

氏名・(本籍)	もり 森	おか 岡	あきら 昭
学位の種類	理	学	博 士
学位記番号	理 第	6 3 8	号
学位授与年月日	昭和 55 年 4 月 23 日		
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当		
最終学歴	昭和 43 年 3 月 東北大学大学院理学研究科 (修士課程) 地球物理学専攻修了		
学位論文題目	STUDY ON PLANETARY RADIO WAVES (惑星電波に関する研究)		
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 斎 藤 尚 生		

## 論 文 目 次

ACKNOWLEDGEMENT

GENERAL INTRODUCTION

—— Comparative Planetary Radio Waves

PART-I JOVIAN DECAMETRIC RADIO WAVES BASED ON GROUND OBSERVATION

1. Introduction
2. Historical Review of Jovian Decametric Radio Waves
3. Observation and Data
4. Morphology of Jovian Decmetric Radio Emissions
5. Relation to Solar Wind and Solar Flare

6. Origin of Jovian Decametric Radio Waves and Magnetosphere
7. Concluding Remarks

## PART-II PLANETARY RADIO WAVES BASED ON SPACE OBSERVATION

1. Introduction
2. Historical Review and Subjects Remained for Studies
3. JIKIKEN ( EXOS-B ) Satellite Observation and Data
4. Jovian Hectometric Radio Waves Observed by Space Vehicle
5. Characteristics of Terrestrial Kilometric Radiation
6. Origin of Terrestrial Kilometric Radiation and Magnetospheric Substorm
7. Concluding Remarks

## BIBLIOGRAPHY

# 論文内容要旨

## 緒論

巨大な磁化プラズマに包まれた木星の磁気圏は、激しく活動している。その要因は太陽風との相互作用、木星の高速自転ともなう回転プラズマと磁場の様相の他、木星の周辺を周回する Io 衛星のもたらず電磁擾乱も大きな役割を持っている。こうした電磁的環境をもつ木星の極域電離層からは、その擾乱ともなう強度が  $10^{11}$  Watt にも達する強いデカメータ波帯(波長 10~100メートル)の電波が放出されていて、この電波の発生理論の検証とともに電波発生主体となるエネルギー源の解明は、木星磁気圏およびプラズマ圏のダイナミクスを明らかにする上で重要な問題である。

一方地球もまた、オーロラ現象ともなう強い電波を放出する電波惑星であることが、最近の人工衛星観測によって明らかにされてきた。この地球キロメトリック波(波長 1~10 km をもつ)放射と呼ばれる電波放出現象は、地球磁気圏の活動ともなうサブストームの発生と一体となっているが、その詳細な特性と発生機構については未だ明らかにされていない。

これらの惑星電波は、磁場をもちプラズマに包まれている惑星に特有で、互に極めて類似した惑星電波現象と考えられる。こうして、一般に惑星電波は惑星磁気圏およびプラズマ圏におけるプラズマの巨視的振舞、すなわち惑星磁気圏内のエネルギー輸送と変換の様相を反映している他、その発生にかかわるプラズマ波動とプラズマ粒子との相互作用過程を反映する情報をもっている。本論文は、したがって惑星電波の詳細な観測を行い、惑星電波放射機構の実証的な解明とともにエネルギー源を考慮し、惑星磁気圏の力学を明らかにすることを目的としている。

## 第一部 地上観測にもとづく木星デカメータ電波の研究

第一部では2つの主題、すなわち木星デカメータ電波を励起するエネルギー源の解明およびデカメータ電波の発生機構の検証を主題としている。

### I・1 観測とデータ

惑星磁気圏研究という新しい見地のもとに木星デカメータ電波観測システムが東北大学理学部木星電波観測室に確立された。

- 1) 絶対強度観測(4周波によるラジオメータシステム)
- 2) 木星デカメータ電波の同定(40 m基線長干渉計システム)
- 3) 偏波観測(偏波計測システム)
- 4) 高感度観測(1 km基線長干渉システム)

および

- 5) 広帯域スペクトル観測項目からなる総合的な木星デカメータ電波観測システムが開発され

た。本研究もこの観測設備の開発にかかわるものであるが、さらに観測システムを駆使し木星デカメータ電波の連続観測により詳細な木星デカメータ電波放射特性が明らかになった。

### I・2 木星電波の様態

木星デカメータ電波現象は継続時間の短いバースト群から構成され、そのスペクトルは広帯域エミッションと狭帯域エミッションの2つに分けられているが、本研究では以下の点が明確にされた。

広帯域木星デカメータ電波バーストの様態は、Type 1～6 に至る6種に分類される。この6種のタイプはそれぞれ木星電離圏において、波動を励起するエネルギー粒子の降下の様相のちがいを反映している。

- a) Type 1 および 2 型は、強度が弱く先行電波源バーストでも、Io 衛星の位置に依存しないで出現する成分とかがわっている。
- b) Io 衛星の位置に強く依存する Type 3 型バーストは、Io 衛星のダイナモ効果を反映して激しく変動するバースト構造を示す。
- c) 強度が大きく、出現時間の長い Type 5 および 6 型バーストは惑星間空間を伝播する太陽風の擾乱が大きいつきに出現する。このことは木星デカメータ電波は、太陽風によって制御される成分があることを示唆している。

### I・3 デカメータ波のエネルギー源

以上の観測によって明らかにされた木星デカメータ電波の特性から、デカメータ電波放出のエネルギー源として次の2つの要因が作業仮説として立てられた。第1は、太陽風と木星磁気圏の相互作用の結果生ずる磁気圏活動の増大の結果生ずる木星極域へのエネルギー粒子の降下であり、第2は、木星より  $5.6 R_J$  ( $R_J$  は木星半径) 離れた Io 衛星軌道の周辺に形成されているプラズマトーラス中で生ずる電磁現象の結果として起る粒子降下である。まず第1の仮説に対して、太陽風中の擾乱域と木星磁気圏の相互作用にもとづく木星デカメータ電波出現の相関解析が行なわれ以下の結論が得られた。

- a) 木星デカメータ電波の出現は、木星からみた太陽の自転周期にほぼ等しい約 25 日の回帰性をもつ。
- b) 太陽風擾乱域が木星磁気圏に到達すると、木星デカメータ電波の出現頻度と放射電波の強度が増大する。

すなわち、太陽風と木星磁気圏の相互作用によって太陽風から供給されるエネルギーの一部は木星デカメータ電波として放出されるという新しい知見を得た。

デカメータ電波放出の第2のエネルギー源としてポイジャーの観測によって発見されたプラズマトーラスに関連し、このプラズマトーラスから木星の極域電離層への降下粒子が Io の位置に依存しないで存在する場合、先行電波源のデカメータ電波放出のエネルギー源となり得るこ

とが提唱された。(この過程で放出される電波を Torus-related Source と名付けた。)

#### I・4 デカメータ波電波のメカニズムの検証

木星デカメータ電波放射のマイクロに見た過程、すなわちデカメータ電波の発生機構を実証的に検証した。観測される木星デカメータ電波の諸特性、特に放射される電波のもつ大きなエネルギーとその偏波特性は、非常に特質のあるもので従来いくつか提唱されている木星デカメータ電波発生機構理論の中で、1974年に出されたプラズマ波動から電磁波への線形変換を骨子とする大家理論によって最も良く説明されている。本研究の結果は木星極域の電離圏に流入するエネルギー粒子によってプラズマ波動が励起され、このプラズマ波動はO-Lモードの電磁波に有効に変換されるという大家理論を実証的に検証するものとなった。

パイオニア、ボイジャーの観測を基礎として木星の極域には、太陽風と磁気圏との相互作用によって生じるエネルギー流入域(プラズマシートオーバル)と、Io衛星軌道を取りまくプラズマトーラスからのエネルギー流入域(プラズマトーラスオーバル)とが存在することが認識されてきた。本論ではまた、それぞれのオーバルの木星電波発生域源としての寄与を大家理論を用い、パイオニアで観測された木星磁場モデルにもとづきモデル計算した。その結果大部分の主電波源デカメータ電波は南半球のプラズマシートオーバルから放射されていること、およびプラズマトーラスからの放射はIoの位置に依存しない先行電波源に寄与していることが明らかにされ、観測される木星デカメータ電波の出現特性と良い一致をみた。この結果は、プラズマ波動から電磁波への変換理論の妥当性を示すことになった。

## 第2部 飛翔体観測による惑星電波の観測

第2部では科学衛星「じきけん」の観測による地球キロメトリック波放射に焦点がおかれ、地球キロメトリック放射の諸特性を明らかにし、その発生域、磁気圏サブストームの発達に対する地球キロメトリック放射の応答、およびキロメトリック波放射の機構が研究されている。

### II・1 じきけん衛星観測

科学衛星「じきけん」(EXOS-B)は1978年9月16日地球磁気圏深部に達する長円軌道に投入された(「じきけん」衛星は共同利用研究所、東京大学宇宙航空研究所との協力により当地球物理学教室地球電磁気学講座の参加で製作され、打上げられたものである)。「じきけん」衛星に搭載された自然プラズマ波動観測装置は、1)地球キロメトリック波放射の観測、2)惑星および太陽電波の観測、および3)磁気圏プラズマ波動の観測を目的として設計・開発され、著者は機器テスト、観測、データ解析チームに加わって本論にかかわる研究を行った。機器は10 KHzから3 MHzまでの広い周波数帯を早い速度で掃引受信するスペクトルメータで構成され、これまでの衛星では得られなかった高分解能の波動ダイナミックスペクトルを得ることが可能になった。

## II・2 地球キロメートル電波の特性

「じきけん」衛星によるプラズマ圏外部での地球キロメトリック波放射の詳細な観測は、いくつかの重要な放射特性を明らかにした。その主な結果は以下のとおりである。

- a) 地球キロメトリック波の周波数は放射域の高域ハイブリッド周波数に極めて近い周波数で放出される。
- b) 放射の周波数帯域のひろがりや地磁気活動度と良い相関を示し、磁気擾乱時には 50 kHz から 900 kHz までの広い帯域に広がって放出される。
- c) 地球キロメトリック波放射のダイナミックスペクトルは時間とともに周波数が上昇する微細構造をもつ。これから放射域の構造と運動が求められる。
- d) 地球キロメトリック波放射のスペクトルは磁気圏サブストーム時には時間とともに激しく変化し、放射域の高度分布および放射強度がオーロラ粒子の流入に呼応して変動することを示している。
- e) 磁氣的に静穏な日においても夜側磁気圏で強度の弱い狭帯域の地球キロメトリック放射が観測される。このことは夜側のオーロラオーバルには常にエネルギー粒子の流入が存在していることを示している。
- f) 地球キロメトリック波は伝播の過程において局所的プラズマ周波数で低周波カットオフを受ける。このことから地球キロメトリック波は O-L モードの電磁波であることが確認された。
- g) オーロラ領域の上部電離層で発生している地球キロメトリック波放射は、プラズマポーズの外側に位置する磁気圏で観測される電子のフラックスの増大にともなう高域ハイブリッド周波数におけるプラズマ波動の励起と非常に良く呼応して出現する。

## II・3 地球キロメートル電波の発射機構

地球キロメートル電波の発射機構に関する理論は、1975 年米国のベンソンによって提唱された。これは地球キロメトリック放射の周波数は発生域の高域ハイブリッド周波数で放出されるというもので木星電波に関する大家理論に基づいたものであった。この理論を用いて電子密度の高度プロファイルを仮定することにより、放射域の高度分布度がオーロラ領域の上部、6,000 km～7,000 km にあり、磁気活動度が大きくなるにつれ上下両方向にひろがり、少なくとも 2,500 km から 12,000 km の広い領域までひろがることが明らかにされた。また、この放射スペクトルから電波源は微細な構造をもち、100 km のスケールをもつ放射領域が、時には数個のグループを構成して、磁力線に沿って 5～10 km/sec の速度でくり返し降下していることが示された。この放射域の微細構造はオーロラ領域の電離層上部に形成されるダブルレイヤー型の沿磁力線電場の存在を支持し、オーロラ粒子の局所的な加速とキロメトリック放射機構の密接な関係を示唆している。

## II・4 電離層，磁気圏結合システムの一実証

極域電離層上部で発生する地球キロメトリック波放射と磁気圏内で観測される高域ハイブリッドモードのプラズマ波動が同時に観測される事実が発見されたが、これは電離層レベルの磁場変化の様相から帰納されてきた磁気圏と電離層を結合する2つの沿磁力電流系の存在を実証することになった。すなわち、地球キロメトリック波放射源を通る電離層から流出する電流系と、高域ハイブリッド周波数におけるプラズマ波動を生む粒子群によって生まれている電流系より低緯度側に位置して磁気圏プラズマシートの内側を流れている電流系は、磁気圏サブストームの開始にともなって、ほぼ同時に形成されていることが示され、磁気圏-電離層結合系の動的な特性が明らかにされることになった。

## 結論

以上、

まず第1部では、木星電波観測システムを確立し、これにより得られたデータを基礎に木星デカメータ電波の諸特性を詳細に調べ、デカメータ電波放射機構の理論の検証と、木星磁気圏におけるデカメータ電波の励起エネルギー源を解明した。ひき続き第2部では、科学衛星「じきけん」(EXOS-B)によって行なわれている地球キロメトリック波放射の観測とそのデータ解析にもとづきキロメートル波電波の放射特性を明らかにするとともに、地球磁気圏サブストーム(惑星磁気圏擾乱)と電波放射現象の関連を明らかにしてきた。

木星と地球の二つの類似性をもつ磁化プラズマでは、磁気圏で発生する電磁現象に呼応し、襲来する粒子の波動粒子相互作用の結果発生するコヒーレントプラズマ波動に起源があることを本論で実証することになった。またこれらの磁気圏の活動とこの種の惑星電波は不可分の関係にあり、惑星電波の観測は同時に磁気圏内の電磁現象の活動の指標ともなり、今後の観測の重要性が示されることになった。

## 論文審査の結果の要旨

森岡昭提出の論文は、「惑星電波に関する研究」と題し、電磁的に発達した惑星、すなわち、木星および地球から放出される長い波長成分の爆発的な電波を地上および科学衛星からの観測を中心にして究明したものである。

まず、本論文の第一部として、木星に関しては、到来方向、偏波およびダイナミックスペクトルの観測を対象とする五種の装置からなる木星デカメータ電波の観測システムを確立し、デカメータ電波の諸特性を実証的に解明した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- i)木星電波の発射を司どるエネルギーは従来考えられてきたイオ衛星の電磁効果以外に、太陽風のエネルギーが大きく寄与している。
- ii)太陽風エネルギーは、太陽風中の擾乱域と木星磁気圏とが相互作用をする際に木星デカメータ電波に強く変換されている。
- iii)観測される木星電波源の位置および偏波の特性から、その起源に対してはプラズマ波動から電磁波への変換理論(大家の理論)に実証が与えられた。

第二部では、地球に関して、地球キロメートル電波(TKR)を著者自らが加わって製作飛翔観測を実施している科学衛星“じきけん”のデータをもとに解明した。特に、著者が担当した高分解能の自然電波観測装置により次の点が明らかとなった。すなわち、

- i)地球キロメートル電波放射は、微細なダイナミックスペクトル構造をもって変化する。
- ii)ダイナミックスペクトルの変化は、この電波の源が、オーロラ帯上 2,500 km-12,000 kmの領域にあり、数 10 km-数km/sec の速度で上から下へと動く。
- iii)この電波源では、電場による粒子加速があり、ここで、強いプラズマ波動が発生し、これが電磁波に変換するとした理論に実証が与えられた。

以上、本論文は、地球・惑星電磁気学の分野で注目を浴びている莫大なエネルギーをもつ爆発性惑星電波の発生機構の謎の解明に大きく貢献するもので、森岡昭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していることを示している。よって本論は、理学博士の学位論文として合格と認める。