

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 神 谷 慶

論 文 題 目

Study of the radial transport of radiation belt electrons by interactions with  
ULF Pc5 waves based on model coupling simulations

(内部磁気圏モデル結合シミュレーションに基づく Pc5 帯 ULF 波動と  
の相互作用による放射線帯電子の動径輸送に関する研究)

### 論文審査担当者

主 査	名古屋大学宇宙地球環境研究所	教 授	理学博士	草 野 完 也
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	渡 邊 智 彦
委 員	名古屋大学宇宙地球環境研究所	教 授	博士(理学)	三 好 由 純
委 員	名古屋大学宇宙地球環境研究所	准教授	博士(情報学)	梅 田 隆 行
委 員	東京大学大学院理学系研究科	教 授	博士(理学)	関 華 奈 子

## 論文審査の結果の要旨

地球の固有磁場の影響が強く双極型磁場が卓越する静止軌道より内側の宇宙空間は内部磁気圏と呼ばれ、磁場に捕捉された高エネルギー荷電粒子により放射線帯が形成されている。地球磁気圏最大規模の変動現象である磁気嵐時には、放射線帯が大きく変動することが知られており、この変動に伴う相対論的電子の加速機構の解明は、磁気圏物理学上の重要課題の一つである。有力な仮説として内部加速説と外部供給説があるが、各々の機構が放射線帯の変動にどの程度寄与しているかについては不明な点が多い。外部供給説は、1.6-6.7 mHz の周波数(Pc5)帯の低周波(ULF)波動と粒子のドリフト運動との共鳴(ドリフト共鳴)により、内部磁気圏の外側から磁場が強い地球動径方向に輸送され準断熱的に加速される機構である。放射線帯変動の理解が進まない原因の一つとして、観測される位相空間密度(PSD)から2つの仮説を切り分けるのは難しいことがある。本論文は、この困難点を解消するため、新しい数値モデル結合シミュレーションを開発し、内部磁気圏における3次元Pc5波動分布を導出して、ドリフト共鳴が放射線帯変動に及ぼす影響についてPSD分布を含めて調べることを可能にした。その結果、外部供給説では従来形成されないと考えられていたバタフライ型のピッチ角分布(磁場に垂直な速度成分より平行な速度成分の粒子フラックスが卓越する分布)が形成されることを見出した。

研究の背景をまとめた第一章の序論に続き、第二章では理想的な単色Pc5波動を仮定し、ドリフト共鳴に伴って形成されるピッチ角分布の特徴の基本的な性質を報告している。Pc5波動のシミュレーションには、高エネルギーイオンのドリフト運動論に基づく5次元分布関数と電磁場変動を同時に解くことができる数値モデル(GEMSIS-RC)を用い、3次元Pc5波動分布を導出した。さらに得られた電磁場変動を、案内中心近似で相対論的電子の運動方程式を高精度で解くことができるテスト粒子モデル(GEMSIS-RB)に入力として与え、Pc5波動と相対論的電子の相互作用を調べた。その結果、特定の条件下でバタフライ型分布が形成されることを明らかにするとともに、ドリフト共鳴条件の考察に基づき、バタフライ型分布の形成条件を解析的に定式化することに成功した。

第三章では、より現実的なPc5波動の空間分布を再現するため、太陽風から外部磁気圏までを記述するグローバルMHDモデル(BATS-R-US+CIMI)の結果を、上述のGEMSIS-RCモデルの外部境界条件として用いるモデル結合の計算手法を開発した。開発にあたっては2つのモデル間の温度条件及び境界条件の設定を工夫し、外部磁気圏から内部磁気圏にPc5波動をシームレスに伝搬させる手法を考案した。こうして得られた3次元Pc5波動分布をGEMSIS-RBの背景電磁場として用い、放射線帯電子とのドリフト共鳴による動径方向輸送を計算した結果、波動の緯度分布に起因して、単色波との共鳴よりも短い時間スケールでバタフライ型ピッチ角分布が形成されることを示した。これは第二章で導出した解析解のうち粒子の最大輸送距離の緯度依存性とも整合する結果である。

第四章では観測への提言も含めた議論が、第五章では本論文全体を通じた結論と展望がまとめられている。本論文は、Pc5波動による放射線帯電子加速をピッチ角分布で評価できる可能性を示すとともに、モデル結合によるPc5波動の励起・伝搬過程の新たな研究手段を提供するものであり、放射線帯変動機構の研究に新展開をもたらす成果である。以上の理由により、申請者は博士(理学)の学位を授与される資格があるものと認められる。