

令和3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 〕

- 緩衝材が箱の中身への撃力に与える影響の解析 1
飯綱 祥一郎, 岸野 王賀, 佐々木 皇鷹, 森下 拓斗
- 二重構造物体の速度測定による運動解析 5
武村 直樹, 西尾 月都, 福田 雄太, 全本 茉優, 高山 友那, 山本 心愛
- 接地面に水がある場合の時間経過による摩擦係数の変化 9
近藤 竜輝, 瀬畑 勇誠, 中島 天悠, 春名 陽向
- 粒子の挙動による液状化現象の解析 13
泉 湧太, 上谷 琢志, 柿内 啓輔, 山下 敦也

〔 化学分野 〕

- 炭素棒による水溶液の電気分解～実験値を理論値に近づけるには～ 17
勞 津松
- 身近にある抗酸化物質を探る～水溶性と脂溶性～ 21
井上 響, 小林 愛佳, 松本 倅奈, 宮野 瑠美, 山本 佳秀
- 天然素材を用いたコーティングによる紙の耐水性と分解に関する研究
～プラスチックに代わるコーティング剤を目指して～ 27
伊藤 朱里, 尾高 小絵, 竹内 瑞希, 的馬 知花
- スクラブ剤による汚れの落ち具合と傷つき具合の検証 31
梅村 萌衣, 片山 更紗

〔 生物分野 〕

- モジホコリの探索行動に及ぼす反復寒冷刺激の影響
～面積変化率を用いた行動解析法の提案～ 35
岡 倫太郎, 妹尾 和磨, 奥 かさね, 中島 里桜, 渡邊 芽衣
- ゼブラフィッシュの視界に入る個体数がうつ様行動に与える影響 39
下山 大輝, 西山 昌寛, 室川 温哉, 上田 侑衣菜

- ・謝辞 43

〔 付録 〕

- 研究発表ポスター集 44 ～ 53

緩衝材が箱の中身への撃力に与える影響の解析

研究者 森下 拓斗, 飯綱 祥一郎, 岸野 王賀, 佐々木 皇鷹

指導者 津田 拓郎, 小田 夏海

Abstract

In this research we looked at objects falling within a cardboard box. We wanted to analyze the influence of cushioning material on the object at the moment of landing. We used cushioning material of various thickness and checked the results. We found that the impact of the cushioning material depends on the height at which the object dropped. We also saw that there is a limit to the impact of the material on the impulsive force of landing.

1. 研究の概要

本研究は物体を入れた段ボールを落下させたとき、着地の瞬間に段ボール内の物体に加わる撃力が、バラ緩衝材を用いることによって軽減される事象を、バラ緩衝材の厚さに着目して解析した。その結果、バラ緩衝材が衝撃を軽減できる割合は物体を落下させる高さに依存し、吸収可能な撃力には限界があることが分かった。

2. 動機

配送サービス等で使用されているバラ緩衝材の性能について興味を持ち、箱内物体への撃力の理論式を立てることと、その撃力の緩衝効果が最大となるバラ緩衝材の厚さを明らかにすることを目的とし、本研究を行った。

定義

本研究で用いる言葉を次のように定義する。

あそび: 箱内物体の可動域 $G: G_1 - G_2$ [m/s²]

G_1 : 緩衝材無しの G 値 G_2 : 緩衝材有りの G 値

地面: 物体が接地する基準面

t [s]: 物体の落下時間

撃力 I : $I = \int F dt$, $F = ma$ ($a = G = 9.8$ m/s²)

衝撃軽減量: $M(\text{Mitigation}) = \int mG' dt$

衝撃軽減率: $MP(\text{Mitigation Percentage})$
 $= (M/I) \times 100$ (%)

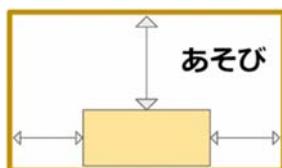


図1 あそび

(以下, MP とする)

理論式について

$$\frac{\int \left(m \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \right) dt - \int \left\{ m \left(\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} - \sqrt{a_x'^2 + a_y'^2 + a_z'^2} \right) \right\} dt}{\int \left(m \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \right) dt} = MP$$

a : 基準面との接地時に物体にはたらいた x, y, z 軸の加速度 (緩衝材なし)

a' : 基準面との接地時に物体にはたらいた x, y, z 軸の加速度 (緩衝材あり)

t : 物体の落下時間 m : 杉材の木片+データロガーの質量 h : 物体を落下させる高さ

z : 段ボールの高さ z' : 杉材の木片+データロガーの高さ

この式の分母は緩衝材がない場合で物体にはたらいた撃力を表し、分子は緩衝材によって軽減された撃力 (衝撃軽減量) を表す。この式から MP を算出した。

3. 仮説

次の二つの仮説を立てた。

1. 箱内の縦方向のあそびは MP に影響しない。

2. バラ緩衝材の厚さが MP に影響を与える。

これらの仮説を検証するために、実験を行った。

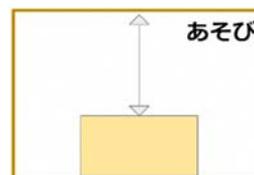


図2 仮説1



図3 仮説2

4. 実験装置について



図4 実験装置

箱内物体(杉材の木片+データロガー※)や段ボールは、釣り糸と釣り竿を用いて吊り下げ、釣り糸を切断することで落下させ実験を行った。

※データロガーとは地面と物体が衝突する際、物体の衝突する直前の速度が 0m/s になるまでの時間を、3 軸感知センサーと加速度センサーによって求め、物体にはたらいた加速度を、重力加速度 $G(=9.8\text{m/s}^2)$ を単位としてデータを記録する機器のこと。

5. 実験 1

仮説 1 を検証するため、実験 1 を行った。

実験方法 1

データロガーを杉材の木片に取り付け、箱内の物体の縦方向のあそびの範囲である 6.0~12.0cm から地面にバラ緩衝材がある場合(図 5)と、ない場合(図 6)で各 8 回落下させ、測定した加速度の平均値からそれぞれの撃力を算出した。

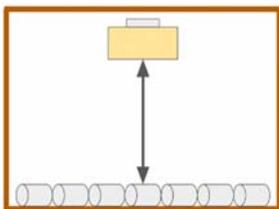


図 5 緩衝材あり

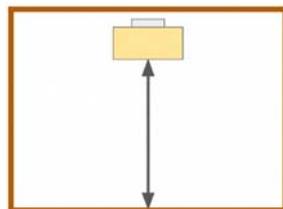


図 6 緩衝材なし

実験結果 1

実験 1 の結果、落下させる高さ と G 値の関係性を示したグラフは、バラ緩衝材なしの場合(図 7)と、バラ緩衝材ありの場合(図 8)とで、以下のようになった。

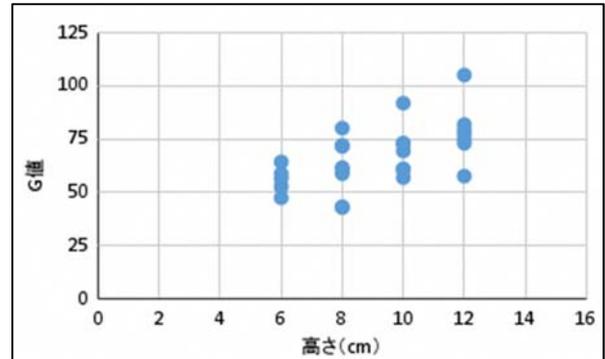


図 7 緩衝材なし

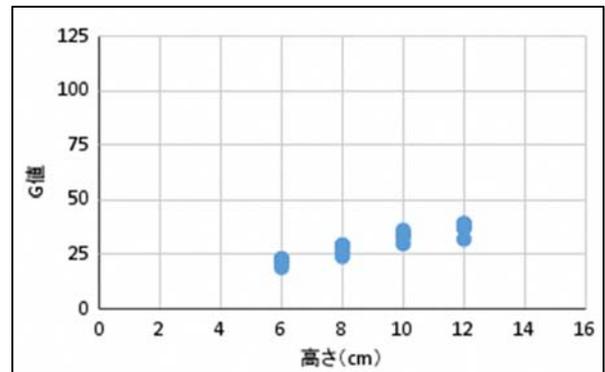


図 8 緩衝材あり

また、測定した結果を、理論式に代入して MP を算出した結果、以下の図 9 のようになった。

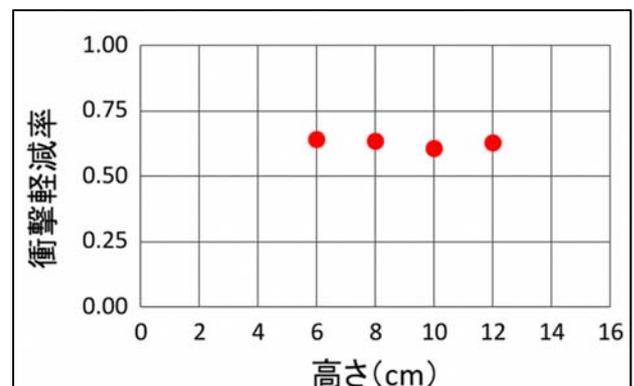


図 9 MP(実験 1)

図 9 より、箱内の縦方向のあそびの範囲では MP がほぼ一定であることが分かった。ここから実験 2 では箱内のあそびによる影響を無視できるものとする。

6. 実験 2

仮説 2 を検証するため、実験 2 を行った。この実験では厚さが標準のバラ緩衝材と厚さを半分加工したバラ緩衝材とで比較実験を行った。

実験方法 2

段ボールの中に物体を入れ、10cm, 20cm, 30cm, 40cm の高さから段ボールを各 8 回落下させ、箱内の物体にはたらいた加速度を測定した。その際、段ボールの中にバラ緩衝材なし (実験 2-1)、バラ緩衝材あり (実験 2-2)、半分の厚さのバラ緩衝材あり (実験 2-3) という 3 つの実験を行った。

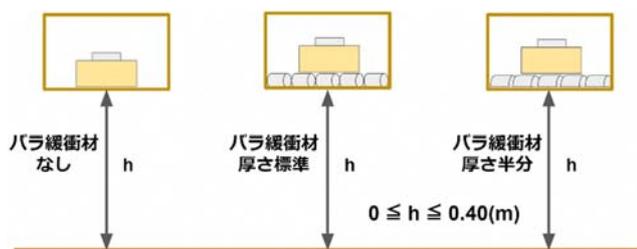


図 10 : 実験 2-1, 2, 3

実験結果 2

実験 2 の結果、落下させる高さ と G 値の関係性を示したグラフは、バラ緩衝材なしの場合 (図 11)、厚さが標準のバラ緩衝材ありの場合 (図 12)、厚さが半分のバラ緩衝材ありの場合 (図 13) で、以下ようになった。

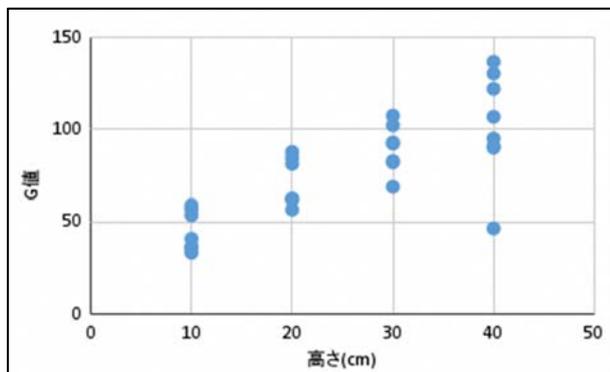


図 11 : 実験 2-1 結果

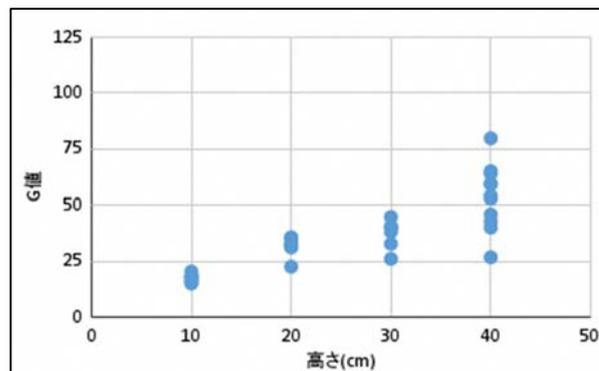


図 12 : 実験 2-2 結果

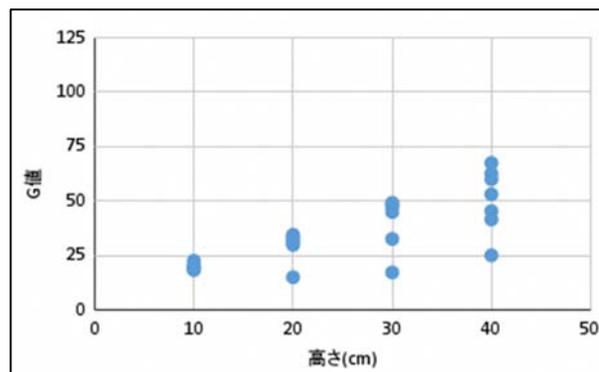


図 13 : 実験 2-3 結果

また、実験 2 の結果を理論式に代入し、それぞれ厚さのバラ緩衝材の MP を算出した結果、図 14 のようになった。

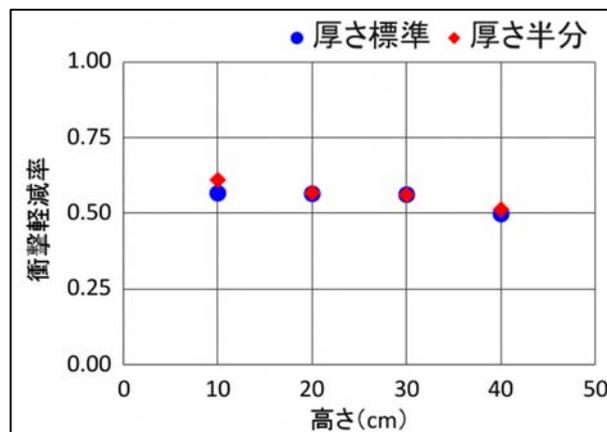


図 14 : MP (実験 2)

今回落下させた高さの範囲では、バラ緩衝材の厚さと MP との関係にはほとんど差異がないと言える。よってバラ緩衝材の厚さはバラ緩衝材の MP に影響を与えないと考えた。

また、いずれの厚さの場合も、落下させる高さが増加すると MP は低下していることが分かる。ここから、バラ緩衝材の MP は落下させる高さを増加させ続けると、一定の値に収束すると考えた。

7. 結論

実験 2 の結果より、以下の 2 つのことがいえると考えた。

1. 0~40cm の間では、バラ緩衝材はその厚さによらず撃力を軽減する。
2. 落下させる高さの増加に伴う MP の低下より、バラ緩衝材の MP はある高さでその下限に達し、収束する。

8. 今後の展望

バラ緩衝材の MP やその限界が、バラ緩衝材の大きさ(図 15)、形状(図 16)や硬度などの、どのような変数に依存するのかを解明したい。

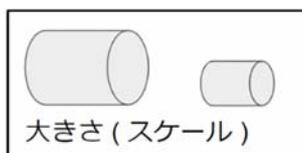


図 15 : 大きさ

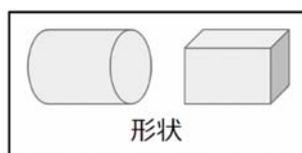


図 16 : 形状

9. 謝辞

今回、実験や考察を通してご指導いただいた津山工業高等専門学校の曾利 仁 先生、加藤 学 先生、誠にありがとうございました。

10. 参考文献

- 1)日本包装学会誌 Vol.9 No.2 (2000)「環境対応型バラ緩衝材の力学的特性」 斎藤勝彦 他
- 2)JIS(日本工業規格) 包装貨物 落下試験方法
- 3)JIS(日本工業規格) 包装用緩衝材料 評価試験方法

二重構造物体の速度測定による運動解析

研究者 武村 直樹, 西尾 月都, 福田 雄太, 全本 茉優, 高山 友那, 山本 心愛

指導者 津田 拓郎, 小田 夏海

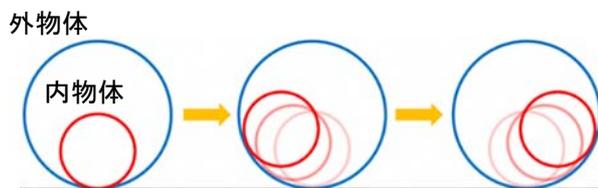
Abstract

When a cylinder gets hit, it performs uniform motion. However, when we roll a cylinder with another smaller cylinder inside it (we call it “double-structural cylinder”), it repeats a sharp acceleration and deceleration movement. We got interested in this movement, and tried to analyze it by measuring the velocity change of the double structural cylinder. As a result, it turned out that each cylinder moves in single harmonic motion.

1. 概要

ある1つの円筒形の物体を平面上で転がしたとき、物体は等速直線運動をする。しかし、その筒の中にもう一つ小さな筒を入れた物体（以下「二重構造物体」）を転がすと、物体は中の物体が外の物体に影響を与えることで急激な加速と減速をくり返す不規則な運動をしながら進む。この複雑な運動の様子に興味を持った我々は、2物体の速度変化を測定することでこの運動の解析を試みた。結果、2物体は全体の重心速度からみて、ある一定の正弦曲線に酷似した周期的な運動をしていることが分かり、単振動を行いながら進んでいることが分かった。

2. 研究内容



(図1) 二重構造物体の運動の様子

(1)目的

外側の物体（以下「外物体」）の重心と内側の物体（以下「内物体」）の重心の速度変化の様子を観察し、それらの運動の関係を分析、考察することで二重構造物体の運動を解析する。

(2)仮説

二重構造物体を実際に運動させて観察すると以下の2つのことが分かった。

① 外物体が加速と減速をくり返しながら運動している。

② 内物体が外物体の内側を振り子のように運動している。

①, ②から、2物体の運動は単振動であるという仮説を設定した。

(3)方法

<準備物>

レール（鉄製 1.5 m）：(図2)

打ち出し装置（力学台車、ジャッキ）：(図3)

硬質ポリ塩化ビニル管（直径 12.5 cm

270.5 g, 直径 6.0 cm 165.6 g）：(図4・5)



(図2) 実験で使用したレール



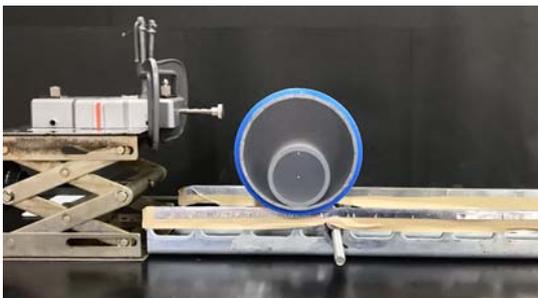
(図3)
物体を打ち出した装置



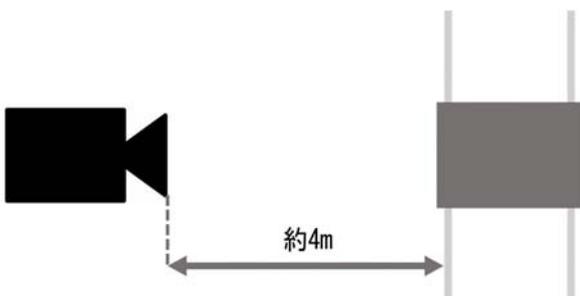
(図4) 使用した外物体



(図5) 使用した内物体



(図6) 実験の全体像



(図7) 撮影の概略図

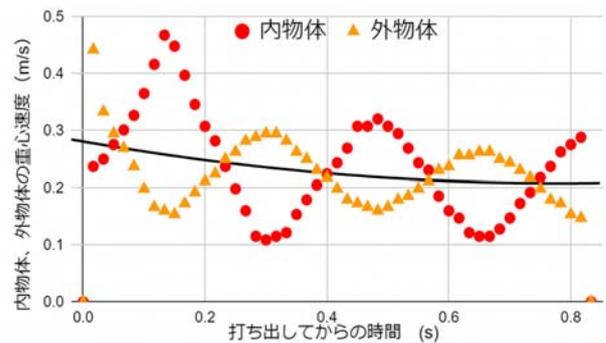
- ① 内物体と外物体の硬質ポリ塩化ビニル管を幅 15.0 cm に切り，側面に透明なプラ板を貼る。各物体の重心の位置が分かるようにプラ板に印をつける。
- ② レールの上で静止させた二重構造物体を，一定の高さに固定された打ち出し装置で打ち出す。
- ③ 2物体の進行方向と垂直な方向からビデオカメラで撮影する。
- ④ 動画解析ソフト Kinovea(※)を用いて内物体・外物体の重心速度を求める。

(4)実験上の注意

- ① ビデオカメラで撮影した画像の中央と端では，実際の距離とのずれが生じる。これを防ぐために，ビデオカメラと二重構造物体との距離を約 4 m (図7) とし，ズームで撮影することでずれを軽減させた。
- ② 速度変化が小さい場合，単位時間あたりの移動距離の変化が小さいため，滑らかなグラフが得られなくなる。そのため，画角を狭めて撮影した。
- ③ 動画中の物体がぶれていると解析が正しくできないので，ビデオカメラのシャッタースピードを 1/350 秒以下に設定して動画中の物体のぶれを軽減させて撮影した。

(5)結果

(図8) は内物体と外物体の水平方向の重心の速度変化のグラフである。

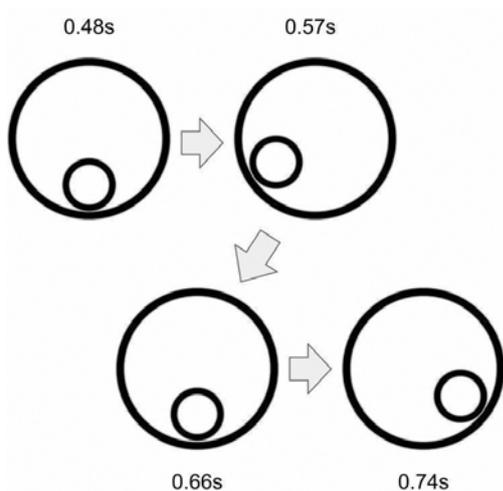


(図8) 内・外物体の重心速度

3. 考察

(図8)の二つのグラフの交点に着目すると、これらの交点では内物体と外物体の水平方向の重心速度が一致していることに加え、二重構造物体全体の水平方向の重心速度も一致していることが分かる。

(図9)の時間は(図8)のグラフに対応していて、0.57sと0.74sの時は内物体が最高点に達している。この時、外物体から見た内物体の速度は0となっていて、内物体、外物体、二重構造物体全体の水平方向の速度は同じである。



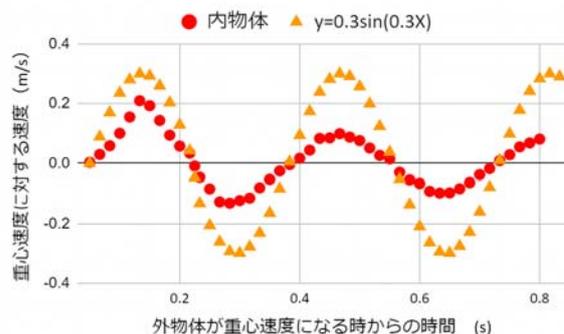
(図9) 各経過時間の内物体の変移
(進行方向右向き)

よって、この交点を通るグラフ(図3黒曲線)を作成することで二重構造物体全体の水平方向の重心速度変化が分かる。そして、このグラフから、内物体、外物体の速度を引くことで全体の重心の位置から見た2物体の水平方向の速度が分かる。この速度を表したグラフが(図10・11)である。単振動であることを確認するため、正弦曲線を重ねて比較した。

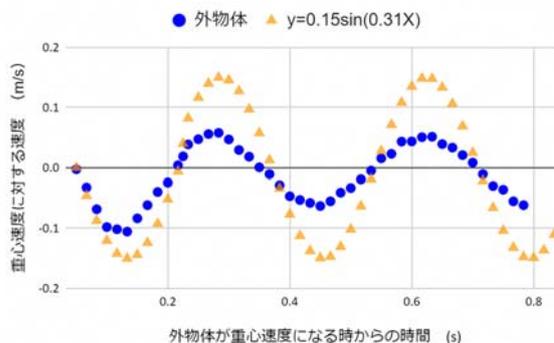
グラフの横軸との交点が一致するような正弦曲線を重ねると(図10・11)より、2物体の速度はそれぞれある一定の正弦曲線と酷似していることが分かる。また、そのグラフは周期的変化をしていて、内物体と外物体が互いに対称な速度変化となっていることが分かる。

(図10・11)から、全体の重心から各物体を見るとそれぞれの物体が水平方向は単振動をしていると言える。

また、それぞれのグラフを見ると約0.2秒まではグラフの概形がとがっているような形になっており、単振動とは言いにくい速度変化となっている。その理由として、単振り子を単振動と見なすためには振幅を小さくしないとイケないが、0.2秒までの間は内物体の振幅が大きく、単振動と見なすことができないためであると考えている。



(図10) 全体の重心から見た内物体の重心速度



(図11) 全体の重心から見た外物体の重心速度

4. 課題・展望

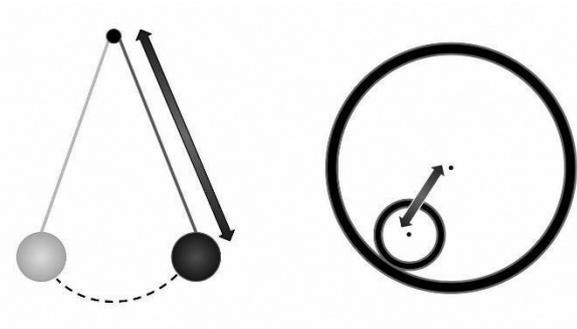
以上の結果・考察をうけて、以下のような展望を立てた。

二重構造物体が単振動の運動をしていることから、内物体の半径の変化は(図12)のように単振り子の長さ、内物体の重さは単振り子の重さを表していると考えた。よって、これらの変化は二重構造物体の運動を変化させる要素であると仮定でき

る。

このことから今後は内物体・外物体の半径と重さを変えて同様の実験をし，単振動であることのさらなる確証を得ていきたい。

また，グラフの正確性や物体の打ち出しの正確性などといった課題が挙げられるので今後改善していきたいと思う。



(図 12) 単振り子と二重構造物体の関係

5. 謝辞

本研究を指導してくださった，津山工業高等専門学校に加藤先生，曾利先生，英語発表の指導をしてくださった江原先生に感謝したいと思います。本当にありがとうございました。

6. 参考文献

1. 岡山県立津山高等学校理数科課題研究『坂道を転がる二重構造物体の加速度解析』(2019)13-16
2. 高等学校物理Ⅱ改訂版 啓林館 47-53

※Kinovea 動画解析ソフト

映像から二次元動作分析を行うアプリケーション。距離・角度・速度の計算や，2つの映像を比較することも可能。

接地面に水がある場合の時間経過による摩擦係数の変化

研究者 瀬畑 勇誠, 中島 天悠, 近藤 竜輝, 春名 陽向
指導者 津田 拓郎, 小田 夏海

Abstract

In 2015 a research team of our school showed that when a piece of wood is brought into contact with a slope, its coefficient of friction tends to increase with the time from the start of ground contact to the start of movement, and then converges to a constant value. The reason for this is that the coefficient of static friction depends on the contact time and the fact that solids are not in contact with the entire surface but only in a limited area because the surface is uneven.

Therefore, in this study, we showed the relationship between the ground contact time and the coefficient of static friction with water on when water the ground contact surface, and modeled the state of the contact surface based on the results.

1. 概要

本校平成 27 年度の理数科課題研究では、木片を床に接地させた場合、その摩擦係数は物体が接地開始から動き出すまでの時間（＝接地時間）とともに増加傾向を示し、一定の値に収束することが明らかにされている。この理由として固体は表面全体で接触するのではなく表面の凹凸など限られた面積（＝真実接触面積）で接触しているというモデル化により静止摩擦係数が接地時間に依存することを示している。

一見底面全体で接触しているように見えるが、**図 1**のように物体と床の接地面を拡大すると、物体の表面の微細な凹凸（＝丸い印）の部分のみで接触している。そこで本研究では、接地面に水が存在する場合、接地時間と静止摩擦係数にはどのような関係があるのかを明らかにし、その結果をもとに接地面の様子をモデル化した。

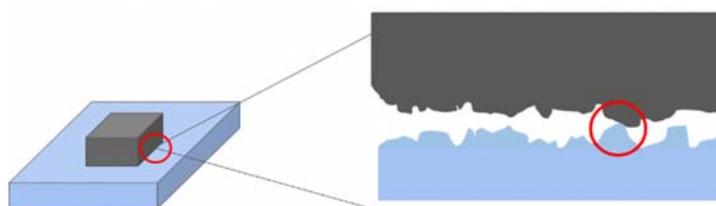


図 1：接地面の様子

2. 動機・目的

先行研究より静止摩擦係数が接地時間に依存することに興味を持ち、接地面の状態を変化させることでこれらの規則性がどう変わるかを明らかにしたいと考えた。

そこで、接地面に水がある場合の接地時間と静止摩擦係数の関係性を明らかにすることを目的とした。

3. 方法

図2, 図3はともに研究の際に使用した自作の実験装置である。図2は簡略図, 図3は実際の写真である。この装置はモーターをギアセットに組み込み, さらに抵抗器をいれることで, モーターをゆっくりと回転させることができる。物体として木片を使用しなかったのは水を入れた実験の際に木片が水を吸ってしまうためである。ここで物体としてビーカーを使用する場合, 物体の重さを自在に変えることができる。そのため, 水を入れたビーカーを物体として用いた。

モーターで糸を巻き取ってばねを引っ張り, 定規でその伸びを計測する。そして以下①~④の手順に従って接地面に水がある場合とない場合で実験を行った。また, 接地面に水がある場合では, 仕切りの右側に水を入れた。

- ① 凹凸のない接地面の上に物体としてのビーカー (126g) を乗せ, 接地時間を測る。
- ② 一定時間後にスイッチを入れ, モーターでばねを引き始める。

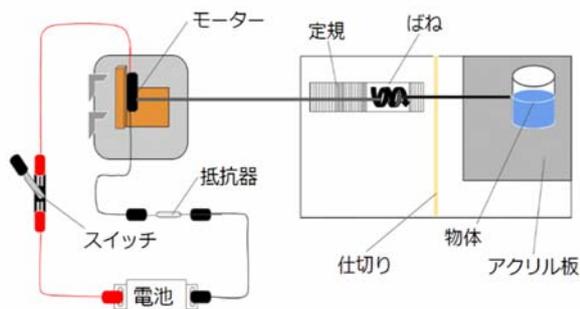


図2 : 実験装置の簡略図

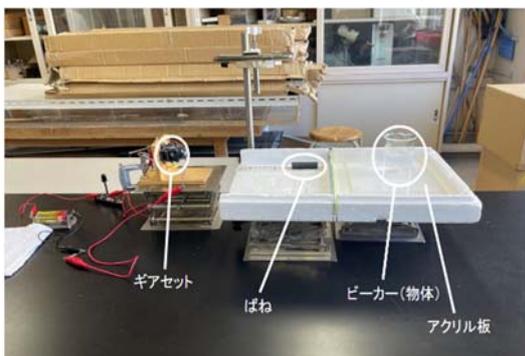


図3 : 実験装置の写真

- ③ その様子をカメラで撮影し, 物体が動き始める瞬間のばねの伸びを計測する。
- ④ ばねの伸びから弾性力を算出する。



図4 : 物体にはたらく力

図4のように物体が動き出す瞬間ばねの弾性力と最大摩擦力はつり合っているので左向きを正としたとき以下の式が成立つ。

$$\mu N - kx = 0$$

この式を変形して

$$\mu = \frac{kx}{N}$$

(k : ばね定数 11N/m, x : ばねの伸び, N : 垂直抗力)

実験で得られたデータから接地時間と静止摩擦係数の関係を表したグラフを作成する。考察をする際には接地時間ごとに計測した静止摩擦係数の最頻値を使用する。

ここで最頻値を使用する理由はデータにばらつきが多く, 最頻値を採用することで極端に外れている値の影響を受けないようにしようと考えたためである。

以下の図5は以降に出てくる結果②の平均値をとり, グラフにしたものである。この図を見たら分かるように平均値を採用してしまうと, 極端に外れている値いくつかあるため, 接地時間と静

止摩擦係数の関係を正確に表したグラフを作成することができない。したがって、平均値ではなく最頻値を採用した。

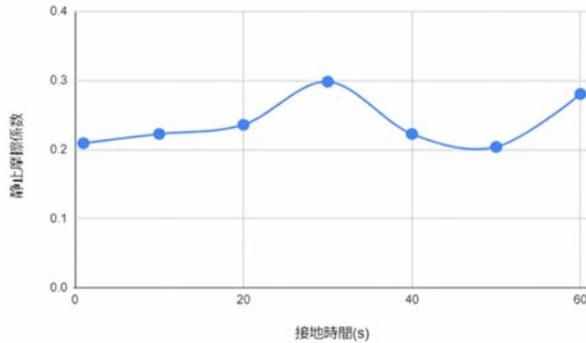


図 5 : 結果②の平均

4. 結果

結果①

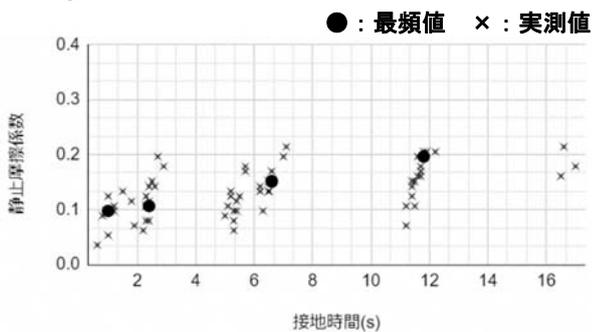


図 6 : 水がない場合の結果

結果①は表面に水がない場合の結果である。このグラフから表面に水がない場合では先行研究と同じく静止摩擦係数は接地時間によって増加傾向を示すことがわかる。

結果②

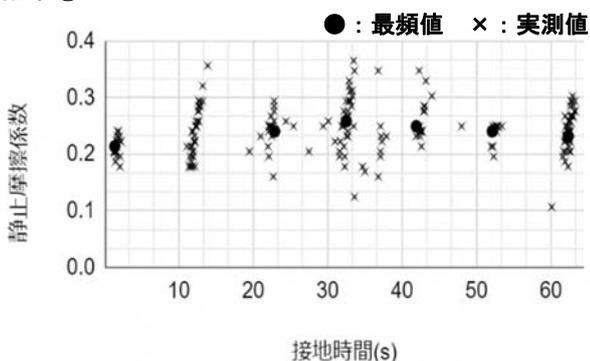


図 7 : 水がある場合の結果

結果②は表面に水がある場合の結果である。このグラフから、計測した静止摩擦係数にばらつきが多く、傾向が見えないように見えるが、最頻値をとってみるとほぼ一定であることがわかる。

したがって、図 7 から表面に水がある場合では静止摩擦係数は接地時間によらず一定である。

5. 考察・結論

接地面に水があることで、接地時間が増加しても静止摩擦係数は変化しなかったことから、物体と床の接地面に水があると真実接触面積は変化しないと言える。

また、先行研究より水分子は平均的に 10 個の水分子が水素結合によって結びつき、クラスター構造をとっていることが明らかになっている。水分子の大きさが約 0.3nm であることから、水分子クラスターひとつの大きさは約 3nm 以上だと推測できる。

そして今回の結果と先行研究より、真実接触面積の高さが 3nm~5nm であることを考慮し、水分子クラスターが真実接触面積における隙間に入ることで、接触面の状態が安定し、時間経過による静止摩擦係数の変化をなくしたと考えた。

以上のことから、図 9 のような接地面のモデルを制作した。

まず、先行研究では水がない場合、図 8 のように接触開始からの時間経過によって底面にある微細な突起がつぶれていき、真実接触面積が増加していくというモデルが考案されていた。

この状態だと物体の底面の微細な突起のみでしか接触しておらず接地面がずれる可能性があるため、接地面の状態が不安定であるといえる。

それに対して、水がある場合では図 9 のように物体と床の間に水分子クラスターが入ることで、水分子クラスターがクッションのような役割をし、接地面の状態が安定することで、時間経過による静止摩擦係数の変化がなくなるという仕組みになっていると考えた。

また、計測した静止摩擦係数にばらつきが大き

くなっている理由について水分子クラスターは不規則に動いていて物体と床の接地面の間に入り込む粒子の数やクラスターの大きさが必ず一定になっているわけではないため、結果に差が出たのだと考えた。



図 8 : 水がない場合の接地面のモデル



図 9 : 水がある場合の接地面のモデル

6. 今後の展望

今回の実験では、物体と床の表面に介する液体として水という 1 種類の物質しか実験を行っていない。

そこで、より小さな粒子から構成された液体で実験を行い、結果にどのような差異が生まれるのかを研究したい。

この実験を行うことで、液体の粒子の大きさが静止摩擦係数と接地時間の関係に影響を与えるかどうかを明らかにすることができ、私たちの考えたモデルの正誤を確定することができる。さらに、粒子の大きさ、接地時間、静止摩擦係数の 3 つの要素からなる関係式を算出できる。

今後はこのようにして、研究を深めていきたい。

7. 謝辞

本研究において、ご指導くださいました津山工業高等専門学校に加藤学先生、曾利仁先生に厚く御礼申し上げます。

8. 参考文献

- 1) 近藤真由他「摩擦の法則の検証とメカニズムの考察～摩擦面で生じるマイクロの変化に迫る」
岡山県立津山高等学校理数科
平成 27 年度理数科課題研究.2015.9
- 2) 小林明発他 「液体膜の摩擦力発生機構に関する研究」日本機械学会東海支部総会講演会
講演論文集 51 巻.2002.22
- 3) 新田勇 「真実接触面積の測定
日本実験力学学会誌 実験学」
第 3 巻.vol4-285.2003.1
- 4) 土屋正彦他 「液体イオン化タンデム質量分析法による水クラスターの液体表面及び気相中におけるサイズ分布の解析」
日本分析化学会 第 62 巻年間特集
No.12.2013.1087
- 5) 松下和弘 「水のクラスターとは」
公益社団法人日本薬学会
ファルマシア 28 巻 1 号.1992.20

粒子の挙動による液状化現象の解析

研究者 柿内 啓輔, 泉 湧太, 上谷 琢志, 山下 敦也

指導者 津田 拓郎, 小田 夏海

Abstract

We studied the liquefaction phenomenon from the behavior of particles. We built a device and used glass beads as particles to reproduce the phenomenon. The difference in the height of the particle surface between theoretical and experimental values was small, while the difference in the height of the water surface sometimes was large. The height of the particle surface can be shown in a theoretical equation, but the height of the water surface needs to be investigated further.

1. 研究の概要

本研究では、液状化現象が生じる時の粒子の挙動について解析を行った。粒子に振動を加える振動装置を作製し、粒子には複数の粒径のガラスビーズを同質量混ぜた物を用いて、液状化現象後の粒子の上面（以下、粒子面とする）と水面の高さについて実験値と理論値の差異を求めることができた。そして、複数の粒径を用いることで、液状化現象後の粒子面、水面の高さを予測する上でより正確な式を再構築した。粒子面の高さについて、実験値と理論値の差異が小さく理論式で表せた。一方で水面の高さについては、理論値との差異が大きく、今後原因の追究が必要であった。

2. 序論

液状化現象とは、地震により砂地盤が液体状になる現象である。液状化現象による各地での被害を知り、被害の防止に尽力したいと考えた。地盤中の粒子の形状や配置は複雑であるが、シンプルなモデルを設定し、それを組み合わせることで、液状化現象後の水面、粒子面の高さを予測することを目的とした。

先行研究では、1種類の粒径の粒子と水の混合物を振動させたとき、振動後の粒子面と水面の高さの差を求める理論式が示されている。また、液状化現象後の粒子配置は、粒子を球形とした面心立方格子をモデルとしている[1]。

本研究では、液状化現象の現実性を考慮する要素として、地震の振動周期と地盤に含まれる粒径を考えた。今回は地盤に含まれる粒径に着目し、複数の粒径の粒子を混合した場合の液状化現象後の粒子面と水面の高さについての理論式を再構築したので、その結果を報告する。

3. 実験方法

図1に振動装置の構成を示す。板(B)の上に容器(A)と振動源(C)を取りつけたものを振動装置とする。板をスタンドで水平になるように固定し、振動させることで周期的な振動を発生させることができる。図2に振動源の構成を示す。モーター(M)の回転軸におもり(S)の重心をずらして取りつけた偏心モーターにより振動を発生させることができる。

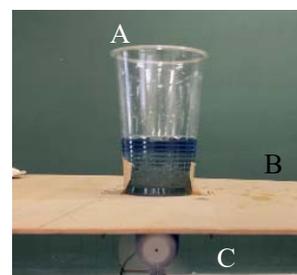


図1 振動装置

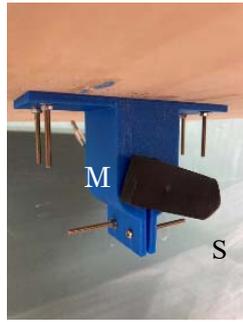


図2 振動源

以下、実験手順を示す。

1. ガラスビーズと水を用意する。ガラスビーズは、粒径（直径）①3.0mm，②2.0mm，③1.0mmを，①と②（粒子径比3:2），①と③（粒子径比3:1）の組み合わせで，各粒径100g ずつ混合する。水量は，15ml，35ml，50ml，80ml とする。
（容器は半径4.3cm，3.1cm，高さ13cm，容積 $3.9 \times 10^2 \text{ cm}^3$ の円錐台である。）
2. ガラスビーズと水を容器に投入し，モーターにかかる電圧を1.5Vとし，3分間振動させる。
3. 振動終了後の粒子面，水面の高さを計測する。

この実験において，粒子を球体と仮定して理論式を構築でき，砂粒子に比べ振動による摩擦によつての形状の変化が小さいためガラスビーズを使用した。

4. 結果①・考察①

振動前は無作為に混合されていた粒子が，振

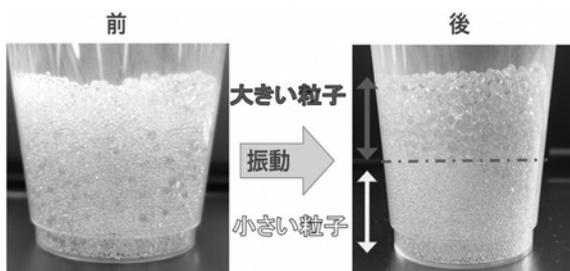


図3 振動前後の粒子の様子

動後は粒径の大きい粒子が上昇し，粒子の小さい粒子が下降し堆積している様子が観察できた。観察から振動が加えられることによってブラジルナツツ効果が起こり，図3写真のように粒径が大きいものが上昇し，粒径が小さいものが下降することで，粒子が二層に分かれる様子が観察できた[2]（以下，粒径の大きい粒子から成る層を上層，粒径の小さい粒子から成る層を下層とする。）。

この結果から，層について場合分けした理論式を立式できると考えた。

また，振動させる時間やモーターにかける電圧を変えたときの粒子面の高さは実験手順での結果と差異はなかった。ここから液状化現象による上昇する水の量，粒子面の下降は3分間以内に粒子ごとにある一定の値に収束することが分かった。このことから，本実験では液状化現象による，最大の影響を予測することができると分かった。さらに，収束した後の振動と振動周期は粒子ごとに収束する一定の値に影響しないと考えられる。

5. 結果②・考察②

粒子が充填していない隙間に水が存在するため，水の体積 V は，水面の高さ A に対する容器の体積 AS と水に浸かっている粒子の体積との差分で表すことができる。粒子の体積は充填率を用いて算出する。したがって，水面の高さの位置によって3つの場合に分けて水面の高さ A を表していく。ここで，式を示すために必要な物理量を定義する。

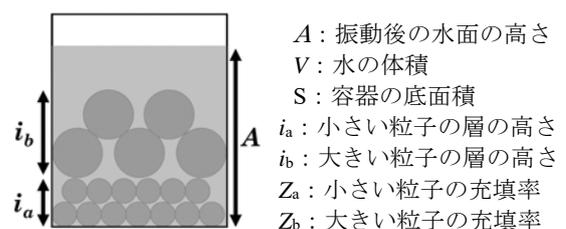


図4 理論式算出のための物理量の定義

また、理論式を作成する上での場合分けとして、以下の3つの場合に分けた。

- (I) 下層に水面がある場合
- (II) 上層内に水面がある場合
- (III) 上層より上に水面がある場合

上記の場合分けは、粒子の粒径によって充填率が異なるためである。

粒子の充填率は、粒子配置を立方格子として粒径①のとき 0.64, 粒径②のとき 0.65, 粒径③のとき 0.71 とする。

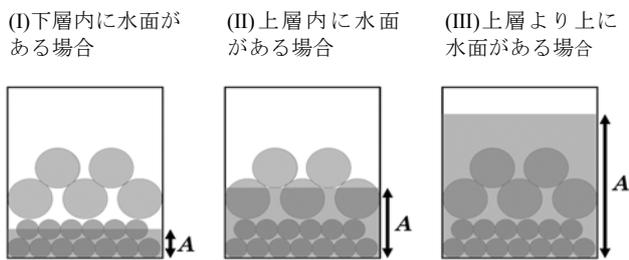


図5 水面の高さについての場合分け

(I) 下層に水面がある場合

水面の高さと底面積との積から水につかっている粒子の体積を差し引いたものであるため、水の体積 V は、

$$V = AS - ASZ_a$$

と表せる。

(II) 上層に水面がある場合

下層の粒子はすべて水に浸かっている。上層の粒子は水面の高さ A と下層の高さ i_a の差分の高さだけ水に浸かっている。同様に、水の体積 V は、

$$V = AS - S i_a Z_a - S(A - i_a) Z_b$$

と表せる。

(III) 上層より上に水面がある場合

下層と上層ともにすべての粒子が水に浸かっている。同様に、水の体積 V は、

$$V = AS - S i_a Z_a - S i_b Z_b$$

と表せる。

今回の水量について、15ml が場合分け (I), 35ml が場合分け (II), 50ml と 80ml が場合分

け (III) に相当する。

粒子面の高さ ($i_a + i_b$) を求めるためには、

$$i_a + i_b = \frac{40}{SZ_a} + \frac{40}{SZ_b}$$

と表せる。ここで、実験に用いた粒子の体積はそれぞれ 40cm^3 である。

以上のことから水の高さ A は、下記で示す式で表すことができる。

以下、整理した理論式を示す。

(I) 下層内に水面がある場合

$$A = \frac{V}{S(1-Z_a)}$$

(II) 上層内に水面がある場合

$$A = \frac{V - S i_a (1 - Z_a)}{S(1 - Z_b)} + i_a$$

(III) 上層より上に水面がある場合

$$A = \frac{V - S i_a (1 - Z_a) - S i_b (1 - Z_b)}{S} + i_a + i_b$$

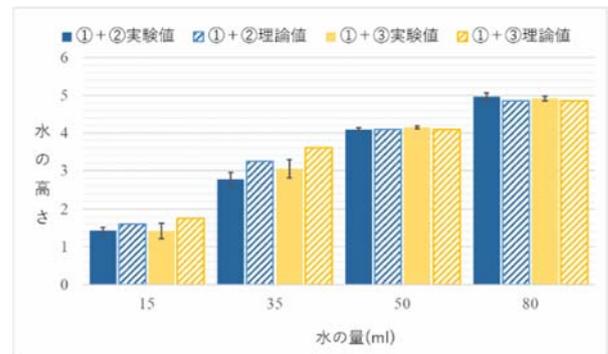


図6 振動後の水面の高さ

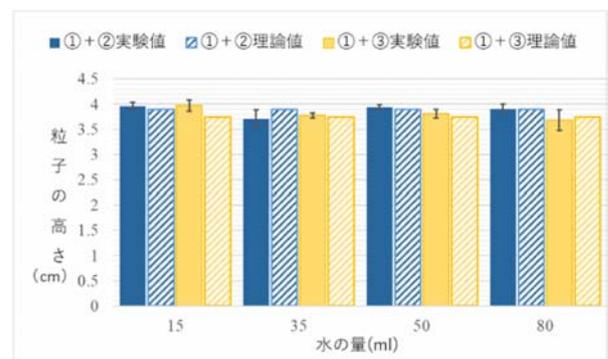


図7 振動後の粒子面の高さ

図6に振動後の水面の高さ、図7に粒子面の高さを示す。図中の実験値のエラーバーは標準偏差を表している。図6のグラフでは、水の量が15ml、35mlの場合、実験値が理論値より小さくなっている。また、図7のグラフでは、理論値と実験値との差異が小さくなっている。

図6、図7に示した結果より、粒子面の高さについて、理論値と実験値の差異が最大で約2.0mmであり理論式で振動後の粒子面の高さを表せたと考えている。水面の変位について、場合分け(III)の時、差異は小さく理論式で表せているが水が15ml、35mlの、場合分け(I)と場合分け(II)の時、差異が大きくなっており、理論式では全てを表せていないと考えられる。その原因としては、観察から水面が山なりになっていることが分かっており、計測していた水面の高さが不正確になっていたことが挙げられる。この理由として、振動装置を真下に取り付けており、中心に加わる振動が周辺部分と比べ大きくなることで水面が盛り上がったことなどを考えている。

6. 結論

上記の理論式から推測される振動後の粒子面の高さと実測値の差異はほとんどなかったが、振動後の水面の高さにおいては、理論値と実験値の差異があり、改善していく必要があると考えている。また、本研究はブラジルナッツ効果が起こる場合、つまり壁面がある状態において液状化現象に関する理論式を構築した。そのため、容器内での液状化現象を表すことにおいては、この理論式は適しているが、実際の壁面のない土壌における粒子面の変化、水面の上昇を表すことは難しいと予想される。これからの課題として、より応用性の高い理論式を構築するために地震の振動周期にも着目していく必要がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、津山工業高等専門学校に加藤 学先生、曾利 仁先生にご指導を受けました。誠にありがとうございました。

参考文献

1. 「液状化現象における粒子の挙動」津山高校 理数科 2020年
2. フィリップ・ボール「流れー自然が創り出す美しいパターン」早川書店 2011年 297ページ

炭素棒による水溶液の電気分解

～実験値を理論値に近づけるには～

研究者 勞 津松

指導者 南 洋明

Abstract

In my research, I have electrolyzed a water solution with a carbon fiber rod to find out under what conditions the volume ratio of hydrogen: oxygen equals 2:1.

For example, we electrolyze sodium hydroxide aqueous solution with metals such as platinum, hydrogen and oxygen occur and the volume ratio is $H_2:O_2$ 2:1. But it can't be 2:1 with carbon fiber rods.

So I have electrolyzed many times and found a condition when its ratio becomes 2:1 exactly.

1. 研究の概要

本研究は、水溶液を炭素棒で電気分解したときにどんな条件で水素と酸素の体積比が 2 : 1 になるのかを調査することである。

例えばプラチナなどを電極として電気分解するとき、水素と酸素が発生し、その体積比は $H_2 : O_2 = 2 : 1$ となる。だが炭素棒で電気分解すると体積比が 2 : 1 にならない。

そのため炭素棒でも実現できる条件を模索した。

2. 目的

金属よりも比較的安価な炭素棒を使うことで、教育機関の実験費用を抑え、なおかつ金属を別の用途に使い回せるようにする。

3. 主な実験器具

炭素棒、半透膜 (写真 1)

ホフマン式電解装置 (写真 2)

ゴム栓

メスフラスコ

ドリル (後述する穴をあけるため)

尚、炭素棒は市販の状態だと長すぎるのでカッターで後述の長さまで切った後、やすりで丁寧に切り口を磨いた。

またゴム栓も実験の都度新しく用意した。

さらにホフマン式電解装置は実験を行う直前に実験で使う水溶液で中を洗浄し、中身に補充する水溶液の濃度を変えないようにした。



写真 1. 使用した炭素棒および半透膜



写真 2. ホフマン式電解装置

4. 水溶液

硫酸ナトリウム水溶液

水酸化ナトリウム水溶液

水溶液を選ぶ基準・・・学校の実験でよく使う水溶液である水酸化ナトリウム水溶液の陰イオンである水酸化物イオン OH^- が何かしらの障害をしていると考え、陰イオンの対照実験ができるように純水に溶かす溶質を選んだ。

※水溶液の作り方

Step.1...少量の水で溶質を完全に溶かす。

Step.2...メスフラスコに移す。

Step.3...標線まで水を入れる。

Step.4...メスフラスコを勢いよく振る。

調整終了

5. 実験方法

4.5 cm に切り分けた炭素棒を使い、モル濃度 0.25 mol/L の水溶液を 15 V の電流で 10 分間電気分解する。

6. 加工方法

(1) 炭素棒に半透膜を巻く・・・

- ①水素と酸素以外の電気分解による生成物の発生を防ぐ
 - ②気体が電解装置のチューブを伝って外部へ漏れるのを防ぐ
 - ③巻いた状態で電気分解をすると炭素棒の表面が劣化するのを防ぐ
- 以上3つの予防効果をもたらす。

実際に電気分解した後、半透膜の有無により炭素棒に違いがみられるか確認した。



写真3. 半透膜を巻いて電気分解に利用した炭素棒



写真4. 半透膜を巻かずに電気分解に利用した炭素棒

写真3は炭素棒の表面が「劣化していない」が、写真4は表面が「かなり劣化」している。

これは、半透膜により劣化を抑えることが出来たことを示している。

(2)炭素棒に深さ 1 cm の穴を開ける・・・

表面積を増やすことで、気体の吸着量を増やすため。



写真5. 穴（直径 1 mm）をあけた炭素棒

(3)炭素棒を 1 度 5 分間電気分解する・・・

炭素棒を活性化させ、気体の吸着量を増やすため。

7. 実験結果

水酸化ナトリウム水溶液+加工法

(1) + (3) で「正確」に水素と酸素の体積比が 2 : 1 になった。

次ページに、様々な条件下で電気分解したあとの結果を水溶液ごとにまとめたものを載せた。

表①・グラフ①には硫酸ナトリウム水溶液を使ったときの実験結果を、表②・グラフ②には水酸化ナトリウム水溶液を使ったときの実験結果を記載している。

表①. 硫酸ナトリウム水溶液 0.25 mol/L で
電気分解した後の水素と酸素の体積比
(酸素を1とする)

結果 硫酸ナトリウム水溶液0.25mol/L

	未加工	ビス	ビス+穴	電+ビス
H ₂	7.1	2.3		
O ₂	1	1		

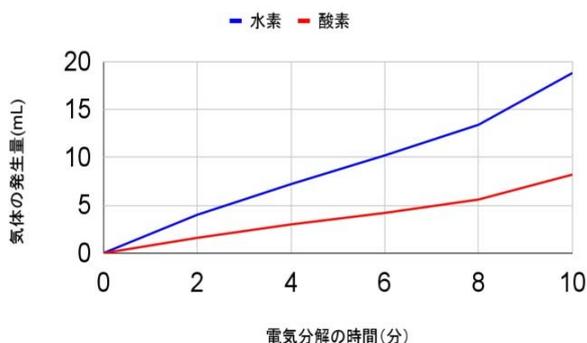
実験をしていないためXをつけた

表②. 水酸化ナトリウム水溶液 0.25 mol/L で
電気分解した後の水素と酸素の体積比
(酸素を1とする)

結果 水酸化ナトリウム水溶液0.25mol/L

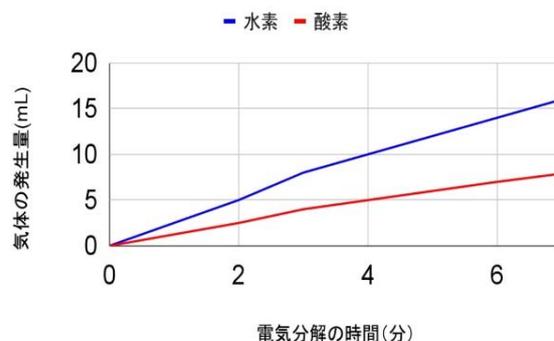
	未加工	ビス	穴+ビス	電+ビス
H ₂	6.5	2.3	2.5	2.0
O ₂	1	1	1	1

Na₂SO₄ aq 0.25 mol/L + ビス付き



グラフ①. Na₂SO₄ 水溶液の電気分解時による
水素と酸素の発生量の変化

NaOH aq 0.25 mol/L + ビス付き + NaOH aq 0.25 mol/L 電解済み



グラフ②. NaOH 水溶液の電気分解時による
水素と酸素の発生量の変化

8. 考察

硫酸ナトリウム水溶液で電気分解したときに炭素棒の表面で何らかの生成物を生み、それが気体の発生を阻んでいたと考えられる。

水酸化ナトリウムは硫酸ナトリウムと比べ、実験に与える影響がごく微量である事が分かり、結果的に本実験においては適した溶質だといえる。

半透膜を巻くことで炭素棒を水溶液に極力触れないようにできるので、それにより炭素棒とぶつかる電子の量が減るため、炭素棒にかかる負荷が減り、それによって劣化を防ぐ、と考えられる。

また、穴を開けるよりもあらかじめ一度電気分解した炭素棒を使った方がより気体の吸着量を増やせたため体積比が 2:1 に近づいたと考えられる。

9. 今後の展望

気体の溶解度を考慮していないため、もしかしたら水溶液中に溶けた気体と発生した気体の合計が2:1になるのかもしれない。よって、室温、気圧などを正確に調べ、溶解した気体の量を考慮した上で、実際にどれほどの量の気体が発生したのか調べたい。

10. 参考文献

菅原 壮太, 牧 祐太, 栗栖 冬翔, 河野 春馬, 長尾 修志: 「電気分解における電極中の気体の挙動の考察」, 令和2年度津山高等学校理数科課題報告書, p25-28.

身近にある抗酸化物質を探る～水溶性と脂溶性～

研究者 井上 響 小林 愛佳 松本 倅奈 宮野 瑠美 山本 佳秀
指導者 篠山 優也 南洋明 馬木 良輔 久保 真良

Abstract

We conducted our research with the aim of improving the problem of food waste from the viewpoint of antioxidants. Since antioxidants are both water-soluble and fat-soluble, we were divided into two groups.

The group studying water-soluble antioxidants focused on finding antioxidants that would be more effective. As a result, a substance different from vitamin C contained in the rhizome of wasabi showed strong antioxidant effects.

The group studying fat-soluble antioxidants focused on the long-term storage of various oils. Antioxidants for fat-soluble components such as BHT exist, but BHT has been shown to be harmful to health. Therefore, we conducted an experiment to find a safer and longer-lasting antioxidant using fat-soluble components in seeds, and found a substance with potential antioxidant properties.

1. 研究の概要

私たちは食品廃棄問題を酸化防止の観点から改善につなげることを目的に研究を行った。抗酸化物質は水溶性と脂溶性のものがあるため、水溶性抗酸化物質について研究を行う班と脂溶性抗酸化物質について研究を行う班に分かれて研究を行った。

水溶性抗酸化物質について研究を行う班では、より効果のある酸化防止物質を求めることに焦点を当て研究を行った。わさびに含まれる体内の酸化防止に効果のある物質に着目し実験を進めた結果、わさびの根茎に含まれるビタミンCとは異なる物質が強い抗酸化作用を示した。

脂溶性抗酸化物質について研究を行う班では、様々な油の長期保存に焦点を当て研究を行った。脂溶性成分に対する酸化防止剤として BHT といったものが存在するが、BHT は健康への被害が確認されている。そこで私たちは種子に含まれる脂溶性成分を用い、より安全かつ長期保存が可能な抗酸化物質を探る実験を行い、その結果、酸化防止作用が見込める物質を発見した。

2. 水溶性抗酸化物質についての研究

水溶性物質に含まれる酸化防止成分を探るために、タンニン酸をポリフェノールオキシターゼ(PPO)や過酸化水素水で酸化させ、抗酸化作用があると思われる水溶性物質を添加することで酸化が抑制される程度を調べ、抗酸化作用を評価した。

2-1. 酸化の評価

タンニン酸は酸化されることにより、変色することが知られている。今回は吸光度計を用いて変色の度合いを数値化することにより酸化の程度を評価した。

タンニン酸の酸化による吸収スペクトルの変化が最大であった 366.1nm を用いて実験を行った。

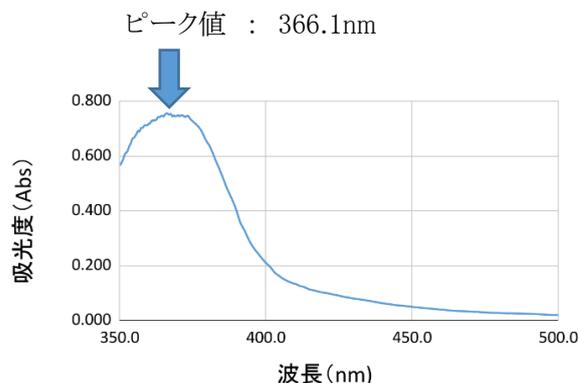


図 1 酸化したタンニン酸の吸収スペクトル

2-2. 予備実験1

(予備実験1の方法)

大根をおろし金でおろし、ろ過して大根抽出液を準備した。

酢酸ナトリウム緩衝液で溶解したタンニン酸にPPOを添加した直後に、大根抽出液を添加して酸化抑制の程度を調べた。

(予備実験1の結果)

大根抽出液を添加した直後に溶液が濁ったため、吸光度測定が不可能であった。よって、大根抽出液を10倍希釈して再度調べた。その結果、大根抽出液はタンニン酸の酸化を促進させることが分かった。よって大根抽出液には酸化防止効果はないと考えられる。

2-3. 実験1

(実験1の目的)

わさびに含まれるアリルイソチオシアネートには体内の酸化防止効果があるとわかっている。そこで食品にも応用できるのではないかと考え実験を行った。その際、ビタミンCとわさび抽出物の酸化防止効果を比較した。

(実験1の仮説)

わさび抽出物は、PPOによるタンニン酸の酸化を抑制する。

サンプルの処理方法

今回はわさびを根茎と葉柄に分けて実験を行った。

根茎

わさびの根茎をおろし金で下ろし、水で溶かした。その後煮沸して、遠心分離した上澄み液(以下:加熱わさび(根茎)と表記)と煮沸せずに遠心分離した上澄み液(以下:非加熱わさび(根茎)と表記)を用意する。

葉柄

わさびの葉柄を水と一緒にミキサーにかけホモジナイザーで破碎した。その後煮沸して、遠心分離した上澄み液(以下:加熱わさび(葉柄)と表記)と煮沸せずに遠心分離した上澄み液(以下:非加熱わさび(葉柄)と表記)を用意する。

(実験1の方法)

サンプル(わさび)0.200mL, 酢酸ナトリウム緩衝液9.945mL, PPO 0.005g, タンニン酸 0.05gの順で試験管に加え、2分ごとに吸光度を測る。

(実験1の結果)

対照とは、何も加えていない状態のサンプルを表す。

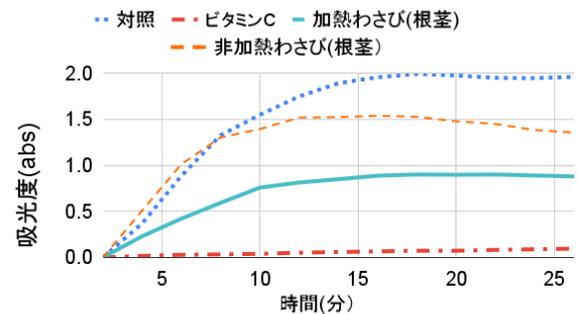


図2 サンプル(根茎)と吸光度の変化 (PPO)

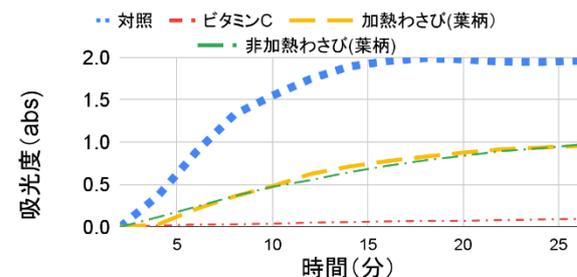


図3 サンプル(葉柄)と吸光度の変化 (PPO)

非加熱わさび(根茎)は他のサンプルよりも酸化防止効果が弱かった。また4つのサンプルすべてが酸化防止効果を発揮したが、ビタミンCに匹敵する効果はみられなかった。

(実験1の考察)

ワサビ抽出物を添加した場合、対照に比べて吸光度の上昇が低く抑えられている。よって、

わさびに含まれる成分によりPPOが失活して、PPOによる酸化が抑制されたと考えられる。

2-4. 実験2

(実験2の目的)

過酸化水素水による酸化に対して、わさび抽出物は酸化防止効果を有するのか確かめる。

(実験2の仮説)

わさび抽出物は、過酸化水素水によるタンニン酸の酸化を抑制する。

(実験2の方法)

過酸化水素水を添加し(最終濃度: 3.0×10^{-3} mol/L), 実験1と同様の方法で実験を行った。

(実験2の結果)

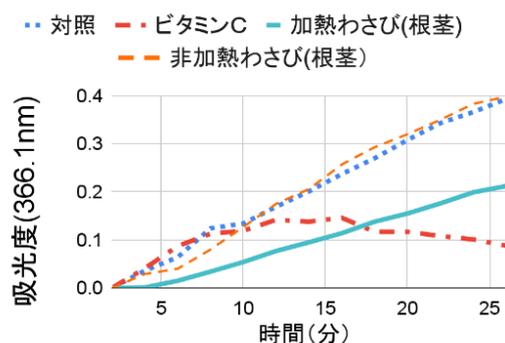


図4 サンプル(根茎)と吸光度の変化
(過酸化水素水)

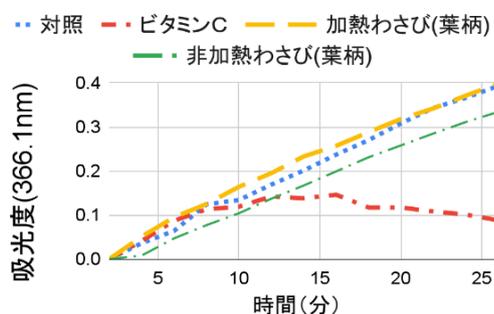


図5 サンプル(葉柄)と吸光度の変化
(過酸化水素水)

葉柄には煮沸の有無に関わらず大きな酸化防止効果はみられなかった。根茎を煮沸した場合は開始約17分まではビタミンCよりも強い酸化防止効果を示した。

(実験2の考察)

根茎を煮沸したとき細胞から抗酸化作用がある成分が抽出され、過酸化水素水による酸化を抑制されたと考えられる。

2-5. 結論

PPOによる酸化に対してはわさび(葉柄), わさび(根茎)どちらにも酸化防止効果がみられた。過酸化水素水による酸化に対しては、わさび(根茎)を煮沸したときに抽出される物質は一時的ではあるがビタミンCを上回る酸化防止効果を発揮しているとわかった。

2-6. 今後の展望

今回示されたわさびの酸化防止効果は、わさびのどの成分に由来するものなのかを特定する。さらに、わさびに含まれている揮発性の酸化防止成分についても調べる。

3. 脂溶性抗酸化物質についての研究

(目的)

植物の種子から安全かつ油の長期保存が可能な新しい酸化防止成分をみつける。

(仮説)

- ① 人体内で酸化防止効果があるプロポリスは食品に対しても抗酸化作用を発揮する。
- ② 油脂を含む種子には抗酸化作用がある物質が含まれる。

3-1. 酸価の測定方法

酸価 = $0.05611 \times (0.001 \text{ mol/L 水酸化カリウム溶液に含まれる溶質 [mg]} \times \text{滴下量} / 5 \text{ (油の体積 [mL])})$

3-2. 滴定方法

油(エゴマ油, イワシ油)にエーテルエタノール混合溶液(エーテル:エタノール=1:1)とフェノールフタレイン指示薬を加えた後, 0.001mol/L の水酸化カリウム溶液を滴下し, 滴定に要した水酸化カリウム溶液の量をもとに酸価をもとめる。

(※以後示す図6~図12の縦軸は, すべて酸価を表す。)

3-3. 予備実験2

(予備実験2の目的)

この予備実験はこれから用いる酸価の測定方法が正確なものなのか示すために行った。また, 前提条件として油は加熱をすると酸化することが示されている。

(予備実験2の方法)

- ① エゴマ油, イワシ油をビーカーに 5mL ずつ取る。
- ② 15 分間加熱したものと加熱していないものの酸価を滴定により三回ずつ測定する。

なお, 加熱する際には表面温度 180°C のホットプレートを用いた。

(予備実験2の結果)

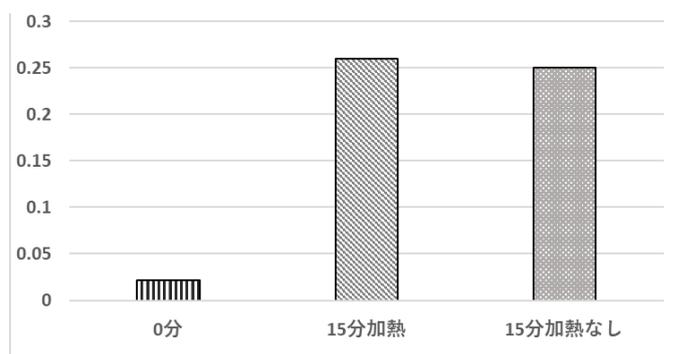


図6 予備実験 (エゴマ油)

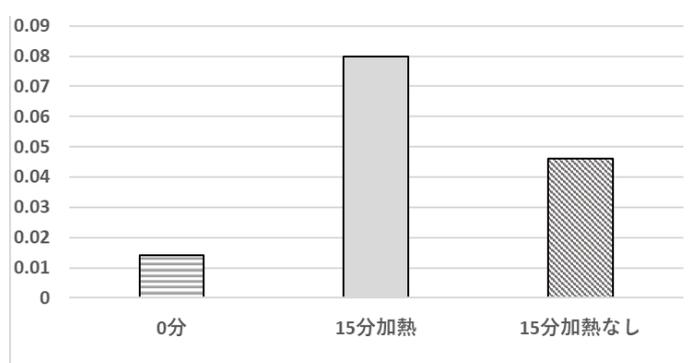


図7 予備実験 (イワシ油)

図6, 図7からエゴマ油, イワシ油ともに加熱をしたものの方が, 酸価が大きくなっていることがわかる。したがって3-1で示した酸価の測定の数式は今後の酸価の測定に用いることができると判断する。

3-4. 実験3 プロポリスを用いた実験

- ① イワシ油・エゴマ油を 20mL 計り取る。
- ② プロポリスを 0.50mL 添加する。室内に 72 時間静置したのち酸価を測定した。

(実験3の結果)

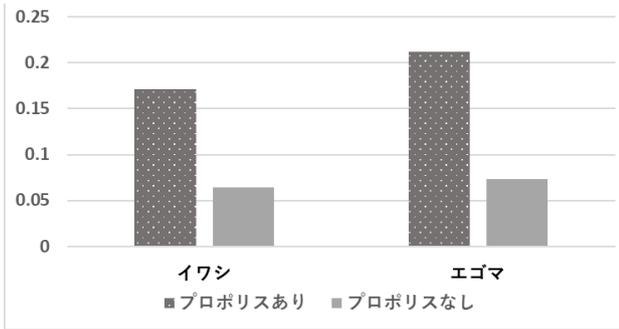


図8 実験1 結果

プロポリスを添加したことによって酸価が上昇したことから油の酸化が促進されたことがわかる。

(実験3の考察)

プロポリスには油脂に対して酸化を促進する物質が含まれている。

プロポリスが有する人体に対しての抗酸化作用は油脂には応用できない。

3-5. 実験4 ツバキやカボチャの種子を用いた実験

油脂成分を多く含む種子は酸化防止効果のある物質を含んでいると考察し実験を行った。

サンプルの抽出方法

殻皮を取り除いたツバキ・カボチャの種子を砕いたものから、ソックスレー抽出器を用いて脂溶性成分を抽出した。またその際、溶媒としてジエチルエーテルを用いた。抽出後溶媒はエバポレーターを用いて除去した。

- ① イワシ油・エゴマ油を 20mL 計り取る。
- ② BHT, ツバキ種子抽出物・カボチャ種子抽出物をイワシ油・エゴマ油の質量に対して 0.50%, 1.0%の割合になるようにそれぞれ添加する。
- ③ 室内に 72 時間静置したのち酸価を測定した。

(実験4の結果)

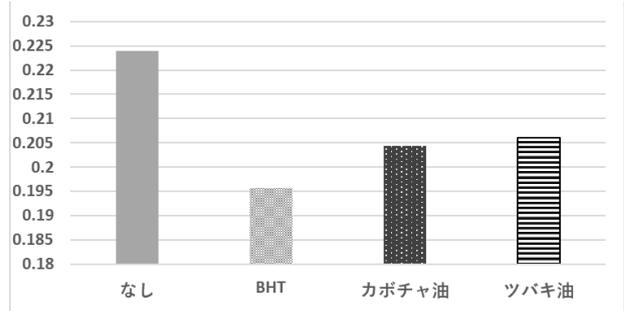


図9 エゴマ油 (0.50%添加物)

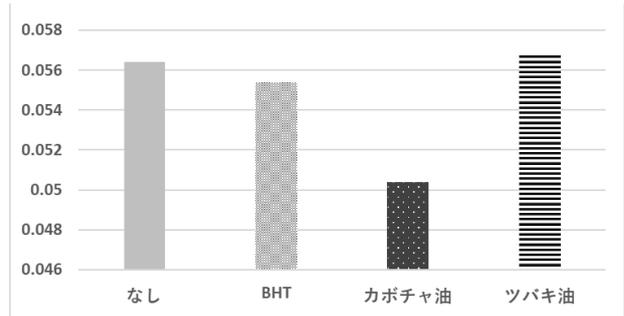


図10 イワシ油 (0.50%添加物)

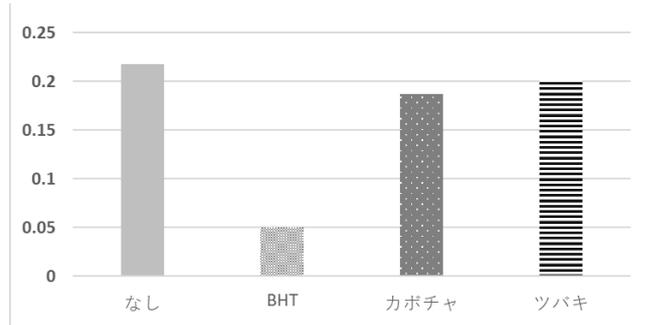


図11 エゴマ油 (1.0%添加物)

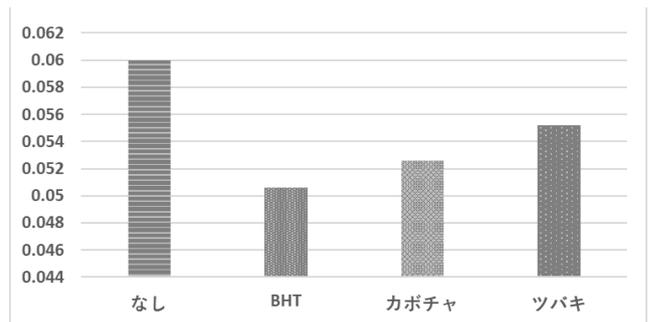


図12 イワシ油 (1.0%添加物)

ツバキ種子, カボチャ種子の脂溶性成分はどちらもサンプル無添加よりサンプル添加の方が酸価上昇を抑えていた。また, サンプルの添加量が 0.50% のときよりも 1.0% のときの方が高い酸化防止剤効果を示していた。

3-6. 考察

結果からツバキ種子抽出物・カボチャ種子抽出物のどちらにも抗酸化物質が含まれる可能性があり、抽出物の添加量を増やすことによって効果が高まる。プロポリスを添加すると大きく酸化が進んだことから、プロポリスには酸化を促進させる物質が含まれている可能性がある。

3-7. 結論

今回の実験で油を含む種子には酸化を抑制する物質が含まれていることがわかった。しかし、種子の中のどの物質が酸化を抑制する作用を有しているかまで特定できなかった。

3-8. 今後の展望

各抽出物のどの成分が酸化を防止する効果があるかを特定する。

サンプルの種類を増やし、さらに酸化防止効果が大きい物質を探す。

4. 参考文献

- ① 柴田貴広, 内田浩(2018) イソチオシアネート化合物ーアブラナ科野菜に含まれる機能性食品成分ー 農業及び園芸 93 巻 5 号, p.389-395
- ② 橋本顕彦, 青山康司(2013) 酵素量のコントロールによるすりおろしワサビ中のアリルイソチオシアネート保持技術 広島県立総合技術研究所食品工業技術センター研究報告 27 号, p35-37
- ③ 芋川浩, 古谷弥椰(2020) 常在菌に対する生わさび抗菌効果の解析 福岡県立大学看護学研究紀要 7 巻, p17-15
- ④ 高木 茂明, 松本 義信, 三宅 妙子(2000) 食用油の光又は加熱酸化に対する β -カロテンの抗酸化性について 川島医療福祉学会誌 vol.10 No.2, 335-340
- ⑤ 牛肝臓酸価の定量(美作大学 桑守正範教授より提供)

- ⑥ 古謝あゆ子, 大城直哉, 佐久間さつき, 玉城宏幸(2008) マーケットバスケット方式による BHT, BHA 没食子酸プロピルの摂取量調査ー沖縄県衛生環境研究第 43 号

5. 謝辞

本研究にあたって、ポリフェノールオキシダーゼ剤のサンプルを提供して下さった天野エンザイム株式会社様, プロポリスのサンプルを提供して下さった山田養蜂場株式会社様, 綿花から種子を取り出すための器具を貸して下さった作州絣工芸館の中山様に感謝いたします。

天然素材を用いたコーティングによる紙の耐水性と分解に関する研究

～プラスチックに代わるコーティング剤を目指して～

研究者 伊藤 朱里, 尾高 小絵, 竹内 瑞希, 的馬 知花
指導者 篠山 優也, 南 洋明

Abstract

The paper straws currently in use become soggy in long-term use. We therefore applied coating on the paper in order to avoid this. We looked for substances that contribute to better resistance against deformation and also return to soil. Our experiments showed that especially ivy wax or beeswax would be suitable.

1. 研究の概要

現在使用されている紙ストローは長時間使用するとふやけるが、その欠点を補うために紙ストローに天然素材を用いたコーティングを施した。そのストローが耐変形性に優れ、土へ還るかどうかを調べた結果、私たちが調べた素材の中では、ハゼ蠟と蜜蝋が適していることがわかった。

2. 序論

現在、地球上では様々な環境問題が生じており、プラスチックゴミによる生態系を含む環境への悪影響もそのひとつである。そのため、近年プラスチックストローではなく紙ストローの使用を呼びかける声が高まっているが、紙ストローには長時間使用するとふやけるという欠点がある。そこで私たちは、紙ストローに生分解性があり、水を通しにくいコーティング剤をコーティングすることによって前述の欠点を補い、土に還るといふ点で優れるのではないかと考え、本研究に取り組んだ。

3. 研究内容

(1) コーティング方法

本研究で用いるコーティング素材は、天然由来の柿渋（商品名：柿多富）、蜜蝋、ハゼ蠟、パラフィンワックス、ポリスチレンである。（図1）



図1 コーティング素材

蜜蝋、ハゼ蠟、パラフィンワックス、それぞれ2.0gをヘキサン 80mL に溶かしたものを、ポリ乳酸、ポリスチレン、それぞれ0.8gをジクロロメタン 80mL に溶かしたものを、液体状の柿渋の6種類をコーティング剤とする。コーティング剤を入れた試験管またはビーカーに、紙ストローの実験に使用する部分、または3cm四方の画用紙を3分間入れる。紙ストローは立て（図2左）、画用紙は画鋸の上に乗せ（図2右）、約1日乾燥させる。このコーティング作業でそれぞれのコーティング剤（6種）を1、2、3、4、5回つけた紙ストローをそれぞれ6本ずつ、合計180本作成する。画用紙はそれぞれのコーティング剤でコーティング作業を1回行う。

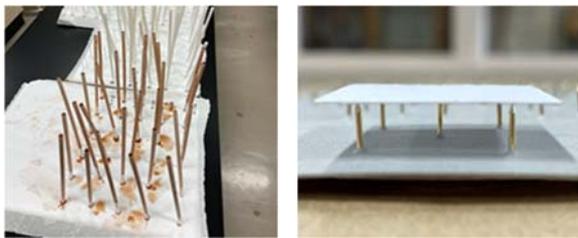


図2 乾燥方法

(2) 実験1【ストローの耐変形性の測定】

<目的>

コーティングを施した紙ストローにどの程度の耐変形性があるのかを調べる。本研究での耐変形性とは、紙ストローに力を加えたときの曲がりにくさのことである。

<実験方法>

ストローの耐変形性測定装置は、穴を開けたコルク、重り、レーザーポインター、クリップ、コップを用いて作成した(図3)。実験方法は、紙ストローをコルクの中を通して固定し、もう一方の先端にコップをつけたクリップを留め、レーザーポインターをストローの側面に当てる。その後、コップの中に重りを一枚ずつそっと入れ、レーザーポインターの光が黒い板に映った時点で重りの重さを測定する。その測定結果を用いて紙ストローの耐変形性を調べ、比較する。本研究ではコルクの右端からクリップまでの距離(m)と計測したおもりの重さ(N)をかけたものを力のモーメントとする。一定角度まで曲げるのに必要な力のモーメントが大きいほど耐変形性が大きいとする。本実験では、水につけていない紙ストローと、水につけた紙ストローのそれぞれの耐変形性を調べる。

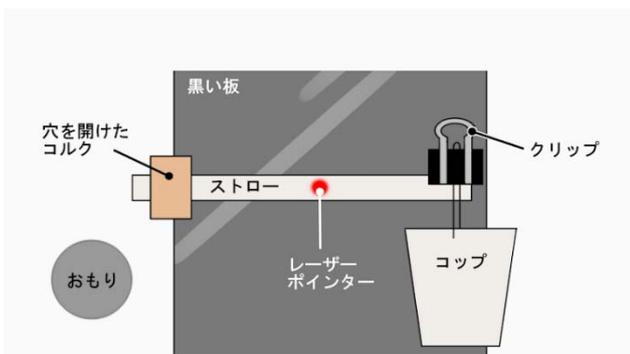


図3 耐変形性測定装置

<仮説>

ポリスチレン、ポリ乳酸はプラスチックであるため水がしみこまず、蜜蝋、ハゼ蝋、パラフィンワックスは油脂状の蝋の一種で疎水性があり、柿渋には防水効果があるため、どのコーティングを施した紙ストローの耐変形性も大きくなるのではないかと考えた。

<結果>

水につけていない紙ストローの力のモーメントはコーティング剤の種類やコーティング回数を変えてもほとんど変化していなかった(図4)。水につけた紙ストローの耐変形性はコーティング剤の種類で比較するとパラフィンワックス、蜜蝋、ハゼ蝋、ポリ乳酸、ポリスチレン、柿渋の順で大きくなった(図5)。水につけた紙ストローの力のモーメントはコーティング剤をつけた回数が多いほどストローの耐変形性が大きくなった。

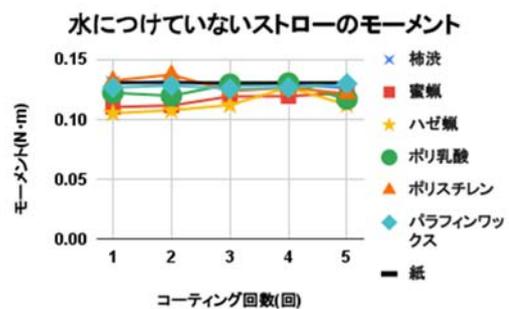


図4 実験1の結果①

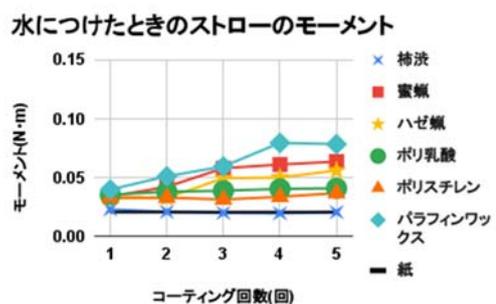


図5 実験1の結果②

<考察>

水につけていないときの結果にほとんど変化が現れなかったため、コーティング剤そのものの性質による硬さは、紙ストローの耐変形性に影響を与えないといえる。そのため、紙ストローを水につけたときの実験結果は、水につけたことによる変化が要因であると考

えられる。紙ストローを水につけたときの耐変形性に違いが出たのは、それぞれのコーティング剤の主成分によって親水性が違うためだと考えられる。また、柿渋をコーティングした紙ストローの力のモーメントが比較的小さかったのは、柿渋は 10 回以上塗ると防水性が発揮されるという先行研究⁽²⁾があり、本実験で調べたのは5回までだったため十分な防水性が発揮されず、ストローに水が染み込みやすい状態だったからだと考えられる。さらに、コーティング回数が多いほど、水につけたときの耐変形性が大きくなったのは、コーティング回数が多いほど付着したコーティング剤が多くなり、水が染み込みにくくなったためだと考えられる。最も良い結果となったのはパラフィンワックスだが、これは有限資源である石油由来であり、また、石油には様々な課題が残っている。よって、パラフィンワックスは目的である環境への影響が少ないコーティング剤であることに沿わないと考えた。

(3) 実験2【実験1の追加実験】

<目的>

実験1のコーティング方法では、コーティング剤が紙ストローに均等に付着していない可能性があると考え、コーティング剤が均等に付着するようなコーティング方法を考案する。また、コーティング回数とコーティングを施した紙ストローが含んだ水の量やコーティングの付着量の関係性を調べる。本実験で用いるコーティング素材は天然由来の柿渋、蜜蝋、ハゼ蝋である。

<実験方法>

実験1と同様にして各コーティング剤が付着した紙ストローを水につけたときの耐変形性を調べる。

なお、実験2では、コーティング剤を付着させた紙ストローをローテーターにつけ、それを回転させるこ

とでより均等にコーティング剤が付着するようにする(図6)。



図6 ローテーターを用いた乾燥方法

<仮説>

コーティング剤が紙ストローに均等に付着しても、水につけたときの紙ストローの耐変形性に大きな差は生まれないと考えたため、実験1と同様の結果が得られると考えた。

<結果>

実験1と同様に水につけた紙ストローの力のモーメントはコーティング剤をつけた回数が多いほどストローの耐変形性が増加する傾向にあった(図7)。また、コーティング回数が多いほどコーティングの付着量は増える傾向があった(図8)。柿渋は蜜蝋、ハゼ蝋に比べて回数ごとに増える割合が大きくなった。さらに、コーティング回数が増加するごとに、蜜蝋、ハゼ蝋でコーティングを施した紙ストローが含んだ水の量は減少傾向、柿渋でコーティングを施した紙ストローが含んだ水の量は増加傾向であった(図9)。

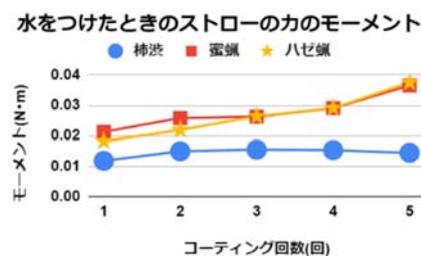


図7 実験2の結果①

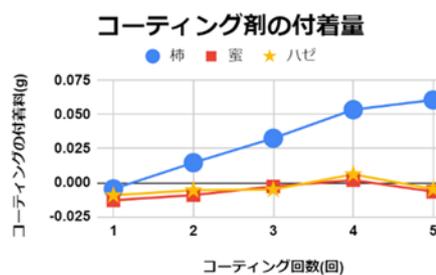


図8 実験2の結果②

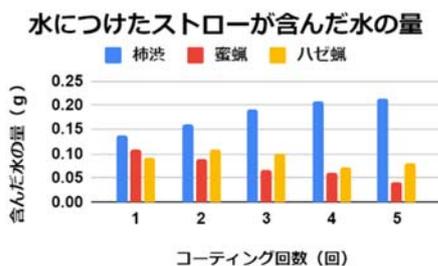


図9 実験2の結果③

<考察>

柿渋でコーティングした紙ストローが含んだ水の量が増加したのは、コーティング回数を重ねるごとに柿渋の付着量が増加したことで、水を吸収する乾燥した柿渋の量が増えたからだと考えられる。

(4) 実験3【生分解性に関する研究】

<目的>

使用するコーティング剤に生分解性があるのかを調べる。

<実験方法>

コーティングを施していない3cm四方の画用紙とそれぞれのコーティング剤を付着させた画用紙を市販の腐葉土約60gにそれぞれ分けて埋める。過度な乾燥を防ぐため2日に1回ほど精製水を与える。埋めてから約1ヶ月半の時点で、紙を取り出し、分解の進み具合を観察する。

<仮説>

コーティングを施していない画用紙と、柿渋、蜜蝋、ハゼ蝋、パラフィンワックス、ポリ乳酸のコーティングをそれぞれ施した画用紙はコーティング剤に生分解性があると考えているため分解され、ポリスチレンのコーティングを施した画用紙はコーティング剤が生分解性プラスチックでないため、分解されないと考えた。

<実験結果>

埋めた紙はどれも分解された(図10)。しかし、柿渋でコーティングした紙は他と比べ、分解が遅かった。

また、生分解性プラスチックでないポリスチレンも分解された。

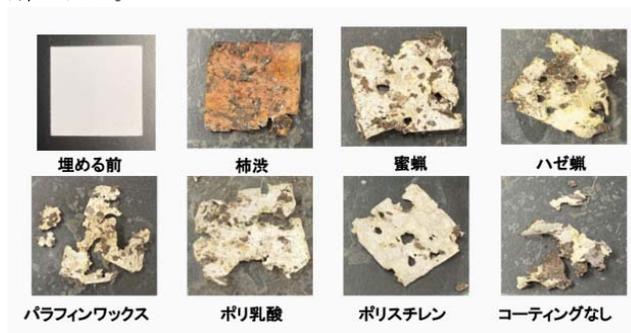


図10 分解の様子

<考察>

柿渋をコーティングした紙の分解が遅かったのは、柿タンニンに防腐作用があるためだと考えられる。また、生分解性プラスチックでないポリスチレンをコーティングした紙が分解されたのは、ポリスチレンが溶媒であるジクロロメタンに溶けにくかったため、溶液の濃度が小さく、コーティングを施した画用紙を乾燥させる際に、表面についた粒子間に隙間が生じ、そこから微生物が入り込んだためだと考えられる。

4. 結論

水につけた紙ストローの耐変形性をより大きくさせる効果があり、生分解性のあるコーティング剤は、蜜蝋、ハゼ蝋である。

5. 謝辞

本研究にあたって、私たちをご指導してくださった美作大学短期大学部教授の桑守正範先生をはじめ、関係者の皆様方ありがとうございました。

6. 参考文献

- (1)ろ紙の撥水性を高める研究 (2020 / 津山高等学校, 黒瀬亜海)
- (2)和紙の伝統的撥水・防水効果の再現 -伝統的和紙文化の復興に向けて- (2015 / 東北工業大学)

スクラブ剤による汚れの落ち具合と傷つき具合の検証

研究者 片山 更紗 梅村 萌衣

指導者 南 洋明 篠山 優也 馬木 良輔

Abstract

The purpose of our research was to clarify what kind of effect exfoliators, which facial wash etc. contain, have on our skin. We evaluated the effectiveness of the exfoliators by scratching the polycarbonate on skin and removing lipstick as skin oil considering the degree of damage caused. We used silica and cornstarch as exfoliators in this experiment. The damage condition is evaluated by the change in surface irregularity observed with a laser microscope. Remaining lipstick was evaluated by the change in mass and the change in surface irregularity of the lipstick. The results showed that both exfoliators decreased in mass, but the decrease was small. The surface condition of silica was uneven, which was not the case with cornstarch. Our conclusion is that silica removes more dirt but damages the skin.

1. 研究概要

洗顔料などに含まれるスクラブ剤が肌にどのような影響を与えているのかを明確にするために、スクラブ剤の効果を、肌に見立てたポリカーボネート（以下はポリカと表記する）の傷つき具合と、肌の油脂に見立てた口紅の落ち具合で評価した。本実験ではスクラブ剤としてシリカとコーンスターチを用いた。傷つき具合はレーザー顕微鏡で観察した表面の凹凸で評価し、落ち具合は質量変化と口紅の表面の凹凸で評価した。ポリカと、ポリカに口紅を塗布したものを、精製水のみのもものと、スクラブ剤を加えたものに入れてよく混ぜ、実験前後での質量変化と表面の凹凸の変化を調べた。その結果、どちらのスクラブ剤でも質量は減少したが、その減少量は少なかった。また、表面の状態を観察したところ、コーンスターチにはなかった凹凸がシリカには見られた。このことから、シリカの方が汚れは落とすが肌は傷つけることが分かった。

2. 研究の背景・目的

化粧品について調べている際に、化粧品に含まれるマイクロプラスチックビーズが環境汚染の観点から問題視されていることを知った。マイクロプラスチックはスクラブ剤として使われているので、環境汚染につながらない生分解性のある自然由来のスクラブ剤を見つけようと思い、肌に負担をかけず効果的に汚れを落とすスクラブ剤を見つけることを目的に研究を始めた。

3. 予備実験

口紅について・・・市販の口紅を溶かしてそれを塗布するようにしたが、市販の口紅には多くの添加物が含まれているため、溶かした成分を再び

溶かす前と同じ状態にして塗布することが難しかった。よって、すべての口紅が同じ組成になるように自作の実験用口紅を作った。

口紅を塗布するものについて・・・皮革を肌に見立てて口紅を塗布する実験を行ったが、皮革は水を吸収し変形してしまい、さらに乾燥に時間がかかるため本実験で使用できなかった。

スクラブ剤について・・・活性炭を使用しようと実験したが、油脂を吸着するという性質から活性炭が口紅から離れず、正しい実験結果が得られなかった(写真1)。

写真1.



以上を踏まえて、自作した口紅を塗布するものは「ポリカーボネート(ポリカ)」にした。そして、スクラブ剤を2種類に限定した。

スクラブ剤として、シリカとコーンスターチを使用することにした。いずれも市販のもので粉末状態であった(写真2)。肉眼では色以外の違いがあまりないが、実験を進める上で4. 仮説に示す仮説を立てた。



写真2. 使用したシリカ(左)とコーンスターチ(右)

4. 仮説

スクラブ剤のうち、シリカは鉱物性物質であり、粒子が小さいので、コーンスターチよりも汚れが多く落ちる。

5. 実験方法

ポリカは、市販のものをカッターナイフでシャーレに入る大きさに切ったものを予め用意した。

- ①文献1)を参考にして、ひまし油(小さじ1杯)、蜜蝋(ビーズワックス10粒)、食紅少量を混ぜ合わせて、口紅を作った。
- ②熱で溶かした口紅を、シャーレに置いたポリカに塗布した。
- ③口紅を塗布したポリカ、精製水15 mLまたはスクラブ剤(シリカ、コーンスターチ)をビーカーに入れ、ロータリーシェーカー(100 r.p.m.)で30分間攪拌した。
- ④ポリカについたスクラブ剤を流水で流した。
- ⑤乾燥機で十分に乾燥した。
- ⑥攪拌前後の質量変化を電子天秤で測定し、表面の変化をレーザー顕微鏡で観察した。

6. 工夫したこと

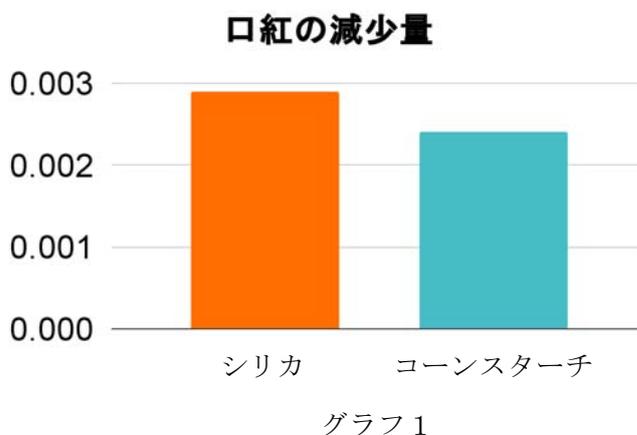
実験方法②において、溶かした口紅がポリカに塗布する前に冷めてしまわないように、熱水から発生する水蒸気でシャーレを温めてながら塗布を行った。

また、実験方法④において、流水の勢いで実験結果に必要な中央の表面が凹んでしまわないように、ポリカの一片から穏やかに精製水を流した。

7. 実験結果

I. 質量変化

グラフ1に、シリカとコーンスターチで削ったときの口紅の減少量(平均値)を示した。口紅の落ち具合は、シリカが0.0029 g、コーンスターチが0.0024 gで、シリカの方がやや減少量が多かったが、大きな違いは見られなかった。



II. 表面の凹凸の変化

きれいに塗布できた口紅について削り取る前の状態をレーザー顕微鏡で観察すると、傷や汚れが全くない状態であった。よって、ポリカに均一に口紅を塗布できたと考えて観察・考察を行った。

コーンスターチ5.00 gをスクラブ剤としたとき、実験操作③のように攪拌したあとも、口紅表面に大きな傷は見られなかった。

一方、シリカを5.00 g使用した場合、写真3のような凹凸が見られた。画像解析を行うと、凹ん

だ所の横にやや盛り上がった部分 ($1.38 \mu\text{m}$) が観察できた。このことから、シリカの方が口紅の表面を削っているが、その削られた口紅は流れていくのではなく、表面上で移動したと考えられる。

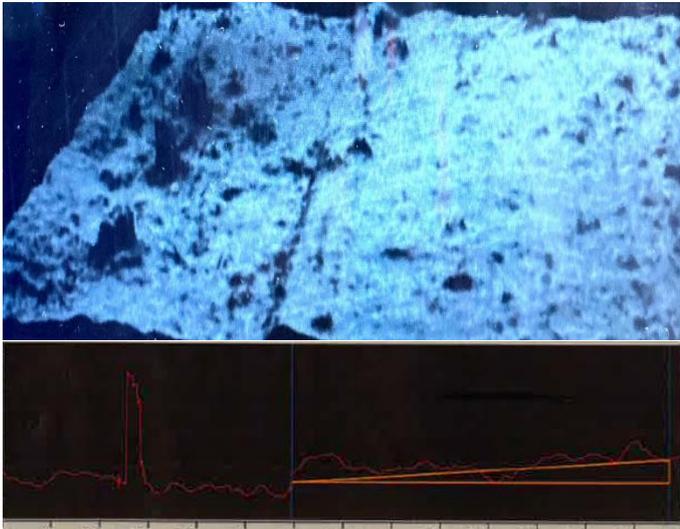


写真3. シリカで削った口紅の表面

III. シリカとコーンスターチの粒子

レーザー顕微鏡で、シリカとコーンスターチの粒子について、その大きさと形が観察できないかどうかを検証してみた。その結果、100倍の倍率で確認したところ、はっきりと違いが観察できた。観察できた最小の粒子を比較してみると、コーンスターチの方が丸みを帯びており、シリカの方が角張った形状であることが分かった。

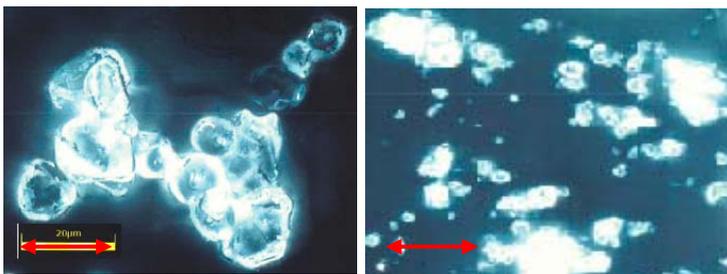


写真4. レーザー顕微鏡で観察した粒子
(左: コーンスターチ, 右: シリカ)
が、 $20 \mu\text{m}$ の長さを示す。

8. 考察

シリカとコーンスターチでは口紅の減少量に大きな差を見出すことはできなかったが、シリカの方が表面上の口紅の移動の様子から口紅（皮脂汚れ）を吸着する作用があると考えられる。シリカとコーンスターチで差が見られた理由は、仮設の通りシリカの方が粒子が小さいことが原因と考えられる。

9. 今後の展望

汚れの落ち具合の実験は、洗顔時の実際の動きに近づけるために摩擦力を加えた方法について再検討し、条件をより満たしている装置を作成し、肌の負担を軽減することを考慮した新たなスクラブ剤を見つけ出したい。将来は、赤ちゃん用のボディソープなどのような刺激の少ない商品への応用を考えているので、7大アレルゲンにも考慮する必要がある。

また、コーンスターチは河川を汚す危険性があるので、次の実験では候補から外し、代わりにセルロースなどを用いて実験したい。

スクラブ剤による肌の傷つき具合は、今回の実験でははっきりとさせることができなかった。したがって、材質の変更を検討をする必要がある。また、肌への影響を調べるのにポリカーボネートよりも更に人の肌に近く、実験上扱いやすい材質を検討する必要がある。

10. 謝辞

津山工業高等専門学校に加藤先生、塩田先生、レーザー顕微鏡を使用させていただきありがとうございました。また、実験方法についてアドバイスをくださった東京工科大学化粧品材料化学科教授の柴田先生、ありがとうございました。

11. 参考文献

文献は主にインターネット経由で得たものである。文献の更新日時について、不明な場合は明記していない。ただし、最終確認日（令和4年3月16日）には該当のWeb ページがすべて存在することは確認している。

【口紅の作成について】

1)mono 株式会社, ”基本の口紅/マンデムーンノート/手づくりコスメの web”, きれいのレシピノート, <https://www.mmoon.net/note/recipe/4310/>

【マイクロプラスチックについて】

2)千葉商科大学, ”海が汚染され, 海の生物も人も危ない! マイクロプラスチック汚染問題とは“, 千葉商科大学コラム, 2020.06.25, https://www.cuc.ac.jp/om_miraitimes/column/u0h4tu00000013vf.html

【スクラブ剤について】

3) 化粧品成分ジャーナル, ”研磨・スクラブ剤の解説と成分一覧”, 化粧品成分オンライン, <https://cosmetic-ingredients.org/scrub/>

【レーザー顕微鏡について】

4)株式会社キーエンス, ”レーザー顕微鏡の原理について”, キーエンス株式会社 HP, <https://www.keyence.co.jp/ss/3dprofiler/keijou/laser/principle/>

モジホコリの探索行動に及ぼす反復寒冷刺激の影響

～面積変化率を用いた行動解析法の提案～

研究者 岡 倫太郎, 妹尾 和磨, 奥 かさね, 中島 里桜, 渡邊 芽衣
指導者 山本 隆史

Abstract

From previous research we know that the exploratory activity of slime mold *Physarum* can be suppressed by cold stimulation. It is suggested that a periodical suppression even occurs without this stimulus. We attempted a follow-up test, but we could not verify this result. Therefore, we thought of a method to measure the rate of area change with plane agar that does not suppress exploratory activity. This way we could analyze the effect of periodic cold stimulation on exploratory activity in detail. It is now also possible to verify the learning effect of slime mold *Physarum* with higher reproducibility.

1. 研究の概要

先行研究では、寒冷刺激によってモジホコリ(変形体)の探索行動*が抑制され、周期的な刺激(以後、反復寒冷刺激と呼ぶ)を学習し、刺激を与えていないにもかかわらず周期的に探索行動が抑制されることが示唆されている。私たちは先行研究の手法で追試を試みたが、明確な結果を得ることができなかったため、モジホコリの探索行動の方向を制限しない平面寒天培地を用いて面積変化率を測定する手法を考案した。その結果、モジホコリの探索行動に及ぼす反復寒冷刺激の影響を、より詳細に定量分析でき、モジホコリの学習効果をより高い再現性を持って検証することが可能となった。*変形体のモジホコリが餌の無い環境下で培地上を広がる行動

2. 序論

モジホコリとは、神経系を持たない単細胞多核の生物である。中垣俊之(2010)より、気温 26°C、湿度 90%で培養したモジホコリは、一時的な刺激として与えられた気温と湿度の低下(22°C, 60%)によって探索行動が抑制され、3回の周期的な気温と湿度の低下(以後、反復寒冷刺激と呼ぶ)を与えると次の周期で刺激を与えていないにも関わらず探索行動が抑制されることが明らかになっており、学習が生じる可能性が示唆されている。

私たちはモジホコリの探索行動の抑制と学習に興味を持ち、先行研究の追試を行った後に、実験装置、測定法に課題があると考えた。この課題を解決するため、私たちはモジホコリの探索行動、学習をより正確に分析可能な実験装置と測定方法を提案することを目的として、研究を行った。

3. 研究内容

I. 予備実験 [直線状寒天培地を用いた学習の観察]

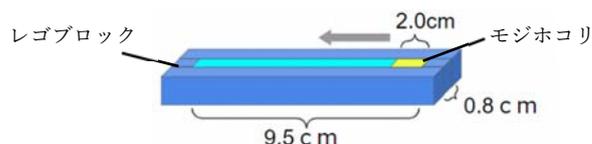


図1 直線状寒天培地

【実験目的】

先行研究に近い条件で寒冷刺激による探索行動の抑制と学習を確認する。

【実験方法】

- ①0.8×9.5cmの直線状寒天培地の端に、0.8×2cmに切り取ったモジホコリを設置する(図1)。
- ②図2のように周期的な寒冷刺激を与え、デジタルカメラを用いて10分毎にモジホコリの伸びを記録する。

- ③肉眼で定規を用いてモジホコリの伸びを計測する。
刺激を与えていない 270 分後の速度の低下で学習の有無を判断する。

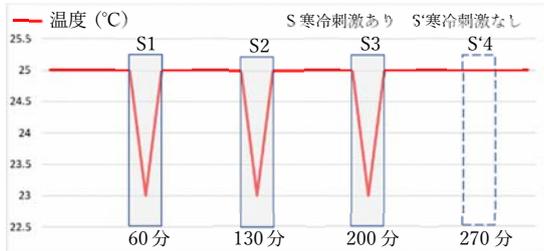


図2 実験のタイムテーブル

反復寒冷刺激 <(25°C 50分→23°C 10分)×3回>
→ <25°C。4回目の寒冷刺激なし>

【予備実験の結果】

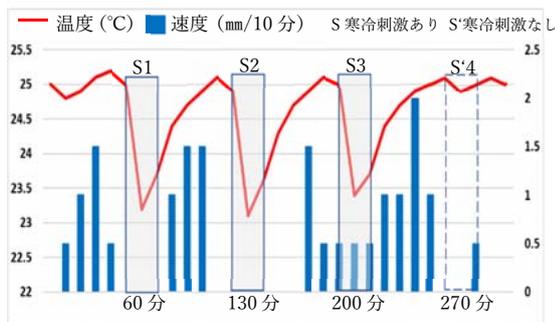


図3 予備実験の結果(20個体中1個体)

- ・実験個体ごとに大きな速度のばらつきがあり、一定の速度で進まなかった。
- ・各個体においても 50 分間の速度が一定ではなく、23°C 10 分間で確実な減速は見られなかった(図3)。
- ・直線状寒天培地では明確に学習が生じたと言える程の速度の周期性を確認できなかった。→これは実験装置の壁面がモジホコリに接しており、モジホコリの探索行動が一方向に制限されたためであると考えた。

II. 実験1 [平面寒天培地を用いた学習の観察]

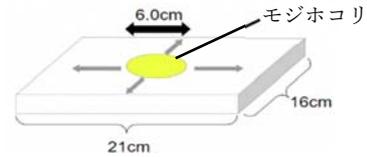


図4 平面寒天培地

【実験目的】

予備実験で得た仮説を証明するために、モジホコリの全方向への移動を妨げない、モジホコリと培地の端の間隔を広げた装置を使用して実験を行う。

【実験方法】

- ①直径6cmの円の培地一面に広がるようモジホコリを培養する。
- ②培養したモジホコリを 16×21cm の長方形の培地の中心に設置する(図4)。
- ③予備実験と同様に周期的な寒冷刺激を与え、デジタルカメラで 10 分毎に記録する。
- ④PCで画像処理と面積測定*を行う。25°Cの恒温条件下においた対照群と面積変化率**を比較し、t検定を行って有意差を確認する。

*面積測定法...画像処理ソフト Motic Images Plus

2.3S を用いて編集, 計測。手順は以下の通り(図5)。

- ①モジホコリと培地の境界線の明確化のため、明るさとコントラストを上げる。
- ②モジホコリの色の薄い部分も計測するため、内側の色の薄い箇所を囲み、明るさを暗くすることによって黒く塗りつぶす。
- ③自動分割の際に一塊の面であると認識させるため、モジホコリ全体を選択して色相を変更する。
- ④自動分割, 自動計測を行い、面積を出力する。

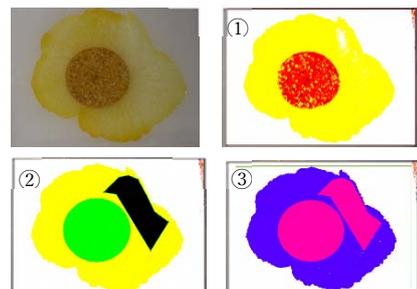


図5 面積測定の様子

**面積変化率…画像処理によって出力したある時間のモジホコリの面積を10分前の面積で割った値。

【実験1の結果】

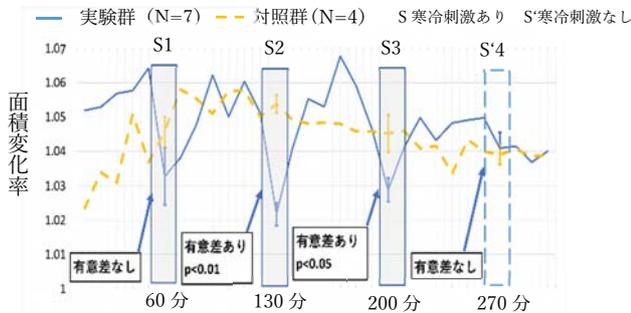


図6 寒冷刺激による面積変化率の増減(実験1)

・寒冷刺激による探索行動の抑制は見られたが学習については有意差 ($p < 0.05$) が見られなかった。しかし、270分後に実験群の7個体全ての面積変化率が低下した(図6)。

→実験に使用した個体のうち、複数個体が実験中に実験装置に用いた容器の壁面に接触していた。

III. 実験2 [平面寒天培地を用いた学習の観察]

【実験目的】

実験1の目的と同様に、モジホコリと培地の端の間隔をさらに広げて実験を行う。

【実験方法】

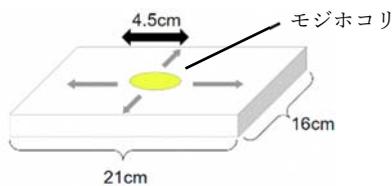


図7 平面寒天培地

- ①直径 4.5cm の培地一面に広がるようモジホコリを培養する。
- ②16×21cm の長方形の培地に設置する(図7)。
- ③後の操作は実験1の実験方法③、④と同様。恒温条件下においた対照群と面積変化率を比較し、t検定を行って有意差と分布を確認する。

【実験2の結果】

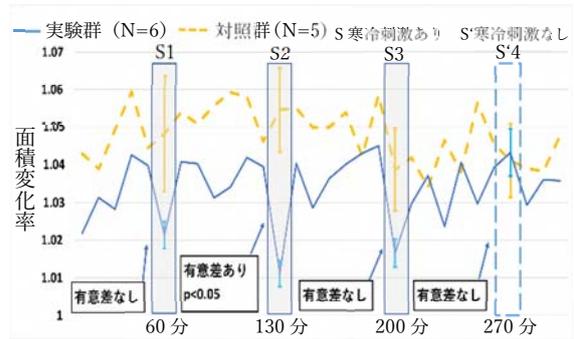


図8 寒冷刺激による面積変化率の増減(実験2)

・実験1で見られた200分後の面積変化率の有意差が見られなかった(図8)。

・270分後の学習の有意差も見られなかった(図8)。

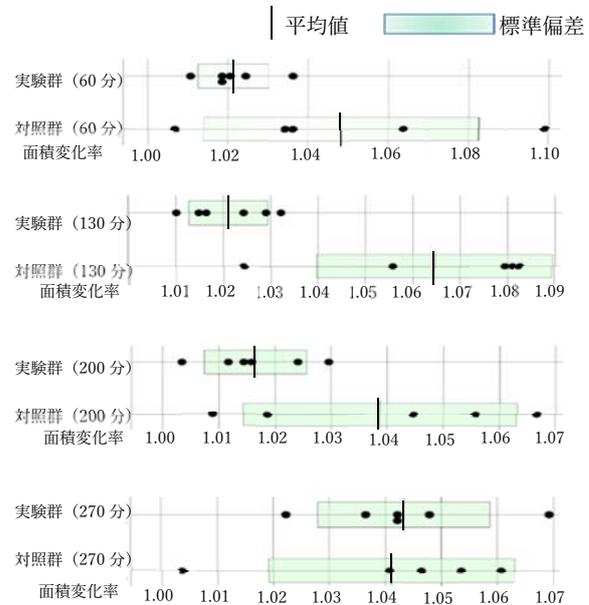


図9 実験2の結果の分布

・実験群(60分, 130分, 200分)は対照群に比べ、面積変化率の平均値が小さく、標準偏差も小さくなった(図9)。

・実験群(270分)は対照群に比べ、標準偏差は小さくなっているが面積変化率の平均値は大きくなっている(図9)。

→私たちが実験に用いたモジホコリは、寒冷刺激によって探索行動は抑制されるが、学習が生じていなかったと判断した。

4. 結論

・私たちが考案した平面寒天培地を用いた面積変化率測定法は、モジホコリの探索行動を一方向に制限しないためより明確に探索行動を測定でき、少ないサンプル数であっても反復寒冷刺激による探索行動への影響、学習効果の検証が可能である。また、画像解析ソフトを用いた面積測定を行うため客観性の高い分析を行うことができる。

・私たちが実験に用いたモジホコリでは、寒冷刺激による探索行動の抑制は見られたが、学習は見られなかった。先行研究と私たちの研究には以下の相違があった。

	先行研究	私たちの研究
湿度	90%→60%	制御なし
温度	26°C→22°C	25°C→23°C
周期	50分常温→5分温度低下→5分温度を戻す→… 60分周期	50分常温→10分温度低下→10分温度を戻す→… 70分周期

図 10 先行研究との相違

先行研究では温度の制御と同時に湿度の制御も行っている（図 10）。私たちの実験ではプログラムインキュベータの機能上湿度を制御することはできなかったが、面積変化率と温度、湿度の関係を見ると面積変化率が温度よりも湿度に連動しているように見える（図 11, 12）。

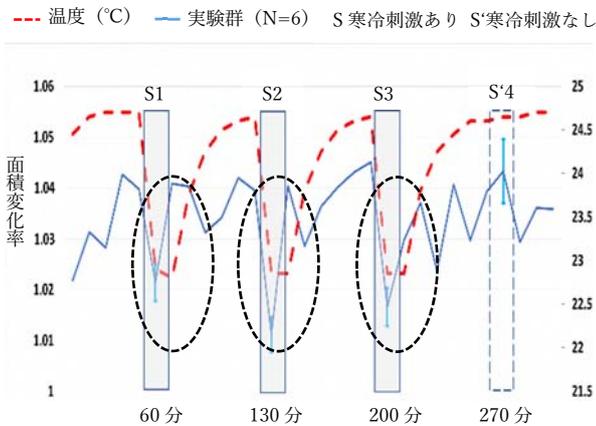


図 11 面積変化率と温度

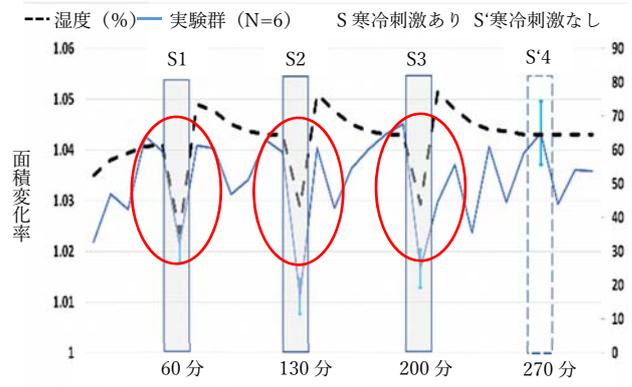


図 12 面積変化率と湿度

また、私たちはモジホコリの変形体を用いたが、変形体は乾燥すると菌核となり、菌核は水分があるとまた変形体となる。湿度はモジホコリの形態へ影響を与える（図 13）。これらのことから温度よりも湿度の方が探索行動に与える影響が大きく、湿度の変化をより大きくして刺激を強くすることで刺激を与えた際の探索行動の抑制、学習がより明確に見られるのではないかと考える。

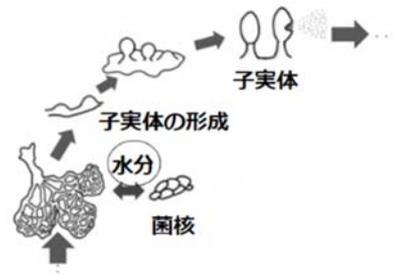


図 13 モジホコリの生活環

5. 今後の展望

私たちの実験は温度と湿度がともに変動しているために、湿度の方が探索行動に与える影響が大きいと明確には判断できない。そのため、今後は平面寒天培地と面積変化率測定法を用いて湿度のみが探索行動に与える影響についての実験を行いたい。

6. 参考文献

- ・中垣俊之, (2010) 粘菌 その驚くべき知性
- ・中垣俊之, (2014) 粘菌 偉大なる単細胞が人類を救う

ゼブラフィッシュの視界に入る個体数 うつ様行動に与える影響

研究者 下山 大輝 西山 昌寛 室川 温哉 上田 侑衣菜
指導者 國定 義憲

Abstract

Previous studies have shown that the density of zebrafish in the tank affects this behavior. Therefore, we thought that the depression-like behavior might change with the change of water depth. We built a tank with a fixed density and a bottom area of 200cm² and conducted an experiment in which we increased the number of zebrafish by one for every 1cm of water depth. As a result, we found that depressive-like behavior was most frequently observed at a depth of 3-4cm(except for 1-2cm) and that the number of depressive-like behavior decreased as the depth increased.

1. 概要

先行研究から水槽内のゼブラフィッシュの密度がこの行動に影響していることがわかっている。そこで私達は、水深の変化でうつ様行動が変化するのではないかと考えた。水槽内の密度を固定し、底面積が200cm²の水槽を自作して、水深を1cm増すごとにゼブラフィッシュを1匹増やす実験を行った。その結果、水深1～2cmを除くと水深3～4cmでうつ様行動が最も多く見られ、それ以降水深を深くしていくほどうつ様行動の回数が減少していくことが分かった。

(うつ状態)ゼブラフィッシュを天敵と長期間同じ水槽に入れると、逃げることをやめて水槽の底に停止することが知られている。このとき、一般的にストレスホルモンと言われる物質がゼブラフィッシュの体内で増えていることが分かっている。このような状態のことをいう。

(うつ様行動)天敵がない状況でも個体群密度が上がるにつれて、水槽の底で停止する行動が起こる。**※個体群密度が上がったときの行動がうつ状態の行動と似ており、このような行動を本研究の中でうつ様行動と定義した。本研究では水槽の底での停止時間が5秒以上のものとし、その回数を記録した。**

2. 序論

先行研究から水槽内のゼブラフィッシュの密度がうつ様行動に影響を与え、単位時間あたりのうつ様行動の回数が、密度の増加に伴って増加することが分かっている。私達は予備実験として、水深の違う2つの水槽を用意してゼブラフィッシュのうつ様行動の回数を記録した。

同じ水量で水深の浅い水槽と深い水槽を用意してゼブラフィッシュの行動を観察したところ、うつ様行動の起こる頻度に変化があるようにみられた。そのため、水深の変化とゼブラフィッシュのうつ様行動に関係があることが推定された。水深の変化とうつ様行動について自作の水槽で水深を変

えて水槽内でのゼブラフィッシュの行動を観察し、うつ様行動の変化の要因を解明することを目的として本研究を行った。

3. 仮説

図1のように、水深を変化させることによりゼブラフィッシュの水平方向の視界に入る他個体の数が変化する。それによって、うつ様行動の起こる頻度に視界に入る他個体が影響を与えるのではないかと考えた。水深が深くなるほど各個体が水平方向の視界からずれ、他個体の影響が小さくなり、うつ様行動が起こりにくくなるのではないかと考えた。

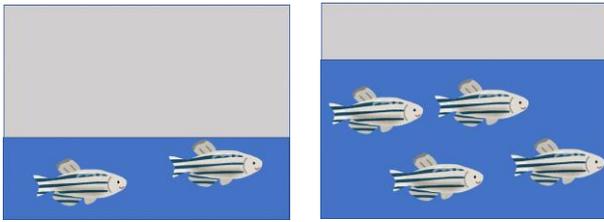


図1 水深が浅いとき 水深が深いとき



図2 ゼブラフィッシュの飼育水槽

実験に使用するゼブラフィッシュ

- ・本校で飼育しているゼブラフィッシュを使用した。(図2)
- ・実験の際はここから必要な数のゼブラフィッシュを取り出して使用した。
- ・1日に複数回実験を行う際は、その日1度実験に使用した個体は使用しないようにした。

4. 実験1 結果と考察

(実験1の方法)

本校の先行研究から、実験に用いる水槽(市販の底面145mm×190mm 高さ170mm, 上部に行くほど広がっているもの)で実験したとき、2Lあたり12匹の密度でうつ様行動が起こりやすいとわかっている。本実験では水槽に12匹のゼブラフィッシュをいれ水深を変えることで起こる変化を観察した。

(図3)

- ①飼育水槽から実験水槽にゼブラフィッシュを移した際に激しく泳ぐため、実験水槽に慣れるための時間を40分間とった。
- ②iPadを用いて40分間水槽内の様子を動画で撮影した。
- ③撮影した動画のうつ様行動を観察し、うつ様行動の起こった回数を記録した。実験の試行回数は計3回とし、うつ様行動の回数を計測した。

(定義: 1. 研究の概要 * 参照)

- ④同様の実験を2cmから6cmの間で水深を1cmずつ変えながら行った。



図3 水深を変えた水槽

(実験1の結果)

水深1cm, 2cm, 6cmの時はうつ様行動が1度も起こらず、3cm, 4cmで最も多くうつ様行動が見られた。5cmになるとうつ様行動の回数が大きく減少しており、水深の変化による行動の変化が確認された(図4)。

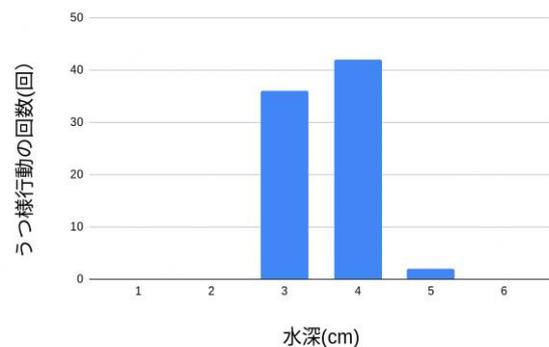


図4 うつ様行動の回数と水深

(実験1の考察)

密度が特に大きい1cm, 2cmの状態ではゼブラフィッシュが実験中暴れ続けていた。この結果からうつ様行動は水槽内の密度がある程度高いと起こらないと考えた。

先行研究でゼブラフィッシュのうつ様行動に影響を与える密度がわかっている。しかし、今回の実験では個体数を12匹に固定したため水深を深くすると密度が低下してしまい、条件を一定にできず、水深による個体間の視界のズレによるうつ様行動の変化とは特定できなかった。

5. 実験2 結果と考察

(実験2の方法)

実験1で水深による行動の変化が確認されたので200mLあたり1匹の密度で水深を1cmずつ変え、1cmから6cmの水深で以下の実験を行った。

密度を一定にし、水深を操作しやすくするため水槽を自作し(100mm×200mm×150mm)(図5), 1cmから水深を変化させた。ただし、実験水槽に慣らす時間を実験1では40分とったが、観察中に10分程度で水槽に慣れ、実験2では行動の変化がほぼ見られなかった。そのため、この実験では撮影時間を40分から20分に短縮し、慣らすための時間を前半に10分間とり、後半の10分間で記録を行った。また、実験1を行ったときは、飼育水槽は教室西側の明るい窓際においており、上下左右から光が当たる状態であった。さらに、水槽はよく人の通る場所に設置していたため、人が通る度にゼブラフィッシュが反応していた。そこで、実験2の時の飼育水槽では水槽の四方に黒画用紙を貼り付けて水槽の外からの視覚的な刺激を取り除いた。



図5 製作した水槽

- ①飼育水槽から実験水槽にゼブラフィッシュを移し、水深を1cmに調整した。
- ②iPadを用いて20分間水槽内の様子を動画で撮影した。(図6)
- ③撮影した動画のうち前半10分をゼブラフィッシュを実験水槽に慣らす時間とし、後半10分のみ行動を観察した。実験の試行回数は各5回とし、うつ様行動の回数を記録した。

(定義: 1. 研究の概要 * 参照)

- ④同様の実験を2cmから6cmの間で水深を1cmずつ変えながら行った。



図6 実験2の様子

(実験2の結果)

実験2では、水深1, 2cmを除くと水深3, 4cmでうつ様行動が多く見られ、水深が深くなるにしたがってうつ様行動が少なくなった。水深を変えることがうつ様行動に影響を与える要因の一つになっていることを示唆する結果が得られた(図7)。

水槽内の密度を200mLあたり1匹に設定した実験を進めるため、水深1cmの実験では水槽内には1匹だけ入れることになった。そのため、他個体の影響がない状態での実験になった。

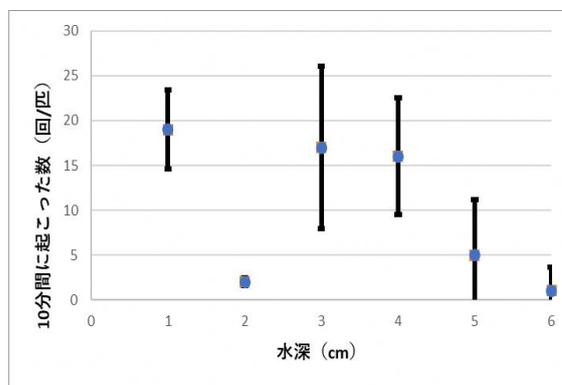


図7 1匹当たりのうつ様行動の回数と水

(実験2の考察)

水深1, 2cmを除くと水深3, 4cmまではうつ様行動の回数が多く見られ、それよりも水深が深くなるにつれてうつ様行動の回数は減少した。

水深が浅いほどゼブラフィッシュが水槽の上下に散らばりにくくなるため、匹数が少ない場合でも水平方向の視界に他個体が入り易くなり、他個体からの刺激が大きくなることでうつ様行動の回数が増加したと考えた。また、水深が深いほどゼブラフィッシュが水槽の上下に散らばりやすくなる

ため、匹数が多い場合でも水平方向の視界に他個体が入りづらくなることで、他個体からの刺激が小さくなりうつ様行動の回数が減少したと考えた。

水深 1cm の時のうつ様行動が起こる回数が多い

水深が 1cm のときは水深がゼブラフィッシュの体高とほとんど同じになっていた。そのため、泳ぐと波の立つ状態となっており、水深が浅い状況では外敵に見つからないように泳ぐのをやめる習性を持つと考えた。

これを確かめるため、匹数を 1 匹に揃えて水深を変える追加実験を行った。すると、水深 1cm のときはうつ様行動の回数が多く、2cm 以降ではほとんどうつ様行動は起こらなかった。このことから水深が浅いと外敵に見つからないように停止する習性を持つと考えた。

水深 2cm の時のうつ様行動が起こる回数が少ない

2 匹だけで水槽に入ると片方の動きに反応しもう片方の個体が動くからだと考えた。

水深 3, 4cm の時のうつ様行動の起こる回数が多い

水深が浅く水平方向の視界に他個体が入りやすいため、他個体からの刺激が増加したからだと考えた。

水深 5, 6cm の時のうつ様行動が起こる回数が少ない

水深が深く水平方向の視界に他個体が入りにくいため、他個体からの刺激が減少したからだと考えた。

6. 今後の展望

今回の実験では実験 2 の水深 1cm, 2cm 時に水深の変化以外の影響が出てしまっていたためその影響を排除した実験を行いたいと考えている。水深 3cm 以降は水深の変化のみがうつ様行動の変化に影響したと考えた。

今後は水深の変化以外の影響が少ないと考えられる 3cm の実験を基準にし、広い底面積の水槽 (300mm×200mm) で 200mL あたり 1 匹の密度 (1cm

時に 3 匹) で水深を 1cm から 6cm まで 1cm ずつ増やす度に匹数を 3 匹増やす実験を行っていきたい。水深とゼブラフィッシュのうつ様行動の関係を解明するために底面積の広い水槽を用いて個体数を増やした実験を行い他個体の影響を検証していきたい。

7. 参考文献

・H28 津山高校課題研究 (2016) 「個体の密度が行動に与える影響について」

・吉田 将之 (2011) 「魚類における恐怖・不安行動とその定量的観察」28 巻 4 号 p. 317-325

・Cai Song, Bai-Ping Liu, Yong-Ping Zhang, Zhilan Peng, JiaJia Wang, Adam D Collier, David J Echevarria, Katerina V Savelieva, Robert F Lawrence, Christopher S Rex, Darya A Meshalkina, Allan V Kalueff (2017)

「Modeling consequences of prolonged strong unpredictable stress in zebrafish: Complex effects on behavior and physiology」Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry Volume 81, Pages 384-394

・Rupert J. Egan, a Carisa L. Bergner, a Peter C. Hart, a Jonathan M. Cachat, b Peter R. Canavello, b Marco F. Elegante, b Salem I. Elkhayat, b Brett K. Bartels, b Anna K. Tien, b David H. Tien, b Sopan Mohnot, b Esther Beeson, b Eric Glasgow, a Hakima Amri, a Zofia Zukowska, a and Allan V. Kalueffa, b, * (2007)

「Understanding behavioral and physiological phenotypes of stress and anxiety in zebrafish」behavioural Brain Research Volume 205, Issue 1, Pages 38-44

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
	京都大学大学院人間・環境学研究科	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
	岡山大学大学院教育学研究科	藤井 浩樹 様
	広島大学大学院人間社会科学研究科	松浦 拓也 様