

修士論文要旨

惑星電波望遠鏡 (IPRT) の高効率化 - 方形パラボラアンテナに適した一次放射器の開発

工藤 理一

(指導教官：森岡 昭 教授)

平成 14 年

木星の強大な磁場に捕捉された相対論的電子は、放射線帯を構成するとともにシンクロトロン電波を放出している。この木星シンクロトロン放射は、長く木星放射線帯のリモートセンシングの手段として観測されてきた。これまでに、長い時間スケールでの変動や干渉計を用いることにより、空間構造や木星の固有磁場に係る情報を我々にもたらしてきた。これらの研究からは、木星放射線帯は時間的・空間的に安定であると考えられていた。しかし、近年になって木星シンクロトロン放射の数週間から数ヶ月のような短い時間スケールでの変動が報告されており注目されてきている。これは木星内部磁気圏において粒子がダイナミックに変動している事を示しており、粒子の加速加熱の物理機構を解明するための重要な情報を持っているといえる。

本論文では木星シンクロトロン電波のこの短期時間変動を明らかにする目的で立ち上げを進めている飯館惑星電波望遠鏡 (IPRT) 給電部の開発とその高効率化を行った。まず、木星シンクロトロン放射の変動特性を同定するために最低限必要であると考えられる 0.05Jy の最小検出感度を達成することを目指した。この検出感度を達成するためには給電部アンテナとして、入力インピーダンスが伝送系のインピーダンス 50Ω と整合が取れていること、指向性が IPRT の特殊な形状をしたパラボラアンテナに適合していることが必要となる。radiation efficiency e_r が 1 になり、illumination efficiency η_i が最大となるような解を、IPRT の基本アンテナ系として採用される平面リフレクター付半波長ダイポールアンテナについて探った結果、インピーダンス整合の制約を満たす素子配置として、平面リフレクターからの高さ $h_d=0.17\lambda$ において、 η_i が最大となる解が求められた。 η_i は水平偏波アンテナで 0.6、垂直偏波で 0.55 であった。

次に偏波観測の要請から、直交する水平、垂直偏波共に同等でさらに illumination efficiency の高い給電部アンテナを得るためダイポールアンテナに素子を追加する形のアンテナについて解析を行った。解析にはモーメント法を用い、ダイポールアンテナと対の素子として八木アンテナを形成しうる八木素子、及び欧州非干渉散乱 (EISCAT) レーダー科学協会のアンテナに採用されている指向性整形素子である EISCAT 素子を用いたモデルを立て、それぞれの指向性整形素子の追加による指向特性の特徴を調べ、IPRT において最も適合する解を探した。その結果八木素子の採用により水平偏波アンテナは η_i が 0.7 に達することが分かった。しかし、モーメント法ではインピーダンスは正確に計算されない

ため、一見よい解が得られたとしてもインピーダンスを平面リフレクターの上で実測により実証する必要があることが指摘された。次いで、EISCAT 素子による指向性整形の検討をおこなった。八木素子と半波長ダイポールはその長さや平面リフレクターからの高さなどが、インピーダンスの整合の点から制約を受けることが多いが、EISCAT 素子は給電素子のインピーダンスに影響をほとんど与えず、自由にそのパラメータを選べることが明らかにされた。この結果を元に EISCAT 素子を、2 組用いる給電系を新たに考案し、垂直偏波アンテナについても、 η_i を 0.7 にする解を導出した。以上により直交する両偏波について、ともに η_i が 0.7 を達成できる給電系を求め得た。

以上で得られた解析結果を実測により検証する実験を行った。実験は、縮小モデルによる電波無反射室を用いた実験と、IPRT に装着する実物大モデルによる較正電波星を用いた実験を行った。はじめに 2GHz で作製した縮小モデルを用いて解析した。モーメント法で解析された給電部アンテナの指向性は、モデル実験で良く再現されていること、直交する二つの偏波において両方で $\eta_i \sim 0.7$ を達成できること、さらに平衡不平衡変換器のうち分岐導体型のものが最も適していることが明らかにされた。。

次に実物大の給電系アンテナを作製し、較正電波星 (Cygnus A および Tau A) を電波源とした観測から給電系アンテナの性能を評価した。給電部としては八木素子を加えたクロスダイポールアンテナを作製し、水平偏波の八木素子を加えた平面リフレクター付半波長ダイポールにおいて、 η_i が実際に 0.7 を達成していることが明らかとなった。