

ポロイダル対称性破れの輸送への影響
Impact of poloidal asymmetry on transport processes

朝比 祐一^{1,2}, V. Grandgirard², 井戸村泰宏³, X. Garbet², G. Latu², Y. Sarazin², G. Dif-Pradalier²,
 P. Donnel², 矢木雅敏¹
 Y. Asahi^{1,2}, V. Grandgirard², Y. Idomura³, X. Garbet², G. Latu², et al.
 量研機構¹、CEA²、原子力機構³
 QST¹、CEA²、JAEA³

本文

磁場閉じ込め核融合プラズマ研究において、磁力線を横切る粒子、運動量、およびエネルギー輸送の予測精度の向上は炉設計の観点から重要である。通常、これらの輸送は ExB ドリフトによる部分と磁場ドリフトによる部分に分けて解釈される。前者はプラズマ乱流と、後者は衝突性の新古典輸送と関連付けられる。

新古典輸送の枠組みでは、対流セルと呼ばれる、有限のポロイダル波数かつトロイダル対称のポテンシャルの大域的モード構造によるポロイダル対称性破れは小さいとされ、その影響は無視される。しかしながら、電磁波による加熱や、トロイダル回転による向心力によって、このようなモード構造が駆動されると新古典輸送への影響が無視出来ないと理論的に予測される。本研究では、プラズマ乱流のレイノルズ応力によって対流セルが駆動される場合の新古典輸送や分布形成への影響を、新古典輸送と乱流輸送を無矛盾に扱う(つまり、乱流揺動と背景分布のスケール分離を仮定しない)熱源駆動の大域的 full-F ジャイロ運動論的シミュレーションによって調べた。

図1 (左図) は、準定常状態 ($t v_{ti}/R_0 = 750$) における、静電ポテンシャルのポロイダル断面の乱流成分を示す。静電ポテンシャル内には $m = 1$ の大域的なモード構造である対流セルが確認出来る。続いて、静電ポテンシャルから $m=1, n=0$ のモードを取り出し、その非対称性がどのように時間変化するかを調べた。その結果、対流セルの非対称性がシミュレーション初期の測地線音響モード (GAM) で観測される上下非対称性 (GAM 極限) から左右非対称性 (対流セル極限) へと変化することを確認した。これは、プラズマ乱流のレイノルズ応力による対流セルの駆動に関する理論的予測と一致する [1]。

続いて対流セルの輸送への影響を調べるため、対流セルに対し数値フィルタを適用し、その有無が輸送や分布形成へ及ぼす影響につい

て調べた。図1に示すように、数値フィルタを適用した場合(右図)、大域的なモード構造である対流セルが除外されていることがわかる。

これら二つのシミュレーション結果を比較したところ、対流セルの有無は温度、プラズマ回転、電場などの分布形成にはほぼ影響を及ぼさないものの、フィルタを適用した場合には新古典熱輸送が低減する場合があることが明らかとなった (図2)。

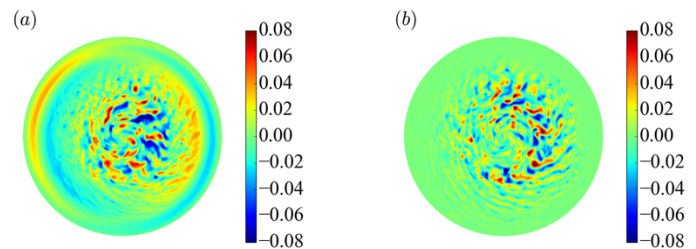


図1 $t v_{ti}/R_0 = 750$ における静電ポテンシャルの乱流成分のポロイダル断面図。フィルタ無し (左図)、フィルタ有り (右図)。

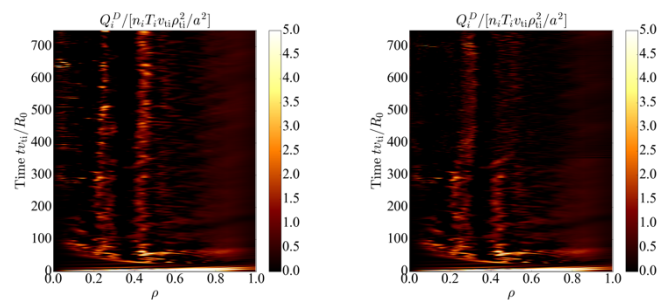


図2 数値フィルタを適用した場合の新古典熱輸送 (Q^D)への影響。フィルタ無し (左図)、フィルタ有り (右図)。フィルタは $t v_{ti}/R_0 = 350$ から適用。

講演では、線形ジャイロ運動論による対流セルの理論解析に基づき対流セルが新古典熱輸送に与える影響とその物理機構を論じる。

[1] P. Donnel, et al, “Turbulent generation of poloidal asymmetries of the electric potential in a tokamak”, to appear in PPCF (2018)

[2] Y. Asahi, et al, “Synergy of turbulent and neoclassical transport through poloidal convective cells”, submitted to PPCF.