

## チュートリアル: プラズマ加熱、波動・粒子相互作用等に関する最近の展開

## Tutorial: Recent developments in the fields of plasma heating and wave-particle interaction

# 鈴木 建 [1]; 大村 善治 [2]; 飽本 一裕 [3]

# Takeru Suzuki[1]; Yoshiharu Omura[2]; Kazuhiro Akimoto[3]

[1] 京大; [2] 京大・生存圏; [3] 帝京大・理工・電気電子

[1] Kyoto Univ; [2] RISH, Kyoto Univ.; [3] Science and Engineering, Teikyo Univ

プラズマ物理、宇宙空間物理、そして天文学の各分野において、プラズマ加熱や波動・粒子相互作用の役割には大きなものがある。以下には、それらに関する近年の印象深いトピックスの一部を紹介する。

プラズマ物理分野で重要と思われるトピックスには以下がある。代表的なプラズマ不安定に電子ビーム・プラズマ不安定がある。低密度の冷たい電子ビームに駆動される不安定は、主としてビームモードの波束を発生し、それがビーム電子を捕捉して不安定性が飽和される。その際、位相空間内に形成される非線形構造である「ビームホール」を、静岡大の竹田と山際は実験的に確認することに成功した。一方、比較的高密度の電子ビームは、ラングミュア波を励起し「キャピトン(ラングミュア・ソリトン)」と呼ばれる非線形局所構造を作る。この過程は実験では確かめられていたものの詳細は不明だったが、最近コロラド大グループにより2・および3次元粒子シミュレーションで機構が解明されつつある。他方、核融合に利用されるような強烈なレーザービームをプラズマに照射するとレーザーが局在化され、超短パルスのソリトンが形成される(Bulanov et al.)。ところが、超短パルスレーザーをプラズマに照射すると、ある条件下でエネルギー幅の狭い高エネルギー粒子「(mono energy) ビーム」が生成されることが日欧米で確認された。これはプラズマ加速の研究者達に朗報であった。

地球周辺の宇宙空間においても、衛星観測によって様々な非線形構造が観測されているが、その中でも位相空間の電子ホールに対応する静電孤立波が磁気圏の境界層で多く観測されて、その2次元、3次元構造に関する研究が進められている。これらの波は従来の周波数スペクトルによる観測では広帯域周波数のノイズとして考えられていたものが、電磁界の波形を高時間分解能でそのまま観測することができるようになったために発見されたものである。一方、宇宙利用の観点から地球放射線帯の高エネルギー電子のフラックスの変動と、相対論的エネルギーにまで加速されるメカニズムが強い関心を呼んでいる。放射線帯を含む内部磁気圏では特に周波数が大きく変動するコーラス放射が頻繁に観測されていることから、電子加速に関与しているのはホイッスラーモード波であると考えられており、その非線形波動粒子相互作用についての研究は長年にわたって研究されてきているものの、粒子加速という新たな視点からシミュレーションに基づく定量的な研究が進められている。

最後に、さまざまな階層の天体プラズマにおいても、波動の役割の重要性が昨今特に活発に議論されている。太陽をはじめとする恒星は、周囲に100万度を越える高温プラズマをまとっているものが多い。いかにして天体からエネルギーを抜き取って、さらに周囲のプラズマを加熱するかは未解明であったが、アルフベン波がこの過程に非常に都合よく働き得ることが、京大をはじめとするグループの磁気流体シミュレーションにより示された。日本が米欧と共同で2006年に打ち上げ予定のSolar-B衛星は、太陽プラズマ中のアルフベン波の直接観測が可能であり、この過程が観測的に検証されるはずである。また、中性子星やブラックホール周囲の高密度星磁気圏でも、エネルギー輸送におけるプラズマ波動の重要性が指摘されている。星間空間では、超音速の乱流・波動成分が観測されており、ガスそのものの力学に乱流・波動成分が不可欠な役割を果たしていることが、ほぼ確実となった。現在、乱流・波動過程を考慮した星間ガスの基本的特質の解明に向け、観測・理論両面から活発に研究が進められている。さらに、銀河の集団である銀河団においては、中心部に未解明の加熱源があることが、観測から示唆されている。有力な過程の1つとして、銀河団プラズマ中の音波の減衰による加熱が、阪大をはじめとするグループにより精力的に研究されている。