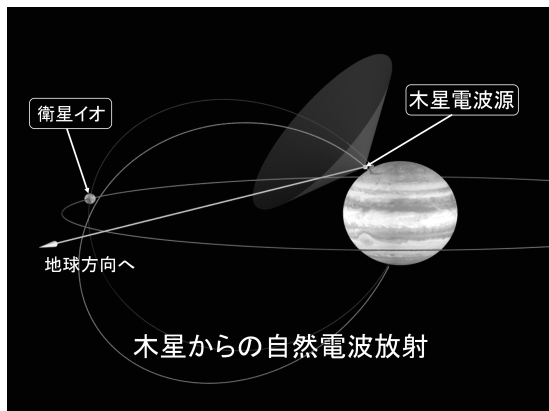


木星から地球に届く謎の電波を探る

巨大な惑星である木星からやってくる謎の電波・・・
1955年に発見された木星電波は、長年の地上観測と木星をターゲットとした惑星探査機によって、その驚異的な電波放射機構が解き明かされつつある。木星電波の研究の最前線と高知高専の学生チームが衛星設計コンテストで提案した新しい木星電波観測方法を紹介する。

高知工業高等専門学校
電気情報工学科 学科長 教授 今井 一雅



木星電波の発見

木星は、太陽系最大の惑星で、地球から約6億kmも離れている。この遙か彼方の木星から自然に放射されるバースト状の電波は、驚くべきことに地球でも強力に受信することができる。

この木星電波は、1955年の1月から3月の間に、アメリカのワシントンDCの郊外に位置するカーネギー研究所の宇宙電波観測所で「かに星雲」からの電波を観測中に偶然発見されたものである。観測周波数は短波帯（デカメートル波）の22MHzで、ミルスクロス・アンテナという大型電波望遠鏡で観測されたデータに、突発的に現れるバースト状の謎の電波が観測された。この電波は、その年、偶然「かに星雲」の近くにあった木星からの電波であることがデータ解析の結果、明らかとなった。この木星デカメートル波の発見は、後に惑星磁気圏物理学という新しい研究分野を切り拓くことになった。

ちなみに、筆者は1955年2月生まれで、まさにこの木星電波が発見された時に生まれたことになる。このため、木星電波の研究を始めた動機を聞かれた時は、そのような星の下に生まれましたと説明することになっている。

フロリダ大学での木星電波の研究

この木星電波の発見をきっかけに木星電波の観測を活発に始めた研究グループの一つが、フロリダ大学天文学科の研究グループである。この研究グループのリーダーがCarr教授で、1990年に、筆者が文部省の在外研究員でフロリダ大学天文学科の客員助教授として、家族ともども9ヶ月お世話になった。

幸いなことに、このフロリダ大学滞在中に、木星電波の研究において重要な発見をすることができた。この発見は、それまで誰も説明ができなかった図1のような木星電波のダイナミックスペクトラムに現れる縞状構造（モジュレーション・レーンと呼ばれる）が、木星電波源から地球に電波が伝搬する間にプラズマのスタレ状構造を通過するために生成されることをつきとめたことである。これは、図2のように木星の衛星イオから吹き出されたプラズマが衛星イオの軌道付近に沿って分布し、そのプラズマが木星の磁力線に沿ってすだれ状の構造となり、そのプラズマのすだれが回折格子のような役割を果たして電波の干渉が起こることによりモジュレーション・レーンが生じるモデルである。

この「今井すだれモデル」を使って、今まで、全くわかっていなかった木星電波源の位置を正確に求めることが可能となった。これは、木星の磁場モデルを使ったコンピュータ・シミュレーションにより、観測されたダイナミックスペクトラム上のモジュレーション・レーンの傾きと、木星電波源の位置とを対応させることができるようになったからである。

また、木星電波放射は木星の磁力線に対して60度から70度の方向に出ており、磁力線に対して軸対称で考えるとコーン状のビーム構造となることもわかってきた。惑星探査機の観測結果からは、このコーン状のビームの厚みは1度以下であることもわかってきている。

ちなみに、この「今井すだれモデル」の研究成果のおかげで、筆者は2003年に京都大学より博士号（情報学）を頂くことができた。

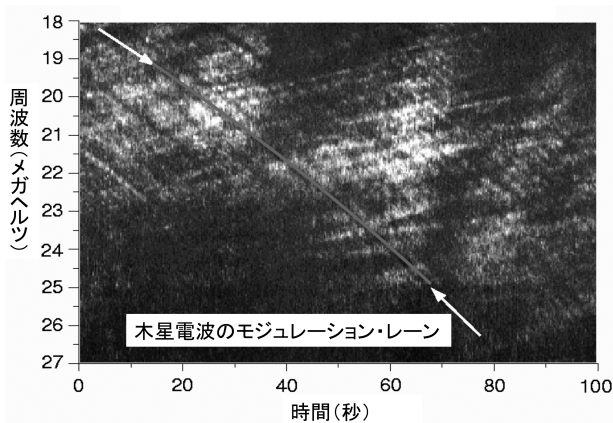


図1 木星電波のダイナミックスペクトラムに現れる縞状構造(モジュレーション・レーン)

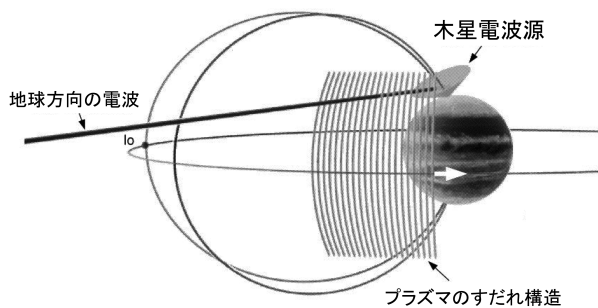


図2 木星電波のモジュレーション・レーンを説明することのできる「今井すだれモデル」

木星電波のサーチライトビームモデル

木星電波が発見されてから57年が経とうとしているが、不思議なことに木星電波の発生頻度が木星の公転周期である12年で大きく変動することが観測により明らかとなってきた。これは、木星の自転軸が3度傾いており、木星中心の木星の自転軸からの地球方向の傾きであるDe (Jovicentric Declination of the Earth) が、12年間で±3度変化することから、De効果と呼ばれている。このDe効果が正しいとすると、±3度のわずかに6度の角度のずれで木星電波放射の発生頻度の大きな変化を説明できるモデルが必要となる。

単純な幾何学的な問題であるとする、今まで考えられてきた磁力線に対してある角度で電波放射を行う軸対称のコーン状のビーム構造では説明できないことになる。何故なら、コーン状のビーム構造の場合は、地球方向の赤道面を交差するのは2方向あり、わずかに6度のずれではこの2方向の解は必ず存在し、木星電波放射の発生頻度を大きく変えるような要因にはなり得ないからである。

そこで、図3のようなコーン状のビームの一部が強くなったサーチライト状のビーム構造を考えた。これは、従来のモジュレーション・レーン法で求められた電波源のモデルと矛盾しないモデルで、図4にはこのサーチライトビームのみを強調したCGを示した。この「今井サーチライトビームモデル」によって、初めて緯度方向に絞られたビーム構造を考えることができるようになった。

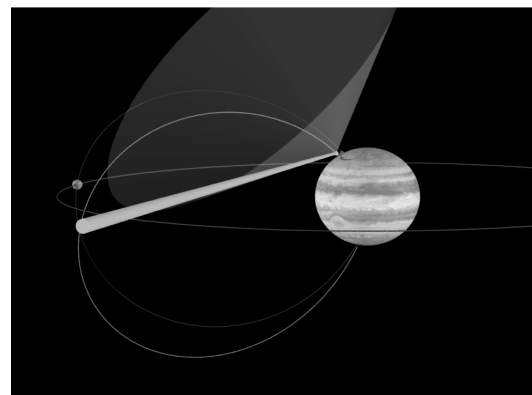


図3 コーン状のビームの一部が強くなったサーチライト状のビーム構造

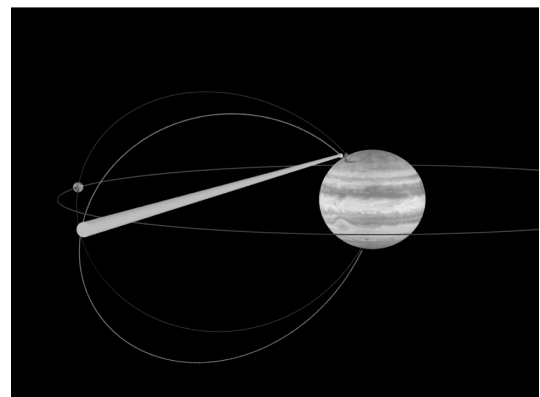


図4 木星電波放射のサーチライトビームモデル

サーチライトビームモデルの木星電波源の形状

このサーチライトビームモデルでは、De効果による木星電波放射の発生頻度の大きな変化を説明するために、緯度方向に5度程度のビーム幅を考える必要がある。これは、De効果の6度程度の角度変化での発生頻度の変化を説明するためである。この5度程度のビーム幅を実現するために、図5のような、2次元的な広がりを持つコヒーレントな電波源の形状を考えた。この2次元的な広がりの方角は、緯度方向であるのが重要なポイントとなる。つまり、同じ経度で緯度方向に沿った磁力線上に電波源が連続的に分布してお

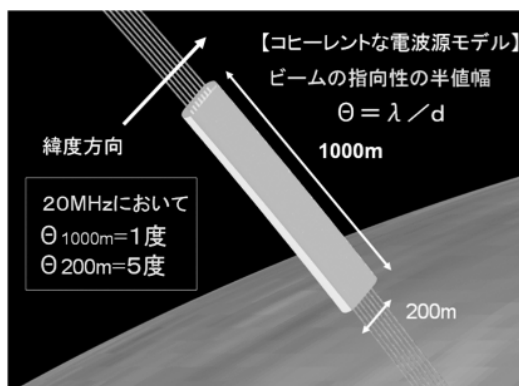


図5 コヒーレントな木星電波源の形状

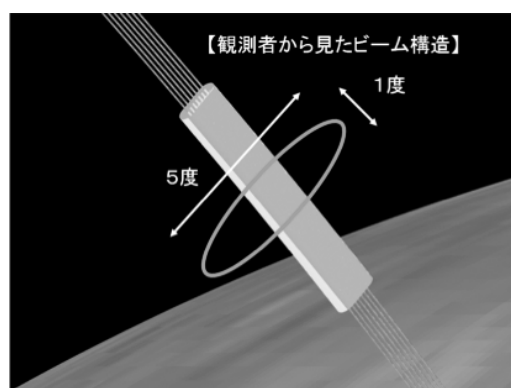


図6 木星電波サーチライトビーム構造の断面

り、瞬時的にコヒーレント（同一周波数で同一位相）になる2次元的な広がりを持つ木星電波源の放射面が存在することを意味している。

図5に示すように磁力線方向に1000 m、緯度方向に200 mのコヒーレントな2次元の電波源の形状（長さ: d ）を考えると、ビームの指向性の半値幅の角度 θ は、 $\theta = \lambda / d$ より（波長 λ は、20MHzで15mとなる）、それぞれ1度と5度のビーム幅を考えることができる。前者の1度は、前述の惑星探査機で測定されたコーン状のビームの厚さに対応するものであるが、後者の5度は、緯度方向の電波源の広がりを考えることによるものである。つまり、この緯度方向の電波源の広がりが、電波源の緯度方向のビーム幅となる5度を決定することになる。したがって、図6に示すように図4のサーチライトビームの断面は円とはならず、つぶれた楕円のような非等方性を持つことになる。

木星電波研究の最前線

以上、筆者の研究を中心に、木星電波研究の最前線について紹介してきた。昨年の8月にNASAが打ち上げた木星探査機JUNOは、2016年に木星の極軌道

で木星デカメートル波の観測を行う予定である。従来、木星デカメートル波を観測した惑星探査機は、軌道は赤道軌道に限られていたが、初めて極軌道に投入されるJUNOによって、木星電波サーチライトビームモデルで予想される緯度方向に絞られたビーム構造があるかどうかは初めて検証できることになる。

一方、筆者等は写真1のような愛媛県の県境に近い高知県仁淀川町に吾川木星電波観測所を設置し、VLBI（超長基線干渉計）という手法による木星電波の地上観測を行っている。この観測所では、写真にあるように、受信用のアンテナとして、クロスのログペリオディックアンテナを使用している。

このVLBI観測の目的は、日本に5カ所ある観測点で同時観測することにより、直接、電波源の大きさや位置に関する情報を得ようというものである。観測点間の距離となる基線長が長ければ長いほど分解能が良くなるので、日本国内でもできるだけ距離を離すことができる観測点を増やすことや、同じローカルタイムでVLBI観測ができる南半球のオーストラリアに観測点を設置することも検討している。



写真1 高知高専の吾川木星電波観測所（高知県仁淀川町）
<http://jupiter.kochi-ct.jp/agawa/>

高知高専の学生チームが提案した新しい木星電波観測の方法

将来の木星電波観測に向けて、高知高専の学生チームが衛星設計コンテストで提案した新しい木星電波観測方法を紹介したい。図7は、2007年の第15回衛星設計コンテストの受賞作品で、地球の電離層のような短波帯の宇宙電波受信に支障がない月面で木星電波観測を行うためのシステムが提案されている。アンテナはデカメートル波帯用で、広帯域な電波観測が可能なログスパイラル・アレイ・アンテナで構成されている。この月面木星電波天文台と地球上の複数の観測点を組み合わせてVLBI観測し、木星電波源の大きさを

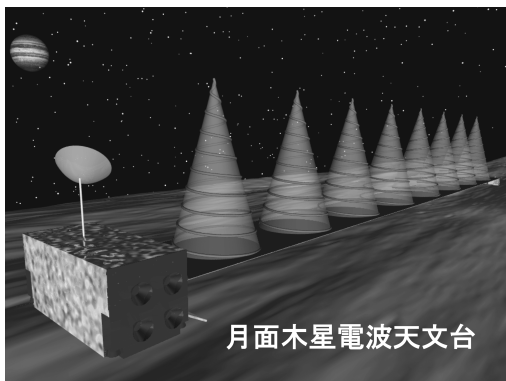


図7 高知高専学生チームの第15回衛星設計コンテスト受賞作品（日本天文学会賞）
月面電波天文台「すぶりんぐはすかむ〜ん」



図8 高知高専学生チームの第19回衛星設計コンテスト受賞作品（地球電磁気・地球惑星圏学会賞）
ラグランジュポイント衛星「LAPOS」
ー木星電波スペースVLBIプロジェクトー

20MHzで30kmまでの分解能で調べようというのが、筆者等の夢でもある。

一方、図8は、2011年の第19回衛星設計コンテストの受賞作品で、地球・月系のラグランジュポイント

に3機の衛星を配置し、木星電波のスペースVLBIを実現しようというものである。これは、軌道上の安定な場所から、さらに高分解の木星電波VLBI観測が可能となる究極の観測システムであると言える。

おわりに

以上、木星電波の紹介と木星電波研究の最前線、そして高知高専学生チームが提案した新しい木星電波観測方法について紹介した。

木星電波の研究の話をすると、よく木星電波は何の役に立ちますかという質問を受けることがある。これに対して筆者は、木星電波の放射機構を解明することは、将来、地球のエネルギー問題を解決することのできる大きなヒントを得ることができることにつながると答えることにしている。地球まで届く木星電波放射のエネルギーは桁外れに大きなもので、レーザーと同じような効率の良いエネルギー変換のメカニズムが働いているはずである。このメカニズムの解明は、人類にとって必ず役に立つ時が来ると考えている。

筆者は、ライフワークとして、この楽しい木星電波の研究を続けていきたいと考えている。

<参考文献>

- [1] T.D. Carr et al., The twelve-year periodicities of the decametric radiation of Jupiter, Radio Science, 5, 495-503, 1970.
- [2] K. Imai et al., A model for the production of Jupiter's decametric modulation lanes, GRL, 19, 9, 953956, 1992.
- [3] K. Imai et al., Modeling Jupiter's decametric modulation lanes, JGR, 102, A4, 71277136, 1997.
- [4] K. Imai et al., Measurement of Jupiter's decametric radio source parameters by the modulation lane method, JGR, 107, A6, 10.1029/2001JA007555, 2002.

【高知高専の紹介】

高知高専では、本科から専攻科までの全学生905名に携帯情報端末（iPod touch）を貸与し、また、全教員66名に多機能端末（iPad2）を配布して新しい教育プロジェクトに取り組んでおります。これは、平成21年度の文部科学省の大学教育・学生支援推進事業【テーマA】大学教育推進プログラムで採択されました、高知高専の「自己成長力を加速する次世代ICT活用教育」（研究代表者：今井一雅）の取り組みによるものです。

この取り組みは、すでに設置されたキャンパス全域で利用可能なキャンパス無線LANによる教育研究活動の実績を踏まえて、さらに革新的な携帯情報端末（iPod touch）の活用による学生の自主的実践力、課題探求能力、創造的思考力等から成る「自己成長力」の涵養を図る世界的に見ても先進的なICT活用教育を目指すものです。この次世代ICT活用教育においては、新たに次世代工学実験eラーニングシステム、次世代個別学生指導支援システム、次世代技術者英語学習システムを開発し、その運用を行うことにより、高専の学生の自己成長力を加速する新しい仕組み作りを行い、その成果をもとに広くこのシステムを全国の高専に普及させることを目的としております。



高知高専の「自己成長力を加速する次世代ICT活用教育」プロジェクトのホームページ (<http://gp.kochi-ct.jp/>)