



Title	ダスト凝集に繊維状物質が与える影響：部屋の埃から微惑星形成まで
Author(s)	
Citation	令和5（2023）年度学部学生による自主研究奨励事業 研究成果報告書．2024
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/95163
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

令和5年度大阪大学未来基金「学部学生による自主研究奨励事業」研究成果報告書

ふりがな 氏名	いわの しおり 岩野 志織	学部 学科	理学部 物理学科	学年	3 年
ふりがな 共 同 研究者氏名	たなか れな 田中 玲奈	学部 学科	理学部 物理学科	学年	3 年
					年
					年
アドバイザー教員 氏名	桂木洋光	所属	宇宙地球科学専攻		
研究課題名	ダスト凝集に繊維状物質が与える影響～部屋の埃から微惑星形成まで～				
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。)				
<p>1. 研究目的</p> <p>微惑星は μm サイズの粒子が凝集し圧縮されることにより形成され、空隙率の高い構造をしていると考えられている。このようなダストの成長過程は数値計算によって調べられており、先行研究からは粒子がチェーンのように連なった構造が圧縮により折りたたまれていく様子が確認できる[1]。このような圧縮プロセスを実験的に調べるために糸をチェーン状物質として構成した凝集体を生成し、衝突を想定した動的圧縮、ガス抵抗などによるゆっくりとした圧縮を想定した静的圧縮の二つの実験を行った。実験からそれぞれのエネルギー散逸を求めることで、埃の付着性や微惑星形成における衝突合体との比較を議論することを目的とした。</p> <p>2. 研究方法</p> <p>2-1. ダストの形成</p> <p>2-1-1. ダストの形成方法</p> <p>太さ $35\mu\text{m}$ の曲げた細髪糸 0.040 g を「充電式クリーナ CL072DSH (makita 社製)」で吸引し、球形の凝集体を生成した。時間によるダストの構造変化を確認するため、10s,60s,120s,180s の4段階で吸引時間(凝集時間)を変化させダストを生成した。</p> <p>2-1-2. 凝集時間によるダストの構造変化</p> <p>クリーナでの凝集時間を変化させたときのダストの様子は図1のようになり、それぞれの状態絵の凝集体の質量と直径は表1のようになった。</p>					

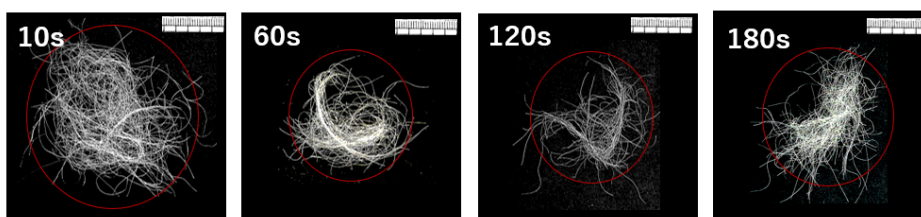


図 1 凝集時間を変化させたときのダストの様子

	10s	60s	120s	180s
質量[g]	0.036	0.028	0.018	0.024
直径[cm]	7.0	5.0	5.0	5.5

表 1 圧凝集時間を変えた時のダストの質量と直径

図 1 と表 1 より、時間とともにクリーナの気流による圧縮が行われ、60s から 120s にかけて圧縮されながら分離、さらに吸引を続けると再びまわりの糸を取り込んで凝集体が大きく成長する過程を経ることが分かった。

2-2. 真空中の衝突応答（動的圧縮）

2-2-1. 実験系

図 2 の実験系を用いて、ダストをフラット面に落下させ高速度カメラで撮影した。落下機構（赤線枠内）には、真空チャンバー内の気圧変化に伴ってマシュマロが膨張し、ダストが載った板を押し出す機構を採用した。

2-2-2. 解析

撮影した動画を時間分解し（図 3）、二値化処理を行って重心位置を追跡した（手法詳細は[2]参照）。位置と速度の時間変化から、ダストが着地した瞬間の速度 v_0 とはね返る瞬間の速度 v_2 の比より、

反発係数 $e = \left| \frac{v_2}{v_0} \right|$ を求めた。

エネルギー散逸はこれを用いて $E_{dis} = \frac{1}{2} m v_0^2 (1 - e^2)$ と表せ、規格化すると $\widetilde{E}_{dis} = 1 - e^2$ となる。

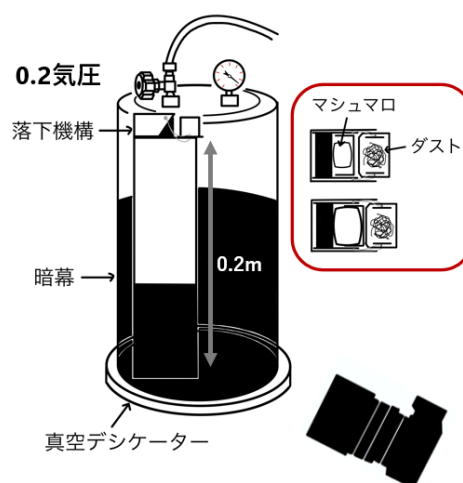


図 2 実験系（衝突実験）



t=0.000 t=0.033 t=0.056 t=0.063 t=0.083 t=0.123 (秒)

図 3 単ダストの場合

2-3. 圧縮試験（静的圧縮）

2-3-1. 実験系

図 4,5 のように、速度 10mm/min で静的にダストを一軸圧縮し圧縮変位と試験力から圧縮→膨張過程でのヒステリシスを測定した。最大ひずみは動画から確認したダストの最大変形の割合（最も小さくなった時の直径／衝突した瞬間の直径）から求め、どの凝集体においても 0.6 で行った。

エネルギー散逸 E_{dis} は圧縮に対する力 F_{down} と膨張時の力 F_{up} の差から $E_{dis} = \int (F_{down} - F_{up}) dr$ として、

規格化した $\widetilde{E}_{dis} = \frac{E_{dis}}{\int F_{down}} dr$ によって求めた。

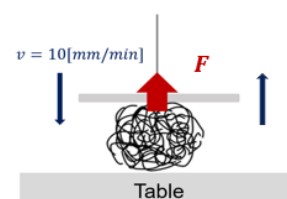


図 4 圧縮試験



図 5 圧縮試験の様子

3. 研究成果

動的圧縮の実験により得られた反発係数を図 6、動的・静的圧縮の実験から得られたエネルギー散逸の比較を図 7 に示し、対応する値を表 2 に示した。反発係数は 10～120 秒の凝集時間で 0.1 程度、凝集が進んだ 180 秒のサンプルでは 0.2 程度であったが、誤差の範囲ではほぼ一定であった。また、図 7 から衝突によるエネルギー散逸の約 70% は静的構造変化によるものであること、凝集時間の依存性はあまり見られないことが分かった。

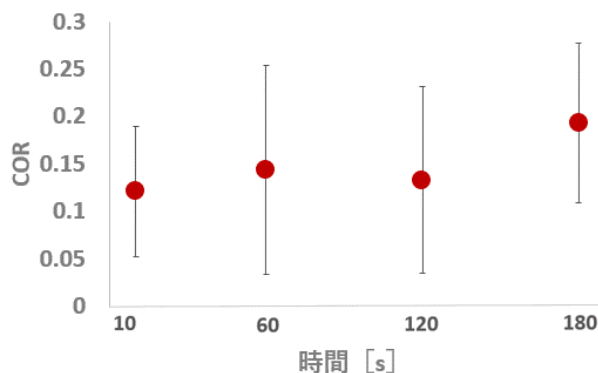


図 6 反発係数（動的圧縮）

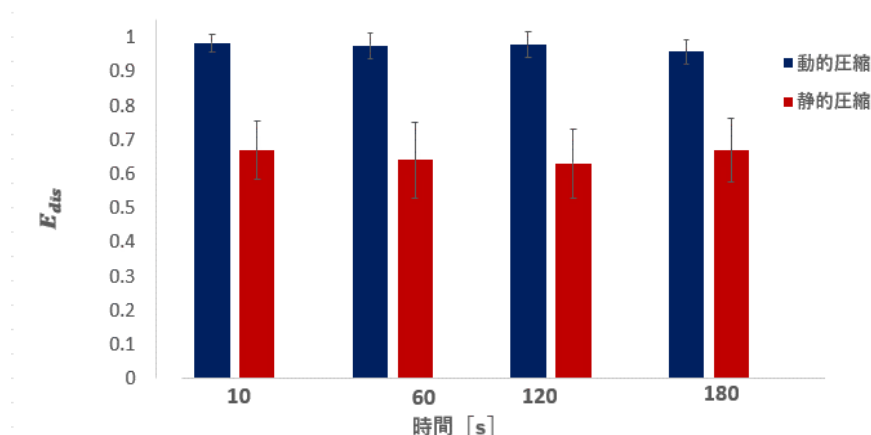


図7 エネルギー散逸の比較

表2 実験結果 (N=10)

凝集時間[s]	反発係数	\widetilde{E}_{dis} (動的圧縮)	\widetilde{E}_{dis} (静的圧縮)
10	0.121 ± 0.068	0.980 ± 0.024	0.666 ± 0.084
60	0.144 ± 0.110	0.973 ± 0.036	0.637 ± 0.110
120	0.133 ± 0.010	0.976 ± 0.038	0.627 ± 0.102
180	0.194 ± 0.084	0.955 ± 0.0351	0.667 ± 0.093

4. 考察

4-1. 反発係数について

凝集時間 10 秒、60 秒、120 秒の結果はいずれも 0.13 程度で、180 秒では 0.19 と少し増加したが、誤差の範囲では一定であった。

本実験での衝突速度は～1.5m/s であり、Wada et al.,2011 による結果 (1m/s で 0.15～0.5) や、より低速で行った Schr pler et al. ,2021 の結果 (0.25m/s で 0.07) と比較して反発係数は同程度か小さいと考えられる。これを踏まえると、チェーン状物質が絡まった構造のダストにおいては合体成長がより進みやすくなる可能性がある。一方で、本実験で用いた機構はダストとフラット面との衝突であり、より微惑星形成の状況に近づけるためには、今後ダスト同士の自由落下中の衝突実験による反発係数の計測が必要となる。

4-2. エネルギー散逸について

静的圧縮による散逸が凝集時間に依らなことは数値計算による結果[1]とは異なっており、より空隙率を高範囲に広げた実験や計測精度の向上が求められる。また、動的圧縮と静的圧縮のエネルギー散逸の差は衝突における構造変化以外の要因によるものであり、速度依存性や真空度依存性を実験的に調べることによって、粘性効果を取り入れたモデル化が可能だと考えられる。

5. 参考文献

- [1] Tatsuuma M., et al., “Formulating Compressive Strength of Dust Aggregates from Low to High Volume Filling Factors with Numerical Simulations”, 2023, ApJ, 953, 6
- [2] 田中玲奈, 岩野志織. “ダスト凝集に繊維状物質が与える影響：部屋の埃から微惑星形成まで”.

令和 4（2022）年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書, 2023 February

[3] Wada K., et al., “The rebound condition of dust aggregates revealed by numerical simulation of their collisions”, 2011, ApJ, 737,36

[4] Schräpler, R. R., et al., “Collisional properties of cm-sized high-porosity ice and dust aggregates and their applications to early planet formation”, 2021, MNRAS, 509, 5641