

氏 名 海老原 祐 輔

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第400号

学位授与の日付 平成11年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 極域科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 Numerical Simulations on the dynamics of  
charged particles in the inner magnetosphere  
associated with a magnetic storm

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 佐藤 夏雄  
教 授 麻生 武彦  
教 授 江尻 全機  
教 授 小川 忠彦（名古屋大学）  
丸橋 克英（郵政省通信総合研究所）

## 論文内容の要旨

This dissertation is concerned with the study of the dynamic behavior of the energetic charged particles trapped by the earth's magnetic field in the inner magnetosphere associated with magnetic storms by using a newly developed numerical simulation scheme.

The earth's magnetosphere where the earth's magnetic field governs is filled with many charged particles having various energies and pitch angles; they are mainly composed of electrons and light ions,  $H^+$ ,  $He^+$  and  $O^+$ . At certain times more particles than usual are injected from the magnetotail into the near earth region by the large-scale convection field; the particles become trapped by the earth's dipolar magnetic field. Since the transported particles have a sufficient energy, they can contribute to the formation of the large-scale current surrounding the earth at altitudes of  $\sim 20000 - 30000$  km as if a current flows in a ring; this current is called a ring current. The growth and decay of the ring current can be observed by magnetograms on the earth's surface. The resultant current depresses the horizontal-component of equatorial earth's magnetic field. The depression usually lasts several hours or a few days and reaches its minimum field of about 1 % of the earth's internal field. Such strong depressions of the earth's field have been noticed in magnetograms; this is called magnetic storms.

A time-dependent three-dimensional plasmaspheric model was developed to evaluate the Coulomb collision loss of the ring current ions. The Coulomb collision loss is one of significant loss processes of ring current ions, together with the charge exchange loss with neutral hydrogen. The results of the model calculation were compared with the direct satellite observation of EXOS-B; they are in good agreement with the observation. Using this plasmaspheric model, the loss effects of the ring current ions due to the charge exchange and the Coulomb collision were examined; the Coulomb collision loss hardly affects the bulk of storm-time ring current decay because the core region of the plasmasphere shrank within 3 earth radii at midnight during the storm.

A temporal enhancement of the differential flux associated with a substorm was examined. The source distribution function that causes the flux enhancement observed by Explorer 45 in the inner region could be deduced from the particle simulation including an additional electric field associated with a substorm. Temporal developments of the plasma pressure and the current density in the equatorial plane responding to the injection are also calculated. The intensity of the calculated magnetic disturbance at the center of the earth is approximately 2 nT.

Next, following the concept that a storm is composed of substorms, the ring current buildup is examined by superposing many substorm injections. The result suggests that the curve of calculated Dst\* is unnatural for this particular weak storm and that an intense or a large storm are hardly explained this concept. Therefore other parameters' dependent sources as well as other mechanisms of particle flux enhancements may play an important role for the storm time ring current buildup.

A quantitative ring current model depending on the solar wind and IMF was developed. After investigating the relation between the solar wind density and the plasma sheet density as a direct source of the ring current ions, it is found that the plasma sheet density at L=10 is also well responding to the solar wind density. Using the solar wind and IMF dependent conditions, the temporal variation of the differential flux in the magnetosphere was calculated. The time-dependent three-dimensional plasma pressure, the current density and the magnetic disturbance induced by the current density were also calculated and the magnetic disturbance at the center of the earth was compared with the ground observation (Dst) during successive storms in April 1997. The following items were found: (1) The major variation of corrected Dst is mainly due to the convection field and the plasma sheet density as well. (2) The plasma sheet temperature is insensitive to the ring current buildup. (3) The ions with energies of around 15-40 keV in the dusk region mostly contribute to the storm-time ring current. (4) The distorted magnetic field in the equatorial plane due to the ring current is calculated. The  $\nabla B$  drift trajectory under the distorted magnetic field is highly changed by the distortion.

## 論文審査結果の要旨

海老原祐輔君は、大規模計算機シミュレーションによってこれまで未解決であった磁気嵐における地球磁気圏高エネルギー粒子のフラックスの変動、リングカレント（環電流）の発達と減衰、およびこれらの地磁気の変化への効果を定量的に調べ、人工衛星による直接観測と比較し深く考察した。本論文は以下に述べる通り、論文構成、計算手法と結果、考察、記述内容ともに博士（理学）の学位に値するものである。

本論文で用いている新たに構築した粒子追跡シミュレーションは、磁気圏内の高エネルギー粒子の運動を追跡し、これまでにない精度で磁気圏内の粒子空間分布のダイナミクスを解き進めるものである。また、三次元の環電流の分布からビオ・サバル則により地磁気変動を直接求めたことは画期的な試みである。具体的研究内容と成果は次の通りである。

(1)地球磁場に捕捉された環電流イオンの主な損失機構として中性水素大気との電荷交換反応および低エネルギープラズマとのクーロン衝突が考えられている。低エネルギープラズマの空間分布は対流電場の大きさに強く依存するため、クーロン衝突による損失を評価するためには動的なプラズマ圏モデルが必要となる。そこで電離圏における物理量と対流電場に依存したプラズマ圏の3次元動的モデルを新規に構築し、実際の衛星(EXOS-B "じきけん")観測結果と定量的一致を得、そのモデルに基づき磁気嵐中における環電流イオン損失量を計算し比較した。その結果、電荷交換反応による損失が磁気嵐中においては卓越していること等、磁気嵐回復相における環電流のダイナミクスを明らかにした。

(2)地球の夜側のプラズマシートから高エネルギー粒子が突発的に地球方向へ流入する現象がある。従来のモデル計算では説明できなかった粒子解放開始時刻と、エクスペローラー45号衛星が観測した粒子フラックス増加開始時刻の差を、推定した誘導電場モデルによって定量的に説明した。さらにフラックス増加をもたらした源の領域および分布関数を推定することができた。

(3)磁気嵐における環電流の発達にはその源であるプラズマシートの密度上昇も重要な要因ではないかという予測に基づき、太陽風密度に依存した環電流モデルを構築した。2つの衛星(WIND及びGEOTAIL)による同時観測データを用いて太陽風密度とプラズマシートの密度の経験的關係式を見い出し、これをモデルの境界条件とすることによってある磁気嵐における環電流によって作られる地磁気変動の定量的説明に成功した。従来環電流は、大規模対流電場によって発達するとされてきた。しかし、プラズマシート密度の変化の太陽風密度依存性が大きく寄与することが明らかにされた。

本研究で得られた結果は、これまで未解決であった磁気嵐における磁気圏高エネルギー粒子のフラックスの変動、その損失物理過程、プラズマ圏の形成過程、環電流の発達及びこれらの地磁気への変化への効果の定量的解明など、磁気圏物理学における新しい知見の獲得に貢献してきた。同君の行った計算機シミュレーションはすべて実際の磁気圏サブストーム・ストーム現象に伴う衛星や地上観測データに基づき、現実的なモデルを構築し、その物理過程を基礎から明らかにしたものである。本研究を達成した学問水準は、同君が高い資質のある独立した研究者としての能力を示しており、博士（理学）論文に値すると判断した。