

小特集

宇宙における微粒子プラズマ

Dusty Plasmas in Space

(原稿受付：2005年10月28日)

1. はじめに

ダストプラズマはミクロン程度の大きさの微粒子がプラズマ中に存在することから微粒子プラズマとも呼ばれ[1], また微粒子集団とプラズマ集団とがおりなす複合的な特徴からコンプレックスプラズマとも呼ばれ[2], この分野は着実な発展をみせている[3, 4]. 2001年に始まった微粒子プラズマ研究会も2005年12月には第6回が開かれようとしている. 日本の会議にも海外からの参加者が着実に増加している. 国際的にも2003年6月のICOPS (30th International Conference on Plasma Science) ではじめて Dusty Plasmas が独立したセッションとなり, 2005年6月に開かれた第4回ダストプラズマ国際会議 (International Conference on the Physics of Dusty Plasmas, Orleans, France) には200を超す発表が行われ, 第3回の南アフリカ会議 (2002) の100余件の発表に比べてその拡大振りがうかがわれた. また来年 (2006年) キエフで予定されているICPP (13th International Congress on Plasma Physics) では5つの主テーマとして, A. Fundamental Problems of Plasma Physics, B. Fusion Plasmas, C. Plasmas in Astrophysics and Space Physics, D. Plasmas in Applications and Technologies, E. Complex Plasmas としてコンプレックスプラズマが取り上げられるまでになってきた. 2001年の国際会議でカリフォルニア大学の A. Mendis がダストプラズマ論文数の急増ぶりについて言及したが, 2005年6月国際会議において, ドイツのマックスプランク研究所の G. Morfill によれば, 最近の論文数ランキングではボース・アインシュタイン凝縮について, コンプレックス (ダスト) プラズマがあるということである.

プラズマ・核融合学会誌ではこれまでに微粒子プラズマについての小特集を2回企画してきた. ここに紹介して今回の小特集の位置づけを考えてみたいと思う.

(1) 1997年11月号小特集『ダストプラズマの現状と課題』[5]

1. はじめに (渡辺征夫) 2. 微粒子プラズマの帯電プロセス (横田俊昭) 3. 強結合ダストプラズマの結晶化と遷移 (林康明) 4. ダストプラズマ中の波動 (中村良治) 5. プロセスプラズマにおける微粒子現象 (白谷正治, 渡辺征夫) 6. 宇宙におけるダストプラズマ現象 (中野武宣) 7. ダストプラズマの応用—フラーレンプラズマ— (佐藤徳芳, 畠

山力三, 平田孝道) 8. ダスト形成に関するシミュレーション (佐藤哲也, 渡辺國彦)

(2) 2002年5月号小特集『ダストプラズマの基礎物理とその広がり』[6]

1. はじめに (石原修) 2. 低温実験室プラズマ・核融合プラズマ中のダストの基礎過程 (高村秀一) 3. ダストプラズマ中の波動現象 (Sergey Vladimirov) 4. ダストプラズマ中のウェイクポテンシャル (南部充宏) 5. 強結合ダストプラズマ (浜口智志) 6. ダストプラズマとカーボン微粒子 (林康明) 7. 宇宙空間におけるダストプラズマ (Asoka Mendis) 8. ダストプラズマ研究の今後の展開 (佐藤徳芳)

今回の小特集では, 宇宙空間で観測されてきた微粒子プラズマ現象を概観するとともに, これに関連する実験室での実験について解説する. 星間空間のプラズマ中には1ミクロン以下の微粒子が存在することが知られており, 古くから原始太陽系形成や星の誕生に関連して研究されてきた[7, 8]. 1980年代に宇宙探査機ボイジャーにより, 1990年代になってハッブル望遠鏡のもたらすデータによってプラズマ中に存在する微粒子の存在が注目されるようになってきた. 2000年代に入って惑星探査機カッシーニは惑星空間の微粒子の役割をさらに明らかにすることが期待されている. たとえば土星の環に見出されたスポークという一見不思議な非定常的な現象はダスト微粒子の関与を示唆するものであった. 2004年にカッシーニが土星に近づいたとき, スポークの存在が確認されず, 2005年9月になってようやく確認されたことは, さらに微粒子の果たす役割に対して注目を集める結果になっている. 1993年にはシューメーカー・レヴィ彗星が木星のロッシュ限界を超えて分裂した際に発生したダストが, 新しい木星の環を形成しようとしていると思われる過程が観測され注目されている. 2004年に土星に到達したカッシーニ探査機は, 現在土星周囲の軌道に入り, さらに詳細なデータを送ってきつつある.

宇宙はまさにダストプラズマに覆われている. その物理が実験室において明らかにされ, さらに宇宙の謎に解決の手がかりを与えようとしているとっていいだろう. いま広大な宇宙空間をイメージするために宇宙の果てからク

author's e-mail: oishihar@ynu.ac.jp

Table 1 Universe, 9 power of ten (空間の階層化)

10^{26} m	ハッブル半径, 宇宙の果て (137億光年, 1 光年 $\approx 10^{16}$ m)
10^{17} m	星間雲の世界 (1 等星シリウスまでの距離 $\approx 10^{17}$ m)
10^8 m	磁気圏の世界 [地球磁場の届く領域約 $10 R_E$ ($R_E = 6371$ km は地球半径)]
10^{-1} m	実験室プラズマの世界, 握りこぶしの大きさ (約 10 cm)
10^{-10} m	原子の世界 (0.1 ナノメートル = 1 オングストローム))
10^{-19} m	クォークの世界 (トップクォークのコンプトン波長 $= 2\pi\hbar/m_t c \approx 2\pi \times 10^{-18}$ m)

出典 石原修, 現代物理科学—フェムトからハッブルの世界まで, 共立出版

オークの大きさまでを10の9乗ごとに分けて考えてみよう。大きさの感じをイメージするには地球の直径が 1.3×10^9 cmであることを考えると 10^9 の感覚は直径1 cm程度の球形(パチンコ玉)に対する地球の大きさと考えればいいだろう。あるいは大きな球が直径1メートルとすれば10の-9乗にあたる小さな球は直径1ナノメートルにあたる。137億光年のハッブル半径は 10^{26} mにあたり, 原子核の大きさを表すフェムトは 10^{-15} mである。 10^{26} mから 10^9 mごとにさがっていくと, そこにプラズマの宇宙が形を変えて現れることに気がつくだろう (Table 1 参照)。

星間塵, 惑星間塵, その宇宙における役割を解明し, 実験室プラズマで微粒子プラズマ (ダストプラズマ, コンプレックスプラズマ) という新しい領域での物理をとらえて, 宇宙の謎にせまっていくというロマンがそこにはある。今回の小特集ではそうした大宇宙をプラズマ中に浮かぶ微粒子を通して探ってみたいと思っている。第2章では太陽系内での惑星間塵, その拡がりである惑星間塵雲について, 向井正先生にお願いし, 第3章では銀河, 恒星といった宇宙の基本的構造が形成されるのに果たす星間塵の役割, 星間塵の集積過程としての惑星系形成といった話題が釜谷秀幸先生によって紹介される。第4章で堀内千尋先生に宇宙に関するダスト創製の実験室での試みを紹介していただき, 第5章では実験室における惑星リングの実験を微粒子

プラズマの観点から横田俊昭先生に解説していただく。第6章ではミハイ・ホラニイ先生とコリン・ミッチェル氏に土星の環のスポークの最近の観測結果と, その謎について解説していただく。

石原 修 (横浜国立大学大学院工学研究院)

参考文献

- [1] 横田俊昭, 微粒子プラズマ, パリテイ 9, 17 (1994).
- [2] 石原修: コンプレックスプラズマの物理, 日本物理学会誌 57, 476 (2002).
- [3] 石原修: 「偏在するプラズマ中の微粒子—半導体産業から土星の環まで」 [翻訳] パリテイ 20, 7 (2005).
- [4] 佐藤徳芳, 石原修, 東辻浩夫, 林康明, 渡辺征夫: 低気圧放電プラズマ中における微粒子の挙動とその制御, JASMA 日本マイクログラビティ応用学会誌 22, 1-29 (2005).
- [5] 小特集『ダストプラズマの現状と課題』プラズマ・核融合学会誌 73, 1220 (1997).
- [6] 小特集『ダストプラズマの基礎物理とその広がり』プラズマ・核融合学会誌 78, 293 (2002).
- [7] H. Alfvén, *On the Origin of the Solar System* (Oxford University Press, 1954).
- [8] L. Spitzer, *Physical Processes in the Interstellar Medium* (Wiley, New York, 1978).