

## 微小重力環境下における微粒子プラズマ研究の最前線 Recent Progress in Study of Dusty Plasmas under Microgravity

高橋和生  
Kazuo Takahashi

京都工芸繊維大学 電気電子工学系  
Faculty of Electrical Engineering and Electronics, Kyoto Institute of Technology

微粒子を含むプラズマについては古くから天体物理で興味を持たれ、30年程前には半導体プロセスにおいても注目されるようになった。半導体プロセスでは、デバイスの歩留まりを改善するために微粒子の除去が研究テーマとして取り上げられており、核融合炉の開発でも微粒子は“ダスト”と呼ばれながら常に排除されるべき対象となっていた。ところが、微粒子が整然と配列するクーロン結晶や微粒子群を伝わる波が観察されると、それらへの興味が大きくなり、プラズマに意図的に導入した微粒子の挙動に関する研究が盛んになった。

比較的興味を持たれたのは、プラズマ中で帯電する微粒子の相互作用が強い条件下での現象であった。この条件では粒径の大きい微粒子が必要とされ、また微粒子に対する重力の影響が顕著に現れる。従って、興味ある現象を観測するために、例えば10  $\mu\text{m}$ 以上の大きな微粒子が必要とされても、地上ではその微粒子がプラズマ中に浮遊することは不可能であるような状況が生じた。2001年には、ロシアとドイツの研究グループの共同プロジェクトによって、国際宇宙ステーション (ISS) における微小重力環境実験が本格的に開始された。実験装置がロシアのモジュールに設置され、途中装置が一度更新されながら、2013年度までこのプロジェクトは継続された。2014年には、3世代目の装置が欧州宇宙機関 (ESA) のモジュールに設置され、新たなプロジェクトが始まった。ESAがこのプロジェクトをコーディネートし、ロシアとドイツ以外からも研究者を集めて科学専門チームを組織するなど、より国際協力色の強いものとなっている。日本の研究者もこれらの活動に参加しながら、微粒子プラズマへの理解を深め、微小重力環境実験を発展させるさらなる機会を窺っている。

微小重力環境実験の魅力は、より粒径の大きい(重い)微粒子を高密度に、電気的中性条件が担保されるプラズマの中心のより近くに分布させられることにある。ISSの実験では、大きい微粒子の分布の中の小さい微粒子の挙動

や大きい微粒子による意図的に制御された配列形成など、地上で見られなかった現象が報告されている。日本で独自に行われた航空機を使った微小重力環境実験でも、重力が変化すると、微粒子の分布が移動し、それに伴い微粒子配列が変化するなどの興味深い現象が観察されている。

プラズマに微粒子を導入すると、理論からの予測により一般的に電子温度は高くなり、電子密度は低くなるとされている。このようなことも、微小重力環境実験の進展と共に実証されてきている。電子密度、電子温度、イオン密度など、微粒子プラズマのパラメータを整理することは重要である。これに加えて、微小重力環境実験における微粒子の挙動を注意深く解析すると、微粒子がプラズマの中で微粒子自身がつくるポテンシャルに自己整合的に閉じ込められていることもわかる。また、微小重力環境実験で得られた知見は、微粒子のプラズマから表面への輸送や微粒子を利用してのプラズマパラメータの制御を可能とする。微粒子プラズマを利用した基板表面における微粒子配列形成を例にとると、微小重力環境実験で得られた成果が微粒子プラズマのプロセスへと展開されることにも期待できる。