23Pp40

Hasegawa-Wakatani方程式系に基づくドリフト波乱流とゾーナルフローのエネルギー伝達解析

Energy transfer analysis of drift-wave turbulence and zonal flow based on Hasegawa-Wakatani equation system

彌冨豪 1)、仲田資季 1, 2, 3)
総研大 1)、核融合研 2)、JSTさきがけ 3)

YATOMI Go 1)、NAKATA Motoki 1, 2, 3)
SOKENDAI 1)、NIFS 2)、JST PRESTO 3)

プラズマ中の乱流場から自発的に生成されるゾーナルフロー（ZF）は、非線形相互作用による乱流へのエネルギー伝達を伴った、tertiary instabilityと呼ばれる不安定性を持つ[1]。この不安定性は、ZFの振幅だけでなく曲率（径方向の二階微分）にも依存することが知られている[2]。このような局所的な不安定性を評価するためには、一様な場の解析に適したFourier分解のみならず、特異値分解（SVD）のような局所的な構造を保ったモード分解による解析が有用である。そこでSVDを用いた非線形量の解析として、粒子フラックスのモード分解を行いそのパラメータ依存性(κ,α)や散逸Dの効果を調べた。

二次元Hasegawa-Wakatani方程式[3,4]の数値シミュレーションによって得られた、時刻$t_1,\cdots t_N$での静電ポテンシャルのy方向微分$\partial_y\phi$と電子密度の乱流成分$\tilde{n}=n-\langle n\rangle_y$の実空間分布を並べた行列$X=(\partial_y\phi(\boldsymbol{x},t_1),\cdots,\partial_y\phi(\boldsymbol{x},t_N),\tilde{n}(\boldsymbol{x},t_1),\cdots,\tilde{n}(\boldsymbol{x},t_1))$に対してSVDを施し、$\partial_y\phi=\sum_i\phi_i=\sum_i s_i h_i^{(\phi)}(t)\psi_i(\boldsymbol{x})$ および $\tilde{n}=\sum_i n_i=\sum_i s_i h_i^{(n)}(t)\ \psi_i(\boldsymbol{x})$のようにモード分解を行った。あるパラメータ領域において、それぞれのモードの粒子フラックスへの寄与$\Gamma_{\boldsymbol{n}}^{(i)}=-\int d\boldsymbol{x}\,\phi_i n_i$を特異値$s_i$の大きな順に並べると、正の寄与と負の寄与に分かれた（図 1)。図 2のように、正の寄与のモードの空間構造ψ_iは$\tilde{n}$に近く、負の寄与のそれは$\partial_y\phi$に近いものであった。パラメータスキャンにより、散逸が大きく$\tilde{n}$と$\partial_y\phi$の構造の差が小さいときや、フラックスの大きさそのものが小さいときには、このようなモードの正負の分離が生じにくいことが分かった。

これは$\tilde{n}$と$\partial_y\phi$を同時にSVDを行うことで両者の位相差の情報を含んだ分解を行ったことに帰結するものであり、様々な非線形量の解析に有用な手法であると考えられる。

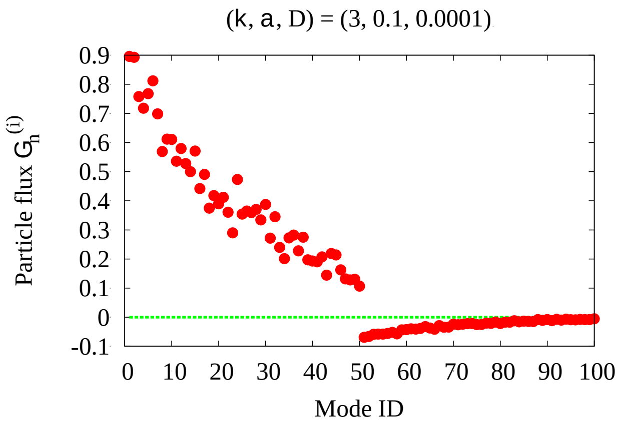

図 1: 各 SVD モードの粒子フラックス$\boldsymbol{\Gamma}_{\boldsymbol{n}}^{(i)}$

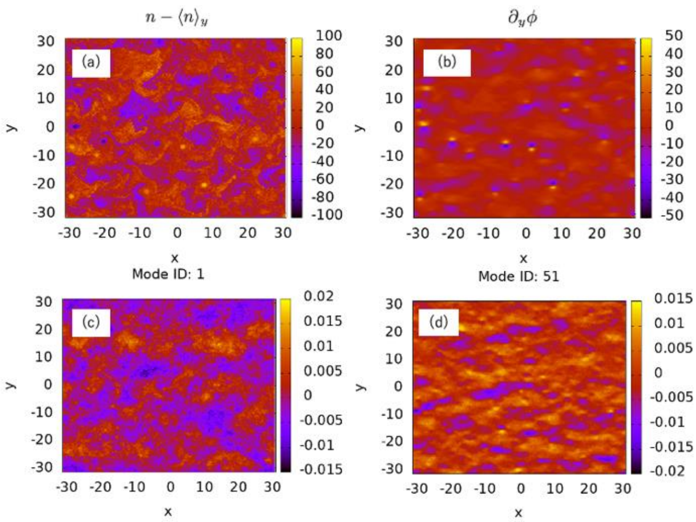

図 2: $t=200$での(a)電子密度の乱流成分$\tilde{\boldsymbol{n}}$と(b)静電ポテンシャルの$\boldsymbol{y}$方向微分$\boldsymbol{\partial_y\phi}$、および(c)モード 1 と(d)モード 51 の空間構造$\boldsymbol{\psi_i}$

参考文献

[1] B. Rogers *et al.* (2000) Phys. Rev. Lett. **85,** 5336.
[2] H. Zhu *et al.* (2018) Phys. Plasmas **25**, 072121.
[3] A. Hasegawa and M. Wakatani (1983) Phys. Rev. Lett. **50**, 682.
[4] R. Numata *et al.* (2007) Phys. Plasmas **14**, 102312.