

AstroGK や GS2 を用いた ジャイロ運動論シミュレーションと位相混合

電気通信大学 情報・通信工学科
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

龍野 智哉
tomo.tatsuno@uec.ac.jp

近年ジャイロ運動論は、核融合実験装置の解析のみならず、宇宙空間におけるプラズマ現象の解析にも用いられるようになってきた [1]。こういった状況に鑑み、核融合実験装置用に開発されたジャイロ運動論コード GS2 からトーラス状磁場配位や磁気シアに関する複雑性を取り除き、スラブ形状における基礎的な問題を専門的に取り扱うコード AstroGK が開発されている [2]。AstroGK や GS2 は米国、英国と日本の研究者が共同開発したコードであって、汎用性を大きな特徴としており、ラップトップからスーパーコンピュータまで、また様々なコンパイラ環境に対応して身近に使うことができる。これらの数値コードはオープンソースであり、誰でも最新版を SourceForge から Subversion を用いて取得することができる [3, 4]。

AstroGK を用いて、ジャイロ運動論における非線形位相混合の問題を取り扱った研究成果を紹介する [5, 6]。線形の位相混合はいわゆる Landau 減衰と呼ばれる現象で、磁力線方向に自由に動く粒子群が熱による速度のばらつきを持っているため、波の位相が混合され、波が無衝突に減衰するということがよく知られている。位相混合では速度空間に分布関数の「ひだ」を生成し、それらの「ひだ」を平均化する効果のある積分操作によって、静電ポテンシャルが時間につれて減衰していくわけである。

線形位相混合は磁力線方向の粒子速度のばらつきによるものであるが、磁力線に垂直な方向にも粒子速度はばらついている。荷電粒子は、磁力線垂直方向には主に回転運動をしているが、同時に静電ポテンシャルのゆらぎによる $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ ドリフト運動も行っている。回転半径が粒子速度によって異なると、熱速度による回転半径よりも小さいスケールでポテンシャルの揺らぎが存在する場合、それらを平均化したドリフト運動にもばらつきが生じる。これによって引き起こされるのが非線形位相混合であり、文献 [5, 6] では、2次元の静電乱流において速度空間と実空間のスケールに興味深い相関が現れることを示した。

本講演では、開発者の一人としての立場から、これらの数値コードの特徴や非線形位相混合のシミュレーション例について、共同開発の裏話なども交えながら紹介したい。本講演をきっかけに AstroGK や GS2 に興味を持ち、利用を開始する、あるいは開発に参加する新規ユーザーが現れてくれれば、これに勝る喜びはない。

-
- [1] A. A. Schekochihin *et al.*, *Astrophys. J. Suppl.* **182**, 310 (2009); *E-print* arXiv:0704.0044.
 - [2] R. Numata *et al.*, *J. Comput. Phys.* **229**, 9347 (2010); *E-print* arXiv:1004:0279.
 - [3] AstroGK ソース: <https://gyrokinetics.svn.sourceforge.net/svnroot/gyrokinetics/agk/>
 - [4] GS2 ソース: <https://gyrokinetics.svn.sourceforge.net/svnroot/gyrokinetics/gs2/>
 - [5] T. Tatsuno *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **103**, 015003 (2009); *E-print* arXiv:0811.2538.
 - [6] 龍野 智哉, *日本物理学会誌* **67**, 640 (2012).