



小特集用語解説

異常抵抗 Anomalous Resistivity

磁気リコネクションでは理想電磁流体近似が破綻する磁場拡散領域が存在することが必要であり、そこでの電気抵抗として、大きく分けて次の2つが考えられる。①電流駆動型のプラズマ不安定によって励起されたプラズマ波動と粒子の散乱過程からくる「異常電気抵抗」と、②リコネクションの大局的電場の下で粒子慣性項が担う「等価電気抵抗」がある。前者①では、プラズマ波動としてイオン音波や低周波混成帯域(LHD)の波などが候補と考えられており、古典的Spitzer抵抗に比べて非常に大きな電気抵抗を作ることができる。後者②の場合、イオンも電子の慣性も電気抵抗に寄与するが、X点で最終的に磁場凍結を破るのは非磁化した電子である。最近の研究から、リコネクションの発展に伴い磁場拡散領域はイオンスキン長程度に薄くなることがわかってきており、そこでの等価電気抵抗は、①で期待される異常電気抵抗と同程度の役割を果たすと考えられている。①と②の両者の関連やどのような条件で作用するかは、いまだ十分な理解が得られていない。(東大理 星野真弘)

3次元性リコネクション

Three-Dimensional Magnetic Reconnection

3次元リコネクションには、リコネクション面に垂直の空間次元が周期的境界として扱える「弱い3次元性」と、空間的に局在化した「強い3次元性」の下でのリコネクションがある。前者の例として、リコネクションと電流駆動型の電気抵抗や、電流方向に励起されるドリフトキンク不安定などとの競合過程がある。「強い3次元性」の例としては、太陽フレアで観られるような電流方向に有限のスケールをもつリコネクションがある。外部境界条件として磁束管をねじる運動がある場合などでは、磁場の曲率に関与するプラズマ過程とも複雑に関連している。これらの3次元性を考慮したリコネクションの成長時間やエネルギー変換率などの解明は、本質的問題であるが残された問題は多い。(東大理 星野真弘)

粒子シミュレーション Particle Simulation

粒子のラーモア半径が特徴的空間スケールと同程度になる場合や速度分布関数がマクスウェル分布でない非熱的分布の状況では、プラズマ運動論を考慮することが必要になる。電磁流体近似では扱えない現象の解明に、電磁場の下での粒子運動を解く粒子シミュレーションが用いられる。粒子シミュレーションには、①マクスウェル方程式とローレンツ方程式を連立させて電磁場とイオン・電子の粒子軌道運動を自己無撞着に解く full particle simulation と、②イオンは粒子として取り扱い電子は流体近似とする hybrid simulation がある。通常どちらの場合も、粒子に作用する電磁気力は、格子点で定義された電磁場を補間して計算するので、Particle-In-Cell (PIC) 法と呼ばれる。(東大理 星野真弘)

非定常リコネクション

Non-steady Magnetic Reconnection

磁気リコネクション過程は、多くの場合、2次元定常モデルをイメージして議論されてきたが、これに対して爆発的リコネクション等をはじめとした本質的に非定常リコネクションの存在が議論されている。これは、電流シート内部の微視的不安定が成長を続け、それが間欠的に大きな磁場拡散、さらには間欠的リコネクションの発生につながるものである。こうした例は太陽コロナでもよく見られ、プラズモイド放出などはその典型例である。仮に電気抵抗をモデル化して採り入れたMHDで巨視的には定常解が得られたとしても、実際はその効果が粗視化・モデル化されてしまった磁気拡散領域内部では抵抗値は本質的に時間変化しつづけ、そのプロセスと外部のMHD領域が繋がった場合、系全体が非定常状態になる。また、仮に電気抵抗が一定であっても、巨視的な安定状態間の遷移が非定常リコネクションを引き起こすことも考えられる。

(東工大理工 藤本正樹)

駆動型・自発型磁気リコネクション

Driven and Spontaneous Reconnections

磁気リコネクションをその決定要因で区別する考え方で、リコネクション領域外部の条件で決まると考えるものを駆動型、同領域内部の物理で決まると考えるものを自発型リコネクションという。駆動型リコネクションでは、小さくても有限の抵抗がX点に存在すれば、外部の電界や流速等の条件が内部構造・物理を変えるため、リコネクション速度はすべて外部条件によって決定されると考える。外部からインフローを強く駆動する場合はこうした状況がよく当てはまり、事実、核融合プラズマのダイナモ現象などはこの駆動力によってリコネクション速度が決められている。一方、自発型磁気リコネクションでは、電流シートの異常抵抗(具体的には、微視的な不安定や波動による電子の散乱)やプラズモイドなどの内的要因でリコネクション速度が決定される点を重視する。(東大高温プラ 小野 靖)

プラズマ合体 Toroidal Plasma Merging

通常、磁気リコネクション研究ではX点付近に注目するが、磁力線は必ず閉じるので巨視的には閉じた磁力線同士の合体にほかならない。同じ向きのトロイダル電流を持つ2つのトラスプラズマを近づけると、同一方向のトロイダル電流同士が引き合って、磁気リコネクションを引き起こし、最終的に1つに合体する。軸対称の合体プラズマ、それぞれトロイダル磁束 Φ_1, Φ_2 、ポロイダル磁束 Ψ_1, Ψ_2 を有する2つのトラスプラズマを軸対称合体させると、合体後の両磁束 Φ, Ψ は $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$ 、 $\Psi = \max\{\Phi_1 + \Phi_2\}$ のように、トロイダル磁束は和となり、ポロイダル磁束は大きい方の値が保存される。局所的にプラズマ合体の際のXポイントに注目すると、安定な低ベータトラスプラズマは通常螺旋の磁力線を有するので、Xポイントでは電流シート方向の縦磁場成分を有する3成分磁場構造が形成されることになる。(東大高温プラ 小野 靖)