

修士論文要旨

飯館電波望遠鏡を用いた 木星シンクロトン放射2周波観測装置の開発

今井 浩太

(指導教員 : 三澤 浩昭 助教授)

平成 17 年

福島県相馬郡飯館村に設置されている飯館惑星電波望遠鏡(IPRT)は、木星放射線帯電子のプローブとなるシンクロトン放射(JSR)観測をメインターゲットとしている。現在、2003年春に完成した325MHzでの観測が行われており、この325MHzのシステムに加えてもう一つ別の周波数でも観測可能な2周波観測システムを開発することが、この研究の目的である。

JSRは、木星放射線帯電子が光速に近い速度で磁力線の周りをジャイロ運動することにより発生する。1960年代以来JSRの長期観測から、放射線帯は強力な磁場により安定で、年オーダーの長期的変動のみが起こりうると言われてきた。ところが近年の観測により、数ヶ月から数日単位の短期変動もあることが確実になってきた。この短期変動の詳細を探るには、ある程度長期的に大型電波望遠鏡を占有して連続観測する必要があり、多目的に使われる大型電波望遠鏡では捉える事が難しい。その点、飯館惑星電波望遠鏡(IPRT)は惑星観測専用であるため、JSRの連続観測が可能という大きなアドバンテージを持つ。

また、2周波数でシンクロトン放射を観測した場合、木星放射線帯電子のエネルギー分布の情報、及び、電子の空間変動に関する情報を得ることが可能になると期待される。

2周波数で同時観測を行うことが出来るシステムを開発するにあたり、まず、IPRTの第2周波数受信系装置として確立したものを作り上げる必要がある。本研究では、785MHz単独の受信系を製作し、その評価を行った。

第二周波数の選択は、2003年12月の予備観測により、TVと携帯電話の強力な電波の隙間にあり静穏な周波数帯である785MHz中心10MHz帯域幅を選択した。

次に装置の目標仕様を示す。JSRの強度は約5Jyで、木星自転による見かけの強度変化量約0.5Jyが含まれる。JSRの変動特性を同定し、放射線帯電子のダイナミクスを明らかにしてゆくには、見かけの変動を固有の変動と明確に識別しうる感度が要求される。従って、本研究では見かけの変動量の1/5である0.1Jyを最小検出感度の目標として設計を行った。最小検出感度を決定する装置の開発要素は受信機雑音温度と電波望遠鏡有効開口面積であり、IPRTの場合、それぞれ170K、360m²とした時目標値に達し得る。これらの値は、パラボラアンテナおよび785MHz帯の受信機の実績値として、十分実現可能な値である。電波望遠鏡開口面積は主に給電部アンテナの特性、受信機雑音温度は主に前段受信機の初段低雑音増幅器とアンテナか

ら初段受信機までのロスによって決定される。

以下に、装置構成を示す。IPRT は一次反射面の焦点部が給電点となっており、到来する電波はこの給電点に設置された給電部アンテナで受信される。その後、給電部に近接して屋外に設置された前段受信機で増幅された後、中間周波数(IF)70MHz に周波数変換される。更に66mの同軸ケーブルにより室内の後段受信機に送られ増幅・検波される。IFは現行の325MHz受信系と同じ値であるため、後段受信機は既設の受信系と共有できる。

・給電部アンテナ

平面リフレクター付ダイポールアンテナを使用している。理論式から求められる見積値では、開口面積は片面 280m²であった。しかしながら、電波星を用いた実測からは、開口面積が A 面が約 140m²、B 面は約 170m²、合成で約 330m²と求められた。開口効率が悪くなる原因は、給電部アンテナとフロントエンド信号増幅部間のインピーダンスマッチングが取れておらず、反射が発生していることによるものであった。もし、反射が発生していない場合は、開口面積が 40%程改善されるという見積りが取れた。今後の予定として、フロントエンド信号増幅部にインピーダンスマッチング回路を挿入することでアンテナ - 信号増幅部間のインピーダンスマッチを取る予定である。

・フロントエンド信号増幅部

アンテナからの信号と Cal 用の信号を選択することができるリレー系、微弱な信号をロスなく増幅し、強力な人工電波をカットする RF 増幅系、増幅やフィルタリングを容易にし、スペクトルの形を整えるミキサー・IF 増幅系からなる。その特性は、実験室において、増幅率・受信器雑音温度はそれぞれ、A 側が 57.4dB、170K、B 側が 59.2dB、140K と求まり、目標値を達した。また、IPRT に実際につけた場合の増幅率・受信器雑音温度は、バックエンド信号増幅部も含めて、A 側が 71.48dB、172K、B 側が 71.46dB、157.4K、AB 合成で 71.27dB、163K と求まった。

現在の最小検出感度は実測のアンテナ有効開口面積、及び、受信器雑音温度により 0.11Jy と求められ、目標値の 0.10Jy をほぼ達成することが出来た。そのため、木星の入感実験を行った。木星の背景放射の測定に若干のふらつきがあったものの、木星の入感を確認することが出来た。

本研究の次のステップとしては、木星電波観測の信頼度を向上させるための「Radiation Efficiency の改善」と「Illumination Efficiency の改善」、及び、JSR のスペクトル観測実現のための「2 周波数同時観測受信系の確立」等が挙げられる。前者では特に上述したインピーダンスミスマッチを改善する Radiation Efficiency の改善は重要であり、この解決により、アンテナ有効開口面積は 40%の改善が見込まれる。後者については、本研究において数値的な見積もりにおいて、325MHz 受信系と、785MHz 受信系の給電部アンテナを 50cm ほど離して設置することで、両周波数共に良好な開口面積を得られることが判明したが、実測による検証は将来の課題となる。