

論文審査の結果の要旨

氏名 辰 巳 創 一

本論文は 5 章および付録 A と B からなる。第 1 章はイントロダクションであり、粉体研究の歴史に始まり、粉体の特徴について詳しく述べられている。粉体はその定義自身が難しい対象であるが、“長距離相互作用が無視でき、統計的な扱いが可能な系”として、その具体的なサイズと数が示されている。さらに、一般の物質の三態（気体、液体、固体）に対応する“粉体の三態”、および一般のガラス状態に対応する“Jamming 状態”についても解説されている。このような粉体に対する一般的な解説はこれまでほとんどなく、このイントロダクションは有意義である。

第 2 章は粉体上の円盤の転がりについての結果である。本論文においては、異なるサイズの粉体上で速度を変えて円盤を引っ張る実験を行い（時間に対する引っ張り応力を観測）、その結果を摩擦現象でよく見られる Stick-Slip という周期運動に着目して解析している。その結果、粉体のサイズが大きくなると、あるところで急速（転移現象的）に周期性が失われることが示された。このように、粉体の大きさと摩擦という巨視的な物理量が直接関わっていることが明確に見いだされたのは初めてであり、高く評価できる結果である。

第 3 章は高速で運動する粉体（粉体ガス）に関する結果である。粉体ガス系は外部励起が有るか無いかで、定常粉体ガスと冷却粉体ガスに大別される。この 2 つは統計的に明確に異なっており、理論的に前者は速度分布関数 $f(c) \propto \exp(-\alpha c^\beta)$ において $\beta=3/2$ 、後者は $\beta=1$ となる。定常粉体ガスについては、これまで相当数の実験が行われてきたにもかかわらず、系の統計性と外部励起の相関については不明であった。本論文では、2 種類のガラスセル（水平型と垂直型）とジルコニアビーズを用いた加振実験を行った。そのデータを熱化指数 K_{en} （加振時間と平均衝突時間の比）という新たなパラメータを導入して解析した結果、 $K_{en} < 1$ で $\beta=3/2$ が明確に示された。冷却粉体ガスについては、これまで重力のため理想的な実験が存在しなかったが、本論文では放物飛行による微少重力実験を行い、 $\beta=1$ を明確に示した。また、クラスター係数という新しいパラメー

タを導入し、系の非一様性に対する議論も行っている。このように、第 3 章は精密な実験（特に微小重力実験）、熱化指数やクラスター係数という新しいパラメータの導入など、非常に独創性に富んだものであり高く評価できる。

第 4 章は、粉体ガスを圧縮してできた高密度充填系のダイナミクスの結果である。この章においても第 3 章と同様の装置を用いた加振実験を行った。また、様々な Window の Gaussian Filter を用いて局所的な密度を計算し、その時間発展を見ることで、空間スケールを変化させながら密度密度時間相関関数を得る手法を開発した。以上のような解析を行うことで、高充填条件下では、遅い緩和が観測され、それが系の不均一性と結びついていることが明らかになった。今回の解析方法が一般的な計算機シミュレーション（MD 法）で用いる中間散乱関数 $S(Q,t)$ の計算方法とどのように関係するかなど、まだ課題も多いが、非一様系のダイナミクスを解析する方法の枠組みがこの研究により得られたと評価できる。今後、実際の分子系の過冷却液体のダイナミクスやガラス転移とどのような類似性が見られるか、またそれらの現象を支配する基本的な法則は何かなどの研究に結びついていくと期待される。

以上に述べたように、本論文は、粉体という未だ未開拓の研究対象において、実験結果の新規性、解析手法の独創性などに非常に優れており、十分に博士（理学）の学位を授与できると認める。