

強いプラズマ流を考慮した運動論モデルの電磁的拡張

An electromagnetic extension of the kinetic model with fast plasma flow

宮戸直亮

Naoaki MIYATO

量子科学技術研究開発機構

National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology

標準的なジャイロ運動論モデルは、電場をゼロとした Littlejohn の案内中心 1-形式（相空間ラグランジアン）[1] に、短波長・微小振幅の電磁揺動を加え、リー変換による摂動解析を行い定式化されている [2, 3]。振幅に関する制限は、揺動振幅が摂動解析の微小パラメータに用いられているからである。波長についてはリー変換の際に何の仮定もされないが、ジャイロ運動論的ポアソン方程式の導出の際に暗に仮定されている [4, 5]。このように標準モデルは微視的乱流の局所シミュレーションを取り扱うのに適しているが、輸送障壁形成のような強い $E \times B$ 流の生成とプラズマの分布変化を伴う現象や、巨視的な MHD モードを取り扱うのに適切かどうかは自明ではない。特に、強い $E \times B$ 流を考慮しようとする、案内中心変換の段階から見直す必要がある。元々、Littlejohn の案内中心モデルでは強い $E \times B$ 流が考慮されており、1-形式のシンプレクティック部分に $E \times B$ 流の項が含まれ、分極ドリフトが案内中心のドリフトとして現れる。これとは異なり、標準的なジャイロ運動論モデルでは分極ドリフトが案内中心ドリフトとして現れず、ポアソン方程式に分極密度が現れる。このような標準モデルと同様な形式で強い $E \times B$ 流を考慮した静電的なモデルは、既にリー変換を用いて定式化されている [5, 6]。一方、電場揺動が長波長になると、静電ポテンシャルのラプラシアンで表されるジャイロ運動論的ポアソン方程式中の分極密度の項が小さくなっていき、やがて標準的な定式化で無視された、案内中心変換の高次の変位ベクトルに関係した項を考慮し、ジャイロ運動論的ポアソン方程式を拡張する必要がある [4, 5, 7]。この高次の変位ベクトルは、磁場の非一様性によるもので、Littlejohn の案内中心モデルで陽に求められているが、ジャイロ運動論モデルの定式化 [2, 3] では、これを落とした案内中心モデルを基礎としているため、その存在を認識することは少ない。しかし、この案内中心変換の高次の変位ベクトルの大きさは、分極ドリフトによる変位に対応し、ジャイロ運動論的ポアソン方程式の分極密度に関係する、ジャイロ中心変換による変位ベクトルと同程度である。標準的なジャイロ運動論的ポアソン方程式の導出では、この変位ベクトルも陽には現れない。これらの変位ベクトルの大きさは同程度であるが、電場について短波長の仮定をすることにより、ジャイロ中心変換による変位ベクトルの方がポアソン方程式への寄与が大きくなるのである。案内中心変換の高次の変位ベクトルを考慮すると、ポアソン方程式だけでなく、1-形式のハミルトニアンも拡張しなければならない [4, 7]。強い $E \times B$ 流を考慮した静電的なモデルのハミルトニアンには類似の項もある。今回、荷電粒子運動の 1-形式の段階から磁場揺動を考慮し、リー変換による摂動解析を行うことで、強い $E \times B$ 流を考慮したモデルの電磁的拡張を行った。

本研究は JSPS 科研費 JP26400538 の助成を受けたものです。

- [1] R. G. Littlejohn, Phys. Fluids **24**, 1730 (1981).
- [2] T. S. Hahm, Phys. Fluids **31**, 2670 (1988).
- [3] A. J. Brizard, J. Plasma Phys. **41**, 541 (1989).
- [4] N. Miyato, B. D. Scott, and M. Yagi, Plasma Phys. Control. Fusion **55**, 074011 (2013).
- [5] N. Miyato, Contrib. Plasma Phys. **56**, 543 (2016).
- [6] N. Miyato, B. D. Scott, D. Strintzi, et al., J. Phys. Soc. Jpn. **78**, 104501 (2009).
- [7] N. Miyato, arXiv:1308.3333[physics.plasma-ph].