

令和5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]

- スリンキードロップ現象の力学的解明…………… 1
植田 泰生, 黒石 陸斗, 小林 麟太郎, 三村 侑矢, 渡邊 健矢, 宮地 彩史郎
- バックスピンする物体の跳ね上がり現象の解明 …… 5
浅倉 修大, 加賀 寛大, 黒川 龍之介, 全本 和真, 的馬 颯汰
- ラジオノイズを利用した指向性アンテナの製作 …… 9
香川 珠衣, 福島 さくら, 本田 茉彩, 松岡 歩実

[化学分野]

- 液体にインクを滴下したときの模様に関する研究 …… 13
朝木 夕翔, 松野 隼達, 湯浅 誌音, 田中 佑美
- 氷筈の成長に及ぼす要因について～Factors Influencing the Growth of Ice Stalagmites～ …… 17
常藤 陸人, 寺坂 苺衣, 森安 歩友
- バイオマス灰の有効利用に向けた成分分析 …… 21
阿部 龍之介, 春木 佑介, 入江 花和, 和田 侑紗

[生物分野]

- 牛のヨロイを効率的に落とす物質についての研究…………… 25
大塚 樟太, 尾崎 正隆, 小林 歩夢, 三谷 介晟
- モジホコリの変形体が子実体になる条件を探る
～Factors that Affect the Formation of Fruiting Bodies of Slime Mold, Physarum …… 29
石尾 ちな, 大谷 歩結, 神谷 真央, 高橋 はるひ, 中村 奏音
- 津山高校で採取した花から得た酵母の特性
～Characterization of Yeasts from Flowers in Tsuyama High School～ …… 33
安東 さき, 坂本 澄々花, 佐々木 悠衣, 中野 望羽, 日野 瑠名

- ・謝辞 …… 37

[付録]

- 研究発表ポスター集 …… 38 ～ 46

スlinkyードロップ現象の力学的解明

研究者 宮地 彩史郎 植田 泰生 黒石 陸斗 小林 麟太郎 三村 侑矢 渡邊 健矢
指導者 津田 拓郎 戸田 祥太

Abstract

When the slinky coil is suspended and dropped gently from a stationary position, the lower end of the spring remains stationary and does not move. This phenomenon is called the "Slinky Drop Phenomenon". The purpose of this study was to investigate the motion of the top end of the spring by measuring the change in the position coordinates of the top end of the spring. The results showed that while the spring contracts, the top end of the spring accelerates and then decelerates gently.

1. 研究の概要

スlinkyードロップ現象 (ゼロ長バネ) を吊り下げて静止させた状態からスlinkyードロップ現象 (以下、バネ) を静かに落下させると、バネの下端は静止したまま上端が下端に近づき、バネ全体の伸びが0となった瞬間からバネ全体が一体となって落下する (図1)。この現象を「スlinkyードロップ現象」という。本研究は、画像解析ソフトを用いてバネの上端の位置座標の時間変化を測定することで、スlinkyードロップ現象の力学的解明を目的とした。その結果、落下直後からバネ全体が一体となるまでの間落下部分は鉛直下向きに加速した後、緩やかに減速することが分かった。

2. 研究内容

バネの落下部分の経過時間ごとの位置座標を求め鉛直方向の変位を求める実験を行った。

<目的>

バネの落下部分の質量変化と速度変化を求める。

<仮説>

落下部分に加わる力が、落下部分の重力と弾性力と仮定し、経過時間ごとの運動方程式は

$$ma = kx + mg$$

加速度 a について、 $a = g + \frac{k}{m}x$ と変形でき、落下部分の質量 m は落下とともに増加していくので、右辺の $\frac{k}{m}x$ の値は徐々に小さくなり加速度 a は重力加速度 g に近づくと考えられる (図2)。

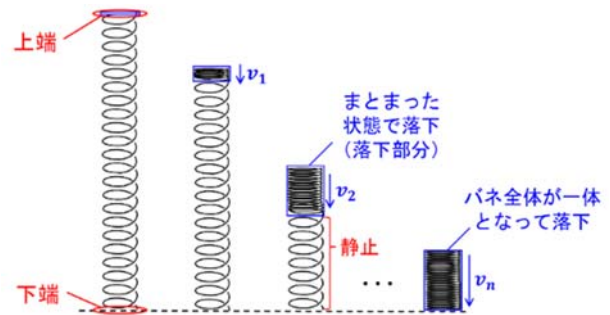


図1 スlinkyードロップ現象の模式図

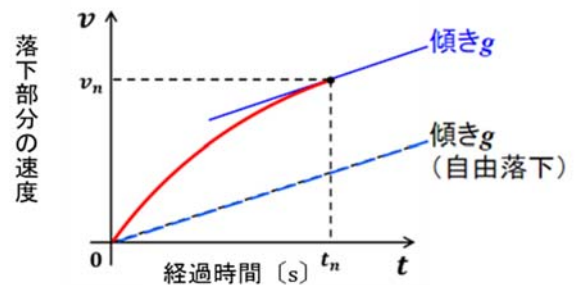


図2 仮説のグラフ

3. 研究方法

- ① 図3のように、上端にテープで印をつけたバネを糸で固定し、固定を静かに外してバネを落下させ（15回）、その様子をカメラで撮影した。
- ② 撮影した動画を画像解析ソフト（Kinovea）を用いて解析し、 Δt （1/30秒）ごとの落下部分の位置座標 x を求めた。
- ③ ②の上端の位置座標の差 Δx より、 Δt （1/30秒）ごとの上端（落下部分）の平均の速さ v を算出した。



図3 実験装置図

<実験結果>

図4のように、運動開始後0.05秒は加速し、速度が最大となった後、バネ全体が一体となるまで、緩やかに減速していることが分かった。また図5より、落下部分の質量は落下するにつれ、増加していることが分かった。

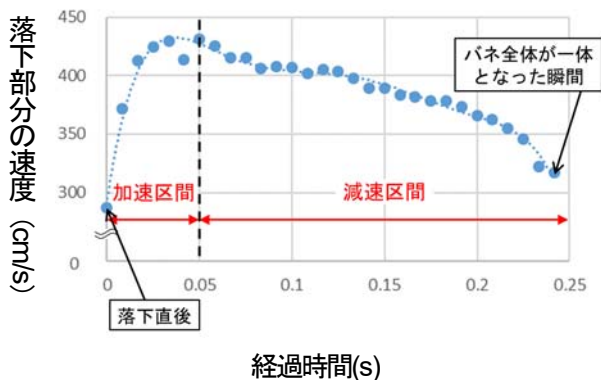


図4 落下部分の速度変化

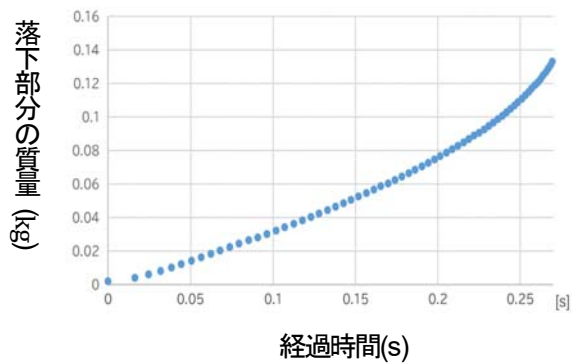


図5 落下部分の質量変化

<考察>

運動中のバネの落下部分に力学的エネルギー保存則を立式すると

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

重力とバネの弾性力による位置エネルギーの経過時間ごとの変化をもとに運動エネルギーの変化を求めた。また、質量変化のグラフから速度の理論値を導出し、実際の速度のグラフとの差異を調べ、バネの落下部分の速度の加速と減速に影響を与える要因を探った。

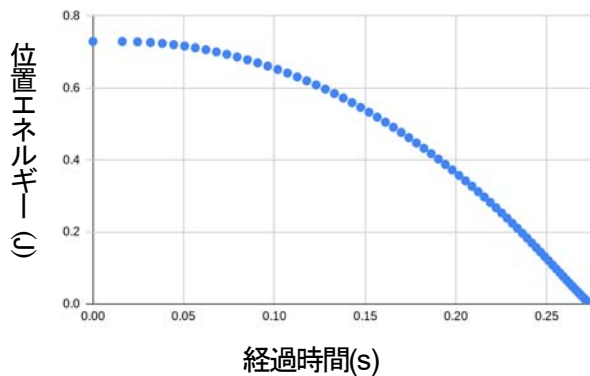


図6 位置エネルギーの変化

力学的エネルギー保存則により、位置エネルギーが運動エネルギーに変換されているとし、図6のグラフから単位時間の運動エネルギーを計算し、質量変化のグラフから単位時間における速度を計算した。

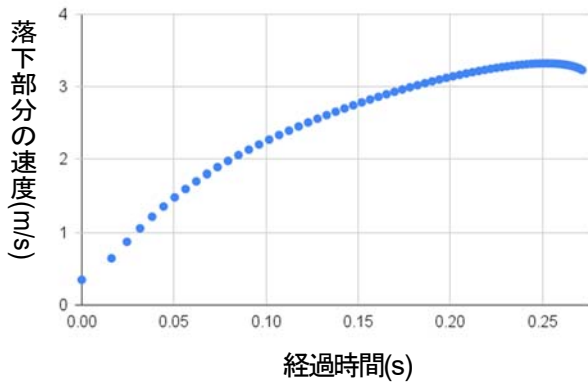


図7 速度変化（理論値）

図7のように、エネルギー保存則を用いて計算すると、速度の理論値は単調増加となり、加速度は0に近づきながら減少する。図4の実測値は加速の後に緩やかに減速しているため、明らかな差異が見られたと言える。

<考察2>

バネ全体を、質点を持った1束のばねの集合と考え、落下部分に加わる運動量の変化と弾性力と重力による位置エネルギーの変化から落下部分の速度を導出する。

図2の様にバネを吊るし上げると、バネの下端に近づけば近づくほど、バネの伸びは小さくなる。運動中にバネの落下部分の位置座標が下に移動することで、落下部分のバネ定数が変化(図8)すると考え、バネ定数の変化を求めた。(図9)

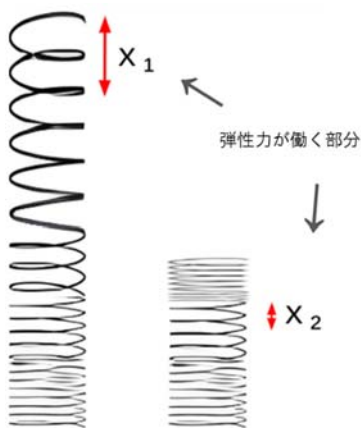


図8 バネの伸びのイメージ図

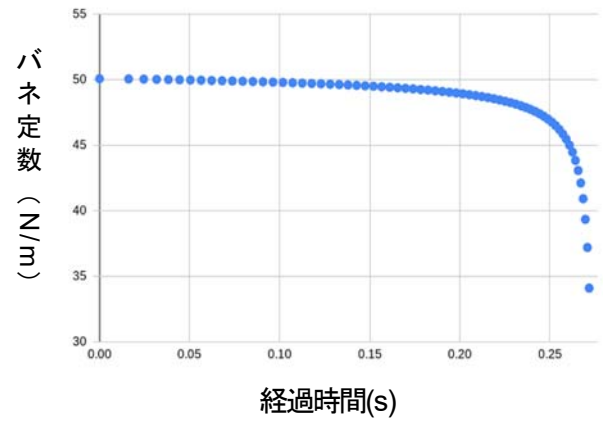


図9 バネ定数の変化

また、落下部分のばねはそれより下部に連なるばねに衝突しながら運動するため、質量変化と速度変化から運動量の大きさを算出した。

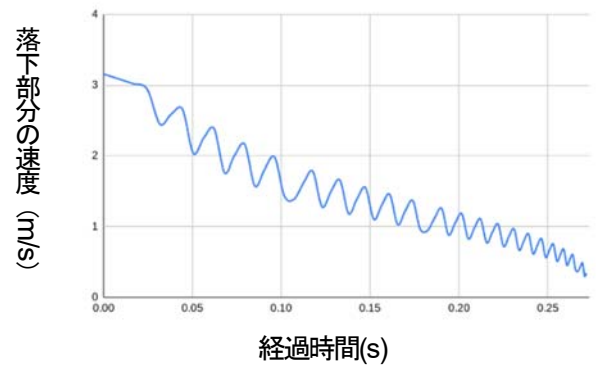


図10 落下部分の速度変化（理論値）

4. 結論

図10より力学的エネルギー保存則から算出した速度と実際の速度が異なっており、スリンクードロップ現象において力学的エネルギー保存則から速度が加速から減速に移行する理由をもとめることはできなかった。

5. 今後の展望

現象自体の時間が短く、バネが加速する区間の速度を算出する際にブレが生じ、結果に信憑性が得られなかったという問題を解消したい。また、加速度においても単位時間が非常に短く、正確な値を算出することが困難であり、運動方程式から弾性力の変化を考察す

ることができなかつたため、そこから実測値に近い理論値の速度を導出した。

6. 謝辞

本研究において実験計画、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。先生方、大変ありがとうございました。

7. 参考文献

- ・大阪大学石島研究室 バネの自由落下における最下端の位置変化について
<https://www.fbs.osakau.ac.jp/labs/ishijima/Slinky-01.html>
- ・スリンキードロップ問題 Slinky drop
<http://imetrics.co.jp/math3/SlinkyDrop.pdf>

バックスピンする物体の跳ね上がり現象の解明

研究者 的馬 颯汰 浅倉 修大 加賀 寛大 黒川 龍之介 全本 和真

指導者 津田 拓郎 戸田 祥太

Abstract

In the beginning, we define "bounce phenomenon" as a phenomenon in which a disk that is rotating in the opposite direction to the direction of travel (hereinafter referred to as "backspin") bounces up in a direction perpendicular to the direction of travel. The purpose of this study is to clarify the change in the height of the bounce of the disk and the regularity of the bounce by using the distance between the center of the disk and the disk's center of gravity (hereinafter referred to as "displacement of the center of gravity") as a variable.

We fabricated several disks with different displacements of the center of gravity and reproduced the bounce phenomenon using a device that can eject the model while applying backspin to it. We analyzed the trajectory of the center of the model and created a graph for the height of the bounce.

The results showed that the model bounced up and down many times, and that the height of the model's bounce tended to increase with each bounce and then decrease. We also found that the greater the displacement of the center of gravity was, the higher the bounce height tended to be.

1. 研究の概要

はじめに、進行方向と逆向きに回転(以下バックスピン)しながら進む円盤が進行方向と垂直な方向に跳ね上がる現象を「跳ね上がり現象」と定義する。本研究の目的は、円盤の中心と円盤の重心との距離(以下重心のズレ)を変数として跳ね上がり現象における円盤の跳ねの高さの変化、規則性の有無を明らかにすることである。研究ではまず、重心のズレの異なる円盤(モデル)と、モデルの射出装置を作製し、跳ね上がり現象を再現した。そして、動画解析ソフトを用いて、再現した跳ね上がり現象の重心のズレ、回転数と跳ねの高さの関係を調べた。その結果、重心のズレが大きく回転数が多いほど跳ねの高さが高くなることを明らかにした。また、跳ね上がる回数が増えるごとに、モデルの跳ねの高さは高くなり、その後低くなる傾向があることが分かった。

2. 序論

指でビー玉にバックスピンをかけながら押し出して、ビー玉を手元に戻す遊びがある。この遊びでは押し出されたビー玉が段々と跳ね上がる現象が見られる。この現象に興味をもったのでモデルの重心の位置や回転数に着目してこの現象の解明を本研究の目的とした。

3. 研究内容

本研究において、跳ね上がり現象を観測する際に用いた重心のズレを変数とする円盤のことを「モデル」と呼称する。

I モデルの作製

重心を自由に変えることのできるモデルとして木材に穴を開けたものを作製した(図1)。



図1 木製の円盤

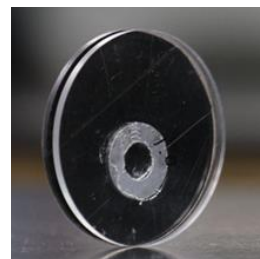


図2 アクリル製の円盤

しかし、木材という素材上、密度が一定でなくカットする際も自分たちで行わなければならないため、再現性が低いという問題が発生した。

これらの問題を解決するモデルとして、図2のようなモデルを作製した。これは、2枚の亚克力円板 ($\phi=50\text{ mm}$) でワッシャー ($\phi=18\text{ mm}$) を挟むもので、変数を重心のズレのみにすることが可能になり、再現性を高めることもできた。

また、このモデルの片面に黒色のテープと、円盤の中心に白い円形のシールを貼り、動画解析の際のトラッキング用のマーカーとした。そして、ワッシャーを挟む位置を変えることで、重心の位置が異なるモデルを複数作製した。

重心の中心からのズレ : 0.0 mm, 0.2 mm, 0.4 mm, 0.6 mm, 0.8 mm

II 射出装置の作製

今回の研究を行う上で、同じ条件で繰り返しモデルにバックスピンをかけて射出できる装置は非常に重要である。

私たちは最初に図3のようなモーター2つでモデルを挟み込み、モデルに回転を与えて射出することができる装置を作製した。しかし、この装置では射出する方向を定めることが難しく、再現性が得られない結果となってしまった。そのため、図4のように一定の高さからゴム板を落としてモデルにぶつけることで、バックスピンを生み出す装置を作製した。この装置では、図5のような仕組みでバックスピンをかけて射出することができる。射出口にガイドが付いているため、射出方向も一定になる。

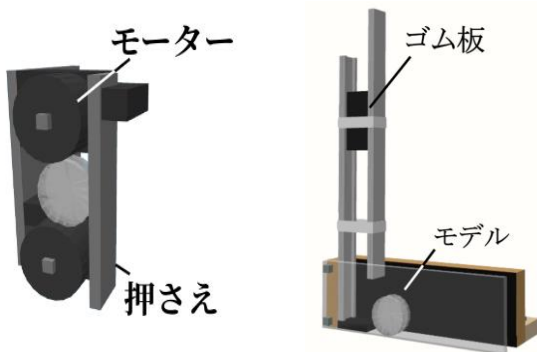


図3 モーター装置

図4 ゴム板装置

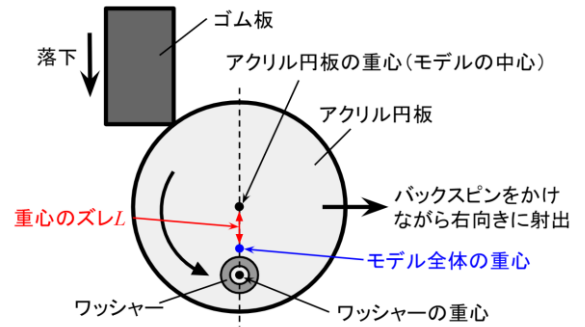


図5 発射装置の原理

III 実験

【実験1】重心のズレの跳ねの高さへの影響

<目的>

モデルの重心のズレの違いと跳ねの高さとの関係を明らかにする。

<仮説>

重心のズレが大きいほど跳ねの高さは高くなる。

<方法>

作製したモデル(重心のズレ : 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8mm)ごとに10回ずつ射出し、射出装置の先端から2mの範囲で射出されたモデルの運動をカメラで撮影した。撮影した動画に対し解析ソフト Kinovea を用いて、各時刻におけるモデルの中心の座標(x, y)をもとめた。

<研究結果>

動画解析を行った結果を図6にまとめた。

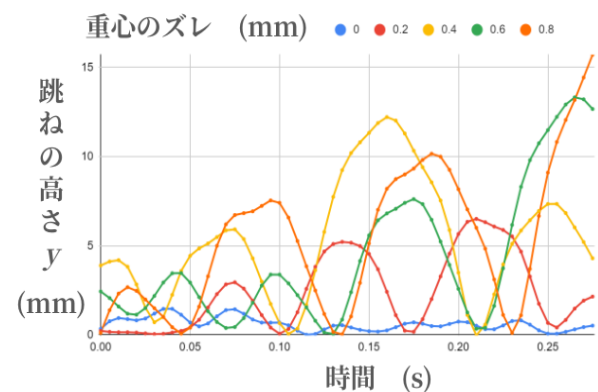


図6 モデルの跳ねの高さ

グラフより、モデルの跳ねの高さは重心のズレが大きいモデルほど高くなることが分かった。また、モデルの跳ねの高さは跳ねるごとに高くなり、その後低くなる傾向があることが分かった。そして、重心のズレが 0.0mm では、モデルの中心の軌道は放物運動の軌道であるのに対して 0.2, 0.4, 0.6, 0.8mm では、跳ね上がったときの頂点付近の軌道に凹みがみられた。これは、放物運動をする重心の周りをモデルの中心が回るためだと考えられる。

図7は、重心のズレごとの跳ねの高さの最大値以前の各跳ねの最高点3つを「最大跳ね」、「2番目に大きい跳ね」、「3番目に大きい跳ね」に分けて、それぞれの平均を取ったグラフである。

このグラフより、重心のズレが大きいほど跳ねの高さが高くなる傾向があることが分かった。

<考察>

重心がズレているモデルほど跳ねの高さが高くなっていることから、重心がズレることによって接線方向の速度に偏りが生じ、鉛直上向きに跳ねるのではないかと考察した。

次に、回転数を変数として跳ね上がり現象の大きさの違いについて以下の実験を行った。

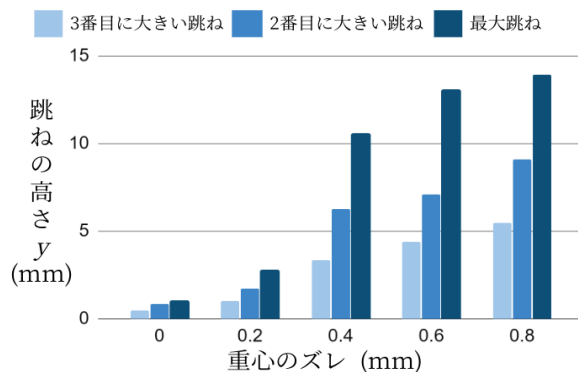


図7 各跳ねにおける
重心のズレと跳ねの高さの比較

【実験2】回転数による跳ねの高さへの影響

<仮説>

回転数が大きいほど跳ねの高さは大きくなる傾向がある。

<方法>

モデルは重心のズレが最も大きいモデル(重心のズレ:0.8mm)のみを使用し、回転数のみを変えて実験を行った。これまでの装置では回転数を変える(すなわちゴム板の落とす高さを高くすると、射出速度も変わってしまう。そのため、図8のようなモーターを用いてモデルを回転させ、ピストンによりモデルを射出する装置を作製した。この装置もガイドが付いているため射出方向が一定とすることができるとともに、モーターの回転数を抵抗器を用いて制御することで、自由にモデルの回転数を変えることができる。

図8の装置で回転数を2つの段階(44.4rps, 39.2rps)に変え、それぞれ10回ずつ計測して実験1と同様の方法で解析、各時刻でのモデルの中心の座標(x, y)をもとめた。

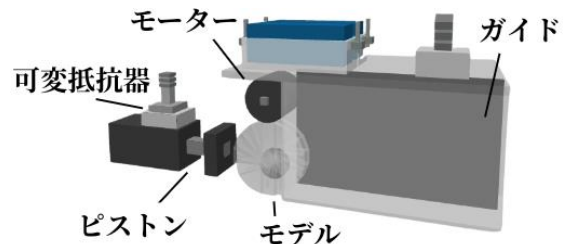


図8 回転数を変えられる装置

<研究結果>

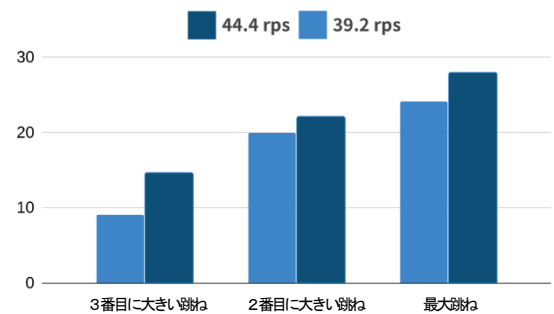


図9 回転数と跳ねの高さの比較

<考察>

図9のように、モデルの跳ねの高さは、回転数44.4rps(回転数が速い)のほうが回転数39.2rps(回転数が遅い)に比べて大きくなった。このことから、回転力が大きいほど跳ね上がり現象が大きくなる傾向があった。

4. 力学的考察

モデルについて、中心を原点とする直交座標系 XY を用いて考える。

実験の結果より、重心の位置が第4象限にある場合に大きく跳ねる傾向があった。これを踏まえて跳ね上がり現象について2つの力学的考察を行った。

①重力と遠心力の合力の反作用による力

$$F = Mg + mr\omega^2 \quad (\text{図 } 10)$$

M :モデルの質量 g :重力加速度の大きさ
 m :重りの質量 r :重心と中心の距離
 ω :角速度

重心の位置が第1・2象限にあるとき(以下(A))は遠心力の Y 成分は正(上向き)にはたらき、重心の位置が第3・4象限にあるとき(以下(B))は遠心力の Y 成分は負(下向き)にはたらくため

(A)のとき, 合力 $F_A = Mg - mr\omega_y^2$

(B)のとき, 合力 $F_B = Mg + mr\omega_y^2$

よって, $F_B > F_A$ となる。

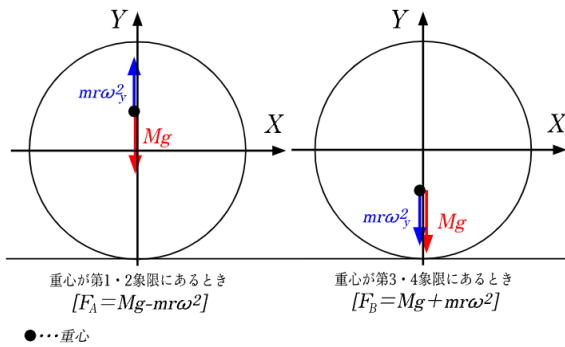


図 10 重力と遠心力の大きさの模式図

②中心を支点としたときによる力のモーメント

$$M = F' \cdot r$$

[F' : 重心によって振られる力]

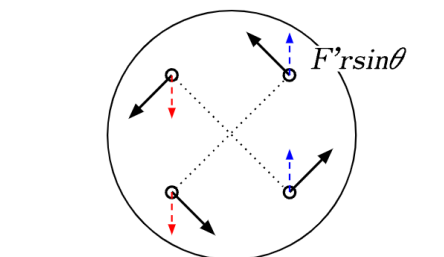


図 11 力のモーメントの大きさの模式図

重心の位置が第1象限, 第4象限にあるとき(以下(C))はモーメントが上向きにはたらき、重心の位置が第2象限, 第3象限にあるとき(以下(D))はモーメントが下向きにはたらくため

(C)のとき, 上向きに モーメント $M_C = F' r \sin\theta$

(D)のとき, 下向きに モーメント $M_D = F' r \sin\theta$

よって $M_C > M_D$

実験2より、回転数が大きいほど跳ね上がる高さが大きくなることより①の力のほうが、②より影響を与えていると考えられる。以上の2つの力学的考察よりモデルの重心の位置が第4象限, 第3象限, 第1象限, 第2象限の順で跳ねが大きくなると考察した。これは重心の位置が第4象限にある場合に大きく跳ねる傾向があったことに合致する。

5. まとめ

力学的考察の正しさを確認するため、浮き上がる直前の重心の位置について解析したところ、跳ね上がる直前の重心の位置が第4象限にあるときに起きた跳ねの高さはその他に比べて高くなっていて、この考察が正しいことが分かった。これらの力学的考察が正しいと仮定すると、進行方向向きの回転(フロントスピン)をする物体でもモデルは跳ね上がることになる。実験2と同様の方法でフロントスピンの実験を行ったところ、バックスピンと同じように跳ね上がり、跳ね上がる直前の重心の位置が第4象限にあるときに起きる跳ねの高さは高くなる傾向があった。そのため、回転の方向は関係なく重心がズレていることが跳ね上がりの要因になっているということを結論付けた。

6. 謝辞

本研究において実験計画、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。先生方、大変ありがとうございました。

ラジオノイズを利用した指向性アンテナの製作

研究者 松岡 歩実 香川 珠衣 福島 さくら 本田 茉彩

指導者 津田 拓郎 戸田 祥太

Abstract

This research focused on the phenomenon in which electromagnetic waves generated during lightning discharges, called static electricity, contain AM radio frequencies, resulting in the unique "crackling" noise that occurs in AM radios during discharges. We thought that the ease with which radio waves are picked up differs depending on the direction of the antenna, that is, if we use a highly directional antenna, we might be able to estimate the location of the discharge, so we used this noise to create a highly directional antenna. This is our purpose.

The research method was to create three antennas with different side lengths and connect them to an AM radio. Then, the volume of noise heard from the radio is measured while changing the angle between the normal to the plane passing through the center of the antenna and the straight line connecting the induction coil, which is simulated as lightning.

As a result, it was found that the receiving sensitivity was best when the antenna surface was parallel or perpendicular to the discharge location.

1. 研究の概要

本研究は、雷の放電時に発生する空電と呼ばれる電波が、AM ラジオの周波数を含むことで放電時に AM ラジオに「バチバチ」という特有のノイズが入る現象に着目した。そして、アンテナの向きによって電波の拾いやすさが異なる性質、つまり指向性の高いアンテナを使用すれば放電の位置を推測できるのではないかと考え、このノイズを用いて指向性の高いアンテナを製作することを目的とした。

研究方法は、一辺の長さが異なる 3 つのアンテナを製作し AM ラジオと接続する。そして、誘導コイルに対するアンテナの面の角度を変えながらラジオから聞こえるノイズの音量を測定する。その結果、アンテナの面が放電箇所に対して平行または垂直にしたとき最も受信感度が良くなると分かった。また本研究の規模では、アンテナの大きさは指向性に影響しないことが明らかとなった。

2. 序論

本研究では、受信感度が高い状態を「指向性が高い」と定義する。また、指向性の高さの検証方法として誘導コイルに対するアンテナの面の角度を変えながら実験を進める。

3. 研究内容（研究方法・結果）

図 1 のように一辺の長さが異なる 3 種類のアンテナを製作した。ただし、アンテナのエナメル線の巻数はすべて 30 周である。

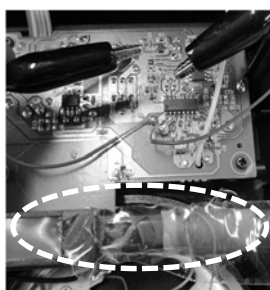


アンテナ (a) アンテナ (b) アンテナ (c)
(一辺 70cm) (一辺 40cm) (一辺 25cm)

図 1 : 製作したアンテナ (3 種類)

【実験方法】

はじめに AM ラジオ内部にある AM ラジオ電波の周波数帯を受信するためのバーアンテナを取り外し、図 1 に示す 3 種類のアンテナをそれぞれ直接回路に取り付けた(図 2)。そして、図 3 のように誘導コイルに対するアンテナの面の角度を θ ($^{\circ}$) として、図 4 のように θ を変えながら 0.20s 刻みで 5 秒間ラジオから聞こえるノイズの音量を、タブレットの騒音測定機能というアプリを使って測定した。この測定において誘導コイルとアンテナの中心との距離は 180cm と一定にした。そして、 θ ごとの音量の出現頻度を 2dB ごとにまとめたヒストグラムを作成した。



バーアンテナ (取り外す)

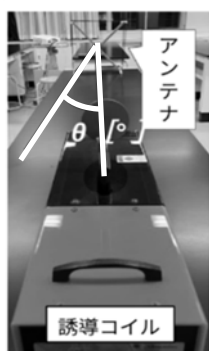


図 3 : 測定角度 θ

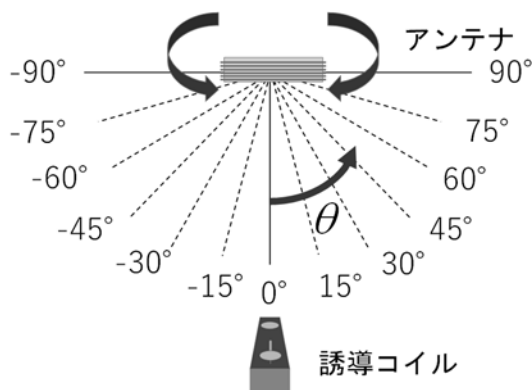


図 4 : ノイズの測定方法の概要

【実験 1】

角度の違いによってノイズの大きさが変化することを確認するために、アンテナ(c)を用いて角度 θ を -90° から 90° まで 15° ずつ変化させて測定を行った。

【結果 1】

測定の結果から角度 θ ($^{\circ}$) と音量(dB), その音量の出現頻度(回)を示すヒストグラムを作成した(図 5)。

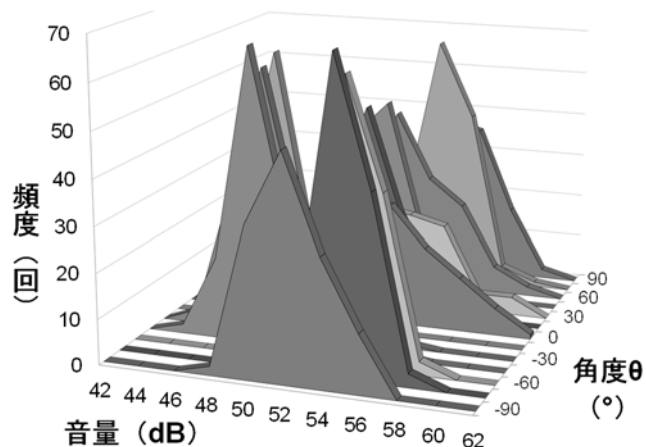


図 5 : 角度 θ の違いによる音量の出現頻度について
(※巻末資料にカラーを掲載)

アンテナ(c)では、アンテナの角度が $\pm 90^{\circ}$ 付近で比較的大きな音量を安定して測定していることがわかった。また、 0° では他のヒストグラムに比べて尖度が小さいことから、小さな音量から大きな音量まで測定していることが分かった。このことの検証として、各ヒストグラムについて、測定データのばらつき度合いを示す分散を計算して比較を行った結果、 0° 付近で分散の値が特に大きくなっていることが明らかとなった(図 6)。

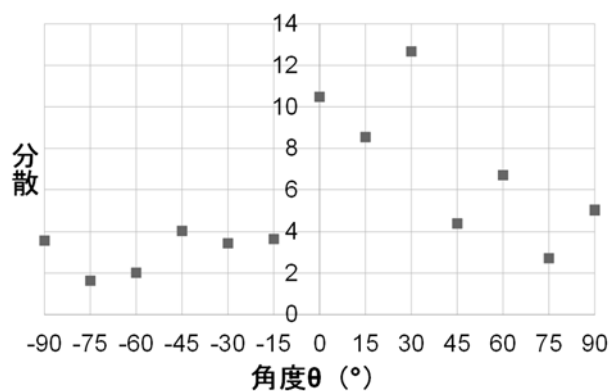


図 6 : 角度 θ の違いによる音量の出現頻度の分散

【実験 1】より次の 2 つのことが明らかとなった。

- $\pm 90^{\circ}$ では大きな音量を安定して測定している。
 - 0° では小さな音量から大きな音量まで測定している。
- これらのことから 0° と $\pm 90^{\circ}$ において受信感度が高いと言える。そこで【実験 2】はこれら 3 つの角度についてアンテナの一边の長さを変えながら同様の実験を行った。

【実験2】

【実験1】で用いたアンテナ(c)の代わりとして、図1に示したアンテナ(a)、アンテナ(b)を用いて同様の測定方法で実験を行った。ただし、この2つのアンテナは【実験1】において受信感度が高かった 0° 、 $\pm 90^\circ$ に限定して測定を行った。具体的には、 θ を 0° または 90° 、 -90° に固定し、0.20s刻みで5秒間ラジオから聞こえるノイズの音量を、タブレットの騒音測定機能というアプリを使って測定した。この測定においても誘導コイルとアンテナの中心との距離は180cmと一定にした。そして、 θ ごとの音量の出現頻度を2dBごとにまとめたヒストグラムを作成した(図7)。

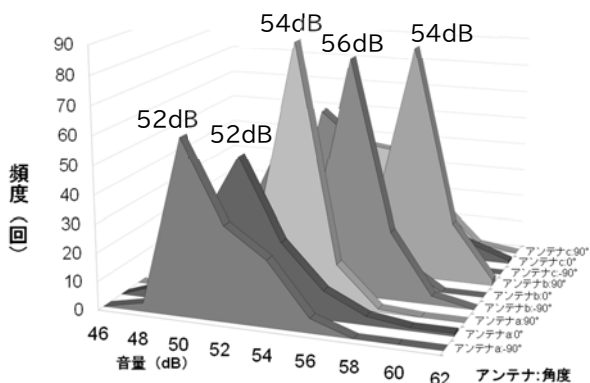


図7：アンテナの違いによる音量の出現頻度について
(※巻末資料にカラーを掲載)

【結果2】

図7より、すべてのアンテナにおいて最頻値は54dB付近となったことから、受信感度が同様の傾向にあることが分かった。

また、測定データのばらつき度合いを示す分散を計算し比較を行った結果、アンテナ(c)の 0° 以外では分散の値に差異は見られなかった(図8)。これらのことから、今回用いた3種類のアンテナにおいては、一片の大きさの違いによる音量の変化は見られなかった。

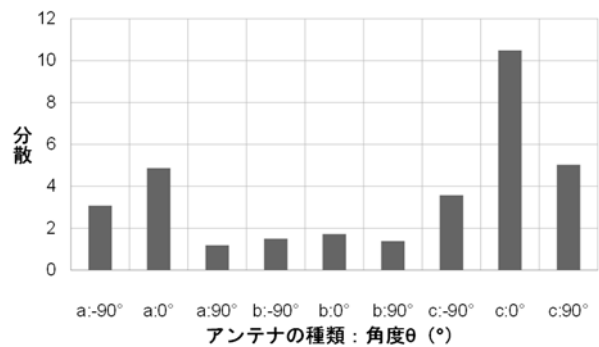


図8：アンテナの違いによる音量の出現頻度の分散

4. 考察

【実験1】より、誘導コイルに対するアンテナの面の角度 θ ($^\circ$)が 0° または $\pm 90^\circ$ のとき、即ちアンテナの面が放電箇所に対して平行または垂直にしたとき最もアンテナの受信感度が高くなることがわかった。

【実験2】より、本研究で製作したアンテナの大きさの範囲内では、指向性はアンテナの大きさではなく放電箇所に対するアンテナの向きが影響するということがわかった。

5. 今後の展望

一般に電波は「フェーシング」という気温や湿度などの気象条件によって伝達状況が変化することが知られている。今回の【実験1】【実験2】の測定は複数日で行ったため、気象条件の違いによるデータのばらつきも考えられる。よって、今後の研究計画としては、まず同日内において、かつできるだけ短時間で3種類のアンテナをそれぞれ用いた実験を行うことで気象条件を揃えた測定を行いたい。また、今回製作したアンテナの大きさを超える、大規模なアンテナを製作し測定に用いることで、アンテナの大きさによるアンテナの指向性への影響についても研究を行っていきたい。

6. 謝辞

本研究において、実験方法など多くの貴重なアドバイスを津山工業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 先生に丁寧にご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. 参考文献

清水 貴大^他 「ゲルマニウムラジオの研究」

岡山県立津山高等学校理数科

平成 24 年度理数科課題研究報告書

<https://www.tuyama.okayama-c.ed.jp/introduce/ssh/pdf/h24/sciencereport.pdf>

液体にインクを滴下したときの模様に関する研究

研究者 田中 佑美, 朝木 夕翔, 湯浅 誌音, 松野 隼達

指導者 篠山 優也, 横山 義人

Abstract

When a drop of aqueous ink is dropped on milk, a pattern is formed. We wanted to estimate the characteristics of milk that affect the formation of the pattern, and to clarify the conditions under which the pattern is formed by confirming the same pattern in other solutions with the same characteristics. We conducted experiments focusing on two points: the fact that milk is a colloidal solution and the viscosity of milk. The formation of patterns was confirmed not only in colloidal solutions but also in solutions with different viscosities from milk, and the process of pattern formation was also observed. We also examined the relationship between the viscosity of the liquid and the patterns formed.

1. 研究の概要

牛乳に水性インクを滴下すると模様の形成が見られる。模様の形成に影響している牛乳の特徴を推定し、その特徴をもつ他の溶液において同様の模様を確認することで模様が形成される条件を明らかにしたいと考えた。牛乳がコロイド溶液である点と牛乳の粘度の2点に着目し実験を行ったところ、牛乳と粘度が異なる非コロイド溶液においても模様の形成が確認できた。またこの溶液で見られる模様の形成過程から、液体の粘度と形成される模様の関係についても検討した。

2. 序論

先行研究(田中, 2021)より牛乳に水性インクを滴下すると写真1のような模様が形成されることが分かっている。この模様は3次元的な構造であり、液面のみならず側面や下部からも確認できる。模様の形成に関わっていると思われる「牛乳の特徴」に着目し、模様が形成される条件を明らかにすることを目的に実験を行った。



写真1 牛乳にできる模様

3. 研究内容

①研究手法

模様の形成に関係している牛乳の特徴が、牛乳がコロイド溶液かつ粘度が $2.0\text{mPa}\cdot\text{s}$ であると仮説を立て、同様の特徴を持つ透明な溶液(アラビアゴム水溶液、シヨ糖水溶液)を用いて、模様の形成過程を観察し、それらの特徴と模様の形成の関係を明らかにする。

【準備物】

アラビアゴム, シヨ糖, 腰高シャーレ, ビュレット, 水性インク(ターレンスエコライン334 スカーレット), カメラ(スマートフォン), 粘度計(東機産業 TVC-10)

【実験方法】

図1の実験装置を用いて、 25°C の牛乳様溶液を腰高シャーレに 25mL 入れ、ビュレットから溶液表面の中心に水性インクを滴下する。また、滴下から模様が形成されるまでの様子を、真上, 真横, 真下から録画し、模様の形成を立体的に観察する。

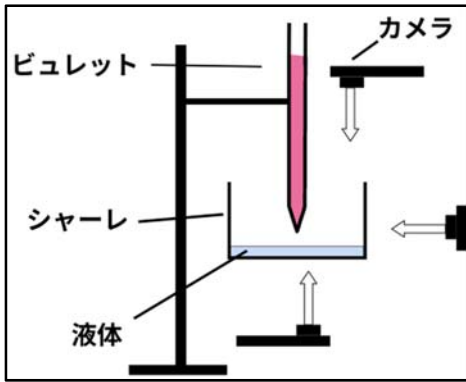


図1 実験装置の模式図

②実験 I の予備実験

本研究で使用する粘度計では液体の粘度を 10 mPa・s 未満まで測ることができないため、粘度が 10mPa・s 以上の範囲で水 100mL に溶かしたアラビアゴムの質量と粘度の関係を調べた。水に溶かすアラビアゴムの質量を変化させながら水溶液の粘度を測定したところ、以下のような結果が得られた (図 2)。

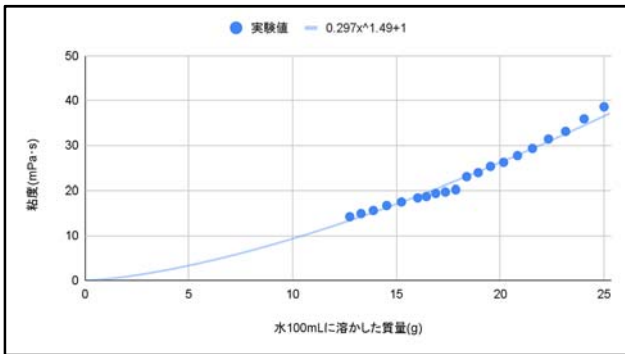


図2 水 100mL に溶かしたアラビアゴムの質量(g)と粘度(mPa・s)の関係

この結果から次の近似式を算出した。

$$y = 0.297x^{1.49} + 1 \cdots \text{式(1)}$$

式 (1) から、粘度が 2.0mPa・s であるアラビアゴム水溶液の質量パーセント濃度は 2.21% とする。

③実験 I

粘度を 2.0mPa・s としたアラビアゴム水溶液で模様の形成を観察する。

④結果・考察 I

粘度が 2.0mPa・s のアラビアゴム水溶液において模様の形成が確認できた (図 3)。牛乳と同様にコロイド溶液かつ粘度 2.0mPa・s の特徴を持つアラビアゴム水溶液において模様が形成されたことから、模様の形成に関係している条件としてコロイド溶液、粘度 2.0mPa・s の 2 点が考えられる。

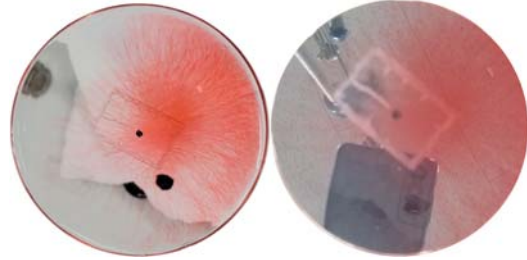


図3 アラビアゴム水溶液(2.0mPa・s, コロイド溶液)における模様

(左は真上, 右は真下から撮影)

さらに、模様が形成される条件を明確にするため、コロイド溶液でないシヨ糖水溶液でも模様が形成されることを確認することを目的に実験 II を行う。

⑤実験 II の予備実験

実験 I の予備実験と同様の実験をシヨ糖水溶液で行う。結果は以下のようなになった (図 4)。

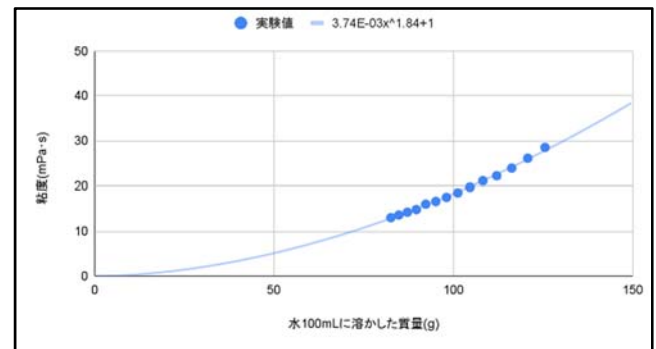


図4 水 100mL に溶かしたシヨ糖の質量(g)と粘度(mPa・s)の関係

この結果から次の近似式を算出した。

$$y = 3.74 \cdot 10^{-3} x^{1.84} + 1 \cdots \text{式(2)}$$

式 (2) から粘度が 2.0mPa・s であるシヨ糖水溶液の質量パーセント濃度は 17.2% とする。

⑥実験Ⅱ

粘度を $2.0\text{mPa}\cdot\text{s}$ としたシヨ糖水溶液で模様の形成を観察する。

⑦結果・考察Ⅱ

粘度 $2.0\text{mPa}\cdot\text{s}$ のシヨ糖水溶液において模様の形成が確認できた(図5)。非コロイド溶液で模様が形成されたことから、コロイド溶液であることはその液体において模様が形成されるかどうかには関係がなく、模様の形成に影響する要因は液体の粘度のみであると考えられる。

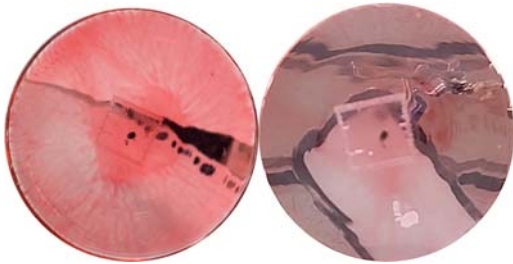


図5 シヨ糖水溶液($2.0\text{mPa}\cdot\text{s}$, 非コロイド溶液)における模様

(左が真上から, 右が真下から撮影したもの)

次に, 形成される模様が液体の粘度によってどのように変化するかを調べるため, 実験Ⅲを行う。

⑧実験Ⅲ

式(2)を用いて, 様々な粘度のシヨ糖水溶液を調製した(表1)。これらのシヨ糖水溶液で同様の実験を行い, 模様の形成を観察する。

表1 シヨ糖水溶液の粘度と濃度

粘度($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	質量パーセント濃度(%)
1.5	12.5
2.0	17.2
3.0	23.3
4.0	27.5
6.0	33.3
8.0	37.5
10	40.7
14	43.4

⑨結果・考察Ⅲ

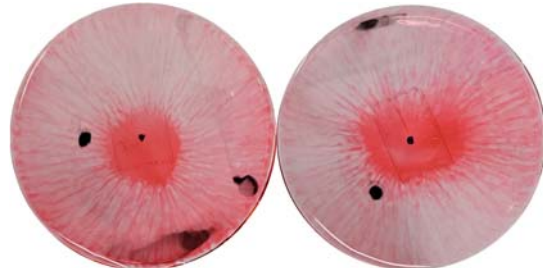
すべての粘度において模様の形成が確認できた(図6)。いずれも水性インク滴下から30分後の様子を真上から撮影したもの)。しかしながら粘度が大きくなるにつれて模様形成の進行が遅くなると同時に, 鮮明さなどにも違いが見られたが, サンプル数の少なさにより, 現時点では定量的に考察することはできなかった。



(左が粘度 $1.5\text{mPa}\cdot\text{s}$, 右が粘度 $2.0\text{mPa}\cdot\text{s}$)



(左が粘度 $3.0\text{mPa}\cdot\text{s}$, 右が粘度 $4.0\text{mPa}\cdot\text{s}$)



(左が粘度 $6.0\text{mPa}\cdot\text{s}$, 右が粘度 $8.0\text{mPa}\cdot\text{s}$)

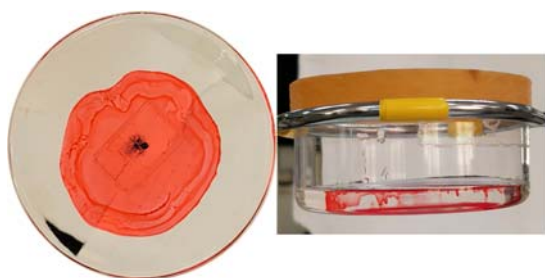


(左が粘度 $10\text{mPa}\cdot\text{s}$, 右が粘度 $14\text{mPa}\cdot\text{s}$)

図6 シヨ糖水溶液の粘度と模様

模様の形成を鮮明に観察できた粘度 $10\text{mPa}\cdot\text{s}$ のシヨ糖水溶液を元に, 模様の形成過程の観察を行った。

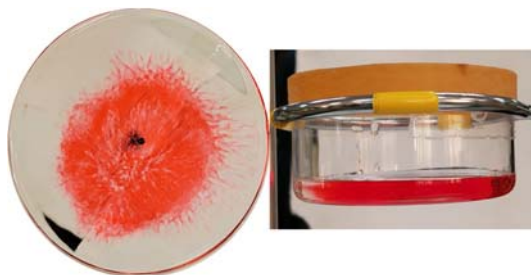
インク滴下から2分後、一部のインクが沈み始める(図7a)。7分40秒後、沈んだインクが底面に到達し、表面には粒状の模様が浮かび上がる(図7b)。13分後、放射状の線が見られるようになる。この線は側面からも観察することができる(図7c)。その後線が増え全体に広がり(図7d)、やがてインクとショ糖水溶液が均一に混ざる。以上の模様の形成過程は粘度によらず同様の現象であるように見えたが定量的に判断することはできなかった。



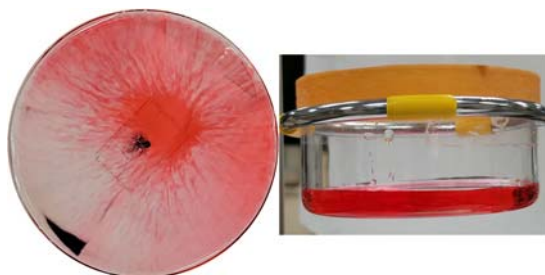
a 2分後



b 7分40秒後



c 13分後



d 54分後

図7 粘度 $10\text{mPa}\cdot\text{s}$ のショ糖水溶液

4. 結論

本研究では、模様の形成にはコロイド溶液であるか否かは関係が無く、水性インクを滴下される液体の粘度が影響を及ぼしていることが明らかとなった。一方で、サンプル数が少なかったため、粘度と模様の定量的な関係を明らかにすることはできなかった。

5. 今後の展望

今後は、粘度、密度差、温度を変数として実験を行うことが可能となるよう、水性インクではない別の液体を滴下したい。また画像解析ソフトを用いて液体内部の流れを明らかにし、模様形成のメカニズムをより詳しく明らかにしたい。

6. 参考文献

田中佑美.課題研究 2021 論文集,津山中学校,対流によって牛乳の表面に見られる放射状の模様に関する研究,2021,pp.25-28

Factors Influencing the Growth of Ice Stalagmites

Ayu Moriyasu Mei Terasaka Rikuto Tsuneto
Supervisors Hiroaki Minami Yuya Sasayama

Abstract

Ice stalagmites form naturally when drops from a cave or other structure gradually drip and freeze to the ground. Because of the difficulty of creating them artificially, research on them has not proceeded. This study examined the factors influencing the growth of ice stalagmites by creating them with different solutions, and also clarified their crystal grains and orientation. As a result, ice stalagmites made from electrolyte solutions containing ions in which those with small ionic radius were hydrated grew the longest. Furthermore, we discussed the process of ice stalagmites formation by measuring the concentration, observing the crystal grains and taking videos of it in the forming process.

I 研究の概要

氷筈とは滴り落ちた水滴が上向きに凍って柱状にできる氷塊のことである。ただ人工的に作成することが難しく研究はあまり進んでいない。本研究では氷筈の成長に影響を与える要因の考察を行い、さらに氷筈の結晶粒および結晶方位の解明を行った。その結果、電解質水溶液のうちイオン半径の小さいもの同士が水和している溶液で作成した氷筈が最も長く伸びることがわかった。また濃度の滴定、結晶粒の観察、形成過程の撮影により氷筈の成長過程を説明することができた。

II Introduction

Ice stalagmites are sometimes used to create slippery ice for skating rinks. Today, with global warming, the amount of ice that can be produced within the natural environment is likely to be limited. This study aims to explore the unknowns and the factors influencing the growth, which can be applied to the more efficient creation of skating rinks and ice sculptures as art objects.

In a previous study in junior high school, it was possible to create artificial ice stalagmites, and the experiments showed that the length of the ice stalagmites formed differently depending on the kind of solutions (Moriyasu, 2021). However, the experiments lacked reproducibility because they were conducted in an environment affected by

temperature. And also, mass percentage was used instead of molar concentration to determine concentration. Therefore, we conducted this study using improved apparatus and the molar concentration as a method for indicating density.

III Method

The experimental apparatus is shown in Fig. 1. We stacked two polystyrene boxes and placed them on top of the freezer with the lid open. An intravenous tubing with a plastic bottle for pouring the solutions attached ran from the top of the boxes into the freezer. The solution was dripped onto the tray in the freezer through the intravenous tubing at 4-second intervals. In the

top box, the solution was chilled in ice water to maintain the constant temperature at 4.5 to 5.5 °C.

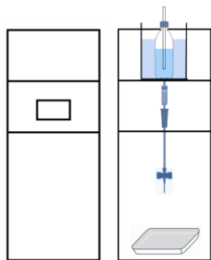


Fig. 1 the experimental apparatus

A straw was used to keep the amount of air entering the bottle the same, which leads to keeping the drop rate constant. The second box had a hole in its side to roll up or down the roller of the roller clamp, which allowed us to control the drop rate. The temperature in the freezer was kept at -22 °C and continued dropping for 4 hours. The experiments were conducted with 5 kinds of aqueous solutions of sodium chloride, sodium hydrogen carbonate, potassium nitrate, acetic acid, and urea of 0.4 mol/L.

IV Experiments

1. Experiment 1

From the previous study, it was hypothesized that solutes in the solutions that are bonded by intermolecular forces will form longer ice stalagmites than those that are ionically bonded. So, this experiment examined the differences in the length of ice stalagmites by changing their solutions to create them. We conducted this 3 times in each solution, and measured the length.

2. Experiment 2

In the course of experiment 1, as the ice stalagmites created with the acetic acid solution started to melt, the smell was felt to be lighter than the original solution. So, it was considered

that the concentration might differ depending on the location inside them. Hence, in this experiment, we cut the ice stalagmites horizontally into 3 or 4 pieces and measured their concentration after they melted. Concentrations were measured by the second stage of double indicator titration of sodium carbonate for sodium hydrogen carbonate solutions, and the Mohr's method for sodium chloride solutions.

3. Experiment 3

Experiment 3 examined the crystal grains and orientation of the ice stalagmites. The piece of ice stalagmites, the ones cut horizontally into three and the others vertically into two, were observed using polarizing plates and LED light.

V Results

1. Result from Experiment 1

Ice stalagmites made from sodium chloride solution, of which the solute is an electrolyte and ionic radius of both hydrated anion and cation in it are small in size, grew the longest. Even if those are made from solutions in which the solute is an electrolyte, they didn't grow so long (an electrolyte, such as sodium hydrogen carbonate and potassium nitrate, the ionic radius of the hydrated anion in the solution is big in size and the hydrated cation is small in size). Also, those made from solutions with large ionic radius of hydrated molecules in them, such as urea solution, showed the shortest length (Fig. 2).

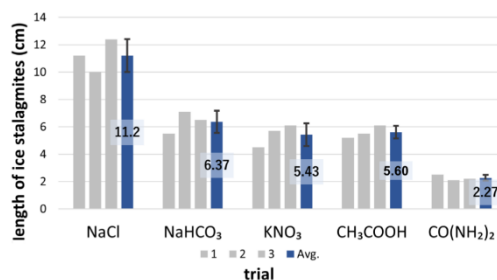


Fig. 2 the length in different solutions

2. Result from Experiment 2

The pieces of the ice stalagmite are numbered like the models (Fig. 3 and 5). Fig. 4 and 6 indicates that the bottom part of the ice stalagmite has a higher concentration and the top part has the lowest concentration. Therefore, in both ice stalagmites made from electrolyte and non-electrolyte aqueous solutions, the bottom is denser than the top.

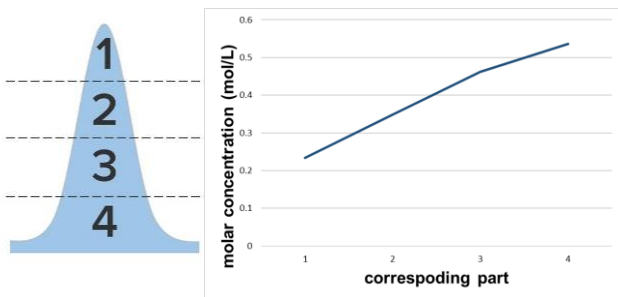


Fig. 3 model 1

Fig. 4 result (NaHCO₃)

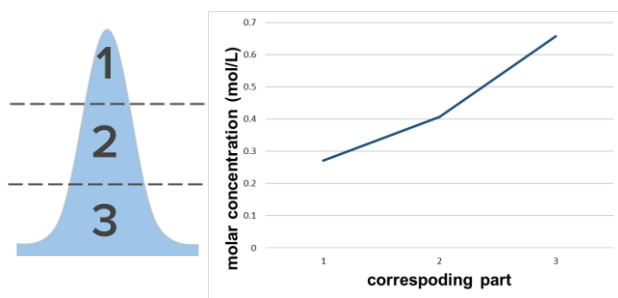


Fig. 5 model 2

Fig. 6 result (NaCl)

3. Result from Experiment 3

The pieces of the ice stalagmite are numbered like Fig. 7. According to Fig. 8, 9 and 10, it can be seen that the inner crystals of the ice stalagmite are fine-grained, and the outer ones are coarse-grained. This is a different result from the previous study that showed the top of the ice stalagmite to be a single crystal (Takahashi, Oishi, & Matsushashi, 2012). Moreover, Fig. 11 shows that the inner crystals are aligned roughly vertically which is the direction of growth of the ice stalagmite.

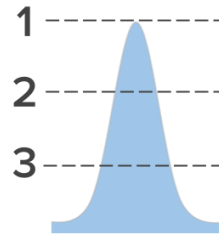


Fig. 7 model 3



Fig. 8 crystal grains (1)

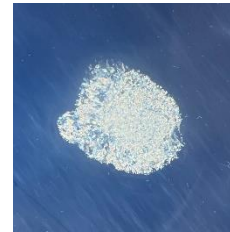


Fig. 9 crystal grains (2)



Fig. 10 crystal grains (3)

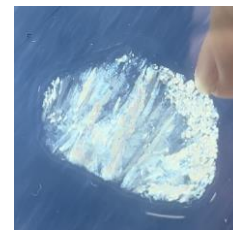


Fig. 11 crystal orientation

However, the ice stalagmite which we observed had been stored in the freezer for several days after it was formed, so there was a possibility that recrystallization had occurred. Therefore, we observed the crystals of the ice stalagmite just after making it.

According to Fig. 13, 14 and 15, they are composed of alternating stacks of fine-grained crystals and roughly vertically aligned ones, constituting a state of rhythmic layering.

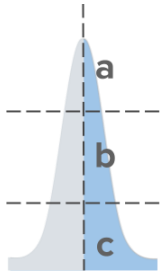


Fig. 12 model 4



Fig. 13 crystal grains (a)



Fig. 14 crystal grains (b)



Fig. 15 crystal grains (c)

VI Discussion

1. Discussion of experiment 1

It is considered that if the hydrated anions and cations in a solution are small, the ions can get into the gaps between the water molecules, and the solution form long ice stalagmites. In the case that hydrated ions in a solution are various sizes, ice stalagmites created with that don't grow so long. In contrast, in the case that hydrated molecules in a solution are large, it is difficult for crystals to pile up equally and the ones created with it grow only a little

2. Discussion of experiments 2 and 3

The process of ice stalagmites forming is considered as follows. The ice is formed as a base at first and then a hole is made by dripping solution at the top. Next, a bowl-shaped part is formed in the center of the top, and the solution accumulates there and gradually freezes. When the solution overflows, it flows down the sides. In the process of flowing, water as a solvent gradually freezes

first, and then the concentration of the solution, which is still liquid, increases as it flows and freezes, too. Because of this, the bottom part of the ice stalagmite becomes denser, and finally, the bowl-shaped part is covered. Then a hole is made at the top again, and continues growing like that. This process occurs cyclic to form ice stalagmites (Fig. 16).

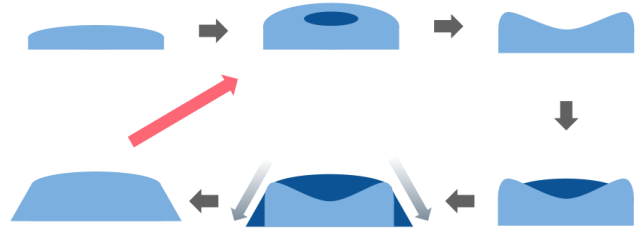


Fig. 16 the process of ice stalagmites formation

VII Conclusion

- ① The size of the ion radius of hydrated ions and molecules in a solution affects the length of ice stalagmites.
- ② The process of ice stalagmites formation is cyclical.

References

- 1) 森安歩友. 課題研究 2021 論文集, 津山中学校, 氷筈の成長と水溶液の種類・pH・表面張力の関係, 2021, 17-19
- 2) 高橋忠司・大石かおる・松橋美穂. 埼玉学園大学・川口短期大学機関リポジトリ, 氷筈を使ったチンダル像の作成, 2012. 9, 145-153

バイオマス灰の有効利用に向けた成分分析

研究者 阿部 龍之介 春木 佑介 入江 花和 和田 侑紗
指導者 井上 直樹 篠山 優也 横山 義人

Abstract

In this study, the basic components of the ash were analyzed with a particular focus on the effective use of biomass ash. Biomass ash was heated to investigate changes in the percentages of carbonates and oxides of alkali metals in the ash. Since the proportion of carbonate increased when the ash was heated and the proportion of carbonate and oxide changed depending on the heating temperature, we believe that if the amount of carbonate produced can be increased by adjusting the temperature when the ash is burned, CO₂ emissions can be reduced and the carbonate can be effectively utilized.

1. 要旨

本研究では、バイオマス灰の有効利用を目的に、特に灰の塩基性成分について分析を行った。バイオマス灰を加熱し、灰に含まれるアルカリ金属の炭酸塩と酸化物の割合の変化を調査した。灰を加熱することで炭酸塩の割合が増加し、加熱温度によって炭酸塩と酸化物の割合が変化したことから、灰を燃やす際に温度を調節することで炭酸塩の生成量を増やすことができれば二酸化炭素の排出量を削減できる上に、炭酸塩を有効利用できると考える。

2. 研究動機

バイオマス発電は環境に優しい発電方法であると言われているが、発電によって生成された灰が産業廃棄物になっていたり、燃焼によって二酸化炭素が大量に発生したりしている現状がある。二酸化炭素の排出量を抑えるためには燃やした分だけ植物を増やさないといけない。だが、それには長い年月がかかる。そこで、バイオマス灰に焦点を当てて調べたところ、本校の先輩の先行研究では、灰にアルカリ金属の炭酸塩と酸化物が含まれており、その割合を調べる方法が研究されていた。我々は、炭酸塩の生成による二酸化炭素の吸収や灰の中に含まれる成分の再利用について研究したいと考えた。



図1 使用した灰

3. 研究内容

(1) 事前準備：灰抽出液の作成

灰 65 g と精製水 100g を 5 分間混ぜ、24 時間常温放置した後ろ過し、得られた溶液を灰抽出液として使用した。

(2) 中和滴定

①もとの灰

灰抽出液 10mL に 0.089mol/L の塩酸を滴下し、第一中和点と第二中和点を求めた。また、0.0089mol/L の塩酸を使用し、1 滴滴下するごとに pH メーターで灰抽出液の pH を測定し、中和時における pH の変化を調べた。測定した値から、灰抽出液の pH と塩酸の滴下量のグラフを作成した。

②加熱した灰

800℃、850℃、900℃の温度でそれぞれ加熱した灰で灰抽出液を作り、①と同じ方法で中和滴定を行った。



図2 加熱した灰

(3) 結晶の観察

もとの灰と加熱した灰の灰抽出液，純物質を用いて結晶を作成した。偏光顕微鏡で観察し，純物質の結晶のサンプルを比較し，結晶の形や構造から灰抽出液に含まれる結晶の特定を行った。

4. 結果

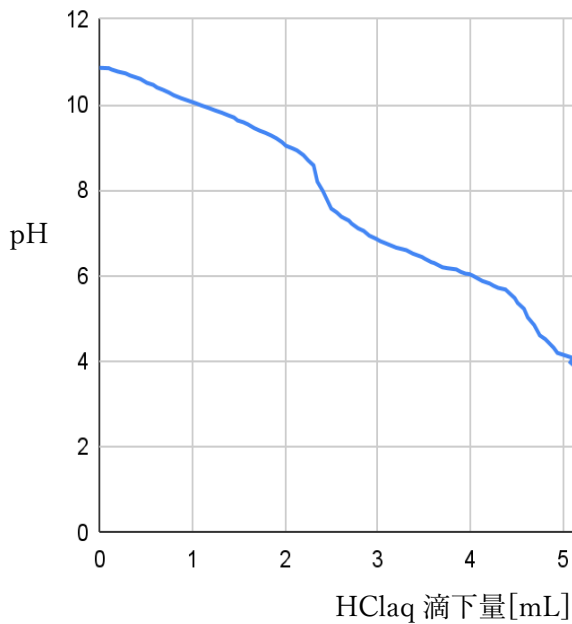


図3 灰抽出液の pH と 0.0089mol/L HClaq 滴下量

表1 中和滴定の結果

	もとの灰	800°Cで加熱	850°Cで加熱	900°Cで加熱
第一中和点 [mL]	6.226	0.329	0.369	0.362
第二中和点 [mL]	0.525	0.095	0.118	0.206
水酸化物 [mol/L]	0.0507	0.0029	0.0033	0.0032
炭酸塩 [mol/L]	0.0047	0.0008	0.0011	0.0018

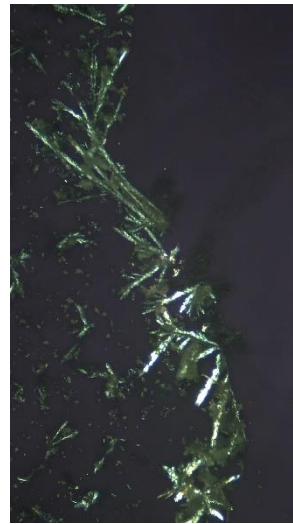


図4 灰抽出液の再結晶①

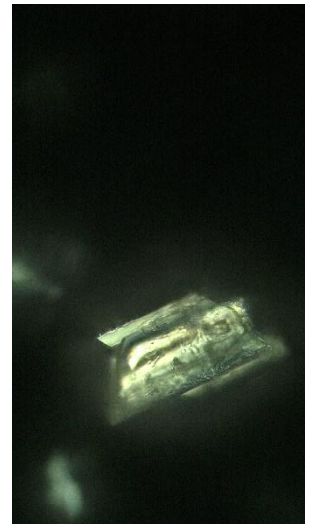


図5 灰抽出液の再結晶②

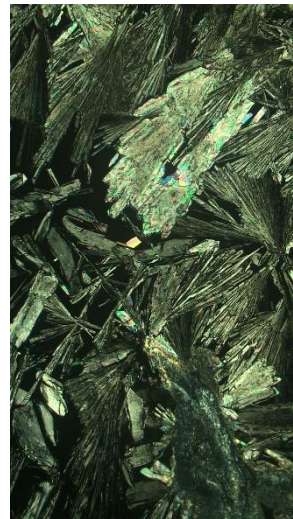


図6 炭酸ナトリウムの結晶

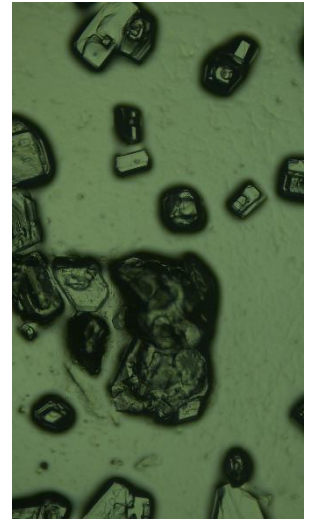


図7 炭酸カリウムの結晶

(2)①中和滴定の結果，下記の表1の通りの値が得られた。また，図3のような二段階の滴定のグラフが得られた。

(2)②表1の通りの値が得られた。また，900°Cで加熱した灰を用いた中和滴定では，図3のような二段階の滴定のグラフが得られた。灰を加熱すると，炭酸塩の割合が増加し，大幅に塩基性成分が減少した。

(3)偏光顕微鏡の観察により，灰抽出液の再結晶の中から，炭酸ナトリウムと炭酸カリウム，硫酸カリウムに似た結晶が見つかった。

5. 考察

pH と中和滴定の結果から、強い塩基性と二段階の中和が生じること、また、灰に塩酸を加えると CO_2 が発生することから灰抽出液の中には水酸化物と炭酸塩が含まれていると考えられる。水酸化物は酸化物が水に溶けたときにできる物質であることから、灰の中には強塩基である酸化物と炭酸塩が含まれていると考えられる。炭酸水素塩は 200°C 程度で熱分解され炭酸塩になることから、約 800°C で燃やして作られた灰の中にはもう存在していないと予想した。また、灰を再加熱することで残った炭素の燃焼より、発生した二酸化炭素が固定されたため、炭酸塩の割合が増加したと考えられる。加熱をした際に大幅に塩基性成分が減少した要因は、灰を加熱する際に塩基性成分が電気炉内で細かい粒子となって散ったもしくは蒸発した、或いは、灰を加熱する際に使用した蒸発皿の上薬が剥がれていたことから、上薬の成分であるガラスを塩基性成分が溶かし、ケイ酸カリウムなどが生成されたことのどちらかだと考えられる。ケイ酸カリウムは水に溶けないので灰抽出液を作成したときにした際に、ろ過の段階で取り除かれたのではないかと考える。

また、偏光顕微鏡で灰の再結晶を結晶形態、屈折率、消光角に着目して観察したところ、酸化カリウム、炭酸カリウム、硫酸カリウムが灰に含まれていると予測できた。

岡山理科大学佐藤准教授に協力いただき、灰の成分の X 線解析、EDS 分析を行ったところ、陽イオンの主成分はカリウム、陰イオンの主成分は硫酸イオンと判明し、中和の際に検出した塩基の物質質量が灰全体から考えると少量であることから、灰には硫酸カリウムが多く含まれていることが分かった。

灰の中の塩基性成分のみを分析するために灰抽出液に塩化バリウム水溶液を加え、硫酸バリウム、炭酸バリウムを沈殿させ、残った上澄み液を滴定したところ、炭酸塩が失われているにも関わらず二段階の滴定になった。炭酸塩以外の塩基性

成分も含まれている可能性があり、今後の研究課題となる。



図8 バリウムによる沈殿と上澄み液



図9 バリウムによる沈殿物

6. 今後の展望

灰を加熱する際に、上記の2つの理由から塩の減少が起こったと考えられるため、灰を燃やす際に使用する蒸発皿などの外的要因を除いて再検討を行いたい。また、灰の中に最も多くの二酸化炭素を固定できる温度を、灰を燃やす温度を細かく変えることで特定し、最適なバイオマス発電の焼却温度を求めたい。

発電所の方から灰にクロムが含まれるため再利用できないと聞いていたが、今回頂いた灰は、クロムの存在は確認できなかった。灰からクロムを除去する方法が今後の研究課題である。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導頂いた岡山理科大学理学部化学科佐藤泰史准教授に心から感謝いたします。

8. 参考文献

- ・木質バイオマス灰の食品加工への利用
今石 結菜 浦上 万由子 鳥越 菜摘 牧原 文佳
令和元年度岡山県立津山高等学校理数科課題研究報告書
- ・木質燃焼灰の有効利用について
折橋 健 林産試だより 2019年8月号
- ・木質バイオマス燃焼灰中カリウムの化学状態分析
塩田憲司 池美乃里 高岡昌輝
京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻
Photon Factory Activity Report 2020 #38
(2021)

牛のヨロイを効率的に落とす物質 についての研究

研究者 大塚 樟太, 尾崎 正隆, 小林 歩夢, 三谷 介晟
指導者 大賀 悠生

Abstract

In this study, we focused on "yoroi," which hardens and adheres to the bodies of cattle, mainly those kept tied up or in sheds, along with cattle manure and urine. This "yoroi" needs to be removed for hygiene and appearance when cattle are shipped to market or at a cattle show, but it is very hard and difficult to remove, so it is a burden for both the cattle and the farmer. To alleviate this burden, we conducted research on substances that efficiently remove this "yoroi" and on its binding. As a result, we thought that efficient degradation was achieved by using a basic, high-temperature solution, and that "hemicellulose" and "mucin" were likely to be involved in the binding.

1. 研究概要

本研究では、主に繋ぎ飼いや舎飼いの牛の体に牛の糞尿が付着し、固まる「ヨロイ」に着目した。ヨロイは市場への出荷や共進会の際に衛生や見栄えの観点から除去する必要があるが、非常に硬く除去が難しいため、牛や農家の負担となっている。私達はこの負担を軽減するためにヨロイを効率的に落とす物質とヨロイの結合についての研究を行った。その結果からヨロイは、塩基性かつ温度の高い溶液を用いることで効率的な分解が行われることが分かった。また、結合にはヘミセルロースやムチンが関与している可能性が高いと考えた。

2. 序論

ヨロイとは牛の糞尿が牛体について固まったものである。繋ぎ飼いで飼われている牛などで多く見られる。市場出荷前や共進会出品前には衛生面や見栄えの観点からこれを落とす必要がある。しかし、ヨロイは非常に硬く、落とすことが極めて困難であり、農家や牛にとって大きな負担となっている(図1)。

本研究において、この負担を解消するためにヨロイを効率的に落とす物質について研究し、ヨロイを効率的に落とす方法の発見を最終目標とした。



図1：牛のヨロイ

3. 研究内容

3-1. ヨロイの分解実験

[目的]

ヨロイを効率的に分解する物質を、pHと温度に注目し、研究する。

[実験 I] 溶液の pH を変数とした実験

<実験方法 I-①>

1. NaOHaq(pH13)・H₂O(pH7)・HClaq(pH2)60mL とヨロイ 3.0g を 3 個用意する。
2. 溶液にヨロイを 1 個ずつ投入し、42°C に設定した恒温器で 20 時間静置する。
3. 測定器具①(図 2)を用いて測定を行う。
1~3 を 1 回行った。

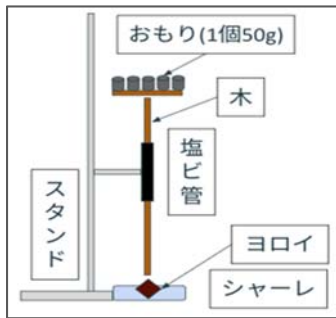


図 2 : 測定器具①

- ・ 測定器具は完全なオリジナルである。
- ・ 木製の棒に板を取り付けその上におもりを載せていき、ヨロイが破断したときのおもりの重さを破断強度とした。

<結果 I-①>

表 1 : 溶液の pH と破断強度の関係①

pH	13	7	2
破断強度 (g/cm ²)	1846.2	※4774.6	※4774.6

※ おもりの個数に限りがあり破断強度 4774.6g/cm²以上の測定は不可能であった。

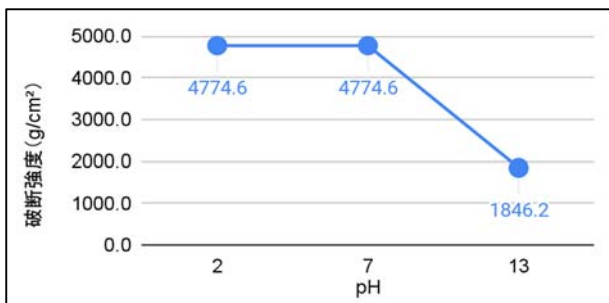


図 3 : 溶液の pH と破断強度の関係①

- ・ pH7 の溶液ではヒビが観測され、pH2 の溶液では沈み込みが観測されたが破断はしなかった。

<考察 I-①>

塩基性の溶液においてヨロイが効率的に分解されると考えられる。

<実験方法 I-②>

1. NaOHaq(pH8~13)60mL とヨロイ 3.0g を 6 個用意する。
2. 溶液にヨロイを 1 個ずつ投入し、42°C に設定した恒温器に 20 時間静置する。
3. 測定器具①(図 2)を用いて測定を行う。
1~3 を 3 回行った。

<結果 I-②>

表 2 : 溶液の pH と破断強度の関係②

pH	破断強度(g/cm ²)		
	1 回目	2 回目	3 回目
8	※4774.6	2164.5	※4774.6
9	※4774.6	2610.1	3501.4
10	※4774.6	2355.5	2864.8
11	※4774.6	2355.5	3055.8
12	3501.4	2355.5	2419.2
13	4138.0	700.3	2992.1

※ おもりの個数に限りがあり破断強度 4774.6g/cm²以上の測定は不可能であった。

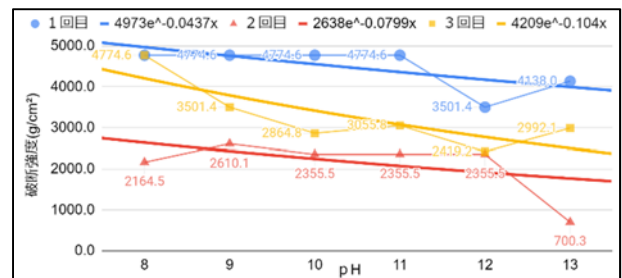


図 4 : 溶液の pH と破断強度の関係②

(詳しい図は付録のポスター集に掲載)

- ・ 1 回目の pH8・9, 2 回目・3 回目の pH10 では実験操作に何らかの不備があったと考え、再実験を行い、その結果を表に示した。

<考察 I -②>

図4の近似曲線(指数関数)から溶液のpHが高いほどヨロイが効率的に分解されると考えられる。

[実験 II] 溶液の温度を変数とした実験

<実験方法 II >

1. NaOHaq(pH13)60mL とヨロイ 3.0g を 2 個用意する。
 2. 溶液にヨロイを 1 個ずつ投入し、それぞれ 10°C と 42°C の恒温器で 20 時間静置する。
 3. 測定器具①(図2)を用いて測定を行う。
- 1~3 を 3 回行った。

<結果 II >

表3：溶液の温度と破断強度の関係

温度(°C)	破断強度(g/cm ²)		
	1 回目	2 回目	3 回目
10	954.9	3501.4	1082.3
42	※0	1591.5	382.0

※ 測定器具(58g)を載せた際に破断したため、破断強度は 0g/cm²としている。

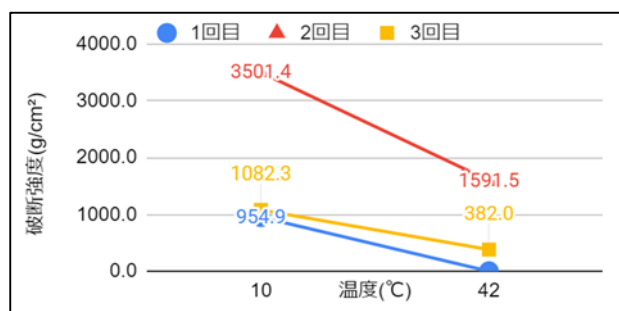


図5：温度と破断強度の関係

<考察 II >

溶液の温度が高いほどヨロイを効率的に分解できると考えられる。

3-2. ヨロイの結合についての実験

[目的]

ヨロイの硬さの要因を解明する。

[仮説]

牛糞中の繊維同士が尿、ムチン、ヘミセルロースによって結合されている。

[実験 III] ヨロイの結合についての実験

<実験方法 III >

1. 以下の①~⑥の試料を用意する。
 - ① 牛糞 1.0g と牛尿 1.0g を混ぜたもの
 - ② 牛糞 1.0g と水 1.0g を混ぜたもの
 - ③ 牛の大腸由来粘液 1.4g と脱脂綿 0.02g を混ぜたもの
 - ④ 牛の小腸由来粘液 1.4g と脱脂綿 0.02g を混ぜたもの
 - ⑤ ヘミセルロース粉末 0.1g を水 1.0g に溶いたものと脱脂綿 0.02g を混ぜたもの
 - ⑥ 水 1.0g と脱脂綿 0.02g を混ぜたもの
 2. 試料をクッキングペーパーに載せ、常温で 24 時間自然乾燥させる。
 3. 測定器具②(図6)を用いて計測する。
- 1~3 を 4 回を行い、それぞれの結果と平均値を表にした。



図6：測定器具②

- 測定器具は完全なオリジナルである。
- 測定する試料を、消しゴムを滑り止めにしたクリップに挟み、台車に乗せたばねばかりにつなぐ。おもりを吊るしていき、破断したときのばねばかりの値(N)を破断強度とした。

<結果Ⅲ>

表 4：各種試料と破断強度の関係

試料	破断強度(N)				
	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
①	0.70	0	3.87	3.35	1.98
②	0.40	2.29	2.84	3.37	2.23
③	6.32	11.24			8.78
④	17.85	17.3			17.58
⑤	12.95	9.33	18.45	16.6	14.33
⑥	3.37	5.32	4.4	2.52	3.90

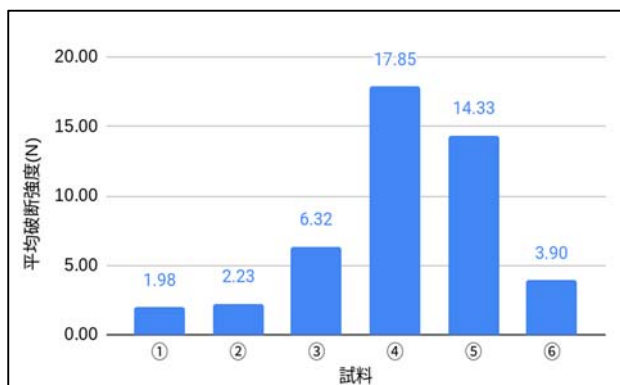


図 7：各種試料と破断強度の関係

・③と④の実験回数は2回である。

<考察Ⅲ>

試料①と②の比較より、結合に尿は関与しないと考えられる。試料③・④・⑤と⑥の比較より、ムチンとヘミセルロースは結合に関与していると考えられる。

4. 結論と今後の展望

ヨロイの効率的な分解には pH が高く、温度が高いことが重要であることが考えられ、また、ヨロイの結合にはムチンとヘミセルロースが関与していると考えられる。しかし、今回の実験のように強アルカリ性の溶液をそのまま牛にかければ、逆に牛体を傷つけることになりかねない。こ

のことから、弱塩基性かつ温度が約 40°Cの溶液をかけることでヨロイが効率的に分解されると考える。界面活性剤や酵素と合わせることで効果が上がることも期待できる。

今後は、ヨロイの結合のさらなる解明のため、ムチンとヘミセルロースの結合能力についての追加研究や、結合に関わっていると考えられる尿酸や糖など他の物質についての検討も行っていきたい。また、酵素の使用なども視野に入れて効率的にヨロイを落とす方法について研究していきたい。

謝辞

本研究において、ヨロイ・牛糞尿・牧草・敷料を提供して下さった大塚 毅 様、ヘミセルロース粉末を提供して下さった株式会社ヘミセルロース様、牛の大腸・小腸を提供して下さった津山食肉処理センター 様、また、私たちをご指導して下さった美作大学の桑守 正範 教授と栗脇 淳一 教授に感謝申し上げます。

参考文献

- ・株式会社紀文食品 研究開発部 國本 弥衣, 東海大学海洋学部水産加工研究室 平塚 聖一：紀文 おでんの具 食感実験
- ・前原 智子, 金子 哲：応用糖質科学第2巻第3号(2012) ヘミセルロースの構造と分解酵素(2012年8月)
- ・Carraway K.L, Fregien N：ムチンの構造と機能：遺伝子の分子生物学的見地から(January 1995)

Factors that Affect the Formation of Fruiting Bodies of Slime Mold, Physarum

China Ishio, Ayumu Otani, Mao Kamiya, Haruhi Takahashi, Kanon Nakamura

Supervisor: Takashi Yamamoto

Abstract

Physarum polycephalum is a unicellular, multinucleate, and eukaryotic slime mold. In this study, we focused on the process that a deformed body transforms into fruiting bodies and conducted experiments under conditions that can occur in the natural environment. From the results of our experiments, we considered that moisture content is most closely related to the formation of fruiting bodies and light such as sunlight and infrared light don't affect the formation. That means light conditions evaporate the moisture contained in the slime mold or agar and affect the formation of fruiting bodies indirectly.

1. 研究の概要

モジホコリ（以下、粘菌と呼ぶ）とは単細胞多核の真性粘菌である。粘菌の生活環における変形体から子実体へと変化する条件について、先行研究を調べたところ、明確な条件は明らかにされていなかった。そこで、本研究では変形体から子実体への変化の条件に着目し、自然環境で起こり得る変化を実験条件として研究を行った。その結果、変形体に含まれる水分量が子実体の形成に最も関係し、先行研究で示されている日光や赤外線などの光条件は粘菌が乾燥するための二次的な要因であることが示唆された。

2. Introduction

In Tsuyama High School, research on physarum polycephalum has been conducted, and the studies revealed many things about physarum polycephalum. However, our seniors had difficulty culturing the deformed body (fig.1). Actually, the research on the appropriate culture environment of physarum polycephalum has not progressed.

Recently, physarum polycephalum has attracted attention in many fields due to its unique characteristics. If we can bring physarum polycephalum to their life stages at the timing we need them, the research on physarum polycephalum will proceed more efficiently. So we began investigating the growth process and the factors.

The life cycle of physarum polycephalum (fig.3) is already known, but research on the factors that affect the transition for each stage has not progressed. Also, in the previous studies, experiments were conducted with a single condition, which means there are no experiments that combined more than two factors. In the natural environment, there is no case that only a single condition is related to the changes. So we thought we needed to conduct experiments under complex conditions. In this study, we especially focused on the fruiting bodies (fig.2), and studied the factors that affect transition from the deformed body to the fruiting bodies.



fig. 1 deformed body



fig. 2 fruiting bodies

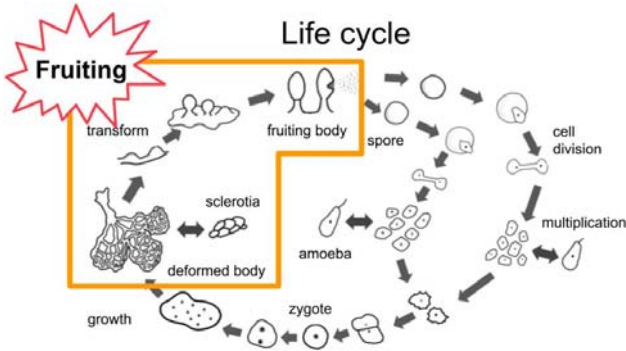


fig. 3 Life cycle

3. Experiments

In order to clarify the conditions under which slime mold transforms from a deformed body into a fruiting body, we conducted experiments under combined conditions that can occur in the natural environment.

① Experiment 1 humidity & feed

〈Purpose〉

Based on previous research by Public Hakodate Future University System Information Science Training(2011) showing that the condition of no feeding is related to fruiting body formation, an experiment will be conducted to see if fruit bodies form after adding the condition of dryness.

〈Assumption〉

We considered that the most likely transformation into fruiting bodies occurs in the case of drying and no feeding.

Because slime mold grow mainly in forests and require moisture for their growth, they store nutrients in the form of deformable bodies during the humid season. Therefore, the season of low humidity is a life-threatening season for slime mold, during which they may spend time in the

preparatory stage of producing offspring called fruiting bodies.

〈Methods〉

Cut out 1.5cm x 1.5cm pieces of slime mold (on agar medium) in deformed body condition with and without feeding and place them in the center of a glass petri dish.

- Put the petri dishes in an auto-desiccator for 3 days. (fig.4)
- The humidity in the auto-desiccator is kept at 20% to 30%, and in the clean bench in the bio-room at 50% to 60%.
- Each room is shaded from light.

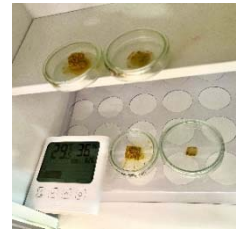


fig. 4 in an auto-desiccator

〈Results〉

When it was not fed, 8 of the 15 individuals transformed into fruiting bodies. When it was fed, 2 of the 15 individuals transformed into fruiting bodies. It took 3 days to transform. Also, some individuals changed into dormant sclerotia.

② Experiment 2 light & feed

〈Purpose〉

Since experiment 1 was conducted entirely under conditions of darkness, we now considered the possibility that light is involved in the formation of fruiting bodies.

〈Assumption〉

We considered that slime mold prefer dark places, such as tree hollows and the shadows of fallen leaves, where moisture is high. However, fruiting bodies are packed with spores to produce offspring and need to spread spores over a wide area to avoid critical situations, so a deformed body would transform into fruiting bodies in open

areas, such as fields in sunlight, rather than in closed areas such as tree cavities. Therefore we considered that the most likely transformation into fruiting bodies occurs in the case of light and no feeding.

〈Method〉

Cut out 1.5cm x 1.5cm pieces of slime mold (on agar medium) in deformed body condition with and without feeding and place them in the center of a glass petri dish.

- Expose the petri dish to white light or sunlight for three days.
- The amount of water fed to the *Physarum polycephalum* and the temperature of the room were kept constant.
- Each room was shaded from light.

〈Result〉

When it was exposed to direct sunlight, 9 of the 20 individuals transformed into fruiting bodies. It took 3 days to transform. However, it didn't transform when it was exposed to white light.

③ Experiment 3 light & feed

〈Purpose〉

From the result of experiment 2, we considered the possibility that *Physarum polycephalum* transforms into fruiting bodies by detecting invisible light such as ultraviolet light and infrared light. Also, we found the previous study by Ota(1967) that showed blue light has a great effect on the formation of fruiting bodies. On the other hand, the previous study by Horiuchi(1997) showed light in the red family affects the formation. Considering these things, we conducted experiments that used visible/invisible light in the blue family (short wavelength light) and visible/invisible light in the red family (long wavelength light).

〈Assumption〉

From the result of experiment 2, which shows

that the deformed body doesn't transform into fruiting bodies when it is exposed to white light, we considered *Physarum polycephalum* to be affected by the invisible light contained in sunlight and transform into fruiting bodies. So we made an assumption that the deformed body transforms into fruiting bodies when it is exposed to ultraviolet light.

〈Method〉

Cut out 1.5cm x 1.5cm pieces of slime mold (on agar medium) in deformed body condition with and without feeding.

- Place slime mold on the case which we prepared for this experiment.
- The empty part of the case is filled with agar medium in order to prevent the deformed body from moving from the area where the light isn't applied.
- Place the case in the equipment which irradiates light.
- The equipment is placed in a cardboard box to make sure that the experiment is not affected by light from outside.

〈Result〉

No matter which light was applied to the deformed body, it didn't transform into fruiting bodies.

4. Discussion

From experiment 1, we found that the deformed body is more likely to transform into fruiting bodies under dry, no-feed, and dark conditions. But from experiment 2, which resulted in transforming into fruiting bodies regardless of feed when it is exposed to sunlight, sunlight is considered to be the condition for transformation to fruiting bodies. And when comparing the difference between white light and sunlight, we considered that the invisible light, infrared and ultraviolet rays, are related to the change to

fruiting bodies because white light does not contain invisible light but sunlight contains rays from short to long wavelengths, regardless of whether they are visible or invisible.

However, experiment 3 suggested that the wavelength of light had no effect on the formation of the fruiting bodies. Then, when the fruiting bodies formed in experiment 2, we focused on the water droplets inside of the petri dish, suggesting that changes in the amount of water in the medium or in the slime mold may have caused them to transform into fruiting bodies. In experiment 2, some individuals transformed into fruiting bodies while others transformed into dormant sclerotia. We consider that the difference between the conditions for transforming into fruiting bodies and dormant sclerotia is the difference in the rate of dehydration. We considered that a rapid due to exposure to dehydration light or other factors causes the formation of fruiting bodies, while on the other hand gradual dehydration causes the transition to the mycorrhizal state.

5. Conclusion

From experiment 1, the most transformation to fruiting bodies occurred under the conditions of drying and no feeding. From experiments 2 and 3, it was not possible to confirm whether light was involved in the transformation to fruiting bodies(fig.5).

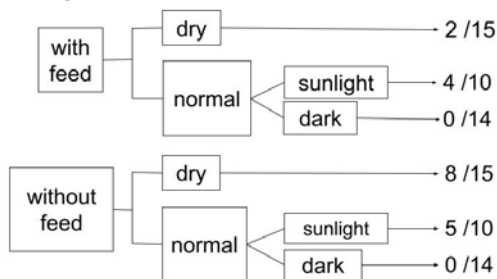


fig. 5 logic tree of these experiments and number of times a deformed body transformed into fruiting bodies

6. Outlook

The present study suggests that water content is related to the transformation from deformed bodies to fruiting bodies. However, since the results of the light experiment in experiment 3 were contrary to those of the previous study, it is necessary to conduct the experiment again by changing the illuminance, wavelength, and other parameters. In addition, the relationship between moisture content and temperature should also be investigated in the experiment, since the most significant change in moisture content occurred when the fruit was exposed to direct sunlight.

7. Special Thanks

We would like to thank Professors Masanori Kuwamori and Junichi Kuriwaki, professors of the Department of Nutrition at Mimasaka University Junior College, for their guidance in conducting this research.

8. References

- ・岩槻邦男・馬渡峻輔, 「バイオディバーシティ・シリーズ4 菌類・細菌・ウイルスの多様性と系統」
- ・太田次郎, 「変形菌類の子実体形成」, 日本植物学会 No.80 1967.8.14
- ・垣内康孝, 「粘菌変形体の形態形成フィトクロム関与の証拠」, 日本生物物理学会年会講演予稿集 (1997)
- ・公立ほこだて未来大学 2011 年度 システム情報科学実習
- ・東邦大学生物学科 2006 年 12 月号, 「粘菌という生き物」
- ・中垣俊之, 「粘菌 その驚くべき知性」

Characterization of yeasts isolated from flowers in Tsuyama High School

Ando Saki, Sakamoto Suzuka, Sasaki Yui, Nakano Miu, Hino Runa

Supervisor Tsuboi Akinori

Abstract

We tried to collect yeast from flower petals and hypocotyls from the grounds of Tsuyama High School. And we were able to collect about 25 strains of yeasts. We observed the characteristics of each yeast such as size, colony, division rate of yeast and so on. We also tested if the yeast has an alcohol fermentation capacity, and then we found yeast isolated from *scilla perviana* has weak one.

1. 研究の概要

津山高校の敷地内に生息する花の花弁や胚珠から酵母の採取を試み、およそ 25 株の酵母の採取に成功した。そして採取した酵母の大きさやコロニーの特徴、分裂速度等の酵母の特性を観察した。また、アルコール発酵能力の有無を検証し、オオツルボから弱い発酵能力を持つ株を発見することができた。

2. Objective

We were interested in breads or alcohol made with flower yeasts and we wanted to make original food of Tsuyama high school.

So we started this research. As we continued our research, we found that flower yeasts are surrounded by mystery and it was more difficult to find flower yeasts than we had imagined, especially finding fermentative yeast.

However, we also found that yeasts have diversity, their characters and abilities are different for each colony, and we were interested in it. So, we decided to characterize 4 kinds of yeasts that we collected from Tsuyama High School.

3. Hypothesis

We thought there are many yeasts from flowers that can be used in foods like fermenting nectar.

4. Method

We attempted to isolate yeast from flowers as follows.

- ① We collected plant flowers and broke them down into petals, stamens, pistils, and sepals.
- ② We soaked them in a 5% glucose solution and allowed them to stand for about one day.
- ③ We applied to an agar medium containing chloramphenicol to eliminate bacterial colonies.
- ④ We incubated those agar mediums at 37 degrees for several days.
- ⑤ Through observation of collected colonies using a microscope, we incubated likely yeast of them by judging from their shape and structure, using agar medium or liquid culture medium.

5. Experiments

We conducted experiments to know and categorize the characteristics of yeasts.

We experimented dry yeast in the same way as the other yeasts for comparison.

- ① We observed the each colony of flower yeast with the naked eye, and that colony were observed under a microscope.
- ② We measured cell size of fungal colonies that appear to be yeast using a micrometer.
- ③ We observed the increase in each yeast population through a cell counter.
- ④ We tested if each yeast has fermentation capacity through a Kühne's fermentation tube and Durham tube, and observed the fermentation liquid.

6. Result

We were able to collect 25 kinds of what can be considered yeasts. Among them, we focused our observations and measurements on yeasts obtained from scilla peruviana, banana, morning glorie, and pomegranate. In banana, pomegranate and scilla peruviana, we observed they were circular, low convex, and whitish colony masses. In morning glory, we observed they were filamentous and dark green. (fig.1)

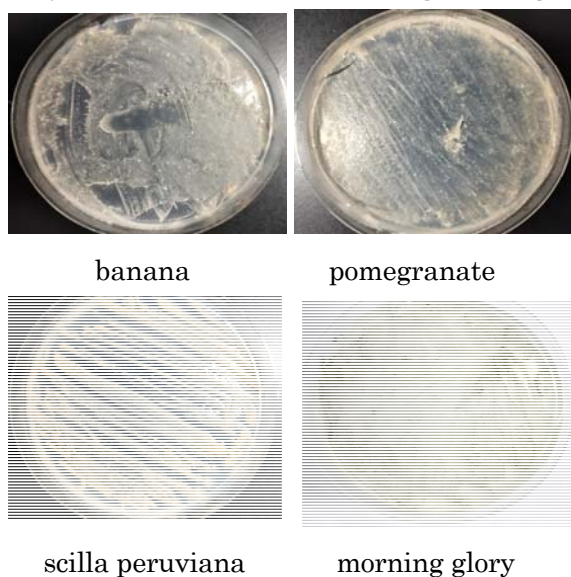


fig. 1 view of each yeast colony

Each cell image obtained by observing the colony under a microscope is shown below. (fig.2)

In scilla peruviana and pomegranate, most of the yeasts we collected ranged in size from about 2.5 to 5.0 micrometers. In yeasts collected from banana and morning glory, their ranges were about 5.0 micrometers.

Microscope examination of yeasts show that scilla peruviana and pomegranate yeasts were cohesive.

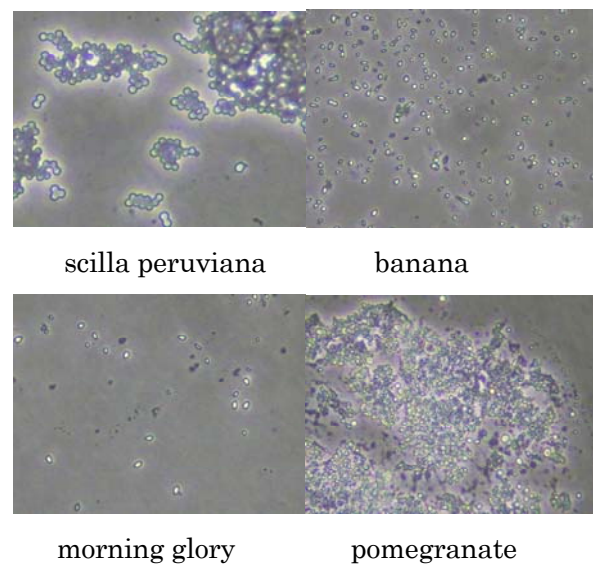


fig. 2 photographs of yeast

The division rates for dry yeast, banana, pomegranate, scilla peruviana, and morning glory were 100, 205, 210, 290, and 355 minutes, respectively. (fig.3)

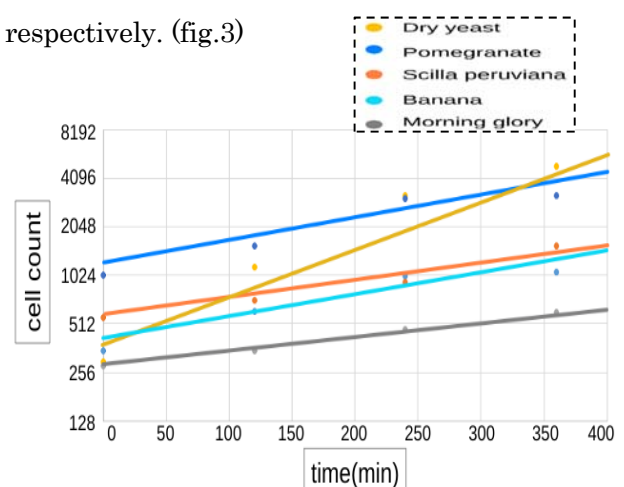


fig. 3 graph of division rate

(vertical axis : cell count /
horizontal axis : time[m])

We found that yeast collected from scilla peruviana have the fermentation capacity through Kühne's fermentation tube test and Durham tube test. Its fermentation speed is not as fast as dry yeast. In some additional experiments after that, there were times when no fermentation ability was observed.

(fig. 4-1, 4-2)



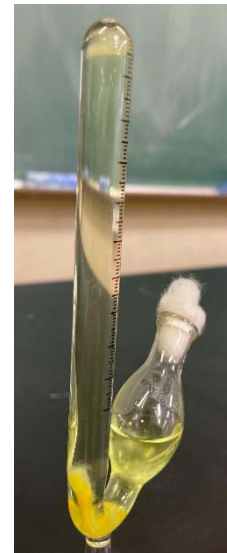
fig. 4-1
scilla peruviana yeast showing fermentation capacity in a Kühne's fermentation tube test



fig. 4-2
scilla peruviana yeast showing fermentation capacity in a Durham tube test (left : scilla peruviana, right : dry yeast)



scilaperuviana



banana



Morning glory



pomegranate

fig. 5 experiments in a Kühne's fermentation tube

The results showed that the banana yeast culture turned yellow. It did not have a smell.

Furthermore, the liquid surface of the banana culture had a film on it. (fig. 5)

We confirmed that yeasts obtained from scilla perviana and pomegranate have flocculation property.

7. Consideration

The organisms collected in this study had a unique size, shape, and structure. These three characteristics fit the definition of yeast.

So we considered them to be yeasts.

Especially, banana yeast is considered membrane yeast because it formed a membrane.

The division rates we collected are about twice in banana and pomegranate, about 3.5 times in morning glory, as slow as dry yeast.

We attempted to collect yeast from about 90 different flowers, but we could only identify what we thought was yeast from about 25 colonies. So we found that it is difficult to collect yeast from nature.

Also very few flower yeasts have fermentation capacity, and we found that flower yeasts that can be used for food products are very rare. Fermentative yeast hiding in flowers may have a small population because it does not offer many advantages to flowers.

8. Future Prospects

In the future, we would like to find more yeasts with fermentation ability in flowers.

Also, fermentation ability of the yeast collected from the scilla peruviana varied greatly depending on the conditions and the time of the experiment. According to previous research, the fermentation ability of yeast changes depending on the stage in the yeast's life cycle. We would like to investigate this as well.

In the cultures of the morning glory and banana, we observed a small amount of bubbles, but we couldn't have concluded that the bubbles derived from yeast fermentation yet. We would like to find out whether the generation of bubbles is due to fermentation or whether there are other causes.

9. Acknowledgement

We want to express our thanks to Prof. Hatano, Prof. Kuwamori, Prof. Kuriwaki. We appreciate your advice. Thank you very much.

10. References

- ・ 培地について | バイオテクノロジー | 製品評価技術基盤機構
(<https://www.nite.go.jp/nbrc/cultures/cultures/cultures.html#Y>)
- ・ 杉山純多・渡辺信・大和田紘一・黒岩常祥・高橋秀夫・徳田元, 「微生物学実験法」 p207
- ・ 福井 作蔵・秦野 琢之, 「微生物増殖学の現在・未来」

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
	美作市立大原中学校	甲本 智之 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自然科学学域	永禮 英明 様
	神戸大学大学院保健学研究科	野田 和恵 様
	福山大学	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科	松浦 拓也 様