

令和4年度

理数科課題研究報告書

岡山県立津山高等学校理数科

目 次

[物理分野]

紫外線と加熱によるゴムの変化 1
井上 晋志, 古南 諒, 清水 康愷, 築山 怜央, 山本 康生, 山本 壮真

オイラーの円盤の重心による回転運動の変化 5
池内 聖悟, 内田 新大, 川端 陽人, 黒田 直幹, 後安 竜之介

平面上を流れる粘性流体の挙動の解析法 9
近藤 大輝, 坂手 清太朗, 高田 翔磨, 松永 悠真

野球バットのしなりの解析 13
須江 雄大, 寺元 宏輔, 水島 遼平, 水杉 晴紀, 山根 雄大

[化学分野]

鉛筆芯・チョークの強度と主成分含有率の関係 17
浅野 桜生, 杉山 虹太郎, 東木 柚太, 岡 碧, 田中 琴葉, 筒井 千智

The research for Rust ~Catalytic action of Titanium dioxide~ 21
飯綱 音羽, 日下 沙羅, 長尾 麻愛, 西原 果穂, 寄本 詩織

[生物分野]

放線菌の生産する抗生物質の探索 25
北村 風陽, 小林 善晴, 竹本 樹生, 宮城 和弘

古米の付加価値の検討~米の酸化とデンプンの消化性に関する研究~ 29
石井 凜々香, 武田 真依, 西下 安子, 西原 茉穂

・謝辞 33

[付録]

研究発表ポスター集 34 ~ 41

紫外線と加熱によるゴムの変化

研究者 井上 晋志, 古南 諒, 清水 康惺, 築山 怜央, 山本 康生, 山本 壮真
指導者 津田 拓郎, 戸田 祥太

Abstract

This study focused on rubber bands, a material widely used in our daily lives, and aimed to clarify the reasons for degradation and methods to prevent degradation. As a result, we found that irradiation of rubber bands with ultraviolet light causes deterioration and increases their resilience, and that heating the rubber bands brings their resilience close to that before irradiation with ultraviolet light.

1. 研究の概要

本研究は、身の回りに多く用いられている輪ゴムという物質に焦点を当て、劣化が起こる理由と劣化を防ぐための方法について明らかにすることを目的とした。その結果、輪ゴムに紫外線を照射することで劣化が起こって輪ゴムの弾性力が大きくなり、その輪ゴムを加熱することで弾性が紫外線照射前に近づくことが明らかとなった。

2. 研究内容

実験準備

はじめに、市販の輪ゴム（アイ・ジー・オー株式会社：直径 2.5cm）を使って、A～D のゴムを複数準備した。

- A：開封後何も操作をしていない輪ゴム
- B：90度で湯煎し加熱を1時間行った輪ゴム
- C：紫外線を3日間照射した輪ゴム
- D：紫外線を3日間照射し、その後90度で湯煎し加熱を1時間行った輪ゴム

また、そのうち各100本を使用して図1のゴムボールを複数作製し、以下の実験1で使用した。



図1 自作ゴムボール

3. 実験1

<目的>

壁にぶつけるといふ瞬間的な力学的負荷を加え、はね返りの幅（ここでは反発係数とする）から劣化の度合いを調べる。

<仮説>

紫外線・加熱の操作を施したゴムは、はね返りの幅が何も操作を施していないゴムよりも小さい。

<方法>

タコ糸でゴムボールを吊るし、振り子の様に降らせて鉛直に立てたホワイトボードに当て、跳ね返った幅から反発係数への影響を調べる。

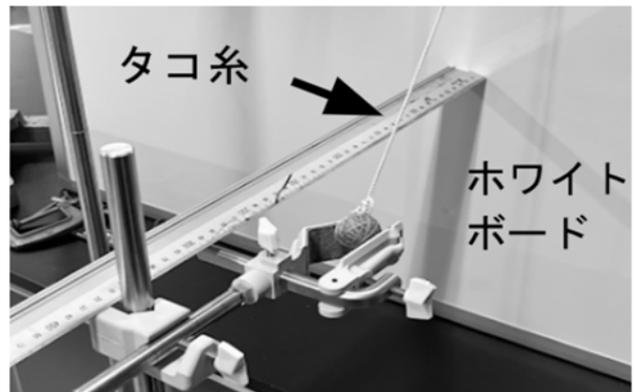


図2 実験1の装置

<実験 1 結果>

実験 1 について、図 2 より A~D いずれの輪ゴムを使ったゴムボールも反発係数に有意な差異は見られなかった。

跳ね返りの幅h (cm)

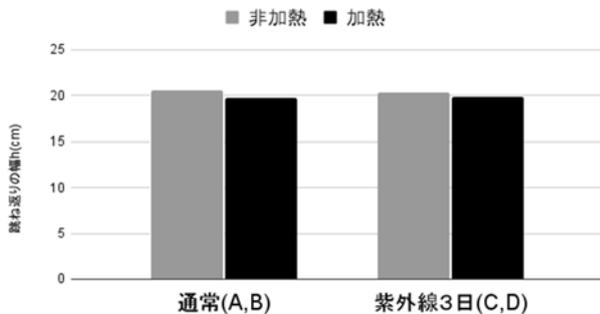


図 2 実験 1 結果

<実験 1 考察>

反発係数については結果にほとんど違いが見られなかった。その原因は反発係数を測るときに用いた実験方法では瞬間的な衝撃しか結果に反映されないため違いが決定的にあらわれなかったためだと考える。

4. 実験 2

<目的>

輪ゴムを伸ばす持続的な力学的負荷を加え、1cm 伸びるごとの弾性力を計測し劣化の度合いを調べる。

<仮説>

紫外線の照射と加熱操作によって輪ゴムが劣化し弾性が失われる。

<方法>

図 3 のように台車に輪ゴムを取付け、台車を水平に引いた際に輪ゴムが 1cm 伸びるごとの弾性力をニュートン測りで測定した。

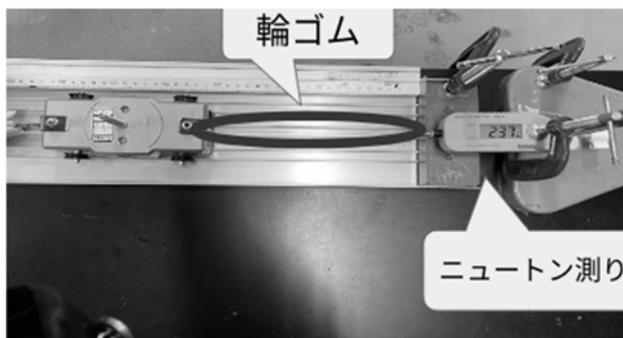


図 3 実験 2 の装置

<実験 2 結果>

図 4 より A (通常_のび, 縮み) と比べて、C (UV 3 日_のび, 縮み) は、輪ゴムを同じ長さに伸ばしたり縮めたりした際に発生する弾性力が大きくなっていることから、輪ゴムが硬くなっていると言える。しかし D (UV 3 日+heat_のび, 縮み) は弾性力が小さくなっていることから、輪ゴムが柔らかくなったといえる。これらの理由として、紫外線を照射することによって発生したオゾンにより有機物の結合が切断されることで輪ゴムが硬化し、加熱することにより切断を修復、もしくは新たな結合が生じたのではないかと考えられる。

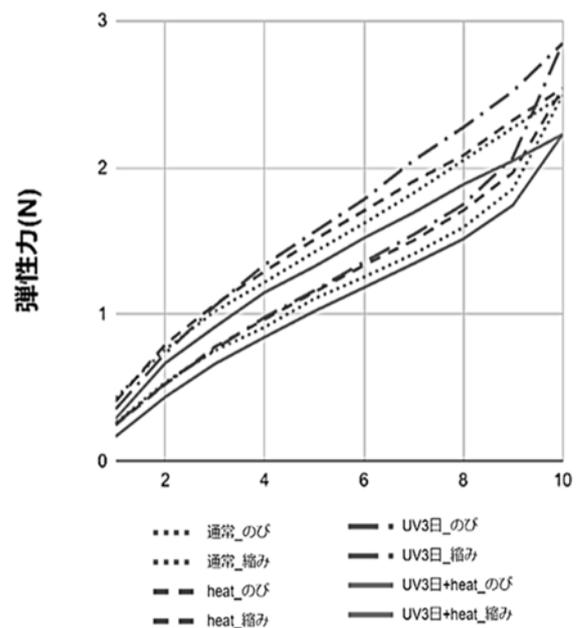


図 4 実験 2 の結果①

<実験 2 考察>

弾性力は紫外線を当てると大きくなり、加熱するともとに戻った。通常のゴムを加熱しても弾性力はほとんど変化しなかったことから、紫外線、あるいは紫外線が酸素と反応したオゾンがゴムに化学変化を起こし分子レベルでの切断が発生したと考えられる。そして紫外線を加えたゴムを加熱することにより弾性が戻ったことから加熱がゴムの分子構造を修復したのではないかと考察する。

のびと縮みの差

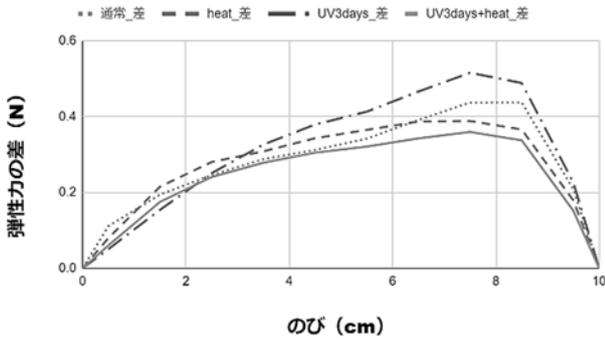


図5 実験2の結果②

次に力学的エネルギーの視点で考察を行う。図5よりA~Dすべての輪ゴムについて力を加えて伸ばす時と力を緩めて縮めた時で、同じ伸びでも弾性力の大きさが違うことに着目する。図4において折れ線と横軸との間の面積を S としたとき、 S は次の物理量を表している。

$$\begin{aligned} \text{面積 } S &= \text{弾性力 } F[\text{N}] \times \text{のび } x[\text{cm}] \\ &= \text{輪ゴムにした仕事 } W[\text{J}] \end{aligned}$$

そして、仕事とエネルギーの関係から、輪ゴムが蓄える弾性力による位置エネルギーと考えることができる。

A~Dそれぞれのグラフで伸びと縮みで囲まれた部分の面積は、輪ゴムを伸ばした時と縮めた時での弾性力による位置エネルギーの差を表しており、この面積をA~Dで比較するために、同じ伸びでの輪ゴムを伸ばす時と縮める時での弾性力の差を求め、図5にまとめた。図5より、グラフと横軸で囲まれた部分の面積が大きいほど、輪ゴムを縮めていくときに熱エネルギーとして外部に放出しているエネルギー量が大きいことを示している。即ち、輪ゴムとしては損失する弾性力による位置エネルギーが大きいことを示している。Cは他と比べエネルギーの損失が多いことがわかる。Cを加熱したDでは差は少なくなっていることから、力学的エネルギーの視点からも紫外線によりゴムが劣化し、加熱により元に戻ったと言える。

<実験2についての対照実験>

本実験においてB,Dを作成する際に加熱操作としてゴムを90度のお湯の中に1時間入れるという方法を使った。そのため、加熱ではなく水と触れることが変化の原因となった可能性が生じた。これを検証するためB,Dについて加熱に使用したお湯を常温の水に置き換える形で対照実験を行った。

方法は実験2と同じく、一定の長さのびたときの弾性力の大きさをニュートン測りを用いて計測し、結果をグラフ化した。

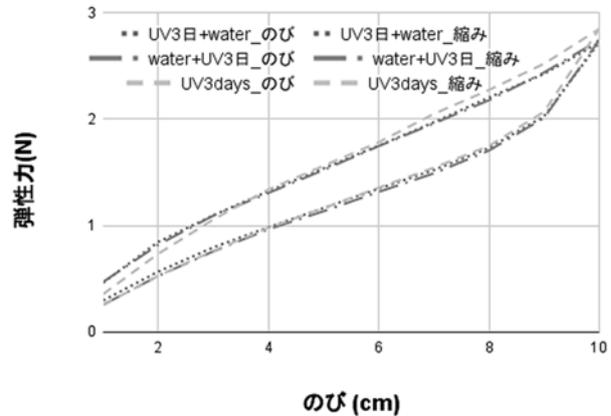


図6 対照実験の結果

図6より、どちらの輪ゴムもAとの間で弾性力の変化は殆ど見られなかった。よって、水は輪ゴムの弾性力に与える影響はなく、本研究では加熱によってのみ弾性力が変化したと結論付けた。

5. 結論

実験1より、AからCいずれの輪ゴムを使ったゴムボールも反発係数に大きな変化が見られなかったことから輪ゴムの劣化は、瞬間的な衝撃を加えた場合においてはあまり影響を与えないことが分かった。

実験2からは、紫外線の照射とそれにより発生したオゾンという2つの要因によってゴムが劣化することが分かった。また実験2の考察から、劣化したゴムを加熱することにより切断された結合が修復される、もしくは新たな結合が生まれ、弾性がもとに戻ると仮説を立てた。この検証方法については今後の課題であると言える。

6. 今後の展望

今回は持続的な負荷を与えるために輪ゴムを連続的に最長10cm伸ばす実験を行ったが、今後の研究ではこの方法を拡張し、輪ゴムが破断するまで伸ばした際ののびと弾性力のグラフを作成し分析を行うことで、輪ゴムの伸びと弾性力の一般的なグラフとの比較分析を実施したい。そして、ゴムの紫外線による劣化度合いをより正確に数値化することで、可視化を試みたい。

その他には、実験2考察でも述べたように、紫外線の照射と過熱により輪ゴム内での化学的な変化について実験により解明をしたい。そのため

に，操作前後での輪ゴムの表面や内部について物理的，化学的視点から探究することで総合的に分析を行いたい。

7. 謝辞

1年間研究を御指導いただいた津山工業高等専門学校のカ藤 学先生，曾利 仁先生，英語表現の御指導をいただいたに江原 Martina 先生に感謝申し上げます。

8. 引用・参考文献

- ・津山高校理数科 課題研究報告書「加硫の有無によるゴムの特性変化」2018年

オイラー円盤の重心による回転運動の変化

研究者 池内 聖悟 内田 新大 川端 陽人 黒田 直幹 後安 竜之介
指導者 津田 拓郎 戸田 祥太

Abstract

We investigated the rotational motion of an Eulerian disk by varying the center of gravity while changing the point of adhesion to the ground. The vertical and horizontal rotation times did not change when the center of gravity varied. However, the more the center of gravity was shifted from the center of the circle, the greater the difference in vertical half-rotation time became. After analyzing the factors that caused these results, we found that they could be explained by the law of conservation of momentum.

1. 研究の概要

私達は、地面との接地点を変化させながら回転運動を行うオイラー円盤の重心による回転運動の変化について研究を行った。重心を変化させたが、縦回転時間、横回転時間には変化が見られなかった。しかし、縦半回転時間には重心が円の中心からずれるほど大きな差異が現れるということが分かった。

このような結果が現れる要因を分析し、力学的エネルギー保存則を用いて重心が円の中心からずれるほど、ある瞬間の運動エネルギーと位置エネルギーの比が大きくなるということを結論付けた。

2. 序論

コマなどの回転物体は軸を中心として回転運動を行うが、円盤の縁を地面との接地点として、その接地点と金属円盤が同じ向きに回転運動を行うオイラー円盤にはどのような特徴があるのか疑問に思い、本研究に至った。研究方法として、重心の位置を変数とした横回転時間、縦回転時間、縦半回転時間の対照実験を行った。

3. 研究内容

重心の位置の異なる3種類の金属円盤（半径3.5cm、質量273g）を用意した。ずらした重心の位置は円盤の中心から0cm、0.0877cm、0.1778cmであり、それぞれを円盤1（図1）、円盤2（図2）、円盤3（図3）とする。

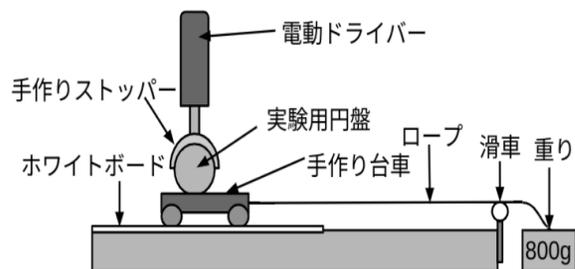


図4 実験装置の模式図

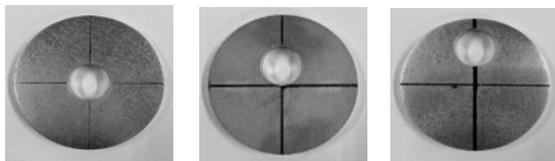


図1 円盤1 図2 円盤2 図3 円盤3

実験装置（図4）〈材料〉

電動ドライバー、手作りストッパー、台車、重り（800g）、ロープ、滑車、ホワイトボード



図5 実験装置の写真

〈実験Ⅰ：横回転時間の測定〉

横回転時間…円盤のある一点が一度正面に来てもう一度正面に来るまでの時間

- ①実験用円盤をストッパーにはめ、電動ドライバーを用いてそれぞれの円盤を台車の上で 15 回/s で回転させる。
- ②おもりを落下させ台車を 7.8N の力で引くことにより、ホワイトボード上に回転した円盤を落下させる。
- ③各円盤で①～③の操作を 10 回ずつ行い、円盤の回転を撮影する。
- ④円盤の黄色の印を基準とし真上から見たときの一周の時間を連続的に調べる。

〈実験Ⅰ結果〉

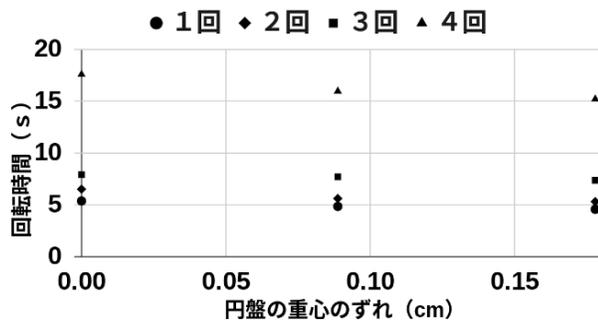


図6 重心のずれと横回転時間の関係

重心がずれても円盤の横回転時間に変化は見られなかった。

〈実験Ⅱ：縦回転時間の測定〉

縦回転時間…円盤につけられた四種類のシールのうち、青色のシール側の円盤の縁が接地してから再び青色のシール側の円盤の縁が接地するまでの時間 (図8)。

- ①実験用円盤をストッパーにはめて電動ドライバーを用いてそれぞれの円盤を台車の上で 15 回/s で回転させる。
- ②おもりを落下させて台車を 7.8N の力で引くことにより、ホワイトボード上に回転した円盤を落下させる。
- ③各円盤で①～③の操作を 10 回ずつ行い、円盤の回転を撮影する。
- ④撮影した動画をもとに、縦回転時間を測定する。

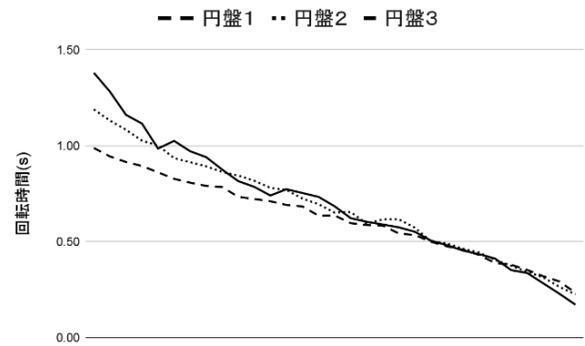


図7 重心のずれと縦回転時間の関係

重心がずれても円盤の縦回転時間に変化は見られなかった。

〈実験Ⅰ, Ⅱの考察〉

重心の変化は横回転時間、縦回転時間に影響を及ぼさない。しかし、円盤運動を観察すると明らかに回転の様子に差異が見られることから、半回転運動の分析 (実験Ⅲ) を行った。

〈実験Ⅲ：縦半回転時間の測定〉

縦半回転時間…円盤につけられた四種類のシールのうち青色のシール側の円盤の縁が地面に接してから白色のシール側の円盤の縁が地面に接するまでの時間 (T_A) (図8) と、白色のシール側の円盤の縁が地面に接してから青色のシール側の円盤の縁が地面に接するまでの時間 (T_B) (図8)。

- ①実験用円盤をストッパーにはめ、電動ドライバーを用いてそれぞれの円盤を台車の上で 15 回/s で回転させる。
- ②おもりを落下させ、台車を 7.8N の力で引くことにより、ホワイトボード上に回転した円盤を落下させる。
- ③各円盤で、この操作を 10 回ずつ行い、円盤の回転を撮影する。
- ④撮影した動画をもとに、各円盤の半回転時間 T_A , T_B を円盤の回転が終わるまで測定する。

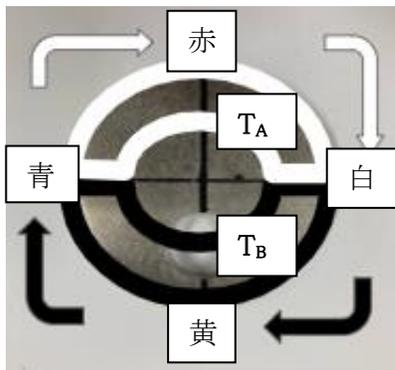


図8 縦回転・縦半回転運動の回転の方向と印

〈実験Ⅲ結果〉

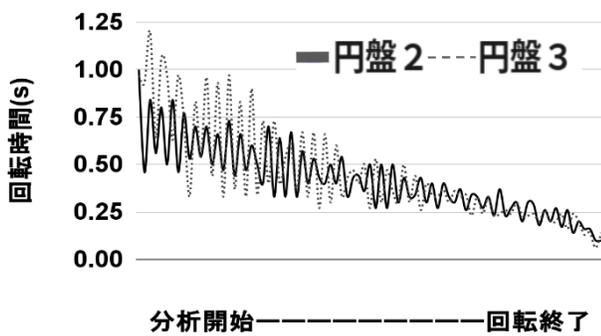


図9 重心のずれと縦半回転時間の関係

(図9)のグラフは T_A , T_B の値が交互に並んだグラフである。 $T_A < T_B$ となっておりグラフは振動している。円盤2より円盤3のほうが $T_A - T_B$ 間の差が大きくなった。

〈実験Ⅲ考察〉

実験Ⅲの結果より重心が中心からずれるにつれ縦半回転時間に大きな差異が観察された。

- (1) 一つの円盤の縦半回転時間 T_A , T_B に差異があるのはなぜか
- (2) 円盤2よりも円盤3のほうが大きな振動がみられるのはなぜか。

- (1) 一つの円盤の縦半回転時間 T_A , T_B に差異があるのはなぜか。

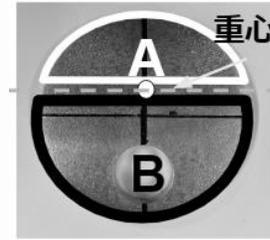


図10 円盤の重さ

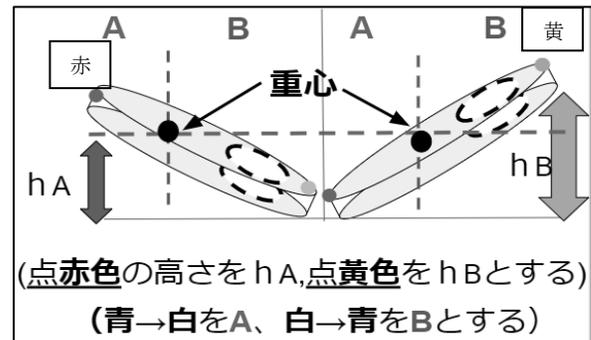


図11 (1)の考察

それぞれの円盤が持つエネルギーの和は全て等しい。質量は円盤を重心位置で分けて $A=B$ である。力学的エネルギー保存則より位置エネルギーは

$$mgh_A < mgh_B$$

であるので、運動エネルギーは

$$\frac{1}{2}mV_A^2 > \frac{1}{2}mV_B^2$$

となる。よって半周にかかる時間は T_A のほうが早くなる。(図10, 11)

(2) 円盤 2 よりも円盤 3 のほうが大きな振動がみられるのはなぜか。

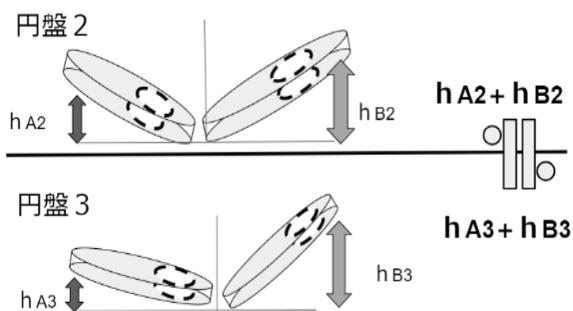


図 1 2 (2) の考察

円盤 2 と円盤 3 で比べると

$$h_{A2} + h_{B2} = h_{A3} + h_{B3}$$

となる。また

$$h_{A2} > h_{A3}, \quad h_{B2} < h_{B3}$$

となるため

$$mgh_{A2} > mgh_{A3}, \quad mgh_{B2} < mgh_{B3}$$

となる。よって円盤 2 と円盤 3 とで運動エネルギーは

$$\frac{1}{2}mv_{A2}^2 > \frac{1}{2}mv_{A3}^2, \quad \frac{1}{2}mv_{B2}^2 < \frac{1}{2}mv_{B3}^2$$

となるため、円盤 2、円盤 3 とで A と B にそれぞれ使われる運動エネルギーの比に大きな差異がみられ、よって円盤 2 よりも円盤 3 のグラフのほうがグラフに大きな振動がみられる。(図 1 2)

4. 結論

円盤の重心を変化させると一回転にかかる時間は変化しないが、半回転に注目すると時間に差異が見られる。重心の位置が円盤の中心から離れるほどその差異は大きくなる。

5. 今後の展望

今回は器具の配置の関係で横回転運動を横からしか撮影することができなかつたため、撮影環境を改善して上から撮影し、より立体的で正確なデータ収集を行いたい。また、立てた考察の実証実験を行いたい。回転運動の解析には欠かせないジャイロ効果についても焦点を当て、本研究を更に深めていきたい。

6. 謝辞

本研究において実験計画や分析方法など多くの貴重なアドバイスを津山工業高等専門学校に加藤学先生、曾利仁先生にいただきました。また英語での研究表現では江原 Martina 先生に御指導いただきました。大変ありがとうございました。

7. 参考文献

オイラーディスクの物理学 2022 年 5 月 28 日
https://dragonflare.blog.jp/archives/Euler_disk.ht

The Official Euler's Disk website 2022 年 5 月 4 日
<http://www.eulersdisk.com/>

平面上を流れる粘性流体の挙動の解析法

研究者 近藤 大輝, 坂手 清太郎, 高田 翔磨, 松永 悠真
指導者 津田 拓郎, 戸田 祥太

Abstract

The objective of this study was to establish an analytical method for predicting actual flood damage by reproducing mudflows in a viscous liquid and examining the spreading of the liquid. The research method was to release a certain amount of liquid onto a plane and measure the spreading of the liquid using ImageJ.

We determined the relationship between time, viscosity, and area of expansion. We obtained the relationship between time, viscosity, and the expanding area. The results showed that the expansion time of the liquid was proportional to the area, and that the viscosity of the liquid was proportional to the expansion area of the liquid.

The results show that there is a negative correlation between the viscosity of the liquid and the expanded area of the liquid, ranging from -0.6 to -0.8.

1. 研究の概要

本研究は、洪水被害の予測方法の確立を目的として、粘性流体の広がり方についての分析を行った。泥流を再現した粘性流体を、平面上に一定量ずつ放出し、液体の広がり方をImageJを用いて測定し、時間、粘性、広がる面積の関係式を算出した。実験の結果、時間と液体の広がる面積は比例関係にあり、粘性と液体の広がる面積には負の相関があることが分かった。この結果をもとに、実際の洪水の被害記録を用いてデータの有意性を調べていく予定である。また、液体の波の挙動や、水量、流れ出す口の部分の形状を変化させ、液体の広がりにどのような関係があるかを調べていきたい。

2. 序論

本研究は、はじめは液体だけでなく身の回りの流体全体を研究の視野に入れてテーマ設定を行っていたが、班内の協議や様々な先行研究の調査結果をもとに、方向性を絞っていった。近年日本国内での水害は増加傾向にあり、水害分析に関する研究に班員が興味を持った。また、平成30年に起こった西日本豪雨によって岡山県倉敷市真備町が浸水してしまったニュースを見て、な

にか水害に関わる研究をしようと考え、実際の粘性流体を斜面上に流し、画像処理ソフトを用いて分析する方法を選択した。そして、2020年度砂防学会研究発表会で発表された九州大学農学部の「平成27年に鹿児島県深港川で発生した泥流の3次元計算による再現」の粘性流体を使用して土石流を再現している実験を参考にし、本研究では粘性を変えたときの流体の広がり方につ

いて研究を行うことにした。

3. 研究内容

<目的>

平面上を流れる流体の粘性と拡大面積の関係性を明らかにする。

<仮説>

流体の粘性と拡大面積には反比例の関係がある。

<方法>

- ①粘度の異なる液体を用意し、平面上を流れる様子を撮影する。
- ②IMAGEJを用いて単位時間あたりの広がりを記録し、粘度と広がる面積の関係性を調べる。

【実験1】

<目的>

片栗粉を入れる量による粘度の違いを調べる。

<仮説>

片栗粉を溶かす量を多くするほど粘度も高くなる。

<方法>

- ①50%の片栗粉を溶かした溶液を作成する。
- ②80℃の熱湯にゆっくりと回し入れながら混ぜる。
- ③粘度計を用いてそれぞれの液体の粘度を計測する。
- ④片栗粉の濃度と粘性の関係性を調べる。

<結果>

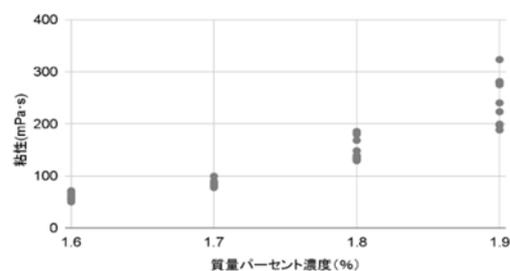


図1 片栗粉の濃度と粘度の関係

粘度は濃度に正の相関を持ち、同じ濃度でもばらつきが大きくなり、特に濃度が高いほどばらつきが大きくなった。

<考察>

- ・粘度測定中の水の蒸発や水温の変化により同じ粘度にばらつきがみられた。このことから、様々な値を用いて実験しようと考えた。
- ・50mPa・sより大きな粘度しか正確に測れず、水(1.00mPa・s)との粘性の差が大きいため、水と粘性流体(1.6~1.9%)と分けて実験しようと考えた。

【実験2】

<目的>

実験1で用いた液体の、平面上での広がりの違いを調べる。

<方法>

- ①傾斜角20°の板から、実験1で用いた液体を傾斜をつけた平面に流す。
- ②2秒間隔で撮影した写真をもとに、液体が広がった面積を調べる。これらの平面の角度、液体の粘度を変えて行う。

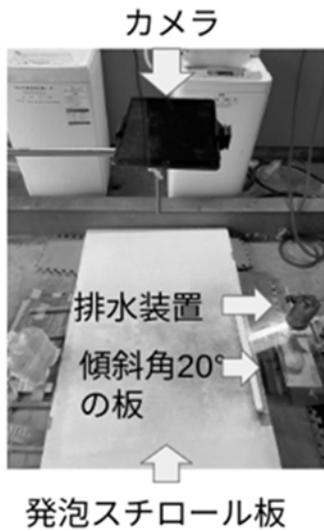


図2 実験装置

<結果>

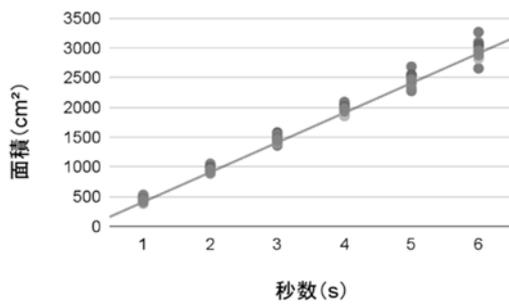


図3 傾斜0° 時間と拡大面積の関係

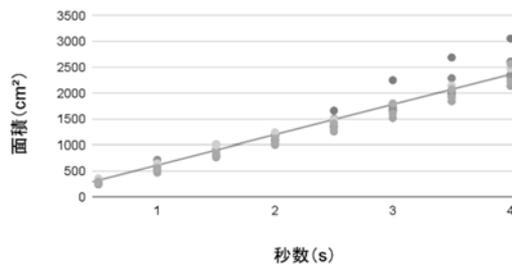


図4 傾斜1° 時間と拡大面積の関係

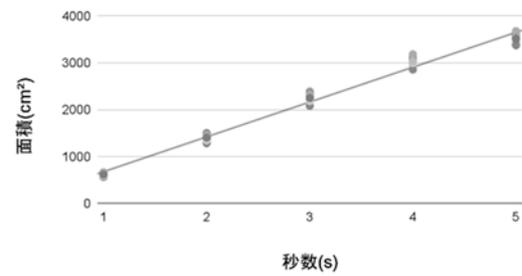


図5 傾斜2° 時間と拡大面積の関係

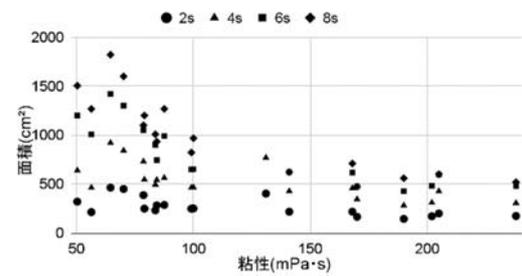


図6 傾斜1° 粘性と拡大面積の関係

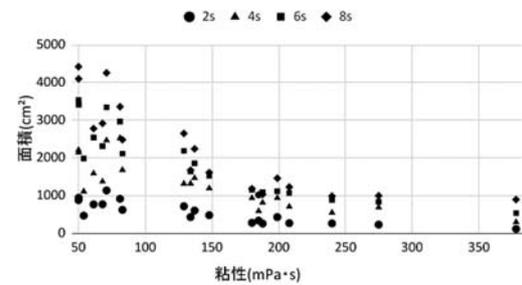


図7 傾斜2° 粘性と拡大面積の関係

液体の粘性と一定の時刻での面積には負の相関がある。また、時間が経過するにつれて拡大面積の値のばらつきが大きくなっている。

<考察>

粘性が大きくなるほど液体と斜面との間の摩擦力が大きくなったため、液体の粘性と拡大面積との間に強い負の相関がみられる。

たとえる。また、実験で使用する液体の温度が時間経過により下がったことや、液体を流す発泡スチロールが劣化し、表面の状態が変化したことによって、実験結果にばらつきが生じたと考えられる。

4. 結論

液体の粘性と拡大面積との間に強い負の相関が見られた理由として、粘性が大きくなるほど液体と斜面との間の摩擦力が大きくなるためであると考察した。粘性が大きいほど流体は固体のように摩擦力の影響を受けやすくなり、そのため流体の速度が小さくなることで、拡大面積が小さくなったことが考えられる。また、今回用いた装置よりも大規模なものを用い、地形や土石流を実際の土壌を用いて再現することによって、より実際の洪水時の条件に近づけることが可能である。さらに実験を行い、データを集めることによって、洪水被害の予測法が確立していきたい。

5. 謝辞

本研究において実験計画や分析方法など多くの貴重なアドバイスを津山工業高等専門学校に加藤 学先生、曾利 仁先生にいただきました。また英語での研究表現では江原 Martina 先生に御指導いただきました。大変ありがとうございました。

6. 参考文献

横木裕宗, 戸村達也, 埴尚幸, 三村信男.
”気候変動に伴う洪水・氾濫リスクの将来予測” 地球シンポジウム講演論文集 16 巻
(2008)

新砂防(現在:砂防学会誌) 1992年から1993年の講座:土石流 全 10 回 から講座:土石流-5 土石流 流動 のメカニズム(1)

九州大学農学部 土谷麻菜, 江藤稚佳子, 水野秀明, 久保田哲也”平成 27 年 鹿児島県深港川で発生した泥流の 3 次元計算による再現”

野球バットのしなりの解析

研究者 須江 雄大, 寺元 宏輔, 水島 遼平, 水杉 晴紀, 山根 雄大
指導者 津田 拓郎, 戸田 祥太

Abstract

The purpose of this study was to clarify the angular velocity of rotating objects and the degree of bending of a baseball bat during a swing by bringing the bat to a sudden standstill and then observing the bending of the bat as it shifted from the radial direction.

The research method was to attach angular velocity measuring devices at equal intervals to vinyl chloride pipes of different thicknesses, rotate the vinyl chloride pipes at a constant angular velocity, and then bring the pipes to a sudden standstill. Then, we measured the change in angular velocity until the vinyl chloride pipes came to rest, and we created a graph showing the outline of the flexure. We measured the degree of suppleness of the PVC pipe and the bat in the stationary state, and we estimated the degree of suppleness of the bat by applying the results to the rotation state.

Finally, we estimated the degree of flexure of the bat by applying it to the swing of the bat. The results showed that the bat flexed about 1.1 cm at the tip during the swinging phase.

1. 研究の概要

本研究は、野球のスイング時にバットを急激に静止させることで、バット半径方向からずれてしなっている画像を見て、回転物体の角速度としなりの度合いについて明らかにすることを目的とした。

研究方法は、太さの異なる塩化ビニルパイプに等間隔で角速度計測器をつけ、塩化ビニルパイプを一定の角速度で回転させた後、急激に静止させた。そして塩化ビニルパイプが静止するまでの角速度の変化を測定し、しなりの概要を示すグラフを作成した。グラフから静止状態での塩化ビニルパイプとバットそれぞれのしなりの程度について測定し、それを回転時に当てはめることでバットのしなり具合を推測した。

その結果、バットのスイング時において、先端で約 1.1cm のしなりが起きていることが明らかになった。

2. 序論

<研究における定義>

本研究では、バットを振った時にバットの進行方向に対して逆側のしなり方を「通常しなり」、進行方向にしなるしなり方を「逆しなり」とする。

<研究動機・目的>

プロ野球選手がスイング中にバットを急激に停止させると、バットが半径方向からずれてしなっている画像があることを知り、スイング時の角速度とバットのしなりの度合いを明らかにしたいと考えた。

3. 研究内容

2つの実験を行い、物体のしなりを測定した。

(1) 静止物体のしなりについての実験【実験 1】

<目的>

しなり度合いの尺度となる 1N あたりの変位の $\Delta x / F$ [cm/N] を算出する。

<仮説>

バットの直径が大きくなるにつれ、1N あたりの変位 $\Delta x / F$ [cm/N] が小さくなる考えた。

<方法>

- ① 図1のように、長さが同じ1mで太さの異なる塩化ビニルパイプ3本（細：直径1.8cm, 中：直径2.1cm, 太：直径2.5cm）と木製バットをそれぞれ設置し、中点にレーザー光源を取り付けて壁面にレーザー光を照射した。
- ② ばねばかりで中点に鉛直下向きに力を加え、壁面に照射したレーザー光の変位 Δx [cm]を測定した。

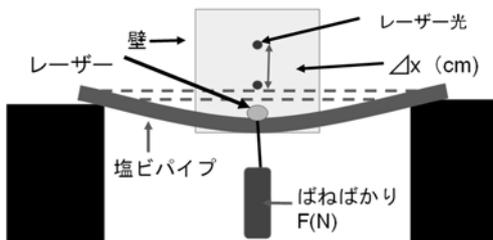


図1 【実験1】装置（模式図）

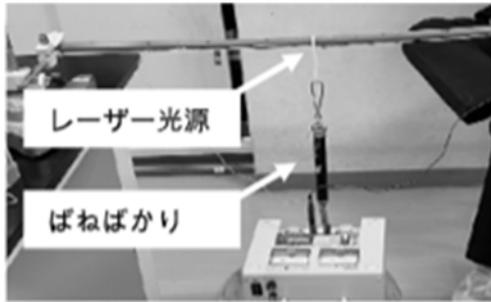


図2 【実験1】装置

(2) 回転物体のしなりについての実験 【実験2】

<目的>

角速度計測器を付けた各点の角速度を計測し、角速度変化を求める。

<仮説>

先端部分の角速度変化が大きくなると思った。

<方法>

- ① 角速度計測器（ポケットラボ）を実験（1）で用いた3種類の塩化ビニルパイプに10cmごとに10カ所取り付けた。

- ② インパクトドライバーを用いて、塩化ビニルパイプを3.45回/sで回転させ（図2）、10回転目に回転の中心から約30cmの地点に鉄の棒を差し込み（これを $t=0$ とする）、回転を停止させた。そして、塩化ビニルパイプが静止するまでの各点の角速度変化をChromebookを用いて記録した。



図3 【実験2】装置

4. 研究結果

(1) 【実験1】結果

測定結果から1Nあたりの変位 $\Delta x / F$ [cm/N]を算出し表1にまとめた。塩化ビニルパイプの直径が大きくなるほど、1Nあたりの変位は小さくなることが明らかとなった。また、この値を実験2の結果を分析する際の「しなり度合の尺度」とした（図3）。

表1 実験1結果

| 種類 | 直径 (cm) | $\Delta x / F \times 10^{-2}$ (cm/N) |
|----------|---------|--------------------------------------|
| 塩化ビニルパイプ | 細 | 1.8 |
| | 中 | 2.1 |
| | 太 | 2.5 |
| 木製バット | 6.6 | 0.20 |

(2) 【実験2】結果①

【実験2】の角速度計測器での測定結果から、隣り合っている角速度計測器の角速度の差を算出し、回転の中心からの距離と角速度の差の変化を表すグラフを0.1秒ごとで作成した（図4）。

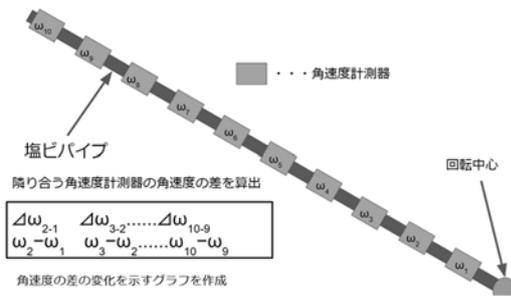


図4 実験2結果①の分析方法

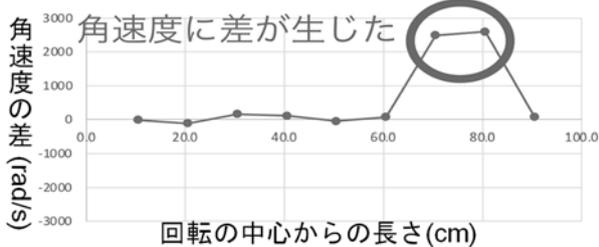


図5 角速度の差の結果①

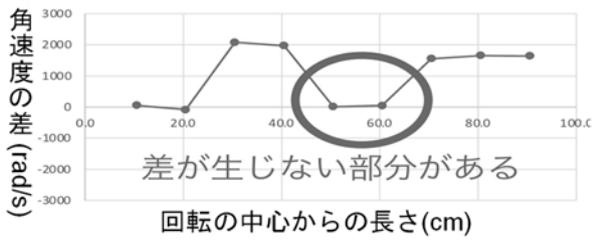


図6 角速度の差の結果②

図5・6より回転を停止させた直後にグラフの赤丸の部分で角速度に差が生じ、しなっていることがわかった。また回転を停止させてからしばらくの間、角速度の差が生じない節のような箇所があることがわかった。

(3) 【実験2】結果②

次に、回転を停止した直後のバットのしなり度合を推測するために、【実験2】の測定結果を用いて塩化ビニルパイプのしなりの様相を以下の手順で分析した。

① 回転を停止させた瞬間から塩化ビニルパイプがしなりきり静止する（=先端の角速度計測器の角速度が 0rad/s になる）までの $\omega-t$ グラフを作成した。

② $\theta = \omega t$ より、 $\omega-t$ グラフと t 軸で囲まれる部分の面積を算出し、回転を止めた瞬間から塩化ビニルパイプがしなりきるまでに、各角速度計測器が回転した角度 θ を算出した。

③ ②で求めた θ を用いて、三角比からそれぞれの角速度計測器が回転を止めた瞬間からしなりきるまでに移動した変位を算出し（図7）、塩化ビニルパイプのしなりの様相をグラフ化した（図8点線）。

④ 実験1のしなり度合いの尺度から推測されるバットのしなりの様相をグラフ化した（図8実線）。

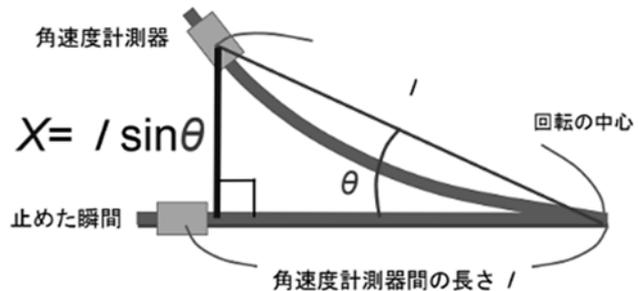


図7 しなりの変位の算出法

図8より、回転が停止した後、塩化ビニルパイプの先端部分は最大で約 83cm しなっていることが明らかになった。そして【実験1】で求めた「しなり度合いの尺度」を用いて、インパクトドライバーの回転数（=3.45回/s）でバットを回転させたときのしなりを予測した結果、約 1.1cm しなることがわかった。

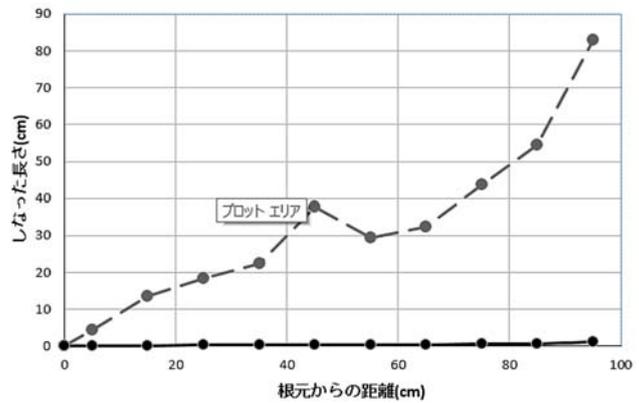


図8 バットのしなりの予測結果

5. 考察

最後に本研究で求めた野球バットを回転中に急激に停止させた際のしなりに関する予測結果と、プロ野球選手のスイング中のバットのしなり度合について比較するために、力学的エネルギー保存則を用いて考察を行った。

回転する塩化ビニルパイプは停止する直前に運動エネルギー $\frac{1}{2}mv^2$ を持ち、塩化ビニルパイプを弾性体とみなせば、最もしなっているときの弾性エネルギーは $\frac{1}{2}kx^2$ (k : 弾性定数) と表すことができる。力学的エネルギー保存則より、

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kx^2$$

となり、最大変位 x は

$$x = v \sqrt{\frac{m}{k}}$$

と表すことができ、最大変位 x は速さ v に比例すると言える。そして、今回研究に用いた画像のプロ野球選手について、スイング時の最高速度は 160.2km/h であり、今回使用したインパクトドライバーの回転速度の 3.45 回/s (=76.9km/h) の約 2.1 倍である。したがってプロ野球選手のスイング時を急激に停止させると $1.1 \times 2.1 =$ 約 2.3cm バットがしなると考えられる。画像におけるバットのしなりは、ボールの大きさから推測すると約 11.8cm しなっていると推測されることから、本研究で予測したしなりの値と比べ大きく、この画像におけるバットのしなりはバットのしなりだけでなく撮影時に被写体が歪んで見えている可能性が高いことが明らかとなった。

6. 謝辞

本研究において実験計画や分析方法など多くの貴重なアドバイスを津山工業高等専門学校の加藤 学先生、曾利 仁先生にいただきました。また英語での研究表現では江原 Martina 先生に御指導いただきました。先生方たいへんありがとうございました。

7. 引用・参考文献

・産経スポーツ新聞 (2016.10.07)

鉛筆芯・チョークの強度と主成分含有率の関係

研究者 筒井 千智, 岡 碧, 杉山 虹太郎, 浅野 桜生, 東木 柚太, 田中 琴葉

指導者 篠山 優也, 井上 直樹, 久保 真良, 津田 拓郎

Abstract

Our research was aimed at clarifying the relationship between strength and main component content in each pencil lead and chalk. First, we hypothesized that the higher the graphite content, the weaker the strength of the pencil lead is and the more likely the pencil lead will break. This is because when the graphite content, the main component of pencil lead, is high, the pencil lead becomes correspondingly softer. Second, we hypothesized that chalk with higher main ingredient content is less likely to break. This is because chalk is made by mixing materials and water, molding, and drying. We conducted experiments on the above two hypotheses. As a result, we were able to prove that pencil lead with higher graphite content was more likely to break, but we were unable to show a relationship between the main component content and the strength of chalk.

1. 研究の概要

鉛筆芯・チョークのそれぞれについて強度と主成分含有率の関係を明らかにすることを目的として研究を行った。鉛筆芯の主成分である黒鉛が多く含まれるほど柔らかくなるため、黒鉛含有率が高いものほど強度が弱くなり、折れやすいと仮説を立てた。また、チョークは材料と水を混ぜて成型し乾燥させることによって作られるため、主成分含有率の高いチョークほど折れにくいと考え、実験を行った。その結果、鉛筆芯は黒鉛含有率の高いものほど折れやすいと証明できたが、チョークは主成分含有率と強度の関係を示すことができなかった。

2. 序論

鉛筆やチョークなどの昔から学校で使われてきた筆記用具は、それらの代替となるものが開発されたことによって徐々に姿を消しつつある。現在は高校生のほとんどがシャープペンシルを使い、多くの学校でホワイトボードが導入されている。しかしホワイトボードは照明を反射するだけでなく、使うほどにマーカーの色が薄くなり、文字は見えづらくなっていく。そのため私達は、今後もチョークと緑色の黒板は使用され続けると考えた。本研究の目的は、書きやすさの指標の1つである強度と主成分含有率の関係を明らかにし、今後、より良い鉛筆やチョークの開発につなげることである。

3. 実験に用いた製品

〈炭酸カルシウム製チョーク〉

- ・ダストレスチョーク 日本理化学工業 (株)
- ・CC チョーク (株) 馬印
- ・セラミックチョーク 日本白墨工業 (株)

〈硫酸カルシウム製チョーク〉

- ・ホケンソフトチョーク 日本理化学工業 (株)
- ・スクールチョーク (株) 馬印
- ・天神印チョーク 日本白墨工業 (株)
- ・チョーク (株) デビカ

以下製品名の「チョーク」を省略する。

〈鉛筆〉

- ・ 8900 2B・2H (株) トンボ鉛筆
- ・ 事務用鉛筆 9800 2B・2H 三菱鉛筆 (株)
- ・ ユニ 6B・6H 三菱鉛筆 (株)

以下、トンボ 2B・2H、三菱 2B・2H、ユニ 6B・6H とする。

4. 研究内容

ガスバーナーを用いて鉛筆の木の部分を燃やし、鉛筆芯を取り出した。

①実験1 鉛筆芯の黒鉛含有率決定

〈方法〉

鉛筆芯を電気炉に入れ、1000℃で2時間加熱して黒鉛を完全燃焼させた。



(1)より、減少した質量は黒鉛が完全燃焼して生じたCO₂によるものだと考え、鉛筆芯の黒鉛含有率を求めた。

〈結果〉

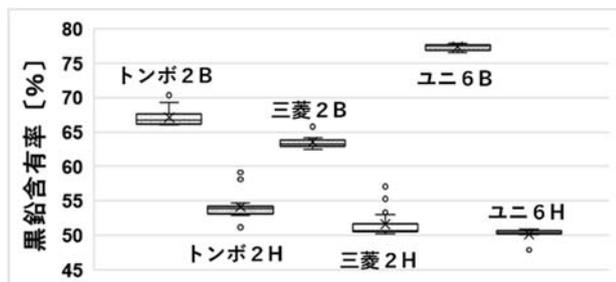


図1 黒鉛含有率

6B~6Hの順に黒鉛含有率が低くなっており、メーカーのホームページに書いてある情報と適合する。

②実験2 鉛筆芯の強度測定

〈方法〉

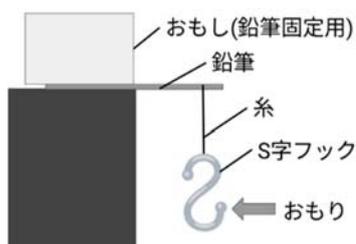


図2 鉛筆芯の強度測定装置

図2の装置を用いて鉛筆芯の強度測定を行った。鉛筆芯が折れたときに吊り下げていたおもりの質量を量り、力のモーメントを指標として強度を求めた。

〈結果〉

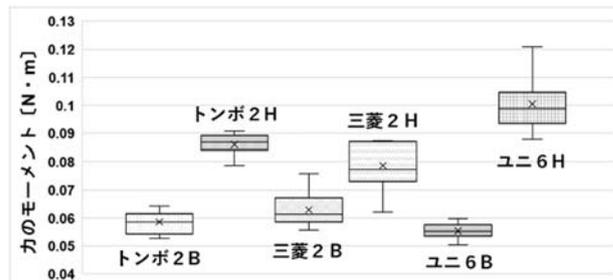


図3 鉛筆芯の強度

6B~6Hの順に強度が高くなっているといえる。

③実験3 CaCO₃製チョークのCaCO₃含有率決定

〈方法〉

純正CaCO₃の粉末(ナカライテスク一級)、CaCO₃製のチョークを削り粉末にしたものをそれぞれ12 mol/L塩酸に溶かし、10倍希釈した。それを試料としてキレート滴定を行い、溶液中のCa²⁺の物質量を求めることによりCaCO₃の含有率を調べた。

〈結果〉

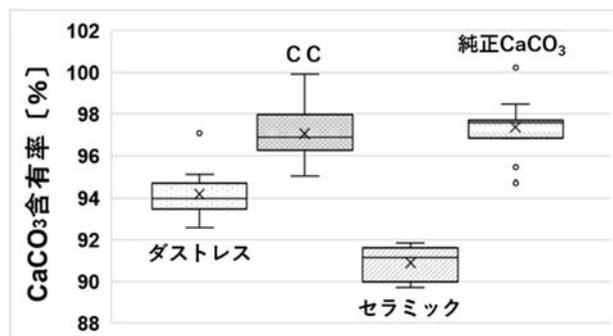


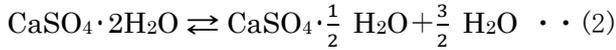
図4 CaCO₃含有率

〈考察〉

CCは純粋なCaCO₃の粉末のみを用いて作られているが、ダストレスはホタテ貝殻、セラミックは卵殻カルシウムを含んでいるため、ダストレスとセラミックはCCと比べてCaCO₃含有率が低くなり、また、CCは純正試薬のみで作られているため、CCと純正試薬の値は近くなったと考えられる。

④実験4 CaSO₄製チョークのCaSO₄含有率決定
〈方法〉

純正 CaSO₄・2H₂O の粉末(和光一級), CaSO₄ 製のチョークを削り粉末にしたものをそれぞれ焼成皿に取り, 電気炉に入れて 150°Cで 7 時間加熱した。



(2)より, 減少した質量を結晶水の質量と考えて, CaSO₄の含有率を求めた。

〈結果〉

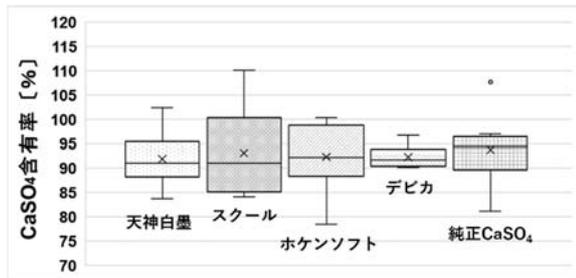


図5 CaSO₄含有率

〈考察〉

CaCO₃製チョークの材料が水・CaCO₃・凝固剤であるのに対し, CaSO₄製チョークの材料は水・CaSO₄で, 化学反応を用いて固めているので, 数値に大きな差は見られなかったと考えられる。また, この実験方法では各試料の差よりも誤差のほうが大きくなってしまいうため, より適切な実験手法が必要である。

⑤実験5 チョークの強度測定

〈方法〉

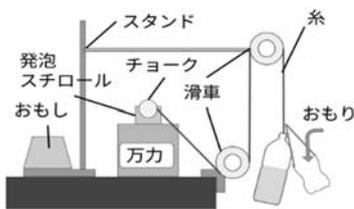


図6 チョークの強度実験装置

それぞれのチョークについて図6の装置を用いて強度測定を行った。折れたときに吊り下げていたペットボトルとおもりの質量を量り, 実験2の鉛筆芯の強度測定と同様に力のモーメントを指標として強度を求めた。

〈結果〉

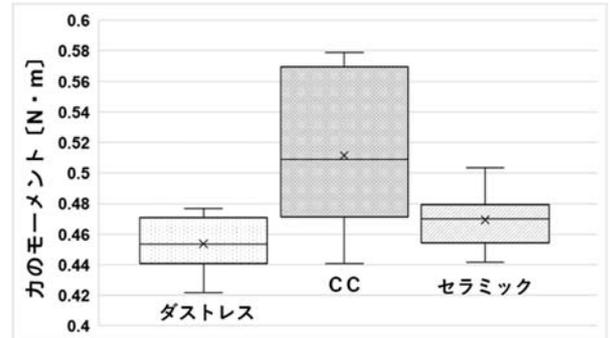


図7 CaCO₃製チョークの強度

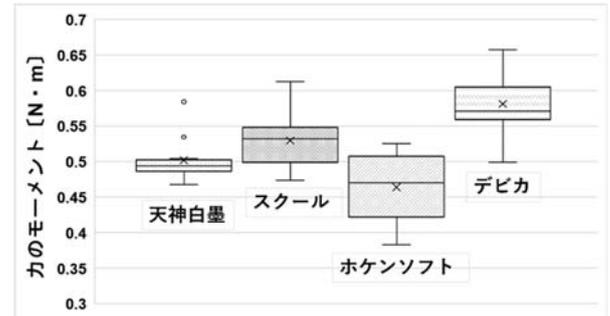


図8 CaSO₄製チョークの強度

〈考察〉

CaCO₃, CaSO₄ともに有意差が見られた。しかし, CaCO₃製チョークはCCの実験結果にばらつきが大きく, 信憑性の低い結果になったといえる。

5. 結論

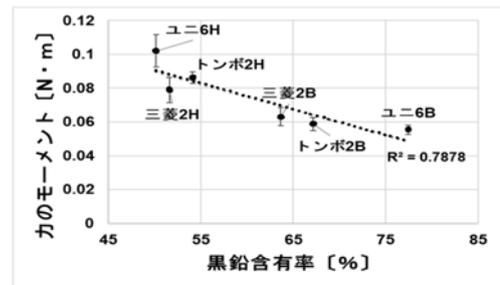


図9 鉛筆の黒鉛含有率と強度の関係

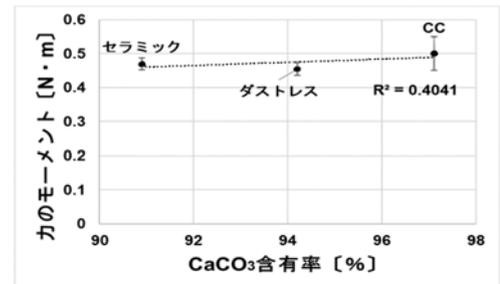


図10 CaCO₃製チョークのCaCO₃含有率と強度の関係

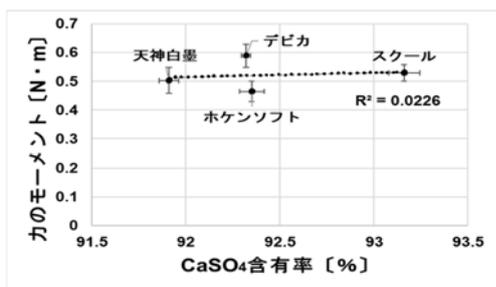


図 11 CaSO₄製チョークの CaSO₄含有率と強度の関係

〈鉛筆〉

実験 1・2の結果より、図 9 のような相関関係を見ることができる。6 種類のサンプルの近似曲線は決定係数が 0.7878 と傾きが強い負の一次関数として表せることがわかり、黒鉛含有率が高くなるほど、強度が低くなると結論づけることができる。

鉛筆芯には比例関係があることがわかったが、使いやすさは強度のみによって定められるものではなく、粘土の性質や混合の仕方にも影響があると考えられる。そのため、今後は強度以外の観点にも着目をして、より良い鉛筆の開発に役立てたい。

〈チョーク〉

CaCO₃製チョークはゆるやかな正の相関が見られるが、サンプルが 3 種類しかなく、また CC の強度の誤差も大きいことから、比例関係が確実にあるとは言えない。決定係数が 0.4041 と低いことからそう言える。このため、サンプルを増やし、誤差が少ない強度の測定方法について検討する必要がある。

CaSO₄製チョークは CaSO₄含有率にあまり差がなく、比例関係にあるとはいえない。CaCO₃製チョークと同様に、より誤差の少ない強度の測定方法を検討する。

CaCO₃製チョーク・CaSO₄製チョークともに主成分含有率と強度に比例関係があると結論づけることはできず、他の要因が関わっているものだと考えられる。このため、今後は他の要因であると考えられる密度や凝固剤・コーティング剤に

よる影響、さらにはチョークの主成分の結晶構造との関連について研究を深めていきたい。

また今回の研究では、チョークの主成分含有率と書きやすさの関係性を求めるために書きやすさの指標の一つである強度という点に着目して実験を行ったが、今後はチョークと黒板の摩擦やチョークの粉の飛散量、黒板の消しやすさといった観点からも研究を行い、より良いチョークの開発に役立てることができれば良いと考える。

6. 参考文献

・2019 年度伊那北高校課題研究報告書 チョークの成分と書き味について

・食品学実験書 第 4 版 医歯薬出版株式会社

・<https://www.tenjin-chalk.co.jp/teдукuri.html>
天神白墨工業株式会社 「手作りチョークセット」特設ページ

・https://www.mpuni.co.jp/customer/pencil/qa_04.html

・三菱鉛筆株式会社 よくあるご質問 芯の硬さの決まり方

The research for Rust

-Catalytic action of Titanium dioxide-

Otoha Iizuna Sara Kusaka Mana Nagao Kaho Nishihara Shiori Yorimoto
Teachers Yuya Sasayama Naoki Inoue Masayoshi Kubo Martina Ehara

Abstract

The goal of this project is to elucidate the effect of photocatalysis of Titanium dioxide (TiO_2) on the oxidation of iron. We conducted three experiments: the first used TiO_2 , Calcium carbonate (CaCO_3), and Calcium sulfate (CaSO_4) as variables for the type of solute in the coating solution; the second took as a variable the amount of moisture in the environment for static storage after coating; and the third used Methylene blue. The first experiment showed that TiO_2 with sunlight rusted best. From the second experiment, we found that those in a vapor-liquid equilibrium environment rusted best. In addition, experiments on the oxidizing power of TiO_2 using Methylene blue showed that the dye was best decomposed with TiO_2 and ultraviolet light.

1. 研究の概要

酸化チタンの光触媒作用が鉄の酸化に与える影響を解明することを目的とする。コーティング溶液の溶質の種類を変数として、酸化チタン、炭酸カルシウム、硫酸カルシウムを用いた実験、コーティング後の静置環境の水分量を変数とした実験、またメチレンブルーを用いた吸光度測定実験を行った。すると、酸化チタン溶液を鉄に滴下し日光に当てたものと、気液平衡の環境のものが最もよくさびるという結果が得られた。さらに、メチレンブルーを用いて酸化チタンの酸化力について実験した結果、酸化チタンありの上で紫外線ありが最もよく色素を分解した。

2. Introduction

TiO_2 , which has photocatalytic properties, is used in various applications such as antimicrobials and is attracting attention because it does not emit toxic substances. There have been no previous studies on TiO_2 and rust, so we investigated whether the oxidizing power of TiO_2 also affects metals. We found that TiO_2 has the effect of accelerating the oxidation of metals.

< Principle of Rust Formation >

H_2O loses electrons to holes to generate OH radicals. We decided to investigate whether TiO_2 can rust (oxidize) metals by conducting

experiments to see whether OH radicals and holes have enough oxidizing power to oxidize iron. In this experiment, we used iron because it rusts relatively easily and it was easy to confirm the change. In addition, to evaluate the oxidizing power of the TiO_2 used in the experiments. Experiments were also carried out using the redox indicator Methylene blue to assess the oxidizing power of the TiO_2 used in the experiments. It is already known that TiO_2 is a photocatalytic material, which is excited by UV irradiation. The electrons emitted by the excitation react with water to produce OH

radicals, which are known to have strong oxidizing power and high reactivity.

Decomposition occurs when OH radicals deprive organic substances of electrons. We hypothesize that this strong oxidizing force can rust metals.

3. Method and Results

【Experiment 1】

Experiment using TiO_2 , CaCO_3 and CaSO_4

<Objective>

To investigate whether TiO_2 has an effect on the formation of rust on iron.

<Hypothesis>

TiO_2 rusts metals the most.

<Method>

1. Grind the reagent in a mortar. Also, file the iron to remove rust from the iron to be used.
2. Mix one of TiO_2 , CaCO_3 or $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (3.0 g) with water (8.11 g). The resulting suspension is used as the coating solution and is dropped onto the iron using a pipette while stirring with a stirrer.

The sample was exposed to sunlight for approximately one day.

<Results>

Among TiO_2 , CaCO_3 , and CaSO_4 , TiO_2 rusted iron the most. The discolored area in the center is rust. The arrow points to that.

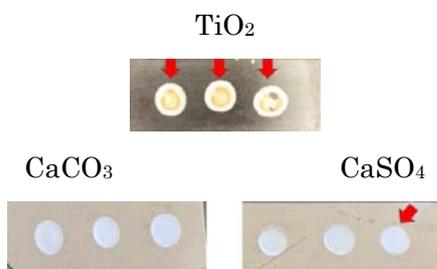


Fig. 1

【Experiment 2】

Experiment using the moisture content of the static environment as a variable

<Objective>

To investigate the effect of water content on TiO_2 rust formation.

<Hypothesis>

The higher the moisture content, the more rusting of iron will occur.

<Method>

1. Prepare samples of TiO_2 and CaCO_3 using the method of Experiment 1.
2. In the first case, the samples were placed in a box lined with damp paper towels and the box was closed with plastic wrap to create a vapor-liquid equilibrium environment; in the second case, the samples were placed in a petri dish and left in an indoor environment without plastic wrap in the sunlight. The rusting process was observed with a time-lapse video.

<Result>

Figure 2 shows that when the TiO_2 samples were left in a vapor-liquid equilibrium environment, the highest amount of rusting occurred on iron. It was also found that the time taken for rust to form was approximately 30 minutes from the time-lapse video.

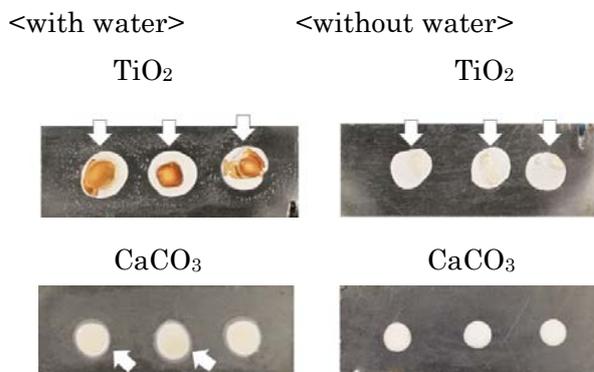


Fig.2

【Experiment 3】

Detection of iron(II) and iron(III) ions using potassium iron(III) hexacyanide and potassium iron(II) hexacyanide as indicators.

<Objective>

To investigate whether iron(II) and iron(III) ions are included in the components of rust generated in experiments 1 and 2.

<Hypothesis>

The rust generated in Experiments 1 and 2 contains Fe(II) and Fe(III) ions.

<Method>

1. Collect the rust.
2. Add hydrochloric acid to dissolve the collected rust.
3. Add drops of potassium iron(III) hexacyanide and potassium iron(II) hexacyanide, respectively.
4. Observe the color change.

<Results>

Figures 3 and 4 show that the rust to which potassium iron(III) hexacyanide acid was added produced dark blue precipitates in part. Rust to which potassium iron(II) hexacyanide was added showed a large amount of dark blue precipitation.

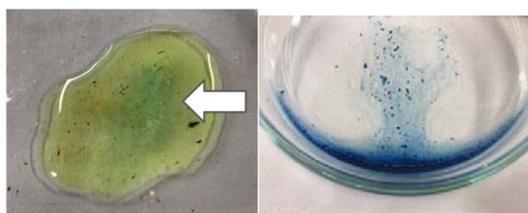


Fig.3

Fig.4

【Experiment 4】

Absorbance measurement experiment using Methylene blue

<Objective>

To investigate whether photocatalysis of TiO₂ deprive electrons or not.

<Hypothesis>

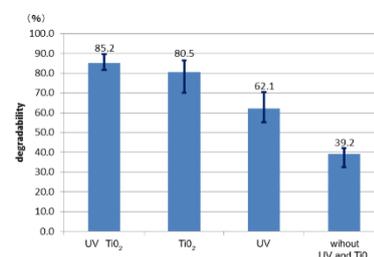
The absorbance of Methylene blue decreases due to the photocatalysis of TiO₂.

<Methods>

1. Prepare samples of TiO₂ (1.0 g) mixed with distilled water and samples to which nothing was added.
2. Leave the prepared samples in a UV chamber (253.7 nm) or in a dark room for 1 hour, and then add Methylene blue solution (2.7×10^{-5} mol/L 10mL).
3. centrifugation (micro mini centrifuge, SiGMA Micro mini centrifuge, SiGMA, speed 10000 rpm \times 4 min) to precipitate the TiO₂ and measure the absorbance (664.2 nm) of the supernatant solution.

<Results>

In the Methylene blue experiment, the absorbance of the sample with TiO₂ was lower than that of the sample without. The absorbance of the sample with TiO₂ added and irradiated with UV light was lower than that of the sample without UV light.



Graph 1. Result from Experiment 4

4. Discussion/Hypothesis

The TiO₂ samples did not show much difference regardless of whether they were irradiated with or without UV light. The reason for this is considered to be the possibility that TiO₂ is excited in a short time even by fluorescent light, since the sample without UV irradiation was not exposed to fluorescent light in the experiment, but was slightly exposed to light during movement. The process of rust generation is shown in Fig.5. Considering that iron does

not rust easily when dry, water is likely to be involved.

The holes created by the excitation of TiO_2 by UV light take electrons from water, resulting in the formation of hydroxyl radicals. They also take electrons from iron, resulting in the formation of iron ions. The reaction between these iron ions and hydroxyl radicals causes rust. Some of the iron ions react with the electrons emitted by the excitation and return to iron.

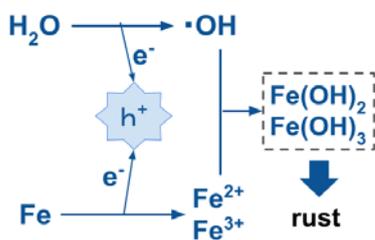


Fig.5

5. Conclusion

TiO_2 has photocatalytic properties. It also exhibits oxidizing power when exposed to ultraviolet and indoor light, which can rust iron. In the future, we will conduct similar experiments with other metals to determine if

our hypothesis is correct. Further experiments will be conducted to increase the accuracy of the results. We also plan to apply this technology to copper greening, aluminum passivation, and the use of iron rust.

6. Acknowledgements

We would like to thank the teachers in and outside Tsuyama High School who guided us in carrying out this research, and those who supported this research.

7. References

- 1) 野坂芳雄 (2016) 「光触媒反応における OH ラジカルの生成と寄与」
- 2) 千葉県立船橋高等学校理数科課題研究 2017 年 理数科 3 年 「様々な化学物質の利用による酸化チタンの酸化能力の変化」
- 3) 沢木泰彦 (2001) 「活性酸素種の反応の新展開」 『オレオサイエンス』 第 1 巻第 5 号 471-478
- 4) 村上 能規, 太田 育樹, 遠藤 健史, 野坂 篤子, 野坂 芳雄 「酸化チタン光触媒で生成する OH ラジカルの生成機構」
- 5) 渡部 俊也, 砂田 香矢乃, 橋本 和仁 (1999) 「酸化チタンの光触媒反応を利用した抗菌作用」 『無機マテリアル』 第 6 巻 532-540

放線菌の生産する抗生物質の探索

研究者 小林 善晴, 宮城 和弘, 北村 凪陽, 竹本 樹生

指導者 國府島 将平, 國定 義憲

Abstract

We succeeded in separating two kinds of actinomycete from soil in Tsuyama high school. Antibiotics we found from actinomycete indicate an effect on *Bacillus subtilis* and *Aspergillus*. Thus, we considered that the antibiotics are like lysozymes. They also break β 1-4 bonds, which consist of a cell wall that they have in common.

1. 研究の概要

土壤中に生息する細菌類である放線菌には、抗生物質を生産するものがあることが知られている。本研究では津山高校敷地内から *Streptomyces* 属と考えられる放線菌を採取した。この放線菌のすり潰し液を染み込ませたペーパーディスクを用いて効果を確認したところ、枯草菌、コウジカビのコロニー形成に対する阻害効果を示したのに対して、パン酵母のコロニー形成に対する阻害効果は示さなかったため、発見した放線菌は β 1-4 結合を分解する物質を生産していることが示唆された。

2. 序論

我々は2020年から始まったコロナ禍という時代において抗菌作用に興味を持ち研究をしたいと考えた。また、抗菌作用について調べる中で、2015年に大村智博士が日本のゴルフ場で発見した放線菌からエバーメクチンという抗生物質を発見しノーベル生理学・医学賞を受賞されたことを知った。そこで我々も身近な土壌から未知の抗生物質を発見し、世界の医療や難病の治療に貢献したいと思い、研究を行った。放線菌は主に土壌中に生息する細菌で、糸状菌のように放射状に菌糸が生育し、胞子を形成するという特徴がある。(図1) 世界中の様々な土壌中に存在するが、本研究では主に十六夜山古墳を中心に、津山高校敷地内の土壌から採取することとした。

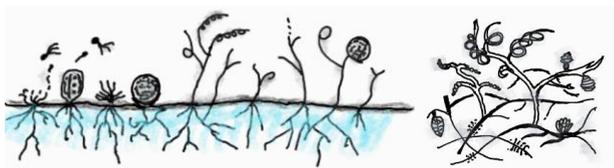


図1 土壌中の放線菌のイメージ

3. 研究内容

(1) 放線菌の分離

1. 津山高校の敷地内で採取した土壌試料を採取した。採取後、土壌の団粒構造をビニール手袋をつけてなるべくほぐし、植物の根や落葉落枝などを除去した。(図2)
2. 下処理した試料を室内で7日間自然乾燥させた。自然乾燥後、土壌試料をガラス製のシャーレに入れて乾熱処理(100°Cで30分間, 図3)を行う。この過程で孢子非形成の微生物の大部分が死滅し、相対的に放線菌比率が高まり、分離が容易になる。
3. 土壌試料を貧栄養状態の無機塩類培地上に薬さじを用いて、薄く土を撒き、土を撒いた培地を恒温槽に入れ、培養した。(32°Cで14日間, 図4)
4. 菌株を有機培地に移して培養した。(32°Cで7日間, 図5)



図2 (左) 試料の下処理の様子

図3 (右) 乾熱処理装置

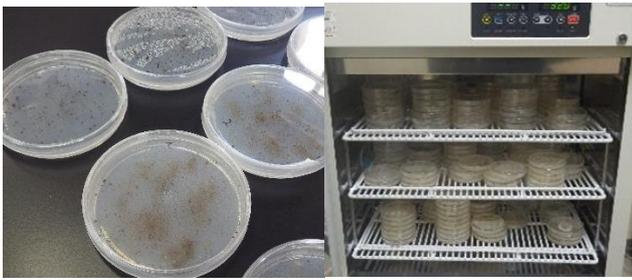


図4 (左) 無機塩類培地に試料を撒いた様子

図5 (右) 恒温槽

【結果】放線菌を2種類発見した。(図6)



図6 左：弓道場横C株, 右：菊池像前株)

【無機塩類培地の組成】

精製水; 1 L KCl; 1.71 g Na_2HPO_4 ; 0.5 g
 CaCO_3 ; 0.02 g
 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0.05 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0.01 g

【有機培地の組成】

精製水; 1 L 酵母エキス; 4 g 麦芽エキス; 10 g
 グルコース; 4 g 蒸留水; 1 L 寒天; 20 g

(2) 放線菌の菌糸の確認

弓道場横C株(以下、C株)を光学顕微鏡を用いて観察した。顕微鏡画像を用いてコウジカビの菌糸と比較した。先行研究によれば、一般的な放線菌の菌糸の太さが $0.5\sim 1.0\mu\text{m}$ に対して、糸状菌では $2\sim 10\mu\text{m}$ である。菌糸の形状や太さからC株は*Streptomyces*属の放線菌だと推定した。(図7, 8)



図7 弓道場横C株(約600倍)



図8 コウジカビ(約600倍)

(3) 抗生物質の効果の確認(枯草菌)

1. C株と菊池像前株(以下、菊池株), 2種類の放線菌をそれぞれ精製水と混ぜてすり潰し、放線菌すり潰し液を作り、ペーパーディスク(直径6mm)に染み込ませる。
2. 枯草菌(納豆菌, 市販の納豆)を植えた培地の上に置き、 32°C で3日間培養する。(図9) 枯草菌(*Bacillus subtilis*)に対する抗生物質の生産がみられる場合、ディスクの周りでは枯草菌が生育できないため、枯草菌コロニーに対する阻止円の形成が確認される。円の直径をノギスで測り、記録した。(図10) 使用した納豆: くめ納豆 プチ北海道納豆4カップ, 株式会社ミツカン

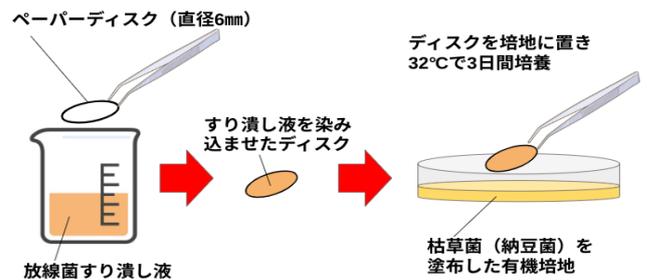


図9 (3) 1. の操作手順

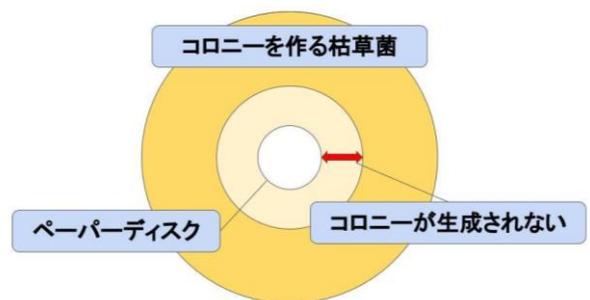


図10 阻止円形成のイメージ

【結果】C株には阻止円形成が見られ、菊池株には阻止円形成が見られなかった。(図 11)

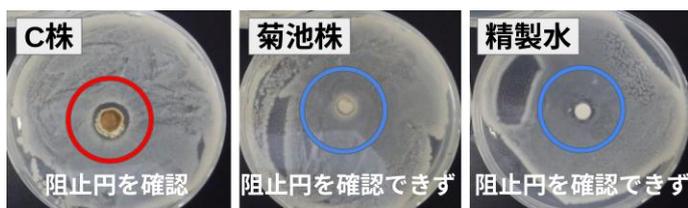


図 11 枯草菌に対する効果の結果

(4) 抗生物質の効果の確認 (コウジカビ)

枯草菌に効果を示した C 株に着目し、枯草菌の代わりにコウジカビ (*Aspergillus oryzae*) を用いて (3) と同様に阻止円の形成を確認した。

【結果】コウジカビに対しても阻止円形成が見られ C 株はコウジカビに対しても作用する抗生物質を生産していることが分かった。(図 12)

使用したコウジ：米こうじ (乾燥品)，株式会社ますやみそ

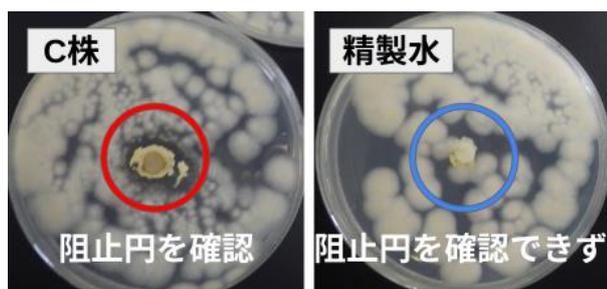


図 12 コウジカビに対する効果の確認

(5) 抗生物質の効果の確認 (パン酵母)

(3) と同様にパン酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*) を用いて阻止円形成を確認した。

【結果】パン酵母に対して阻止円形成は確認できなかった。(図 13)

使用したパン酵母：インスタントイースト赤，ドライイースト，株式会社半鐘屋

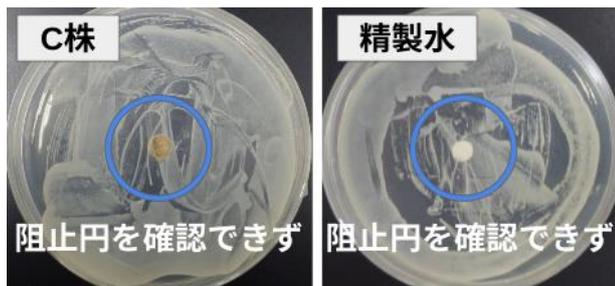


図 13 パン酵母に対する効果の確認

4. 結果のまとめ

発見した 2 種の菌株のうち C 株は納豆菌とコウジカビで阻止円の形成が確認でき、パン酵母に対する阻止円は確認できなかった。この結果から、C 株は枯草菌とコウジカビに対する抗生物質を生産していることが明らかとなった。

5. 考察

放線菌が生産した抗生物質は枯草菌とコウジカビに対してはコロニー形成の阻害効果を示す阻止円形成が認められたが、パン酵母に対しては認められなかった。この実験結果から C 株は枯草菌とコウジカビに共通して含まれる細胞構造に作用する抗生物質を生産している可能性が示唆された。既知の抗生物質は生物の細胞壁に対して作用するものが多い。そのため、細菌類と菌類の細胞壁の構造に着目し、調査した。先行研究によると、枯草菌などの細菌類は主にペプチドグリカン、コウジカビやパン酵母などの菌類は主にキチンという構造で構成されている。またそれらの細胞壁はどちらも β -1,4 結合 (別名： β -1,4-グリコシド結合) を含む構造である。(図 14)

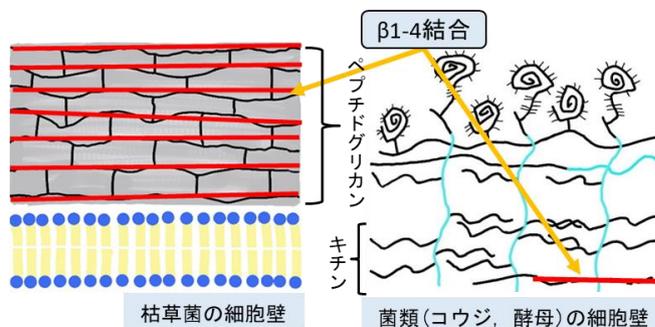


図 14 枯草菌と菌類(コウジ, 酵母)の細胞壁の構造

それぞれの生物の細胞壁中に含まれる β -1,4 結合の割合を調べたところ、枯草菌では 50~80%、コウジカビでは 30%と割合が高いが、パン酵母では 1~2%と存在する割合が低い。(図 15) このことから枯草菌とコウジカビは β -1,4 結合が抗生物質によって破壊されると修復が困難となるため培地上に生育することができず、パン酵母は β -1,4 結合を壊されることによる損害が比較的小ないため培地上

に生育できたと考えられる。以上より、発見した抗生物質は細胞壁中に含まれる β 1-4 結合を分解すると推測される。また、分解の仕組みとしては、リゾチームと同様に、 β 1-4 結合を加水分解する働きを示すと考えられる。

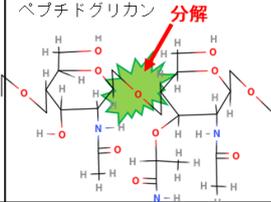
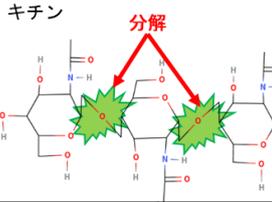
| | 原核生物 細菌類 | 真核生物 菌類 | |
|-------------------------|--|---|-------|
| | 枯草菌 | コウジカビ | パン酵母 |
| 細胞壁の構造 |  ペプチドグリカン 分解 |  キチン 分解 | |
| 細胞壁中の β 1-4 結合の割合 | 50~80% | 30% | 1~2% |
| 阻止円 | 形成した | 形成した | 形成しない |

図 15 細胞壁の構造と β 1-4 結合の割合

リゾチームは先行研究によれば細菌類のペプチドグリカンの β 1-4 結合に、特異的に作用するとされる。しかし、我々が発見した物質は細菌類である枯草菌に対してだけでなく、菌類であるコウジカビに対しても効果が認められたため、リゾチームと比較して、幅広い微生物に対して効果を示す、新しい物質である可能性がある。

6. 結論

本研究では 2 種類の放線菌を分離することに成功した。そのうち C 株は枯草菌やコウジカビの細胞壁中に多く含まれる β 1-4 結合に対して作用する抗生物質を生産していることが分かった。また、発見した抗生物質は細菌類に対してのみ作用するリゾチーム様の効果を示すと考えられる。しかし、本研究により菌類であるコウジカビにも作用することを発見したため、新しい抗生物質の可能性はある。この物質の特性が明らかになれば、細菌類が原因である肺炎といった病気や、菌類が原因とされる水虫やアスペルギルス症などといった病気、両方に効果のある治療薬を開発できる可能性がある。

今後は既存の抗生物質であるペニシリンやストレプトマイシンの濃度を変化させ C 株が生産する抗生物質との効果の比較をしていく。また、ペーパークロマトグラフィー法によって、発見した抗生物質の特定を特定する。さらに現在、津山高専の柴田先生による御指導のもと、放線菌のゲノム配列決定方法としてよく用いられている 16S rDNA 遺伝子の分析により、C 株の種の同定を試みている。

7. 謝辞

本論文の作成にあたり多くの先生方に御指導いただきました。感謝の意を表します。

株式会社山田養蜂場本社顧問 橋本健先生

津山工業高等専門学校教授 柴田典人先生

美作大学短期大学部栄養学科教授 桑守正範先生

美作大学短期大学部栄養学科教授 栗脇淳一先生

8. 参考文献

- 乙黒美彩・中島琢自・宮道慎二, 「放線菌の分離と抗生物質の探索」, 生物工学会誌, 2012
- 京都大学 OCW, 「応用微生物実験 実験書 2004 年度版」, 2004
- 對崎 真楠, 「糸状菌 *Aspergillus nidulans* の菌糸先端生長におけるキチン合成酵素の機能と動態に関する研究」, 東京大学, 2018
- 日本薬学会, 「生物系薬学III.生体防御と微生物」, 東京化学同人, 2016
- 日本放線菌学会「放線菌図鑑」, 1997
- 独立行政法人 製品評価技術機構 HP, 培地について, 放線菌の培地
<https://www.nite.go.jp/nbr/cultures/cultures/cultures.html#A> (2023.2.4 確認)
- 木下浩, 「放線菌・糸状菌に生理活性物質を作らせるには」, 生物工学会誌, 2011

古米の付加価値の検討

～米の酸化とデンプンの消化性に関する研究～

研究者 石井凜々香 武田真依 西下安子 西原茉穂

指導者 國定義憲

Abstract

We studied about the new rice washing method and utilization of aged rice. As a result, it was considered that washing rice with salt can remove the most fatty acids from aged rice and that such rice could be used for functional foods and hospital food because it takes longer to decompose and is easier to digest, thereby expanding the uses of old rice.

1. 研究の概要

経年劣化した米の新しい洗米法と活用法を研究した。その結果、経年劣化した米は、塩を用いて洗米することで脂肪酸を最も取り除くことができ、またその米は分解に時間がかかり消化が緩やかなため、機能性食品や病院食として利用の可能性が有り、古米の使い道が広がると考察した。

2. はじめに

現在、SDGsの目標の一つである「2030年までに世界全体の一人当たりの食料の廃棄を半減させ、世界の食料の損失を減少させる」を達成するために、日本で様々な活動が行われているが、食品廃棄量は522万トン(令和2年度)と、目標の273万トンには達していない。これを踏まえて、私たちにも貢献できることはないかと思い、日本人の主食である米を取り上げ、特に古米に注目してその利用価値を高めたいと考えた。日が経つことで増加するといわれる米に含まれる成分のうち、脂肪酸とレジスタントスターチに注目して実験を行った。※この研究において、「古米」は一年以上保存したものを指す。

3. 研究内容

【実験1】脂肪酸に着目して実験を行った。

(目的) 古米のほうが新米よりも脂肪分の分解が進み、より多くの脂肪酸を含んでいることを確かめる。

(実験方法1)

米の鮮度簡易判定キット-pH判定法-(農民運動全国連合会食品分析センターより)を用いて、1年以内に収穫した米と5年放置した米との酸化の度

合いを比べる。

※この判定キットは、時間の経過により増加する脂肪酸の、その量に応じて色が変わる試薬(メチルオレンジとプロモチモールブルーを混合指示薬)を調節したものである。脂肪酸の濃度が低ければ緑色、高いほどオレンジ色になる。

(結果1)

結果は図1、図2のようになった。



図1 新米

図2 古米

(考察1)

結果から、5年放置した古米のほうが1年以内に収穫した米よりも脂肪酸を多く含むことがわかった。つまり、米に含まれる脂肪酸の量を減らせば、米の風味が改善されると考えた。一般的に、古米は調味料を用いて調理することで食味や臭いの改善がされると言われている。そこで私達は、炊飯米を作る過程において比較的实验条件を制御しやすい洗米に注目し、調味料を加えて洗米したあとの米

の酸価を調べ、どの調味料が最も脂肪酸を減少させるのかを調べることにした。

[実験 2]

(目的) 調味料を用いて米を洗米した際、どの調味料が米の酸価を最も低下させるのかを調べる。

(方法)

1. 米 50g+水 47.5g+調味料 2.5g をプラスチック容器に入れて洗う。
2. ザルで洗った液を流す。
3. 1~2 を 3 回行う。
4. 米を乾いたザルに移し、ドライヤー(冷風)で 1 分間米を乾かす。
5. ジエチルエーテルに四日間漬け込む→油を抽出する。
6. 抽出した油の質量を計る。
7. ジエチルエーテルを揮発させ、イソプロパノール 50g に溶かし出す。
8. 水酸化ナトリウム 0.1mol /L を用いて中和滴定を行い、それぞれの調味料を用いて抽出された油 1g あたりの酸価を求める。

※1 使用した調味料

水、塩、大根、にがり、日本酒、蜂蜜、みりん

※2 酸価…油脂 1g 中に含まれている脂肪酸を中和するのに必要な水酸化ナトリウムの質量。

$$\text{酸価} = 56.11 \times \text{滴定 } m \times \text{基底} / 10 \times \text{油の質量}$$

※3 酸価と油に含まれる脂肪酸の量は比例すると考えられる。

※4 基底 : C₂H₂O₄ (0.01mol/L) 10ml に対し、NaOH (0.01mol/L) で中和滴定を行い、その滴定値 (表 1) の平均値とする。

(結果)

表 1 NaOH の滴定値

| | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 平均 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 滴定量(ml) | 10.12 | 10.21 | 10.27 | 10.22 | 10.20 | 10.21 |

表 2 [実験 2] の調味料を用いて洗米したときのそれぞれの酸価

| | 塩 | 水 | 大根 | 未処理 |
|----|------|------|------|------|
| 酸価 | 2.21 | 2.28 | 2.89 | 3.30 |
| | にがり | 日本酒 | みりん | 蜂蜜 |
| 酸価 | 3.69 | 5.38 | 8.45 | 8.55 |

このとき、酸価が低いほど油 1g あたりに含まれる脂肪酸の含有量が少ないので、この結果から、塩を用いた洗米が一番米の脂肪酸を減少させることがわかった。つまり、塩を用いて洗米すると、米の食味や古米臭を最も改善することができると思われる。

[実験 3]

(目的) 古米が新米よりも多くレジスタントスターチを含むことを証明する。

(方法)

1. 古米と新米の重湯を作る。
2. 重湯を試験管 5 本ずつに分け、それぞれに酵素であるジアスターゼとヨウ素液を加え、恒温槽で温度を一定に保ちながら、ヨウ素液の色が抜けるまでの時間を測る。

※ ここで反応に時間がかかったものは、消化するのに時間がかかるものであると考えられる。

(結果)

実験結果は、新米は図 3 から図 4、古米は図 5 から図 6 のようになった。



図 3 試験管に分けた新米の実験前



図 4 試験管に分けた新米の実験後



図 5 試験管に分けた古米の実験前



図 6 試験管に分けた古米の実験後

また、それぞれの反応時間の平均を出し、差を取って比較した。(表3)

表3 消化実験の反応時間の平均とその差

| | 新米の反応時間 | 古米の反応時間 | 反応時間の差 |
|---------|---------|---------|--------|
| 平均値(5回) | 12:33 | 19:57 | 7:24 |

表3より、古米の方が、新米に比べ反応に1.6倍の時間がかかることが分かった。この結果より、新米と比べ、古米の方が含まれるレジスタントスターチが多いことが分かった。

4. 考察

[実験1]では、塩を用いて洗米したときが最も酸価を低下させることが、【実験3】では、古米が新米より分解に時間がかかったことから、古米が新米より多くのレジスタントスターチを含むことがわかった。このことから、塩を用いて洗米した古米は、脂肪酸を最も多く減少させることができ、また消化が緩やかであるため、古米の新たな利用価値として、病院等への食事や健康志向の方への食事に活用の幅が広がり、古米を消費する機会が増える可能性があることを示した。

5. 今後の課題

[実験1]では、米一合につき何gの塩を加えて洗米するのが最も多くの脂肪酸を減少させるのか、食塩を加えたことによる米の食味への影響の有無を調べたい。またもし古米の食味に影響があった場合、それへの対策を考えたい。[実験2]では、米の冷却時間(放置する時間)とレジスタントスターチの増加量の関係について検討したい。

6. 謝辞

研究を行うに当たりまして、ご指導をくださった桑守正範先生、江原マルティーナ先生に謝辞を申し上げます。

7. 参考文献

- https://www.jstage.jst.go.jp/article/cookeryscience/47/1/47_49/_pdf (レジスタントスターチの栄養・生理機能について)
- <https://earlybirds.ddo.jp/bunseki/analysis/kit/pH/pH.html> (米の鮮度簡易判定キット-Ph判定法- (農民運動全国連合会食品分析センター))
- 絵でみる食品化学総合実験書 p.54 (農場図書)
- 笠岡誠一:腸活生活が教える病気を遠ざける食事術 炭水化物は冷まして食べなさい。(2020)
- <https://www.sirogohan.com/recipe/omoyu/> (重湯のレシピ)

本年度も課題研究を進めるにあたり、多くの外部指導者の方々にご指導・ご助言をいただきました。ご多忙のところ、快くご指導をいただき、充実した研究を行うことができました。教員・生徒一同より厚く感謝を申し上げます。

| | | |
|------|------------|---------|
| 研究指導 | 津山工業高等専門学校 | 曾利 仁 様 |
| | 津山工業高等専門学校 | 加藤 学 様 |
| | 美作大学短期大学部 | 桑守 正範 様 |
| | 美作大学短期大学部 | 栗脇 淳一 様 |

| | | |
|-------|--------|--------------|
| 外国語指導 | 本校 GSO | 江原 Martina 様 |
|-------|--------|--------------|

| | | |
|------|--------------------------|---------|
| 指導助言 | 大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻 | 赤松 史光 様 |
| | 高知県立大学文化学部文化学科 | 大村 誠 様 |
| | 広島大学病院形成外科・国際リンパ浮腫治療センター | 光嶋 勲 様 |
| | 新庄村立新庄中学校 | 新家 道正 様 |
| | 京都大学国際高等教育院 | 杉山 雅人 様 |
| | 岡山大学異分野基礎科学研究所 | 鈴木 孝義 様 |
| | 岡山大学学術研究院環境生命科学学域 | 永禮 英明 様 |
| | 株式会社 山田養蜂場本社 | 橋本 健 様 |
| | 福山大学生命工学部生物工学科 | 秦野 琢之 様 |
| | 岡山大学学術研究院教育学域 | 藤井 浩樹 様 |
| | 広島大学大学院人間社会科学研究所 | 松浦 拓也 様 |