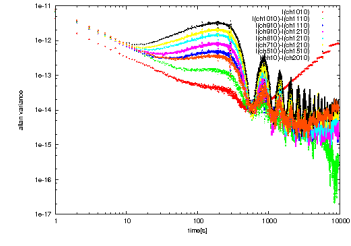


図 6: 電波吸収体出力でのアランプロット

1 ch の安定時間の下限値はシステムが最も不安定である仰角 15 度で 10 秒程度であった。つまり、連続波観測をする場合 10 秒より十分短い時間内で ON-OFF スイッチを行わなければならないことが明らかになった。離れた 2ch 間の安定時間の下限値は仰角 15 度で 400 秒程度であった。つまり、分光観測をする場合 400 秒より十分短い時間内で ON-OFF スイッチを行わなければならないことが明らかになった。また、電波吸収体出力でのアランプロットでは周期的な変動が見られ、安定時間を決定できなかった。この原因として、デハイドの動作によって給電ホーン上部膜が変形することで、その上に設置した電波吸収体が動くために定在波の発生状況が変化してしまっていることが考えられる。

4 今後の課題

- ・アラン分散周期的変動の原因調査
- ・アラン分散の追加測定 (EL85 ° など)
- ・出力データフォーマットの決定 (CASA を予定)
- ・解析ソフトの導入

参考文献

海田 ほか、2006 年、(東京学芸大学紀要自然科学系 58、131、149)