

Q10b プラズマ粒子シミュレーションにおける運動方程式の厳密解に基づく粒子積分法：I. 非相対論的な場合

加藤恒彦（国立天文台），錢谷誠司（神戸大学）

プラズマ粒子（PIC）シミュレーション法は、荷電粒子の運動方程式と電磁場の時間発展方程式を組み合わせ、プラズマのダイナミクスを解くシミュレーション法であり、運動論的な現象をはじめ、様々なプラズマ現象の研究に用いられている。

電磁場中の粒子の運動方程式を解く粒子積分法には様々なものが考えられているが、最も標準的な手法としては Boris 法（Boris 1970）が知られている。これは「volume-preserving」条件を満たし長期的な計算の安定性を持つ 2 次精度の手法である。近年では、ジャイロ運動部分を厳密に解く Exact gyration integrator（He et al. (2015)、Zenitani and Umeda (2018)）や、高精度に解く方法（Zenitani and Kato (2020) など）が考案されている。

本研究では、粒子が非相対論的な場合を対象に、磁場だけでなく一定の電場もある場合の運動方程式の厳密解に基づいて高精度な粒子の積分法を導出した。この「Exact velocity integrator」は、Boris 法と同様に volume-preserving 条件を満たし、長時間の計算でも安定に運動を解くことができる。また、2 次精度の積分法としてはこれまでの方法よりも遙かに高精度で、 $E \times B$ ドリフトの数値テストの結果では、Boris 法に比べて 3 桁、Exact gyration integrator に比べても 2 桁程度精度が良い。なお、Exact velocity integrator では \sin や \cos を計算する必要があるが、そのテイラー展開を用いることで容易により計算コストの低い近似解法を作ることにもできる。また、composition 法を用いれば 4 次精度から 10 次精度に至るまでの高次精度の解法も容易に得ることができる。

本講演では、この粒子積分法について発表する。