

氏名	大村善治 おおむらよしはる
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第 907 号
学位授与の日付	昭和 60 年 9 月 24 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	工学研究科電気工学第二専攻
学位論文題目	STUDY ON NONLINEAR WAVE-PARTICLE INTERACTIONS IN SPACE PLASMAS VIA COMPUTER SIMULATIONS (計算機シミュレーションによるスペース・プラズマ中の 波動-粒子非線形相互作用の研究)

論文調査委員 (主査) 教授 木村 磐根 教授 加藤 進 教授 板谷 良平

論文内容の要旨

本論文は地球を取り巻くいわゆるスペースプラズマ中の多種多様の電磁波動とプラズマ粒子との強い相互作用によって起こる粒子加速や宇宙空間のエネルギー輸送現象のミクロな素過程を解明するために計算機により個々のプラズマ粒子の運動を電磁界と共に解き進める計算機シミュレーションの手法を開発し、種々の現象に適用したものであって 6 章よりなっている。

第 1 章は序論であってスペースプラズマ中の波動-粒子相互作用現象の解析に対するコンピューターシミュレーションの役割とその威力について述べた後 2 章以下のあらましをまとめている。

第 2 章では先ず、粒子モデルの計算機シミュレーションの基本概念と基礎的手法を述べた後、本研究で開発された電磁波コード、LTS (Long Time Scale) コード及び電磁ハイブリッド・コードの 3 種類のシミュレーション・コードについて述べられている。電磁波コードは、マックスウェル方程式と多数の荷電粒子の運動方程式を、空間的に二次元の差分形で解き進めるものである。LTS コードは単色ホイッスラーモード波の振幅と周波数とが、緩やかに変動するという仮定のもとに、共鳴粒子の運動から生ずる電流により波動磁場、波数、位相の時間変化を与える式を導き、これと粒子の運動方程式とをサイクリックに解く方法である。電磁ハイブリッド・コードはイオンを粒子として、電子を流体として扱い、電磁流体方程式と各イオンの運動方程式を空間的に 1 次元の差分形で解くことにより、低周波のイオンモードの電磁波動を効率良く扱うことのできるものである。

第 3 章では磁気圏プラズマ中の最も基本的な波動-粒子相互作用として磁気圏ダイナミックスに重要な役割を果たしているホイッスラーモード波動-粒子相互作用について研究した結果を述べている。先ず、線形、準線形理論で扱われていたこの相互作用と、それに基づく磁気圏内の VLF エミッションの非線形的な発生機構の解明に取り組み、不均一磁場中に特有な二つの位相バンチングと、位相トラッピングの重要性を指摘した。次に、前述の LTS コードにより、ホイッスラー波動-粒子相互作用の非線形時間発展の大規模シミュレーションを行い、不均一な地球磁場中での波動の成長及び減衰の機構を明らかにした。

第4章では GEOS 衛星で観測されている ULF イオンサイクロトロン波によるヘリウムイオン加熱を説明するために、まず、イオンサイクロトロン波動-粒子相互作用を線形理論で解析し、その特性とパラメータ依存性について調べた。次に、前述の電磁ハイブリッド・コードにより重イオン加熱のシミュレーションを行い、イオンサイクロトロン波の励起から重イオンが加熱される非線形過程を定量的に解明できることを述べている。

第5章では前述の電磁波コードを電子ビームによる波動励起の2つの場合に適用した結果について述べている。その1つはスペースシャトルから放出された電子ビームによるプラズマ加熱と電磁波放射及びXモードのプラズマ波放射を定量的に明らかにする問題であり、他の1つは ISEE 衛星で観測されたコーラス・ホイッスラー波と相関のある静電波バーストの現象を解釈する問題である。これらはいずれも本研究の中で開発された電磁波コードによる解析結果により旨く説明出来ることを述べている。

第6章は結論であり、本研究を通じて得られた成果をまとめ、また将来の研究の方向についても述べている。

論文審査の結果の要旨

地球周辺を取りまわゆるスペースプラズマ中には多種多様の電磁波動が存在し、プラズマ粒子との強い相互作用によって粒子加速や宇宙空間のエネルギー輸送現象に大きな役割を果たしている。近年人工衛星・ロケット等によりこれらの現象の豊富な観測データがえられており、現象に内在するマイクロな素過程を理論の面からも解明する努力がなされてきた。しかしそのプロセスの非線形性のために十分定量的な議論ができていない。最近、計算機の高性能化に伴い、個々のプラズマ粒子の運動を電磁界と共に解き進める計算機シミュレーションの手法が発展している。本研究ではこの手法により各種の現象に対応できる3種のシミュレーションのプログラム・コードを開発し、それをスペースプラズマ中の波動-粒子非線形相互作用現象の解明に応用したものであって得られた主な成果は次のとおりである。

1. 原理的にはあらゆるプラズマ波動現象を取り扱える2次元の電磁波コードを開発したが、多重時間ステップ法というアルゴリズムを考案し、従来の手法よりも数倍～数十倍も効率の良い高性能なコードを実用化した。
2. 長時間スケールのホイッスラー波動と粒子の相互作用を効率よく解き進めることのできる LTS コードを開発した。このコードは従来の手法に比べて数値的に安定であることが認められた。
3. イオン加熱プロセスなどの解析に便利な電磁ハイブリッドコードのためにその数値的精度を上げるアルゴリズムを考案した。
4. 地球磁気圏内で発生するホイッスラーモードの VLF エミッションのメカニズムとして、不均一磁場中では波動による粒子の位相バンチングと位相トラッピングが共に重要であることを見つけた。また均一磁場モデルの中でのトリガード放射の周波数変化の限界を定量的に明らかにした。
5. 地球磁場に沿って伝搬するホイッスラー波と共鳴する多数の粒子の運動を解くことにより、波による捕捉とそれからの解放過程によって電子の速度分布が不安定になることを定量的に示し、これが VLF トリガードエミッションのメカニズムとして重要であることを指摘した。

6. 不安定な速度分布を持つ高エネルギー電子ビームによる波の励起を電磁波コードで解析すると、静電波の影響でホイッスラーモード不安定性が抑圧されることが見つけられたが、この現象は理論的にも解釈ができることが示された。

7. 電磁ハイブリッドコードによりイオンサイクロトロン波による重イオン加熱のシミュレーションを行い、その非線形過程を定量的に明らかにした。

8. 電磁波コードを用いてスペースシャトルからの電子ビーム放出実験の計算機シミュレーションを行い、電子ビームによるプラズマ加熱と電磁波放射及びXモードのプラズマ波放射の強度を定量的に明らかにした。

9. 大振幅の斜め伝搬単色ホイッスラーモード波に対するシミュレーションを行い、科学衛星で観測された静電波とホイッスラー波が同時に励起される現象のメカニズムを明らかにした。

以上要するに本論文はスペースプラズマ中の電磁波動とプラズマ粒子との強い相互作用によって起こる現象のマイクロな素過程を解明するための計算機シミュレーションの手法を開発し、これを実際に応用したものであって、学術上、實際上寄与する所が少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、昭和60年8月2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。