



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
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/90973
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

令和4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	たなか れな 田中 玲奈		学部 学科	理 物理	学年 2 年
ふりがな 共 同 研究者氏名	いわの しおり 岩野 志織		学部 学科	理 物理	2 年
					年
					年
アドバイザー教員 氏名		桂木洋光	所属	理学研究科宇宙地球科学専攻	
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。）			

(次ページに続く)

〈研究目的〉

微惑星形成におけるダスト衝突について、粒子で構成された凝集体同士の衝突メカニズムがこれまで研究されてきた^[1]。一方、数値計算によって、原始惑星系円盤内のガスに含まれる粒子がチェーン状になる可能性が示唆されている^[2]。昨年度の研究により、チェーン状物質を用いたダストが絡まり効果や高い空隙率を持つことを明らかにし^[3]、この性質がダスト同士の跳ね返りや破壊を抑制して合体成長を促進すると仮説を立てた。これを踏まえ、今年度の研究では凝集体の衝突応答を明らかにすることを目的とし、ダスト-ダスト衝突のメカニズム解明の第一段階としてダスト-フラット面衝突の実験を行った。

〈研究経過〉

① 装置・撮影系の作成

7～9 月下旬：真空デシケータ内でのダスト自由落下衝突機構（図 1-2,3）と、ハイスピードカメラ「CASIO EXILIM EX-F1」による撮影系の作成を進めた。これにより、一定気圧環境下でのダスト衝突の動的応答解析が可能となる実験系の開発に成功した。また、単ダスト衝突と 2 体ダスト衝突の撮影に成功した。

② フラット面への単ダスト衝突の反発係数の計測

10～11 月：①の機構を用いて、フラットな底面への単ダスト衝突実験と得られたデータの画像解析を行った。具体的には、重心の鉛直方向の運動の解析により反発係数を見積もった。

③ 糸の長さをパラメータとした系統的な実験

11 月中旬：糸の長さを 2.50/3.95/ 6.25 (cm)で変化させ、それぞれの糸で構成されるダストの反発係数を計測した。

〈研究方法・研究成果〉

①ダストの生成方法

昨年度の研究手法^[3]に則り、太さ $35\mu\text{m}$ の曲げた細髪糸 0.040g を「充電式クリーナ CL072DSH (makita 社製)」で 3 分間吸引し、球形の凝集体を生成した。

① 装置・撮影系の作成

真空デシケータ内の気圧低下とともにダストを押し出す機構（図 1-1～3）を考案し、0.2 気圧付近でダストが落下する装置を作成した。

また、ハイスピードカメラ（300 fps）によって撮影した動画を二値化するため、装置の調整を行い、およそ 0.1～2 秒で起こる衝突とダスト変形の撮影（図 2,3）に成功した。

（次ページへ続く）

*装置の概要

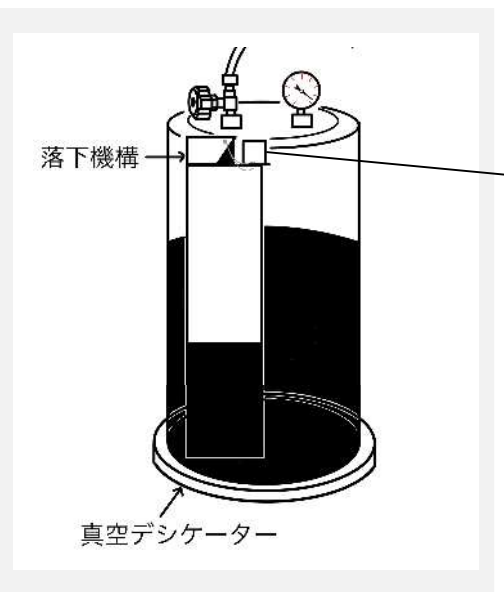


図 1-1 全体図

〈落下機構〉



図 1-2 概略図

- ①マシュマロが外圧の低下とともに膨張。
- ②ダストが載った板を押し出す。
- ③板+ダストの重心が台をこえたタイミングで、板が垂直に傾く。
- ④ダストが落下する。



図 1-3 正面からの写真

*衝突応答の様子



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

図 2 単ダストの場合



t=0.000 t=0.030 t=0.043 t=0.063 t=0.101 t=0.150 t=0.206 (秒)

図 3 2体ダスト衝突の場合

②フラット面への単ダスト衝突の反発係数の決定

*手法

①Fiji,python を用いて動画の解析を行い、ダストが画面内に入ってから静止するまでのダスト重心の y 座標（垂直方向）位置 $y(t)$ （図 4）と速度 $v(t)$ （図 5）を求める（図 4, 5 は 3.95 cm のダスト衝突のデータ）。

② 得られた運動学データをもとに衝突前後の速度を決定し、反発係数を求める。

*特徴時間解析

ダスト重心運動を特徴づける時間、 t_0, t_1, t_2 を図 6 のように定義した。

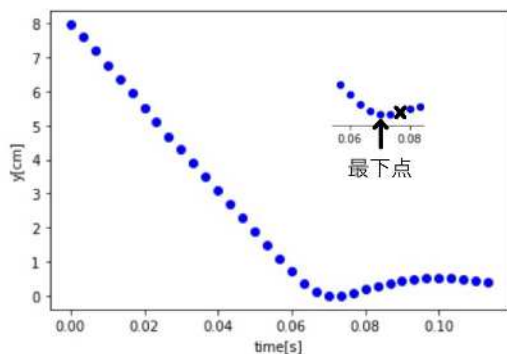


図 4 重心位置の変化

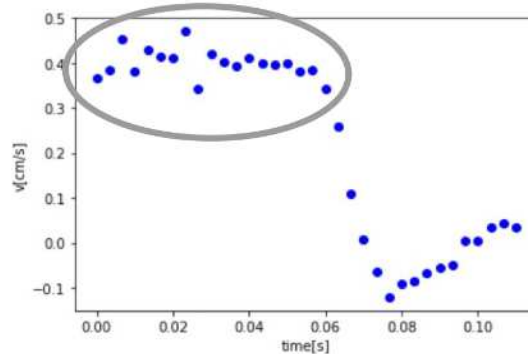


図 5 重心速度の変化

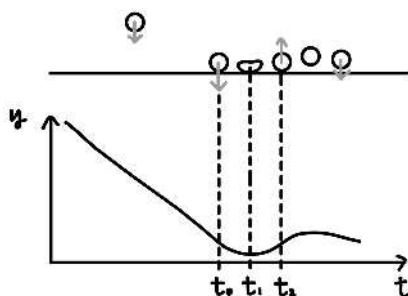


図 6 重心位置の変化とダスト変形の対応関係

ここで、 t_0 ：ダストがフラット面に衝突した瞬間、 t_1 ：最下点（最大変形点）、 t_2 ：ダストがフラット面から跳ね返る瞬間 とした。また、以下では t_0, t_1, t_2 における速度を v_0, v_1, v_2 とする。

このとき、 $t_0 \sim t_2$ ではダストが重力によって圧縮され、その後自己復元している。

このことから、衝突前後の速度は t_0 と t_2 におけるグラフの傾きであるとわかる。

*衝突前後の速度の定量的な決定と反発係数の測定

フラット面との衝突速度 v_0 と衝突後の速度 v_2 を次のように定義した。

v_0 ：自由落下期間（ $t < t_0$ ）の v の平均値（例：図 5、楕円部分の平均値）

v_2 ：自由落下が終わる時刻を $t = t_0$ 、重心位置が最下点をとる時刻を $t = t'$ とし、 $t_2 = t' + (t' - t_0)$ とする（例：図 4 の×がついている点）。この t_2 に対応する速度を v_2 とする。

すなわち、本研究では実験に用いたダストは弾力的なものであると仮定し、衝撃による縮みとその後の自己復元の運動が単振動であると仮定し、跳ね返り速度 v_2 を求めた。

以上の定義に従い、反発係数 $e = \frac{v_2}{v_0}$ を求めた。結果を表 1 に示す。

糸の長さ(cm)	反発係数 e				
2.50	0.1812	0.2549	0.2553	0.3125	(データなし)
3.95	0.2631	0.3365	0.2979	0.2418	0.1286
6.25	0.2741	0.3874	0.2199	0.2178	0.2699

表 1 反発係数

〈考察〉

糸の長さと反発係数には相関がみられなかった。速度 v_2 を単振動で仮定したことによる不確かさや、衝突における凝集体の構造変化の違いが、反発係数のばらつきに表れている可能性がある。

また、今回の結果から「糸の長さによらず反発係数が一定である」という仮定をおくと、エネルギー散逸の大きさは落下前の凝集体のエネルギー E_0 に比例するという仮説を立てることができる。

ここでエネルギー散逸 E_{dis} は(1)で定義され、これを(2)のように置き換えることができる。 $(N_{con}$: 糸の接点数、 L_{slip} : 1 接点あたりの衝突に伴うずれの距離、 F_μ : 糸の各接点にかかる摩擦力、 ρ : 密度、 l_{def} : ダストが床に衝突してから跳ね返るまでの重心座標の移動距離)

$$E_{dis} = N_{con} \times L_{slip} \times F_\mu \quad (1)$$

$$\simeq \rho \times l_{def} \times F_\mu \quad (2)$$

一方、反発係数 e と v_0 を用いるとエネルギー散逸 E_{dis} は以下のように表される。

$$E_{dis} = \frac{1}{2} m v_0^2 (1 - e^2) \quad (3)$$

ここで、(2)式における ρ は凝集体の画像における輝度から、また l_{def} は落下曲線から求められる。

よってこの 2 つの量と(3)式から、 $\frac{E_{dis}}{l_{def}}$ と ρ の関係性を調べることで接点数の情報を新たに得られることができると考えられる。

〈今後の展望〉

・本研究では、ダストの衝突応答のモデル化にあたり第一次近似として衝突後のダストの変形を単振動としたが、これは個々の落下曲線と比較すると一致しないことが多くあった。そのため、他の方法によって v_2 を決定し、より高い精度で衝突運動を近似する必要がある。

・動画解析によって糸の長さごとの衝突時における構造変化の違いを詳細に調べることで、エネルギー散逸がどのように起きているかを明らかにする。

・本研究におけるダスト-フラット面衝突の実験をダスト-ダスト衝突に応用することで、絡まりがダストの合体成長に及ぼす影響を明らかにする。

〈参考文献〉

- [1] K. Wada "The Rebound Condition of Dust aggregates Revealed". The Astrophysical Journal, **737**, 36 (2011).
- [2] D. Paszun and C. Dominik. "The influence of grain rotation on the structure of dust aggregates" Icarus, **182**, 274 (2006).
- [3] 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 3 (2021) 年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書, 2022 February

申請先学部 理学部 採択番号 No. 5