

プラズマ乱流における離散的・連続的なフーリエスペクトル Discrete and continuous Fourier spectra in plasma turbulence

佐々木真^{1,2}, 稲垣滋^{1,2}, 小林達哉³, 荒川弘之⁴, 仲田資季³
M. Sasaki^{1,2}, S. Inagaki^{1,2}, T. Kobayashi³, H. Arakawa⁴, M. Nakata³

九大応力研¹, 九大極限プラズマ研究連携セ², 核融合研³, 島根大⁴
RIAM Kyushu Univ.¹, RCPT Kyushu Univ.², NIFS³, Shimane Univ.⁴

流体現象における突発現象や分布界面形成機構の理解は喫緊の課題である。磁場閉じ込めプラズマには、圧力や流れの空間不均一性が存在するため、ドリフト波やケルビンヘルムホルツ不安定性等に起因する様々なタイプの揺動が存在する。一方で、乱流の非線形ダイナミクスによって帯状流やストリーマをはじめとする巨視的構造が発現する[1]。そのため、乱流揺動の時空間スペクトルには、スペクトル幅の狭い成分と広い成分（それぞれ離散的スペクトル・連続スペクトル）が普遍的に存在する[2]。図1に示すように、従来の研究では離散スペクトル成分の時空間構造やその非線形結合過程についての理解が進んできた[3]。また、連続スペクトル極限における乱流の統計理論に基づく帯状流の理解も進んできた[4]。しかしながら、コヒーレント揺動（とその高調波）および連続スペクトル揺動間の相互作用の研究は発展途上にある。連続スペクトル成分は時空間的に急峻な変化を反映する事があるため突発性や分布界面に本質的に関わっており、重要な問題である。特に、改善閉じ込め状態に伴う輸送障壁や、周辺局在モード（edge localized mode, ELM）等の突発現象の理解は核融合の成否に関わる課題である。

本シンポジウムでは、連続スペクトルの時空間ダイナミクスについての最近の進展を中心に述べる。基礎プラズマ実験では、連続スペクトル成分の時空間構造について、(1) 長寿命の空間局在渦構造を伴う事や(2) 突発的・間欠的輸送を駆動する事が分かってきた[5, 6]。特に、空間局在渦構造は、帯状流に伴って生じることにも分かってきており、木星における大赤斑との類似性を想起させる。また、ケルビンヘルムホルツ乱流を対象とした直接乱流シミュレーションでは、得られたデータの特異値分解によって、背景プラズマの脈動・コヒーレント揺動・帯状流・間欠的揺動の4つの「構造」に分類できる事が指摘された。間欠的揺動は連続スペクトル成分に対応し、リミットサイクル振動の維

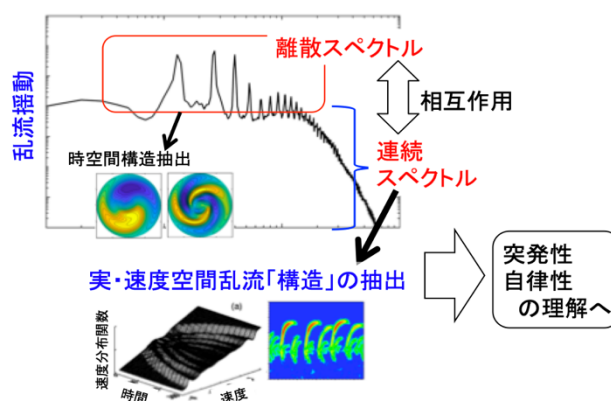


図 1: 実測された乱流揺動スペクトルの様子。乱流「時空間構造」を観測・抽出し、連続スペクトル成分を理解する事が、突発性・自律性の法則化につながる。

持に本質的な役割を担っていることが示された[7]。これらの成果は、従来理論で考えられてきた乱流描像を拡張させるものである。

以上のように、連続スペクトル成分についても、ただ乱雑ノイズのような振る舞いをするだけではなく、（乱流に比べ）長寿命の時空間的に局在する構造を持つ事や、突発輸送を担っている事などが分かってきた。今後、このような揺動成分の時空間ダイナミクスを系統的に抽出する方法論を確立し、得られるダイナミクスの物理機構を理解する事が必要である。

References

- [1] P. H. Diamond, et. al., Plasma Phys. Control. Fusion, **47**, R35 (2005).
- [2] K. Terasaka, et. al., PFR Rapid Comm., **2**, 031 (2007).
- [3] T. Yamada, et. al., Nature Phys., **4**, 721 (2008).
- [4] M. Sasaki, Phys. Plasmas, **25**, 012316 (2018)., Y. Zhou, et. al., Plasma Phys. Control. Fusion, **62**, 045021 (2020).
- [5] T. Kobayashi, et. al, Phys. Plasmas, **22**, 112301 (2015).
- [6] H. Arakawa, et. al., Sci. Rep. **6**, 1 (2016).
- [7] M. Sasaki, et. al., submitted to Plasma Phys. Control. Fusion (2020).