

1次元Vlasov-Poisson系において位相混合を表現するための1価関数
Water-bagモデルの拡張

Extension of the single-valued-contours water-bag model to represent phase mixing in one-dimensional Vlasov-Poisson systems

前角 弘毅 洲鎌 英雄* 渡邊 智彦 **
MAEKAKU Koki SUGAMA Hideo* WATANABE Tomo-Hiko**

東大新領域 核融合研* 名大理**
Univ. Tokyo, NIFS*, Nagoya Univ.**

背景

Water-bagモデルは1次元分布関数の自由度を階段関数の段差数で表現する階層的なモデルであり、特に階段関数の段差を（段差数が N のとき）1価関数 $V_1(x) \dots V_{N+1}(x)$ で表現したモデル（以下では1価関数モデルと呼ぶ）は無衝突プラズマの運動論効果や流体クロージャなど、物理モデルの自由度についての研究に活用されている[1]。しかしながら1価関数モデルではランダウ減衰を含む位相混合を表すことのできないという問題点がある。粒子の追い越しが発生すると、Water-bagモデルにおいて速度等高線を表す関数が一価関数であるためにWave-breakingが発生する（図1）。

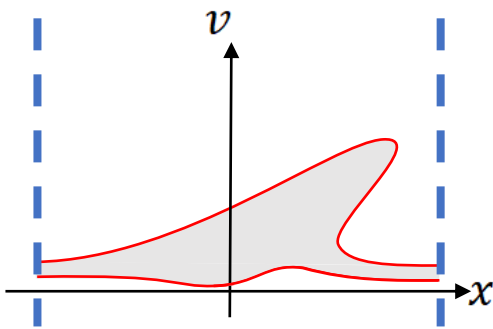


図1 Water-bagモデルの分布関数 $f(x, t)$ の例。灰色部分は $f > 0$ 、白色部分は $f = 0$ 。青色点線は周期境界、赤線が速度等高線。上側の速度等高線は1価関数では表現できないため、1価関数モデルは破綻する（Wave-breaking）。

Water-bagモデルのうち1価関数等高線の代わりに格子点を移動させることでランダウ減衰を表現できるContour-dynamicsというモデルが存在する[2]が、1価関数に限定されない位相空間上の等高線と流体変数の関係式は簡単には表せない。

そのため、ランダウ減衰を表現でき、かつ流体変数と等高線の関係式が明示されたWater-bag

モデルを構築する必要がある。

手法-座標変換された1価関数モデル

1価関数モデルの最も単純な拡張として、座標変換

$$(x, v, t) \rightarrow (x', v', t')$$

$$\text{where } (x', v', t') = (x - vt, v, t) \quad (1)$$

を施すことで、電場の振幅が小さい場合Wave-breakingを回避することができると予想できる。

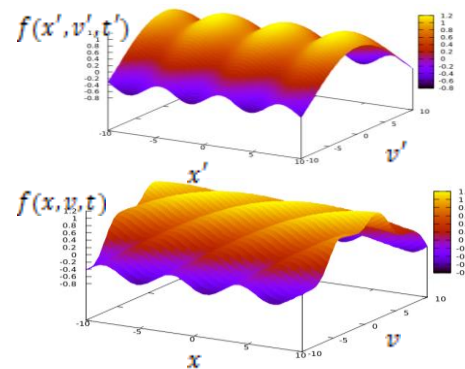


図1 座標変換(1)のイメージ。

筆者らは、この座標変換された1価関数モデルが電場のない条件下での粒子の追い越し（Ballistic-mode）とプラズマ振動について、既存のContour-dynamicsシミュレーションと同様に密度/電場が時間変化することを示した。ポスター発表ではこのモデルを用いることでランダウ減衰がWater-bagモデルによって表現された分布関数のどの段差が影響しているかについて詳細に議論する。

参考文献

[1] Maekaku, K., & Yoshida, Z. (2022). Hierarchical foliation of one-dimensional Vlasov-Poisson system. *Physics of Plasmas*, 29(8), 082303.

[2] Sato, H., Watanabe, T. H., & Maeyama, S. (2021). Contour dynamics for one-dimensional Vlasov-Poisson plasma with the periodic boundary. *Journal of Computational Physics*, 445, 110626.