

鹿島コンパクトアレー (34m,26m,11m アンテナ) による 木星シンクロトロン放射の2D観測計画

鹿島宇宙通信センター 宇宙電波応用研究室

近藤哲朗

1. はじめに

木星からのデカメータ波電波放射 (22.2MHz) が発見されたのは1955年であったが[Burke and Franklin, 1955]、その1年後の1956年にはマイクロ波帯 (波長 3.15cm) での電波が観測された[Mayer et al., 1958]。その強度は 140K の黒体放射に相当し、木星本体からの熱的放射電波であった。その時点では、この電波はとりわけ興味を引く物ではなかったが、その後、波長の長い周波数帯での観測は、著しい本体温度の上昇を示し、波長 21cm では 2500K、波長 31cm では 5500K であった。この観測された電波は、木星放射線帯からのシンクロトロン放射であった [e.g., Roberts and Stanley, 1959]。図1に木星からの電波放射スペクトルを示すが、数100MHz から数GHzの部分

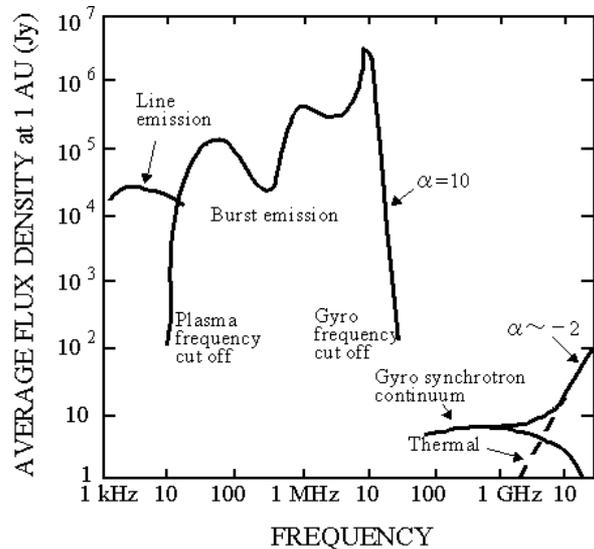


図1 木星電波放射スペクトル(Carr and Kraus, 1986)

星からの電波放射スペクトルを示すが、数100MHz から数GHzの部分

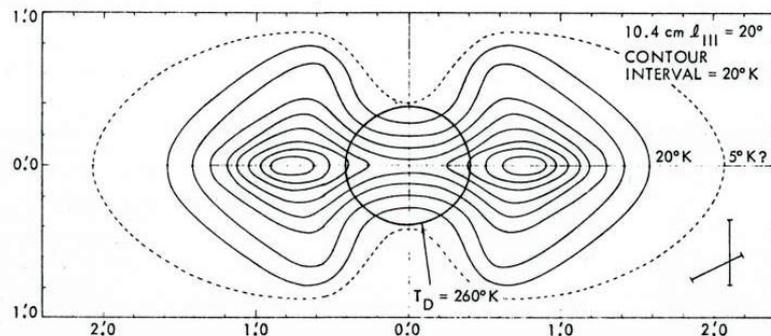


図2 木星シンクロトロン放射。初の2D観測(Berge 1966)

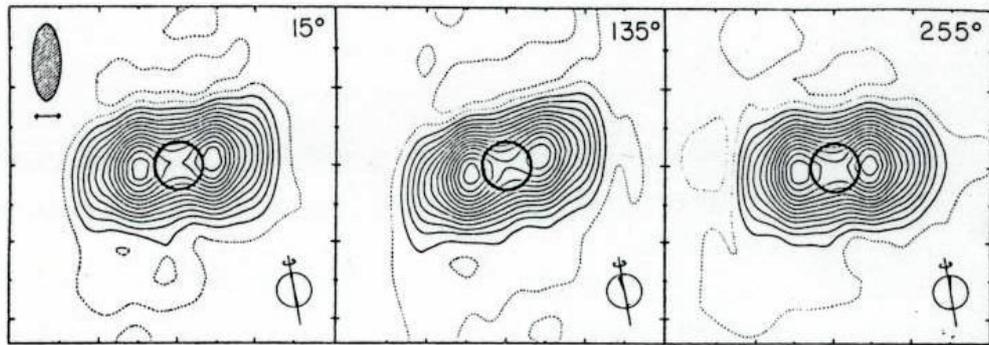


図 3 木星シンクロトロン放射の 2 D 観測(Branson, 1968)。波長 21.3cm の観測。右上の数字は中央子午線経度。

2. 2 D 観測

木星からのシンクロトロン電波放射が明らかになったのは、偏波の観測とともに、干渉計での放射領域のサイズの観測に寄るところが大であった。その様相を更に明らかにしたのは電波放射域の強度分布（2 D イメージング）観測であった。

Berge は波長 10.4cm での観測で木星シンクロトロン放射の 2 次元分布図を初めて作成した[Berge, 1966] (図 2)。Berge はオーエンスバレー電波観測所 (OVRO) の電波干渉計の観測と仮定した磁場モデルにより、左右対称な分布として 2 次元図を得た。Branson は波長 21.3cm の 1 マイル干渉計の観測からインバージョンにより 2 次元強度分布図を得た[Branson, 1968] (図 3)。Branson の結果には、中央子午線経度(CML)依存性や左右非対称性なども見られている。

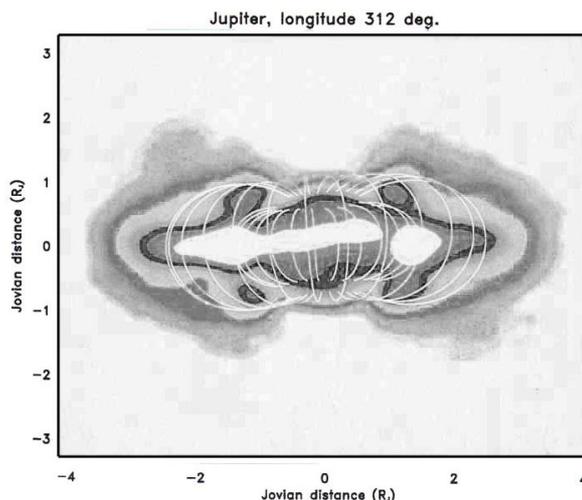


図 4 V L A 観測で得られた木星シンクロトロン放射の 2 D イメージ(de Pater et al., 1997)

その後、観測装置の発達により 2 D イメージング観測技術が飛躍的に向上し、V L A や A T C A により、精細な 2 D 分布図が得られるようになってきた。図 4 は V L A (Very Large Array : 25m アンテナ 27 基 : 米国 ソコロ) で観測した結果 (1465MHz) である[de Pater et al., 1997]。左右の非対称性の他、木星の衛星アマルセアの効果と考えられる高緯度側のスポット、赤道面のうねりが顕著に見て取れる (これらの詳細については本報告では触れない)。

図 5 は A T C A (Australia Telescope Compact Array : 22m アンテナ 6 基 : オーストラリア ナラブライ) で観測した 1.4GHz

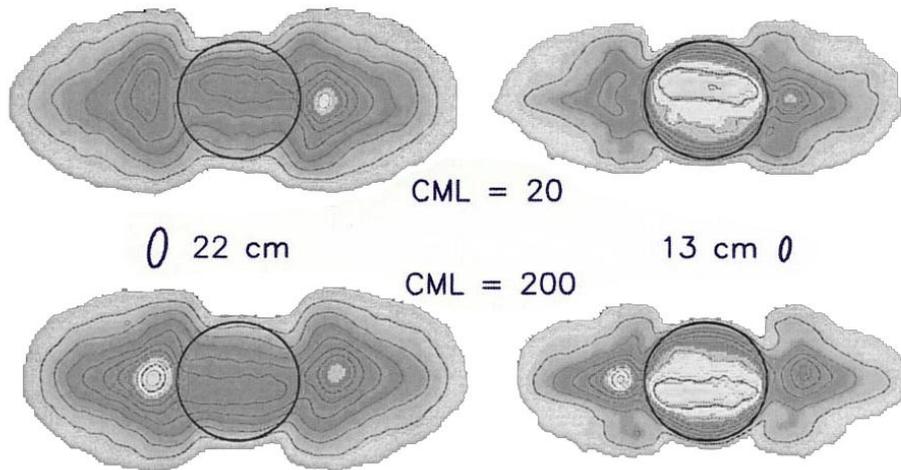


図 5 ATCAで観測した木星シンクロトロン放射の2Dイメージ(Leblanc et al., 1997)

および2.3GHzの結果である[Leblanc et al., 1997]。中央子午線経度が 20° および 200° の場合が示されている。最近ではこうした2D観測と、

木星の10時間弱という早い自転周期を組み合わせることにより、トモグラフィーの手法を利用して木星シンクロトロン放射強度分布の3次元構造まで明かとなってきた。図6にSaultらによって得られた3次元構造の例を示す[Sault et al., 1997]。

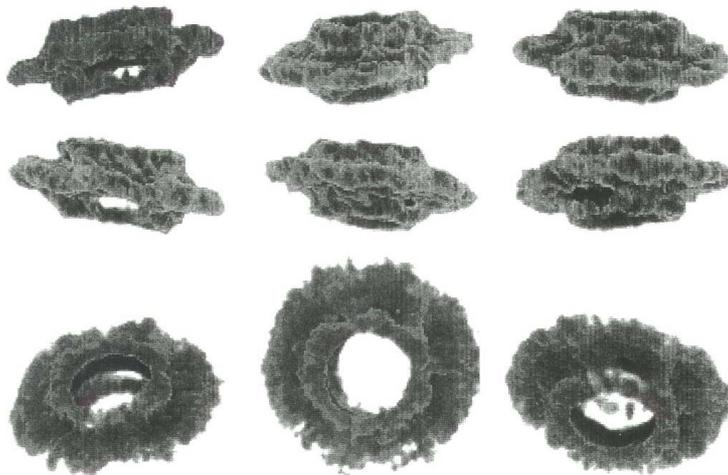


図 6 木星シンクロトロン放射の3次元構造(Sault et al., 1997)。ATCAでの2.3GHzでの観測結果。

3. 国内での2D観測の可能性

地球から見た木星のサイズおよび観測周波数(数GHz)から数倍の木星半径規模に広がる木星放射線帯からのシンクロトロン放射の2D観測に必要なアンテナのスケールは数100mである。通信総合研究所鹿島宇宙通信センターには、2GHz帯が受信できるアンテナが3基(34mアンテナ、11mアンテナおよび国土地理院所有の26mアンテナ)があるが、図7に示されるように、それらの間隔は数100mである。これらのアンテナを利用して木星を観測した場合の合成ビームについて検討を行った。図8に34mアンテナと26mアンテナ(基線長311.2m)で観測した場合(観測周波数2.2GHz)のUV(図の

左側：Uは電波源方向に投影した基線ベクトルの赤経成分、Vは赤緯成分）とビームパターン（フリンジ）（図の右側）を示す。木星の赤緯は 20° （今年の平均的値）、時角は $0 \sim 10^\circ$ である。木星は10時間弱の周期で自転しており、また、シンクロトン放射の強度分布に中央子午線経度依存性があることから、通常の地球の自転を利用した開口合成を行うことができない（観測時間中に電波源の構造が変化するため）。ところが、5日間、木星が地平線上にある時間、連続的に観測を行い、同じ中央子午線経度となる条件について、UV平面上にその観測点をプロットすると、図9左側のようなUV分布が得られる。このUV分布から計算されるビームパターンは図9右側であるが、ほぼ木星の視直径に相当するビームが得られていることがわかる。したがって、5日間の連続観測により、木星シンクロトン放射の2D分布図の作成が可能であることが示された。11mアンテナを加えることにより、さらに良好なビームを得ることができる（図10）。

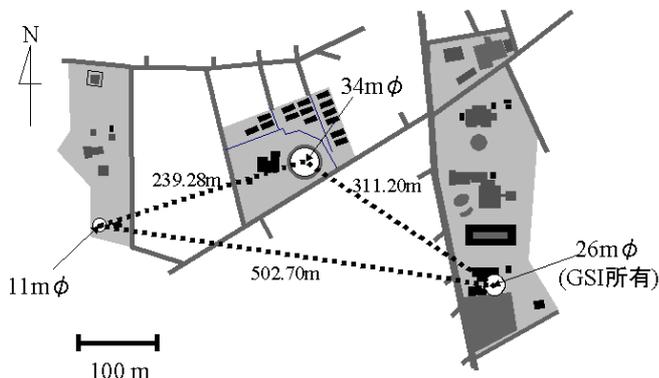


図7 鹿島宇宙通信センター内のアンテナ配置 (Kashima Compact Array)

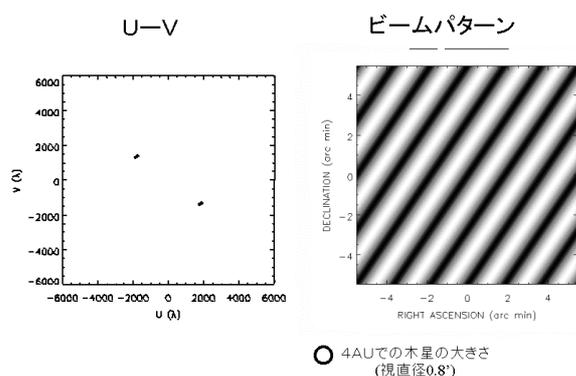


図8 34mアンテナ - 26mアンテナで観測した場合のUVとフリンジ。木星の赤緯は 20° 、時角は $0^\circ \sim 10^\circ$ の場合。

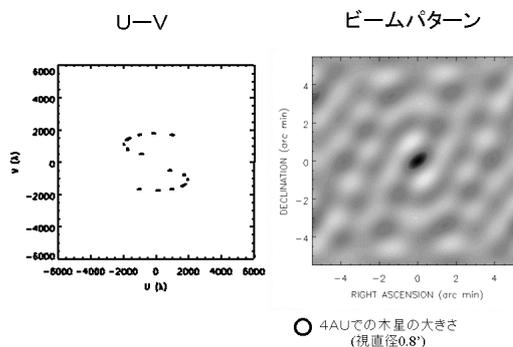


図9 34m - 26mアンテナの組み合わせで5日間、同じ中央子午線経度を観測した場合のUVとビームパターン

4. 終わりに

鹿島宇宙通信センターにある34mアンテナ、11mアンテナおよび26mアンテナ（国土地理院所有）を使用した木星シンクロトン放射の2D観測の可能性に関して検討を行った。その結果、木星視直径程度のビームサイ

ズが得られることが分かった。また、5日間の観測で、全中央子午線経度に関する2Dイメージが得られることも判明した。木星シンクロトロン放射は34mアンテナを使用したシングルディッシュ観測から数日から数週間の時間スケール変動することが明らかになっている[Miyoshi et al., 1999]。2D観測により、この変動をとらえることにより、木星磁気圏のダイナミクスに関する研究の進展が期待される。早期に鹿島での木星シンクロトロン放射2D観測を実現したい。

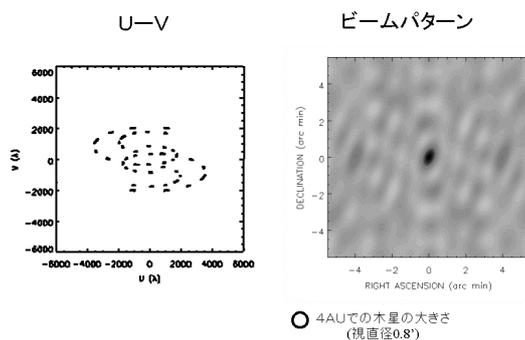


図 10 34m - 26m - 11mアンテナの組み合わせで5日間、同じ中央子午線経度を観測した場合のUVとビームパターン。

参考文献

- Berge, G.L., An interferometric study of Jupiter's decimeter radio emission, *Astrophys. J.*, 146, 767-798, 1966.
- Branson, N.J.B.A., High resolution radio observations of planet Jupiter, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 139, 155-162, 1968.
- Burke, B.F. and K.L. Franklin, Observation of a variable radio source associated with the planet Jupiter, *J. Geophys. Res.*, 60, 213-217, 1955.
- Carr, T.D. and J.D. Kraus, 8-18 Jupiter and Io, in *Radio Astronomy*, 2nd ed. by J.D. Kraus, Cygnus-Quasar Books, Ohio, 1986.
- de Pater, I., M. Schulz, and S.H. Brecht, Synchrotron evidence for Amalthea's influence on Jupiter's electron radiation belt, *J. Geophys. Res.*, 102, 22043-22064, 1997.
- Leblanc, Y., G.A. Dulk, R.J. Sault, and R.W. Hunstead, The radiation belts of Jupiter at 13 and 22 cm I. observations and 3-D reconstruction, *Astron. Astrophys.*, 319, 274-281, 1997.
- Mayer, C.H., T.P. McCullough, and R.M. Sloanaker, Observations of Mars and Jupiter at a wavelength of 3.15 cm, *Astrophys. J.*, 127, 11-16, 1958.
- Miyoshi, Y., H. Misawa, A. Morioka, T. Kondo, Y. Koyama, and J. Nakajima, Observation of short-term variation of Jupiter's synchrotron radiation, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 9-12, 1999.
- Roberts, M.S. and G.J. Stanley, Radio emission from Jupiter at a wavelength of 31 centimeters, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 71, 485-496, 1959.
- Sault, R.J., T. Oosterloo, G.A. Dulk, and Y. Leblanc, The first three-dimensional

reconstruction of a celestial object at radio wavelengths: Jupiter's radiation belts,
Astron. Astrophys., 324, 1190-1196, 1997.