

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20340134

研究課題名(和文)

実証型ジオスペースモデリングに向けた内部磁気圏基本モデルの構築による宇宙嵐の研究

研究課題名(英文)

Study of geospace storms based on a new observation-based model of the inner magnetosphere

研究代表者

関 華奈子 (KANAKO SEKI)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授

研究者番号：20345854

研究分野：宇宙空間プラズマ物理学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・超高層物理学

キーワード：太陽地球システム・宇宙天気

1. 研究計画の概要

激しいオーロラ活動や大規模な電流系の発達、放射線帯粒子の大気への降込みなどを伴う、ジオスペース最大規模の変動現象が宇宙嵐(geospace storm)である。この宇宙嵐に伴う粒子加速過程を理解するためには、内部磁気圏における電磁場と粒子の変動を理解することが不可欠であるが、両者を自己無撞着に解くことに成功した例はこれまでなかった。本研究では、マクスウェル方程式とボルツマン方程式とを同時に数値的に解くことで、内部磁気圏の場と粒子の時間発展を自己無撞着にシミュレートすることが可能な数値コードを開発する。観測との詳細な比較研究によりこの新しい「内部磁気圏基本数値モデル」を検証・改良し、実証型ジオスペースモデルの雛形を構築することを目的としている。こうした新モデル構築を通して、宇宙嵐時の環電流の発達・減衰とそれに伴う粒子加速に重要な要素を同定し、その物理機構を解明することを目指している。

2. 研究の進捗状況

(1)平成20年度には、新モデルの基本部分となる電磁場と粒子の時間発展方程式(マクスウェル方程式とボルツマン方程式)を自己無撞着に解くことが可能な数値コードの概念設計を重点的に行い、ドリフト運動論近似に基づく定式化および数値コード化を実施した。これまでの宇宙プラズマ現象の数値シミュレーションにおいては磁気流体モデルや、イオンの運動論効果を取り入れたハイブリッドモデルなどが主に用いられてきたが、内部磁気圏の環電流粒子のグローバルなダイナミクスを現実的な計算機リソースで再現するために、本研究では粒子軌道をドリフト

近似したブラソフ方程式(ドリフト運動論的方程式)とマクスウェル方程式を連立させ、場と粒子の自己無撞着な時間発展を追跡する方程式系を新たに導いた。またこの連立方程式系を数値的に解く3次元(分布関数は5次元)のシミュレーションコードを開発し、実際に磁気流体波動が伝播する様子を再現することを確認した。また、開発した新モデルは計算速度がボトルネックとなるため、専用のクラスター計算機システムを導入し、効果的な研究推進に必要な環境を整備した。この他、FAST衛星のデータを中心にジオスペース観測データの解析を進めた結果、環電流への酸素イオン供給に太陽風動圧変動が重要な役割を果たしていることなどが明らかとなった。

(2)平成21年度には、解析解があるテスト問題や従来のモデルを用いた過去の研究との比較が可能な標準的な問題および観測との比較に基づく検証を行いつつ、新モデルの基本部分となる数値コードの概念設計を確立した。ドリフト運動論近似に基づく、粒子のボルツマン方程式(運動論の方程式)とマクスウェル方程式を組み合わせ、粒子と場の時間発展を自己無撞着に解くことができる数値コードの定式化と、空間極座標での数値コードのプロトタイプを構築し、テスト計算を行った結果、期待される動作を確認できた。座標系は、粒子の磁力線に捕捉されたバウンス運動やAlfvén波の伝播をより正確に解きやすい双極子磁場座標系へと修正した。また、上記の環電流モデルの開発と並行して、任意の電磁場モデルの中で、正確に相対論的電子の軌道を追尾する3次元ドリフト近似テスト粒子コードの開発を行った。経験的磁場モデルである

Tsyganenko磁場モデルを用いた計算を行った結果、太陽風動圧の上昇時に地磁気軸の傾斜角の効果を考慮すると、相対論的電子の孤立した成分が、昼間側磁気圏に残ることが可能なことが明らかとなった。

(3)平成22年度には、前年度までに開発したプロトタイプモデルを用いて、テスト問題による検証を行い、低周波電磁波動や粒子ドリフトの記述特性が理論予測値に合致すること、および沿磁力線電流の形成などに成功し、世界初の電磁場とリングカレント粒子を矛盾無く解けるグローバル内部磁気圏モデルの開発の初期結果を国際学術誌に発表した。さらに、従来モデルとの比較を開始し、まず、比較的単純な電磁場モデルを用いた研究結果との比較を行ってきた。また、太陽風動圧の急激な上昇に伴い内部磁気圏に励起される電磁波動およびこの動圧上昇がリングカレント粒子に与える影響の研究も開始した。これと並行して、相対論的粒子の軌道を正確に解いて統計的に処理する放射線帯テスト粒子コードへの、環電流モデルからの場の提供に向けての検討を開始した。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

当初計画では、前半2年度は場と粒子を自己無撞着に解く数値コードの開発を重点に行い、後半2年間で、新モデルを用いた宇宙嵐研究の推進を計画しており、計画は概ね予定通り達成されている。

4. 今後の研究の推進方策

今後は、前年度までにプロトタイプを完成させた新しい内部磁気圏モデルを用いて、宇宙嵐時の変動に着目した研究を本格的に推進する。研究にあたっては、Volland-Sternの電場モデル[Volland, 1973; Stern, 1973]や双極子磁場など、比較的単純な電磁場モデルを用いた研究結果[e.g., Fok et al., 1993; Jordanova et al., 1994]との比較を行い、電磁場を自己無撞着に解いたことによる影響を調べるとともに、SC(Sudden Commencement)に代表される特徴的な太陽風中の動圧変動に着目して、それによって励起される低周波波動の記述を試みる。また、連携研究者、研究協力者の協力を得てDouble-star/TC-1やTHEMISによる内部磁気圏赤道面付近での観測データを積極的に利用して、衛星による電磁場、プラズマ粒子のその場観測データとの分布関数レベルでの詳細な比較を行う計画である。また、一昨年度から環電流モデルに並行して開発してきた、相対論的粒子の軌道を正確に解いて統計的に処理する放射線帯コードへの、場の提供をするモデル結合研究へと発展させ、放射線帯電子加速過程において、ULF波動が果たす

役割を明らかにしたい。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① Amano, T., K. Seki, Y. Miyoshi, T. Umeda, Y. Matsumoto, Y. Ebihara, and S. Saito, “Self-consistent Kinetic Numerical Simulation Model for Ring Current Particles in the Earth’s Inner Magnetosphere”, *J. Geophys. Res.*, Vol.116, A02216, 2011. (査読有)
- ② S. Saito, Y. Miyoshi, and K. Seki, “A split in the outer radiation belt by magnetopause shadowing: Test particle simulations”, *J. Geophys. Res.*, 115, A08210, 2010. (査読有)
- ③ Y. Yao, K. Seki, Y. Miyoshi, J. P. McFadden, E. J. Lund, and C. W. Carlson, “Statistical properties of the multiple ion band structures observed by the FAST satellite”, *J. Geophys. Res.*, 113, A07204, 2008. (査読有)

[学会発表] (計10件)

- ① K. Seki, Ring current studies in the GEMISIS project: Development of a new self-consistent simulation model and related observation studies, Conference on Earth Sun System Exploration (ESSE) 2011, January 2011, 2011年1月, コナ, 招待講演.
- ② K. Seki, GEMISIS-magnetosphere project: New models of the inner magnetosphere to investigate high-energy particle variation during geospace storms and the ERG science center function, AGU fall meeting 2010, 2010年12月, サンフランシスコ.
- ③ 関華奈子, On the role of variation of solar wind dynamic pressure in terrestrial oxygen outflows: FAST observations, 日本地球惑星科学連合2009年大会, 2009年5月, 幕張.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ:

<http://st4a.stelab.nagoya-u.ac.jp/gemsis/magnetosphere/>

様式 G-7-2

自己評価報告書