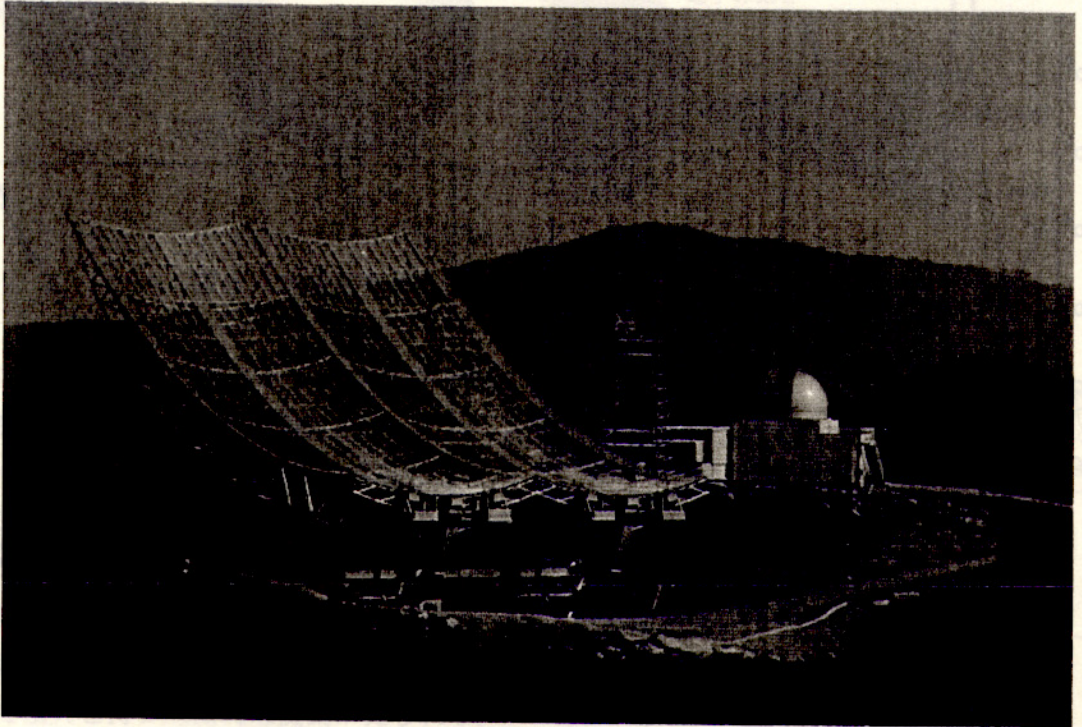


飯館電波望遠鏡による木星放射線帯観測



要旨

木星は、宇宙空間に広い波長帯にわたって電磁波を放出しており太陽系における電波星の一つとしても知られているが、その中の一つに木星放射線帯を構成する相対論的電子起因のシンクロトロン放射がある。放射機構が明らかであることから、木星放射線帯のリモートセンシングの手段として用いられており、木星放射線帯の様々な描像を明らかにしてきた。その中で近年数日から数ヶ月で強度が変動する現象がみられており、安定だと思われてきた木星放射線帯での短期のダイナミックな変動の存在が示唆された。我々はこの短期変動を探るため、専用の観測装置を立ち上げ中である。

1. 木星シンクロトロン放射の特性

1. 1. 木星電波

木星から放射されている電波のスペクトルを図1に示す。幅広い波長で放出されている電波のうち数十MHz～数GHz、波長数cm～1mの周波数帯に、木星デシメートル電波 (DIM) がある。

この電波は熱的電波と非熱的電波からなっており、このうち後者は木星放射線帯を構成する相対論的電子からのシンクロトロン放射であることが知られている。

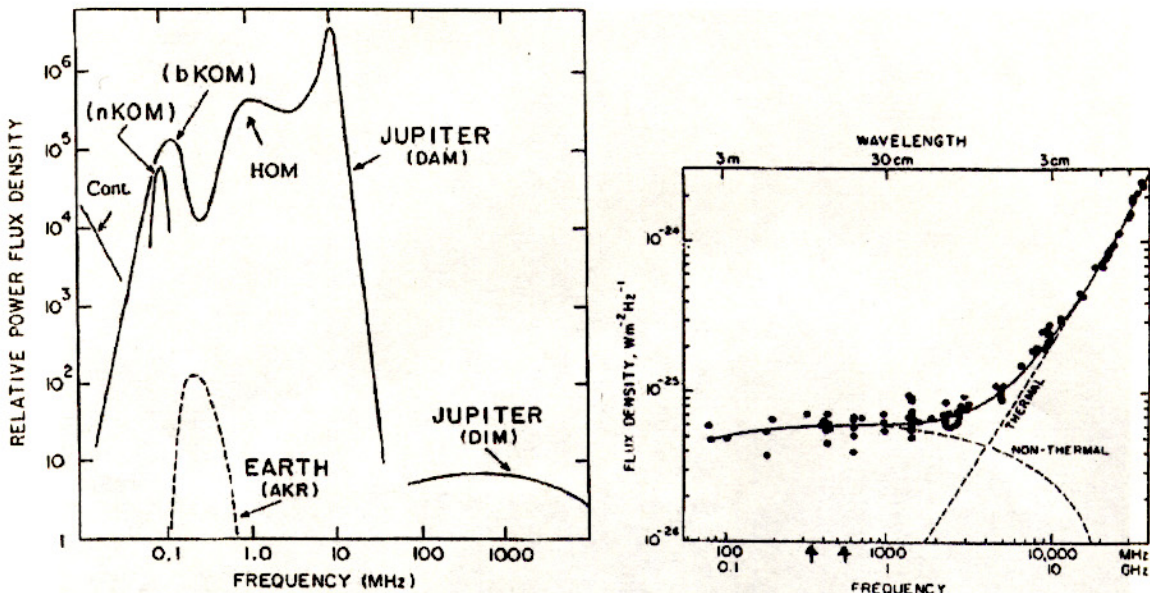


図1 木星電波とシンクロトロン放射

1. 2. 放射機構

相対論的電子から放射される非熱的放射

$$P \propto n_e B^2 E^2 \sin\alpha$$

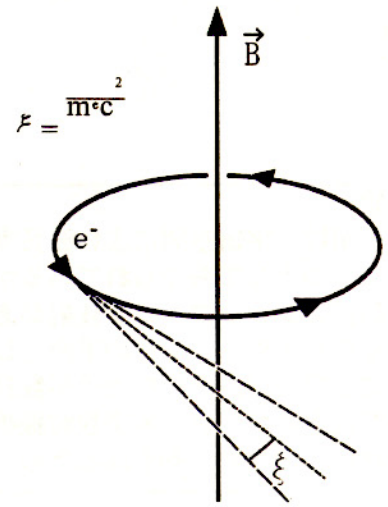
$$f_{MAX} \propto BE^2 \sin\alpha$$

n_e : 電子数

B : 磁場強度

E : 電子エネルギー

α : 電子ピッチ角



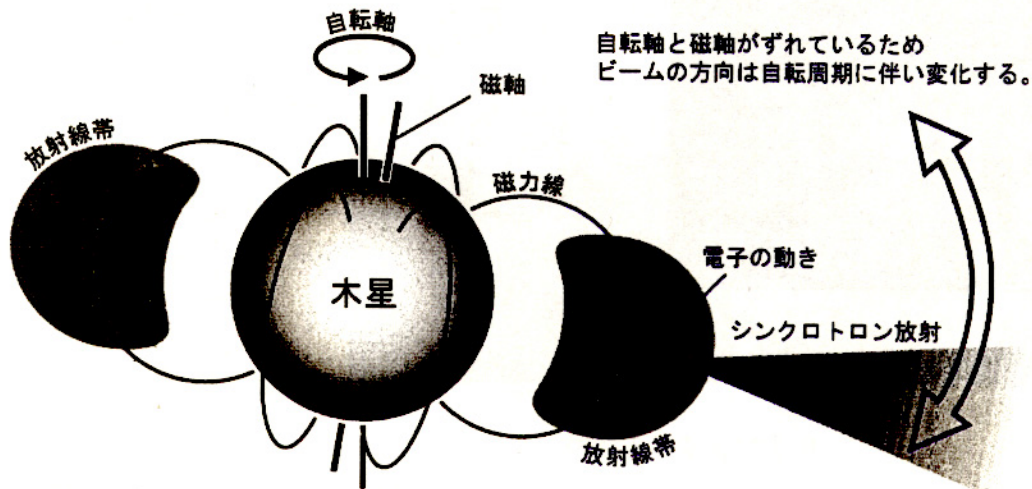


図3 木星放射線帯とシンクロトロン放射

図1で示したようにシンクロトロン放射は鋭い指向性をもって放射される。

木星放射線帯の電子は磁気赤道付近に卓越して存在しているため、放射強度のほとんどは磁気赤道面に集中する。このため木星の磁軸と自転軸のずれ(約10度)により、地球から観測すると磁気赤道が地球を向く時に極大を持つ周期的な変動が見られる。

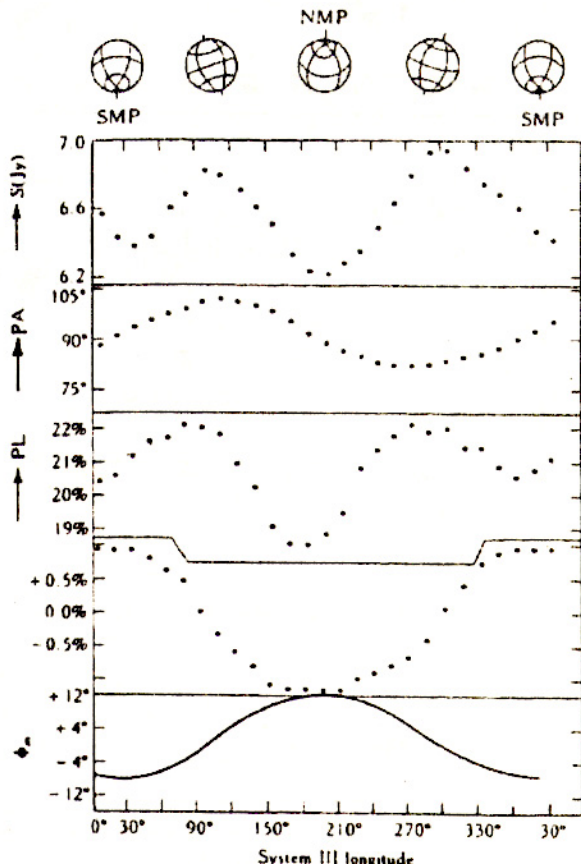


図4 ビーミングカーブ

全強度 S 、直線偏波の偏波面の位置 PA 、直線偏波の割合 PL 、円偏波の割合 PC 、地球を向いている木星の磁気緯度 Φ_m

de Pater and Klein [1989]



シマトキとレボ-カ彗星衝突
 図5 Bolton & Thorne [1996]

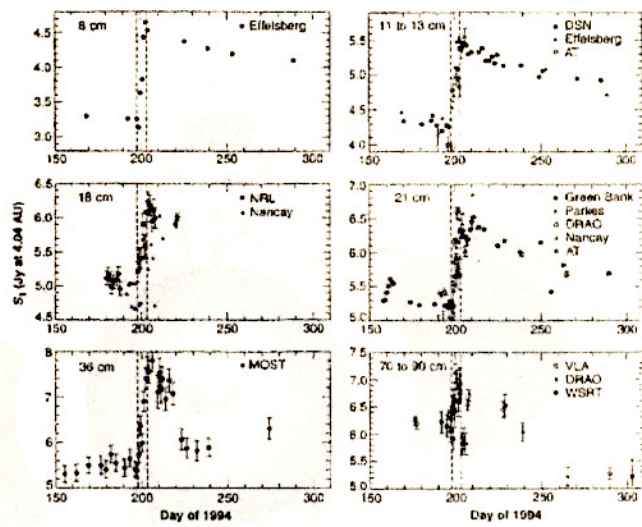


図6 Shoemaker-Levy 9 彗星衝突
 de Pater et al. [1995]

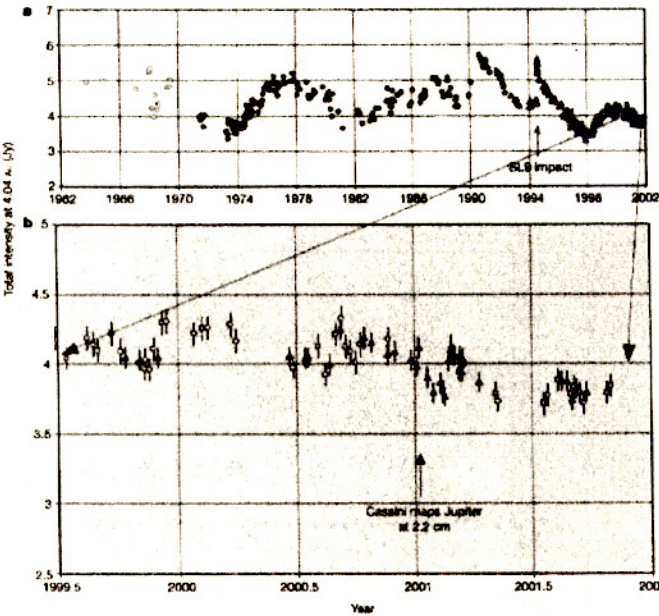


図7 木星シンクロトロン放射長期変動とその中に見られる短期変動
 Bolton et al [2002]

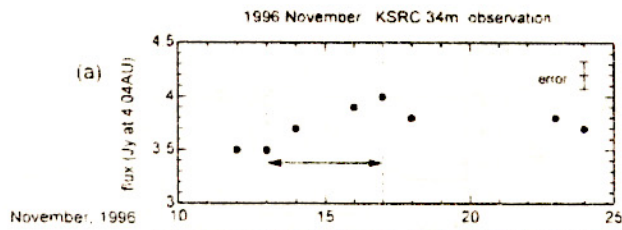


図8 短期変動の報告
 Miyoshi et al [1999]

Jupiter R. A. (J2000)	18 ^h 02 ^m	19 ^h 06 ^m	19 ^h 10 ^m	19 ^h 14 ^m
Jupiter Dec. (J2000)	-22 ^o 55'	-22 ^o 49'	-22 ^o 43'	-22 ^o 36'

2. 観測装置

2. 1. 観測システム

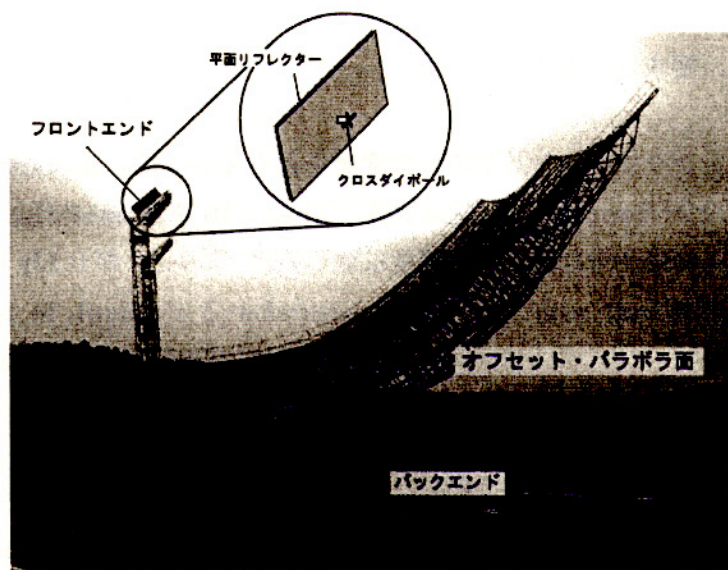


図9 飯舘大型電波望遠鏡

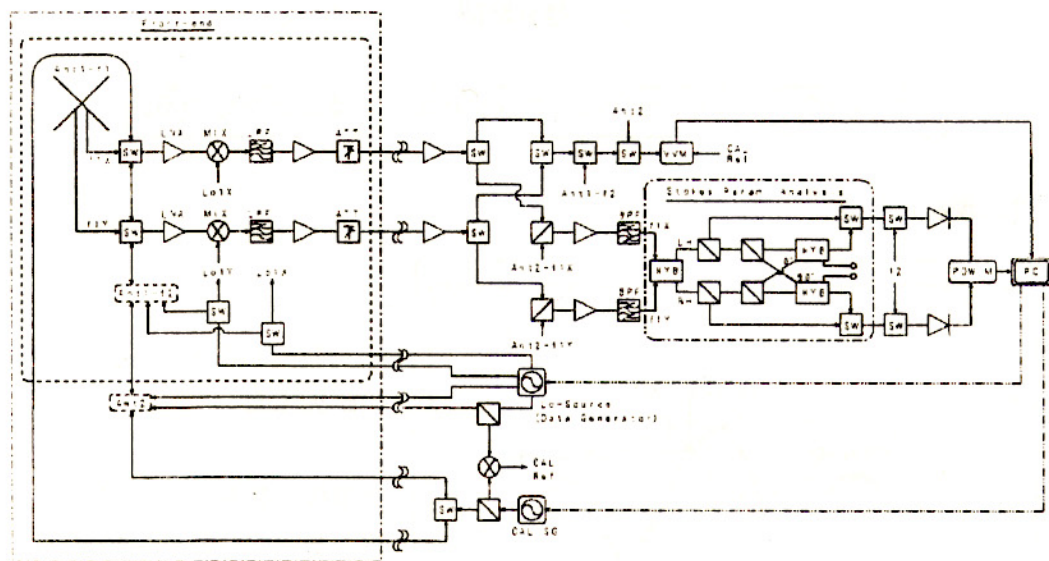


図10 受信系のブロック・ダイアグラム

アンテナ形式	オフセット・パラボラ式
開口サイズ	31m×16.5m×2式
物理開口面積	1023m ²
焦点距離	12m (F/D 比=0.39)
オフセット長	1m
反射面	ステンレスメッシュ製 (2cm ピッチ)
反射面精度	理想パラボラ面に対し 12mm _{rms}
焦点部構造	平面リフレクタ付きダイポール
平面リフレクタ	2.4m×2.4m ステンレスメッシュ製 (1cm ピッチ)

木星シンクロトロン放射の短期変動をとらえるのに必要なスペックを考える。

図 4 のピーミングカーブの振幅は約 1 Jy ($10^{-26} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}$)。このピーミングカーブを観測するには十分な最小検出感度は欲しい。つまり ΔS が 0.1 Jy 以下になるような観測装置が要求される。

最小検出感度

$$\Delta S = \frac{2k_B (T_{\text{sys}} + T_{\text{Rx}})}{A_e \sqrt{\Delta f \cdot \tau}}$$

T_{sky} : 背景放射温度 $\sim 50 \text{ K}$

T_{RX} : 受信機雑音温度 $\sim 100 \text{ K}$

A_e : 有効開口面積 $\sim 1023 \text{ m}^2 \times$ 開口能率(60%)

Δf : バンド幅 $\sim 10 \text{ MHz}$

τ : 積分時間 $\sim 10 \text{ sec}$

$\Delta S = 0.07 \text{ Jy}$ となり、十分なスペックが得られることが分かる。

2. 3. 現状と今後

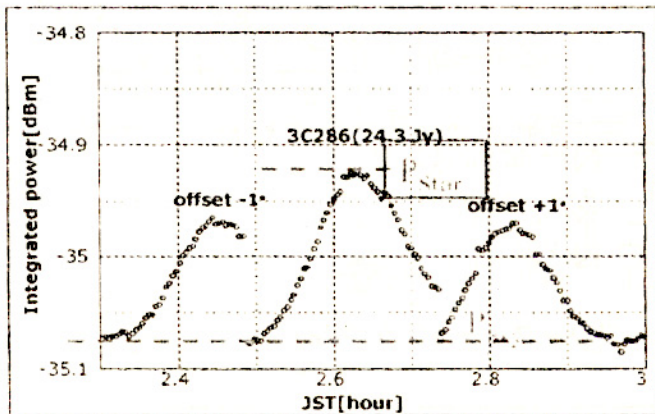


図 11. 3c286(24.3Jy @ 325MHz) の試験観測

受信機雑音温度 $\sim 83 \text{ K}$

アンテナ開口能率 $\sim 50 \%$

現在、片偏波一波長での試験観測において良好な結果を得ているが、改善すべき点も存在している(開口能率や、アンテナ志向誤差、ノイズの混入等)。

今後、両偏波の観測、2波長観測と進んでいくことで、木星放射線帯高エネルギー電子のエネルギースペクトルとピッチ角に関する情報の取得が可能となる。

参考文献

Warren L. Stutzman., Antenna theory and design

Bolton et al , Ultra-relativistic electrons in Jupiter's radiation belts, Nature, 415, 987, 2002.

de Pater, I. et al , Outburst of Jupiter's Synchrotron Radiation After the Impact of Comet Shoemaker-Levy 9, science, 268, 1879, 1995.

de Pater, I. and M.J. Klein, Time variability in Jupiter's synchrotron radiation, in Time Variable Phenomena in the Jovian System. edited by M.J.S. Belton, R.A. West and J. Rate, 139, NASA Spec. publ., SP-494, 1989

Carr, T. D., M.D. Desch, and J.K. Alexander, Phenomenology of magnetospheric radio emissions, in Physics of the Jovian magnetosphere, edited by A.J. Dessler, 226, Cambridge Univ, 1983