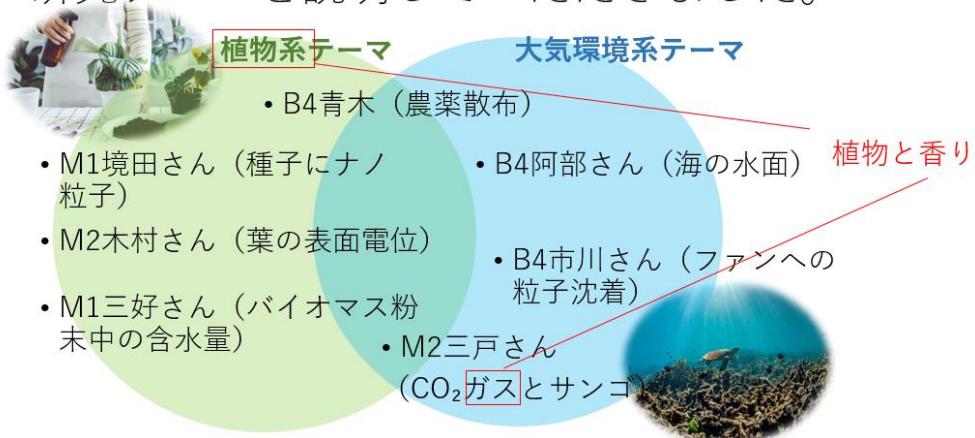


私は4ヶ月間、ラボローテーションでレンゴロ研究室に参加させていただきました。去年の11月に7名の先輩方に研究テーマを説明していただきました。先輩方の研究テーマは大まかには植物系と大気環境系に分かれていきましたが、その研究内容はそれぞれ独立しており、個人個人テーマをもって研究されていました。テーマ設定の背景から実験装置まで、実際に目で見て、話を聞いて学ぶことができ、貴重な経験をさせていただきました。

1/26

## 2022年11月に7名の卒論生と修士学生の研究テーマを説明していただきました。



先輩方の研究説明から植物に興味を持ちました。また私はもともと何かの香りを嗅ぐことが好きだったので、まだ行われていないテーマとして、「香り」すなわち「ガス」に関するテーマに着手しました。そこで植物が自ら香り物質（ガス）を出し、天敵から身を守る現象があることを知りました。これを応用し、「香りで農薬を用いずに害虫被害を防ぐ」という環境汚染に配慮した新たな農業が提案されており、「ガス（香り）と環境汚染」というテーマにつながりました。今回の短期間で植物を取り扱うのは難しいと考えたため、「ガスと環境汚染」でテーマ構築を考えた結果、ガス自体が大気汚染物質の一つであったため大気汚染に関するテーマで研究をすることに決めました。

2022年11月に7名の卒論生と修士学生の研究テーマを説明していただきました。

- まだ行われていないテーマとして、ガス（香り）に関するテーマに着手した



大気汚染は環境や健康に悪影響があることが知られています。また汚染物質の主な発生源は工場などの燃焼場であるので、大気汚染防止のためには燃焼場におけるガスと微粒子の挙動を把握し、制御する必要があるといえます。

そこで「燃焼場におけるガスと微粒子の挙動を把握すること」を目的として実験を行いました。本来であればここで先行研究などを Web of science で調査すべきだったのですが、テーマ設定に時間がかかり、実験に着手するのが遅くなってしまったため論文検索は実験後になって行いました。ここは反省点の一つです。

## テーマの設定の後に目的

燃焼場におけるガスと微粒子の挙動を把握する



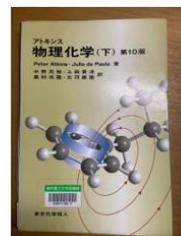
学術論文データベース (Web of science)を後になって行った。

目的を設定後、燃焼場での物質挙動に関する「分子の熱運動」と「拡散」について文献調査しました。この現象については以前講義で学んだことがあったため、今まで学んだ教科書を参考にしました。また本実験で蚊取り線香を用いたため、実験後に蚊取り線香を用いた先行研究を WOS で調べました。文献調査と並行して実験装置を構築し、実験を行いました。

5/26

## 方法

①教科書に基づいた文献調査  
(分子の熱運動、拡散)



②WOSでの文献調査 (実験後)  
(蚊取り線香の平均粒径、粒径と拡散・重力の影響)



③実験装置の構築

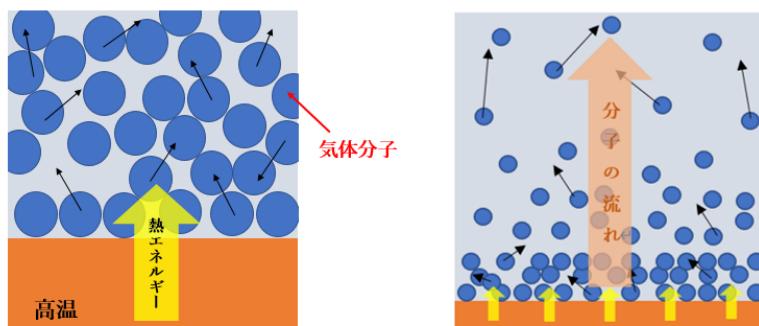
④実験

ガスの熱運動について調べました。ガスの熱運動とは、熱源から熱エネルギーが気体分子に伝わると、分子がより活発に動くようになります。その分子がさらにはかの分子にぶつかり、熱が伝搬していきます。分子の動きが活発化すると密度が低下するため、軽くなり上昇する分子の流れが生じます。

6/26

## 文献調査 (今まで学んだ教科書)

燃焼場→ガス熱泳動 + 物質拡散

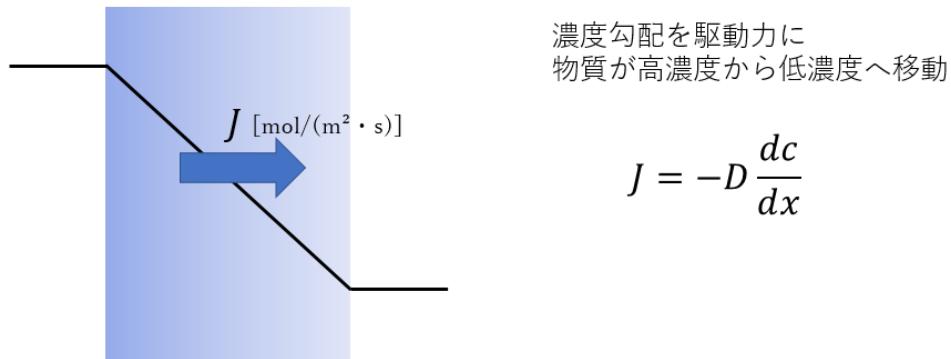


物質拡散について調べました。物質拡散とは、濃度勾配を駆動力に物質が高濃度から低濃度へ移動する現象のことです。流速  $J$  は拡散係数を  $D$  として、この式で表されます。

7/26

## 文献調査 (今まで学んだ教科書)

燃焼場→ガス熱泳動 + **物質拡散**



朝倉誠造: 分離プロセス工学の基礎, p14, 朝倉書店, 東京, 2021年8月25日  
下道国; 特集「測定技術III」—動力学的測定—2巻3号p183-190. 拡散法を利用した粒径測定法, 1987年9月20日 [2\\_183 \(ist.go.jp\)](#)

実験後 WOS を用いて行った文献調査です。Keyword として「Mosquito\* AND Particle\* AND Size\*」を用い、205 の文献がヒットしました。その中から蚊取り線香の微粒子特性についての先行研究を探し、蚊取り線香の煙の粒子の平均直径の中央値が  $0.094 \mu\text{m}$ 、すなわち約  $0.1 \mu\text{m}$  であることが分かりました。

8/26

## 文献調査 (実験後にWOS) 蚊取り線香

蚊取り線香の煙の粒子の平均直径の中央値 :  $0.094 \mu\text{m}$

C-S. Li, W-H. Lin, F-t. Jenq;

**Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere,**

Vol. 27, Iss. 4, Dec. 1993, pp 413-424

**Characterization of outdoor submicron particles and selected combustion sources of indoor particles**

(Web of Science Keyword : Mosquito\* AND Particle\* AND Size\*, 205の文献がヒット)

この粒径の粒子の挙動が拡散と重力の影響をどう受けるのか、粉粒体プロセスの教科書で調べました。蚊取り線香の粒径は緑の範囲なのでブラウン拡散係数、終末沈降速度とともに小さい範囲と言えます。したがって、蚊取り線香から生成する粒子は拡散と重力の影響を受けにくいと分かりました。

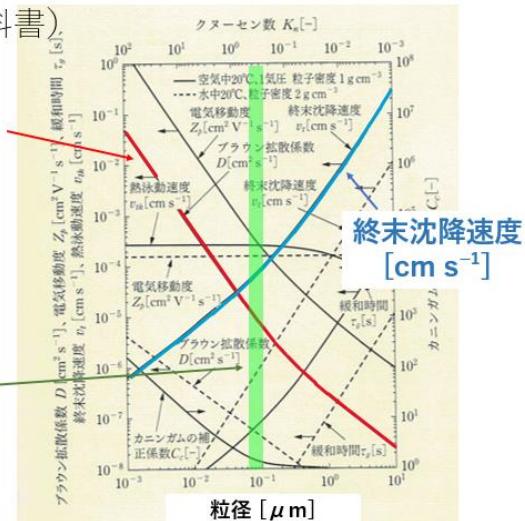
9/26

## 文献調査 (粉粒体プロセスの教科書) 粒径による挙動

**ブラウン拡散係数  
[ $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ ]**

蚊取り線香から生成する粒子  
( $0.1 \mu\text{m}$ ) は拡散と重力の影響を  
受けにくい

蚊取り線香  
の粒径



日高重助, 仲谷秀博, 基礎粉体工学, p77, 日刊工業新聞社, 東京(2017)

実験装置構築です。燃焼場を蚊取り線香でモデル化し、そこから発生する汚染物質のうちガス状物質を蚊取り線香の燃焼で生じる  $\text{CO}_2$  で、粒子状物質を煙とみなして実験を行いました。 $\text{CO}_2$  の挙動は  $\text{CO}_2$  濃度で、微粒子の挙動は目視で観察しました。

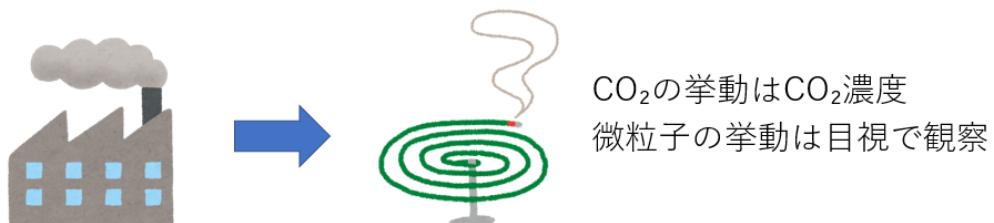
10/26

## 方法 実験装置を構築

燃焼場を蚊取り線香でモデル化

ガス→ $\text{CO}_2$

微粒子→煙 とみなした



こちらが実際に構築した実験装置です。三戸さんにサポートいただきました。システム①を構築したのですが、燃焼を伴うためもう少し空間が必要と考え、空いていた棚を貸していただきました。改良したものがシステム②です。この時点では装置内にポンプで風を流す予定だったため、ポンプと流量計を設置しましたが、蚊取り線香がCO<sub>2</sub>源、エアロゾル源、熱源を兼任する状況に加え風を流すと現象がより複雑化してしまうため、風を流すことをやめました。そのため最終的な実験装置はシステム③となりました。

11/26

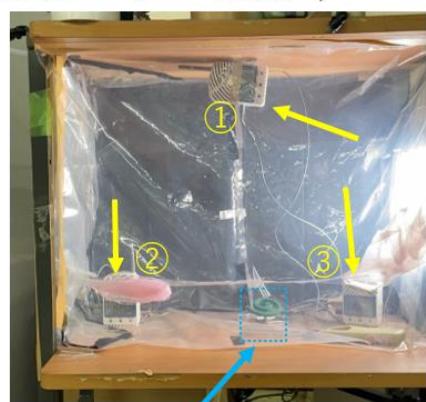
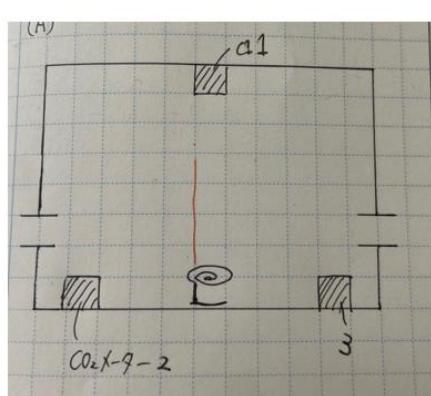
## 方法 実験装置を構築 (M2の三戸さんと一緒に)



3台のCO<sub>2</sub>メーターを上部と下部左右に設置し、その箇所でのCO<sub>2</sub>濃度、温度、湿度を測定しました。蚊取り線香は中心に設置しました。

12/26

## 方法 実験装置を構築 (3台のCO<sub>2</sub>メーターを設置)



CO<sub>2</sub>メーター：CO<sub>2</sub>濃度、温度、湿度を測定  
体積 80.9 L

流量計を使う予定だったので、三戸さんと市川さんとともに石鹼膜流量計を用いて校正を行いました。石鹼膜流量計の値（実流量）を縦軸に、ボールフローメーターの表示値を横軸にプロットし、右のグラフを作成しました。このグラフを用いてボールフローメーターの表示から実流量が求められます。

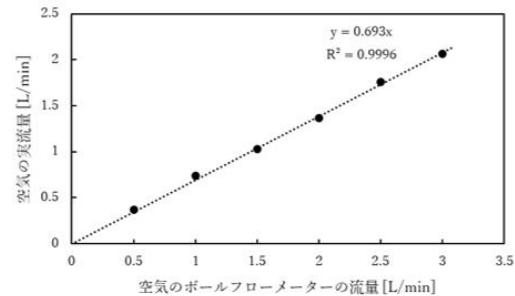
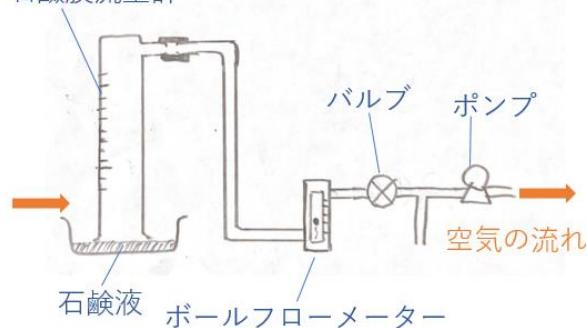
13/26

## 流量計の校正

(M2三戸さん、  
B4市川さんと一緒に)

- ボールフローメーターの表示から実流量が求められる。

石鹼膜流量計



実験方法です。こちらも三戸さんと市川さんにサポートしていただきました。装置内で蚊取り線香を燃やし、煙の挙動と CO<sub>2</sub>濃度と温度変化のデータを 3 回取りました。

14/26

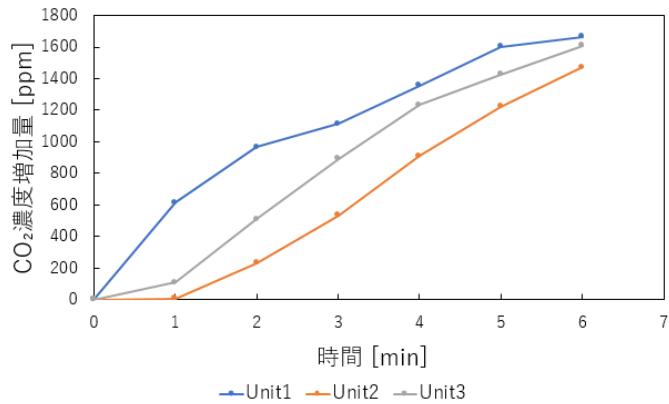
## 実験方法 (三戸さん、市川さんと一緒に)

- 1) チャンバーを密封し、中の蚊取り線香に着火ライターで火をつけた。
- 2) 火をつけた時を時刻 0 とし、CO<sub>2</sub>濃度、温度の経時変化を 6 分間測定した。
- 3) スマートフォンで動画を撮影し、煙の挙動を観察した。
- 4) 6 分後チャンバーを開放し、中の空気のCO<sub>2</sub>濃度を初期に戻した。
- 5) 1) ~ 4) を 3 回繰り返した。

得られたデータがこのグラフです。初期濃度からの増加量をグラフにしました。青の線が上部の、グレーとオレンジが下部の CO<sub>2</sub>メーターの計測値です。燃焼開始後すぐに濃度が3カ所すべて増加しました。また2分までは上部の増加が目立ち、差が見られましたが、6分後にはその差がほぼ無くなりました。

15/26

## 実験結果 CO<sub>2</sub>濃度変化 (センサー3台の計測値)

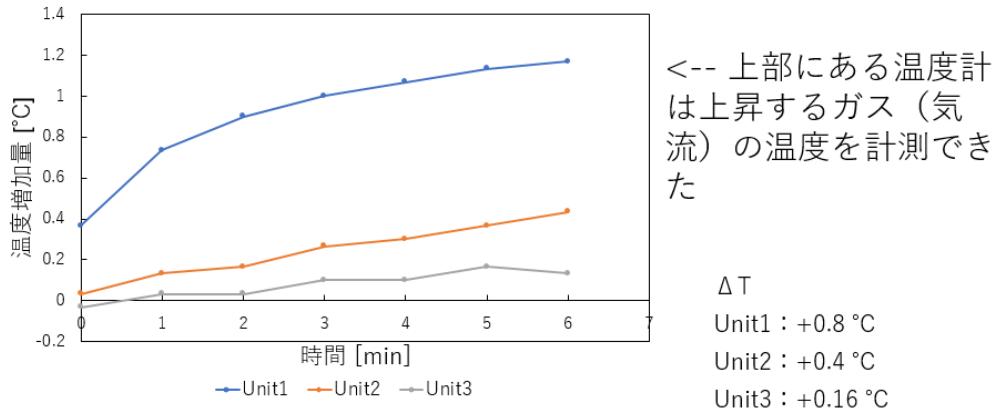


2分までは上下の差が見られたが、6分後にはその差がなくなる。

次に温度の計測結果です。上部に設置した CO<sub>2</sub>メーターは上昇するガスの温度を測定したことになります。上昇するガスは下部より温度が高く、時間とともに温度差が大きくなる結果となりました。

18/26

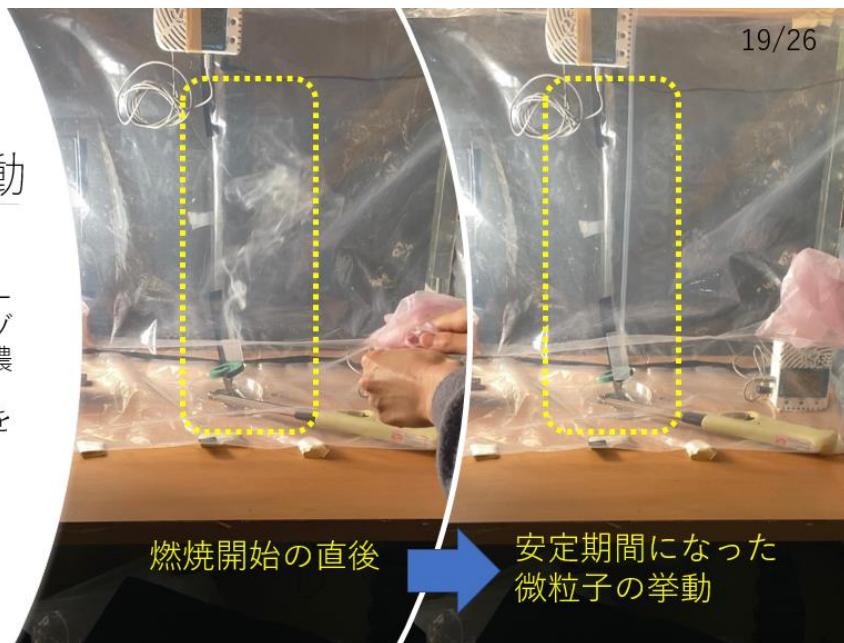
## 実験結果 温度変化 (センサー3台の計測値)



目視で観察した粒子の挙動がこちらです。粒子数カウンターで微粒子の個数濃度を測定しましたが、測定機器の上限を超えてしまったため目視で観察しました。

## 微粒子の挙動

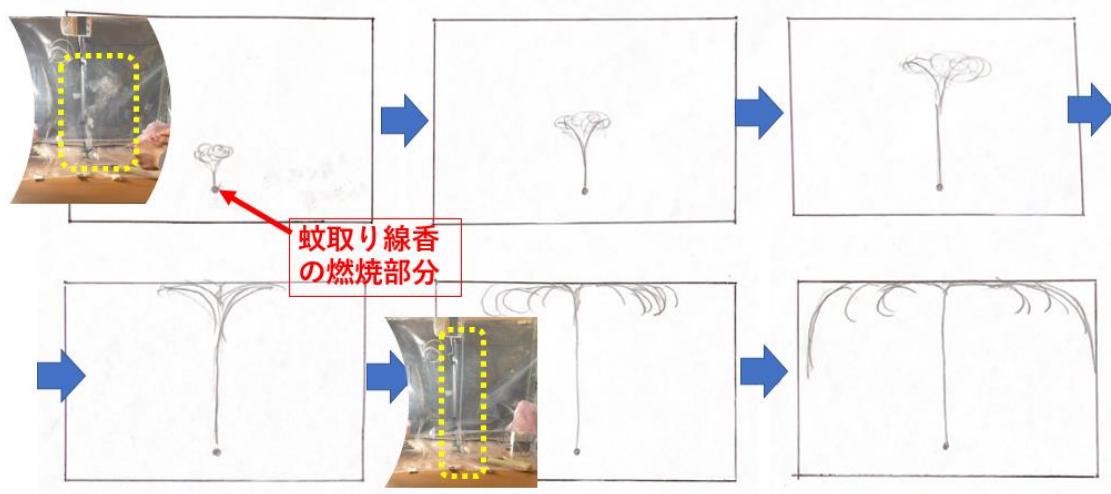
- 粒子数カウンターによってエアロゾル微粒子の個数濃度を計測したが、計測機器の上限を超ってしまった。



燃焼開始直後は煙の挙動は少し乱れつつ上昇し、約 30 秒で安定してまっすぐ上昇する様子が観察されました。これをイラスト化したものがこちらです。最後のイラストの状態になるまで約 1 分、煙が装置に充満するまでに約 3 分かかりました。

20/26

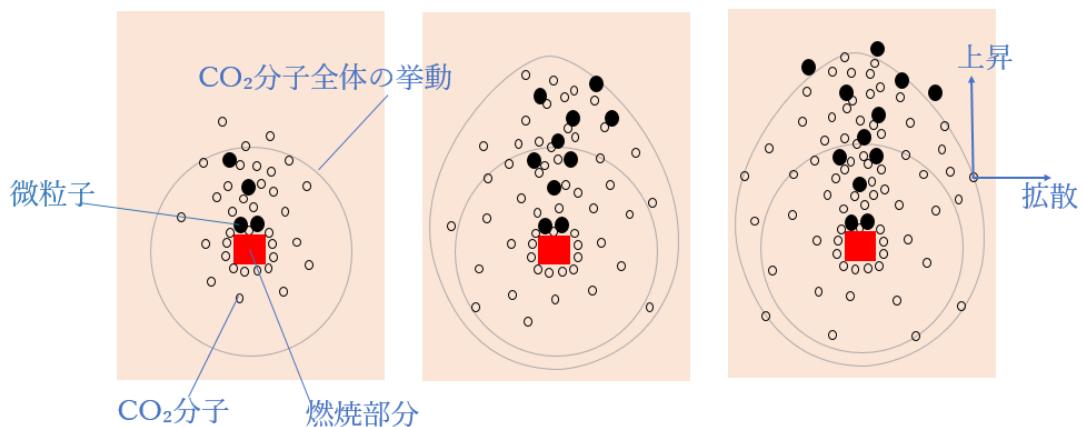
## 実験結果 煙の挙動 (1 min.までの様子)



これらの実験結果から微粒子と CO<sub>2</sub>分子の挙動を予想し、イラスト化しました。これは燃焼部分を拡大したイメージ図です。○の CO<sub>2</sub>分子は拡散現象により、全方向に広がっていきますが、熱運動により上昇する動きが加わります。したがってこの図のように上部に伸びた橢円のような形で広がっていくと考えました。またこの微粒子は拡散と重力の影響を受けにくいので CO<sub>2</sub>分子に押しのけられ上昇したのち、装置の天井にぶつかり跳ね返って下降したと考えました。

21/26

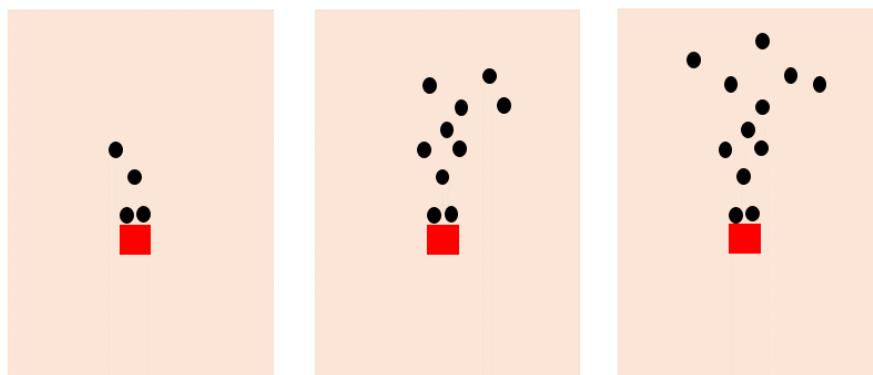
### 考察 燃焼部分に着目した (0.1 μm) 微粒子とCO<sub>2</sub>分子の挙動 (計測値からの予想図)



この図から実際に目に見える微粒子のみを残した図が次の図です。この図は実験で観察できた煙の様子と等しいといえます。

22/26

### 考察 燃焼部分に着目した (0.1 μm) 微粒子の挙動 (計測値からの予想図)

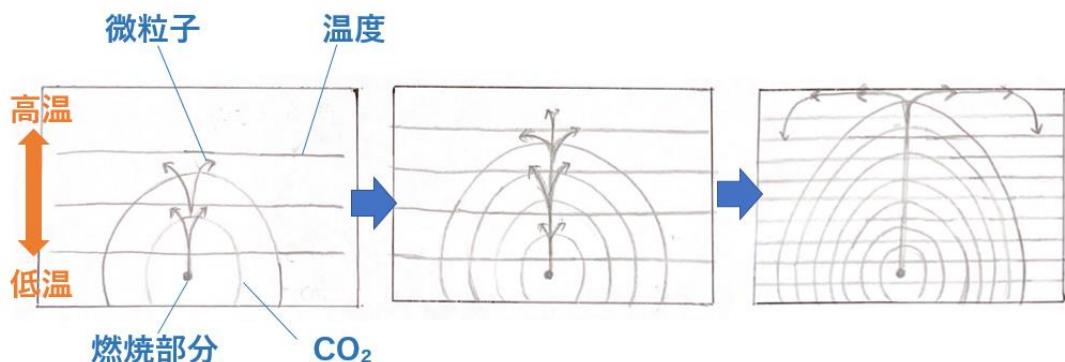


次に装置内全体の温度勾配、微粒子挙動、CO<sub>2</sub>の濃度勾配の予想図を作成しました。楕円型に拡散する CO<sub>2</sub>分子に押しのけられ微粒子が上昇する、そして燃焼部から熱エネルギーを得たガスが上昇することで温度勾配が生じる、と考察しました。これによって目に見えないガスと温度と、微粒子の挙動を可視化でき、文献やネット上にはない現象を見ることができました。

23/26

## 考察

装置内全体の温度勾配、微粒子挙動、CO<sub>2</sub>の濃度勾配  
(全体の予想：文献やネット上に発見できていない現象)

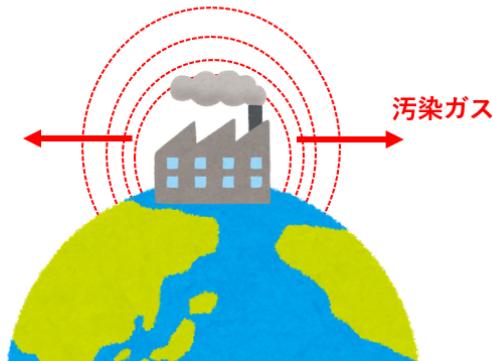


この実験から、燃焼場におけるガスと微粒子の挙動を「可視化」し、相互関係を明らかにすことができました。これを大気汚染につなげると、煙や砂などの微粒子は空気の流れに挙動が大きく左右されますが、汚染ガスは流れがなくとも拡散していくため地球全体の問題であるといえます。小規模な装置から地球規模の「汚染物質の広がり」現象を想像するきっかけとなりました。

24/26

## 結論

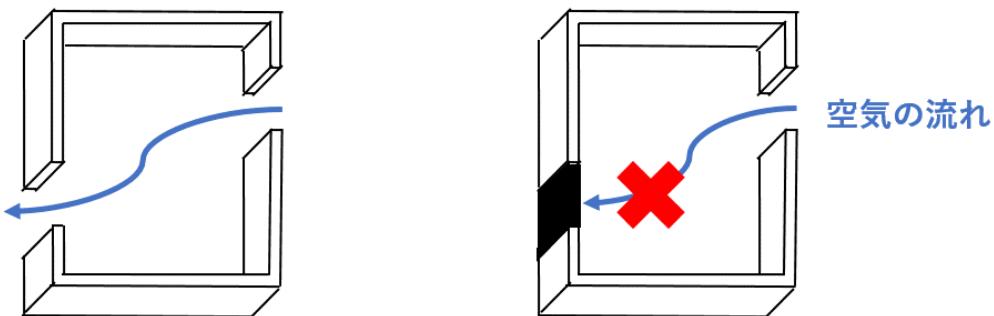
燃焼場におけるガスと微粒子の挙動を「可視化」し、相互関係を明らかにすことができた。小規模な装置から地球規模の「汚染物質の広がり」現象を想像するきっかけとなった。



また、近年流行しているコロナウイルスのエアロゾル粒子のサイズは本実験での煙の粒子サイズと同程度です。したがって拡散や重力の影響を受けにくく、空気の流れを受け漂っていると考えられます。このことからコロナ感染予防には 2 つ以上の窓やドアを開け、エアロゾル粒子を追い出す空気の流れを作ることが重要であるとわかりました。

25/26

## COVID19エアロゾル微粒子 ( $0.1 \mu\text{m}$ 前後) の対策 では 2 つ以上の窓・ドアを開ける必要がある



DAIKIN 窓のない部屋を自然に換気するには? | ダイキン (daikin.com.au)

今回ラボローテーションで実際にデータをとることで生データから、拡散現象や熱運動を学び、さらに大気汚染、ウイルス感染対策について考えることができました。また実験だけでなく、テーマ設定や文献調査、器具校正から実験装置構築まで、多くのことを実際に体験し学ぶことができ、座学とは違うとても貴重な経験でした。終始多大なご指導を賜ったレンゴロ先生に深謝いたします。また、三戸さん、市川さんをはじめレンゴロ研究室の先輩方には研究への多大なご助言、ご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。また、このような貴重な機会を設けてくださいり、ありがとうございました。