

氏名	かさ ば やす まさ 笠 羽 康 正
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第1622号
学位授与の日付	平成9年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科電子工学専攻
学位論文題目	Study of Radio Waves in Geospace via Spacecraft Observations and Numerical Simulations (衛星観測と計算機実験による地球周辺宇宙空間における電波に関する研究)
論文調査委員	(主査) 教授 松本 紘 教授 橋本弘藏 教授 津田敏隆

### 論文内容の要旨

本論文は、多数の人工衛星が現実に機能するとともに近未来の宇宙開発の中心舞台でもある地球周辺宇宙空間“Geospace”を対象とし、同領域を起源とする低周波電波の解析を最新の衛星観測と数値実験との結合によって行い、従来困難であった同領域内における大規模現象の実時間測定の実現を目的としたもので、8章から成っている。

第1章は序論であり、本研究の背景と研究対象・目的について述べ、Geospace及び同領域で観測される低周波電波に関する従来の研究について概括すると共に、GEOTAIL衛星・WIND衛星による衛星観測と二次元粒子電磁コードKEMPOによる数値実験を基礎とした本研究の概要について説明している。

第2章では、遠隔観測により bow shock 前面を起源とする 2fp 放射の放射領域の構造を解明している。第一に、複数衛星による三角測量によって、放射領域が電子 foreshock と重なること、第二に、電波到来方向の統計解析によって、bow shock 近傍で 2fp 放射の強度が予測より弱いこと、第三に、周波数変動の統計解析によって、放射領域の全長が40-100  $R_E$  ( $R_E$ : 地球半径)程度に限定されることをそれぞれ示している。これらにより、電子 foreshock において、2fp 放射が Langmuir 波により生成されること、電子ビームが time-of-flight 効果により形成されることを明らかにしている。

第3章では、第2章を基礎として、その場観測により 2fp 放射領域の物理環境を解明している。第一に、2fp 放射の強度分布が bow shock から10-40  $R_E$  の領域を頂点とし高エネルギー電子量及び Langmuir 波強度と正相関を有すること、第二に、電子ビーム密度が bow shock からの距離に対しそのエネルギーと比較してより早く減少すること、第三に、電子 foreshock 最前面で 2fp 波動及び低周波静電波動の強度が増大することをそれぞれ初めて示している。これらにより、2fp 電波による電子 foreshock の遠隔測定が可能であることを示していると共に、2fp 電波の放射機構に対する拘束条件を明らかにしている。

第4章では、数値実験により電子ビームに伴う 2fp 放射の生成機構を解明するとともに第2・3章の

結果との比較を行っている。第一に、一次元数値実験において Langmuir 波に伴う静電 2fp 波動の生成に成功している。これは、電子ビームと同方向へ進行する 2つの Langmuir 波の融合による静電 2fp 波動の生成過程を支持している。第二に、二次元数値実験により、電磁 2fp 波動の生成にも成功している。電磁 2fp 波動の強度は静電 2fp 波動とは独立であり、電子ビームと逆方向へ散乱された Langmuir 波の強度と相関するもので、ビーム方向・逆方向の 2つの Langmuir 波の融合による電磁 2fp 波動の生成過程を支持している。

第 5 章では、プラズマ圏赤道域を起源とする非熱的連続放射の遠隔観測によって、電波源のプラズマ密度・磁場強度・地球からの距離の実時間情報を引き出している。第一に、夜側と昼側で観測される別タイプの非熱的連続放射が共に一連の高エネルギー電子に起因すること、第二に、周波数が急速に上昇する高速成分とゆっくり上昇する主成分が存在すること、第三に、プラズマ圏の半径が 1 時間程度で急速に増減することをそれぞれ初めて示している。これらにより、非熱的連続放射を用いたプラズマ圏の大規模構造の実時間遠隔測定が可能であることを明らかにしている。

第 6 章では、オーロラ帯を起源とするオーロラキロメータ波 (AKR) の遠隔観測によって、その波動スペクトルから電波源における高エネルギー電子量とプラズマ密度の実時間高度分布を引き出せることを示している。第一に、地磁気擾乱度との相関により、cavity 生成が低高度で阻害されることを示唆している。第二に、AKR 発生頻度が地上磁場強度に対応した経度依存を示すことを発見している。第三に、AKR 発生頻度が冬半球の方で大きいことを発見している。これらは、AKR を用いたオーロラ帯の大規模構造の実時間遠隔測定が可能であることを明らかにしている。

第 7 章では、以上に提示した手法とモデルの他惑星への応用可能性を検討し、実例としてシューメーカー・レビー第 9 彗星の木星衝突に伴う低周波電波の解析結果を示している。低周波電波では明瞭な擾乱は検出されず、木星磁気圏の擾乱があくまで木星表面の衝突地点からの衝撃波に由来するもので、彗星の磁気圏通過に伴う電磁的相互作用は予測と比較して極めて小さかったということを明らかにしている。また、1998 年打ち上げ予定の火星探査衛星 Planet-B による電波を用いた火星周辺宇宙間の研究への応用可能性について概括している。

第 8 章は結論であり、本研究で得られた成果について要約していると共に、今後の宇宙科学・宇宙工学研究への課題と指針を提示している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、最新の衛星観測と数値実験との結合によって地球周辺宇宙空間 “Geospace” を起源とする低周波電波の解析を行い、同領域内における大規模現象の実時間測定手法を確立するとともに多くの新しい知見を明らかにしたもので、主要な成果は以下の通りである。

(1) bow shock の前面領域を起源とする 2fp 放射の衛星観測によって高エネルギー電子ビームに付随するプラズマ波動群の形成過程を解明するとともに、計算機実験による 2fp 放射の生成によって観測された波動の生成過程を解明し、2fp 放射による bow shock 前面領域内のエネルギー現象の遠隔実時間観測が可能であることを実証した。

(2) プラズマ圏赤道域を起源とする非熱的連続放射の衛星観測によって、電波源におけるプラズマ密度・磁場強度・地球からの距離の実時間情報の引き出しに成功すると共に、プラズマ圏半径の高速増減を初めて明らかにし、非熱的連続放射によるプラズマ圏構造の実時間遠隔観測が可能であることを実証した。

(3) オーロラ帯を起源とするオーロラキロメートル波 (AKR) の衛星観測によって、地磁気擾乱度に相関した低高度での cavity 生成の阻害、AKR 発生頻度の地上磁場強度に対応した経度依存性、AKR 発生頻度の夏冬半球非対称性を明らかにし、AKR によるオーロラ帯構造の実時間遠隔観測が可能であることを実証した。

(4) 以上に提示した手法とモデルの惑星探査ミッションへの応用可能性を検討し、実例としてシューメーカー・レビー第9彗星の木星衝突に伴う低周波電波の解析を行い、彗星通過に伴う木星磁気圏との相互作用は小さかったことを明らかにするとともに、1998年打ち上げ予定の火星探査衛星 Planet-B への応用可能性について検討を行った。

以上、要するに本論文は、低周波電波を用いた最新の衛星観測と数値実験との結合によって、将来の宇宙開発の舞台となる地球周辺宇宙空間の実時間測定手段を確立するとともに、数多くの基礎的な知見を獲得することに成功したもので、得られた結果は学術上、實際上寄与することが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成9年2月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。