

熱雪崩現象において先行伝搬する乱流パルスの特性 Characteristics of the turbulent pulses propagating ahead in thermal avalanche events

釘持尚輝¹、居田克巳¹、徳澤季彦¹、安原 亮¹、舟場久芳¹、上原日和¹、
D. J. Den Hartog²、山田一博¹、吉沼幹朗¹、武村勇輝¹、伊神弘恵¹
KENMOCHI Naoki¹、IDA Katsumi¹、TOKUZAWA Tokihiko¹、YASUHARA Ryo¹、
FUNABA Hisamichi¹、UEHARA Hiyori¹、Daniel J DEN HARTOG²、YAMADA
Ichihiro¹、YOSHINUMA Mikiro¹、TAKEMURA Yuki¹、IGAMI Hiroe¹

¹核融合研、²ウィスコンシン大マディソン

¹NIFS、²Univ. of Wisconsin-Madison

磁場閉じ込め核融合研究において乱流輸送の理解は重要な課題である。プラズマの輸送は局所モデルのみでは説明できず、拡散的な輸送の影響よりも長距離で輸送が観測される、非局所輸送の影響を考慮する必要がある。特に雪崩現象や乱流伝搬が非局所輸送の要因として着目されているが、計測器性能の制約などからこれらの観測は限られており、実験・理論共に理解は不十分である。本研究では大型ヘリカル装置(LHD)が有する先進的な計測機器群を用いることで雪崩現象や乱流の伝搬特性を明らかにすることを目的としている。

本研究では、観測可能な大きな乱流伝搬現象を引き起こすため、電子内部輸送障壁(e-ITB)の崩壊現象に着目した。特に、e-ITB付近に磁気島を形成することで高い圧力勾配を形成してe-ITBの崩壊を引き起こすことで、大きな熱流束の移動を伴う熱雪崩現象を発生させることができる。加えて、圧力勾配がなく乱流が駆動されない磁気島内部での乱流強度を計測することで、伝搬してきた乱流を背景乱流と独立に観測できる。この手法は、e-ITBの崩壊による雪崩現象と乱流伝搬を再現性良く観測するための新しい手法であり、非局所輸送の物理機構の解明に大きく寄与する。

LHDにおいて、e-ITBの崩壊に伴う熱雪崩現象の発生時に、乱流パルスが熱パルスに先行して伝播する様子を世界で初めて観測した[1]。図1に示すように、乱流パルス・熱パルス共に、e-ITBのフット付近で発生し、拡散時間よりも速く周辺領域に伝播していくが、乱流パルスの伝搬速度は約10km/sであり、熱パルスの伝搬速度約1.5km/sよりも速い。既存のモデルでは熱・乱流ともに1 km/s程度の速度で伝搬すると見積もられるが、乱流パルスは理論モデルによる予測よりも1桁以上速

く伝搬することが明らかになった。

乱流パルスが熱パルスに先行して伝搬していくことは、雪崩や乱流伝搬が同時に伝搬するという既存のモデルでは説明できない現象の存在を示しており、非局所輸送の物理機構に重要な知見を与える。更に、本研究成果は予兆となる乱流を観測することで、プラズマの温度変化を予測できる可能性があることを示している。

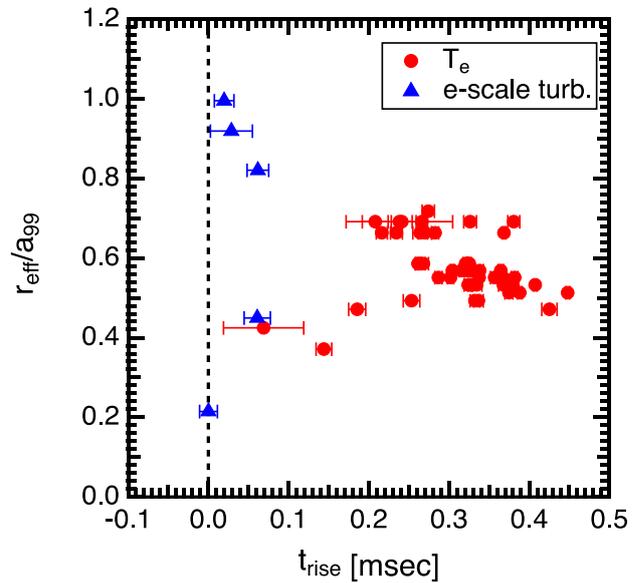


図1. 乱流パルス及び熱パルスの各計測位置での観測時刻。乱流パルスの伝搬速度は約10km/sであり、熱パルスの伝搬速度約1.5km/sよりも速く伝搬している。

Reference

- [1] N. Kenmochi *et al.*, Scientific Reports, **12**, 6979 (2022).