

IIIIII 巻頭言 IIIIII

微小重力環境と惑星科学

山本 哲生



微小重力と惑星科学？筆者はその 2 者の関係を、これまでほとんど意識したことがない、というのがこれまでの正直な実感である。惑星科学や宇宙物理学では重力が重要な役割を演じるものの、微小重力を実現するための環境の創成とその積極的利用を、自身の研究のうで意識することはほぼ皆無であった。しかしこのたび東北大学の三浦均氏から、本巻頭言執筆の依頼を受けたとき初めて、惑星科学と微小重力の関係の歴史は意外と古く、隕石粒子の形成と進化に関して、隕石の生成環境の微小重力を問題意識としてもった研究が、1989 年に田中剛氏（現名古屋大学名誉教授）によって行われていたことをご教示いただいた。

宇宙においてダスト（固体微粒子）は気体に対する質量比で約 1/100 を占める。この比は、地球大気中のダストの量比と比べてずっと大きい。この意味で、宇宙は地球よりずっと塵に満ちている。宇宙を構成する元素のうち、比較的豊富に存在する重元素であるシリコン、マグネシウム、鉄（とそれらに結合した酸素）の大部分はダストとして存在している。低温環境では、炭素、窒素、酸素（とそれらに結合した水素）は氷として存在する。宇宙における物質進化において、ダストは黒幕として重要な役割を演じている。

日本における宇宙ダスト研究を推進するうえで Grain Formation Workshop (GFW) が重要な役割を演じてきた。このワークショップは理論物理学者であった故長谷川博一京大教授が 1979 年に創始した研究会であり、ほぼ毎年開催されてきた。このワークショップの最大の特徴は、惑星科学や天文学だけでなく、広く物理学、化学、鉱物学、工学等の広い領域の研究者をゲストとして迎え、研究交流を図るとともに、惑星科学者や天文学者の視野を拡げてきた点にある。現在活躍中の宇宙ダスト研究者のなかには、ここから育った研究者が多数いる。本特集号においても、世話人の三浦氏をはじめ、執筆者の何人かも GFW で活躍中の研究者である。近年、多くの活発な若手研究者がその運営を行っており、野心的な企画が

多くなされてきた。GFW は開放的で自由闊達な雰囲気の研究會である。マイクロ重力研究者の御参加も多に歓迎したい。

GFW の成果の一つとして、宇宙ダストの形成と進化に関連する活発な研究があげられる。その素過程としての核生成や結晶成長の実験研究が、国内では東北大学の砂川研の伝統をつぐ塚本研や、立命館大学の堀内研、等によって活発に展開されてきた。理論的研究も含め、惑星科学や宇宙物理学におけるダスト形成研究はいまや日本のお家芸の一つとなっている。本特集号においては、木村勇氣氏他が、ナノ粒子の生成実験の紹介とそれをもとにしたダスト生成の鍵となる物性値の導出方法を提案し、今後の研究に置ける微小重力実験の重要性を論じている。GFW では、日本の赤外線天文学グループによって、星間空間や星惑星形成領域の偏光観測の発表が活発に行われてきた。偏光の主因は磁場による非球ダストの整列である。偏光観測は、磁場構造を含む星惑星形成領域の構造を明確化する有力な手法である。しかし宇宙ダストの整列機構は、定量的解決をみていない長年の問題である。本特集号において、久好氏と植田氏は実験面からこれにチャレンジしている。氏らはどの物質も基本的に有する反磁性に着目し、磁場中におかれた反磁性異方性微粒子の整列を論じている。

系外惑星科学の発展においても、GFW で育った研究者が重要な寄与を行ってきた。系外惑星科学は、太陽以外の恒星の周りに存在する惑星系の観測をもとに、惑星系形成と進化の普遍的描像の構築および宇宙における生命の発見を目指すことを通じて、新たな宇宙観を確立することをその目的としている。近年、太陽系以外の惑星系が多数発見されてきた。現在ではその数は 700 を超す。惑星系形成においては、ダストは黒幕というより、むしろ主役の一人として重要な役割を演じる。一言でいえば、惑星形成は「塵も積もれば惑星となる」過程の研究である。そこでは、ガスとダストからなる原始惑星系円盤内で、ダストどうしが衝突し合体成長して微惑星 = 惑星の卵を形成し、微惑星はさらに衝突合体によって最終的に惑星に成長する、というストーリーが語られる。

しかし、個々の過程の物理を研究するなかで、多くの

困難が生じている。その一つがダストから微惑星への成長の困難である。恒星を中心として公転する円盤の中で、ダストはガス円盤のなかでガスからの抗力を受けながら公転するため、次第にその角運動量を失い、スパイラルを描きながら中心星の方向に落下する。惑星の種となる微惑星を形成するためには、ダストは相互の衝突合体によって落下時間よりも短い時間内に、そのサイズが数 10メートル以上に成長せねばならない。ダストどうしの衝突速度は数 10メートル毎秒に達する。筆者のグループの数値シミュレーションによると、このような速度の衝突でも、空隙に満ちた微粒子集合体ダストでは破壊することなく、合体成長が可能である。この過程を想定した衝突実験も国内外で活発に行われてきた。たとえば、ブラウンシュヴァイク大学（ドイツ）の J. ブルムのグループによる実験では、このような「高速」衝突では、微粒子集合体ダストといえども合体せず、破壊が起る。これでは微惑星形成は不可能である。種々の相互突き合わせを行ってきたものの、理論と実験の不一致の原因はまだ不明である。衝突実験はこれまで制御した条件のもとで、地上の実験室で行われてきた。とはいえ、地球重力の影響は無視できない。彼らは微少重力下での実験も行いつつある。微少重力環境は惑星形成論の基礎的問題ともつながっている。

今後の太陽系探査においても、微小重力を想定した研究が重要になってくる。小天体においては、小さい表面重力は、小天体の進化過程や表面付近の現象、さらには探査機に搭載する機器の開発においても考慮すべき重要

な要因である。小天体探査では、はやぶさによる小惑星イトカワの探査が記憶に新しい。小惑星や月表面とそれらから放出される帯電ダストの問題は検討すべき課題の一つである。理学の問題としての興味に加えて、帯電ダスト問題はそれが探査機や搭載機器に及ぼす影響を評価するうえでも重要な課題である。千秋氏がこの問題を本特集号で論じている。やや長期的な惑星科学的課題としては、表面重力の小さい天体表面の地質学的進化の研究も興味ある課題である。地球のような「通常」の惑星とは異なり、小天体ではその重力の小ささとそれに起因する大気の欠如が、その表面地質に、地球サイズの惑星とは異なる特異な進化をもたらす。実際、イトカワから採取された粒子の分析から、宇宙空間に長期間さらされた結果生じた表面の変成、いわゆる宇宙風化が明確にとらえられた。これは一例にすぎない。一般に、小天体表面の地質過程を洗い出し、その物理的描像を確立する必要がある。言うまでもなく、この研究は今後の太陽系探査計画の立案とも密接に関係する課題である。これについては、本特集号で高木氏が微小重力惑星地質学を提唱している。

本特集号によって、少なくとも筆者自身は、微小重力環境と惑星科学は惑星系形成論から惑星地質鉱物学、さらには太陽系探査に至る広い範囲で結びついていることを認識することができた。今後、日本の微小重力研究と惑星科学研究の相互交流がますます活発になることを期待したい。