

高エネルギー密度プラズマを用いた磁気リコネクションの実験研究

Experimental investigation of magnetic reconnection in high-energy-density plasmas

森田太智¹, 村本裕耶¹, 前之園凱夫¹, 金定功樹¹, 尾川知也¹, 松尾涼人¹, 児島拓仁¹, 松清修一¹, 諫山翔伍¹, 忍田昂太郎¹, 中山学¹, 佐藤弓真¹, 高橋佳夏¹, 東力也¹, 高橋健太¹, 山崎了², 田中周太², 塩田珠里², 矢倉彰真², 近藤颯², 下田仁菜², 森田愛子², 岡田佳純², 須藤洋平², 石川諒弥², 相原研人², 佐藤雄飛², 城所佑奈², 江頭俊輔³, 鈴木悠斗³, 花野正浩³, 前田亘佑³, 蔵満康浩³, 富田健太郎⁴, Yimin Pan⁴, 竹崎太智⁵, 松澤匠⁵, 石崎楓弥⁵, 小口拓哉⁵, 枝本雅史⁶, 境健太郎⁷, 坂和洋一³

T. Morita¹, Y. Muramoto¹, Y. Maenosono¹, Y. Kanesada¹, T. Ogawa¹, S. Matsuo¹, T. Kojima¹, S. Matsukiyo¹, S. Isayama¹, K. Oshida¹, G. Nakayama¹, Y. Sato¹, K. Takahashi¹, R. Higashi¹, K. Takahashi¹, R. Yamazaki², S. J. Tanaka², J. Shiota², S. Yakura², H. Kondo², N. Shimoda², A. Morita², K. Okada², Y. Sudo², R. Ishikawa², K. Aihara², Y. Sato², Y. Kidokoro², S. Egashira³, Y. Suzuki³, M. Hanano³, K. Maeda³, Y. Kuramitsu³, K. Tomita⁴, Y. Pan⁴, T. Takezaki⁵, T. Matsuzawa⁵, F. Ishizaki⁵, T. Oguchi⁵, M. Edamoto⁶, K. Sakai⁷, Y. Sakawa³

九州大学¹, 青山学院大学², 大阪大学³, 北海道大学⁴, 富山大学⁵, 成蹊大学⁶, 核融合研⁷
Kyushu Univ.¹, Aoyama-gakuin Univ.², Osaka Univ.³, Hokkaido Univ.⁴, Univ. Toyama⁵,
Seikei Univ.⁶, NIFS⁷

磁気リコネクションは、反平行な磁力線を伴うプラズマが互いに近づく際に境界面に流れる電流が電気抵抗で弱まり、消失することで磁力線がつなぎ替わる現象で、再結合後は磁場による張力でプラズマが加速・加熱される。太陽フレアや磁気圏プラズマ、磁場閉じ込め核融合プラズマ等、様々な環境でプラズマを加熱・加速することで磁場からプラズマへエネルギーを変換し、磁場構造変化の速さを決める重要な現象であるため、観測、実験、数値計算などで盛んに研究されているが未だ謎が多い。特に磁力線が繋ぎ替わる速さを定量的に説明できず、磁場からプラズマを構成する電子・イオンにどのようにエネルギーが変換、分配されるのか未解決である。高出力レーザー生成プラズマを用いると、高温・高密度なプラズマが生成できるため、このような高エネルギープラズマを用いた宇宙現象の研究(レーザー宇宙物理実験)が国内外で進められている。磁気リコネクションに関しては、高ベータ領域において、これまでにないパラメータで実験が可能であるため研究の進展を期待されているが、プラズマが微小で現象が高速なため、時間・空間分解した計測が難しく、これまで詳細なパラメータや、速度分布などは計測できていなかったため、加速やエネルギー変換、リコネクション率を実験から議論することは難しかった。

本講演では、大型レーザー装置を用いた磁気リコネクション研究について紹介する。レーザーを異なる二点に照射することで、磁気リコネクションを引き起こすような反平行な磁場配位が高エネルギープラズマ中に自己生成される。発光イメージング計測から磁化プラズマ同士が膨張して相互作用する様子を観測すると同時に、トムソン散乱スペクトル解析から、リコネクション下流におけるパラメータを明らかにした [1,2]。これらの解析から、磁場に垂直方向には電流シートの生成と消滅、つまり強い反平行磁場が消失しつなぎ替わる様子と、磁場に平行方向には、イオン速度分布が非対称になることから、バルクプラズマの加速・加熱を直接計測することに成功した [3]。また、陽子ビームを用いたラジオグラフィ(プロトンバックライト)手法によって、高時間分解能で、反平行な磁場構造が時間とともに相互作用する様子も明らかにした。これらの計測結果から、これまで数値シミュレーションで検証する必要があった微小な拡散領域の物理を実験データから議論できるようになってきた。講演ではこれら実験成果について報告する。

1: T. Morita et al., PoP 26, 090702 (2019).

2: T. Morita et al., HEDP 36, 100754 (2020).

3: T. Morita et al., PRE 106, 055207 (2022).