

磁化プラズマ静電乱流の位相空間計測によるエントロピーカスケードの同定  
-位相空間における双自己相似性-

Dual-self similarity in phase-space of magnetized plasma turbulence

河森栄一郎、林彥廷<sup>(a)</sup> [KAWAMORI Eiichirou and LIN Yu-ting]

台湾國立成功大學ISAPS (<sup>(a)</sup>現所属:東大新領域) [National Cheng Kung Univ. ISAPS]

Kolmogorov等の局所等方乱流理論、エネルギー波数スペクトル計測等を用いた数々の検証実験や数値実験により、高レイノルズ数流体乱流の普遍的性質として、慣性小領域の存在、その領域におけるスケールフリーダイナミクス(エネルギーやエントロピーの自己相似的な(逆)カスケード)の存在が明らかにされてきた。本研究ではイオンジャイロスケール磁化プラズマ2次元静電乱流(2D-GK乱流)に対して以下のことを実験的に明らかにした:

(1)イオン位相空間に自由エネルギー(-エントロピー)  $W_{g1}(k_{\perp}, p) \equiv p \sum_{|k_{\perp}|=k_{\perp}} |g(k_{\perp}, p)|^2$  と静電揺動エネルギー  $E_g(k_{\perp}) = k_{\perp} |\tilde{\phi}(k_{\perp})|^2$  の慣性小領域が存在し、(2)その領域でposition-velocity間( $k_{\perp}$ - $p$ 間)に強い結合をもつスケールフリーダイナミクスが生じている(dual self-similarity). (3)そのダイナミクスは $W_{g1}$ のカスケード及び $E_g$ の

逆カスケードである。ここで $g(k_{\perp}, p)$ はリング平均イオン速度分布関数の揺動部 $g$ の(positionに関する)フーリエ及び(velocityに関する)ハンケル変換成分。 $\tilde{\phi}(k_{\perp})$ は電位揺動のフーリエ成分。 $k_{\perp}, p$ は各々、位置、速度空間における波数。これらの結果は2D-GK乱流に対するPlunk, Schekochihin, Tatsuno等の理論、ジャイロ運動論シミュレーションの結論と一致する。

Fig.1(a),(b)は、Ring-averaged ion distribution function probe (RSI2017)を用いて計測した、位相空間における $W_{g1}$ のスペクトル、(c)は静電プローブ計測により求めた $E_g$ のスペクトルである。Plunk等の理論(J.Fluid.Mech2010)により予言された、順カスケード領域(赤)及び逆カスケード領域(青)の波数スペクトル、速度空間スペクトルとよい一致を示している。詳細はCaptionを参照のこと。

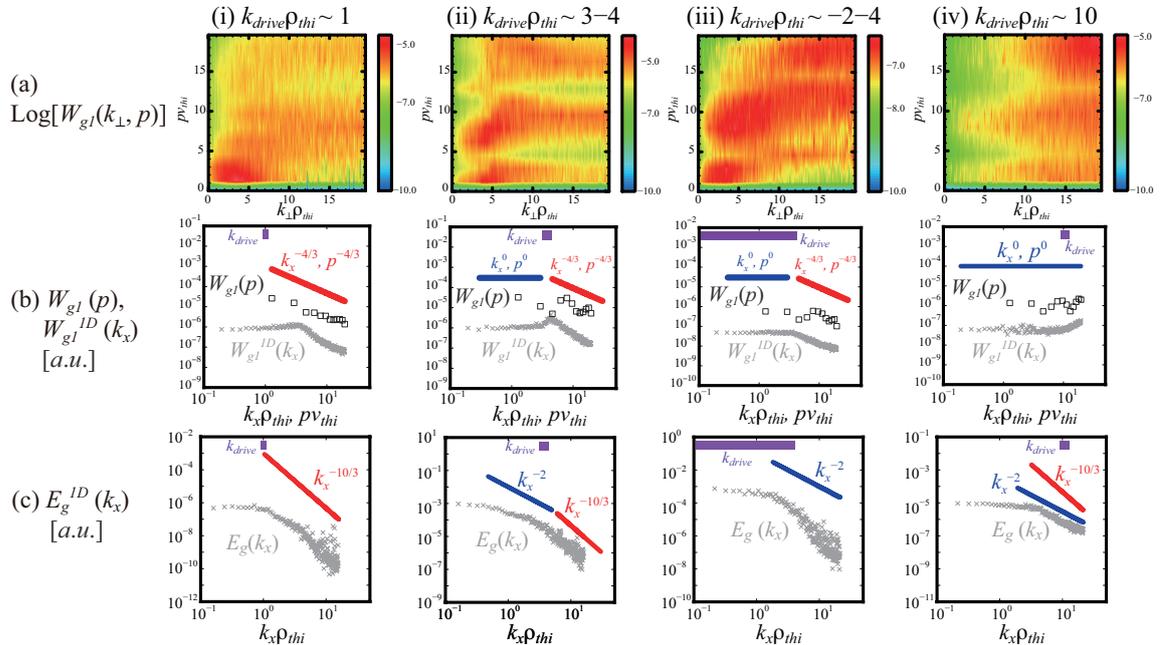


Fig. 1 Variation in spectra of the invariants of gyro-kinetics, namely the free energy  $W_{g1}(k_{\perp}, p)$  and the electrostatic energy  $E_g(k_{\perp})$  for varied  $k_{drive}\rho_{thi}$  between  $\sim 0.5$  and  $10$ , (i)  $k_{drive}\rho_{thi} \sim 1$ , (ii)  $k_{drive}\rho_{thi} \sim 3-4$ , (iii)  $k_{drive}\rho_{thi} \sim -2-4$ , and (iv)  $k_{drive}\rho_{thi} \sim 10$ , respectively. The plots shown in the row (a) are  $W_{g1}(k_{\perp}, p)$  in the  $k_{\perp}$ - $p$ -space, namely position-velocity-space. The row (b) are (cross) 1D spectra  $W_{g1}^{ID}$  of the free energy as functions of  $k_x\rho_{thi}$  and (open square)  $p$ -spectra of  $W_{g1}(p)$ , respectively.  $E_g(k_{\perp})$  spectra are shown in the row (c). Respective  $k_{drive}\rho_{thi}$  ranges are shown by purple color bars. The blue and red bars represent power laws predicted by the gyrokinetic theory for (blue)  $k_{\perp} < k_{drive}$  and (red)  $k_{\perp} > k_{drive}$ , respectively.