

氏名・(本籍)	こん どう てつ ろう 近 藤 哲 朗
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理博第 760 号
学位授与年月日	昭和 57 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 地球物理学専攻
学位論文題目	Study on the Source of Jovian Decametric Radio Waves (木星デカメータ電波源の研究)
論文審査委員	(主査) 教 授 大 家 寛 教 授 上 山 弘 教 授 田 中 正 之 助 教 授 齋 藤 尚 生

論 文 目 次

ACKNOWLEDGMENTS

CONTENTS

1. Introduction
2. Origin of Jovian Decametric Radiation
 - 2.1 General Characteristics of Jovian Decametric Radio Waves
 - 2.2 Occurrence Characteristics
 - 2.3 Dynamic Spectra of Jovian Decametric Radio Waves
 - 2.4 Origin of Jovian Decametric Radio Waves
3. Significance of Polarization of Jovian Decametric Radio Waves
 - Motivation of the Present Study
 - 3.1 Polarization Characteristics

- 3.2 Significance of Polarization of Jovian Decametric Radio Waves
- 4. Observation of Polarization of Jovian Decametric Radio Waves
 - 4.1 Instrumentations
 - 4.2 Narrow Band Observation
 - 4.3 Wide Band Observation
 - 4.4 Summary and Discussion of Observation Results
- 5. Source Region of Jovian Decametric Radio Waves in Ionosphere
 - 5.1 Locations of Jovian Decametric Radiation Source
 - 5.2 Summary and Discussion
- 6. Three Dimensional Distribution of Source Region of Jovian Decametric Radio Waves
 - 6.1 Source Model and Method
 - 6.2 Comparison of Results with Observation Results
 - 6.3 Summary and Discussion
- 7. Concluding Remarks

BIBLIOGRAPHY

APPENDIX

論文内容要旨

1. 序論

太陽系最大の惑星である木星は、地球の10倍以上もの強い磁場を持ち、早い自転の為、変化に富んだ巨大磁気圏をまとい、そのプラズマ中では激しく電磁現象が展開している。この木星から、非常に強いバースト状の電磁波、デカメータ電波が放射されているが、その放出エネルギーは 10^{11} Wattにもおよび、地球上では時として太陽からの放出よりも強い電波として観測される。木星デカメータ波の発見以来、多くの観測が行なわれ、デカメータ波の出現特性が詳しく調べられた。その結果、デカメータ波放射には2つの成分がある事が明らかとなった(第1図)。1つはイオ衛星に依存した成分で、他の1つは、イオ衛星に依存しない非イオ依存性の電波源である。さらに、非イオ依存性電波放射は太陽風との間に良い相関が発見されている。したがって木星デカメータ波の研究は、惑星電波発生メカニズムの解明だけに留まらず、惑星の電磁環境を研究する為に重要な対象となってきた。

木星デカメータ波の発生メカニズムおよびその発生領域に関して、この電波の発見以来種々の議論がなされてきている。1970年代初頭までは、サイクロトロン放射およびセレンコフ放射といった放射線帯に存在する高エネルギー粒子から直接に電磁波が発生するという放射機構が考えられた。これらの理論は発生メカニズムとしては理解できるものであるが、木星デカメータ波の場合の強大な放出エネルギーを説明することが不可能であった。1974年、Oyaは惑星プラズマ中に大量に存在する比較的低エネルギーの粒子との相互作用によって生じる静電的プラズマ波から、最終的にL-Oモードの電磁波へのモード変換が行なわれ、デカメータ波放射が起こるというモード変換理論を提出した。これは直接放射メカニズムがR-Xモードを示すという理論とは明確なコントラストを持っている。低エネルギー粒子は地球ではオーロラに伴う降下粒子中にみられ、木星においても、イオ衛星と磁力線との相互作用、および木星磁気圏と太陽風との相互作用は、こういった低エネルギー粒子のエネルギー源になると考えられる。また、モード変換理論は従来の理論では説明できなかった木星デカメータ波の巨大なエネルギーを十分に説明する事ができるものである。

本研究の目的は、木星デカメータ波偏波の観測および木星磁場モデルとモード変換理論に基づいた発生領域並びに出現特性のモデル計算と観測結果の比較検討することにより、木星デカメータ波の発生領域および電波源での電波モードを決定し発生メカニズムの検証を与える事にある。

2. 木星デカメータ波偏波観測および結果

木星デカメータ波放射の電波源でのモードを決定するにはまず偏波観測が必要不可欠である。そこで本研究では偏波観測が開始された。最初に受信周波数21.866MHz, 受信帯域巾500Hz

の狭帯域偏波計が開発され、この狭帯域偏波計を用いた観測が1977年9月より始められた。引き続き、受信周波数20MHz~35MHzにわたる広帯域偏波計の開発を行ない、広帯域偏波の観測を1980年2月より開始している。偏波観測の結果は、木星デカメータ波放射の90%以上が右旋偏波であり、左旋偏波はイオ依存性電波源にしか存在しないことを示した。この結果は過去の観測者の結果と同様の結果であるが、しかし偏波の軸比(axial ratio)の分布に関しては新しい結果が得られた。すなわち、イオ依存性電波源と非イオ依存性電波源に分けた場合に軸比分布に顕著に特性の違いが現われた。非イオ依存性電波源では、軸比が1に近い完全円偏波成分のみであるが、イオ依存性電波源においては、円偏波成分と楕円偏波成分の混在が見られた。

3. デカメータ波発生域とモデル計算結果

電波発生領域と発生した電磁波のモードを知るためには発生領域を知る必要がある。つまり、そこでの磁場が既知の場合、受信される偏波性質(右旋性または左旋性)より電磁波のモード決定が行なわれ、これによって発生メカニズムの解明が行なわれる。しかしながら、現在、観測的に発生域を同定するには限界がある。そこで、パイオニア10, 11号の観測をもとに作られた磁場モデル(GSFC-O₄)を用い、木星デカメータ波発生域の理論的な予測を行ない、さらにデカメータ波出現特性のモデル計算を行ない、観測結果と比較を行なった。

ここで仮説として発生域および出現特性の計算はすべて、モード変換理論に基いている。モード変換理論によれば、静電的プラズマ波から電磁波への変換は、磁力線が電離層面に対して垂直つまり伏角が $\pm 90^\circ$ 近くで効率よく起こり、さらに放射は磁力線に対して直角方向に鋭い指向性を持つ。そこで磁力線の電離層における伏角を条件として発生域を決め、さらに木星デカメータ波のエネルギー源を明らかにする為、発生域を次の4つに分けた。すなわち(I) $4.9 < L < 6.9$, (II) $6.9 < L < 10$, (III) $10 < L < 20$, および(IV) $L > 20$ の4つの領域である。ここでLは磁力線によって定義される緯度、いわゆるL値である。領域(I)はボイジャー1, 2号によって発見されたイオ・トーラスと呼ばれるプラズマ密度の濃い(2000/cc)ドーナツ状の領域につながる領域である。領域(IV)は磁気圏ディスクおよび太陽風と直接に相互関係を行なっている領域につながっている。領域(II)(III)はそれらの中間の領域である。出現頻度特性の計算は放射が磁力線に対して直角方向に鋭い指向性を持つという条件のもとに行なわれた。発生領域の同定は観測結果との比較により行なわれ、その結果、非イオ依存性主電波源は発生域を木星の南極域、 $L > 20$ の領域とした場合に出現特性モデル計算結果と観測結果の間に良い一致がみられた(第2図)。モード変換理論ではL-Oモードの電磁波が放射される為、木星の南極域からは右旋偏波として放射され、非イオ依存性電波源からの放射のほとんどが右旋偏波であるという観測事実をも説明できるものである。またイオ・トーラスは非イオ依存性電波源のエネルギー源とはなり得ない事が明らかとなった。したがって、非イオ依存性電波源のエネルギー源として $L > 20$ の高い緯度領域からの寄与が本質的である。さらに出現特性モデル計算は周波数も考

慮に入れる為、発生域を3次元に拡張して行なわれた。その結果、やはり $L > 20$ の領域が非イオ依存性電波源のエネルギー源として重要な領域であることが示された。

イオ依存性電波源の場合、発生域をイオ衛星を通る磁力管 (IFT) の木星電離層側の根元と仮定した場合に実際のデカメータ電波の出現特性を説明できるという結果を得た。また、非イオ依存性電波源の場合の計算結果は木星の南極域からの放射が地球で主に観測される成分である事を示しているが、イオ依存性電波源の場合、30MHz以下では南北両半球のIFTの根元からの放射が同等に観測されることを示している。したがって互いに逆回転の偏波が観測されることになる。イオ依存性電波源において30MHz以上では北半球のIFTの根元にしか発生域が存在し得ないが、先に述べたようにモード変換理論により $L-O$ モードの電磁波が放射される場合、南半球から右旋偏波、北半球からは左旋偏波が放射される事になる。

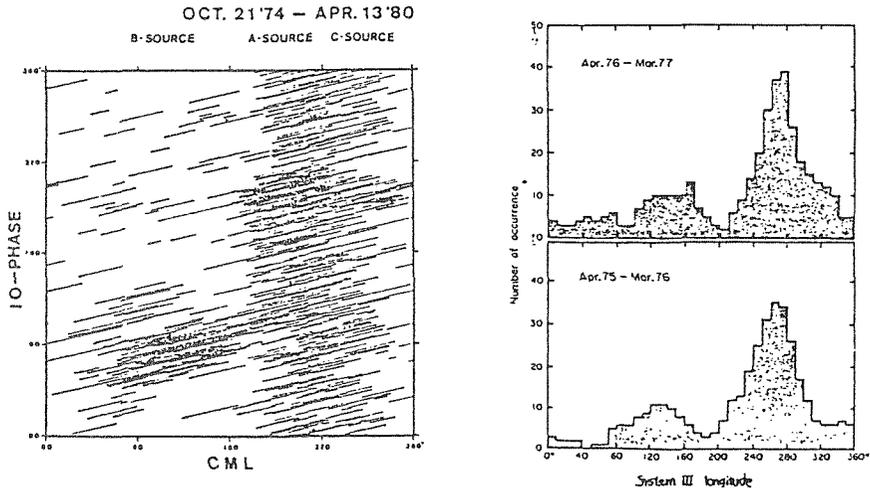
広帯域偏波観測では、30MHz以上においても、右旋偏波が卓越しており、一見矛盾した結果とも見える。しかし、偏波は発生域での放射方向と磁力線とのなす角度で決定されており、イオ依存性電波源のように、発生域がIFTにある場合、放射が磁力線に対して直角よりわずかに大きい方向に起こっていて、北半球からも右旋偏波として放射されることが判明した。

4. まとめ

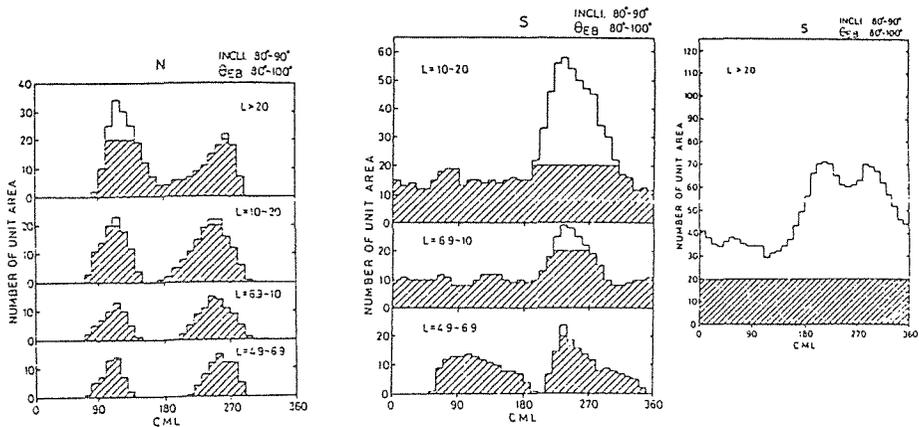
木星デカメータ波放射の偏波観測および発生域に関するモデル計算により本研究において以下に述べる結果を得た。

- i) モード変換理論より期待される出現特性と実際の出現特性に良い一致を見た。したがって木星デカメータ波のモードは電波源では $L-O$ モードである。
- ii) 木星デカメータ波は本質的に鋭い指向性を持った放射であり、放射は磁力線に直角方向に起こる。
- iii) 非イオ依存性電波源のエネルギー源は、 $L > 20$ の領域であり、地球より観測される電波源は木星の南極域に位置している。
- iv) イオ・トラスは非イオ依存性電波源の有効なエネルギー源となり得ない。
- v) イオ依存性電波源の発生域は南北両半球のIFTの根元である。

以上、低エネルギー粒子がバースト状電波のエネルギー源であり、提唱されているプラズマ波動の電磁波への変換理論が正しいものであることを実証することができた。



〔第1図〕 東北大学蔵王観測所で観測された木星デカメータ波出現特性。左図は横軸に木星中央子午線経度(CML), 縦軸にイオ衛星の位相角をとり, 出現を示しているが, イオ衛星に依存する成分と, 依存しない成分のあることがわかる。右図は横軸に CML, 縦軸に出現頻度を示している。



〔第2図〕 モデル計算より得られた木星電波出現特性。南北両半球の(I) $4.9 < L < 6.9$, (II) $6.9 < L < 10$, (III) $10 < L < 20$ および (IV) $L > 20$ の領域について計算した結果を示す。

論文審査の結果の要旨

木星から到来する強力なデカメータ(10m—100m)電波の起源として、コヒーレントプラズマ波動起源説が有力になりつつあるが、まだ実証がなかった。本研究は、この木星デカメータ波の起源を究明するため、電波の発生源でのモードを決定することを目的としたもので、そのため地上での偏波観測と同時に、デカメータ波の発生源の位置を理論的に同定した。その結果、この電波放射が、位相のそろったL—Oモード波として行なわれていて、コヒーレントプラズマ波動が最終的に、電磁波に変換されるというプラズマ波レーザー仮説と矛盾しないことを実証したものである。

研究はまず、偏波計機器の開発製作より着手し、狭帯域(21.86MHz)及び20—30MHzにわたる広帯域の両観測システムを完成し、次いで、高い精度で、電波の右旋ならびに左旋性を観測した結果、主電波源では純粋な右旋円偏波が卓越し、早期電波源では、右旋及び左旋の両者が共存することを確認した。さらにこれらの偏波特性をもつ電波の発生位置をパイオニア10および11号の観測で明らかにされた磁場構造にもとづき、モード変換理論で予見される電波の発射方向や周波数に関連して電波源の位置を計算し、本研究の観測結果を明確に説明できることが明らかにされた。この結果は、主電波源は南磁極域に、早期電波源は北磁極域に分布するが、後者では、一部南磁極域から放射される成分が混入することが判明した。

以上、木星デカメータ電波は、その源では、L—Oモードを持ち、木星磁気圏域の活動を反映して沿磁力線方向に降下する電子ビームによって発生するコヒーレントプラズマ波動が、Zモードを経てL—Oモードに交換するメカニズムに一つの確証を与えるものであり、本論文は著者が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示す。よって近藤哲朗提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。