

ペタスケールコンピューティングによる放射線帯電子加速シミュレーションの展望

加藤 雄人 [1]; 大村 善治 [2]; 臼井 英之 [3]; 中島 浩 [4]

[1] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [2] 京大・生存圏; [3] 京大・生存圏/JST-CREST; [4] 京大・ACCMS

Perspective for peta-scale computing on the study of acceleration process of radiation belt electrons

Yuto Katoh[1]; Yoshiharu Omura[2]; Hideyuki Usui[3]; Hiroshi Nakashima[4]

[1] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [2] RISH, Kyoto Univ.; [3] RISH, Kyoto Univ./JST-CREST; [4] ACCMS, Kyoto Univ.

Response of the Earth's outer radiation belt to a geomagnetic storm is one of the significant subjects in space plasma physics and space engineering. The results of observation in the outer radiation belt reveal that the role of whistler-mode chorus is important for the local acceleration mechanism of the relativistic electrons. The acceleration process of relativistic electrons through the interaction with the whistler-mode waves has been extensively studied based on the quasi-linear theory in a case of a broadband wave setting and particle simulations in a case of a coherent wave setting. Recently we have reproduced the generation process of chorus emissions by a large-scale particle simulation using the electron hybrid model, and we found that the nonlinear wave trapping process is essential in the acceleration process of relativistic electrons (Katoh and Omura, 2007b; Omura et al., 2007; Summers and Omura, 2007; Furuya et al., 2008) as well as the generation process of chorus emissions (Katoh and Omura, 2007a; Omura et al., 2008). It is necessary to develop the new physical model for the acceleration process of radiation belt electrons with taking into account the nonlinear effect in the resonant interaction process.

The present computational resources are not enough to carry out particle simulations using plasma parameters observed in the real magnetosphere. Although there is a possibility that the peta-scale computing realized by the next generation supercomputers enables us to treat more huge resources, we have to improve our numerical scheme with including the advanced computational method (e.g., Nakashima et al., 2007) for the efficient use of the massively parallel computers. In the present study, we discuss the future prospects of radiation belt simulations and the numerical problems for the massive parallel computation.

地球放射線帯外帯を構成する相対論的電子は、磁気嵐に対して敏感に応答し、そのフラックスを大きく変動させることが知られている。放射線帯電子は人工衛星の障害の要因となるなどすることから、そのフラックス変動の物理を理解することは、宇宙天気研究の主要な課題の一つとして挙げられている。放射線帯の赤道領域では、コーラス放射と呼ばれるホイッスラーモードのプラズマ波動が自然発生している。観測研究の成果により、放射線帯電子の生成過程では、この自然発生するコーラス放射との相互作用が重要な役割を担うことが明らかとなっている。一方、どのような物理過程によってコーラス放射が発生し、どのように相対論的電子が作り出されるのかについて、その物理の詳細は未解明の問題として残されてきた。その為、従来の放射線帯研究では、コーラス放射と放射線帯電子との相互作用を時空間平均し、近似的に取り扱う手法、すなわち準線形理論に基づいた速度分布関数の拡散を扱う研究が主流である。しかしながら、相対論的電子の源である放射線帯赤道領域で生じている現象の本質は、電子スケールのミクロな非線形過程であることが、大規模並列計算によるプラズマ粒子シミュレーションの結果から明らかとなった (Katoh and Omura, 2007a,b; Omura et al., 2007, 2008; Summers and Omura, 2007)。また、このような非線形過程に基づいて速度分布関数の時間発展を取り扱う新手法も提案されている (Furuya et al., 2008)。放射線帯電子の生成とコーラス放射の励起という2つのプロセスの究明には、プラズマ粒子個々の運動と電磁場の時間発展を解くプラズマ粒子シミュレーションによる、スーパーコンピュータを用いた大規模計算機実験が唯一の方法論である。本研究は、自己無撞着な大規模プラズマ粒子シミュレーションにより物理素過程を詳細に議論し、放射線帯電子生成過程の新しい物理モデルを構築することを目的とする。

シミュレーションに必要なとされる計算機リソースに関して着目すると、現状では放射線帯領域での実パラメータを用いた計算は容易ではない。次世代の大型計算機ではペタスケールコンピューティングの実現が期待されるが、技術的課題や計算機資源の制約条件は依然として存在し、扱うことのできる時空間スケールには制約がある。この点に関して、Nakashima et al. (2007) により提案された画期的なアルゴリズムを活用することで、高効率な大規模並列計算の実現を図る。超並列計算の実現により、実パラメータによる放射線帯電子加速シミュレーションを実施することが可能となり、宇宙天気研究の進展に対して大きく貢献することが期待できる。本発表では、次世代の放射線帯シミュレーションの実施に向けた展望と、克服すべき技術的課題について議論する。

参考文献:

Katoh Y., Y. Omura (2007), Computer simulation of chorus wave generation in the Earth's inner magnetosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L03102, doi:10.1029/2006GL028594.

Katoh Y., Y. Omura (2007), Relativistic particle acceleration in the process of whistler-mode chorus wave generation, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L13102, doi:10.1029/2007GL029758.

Furuya, N., Y. Omura, D. Summers (2008), Relativistic turning acceleration of radiation belt electrons by whistler-mode chorus, *J. Geophys. Res.*, 113, A04224, doi:10.1029/2007JA012478.

Nakashima, H., H. Usui, and Y. Omura (2007), OhHelp: A simple but efficient space-partitioned dynamic load balancing for

particle simulations, 情報処理学会研究報告, vol. 2007, No. 122, pp. 25-30.

Omura Y., N. Furuya, D. Summers (2007), Relativistic turning acceleration of resonant electrons by coherent whistler mode waves in a dipole magnetic field, *J. Geophys. Res.*, 112, A06236, doi:10.1029/2006JA012243.

Omura, Y., Y. Katoh, D. Summers (2008), Theory and simulation of the generation of whistler-mode chorus, *J. Geophys. Res.*, 113, A04223, doi:10.1029/2007JA012622.

Summers, D. and Y. Omura (2007), Ultra-relativistic acceleration of electrons in planetary magnetospheres, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L24205, doi:10.1029/2007GL032226.