

# 塵疑空間 ～空間の塵を疑おう～

氏名：杉山春 柏木芽衣 加藤さち 島津侃実 森田洸己 藤澤美優

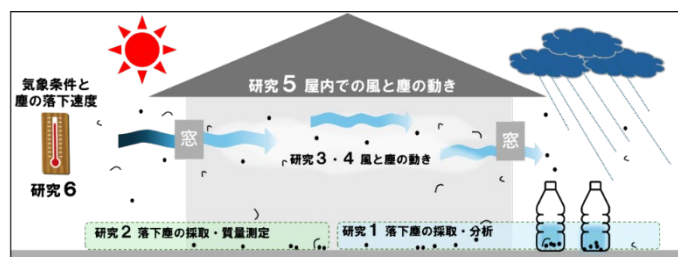
学校名：市立川崎高等学校

## 1. 要旨、概要

本研究の目的は、空気中に浮遊及び落下する塵の実態を多様な視点と手法から明確にすることである。研究結果から、塵が浮遊・落下する実態と、その構成物質が明らかになった。さらに、塵の落下は、塵の密度と風速、そして気象条件（気温、気圧、湿度）で推定できると分かった。研究を通して、我々は空気中に浮遊・落下している塵が人間や自然を脅かしている現状を知った。塵の発生とその循環は非常に複雑であり、すでに発生・浮遊している塵を回収は現実的でない。この状況に対する解決策（塵の削減・回避・再利用等）の立案は、我々の今後の研究課題だ。

## 2. 問題提起、研究目的

2019年、新型コロナウイルスが世界的に流行し、感染予防対策としてマスクの着用や換気が推奨された。当時我々は、換気が可視化できない空気中の物質を除去する手段として有効性に疑問を抱いた。そこで「塵」に着目し、空気中にはどんな塵が存在し、どのように動くのか調査することにした。研究の目的は、空気中に浮遊する塵（病原体レベルの細かい粒子を除く）、またそれによる落下塵の実態を、多様な観点から調査することである。（研究構成略図参照）加えて、これらを明らかにし、塵が社会や自然環境に与える影響を考察するという観点で研究を行った。



[図1 研究構成略図]

※以下、研究方法、結果、考察、結論を実験ごとにまとめて記載した

### 【研究1 塵の分析】

〈研究目的〉

落下塵を構成する物質を明らかにする。

**実験1** 地表に落下した塵（固体）の採取、分別

〈仮説〉落下塵は採取場所の利用方法が異なると、構成物質も異なる。

〈研究方法〉

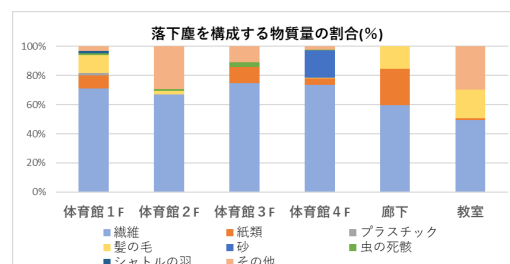
- ① ブラシを用いて校内6か所でそれぞれ1gの落下塵を採取した。
- ② 塵を、双眼実体顕微鏡を用いて種類別に分別し、総質量当たりの割合を比較した。

〈結果〉

どの採取場所でも、落下塵はその多くが繊維で構成されていた。また、人が活動する空間では頭髮の含有率が高かった。体育館の落下塵は、採取場所の高度の上昇に伴い色が薄くなった。

|     | 屋外  | 屋内                        |
|-----|-----|---------------------------|
| 実験1 |     | ・体育館(1F~4F)<br>・廊下<br>・教室 |
| 実験2 | 雨天日 |                           |

[図2 実験対象の比較]



[図3 落下塵に含まれる構成物質の割合（質量）]

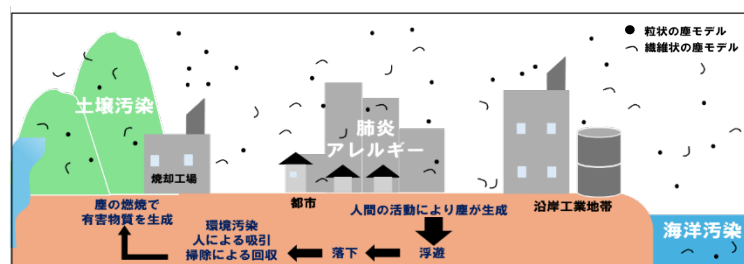
落下塵の分別から、落下塵は固体の塵に繊維が無数に絡まる立体構造を形成していると判明した。



[図4 落下塵モデル]

〈考察〉

繊維以外の塵は空間の使用方法が大きく関与している。体育館の階層による塵の色の変異は、高度上昇に伴い、浮遊・落下する物質の粒度が小さくなることに起因すると考える。繊維状の塵の浮遊傾向から、すべての空間に存在していたと考えられる。繊維状の塵が生成される主要要因は、人間の衣服や家具などである。（ダスキン株式会社「「ホコリ」とは何か？」）近年、化学繊維由来の衣服が普及したことから、人間によって化学繊維の塵が排出され、それらが浮遊し、様々な場所に落下している。また、燃えるゴミとして処理される埃は、燃焼によって有害物質を生じる化学繊維を含むと考えられる。近年問題となっているマイクロプラスチックによる大気汚染や海洋汚染は、人間から直接供給される塵が要因の一つである。



[図5 人為的に発生した塵（化学物質）の循環モデル]

**実験2** 雨水の中に含有された形で落下する塵を採取し、分別する

〈仮説〉

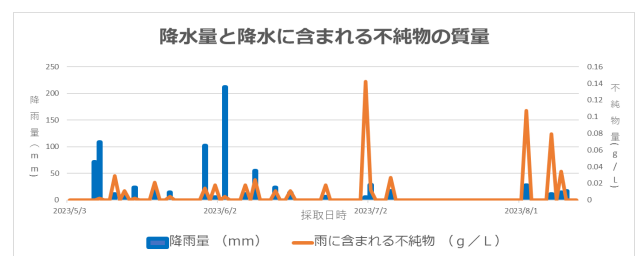
雨水中の不純物量が増加するのは、雨天が続く空気中の浮遊塵量が多い日である。

〈研究方法〉

- ① 降水があった日に、ペットボトルを用いて雨を回収した。
- ② 回収した雨水を、以下の3つの方法に分けて標本とした。
  - (1) 雨水 1L を蒸発させて 100 倍に濃縮（10ml）[濃縮標本]
  - (2) 沓紙で雨水 1L を濾して乾燥させるもの [平面標本]
  - (3) 雨水 1L を煮沸して不純物のみにするもの [顆粒標本]
- ③ 雨水中に含まれる不純物の、質量、外見上の特徴、感触を調査する。

〈結果〉※一部抜粋 2023/5/3～2023/8/10

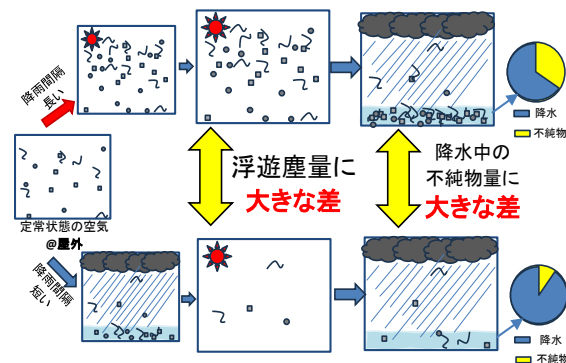
降雨間隔（降雨日から次の降雨日までの日数）が短い時期と比べて降雨間隔の長い時期は不純物量が増加した。また、保存した不純物の試料には、詳細にわたる分析が困難で、データ提示ができない粘度が高い粒子を多く含有した。



[図6 降雨量と雨水に含まれる不純物の質量]

### 〈考察〉

屋外浮遊塵について右図のような落下が考えられる。降雨間隔が短い場合、空气中的浮遊塵は雨水とともに落下するため減少する。そして、降雨間隔が長い場合は、落下しきれない塵が空气中に滞留し、空气中的浮遊塵量が日々増加する。観察された粘度の高い粒子は近隣の工場から排出された化学物質（油脂類等）や、プラスチックではないかと考える。雨水に含有された塵は海洋や河川に流入すると想定されるため、浮遊塵は海洋汚染の一因であると考えられる。



〔図7 降雨による浮遊塵落下モデル〕

### 〈結論〉

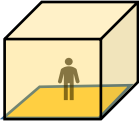
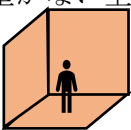
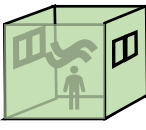
塵は複数の物質で構成されており、その発生源は**不特定多数**である。**環境条件**（気象条件、空間条件など）により、その分布は大きく変化する。

## 【研究2 落下塵の採取・質量測定】

### 〈研究目的〉

空間の違いが落下塵・浮遊塵の量に及ぼす影響を明らかにすること。

### 〈定義〉

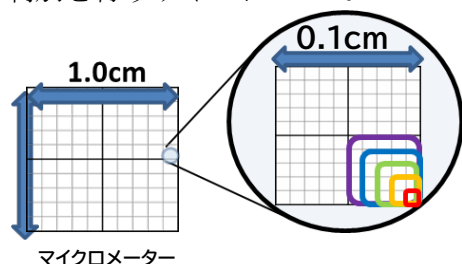
| 空間名        | 閉空間                                                                                             | 開空間                                                                                                           | 通風空間                                                                                              | 屋外空間                                                                                  |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 特徴<br>モデル図 | 風通しが無い屋内<br> | 屋根があるが、屋外との隔りとなる壁がない空間<br> | 風通しがある屋外<br> |  |

〔図8 空間別特徴〕

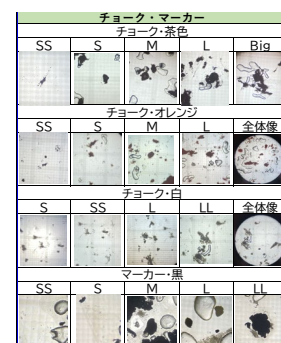
## 実験3 プレパラートを用いた塵の採取

### 〈仮説〉

- ① 屋外空間や開空間は、屋内空間より風が供給する塵の量が多いと推定されるため採取できる落下塵の個数と質量が多い。
  - ② 開空間では、風の障壁となる壁が存在する屋外よりも落下塵量が多い。
- 判別を行うサイズについて



〔図9 判別モデル・スケール〕



〔図10 判別表〕

### ○判別表の作成

校舎内で発生する可能性がある塵（約60種類）を人工的に生成し、種類とサイズ別に分類して写真を撮影し、判別表を作成した。（図10）

### 〈実験操作〉

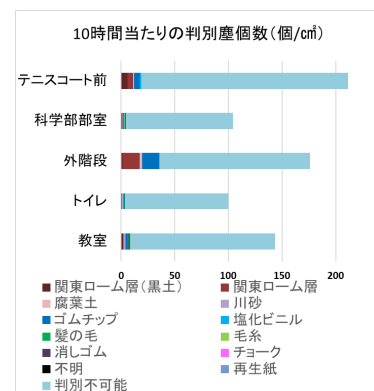
- ① 校内5か所にプレパラートを1日設置し、落下した塵のうち明らかに浮遊しない塵は除き、その他は接着剤やテープで固定した。
- ② 判別表を用いて、顕微鏡で判別可能な塵（主にS以上）についてその種類と大きさを判定した。
- ③ 場所別、粒度別に数値化（個/cm<sup>2</sup>）した。

### 〈結果〉

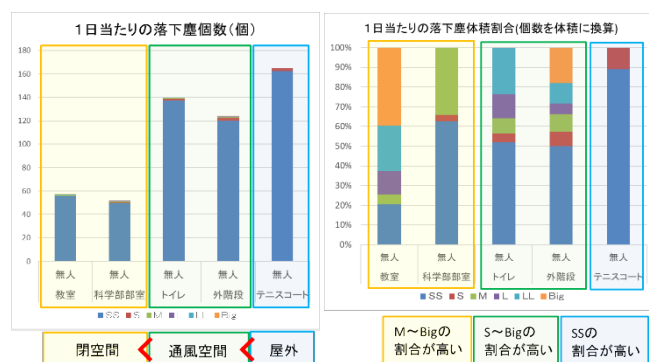
例) テニスコートに落下する関東ロームの個数と質量換算  
 落下個数 1日で6個/cm<sup>2</sup>×100万cm<sup>2</sup>（テニスコートの面積）  
 =6,000,000個(6百万個)落下

落下質量 0.001cm<sup>3</sup>（体積）×0.5g/cm<sup>3</sup>（密度）×6  
 個×100万cm<sup>2</sup>=3000g(3kg)落下

- ① 屋外空間であるテニスコート前、外階段はS以上の大きさの塵の含有率が高かった。
- ② 屋内空間である部室、トイレ、教室では種類の判別不可能な塵の含有率が高かった。
- ③ すべての空間で土が落下していた。
- ④ 判別した領域は1cm<sup>2</sup>であったが、すべての空間で100個/cm<sup>2</sup>の塵が確認された。



[図11 判別塵個数/1日]



[図12 空間別落下塵個数/体積]

〈考察〉すべての空間で目視できない極めて小さな塵が無数に落下しているといえる。屋外空間では土壌系の塵が多量に浮遊しているため、他空間よりも微粒で密度の高い塵が多量に供給されると考えられる。加えて、土は含水により粘性を持つ粒状の物質であるため、研究1から、屋内に侵入して埃の中心体になると考えられる。また、通風空間と開空間は閉空間と比べて空間内に存在する塵の量（高密度・粗粒）が多いと考えられる。

### 〈結論〉

- 1 屋外では、**高密度の物質**が供給され、屋内では、**低密度の物質**が供給されやすい
- 2 通風空間では、**低密度の塵と高密度の塵が混在**している

## 【研究3 塵の種類と浮遊角度の関係】

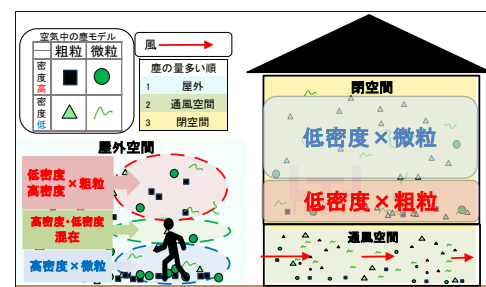
### 〈研究目的〉

塵の浮遊に影響する条件（種類、大きさ、風速）を明らかにする。

### 実験4 模擬塵を用いた浮遊角度の分析

### 〈仮説〉

- ① 密度の小さい塵は同じ風速で飛ばすと、「長時間浮遊」し、「長距離運搬」される。
- ② 粒度の小さい塵は同じ風速で飛ばすと、「長時間浮遊」し、「長距離運搬」される。
- ③ 塵は、風速が強いほうが、長時間浮遊し、長距離運搬される。



[図13 屋内、屋外塵分布モデル]

### 〈実験操作〉

予備実験を行い、実験室内の塵の分布に大きな差がないことを確認した。

① 暗室で、光源と扇風機を作動させ塵を落下させた。

大きさ指標：#1…63  $\mu\text{m}$ ～125  $\mu\text{m}$     #2…125  $\mu\text{m}$ ～250  $\mu\text{m}$

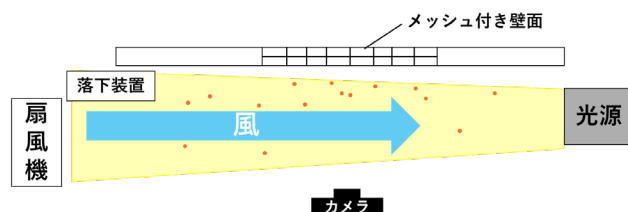
※以下4種の模擬塵を生成しタイラーのふるいにかけて上記2種類の大きさに統一した。

飛ばした塵

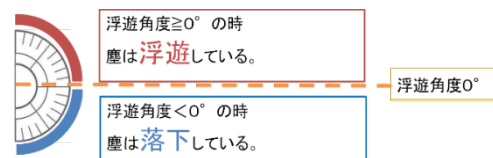
・紙片 ・チョーク ・寒水砂  
・関東ローム土（以降“土”と表記）

塵の落下地点における風速

・0.2m/s ・0.4m/s ・0.6m/s ・0.8m/s ・1.0m/s



〔図14 実験モデル（上から見た図）〕



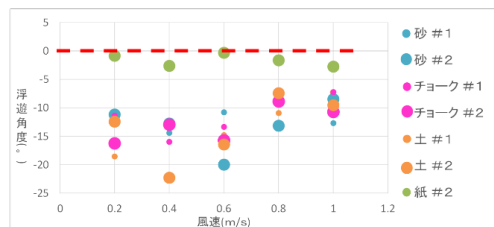
〔図15 実験モデル〕

② 塵の浮遊軌道を、落下地点から1m離れた地点で撮影した。

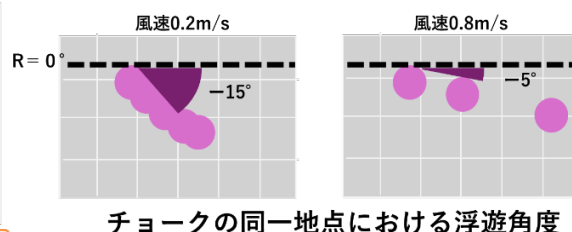
③ 撮影した動画から5枚のスクリーンショットを撮り、各動画で150個の塵を測定した。

④ ①～④を、風速と塵の内容を変えて行った。

### 〈結果〉



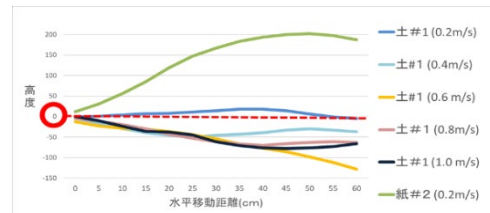
密度の比較 紙#2 < 土#1 < チョーク#1 < 土#2 < チョーク#2 < 砂#1 < 砂#2



チョークの同一地点における浮遊角度

〔図16 4種の塵の撮影地点における浮遊角度の平均とグラフ解釈の例〕

〈結果〉風速が強くなるにつれ各塵は落下傾向が減少した（浮遊角度の増加）。密度が小さい紙の塵は、他3種類と比べて浮遊角度が高くなった。そして、右に示す落下地点より1m離れた地点以降の塵の軌跡から、急速な上昇、なだらかな上昇、なだらかな下降という軌跡を描き、微風でも水平移動距離が著しく増加した。一方、土については風速の強さと塵の軌跡とに明確な関係は見られなかった。



〔図17 塵の軌跡〕

〈考察〉土が落下する軌跡は、密度・粒径の大きい塵にはたらく重力が大きく、さらに想定外の要因が関与するため顕著な法則性が見いだせないと結論せざるを得ないのが現状である。繊維系の塵が浮遊しやすいのは、重力による落下応力が小さく風による力の影響を大きく受けるからである。紙の塵は細かい繊維状であるため、繊維状の塵は風による影響を大きく受け、浮遊が促進されると考える。本研究では、塵が一方向から一定の強さの風を受けたときの軌跡を求めた。つまり、自然界のように様々な角度から、様々な一定の強さでない風を受けた場合の塵の軌跡とは大きく異なるだろう。

〈結論〉自然界の塵の動きを考察する際に利用可能な結論は以下の2つである。

- ① 浮遊が促進される条件は、**密度の小ささ**、**粒径の小ささ**、**風速の弱さ**の3条件である。
- ② 塵は、**落下と上昇を繰り返しながら浮遊**している。

## 【研究4 塵と屋内風】

〈研究目的〉

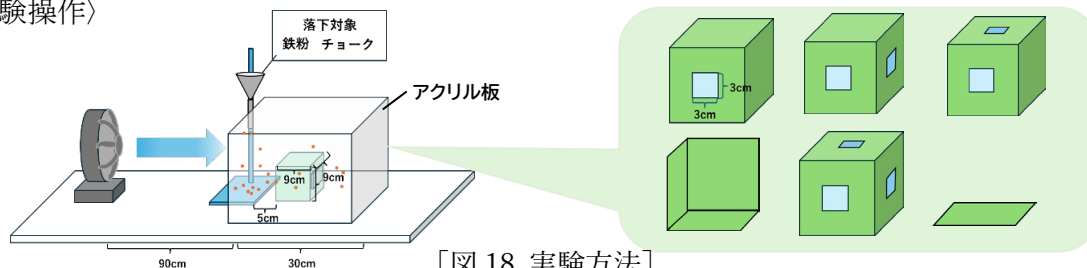
落下塵が堆積・固着するメカニズムと、研究当初に疑問視していた換気の効果进行调查する。

### 実験5 空間モデルを用いた落下塵分布の分析

〈仮説〉

- ① 侵入したのち壁に衝突して進路を変えた風が通る場所や、反対向きの風が衝突する場所では、風速が弱まり塵が溜まりやすい。
- ② 風速が弱いほど溜まる塵は粒度が小さく、密度が低いものになる。

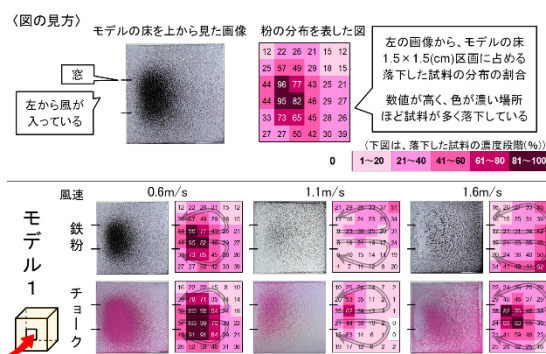
〈実験操作〉



〔図18 実験方法〕

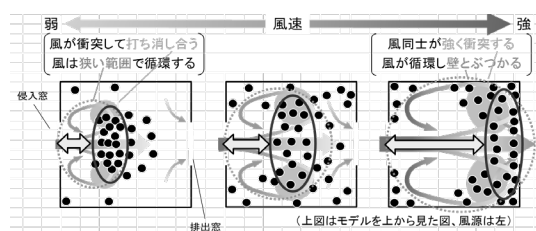
- ① 画用紙で、窓や壁の方角が様々な、一辺が9cmの立方体モデルを7種類作成した。
- ② モデルを透明なアクリル板の風洞に入れ、そこに密度の異なる鉄粉とチョーク粉を扇風機で飛ばし、底面の落下塵の分布と実験前後のモデル（流入した塵がモデル内に堆積したもの）の質量を計測した。扇風機の風速は0.6、1.1、1.6m/sの3種類である。

〈結果〉窓（侵入窓も排出窓も）の真下には、風速に関係なく多くの塵が落下した。窓があるとき、風速が強いほど塵の侵入窓から塵の溜まるピーク（…塵の最大堆積エリア）までの距離は伸び、その間に塵は落下しにくかった。また、密度の低い塵（チョーク）より高い塵（鉄粉）の方が広範囲に分布（落下）し、モデル内に落下した質量は少なかった。密度の高い塵は、モデルに侵入する前に落下する量が多く、モデル内に入る塵の量は減り、床に薄く分布した。

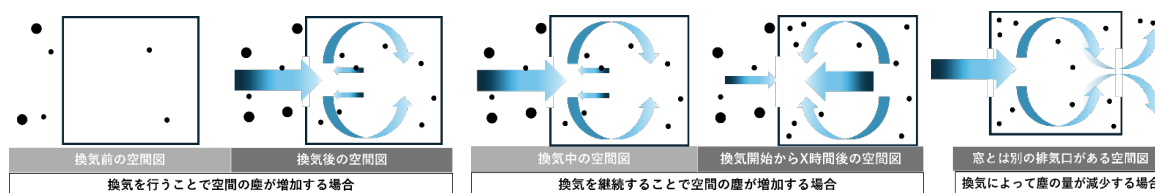


〔図19 実験結果（一部抜粋）〕

〈考察〉風速に関わらず窓の近くに多くの塵が落下したのは侵入風の風速が変化する（図21参照）に起因する。また、風の衝突が起こる場では風速の著しい低下により塵が落下しやすくなる。そのため、風が弱いほど風源の近くに、強いほど部屋の角や壁際に集中して、塵は分布した。ここで、窓が一つある空間について考察する。換気を継続して屋内風が屋外風よりも強くなった時、屋内に流入、もしくは元来堆積していた塵が舞い上がり、その後壁に衝突して空気が循環されない場合が考えられる。換気の継続による屋内の塵の増加、堆積を防ぐには、部屋に複数の風の排出口を設けることが効果的だと考えられる。



〔図20 塵落下までの過程考察図〕



〔図21 換気による屋内塵の増加モデル（部屋を上から見た図）〕

## 〈結論〉

以上の点から、最も効果的な換気を行うには以下の二条件を満たす必要がある。

- ① 換気を行う **部屋に吹く風よりも、屋外に吹く風の方が強い。**
- ② 部屋に **風の排出口が2つ以上** ある。

## 【研究5 塵と局所風】

### 〈研究目的〉

塵の形状、大きさ、密度と風の速度とその移動距離との関係を明らかにする。

### 〈定義〉

一つの固定された風源から生じる風のことを、局所風とする。例) 扇風機からの風  
方向と強度を変化させながら連続的に生じ、自然界からもたらされる気流を自然風とする

### ○予備実験

〈目的〉局所風の特徴を明らかにすること。

〈実験操作〉扇風機（以後風源と表記）を机上で作動させ、同一の高さから10cmごとに風速(m/s)を計測した。

〈結果・考察〉風源から離れるにつれて、風速が一次関数的に減少した。また、風源からの距離4.4m以降は風速0m/sになった。以上のことから局所風は風源から離れるにつれて一定の割合で減衰し、最終的に消滅すると考えられる。

## 実験6 微粒な塵を用いた塵の浮遊・落下傾向分析

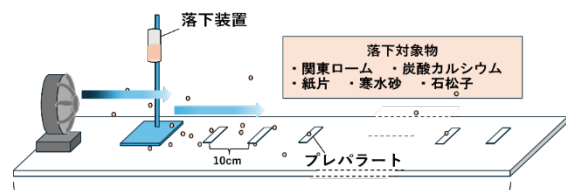
### 〈実験操作〉

- ① プレパラートを落下装置から10cm間隔で机に並べた。  
風源から風速0.6m/sになる地点に穴をあけたペットボトルを置き、その中に試料の塵を入れた。

飛ばした塵（粒形）

#1 (0.125mm以下)、#2 (0.25~0.125mm)

#3 (0.25cm~0.5cm)、#4 (0.5cm~)



〔図22 操作モデル〕

- ② プレパラート上に付着した塵の個数を、顕微鏡下0.1cm<sup>2</sup>の範囲内で計測した。

### ○密度について

今回落下対象物とした5つの物質の密度を計測した。

※計測した密度は粒子同士の間には空隙が存在する（落下させる時と同じ）状態における数値であり、5度計測した値の平均値である。

| 塵の種類  | #  | 平均値    | 塵の種類 | #  | 平均値    |
|-------|----|--------|------|----|--------|
| 寒水砂   | #1 | 1.0412 | チョーク | #1 | 0.5282 |
|       | #2 | 0.7506 |      | #2 | 0.4608 |
| 関東ローム | #1 | 0.4624 | 紙片   | #1 | 0.0364 |
|       | #2 | 0.4046 |      | #2 | 0.0770 |

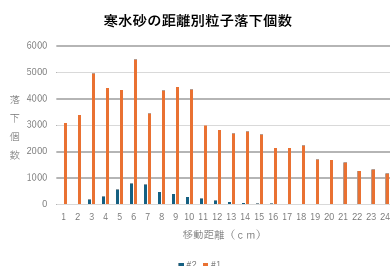
〔図23 塵別密度〕

### 〈仮説〉

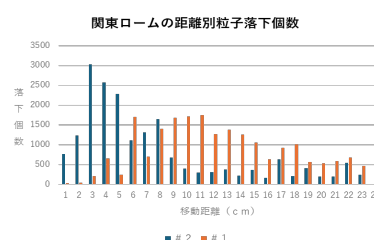
- ① 関東ローム、炭酸カルシウム、寒水砂は密度が高いため、10.5m以内に全て落下する。
- ② 紙片は密度が低いため浮遊しやすく、#3、#4でも10.5m以上飛ぶ。石松子は花粉が原材料であり微粒・低密度のため、粒状だが紙片と似た飛び方をする。

### 〈結果〉

全ての試料において、落下個数は落下地点からの距離の増加に伴い、増加→ピーク（最多値）→減少→横ばいになるグラフが得られた。また、比較的密度が高い関東ローム、炭酸カルシウム、寒水砂は全て100cm以内に落下した。粒子が大きいほど風源の近くで多量に落下した

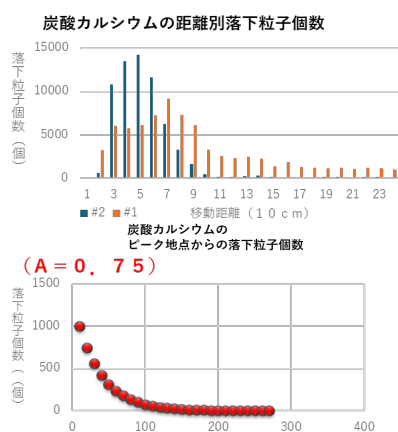


〔図24 寒水砂の距離別落下個数〕

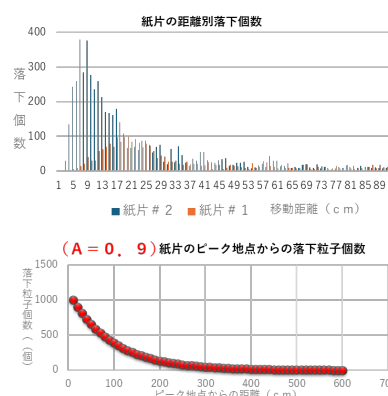


〔図25 関東ロームの距離別落下個数〕

ため、グラフの減少時の傾きが急になった。密度の低い紙片の#3 は 540cm 地点までにすべて落下し、#1、#2、#4 は計測不可能な距離まで空中を漂った。ピーク地点は紙片の # 1 が最も供給源から離れており、2 番目は石松子であった。



[図 26 炭酸カルシウムの距離別落下粒子個数]



[図 27 紙片の距離別落下粒子個数]

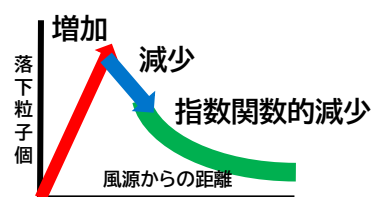
### 〈考察〉

塵は繊維状の方が粒状よりも浮遊距離が長くなると考えられる。そして、自然風は局所風とは異なり、風速が 0 になる確率が低い。すなわち、花粉と同等またはそれ以上に、地球上で風により繊維状の塵が移動していると考えられる。#1 の落下塵が風速から受ける影響、落下地点の水平方向変異量（飛距離）と各落下地点での落下数との間には、指数関数的な関係が成立している。落下塵の粒度・密度・粒径・風速によって求められる定数（A）による関係式は「 $Y=A \times (0 < A \leq 1)$ 」（Y:落下粒子個数、X:単位水平移動距離）になると考えられる。粒形が小さい・低密度・表面積大であれば、A の値は大きく（1 に近づき）なり、粒形が大きい・高密度・表面積小であれば、A の値は小さくなる。この数値の決定によって、多様な種類の塵が浮遊している空間での塵の落下地点を予測できると考える。

〈課題〉石松子の密度を計測して紙と比較すること。また、低密度の落下対象物は少しの風でも影響されるためか、数値のばらつきが大きかったため排気口が風源の反対側にある実験室で実験を行うこと。

### 〈結論〉

塵は一度風源近くで多量に落下し、（落下個数のピーク地点が存在する）、ピーク地点から離れるにつれてその落下個数は**指数関数的**に減少する。



[図 28 塵落下グラフモデル]

## 【研究 6 空気の密度と落下塵量の関係】

### 〈研究目的〉

塵の採取により見出した、「空気の密度と落下塵量の関係」を明らかにし、気象条件に基づいた落下塵量の予測について考察すること。

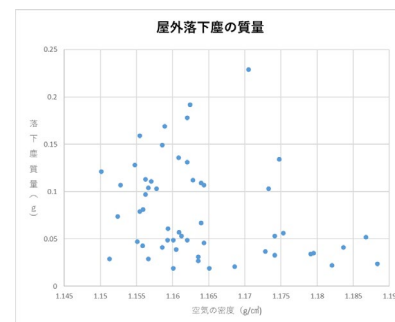
### ○塵の採取

#### 〈採取方法〉

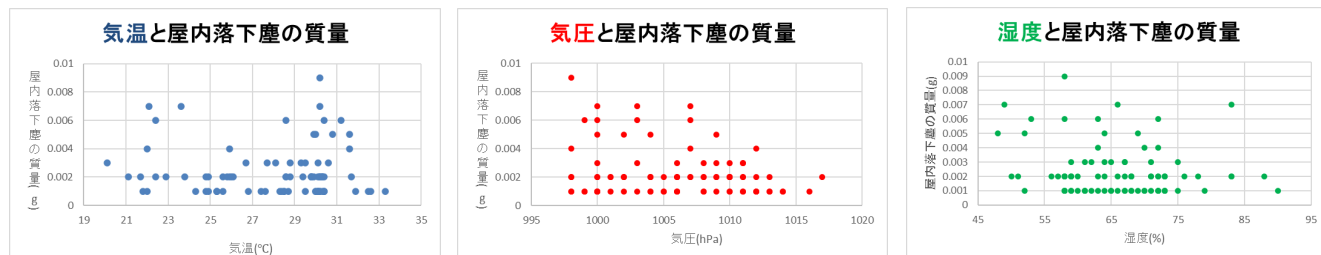
- ① 屋内と屋外に 4 枚（合計 5000 cm<sup>2</sup>）のトレーを設置し、毎日定時に塵を回収した。
- ② トレー設置地点の温度、湿度、気圧を計測し、空気の密度を算出した。（約 300 日間）

## 〈結果〉

採取結果について様々な条件と落下塵質量との相関関係を調査したところ、空気の密度との関係を見出した。しかし、屋内では空気の密度の変化が小さく、屋内落下塵との相関関係は弱かった。一方、屋外落下塵は空気の密度の変動との間に緩い負の相関がみられた。さらに、空気の密度を大きく左右する温度については、強い負の相関がみられた。このことから、以下に記す実験7を行った。



[図 29 空気の密度と屋外落下塵個数]



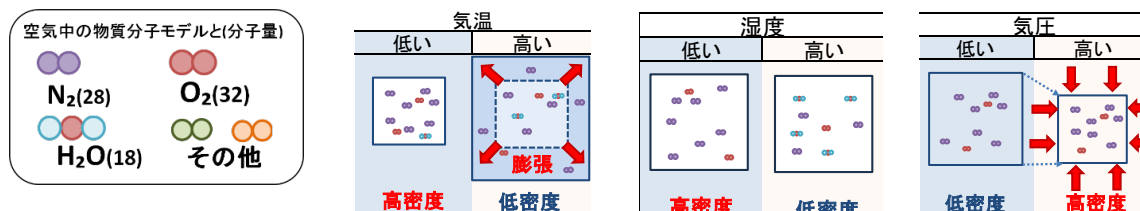
[図 30 気温、気圧、湿度と落下塵質量]

## 実験7 模擬塵を用いた空気密度と塵落下速度の相関関係分析

〈仮説〉空気の密度が高いならば、浮遊塵の落下速度が下がり、空気の密度が低いならば、浮遊塵の落下速度が上がる。

### 〈前提条件〉

空気の密度は、気温、気圧、湿度から求められる。空気の密度に最も強い影響を与えているのは、空気の膨張・収縮に関係し、かつ変動が大きい、気温である。気温が上昇すると、空気が膨張し、膨張前よりも空気の密度は低下する。相対湿度が上昇すると、空気中の水蒸気の数が増え、空気の密度は低下する。気圧が上昇すると、空気が収縮し、収縮前よりも空気の密度は低下する。



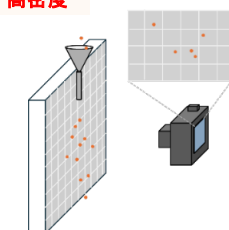
### 〈実験操作〉

- ① 垂直に立てたメモリ付きの壁に沿って石松子 0.005g を落下させた。
- ② 室温を 1℃ずつ (23℃~34℃) 上昇させ、同一温度時に 2 回ずつ①を行った。
- ③ 右図のような位置から落下時に撮影した画像 (撮影速度 3000fps) から、無作為に 20 個の粒子を抽出し、それぞれの落下速度を求めた。

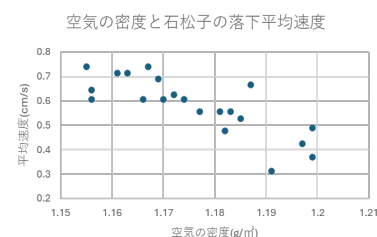
### 〈結果〉

実験結果は右図の通りである。空気の密度と石松子の落下平均速度との間に負の相関関係がみられた。

考察〉空気の密度が高いならば、浮遊塵の落下速度は下がり、低いならば、浮遊塵の落下速度は上がると考えられる。なお、この条件があてはまるのは密度、粒径ともに小さい塵である。



[図 32 実験の様子]



[図 33 空気密度と石松子の落下平均速度]

## 【結論】

日常で花粉やハウスダストへの対策を強化すべき日や、掃除をするべき日が**天気予報から予測できる**。

| 結論   | 落下塵が最も多くなる条件                            | 落下塵が最も少なくなる条件<br>(浮遊塵を増加させる条件) |
|------|-----------------------------------------|--------------------------------|
| 場所   | 屋外空間                                    | 閉空間<br>(通風空間では屋外から塵が供給)        |
| 気温   | 高温(約30℃～)                               | 低温(～約25℃)                      |
| 気圧   | 低気圧(～約1005hPa)                          | 高気圧(約1010hPa～)                 |
| 湿度   | 高湿度                                     | 低湿度                            |
| 空気密度 | 低密度(～約1.15g/m <sup>3</sup> )            | 高密度(約1.16g/m <sup>3</sup> )    |
| 風    | 弱い…塵供給少ない 強い…落下しない<br>塵が多くなる限界が存在(研究5へ) | 風が吹き込まない(塵供給0)状態               |
| 雨    | 雨が数日降らなかったとき                            | 雨が降り、湿度が高いとき                   |
| 人    | 活動しているとき                                | 活動していないとき                      |

[図 34 落下塵の落下量と環境条件]

## 6. 結論・課題

塵は、その種類や形状、周辺の気象条件によって落下する場所、速度が大きく変化する。本研究では、塵の種類を絞った実験を行ったことでそれぞれの塵について傾向が読み取れたが、地球上に浮遊するすべての塵を網羅しているかどうかは不確かだ。したがって、どのような場合にどのような塵が浮遊し、どのような場合に塵が落下するのかという予測をすることは極めて困難である。しかし、塵による大気汚染などの環境問題は自然界にも人間界にも悪影響を及ぼす。すなわち、人間のためにも自然のためにも、最も求められることは塵を発生させないことと、塵を適切に処理することだといえる。

## 7. 参考文献

ダスキン株式会社 “「ホコリ」とは何か？”

<https://www.duskin.co.jp/rd/laboratory/feature/dust/01/> (2024/7/6)

## 8. 謝辞

ハイスピードカメラを提供していただいた Photoron 様、塵の回収にご協力してくださった清掃員の皆様、並びに常日頃からご指導してくださった顧問の先生方、本当にありがとうございました。