

ダイラタンシー現象による振動とその周期

班員 越後 奈津子、長野 佑紀、中山 紘斗、宮本 悠生

担当教員 另網 健太郎

キーワード：ダイラタンシー現象、振動、周期、単振動

We quantified the characteristic of dilatancy, using a handcart in which we put a fluid of powder and liquid. The handcart pulled with certain power repeated acceleration and deceleration under a constant period.

We focused on the period and made an equation of the period. Also, we defined “the dilatancy calculation”, which shows the force of dilatancy phenomenon.

The period did not change even when the mass of the weight hung by a string became heavier without the mass of all the device changed. However, the period became longer, as the mass of all the device became bigger. Moreover, the higher the temperature of the liquid became, the smaller the period became and the larger the dilatancy calculation became. Meanwhile even when the ratio of the mass of powder to that of liquid became larger, there was no change in the period and the dilatancy calculation.

1 はじめに

粉末粒子と液体の混合物は、ゆっくりとした外力を加えられたときは液体のように振る舞い、急激な外力を加えられたときは固体のように振る舞う。この現象をダイラタンシー現象という。流体力学において、流体とは固体と液体の総称であり、流体の性質を決める最も重要な要素の一つとして粘度が挙げられる。アイザックニュートンの粘性法則では、「流体のずり応力はずり速度に比例する」と説明される。ずり応力 F/A は流体の内部で速度の異なる二部分がずれるときに及ぼし合う面積 A 当たりの力のことで、ずり応力はずり速度 dv/dy に比例する。このときの比例定数が粘度である。ずり速度を x 軸、ずり応力を y 軸とするグラフで示される曲線を流動曲線と呼びその傾きは粘度を表す。ダイラタンシー現象をおこすダイラタント流体は非ニュートン流体の一種で、ずり速度が大きくなるとともに粘度が大きくなるものである。（図1）

（※1）先行研究を参考に、実験装置を作成して実験を行い（図2）、得られたデータからグラフを作成すると縦軸を速度としたグラフで単

振動とみられる波形が表れた。（図3-1, 図3-2）

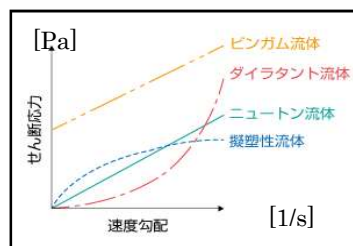


図1 各種流体における速度勾配とせん断応力の関係

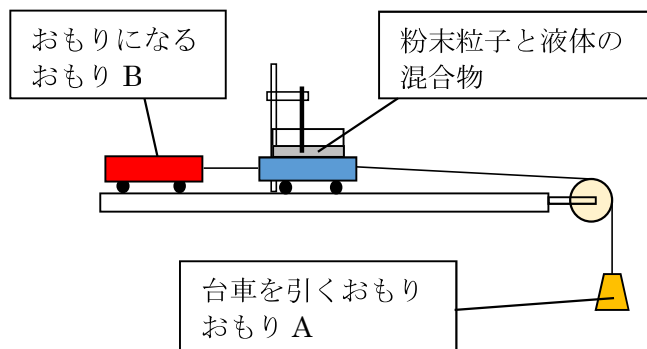


図2 装置の模式図

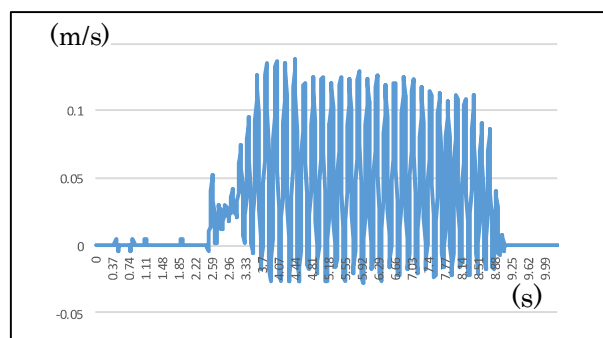


図3-1 データをもとに作成したグラフ

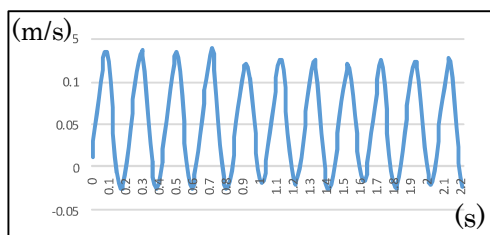


図 3-2 データをもとに作成したグラフ

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{D}}$$

図 3-3 周期の式

図3-1、3-2のグラフから単振動とみなし、周期の式を立てた。(図3-3)おもり、台車、液体を含めた質量をMとし、ダイラタンシー現象の大きさを表すダイラタンシー係数を定義し、Dで表した。本研究では、この現象を定量化するために実験を行った。

2 ダイラタンシー現象の仕組み

通常、粉の粒子は、粒子間の隙間が最も小さくなるように積まれている。粉に力が働くと隙間は大きくなる。粉が水中にあるとき、隙間の体積が大きくなっても水はすぐには移動しないため、不足した水の分、粒子と粒子の間に負の圧力が発生する。この圧力により、粉末の粒子が固まる(図4)。時間がたつと、隙間に水が十分に入り込むため、圧力がなくなり、液体のように振る舞う(図5)。

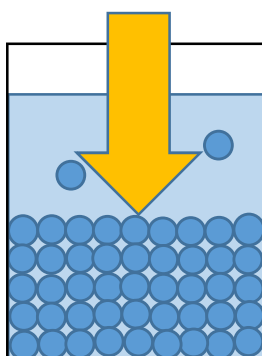


図 4 粒子の模式図

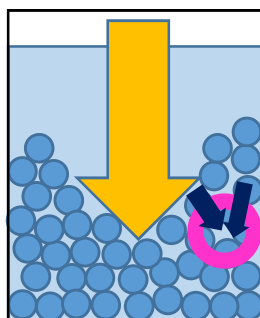


図5 粒子の模式図
(時間経過後)

3 目的

ダイラタンシー現象の特徴を知るために、観測された単振動の周期が変化する条件を明らかにすることを目的とした。

実験Ⅰでは、ダイラタント流体以外の条件を変化させた。

(1)実験Ⅰ－1

台車を引くおもりの質量を変化させる。

(2)実験Ⅰ－2

全体の質量Mを変化させる。

実験Ⅱでは、ダイラタンシー現象の強さを表す数値として導入したダイラタンシー係数(D)を、変化させる条件を明らかにすることを目的とした。

(3)実験Ⅱ－1

ダイラタンシー係数の変化する要因を調べるためにダイラタント流体の温度を変化させる。

(4)実験Ⅱ－2A

ダイラタント流体を攪拌してから実験を行うまでの時間を変化させる。

(5)実験Ⅱ－2B

ダイラタント流体の水に対する片栗粉の質量を変化させる。

4 実験装置

粉末粒子と液体の混合物の入った容器に対して、スタンドで固定した棒を差し込む。台車の速度を測定できる力学台車(島津理化 力学台車スマートカート ME-1241)を用いて台車の速度を測定した。糸に「おもりA」を取り付け、台車に「おもりB」を取り付けた。また、台車、容器、流体、おもりの質量を「総質量」とした。以下すべての実験をこの方法で行うものとする。(図1)

(2)実験Ⅰ－1

おもりAの質量を100 g、150 g、200 gに変化させた。総質量を変化させないために、おもりAの質量を変化させて、2つのおもりの総質量を200 gにそろえた。

(3)実験Ⅰ－2

総質量を変化させるために、おもりBを0 g、250 g、500 gに変化させ、おもりAの質量は100 gで固定した。

※実験Ⅰについては、すべて同一条件のダイラタント流体を使用している。

(4)実験Ⅱ－1

温めた水と片栗粉を混ぜ、自然に冷えていく

過程のなかで台車を走らせる直前の流体の温度を測定し台車を走らせた。

(5)実験Ⅱ-2A

流体をかき混ぜてから台車を0秒、20秒、40秒、60秒、120秒置き、走らせた。

(6)実験Ⅱ-2B

一定量の水に対する、片栗粉の質量を変えて実験した。

※実験Ⅱについては、すべて同一条件の実験装置を使用している。

5 実験結果

実験Ⅰ-1

全体の質量を一定にして、糸につるすおもりAの質量を大きくしても周期は変わらなかった。一方で力学台車の平均速度は、おもりAの質量に比例していたため先行研究と同様の結果を得た。(図6)

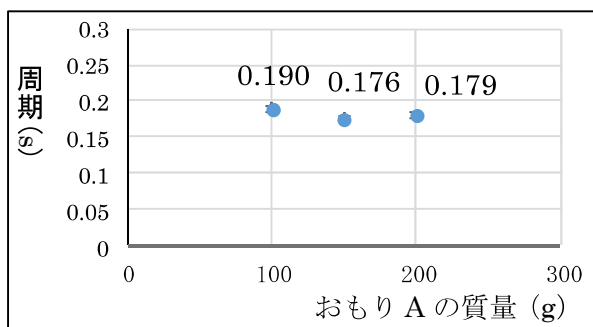


図6 実験Ⅰの周期の結果

実験Ⅰ-2

糸につるすおもりAの質量を一定にして、全体の質量を大きくすると周期は大きくなった。

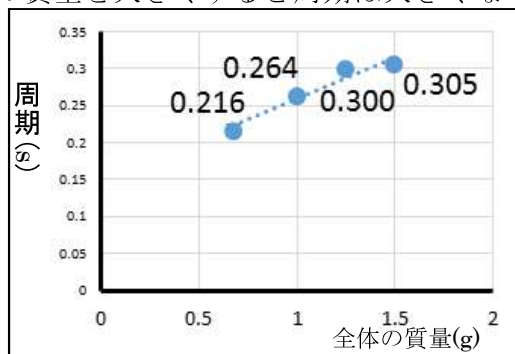


図7 実験Ⅰ-2の結果

実験Ⅱ-1

水温が高くなるほど周期は小さくなり(図8)、ダイラタンシー係数は大きくなった。(図9)

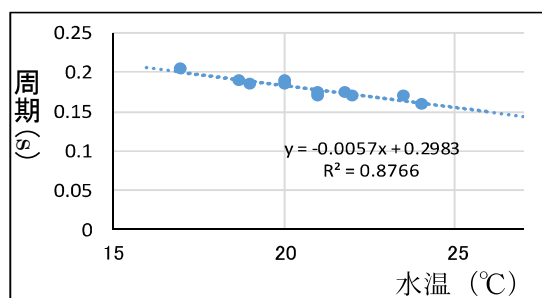


図8 実験Ⅱ-1の結果

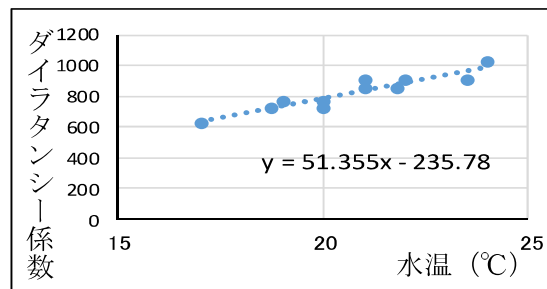


図9 実験Ⅱ-1の結果

実験Ⅱ-2A

沈殿するまでの時間を長くすると、ダイラタンシー係数は大きくなった。(図10)

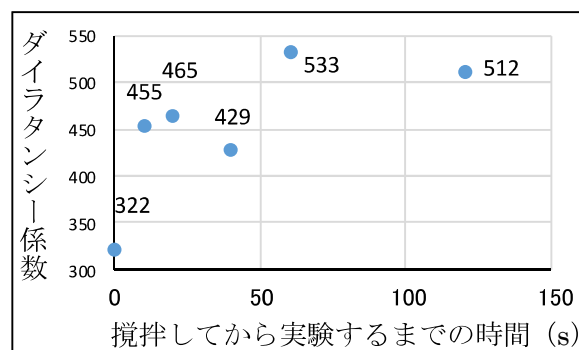


図10 実験Ⅱ-2Aの結果

6 考察

〈実験Ⅰ〉

実験Ⅰ-1、1-2の実験結果から求められたD値で分散分析をしたところ、有意差がなかった。台車を引く力の大きさと全体の質量によってダイラタンシー係数は変化せずダイラタン流体の条件で決まることが分かった。また、Dは計算によって求めることができた。

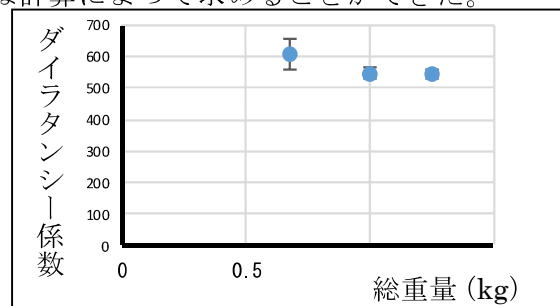


図11 実験Ⅰのダイラタンシー係数の結果

〈実験Ⅱ－1〉

水は水温が上がるほど動粘度が小さくなることが分かっている。実験結果を踏まえると、Dの値が大きくなるほど水の動粘度は小さくなっていることが分かった。このことから、動粘度とDの間には反比例の関係があるのではないかと考え、調べたところ、Dと動粘度の二乗が反比例していることが分かった。（図12）

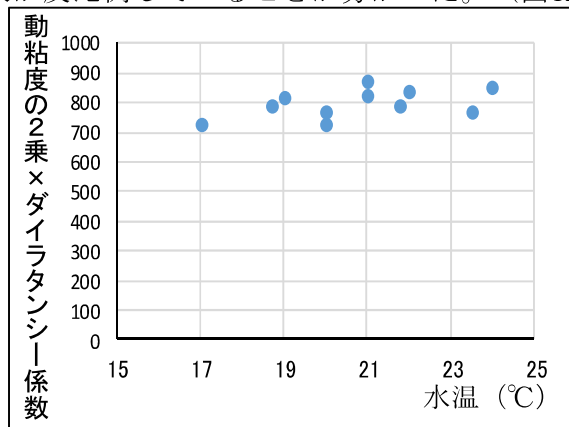


図 12 水温と動粘度の二乗×ダイラタンシー係数の関係を示したグラフ

〈実験Ⅱ－2A〉

ダイラタント流体をかきまぜた後、流体中の粉は容器の底に堆積する。この振動現象は容器の底に堆積した片栗粉の粒子によるダイラタンシー現象によるものであると考えられる。

〈実験Ⅱ－2B〉

単振動を起こす抵抗力は、ダイラタント流体のうち、底で堆積している一部が発生させるため、必要量以上の片栗粉があってもダイラタンシー係数は変化しない。その結果、周期が変化しなかったと考えた。

7 結論

運動方程式より

$$Ma = mg - Df$$

$Df = \text{抵抗力とすると}$

$$Df = D_1 v_{av} + D_2 X$$

$$Ma = mg - D_1 v_{av} - D_2 X$$

$$Ma = -D_2 X \quad mg = D_1 v_{av}$$

m : おもり A の質量
M : 総質量
X : V_{av} からの速度差
 V_{av} : 平均速度

先行研究(※1)より平均速度とおもりAの質量は比例する。よって平均速度に比例する抵抗力とおもりAの重力の大きさは等しい。（ $mg=D_1 V_{av}$ ） 今研究のDは、 D_2 を表す。

図 13

本研究では、ダイラタンシー現象を定量化することを目的とした。台車を一定の力で引いたとき、台車は周期的に加速と減速を繰り返した。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{D}}$$

この振動の周期Tは、 $T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{D}}$ という式に当てはまった。ここから、ダイラタンシー現象によって発生する抵抗力Dfには、平均速度に比例する項（ $D_1 v_{av}$ ）と、平均速度で移動した場合の変位と実際の変位との差（X）に比例する項（ $D_2 X$ ）が存在することが分かった。（図13）

周期は、糸につるされたおもりの質量に関係なく、全体の質量に影響される。

また、液体の温度によって、ダイラタンシー現象の強さが変化することが分かった。水の動粘度は、水温に関係するので、ダイラタンシー係数が大きくなったのは、水の動粘度に関係する。ダイラタンシー係数と動粘度の二乗の積が一定になったことから、ダイラタンシー係数は動粘度の二乗に反比例している。ここから、ダイラタント流体中に含まれる液体の動粘度が小さいほど、強いダイラタンシー現象が起こっていると考えられる。

私たちの研究では粘度を示す図1と異なるダイラタンシー現象の強さを表すグラフが示された。図3-3の式は成り立つことを確かめ、ダイラタンシー現象の性質がダイラタンシー係数を使って示されたので、私たちは図1とは異なった見方で、ダイラタンシー現象を定量的に観測することができた。

8 参考文献

※1

岩井一輝, ダイラタンシー現象における力と速度の関係, 千葉県立船橋高等学校理数科 3 年課題研究 2016 年, 107～110, 2016

鏡に対するメダカ (*Oryzias latipes*) の反応と行動

班員 磯辺 唯花、梶 葉月希、通 眞子、橋詰 あかり

担当教員 山本 峻

キーワード：メダカ、自己認識、ミラーテスト、ホンソメワケベラ

It has been researched in various animals that whether they have self-awareness or not. As a way to check their having self-awareness, mirror test is widely carried out. Recently, Osaka City University has showed that blue streak cleaner wrasse, a kind of fish, can recognize its reflection in the mirror as its own. Killifish are known that they can distinguish their own group from others by seeing their faces. However, there are very few studies about their self-awareness. So we researched on it with mirror test.

1 はじめに

人間以外の動物が自己認識能力を持つかということについて、これまでに様々な動物で研究がされてきた。動物の自己認識能力の有無を確かめる方法としては、ミラーテストが主に用いられている。現在、自己認識能力があると報告されている動物は、ヒト、類人猿、アジアゾウ、イルカ、シャチ、カササギ、訓練したハトと限られている(草山ら, 2012)。近年では、魚類で初めて大阪市立大学とドイツの研究グループがホンソメワケベラでミラーテストを行い、鏡に映った自分の姿を自己として認識できることを明らかにした(Kohda et al., 2018)。身近な魚であるメダカについては個体識別能力が高いことが知られている。メダカのメスは、前日に見ていたオスを配偶の相手として短時間で受け入れる(Okuyama et al., 2014)。また、顔を上下逆さにして見せると仲間を見分ける能力が低下する心理学的現象(倒立顔効果)があり、仲間を見分けるために顔の情報を利用している(Wang and Takeuchi, 2017)と明らかになっているが、自己認識能力についての研究はほとんどない。そこで私たちは、ミラーテストを用いてメダカの自己認識能力について調べた。

2 材料と方法、結果

〈材料〉

ペットショップで購入したメダカ (*Oryzias latipes*)

鏡 228mm×175mm

水槽 184mm×233mm×170mm(実験用)

65-82mm×247-264mm×170mm(飼育用)

ビデオカメラ

メダカは個体識別するため、一頭ずつ別々の水槽に入れ飼育した。

全ての実験において、メダカを水槽に入れた際に、メダカを環境に慣れさせるために、撮影の前に10分間の時間をとった。

さらに、メダカの過度なストレスを避けるため、実験と実験の間は3日間空けて行った。

また、全ての実験で水槽を段ボール箱で覆った。このとき、段ボール箱のビデオカメラ側の面だけが空いている状態にし、そこからしか光が入らないようにした。

〈統計方法〉

メダカの行動の平均時間を比較するため、エクセルソフトのデータ解析にあるt検定を行った。

〈実験 1〉

〈目的〉

鏡があるときとないときのメダカの行動の違いを調べる。

〈方法〉

鏡があるときとないときで、メダカが範囲内外にいた時間を計測し、比較した。

水槽内に鏡を設置しメダカを一個体入れ、その後の行動をビデオカメラで 10 分間撮影した（実験 1、図 1）。

撮影後、動画を確認しメダカが鏡を見ていた（範囲内にいた）時間を計測した。このとき、メダカが水槽の半分より鏡側で鏡の前の範囲（全体の 38%）にいて、なおかつビデオカメラ側を向いていないとき、メダカが鏡を見ていると定義した。

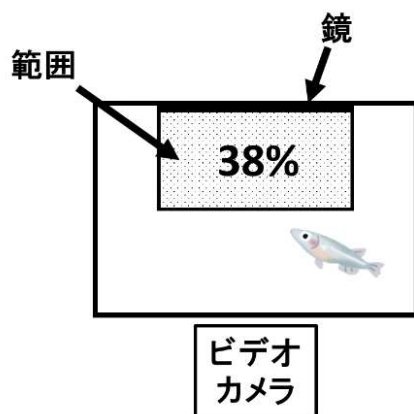


図 1 鏡に対する反応をみる実験を上から見た様子。全体の 38%にあたる範囲内で鏡を見ていた時間を計測した。

〈結果〉

鏡なしの場合、範囲外にいた時間は 465 ± 96 秒（平均±標準偏差、以下同様に示す、 $N=6$ ）、範囲内にいた時間は 135 ± 96 秒（ $N=6$ ）となり、範囲外にいた時間の方が長くなった（図 2）。これに対し、鏡ありの場合では、範囲外にいた時間は 177 ± 154 秒（ $N=6$ ）、範囲内にいた時間は 323 ± 154 秒（ $N=6$ ）となり、範囲内にいた時間の方が長くなった。さらに、範囲内にいた時間を鏡ありと鏡なしの間で比べると、鏡ありの方が有意に長くなった（ t 検定、 $p<0.01$ ）。

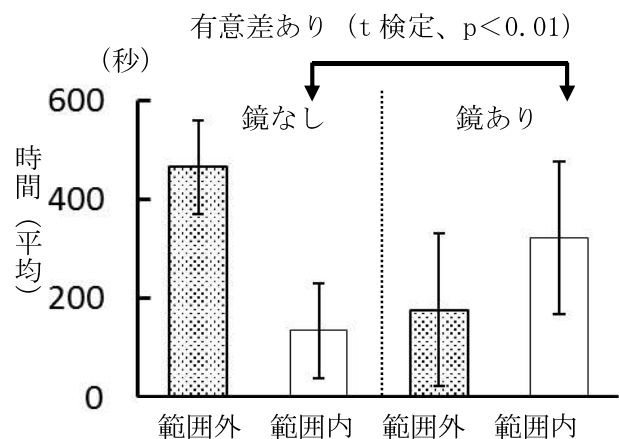


図 2 鏡なしと鏡ありの場合にメダカが範囲内外にいた時間（平均±標準偏差、 $N=6$ ）。

〈考察〉

鏡なしでは、範囲外にいる時間が長く、それとは逆に鏡ありの場合では範囲内にいる時間が長くなったことから、メダカは鏡に引き付けられたといえる。この鏡に引き付けられたことの要因としては次の二つが考えられる。

- ① 鏡に映った空間に行きたがっていた。
- ② 鏡に映った自分ではない知らないメダカが気になっていた。

これを検証するため、実験2と実験3を行った。

〈実験2〉

〈目的〉

- ① 鏡に映った空間に行きたがっていたのかどうかを調べる。

〈方法〉

実験1で用いた大きさの水槽を二つ隣接させて並べ、メダカ視点からは水槽の空間が広がったように見えるようにした。この二つの水槽のうち、ビデオカメラ側の水槽のみにメダカを入れ、その後の行動を撮影した（図3）。実験1と同様に、撮影後、メダカが範囲内にいた時間を計測した。

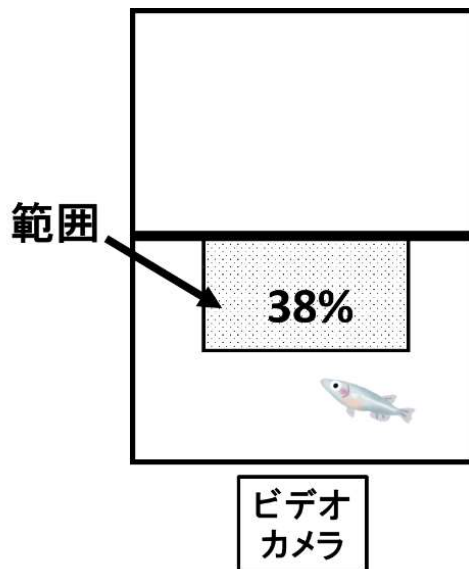


図3 拡張した空間に対する反応をみる実験を上から見た様子。

〈結果〉

水槽を拡張した場合、範囲外にいた時間は 507 ± 52 秒 ($N=6$)、範囲内にいた時間は 93 ± 52 秒 ($N=6$) と、実験1での鏡なしの結果と同じく、範囲外にいた時間の方が長くなった (図4)。実験1の鏡なしの結果と比較すると、範囲内にいた時間の長さに有意差はなかった (t 検定、 $p=0.20$)。

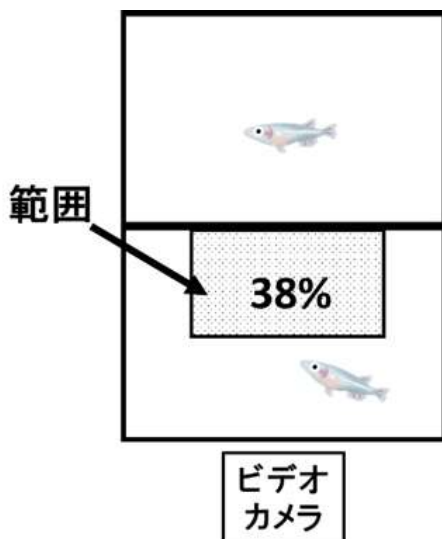


図4 鏡なしと水槽拡張の場合にメダカが範囲内外にいた時間 (平均 \pm 標準偏差, $N=6$)。

〈考察〉

実験1と同様な結果になったことから、水槽を拡張しても、メダカはその空間には、引き寄せられないと考えられる。したがって実験1の結果は

鏡に映った空間によるものではないと言える。

〈実験3〉

〈目的〉

- ② 鏡に映った自分ではない知らないメダカが気になっていたのかを調べる。

〈方法〉

実験2と同じように二つ並べた水槽を用意し、両方にメダカを入れ、ビデオカメラ側のメダカの行動を撮影した (図5)。撮影後、ビデオカメラ側のメダカが範囲内にいた時間を計測した。

実験1で鏡を入れたとき、メダカは初めて鏡を見たため、鏡に映った自分の姿とは初対面だったと考えられる。そこで、奥の水槽には新しく購入した、ビデオカメラ側の水槽に入れたメダカと会ったことがない個体を入れた。また、メダカの性別は両方の水槽で同じになるようにした。

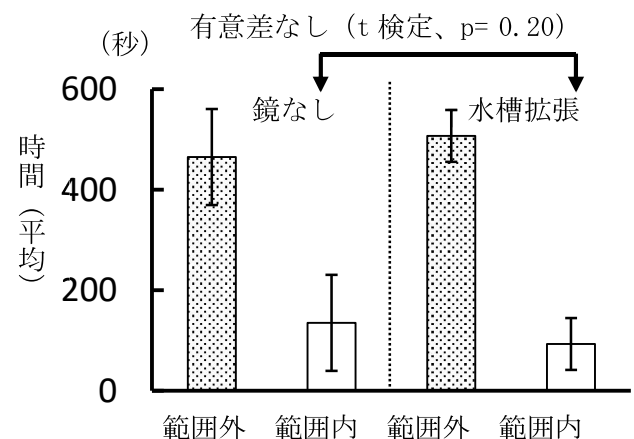


図5 他個体に対する反応をみる実験を上から見た様子。

〈結果〉

奥の水槽に他のメダカを入れた場合、範囲外にいた時間は 426 ± 75 秒 ($N=5$) 範囲内にいた時間は 174 ± 75 ($N=5$) と範囲外にいた時間の方が長くなった (図6)。さらに実験1の鏡ありの結果と範囲内にいた時間を比較すると、鏡ありの方が有意に長くなった (t 検定、 $p<0.05$)。

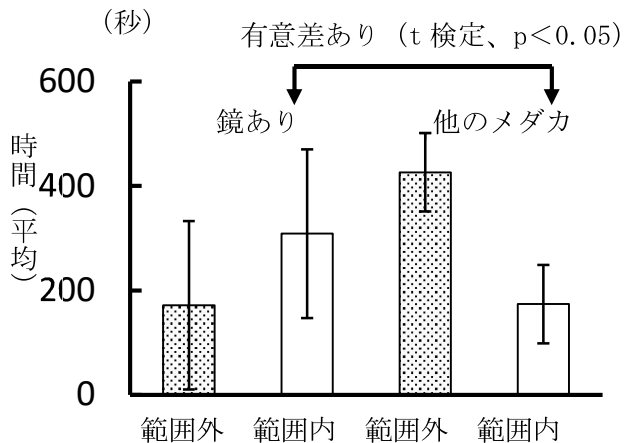


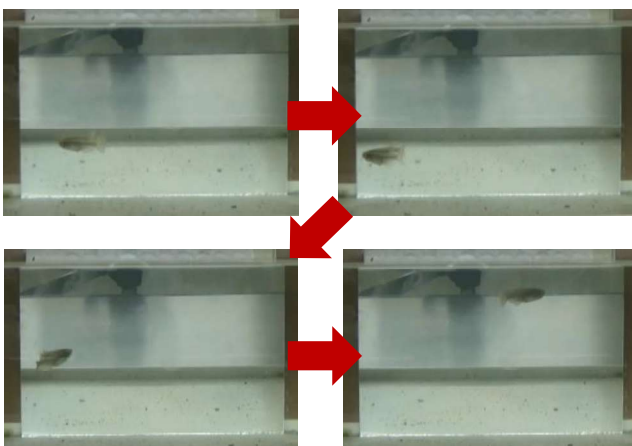
図6 鏡ありと他のメダカを入れた場合にメダカが範囲内外にいた時間(平均±標準偏差, N=5)。

〈考察〉

奥の水槽にメダカを入れても範囲内にいた時間より、範囲外にいた時間の方が長かったこと、さらに、範囲内にいた時間が鏡ありの結果の方が長かったことから、メダカは他のメダカに引き付けられたわけではないと考えられる。

〈実験1でみられた特徴的な行動〉

実験に用いた6匹中4匹のメダカにおいて、鏡の前のみを往復するといった反復的動作が見られた。(下図)このような行動は自己を認識するとされている他の動物においては、鏡の存在を確認する行動として知られている。



3. 結論

メダカが鏡を見ていた時間が長くなったことや、奥の空間にひきつけられているわけではないこと、他のメダカが気になるわけではないことから、メ

ダカは鏡を意識し、引き付けられたといえる。反復的動作が6匹中4匹で見られたことから、自己認識している可能性は高い。今後はメダカが鏡に映った像を自分だと認識しているか調べていく。

4. 謝辞

金沢大学亀井宏泰先生より、多くの助言をいただきました。この場を借りてお礼を申し上げます。

5. 参考文献

M. Kohda, T. Hotta, T. Takeyama, S. Awata, H. Tanaka, J. Asai, L. Jordan. Cleaner wrasse pass the mark test: what are the implications for consciousness and self-awareness testing in animals? *BioRxiv*, 2018.

M. Wang, H. Takeuchi. Individual recognition and the 'face inversion effect' in medaka fish (*Oryzias latipes*). *eLife*. 2017.

K. Okuyama, H. Takeuti. メダカを用いた分子遺伝学的手法による魚類「社会脳」の分子神経基盤の解明.*J-stage*, 2014年31巻3号 p. 106-112

オカダンゴムシの交替性転向反応

班員 中島 大晴、松本 雅輝、行長 虎太郎、横山 航大
担当教諭 八田井 智也

キーワード：交替性転向反応、オカダンゴムシ、走触性仮説、BALM仮説

It is known that pill-bugs move according to the alternating turning reaction. The alternating turning reaction of pill-bugs is a reaction where they turn right or left after hitting an obstacle and if they hit on an obstacle again, they will turn in the opposite direction to the one before. However nobody knows the reason why the alternating turning reaction occurs.

Therefore, we experimented closely on pill-bugs' movement. As a result, we found out that the alternating turning reaction occurs when the stimulation of their touching of a wall disappeared. In addition, it turned out that they choose the direction they move in so that they can equalize the amount of exercise of both sides of their feet.

1 はじめに

オカダンゴムシ (*Armadillidium vulgare*、以降ダンゴムシとする) は、障害物に衝突すると曲がるとされている。この際、右に曲がった後に、再度曲がる際には左に曲がり、左に曲がった後に、再度曲がる際には右に曲がるという交替性転向反応を示すことが知られている。一般に、交替性転向反応は捕食者から離れるために有効な行動であると考えられている。しかし、視力がほとんど無いとされているダンゴムシがなぜ交替性転向反応ができるかは、まだ詳しい解明には至っていない。そこで、この交替性転向反応の仕組みの解明を目的に本研究を行った。なお、本研究で用いたダンゴムシは全て、七尾高校周辺で捕獲したものであり、全個体がオカダンゴムシである確認も行った上で実験を行った。

2 研究方法と結果

実験1

〈方法〉

厚さ3mm、幅15mmのヒノキの板を通路の幅20mm、ダンゴムシが交替性転向反応通りの行動をしたならば、分岐点が7か所になるように設定

し、実験装置を作った(図1)。この際、ヒノキの板は工作用紙に貼り付けた。この実験装置にダンゴムシを歩かせ、その行動のしかたを観察した(実験1)。交替性転向反応を示した50回のうち、分岐点において、①奥の壁にぶつかる前に曲がり始めた回数と②奥の壁にぶつかった後に曲がり始めた回数をそれぞれ記録した(図2)。この実験の際、分岐点1つの転向につき、1回と数えて記録を行った。分岐点において、交替性転向反応通りの行動を行わなかった個体は、そこで観察を終了し、別の個体で再び同じ実験を行った。

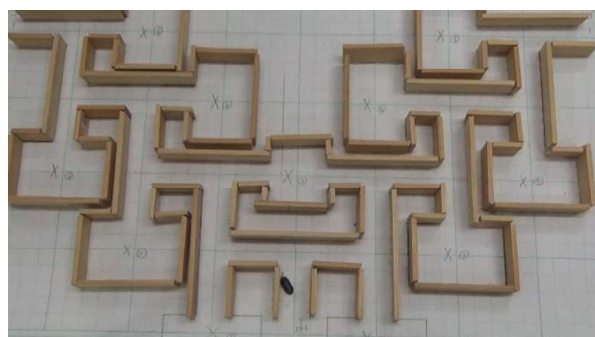


図1 実験1で用いた装置。交替性転向反応が起こった場合に、曲がり角での動きを記録した。

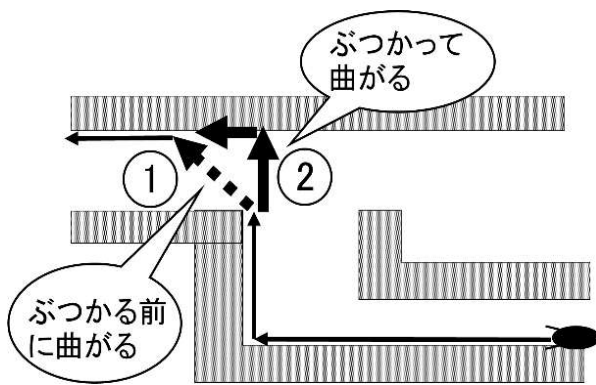


図2 曲がり角で記録した行動。

〈結果〉

交替性転向反応を行ったダンゴムシ50回のうち、奥の壁にぶつかる前に曲がったのは44回、奥の壁にぶつかって曲がったのが6回だった。(図3)ほとんどの場合で壁にぶつかる前に曲がり始めたという結果が得られた。この実験結果から、ダンゴムシは奥の壁にぶつかる前に曲がり始めるということが分かった。

赤：奥の壁に衝突してから転向した回数
青：奥の壁に衝突する前に転向した回数

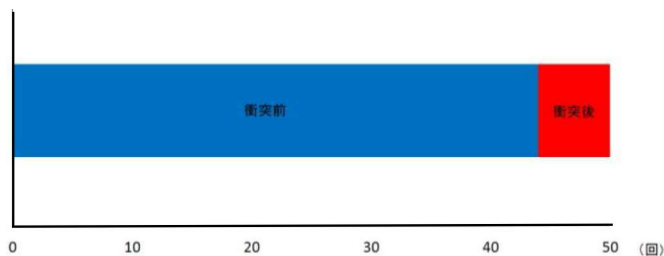


図3 ダンゴムシの曲がり方とその回数

実験2

〈方法〉

まず、壁をL字型に配置する。この壁は速やかに除去することができる状態にしておく。ここにダンゴムシを歩かせ、強制転向させる。その後、沿って触れている壁を途中で除去する。この際の行動のしかたを調べた。(図4、実験2) この実験は50個体で行った。この実験では、右に強制転向させているため、左に曲がった個体が交替性転向反応をしたと考えて実験を行った。

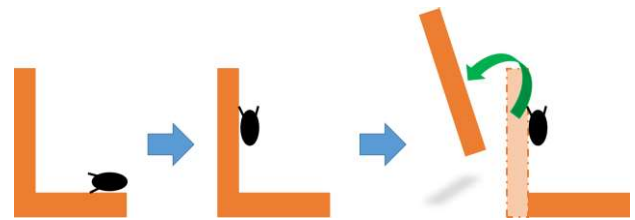


図4 実験2の方法

〈結果〉

実験を行った50個体のうち、壁を取り除くと壁のあった方向、つまり左に曲がった個体が46個体、壁を取り除いても曲がらず、そのまま直進した個体が4個体だった。(図5)ほとんどの場合で壁のあった方向、つまり左に曲がったという結果が得られた。この実験結果から、ダンゴムシは壁に触れているという刺激がなくなると、壁のあった方向に曲がるということが分かった。

赤：直進した個体数

青：奥の壁に衝突する前に転向した回数

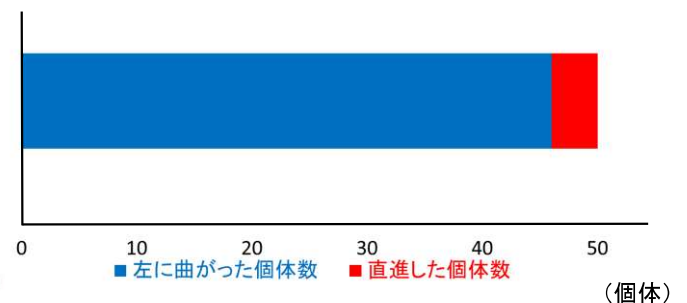


図5 壁を取り除いた時の行動とその回数

実験3

〈方法〉

実験2で得られた結果の距離との関係を確認するために実験を行った。L字型にした通路でダンゴムシを右に強制転向させる。その後、直進させ、次のT字路での曲がり方を記録した。(図6、実験3) 直進させる距離は最小が6cm、最大が30cmとなるよう、6cm刻みで伸ばした。距離ごとに、T字路で左に曲がった50個体で記録した。

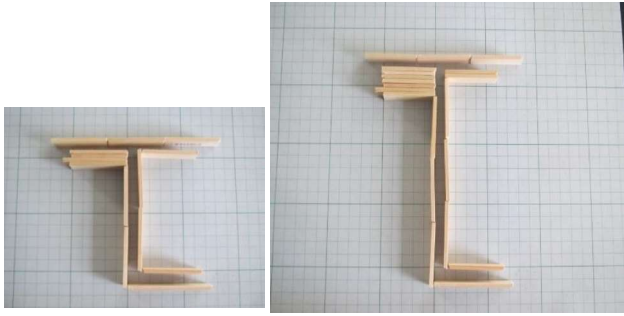


図6 実験2で用いた装置。L字部分で右に強制転向させた後、T字の部分での動きを記録した。直線部分の距離を5段階変えて実験した（左：12cm、右：18cmの実験装置）。

＜結果＞

直進させる距離を伸ばしても、奥の壁に衝突する前に曲がった個体が大部分を占めた。

（図7）この結果から、ダンゴムシが壁にぶつかる前に曲がるという行動に距離は影響していないことが分かった。

赤：奥の壁に衝突してから転向した回数
青：奥の壁に衝突する前に転向した回数

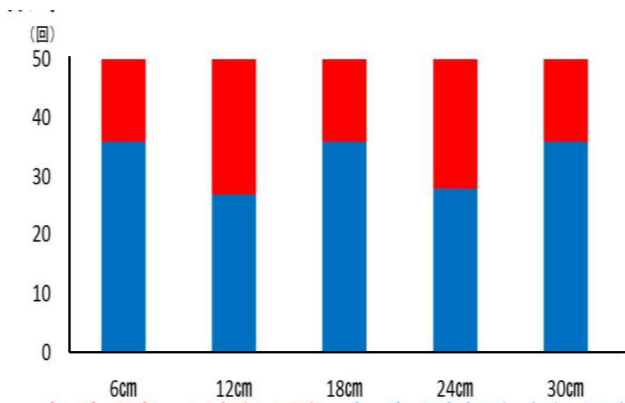


図7 歩かせた距離と曲がり方の関係

実験4

＜目的＞

実験1、2、3からオカダンゴムシは沿って触れている壁が無くなったタイミングで転向を始めるということがわかった。

しかし、どのようにして転向方向を決めているかはわからなかった。そこで、私たちは、オカダンゴムシはBALM仮説が示すように、左右の脚の運動量をそろえられるような方向に曲が

る、あるいは、沿って触れていた壁のあった方向に曲がると考え、どちらが正しいのか確かめるために実験4を行った。

＜方法＞

はじめにダンゴムシを左に2回強制転向させる。その後、2回自由転向をさせる。その2回の自由転向の行動を記録した。（図8、実験4）ダンゴムシを置く地点は図8のダンゴムシがいる地点である。ここから2回強制転向させた後の自由転向は、左右どちらに曲がったとしても2回転向することができるように、装置を作った。

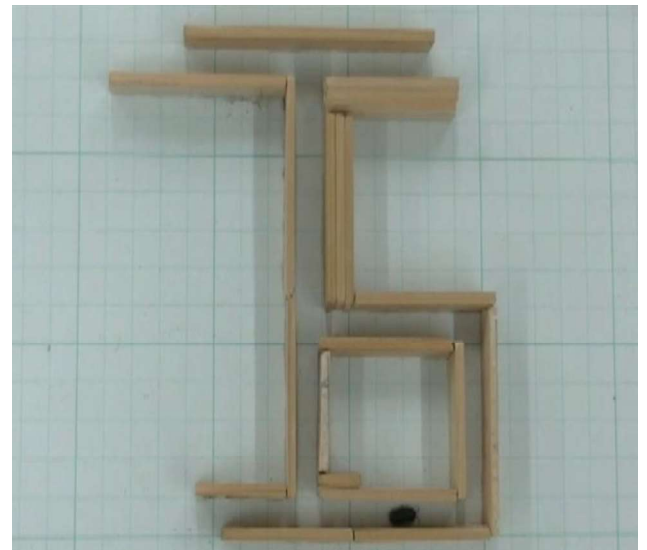


図8 実験4で用いた装置。

＜結果＞

50個体で実験を行ったところ、運動量をそろえられるような方向に曲がった個体（2回の自由転向のうち2回とも右に曲がった個体）が23個体、触れていた壁のあった方向に曲がった個体が13個体だった。この実験結果から、ダンゴムシは左右の脚の運動量をそろえられるような方向に転向していることがわかった。

（図9。）

青：運動量をそろえられるように転向した
 個体数
 赤：触れていた壁のあった方向に転向した
 個体数
 緑：その他

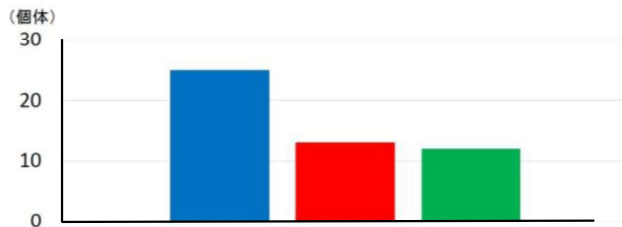


図9 オカダンゴムシの曲がり方

3 結論

ダンゴムシは壁に沿って触れながら歩き、壁に触れているという刺激がなくなると曲がる。また、その際の転向方向は左右の脚の運動量をそろえられるようにするという目的で決まっている。これらの行動に距離は関係せず、一般にいうことができる。これが交替性転向反応のメカニズムである。

4 今後の展望

ダンゴムシが運動量をそろえられるような方向に曲がっていることをより正確に確かめるために、実験4について、強制転向させる回数を増やし、左右の脚の運動量の差をより大きくし、実験を行う。これまでの実験において、強制転向をさせていた箇所を逆の方向に強制転向させた実験も行う。

5 参考文献

草野ゆうか、新妻裕翼、オカダンゴムシの交替性転向の仕組みを探る https://katosei.jsbba.or.jp/download_pdf.php?aid=336 (参照2019-09-29)
 森山徹. オオグソクムシの謎. PHP 研究所.

ラムネの変化の原因としくみ

班員 石塚 大智、数左 もも、金谷 月、廣島 翔
担当教諭 福光 英徳

キーワード：ラムネ、飴状、デンプン、銀鏡反応

Ramune candies are a kind of sweets, whose shape looks like a tablet. When we left them for a long time, only one kind of ramune candy changed its shape and became like syrup. We wanted to know why it happened and researched on it. As a result, we found that ramune candies changed its shape by hydrolyzing sugar and that the ones which became like syrup didn't contain starch.

1 はじめに

ラムネとはタブレット型の砂糖菓子的一种であり、デンプン・ブドウ糖・砂糖・添加物などを固めたものである。

あるラムネを長時間放置したところ、飴状に変化した。ところが、他のラムネを同じ条件で長時間放置したところ飴状にならなかった。このラムネが飴状になったのか疑問に思い、この現象が起こった原因としくみを明らかにするために本研究を行った。

その結果、ラムネが飴状になった原因は含まれているスクロースの加水分解であることが分かった。また、変化が起こったラムネのみにデンプンが含まれていなかったということも原因であると分かった。

2 実験

実験では市販のラムネ6種類A～Fを使用した。なお、飴状になったラムネをラムネAとする。

A まんまるラムネ (ノーベル製菓)

B ラムネ (森永製菓)

C フェラムネ (コリス株式会社)

D ジューCラムネ (カバヤ)

E フレンドラムネ (グリコ)

F トーマスラムネ (ロッテ)

まず、実験を始めるに当たり、各ラムネの成分と変化に与える影響の違いを明らかにするためにラムネの製造元である各企業に問い合わせたが、成分量に関する具体的な回答は得られなかった。

○実験 I

【目的】

飴状になったラムネAとその他のラムネを比較する。

実験 I-1 密度と形態

【方法】

ラムネA～Fを球体・円柱とみなし、ノギスで直径と高さを、精密ばかりで質量を測定し、密度を計測した。また、光学顕微鏡でラムネの表面を観察した。



図1 ラムネの変化

【結果】

ラムネAのみ密度が小さかった。また、ラムネAの表面には凹凸が見られた。そのほかのラムネにはこのような凹凸は見られなかった。

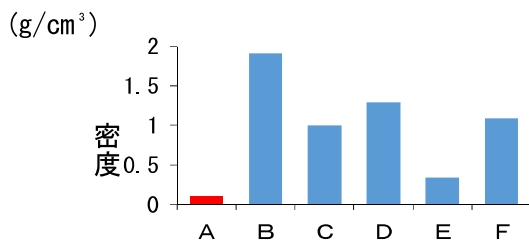


図2 ラムネの種類

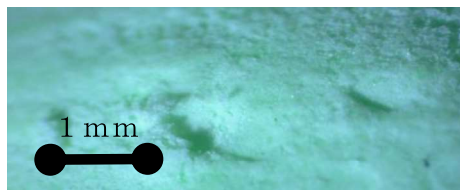


図3 ラムネAの表面写真

実験Ⅰ-2 デンプンの確認

【目的】

成分表示でラムネAのみデンプンの表記がなかったことに着目し、それぞれのラムネのデンプンの有無を確かめる。

【方法】

乳鉢で粉状にすりつぶしたラムネA～F 5.0gに、ヨウ素溶液を滴下して色の変化を観察した。

【結果】

ラムネAのみヨウ素デンプン反応が見られなかった。

実験Ⅰ-3 ラムネのpH

【方法】

蒸留水300mLに、乳鉢で粉状にすりつぶした市販のラムネ6種類3.0gを加え攪拌し、pHメーターを用いてpHを測定した。

【結果】

ラムネAのpHの値が最も小さかった。

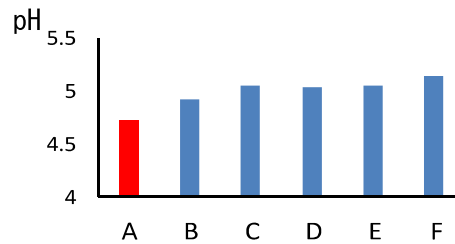


図4 ラムネの種類

【考察】

密度が小さく凹凸があることから、内部に小さい隙間がある

デンプンが含まれていない

○実験Ⅱ

【目的】

ラムネが飴状になった条件として湿度とラムネの成分について調べる。

実験Ⅱ-1 湿度

【方法】

ラムネAを湿度80%・90%の二つの条件下で観察した。この際温度はどちらも30℃とした。

【結果】

湿度80%で観察したものよりも、湿度90%で観察したものの方が飴状になるのが早かった。

実験Ⅱ-2 ラムネの成分

【方法】

ラムネの主成分であるデンプン・グルコース・スクロースを温度30℃湿度80%の条件下で観察した。

【結果】

3日後にスクロースのみが飴状に変化した。他の成分には変化がなかった。



図5 変化前のスクロース



図6 3日後のスクロース

【考察】

湿度が高いほど飴状になりやすい。
ラムネが飴状になったのはスクロースの影響。

○実験Ⅲ

【目的】

ラムネが飴状になったしくみを調べる。

実験Ⅲ-1 融解・溶解

【目的】

スクロースの変化が融解、溶解のどちらなのかを確かめる。

【方法】

スクロースを、湿度50%・90%の2つの条件下で観察した。（温度30℃一定）

【結果】

湿度50%では変化がなく、湿度90%では飴状に変化した。

【考察】

スクロースは溶解した。

実験Ⅲ-2 銀鏡反応

【目的】

スクロースが溶解したときの化学変化の有無を明らかにする。

【方法】

試料

ラムネA、スクロース、グルコース、デンプン

調べる条件

条件1：温度13℃湿度50%

条件2：温度30℃湿度90%で一週間放置

アンモニア性硝酸銀水溶液を作製し、シャーレ

に薄く広げた。これに試料を乗せ、約60℃で5分間湯煎し銀鏡反応の有無を観察した。



図7 銀鏡反応

【結果】

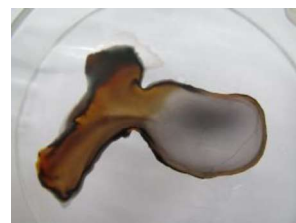
条件2のラムネAとスクロースは飴状に変化したものである。

表 銀鏡反応の有無

	ラムネA	スクロース	グルコース	デンプン
条件1	—	—	+	—
条件2	+	—	+	—



条件2 ラムネA



条件2 スクロース

図8 銀鏡反応の様子

飴状のラムネAとスクロースでは、図8のように、表面に銀色の金属のような薄い被膜が見られた。

飴状になった条件2のラムネAとスクロースには銀鏡反応が起こった。なお、グルコースとデンプンは、どちらの条件においても性質に変化が生じなかったことを確かめるために実験を行った。

実験Ⅲ-3 デンプンの影響

【目的】

ラムネが飴状になることにデンプンが関わっていることを確かめる。

【方法】

乳鉢で粉状にすりつぶしたラムネA 3.0gと、デンプン0.3gを加え混ぜたものを用意し、温度30℃湿度80%の条件下で観察した。

【結果】

2週間後、ラムネAのみのものは飴状に変化し、デンプンを加え混ぜたものは変化しなかった。



実験前

二週間後

図9 ラムネAのみ



実験前

二週間後

図10 ラムネA+デンプン

5 今後の展望

デンプンが砂糖の加水分解を防ぐしくみを明らかにする。また、ラムネAには個包装がされていたことからこの個包装と加水分解の関係を調べる。

3 全体の考察

飴状のラムネAで銀鏡反応が起きなかったことからラムネAに含まれるスクロースが加水分解したと考えられる。また、ラムネAにデンプンを加えると飴状にならなかったことから、デンプンが飴状になることを防いだと考えられる。

4 結論

ラムネAが飴状になった原因は、含まれているスクロースが加水分解したことと、それを防ぐデンプンが含まれていなかったことである。

レモン汁による牛乳タンパク質の凝集

班員 多田 拓哉、玉田 千晴、長尾 光季、早見 航汰
担当教員 高橋 潤哉

キーワード：牛乳、レモン汁、クエン酸、凝集、緩衝液

If you add lemon juice to milk, milk reacts with the acid in the lemon juice and you can make white agglomerates. But if you add citric acid to milk, you can't make agglomerates. This is because lemon juice is a buffer solution and the amount of acid molecules in lemon juice is different from that in citric acid, even though the pH is the same in both liquid.

1 はじめに

牛乳にレモン汁などの酸性の液体を加えると、白い凝集物が生成されることが知られている。（写真1）

レモン汁に一番多く含まれている酸はクエン酸であるが、レモン汁と同じpH2.5であるクエン酸水溶液を用いて同様に実験を行ったところ、牛乳は凝集しなかった。

牛乳の凝集反応におけるレモン汁の役割を明らかにすることを目的として実験を行った。



写真1 牛乳の凝集物

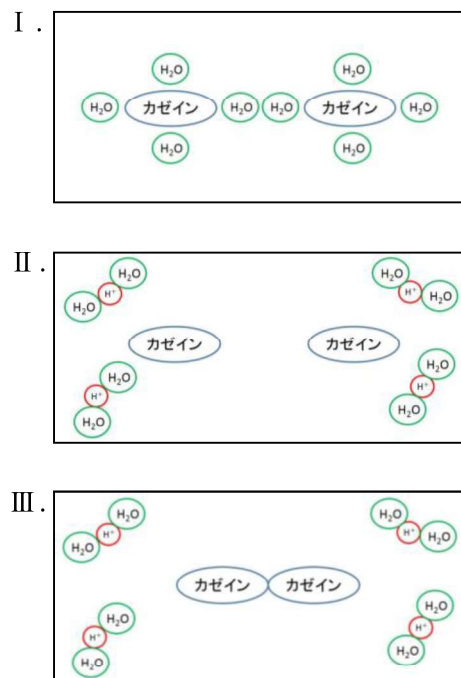


図1 牛乳が凝集するメカニズム

2 実験

＜実験Ⅰ：牛乳と酸の凝集反応＞

目的

牛乳の加熱の有無と凝集反応の関連について次の2つの実験を行った。

実験Ⅰ-A：90℃まで加熱した牛乳を使用

実験Ⅰ-B：常温の牛乳を使用

牛乳が凝集するメカニズムについて（図1）

- I. カゼインが水分子に囲まれている。
- II. 酸を加えると、水分子が水素イオンと結びつく。
- III. カゼインどうしが結びつく。

実験方法

I. 牛乳30.0 g に酸3.15mLを加える。

II. 凝集物を濾過し、濾液のpHを測定する。

※3.15mLとは牛乳30.0 g の十分の一である。

※レモン汁以外の酸との反応も調べるため、レモン汁、クエン酸、酢酸、硫酸、塩酸を使用した。また加える酸のpHは、レモン汁と同じpH2.5にそろえた。

結果

表 1 実験 I の結果

		レモン汁	クエン酸	酢酸	塩酸	硫酸
A: 加熱あり	凝集物の有無	++	—	+	—	—
	ろ液のpH	3.94	6.38	4.63	6.49	6.49
B: 加熱なし	凝集物の有無	+	—	±	—	—
	ろ液のpH	4.08	6.38	5.41	6.51	6.49

※牛乳のpHは7.02である。

加熱の有無による凝集の変化は大きな違いが見られなかった。

レモン汁、酢酸水溶液を用いたときのみ牛乳が凝集した。しかし、レモン汁を用いた場合とレモン汁に多く含まれているクエン酸の水溶液を用いた場合で凝集物の有無に違いが見られた。（表 1 の赤枠部分）

<実験 II : 酸の物質量による牛乳の凝集>

実験 I で、レモン汁とクエン酸水溶液とで結果に違いが見られたため、牛乳の凝集には加える酸の物質量が関係していると仮説を立てて 2 つの実験を行った。

仮説

加える酸の物質量を大きくすると、牛乳が凝集する。

実験 II -A : 加える酸の体積を増やす

実験 II -B : 加える酸の濃度を大きくする

実験方法

○実験 II -A

I. 牛乳30.0 g にpH2.5の酸3.15mLを加える。

II. 凝集物を濾過し、濾液のpHを測定する。

○実験 II -B :

I. 牛乳30.0 g にpH1.0の酸3.15mLを加える。

II. 凝集物を濾過し、濾液のpHを測定する。

※実験 II では、実験 I で牛乳が凝集しなかった酸であるクエン酸、塩酸、硫酸を使用した。

※モル濃度は実験 II -Aで加えた酸よりも実験 II -Bで加えた酸の方が大きい。

結果

表 2 実験 II の結果

		クエン酸	塩酸	硫酸
A	凝集物の有無	+	—	—
	3.15mL × 10 ろ液のpH	5.06	6.40	6.40
B	凝集物の有無	±	±	±
	pH1.0 ろ液のpH		5.72	5.63

※上は実験 II -A、下は実験 II -Bの結果である。

加える酸の物質量が大きくなると、牛乳は凝集した。

<実験 III : 中和滴定による酸のモル濃度測定> 目的

レモン汁(pH2.5)とクエン酸水溶液(pH2.5)に含まれるそれぞれの酸のモル濃度を測定する。

実験方法

水酸化ナトリウム水溶液を用いて中和滴定を行った。

結果

表 3 レモン汁とクエン酸のモル濃度

	レモン汁	クエン酸
モル濃度 (mol/L)	3.2×10^{-1}	9.0×10^{-3}

レモン汁に含まれている酸のモル濃度は、クエン酸水溶液に含まれている酸のモル濃度の

約40倍だった。

※レモン汁に含まれるクエン酸のモル濃度をレモン汁の成分表示より換算すると、
0.33mol/Lだった。

<実験Ⅳ：緩衝液による実験>

レモン汁の成分表示と同量のクエン酸を含む緩衝液（pH2.5）により牛乳が凝集するか調べる。

仮説

レモン汁は緩衝液となっている。

緩衝液の作成方法

- I. レモン汁と同じモル濃度のクエン酸水溶液を作成する。
- II. 水酸化カリウム水溶液を加えてpH2.5に調整する。

※レモン汁には、ナトリウムとカリウムが含まれているが、カリウムの内容量の方が多かったため、水酸化カリウム水溶液を用いて緩衝液を作成した。

実験方法

- I. 牛乳30.0gに作成した緩衝液を3.15mL加える。
- II. 凝集物を濾過し、凝集物の有無を確認する。

結果

試薬を用いて調整した緩衝液を用いた場合でも、牛乳は凝集した。

3 結論

レモン汁は同じpHのクエン酸水溶液より酸のモル濃度が大きいため、レモン汁を用いたとき効果的に牛乳が凝集した。レモン汁のモル濃度が大きいのは、レモン汁が緩衝液となっているからである。

4 今後の課題

目的

レモン汁を用いたときの凝集物（写真2）と作成した緩衝液を用いたときの凝集物（写真3）の形状に違いが見られたため、何の影響によるものか調べる。

実験方法

- I. 顕微鏡を用いて、詳しい構造を調べる。
- II. レモン汁に含まれる他の物質（糖、香料など）の凝集反応への影響を調べる。



写真2 レモン汁を用いた凝集物



写真3 作成した緩衝液を用いた凝集物

5 今後の展望

牛乳から生成される凝集物に圧力をかけながら乾燥させると一種の生分解性プラスチックとなることが知られている。（写真4）

生分解性プラスチックとは、自然界に存在する微生物によって分解され、自然に還るプラス

チックのことである。

将来的に、生分解性プラスチックの研究がすすむことで、現在世界中で大きな問題となっている環境汚染の一つである、マイクロプラスチック問題などの解消につながることを期待される。



写真4 凝集物を乾燥させたもの

6 参考文献

石川県立七尾高等学校SSC,牛乳タンパク質の凝集について,みやぎ総文2017自然科学部門論文集

ウスバカゲロウ (*Hagenomyia micans*) の巣の形成

班員 ☐ 川嶋 光、木島 龍輝、辻口 心真、山崎 大悟

担当教諭 ☐ 山本 幸平

キーワード：アリジゴク、ウスバカゲロウ、巣のサイズ、数理モデル

Antlions dig holes to make nests and catch insects and suck their body fluids. Previous research indicated the relationship between the sunlight and the places where antlions make their nests, and the relationship between their body size and the size of their nests.

Among those topics, we researched about the factors which determine the size of their nests.

1 ☐ はじめに

☐ アリジゴクは砂地にすり鉢状の巣をつくり、アリなどの小さい昆虫が巣に落ちてくるのを待ち伏せ、捕食する。その巣については、日当たりと巣の場所の関係、体サイズと巣の大きさの関係など研究されている（松良、1989）。本研究では、アリジゴクの巣の大きさに注目し、その決定要因について調べた。

直径

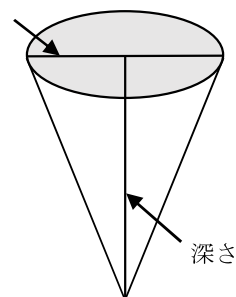


図1 アリジゴクの巣の概形

2 材料と方法

ウスバカゲロウ (*Hagenomyia micans*) の幼虫（以降アリジゴクと呼ぶ）を野外で採集し、実験に用いた。

観察

<目的>

巣の完成までにかかる時間を調べる

<方法>

10 個のバケツに深さ 5cm まで砂を入れ、アリジゴクを 1 個体入れた。その後毎日巣の直径と深さ(図 1) をノギスで計測した。これを 9 日間続けた。



図2 実験に用いた容器

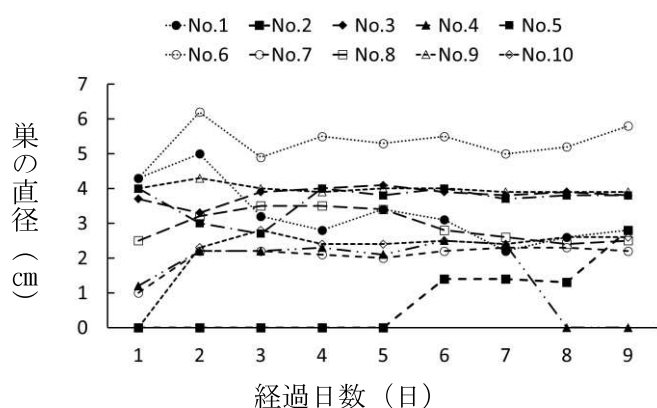


図3 調整した砂



図4 計測の様子

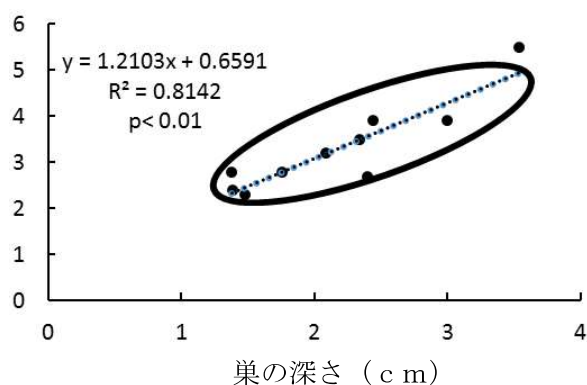
<結果>



経過日数ごとの巣の直径の変化

実験に用いたどの個体の巣も3日後以降、その直径は大きくなり、これより3日後までに巣は完成したといえる。

また、各個体が作った巣の最大の深さと巣の直径には強い正の相関がみられた。



巣の深さと巣の直径の関係

実験

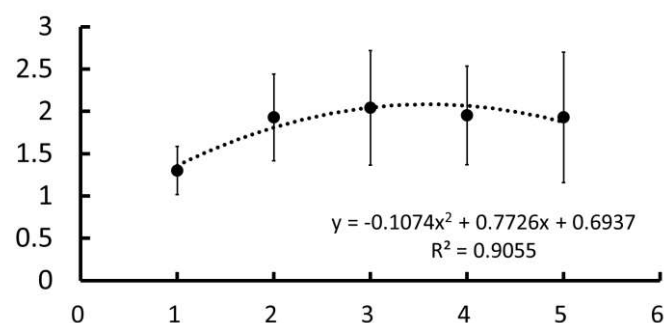
<目的>

次に砂の深さと巣のサイズの関係を見る

<方法>

砂の深さを変える実験を行った。砂の深さを1cm、2cm、3cm、4cm、5cmとし、アリジゴクを1匹ずつ入れた。それぞれ繰り返し数は10個とした。すべての場合で実験開始前にえさを与え、巣を作らせる期間を3日間とした。終了後に巣の直径と深さをノギスで計測した。

<結果>



砂の深さを変える実験では、深さが1cmでは巣の深さは平均1.3cm、直径は平均2.2cmとなった。深さが2cm以上ではどの砂の深さでもアリジゴクの巣の深さは平均2cm、直径は平均3cmとなり、それ以上大きくならず頭打ちになった。

<考察>

まず、生物においてその縄張りの大きさは、一般的に生物にとっての利益とコストの関係で決定されることが分かっている。これは、利益を求めて縄張りを大きくしたときそれに伴ってコストも発生し、生物はより多くの利益を得ようとするのが理由であると考えられている。例えば図○のグラフは、利益とコストによる縄張りの大きさの変化を表している。

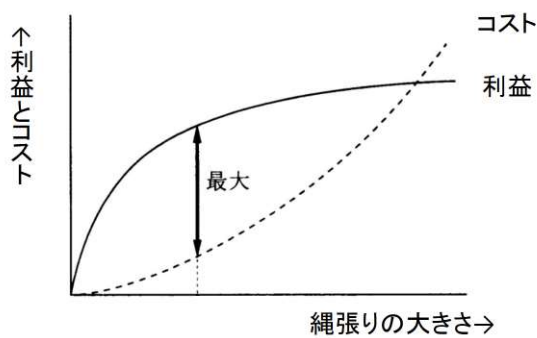


図 利益とコストによる縄張りの大きさの変化

この場合、利益とコストの差が最大のときの縄張りの大きさが最適なものとなる。アリジゴクの巣のサイズが頭打ちになる理由についても用いることができるのではないかと考えた。そこで、アリジゴクの利益とコストについて数理モデルをたてて、数理モデルでアリジゴクが作りうる巣のサイズと実験の結果を比較した。

まず、アリジゴクの利益とコストを数式で表す。

アリジゴクの巣の円の面積が大きいほど、巣にエサが落ちてきやすくなり、エサが手に入る確率が高くなる。つまり、巣の円の面積はアリジゴクの利益に関係しているといえる。また、観察で得られた相関から、巣のサイズが大きくなるとき、巣の深さも大きくなる。アリジゴクが巣を作る際砂を掘る労力がかかることから、巣の体積はアリジゴクのコストに関係しているといえる。ここで、アリジゴクの巣の深さを h 、

巣の円の半径を r と置く。 $\tan\theta = \frac{h}{r}$ であることから、巣の円の面積は $\tan\theta = \frac{h}{r}$ を用いて $\frac{\pi h^2}{\tan^2\theta}$ 、

巣の体積は同様に $\frac{\pi h^3}{3\tan^2\theta}$ と表せる。ここで、単位面積当たりのエサ獲得量を B 、単位体積当たりのエネルギー損失量を C とおく。アリジゴクの利益は、巣の面積に B をかけたもの、またアリジゴクのコストは巣の体積に C をかけたも

のと表せる。

$$\begin{aligned} (\text{利益}) - (\text{コスト}) &= B \cdot \frac{\pi h^2}{\tan^2\theta} - C \cdot \frac{\pi h^3}{3\tan^2\theta} \\ &= \frac{\pi h^2}{\tan^2\theta} \left(B - \frac{Ch}{3} \right) > 0 \end{aligned}$$

$$B - \frac{Ch}{3} > 0 \quad h < \frac{3B}{C}$$

アリジゴクが作りうる巣の条件は、利益－コストの値が正であり、これについて不等式を立式して h について解くと、 h についての条件は $h < \frac{3B}{C}$ でありこの式からアリジゴクの巣の深さはある一定の値に収まることがわかった。これより、実験の結果を数理モデルを用いて説明できたといえる。

3 結論

アリジゴクの巣のサイズには上限があり、これは数理モデルを用いて説明することができた。

4 今後の展望

数理モデルから、 c 、つまり単位体積あたりのエネルギー損失量が変化する場合において形成される巣の深さは変化すると考えられる。アリジゴクのエネルギー損失量の変化に伴い、エネルギー損失量である砂の粒度を変化させたとき、巣の大きさが変化するか調べる。

5 参考文献

松良 俊明 砂丘のアリジゴク p p 2 1 8
思索社

牛乳とエタノールによる凝固物の生成

班員 岡本 幹登、木元 博規、高畠 光、堀田 達琉
担当教員 清水 宏一

キーワード：凝固物 カゼイン ラクトース 結晶化

There is a phenomenon where when you put ethanol into milk, coagulate is formed in it. Although it is known as the alcohol test, the components of the coagulate have not been researched well. In our research, we found out that the major components of the coagulate are casein and lactose, and that lactose appear in the state of crystal.

1 はじめに

牛乳にエタノールを加え凝固させる、アルコールテストという方法が知られている。しかし、アルコールテストで生成する凝固物については、牛乳中のタンパク質がアルコールによる脱水によって凝固したものであることは明らかになっているが、凝固物の成分について詳しく調べられている研究はほとんどない。そこで、この凝固物の成分を明らかにすることを目的に研究を行った。

2 実験方法と結果

実験 1：凝固物の生成する条件

目的

凝固物の生成について、エタノールの量と、振とう回数による関係を調べる。

方法

- ① 牛乳にエタノールを加えた。
- ② 凝固物が生成しているか確認した。

条件

牛乳—無調整牛乳、無脂肪牛乳 5mL

エタノール—5, 10, 15, 20mL

容器の振とう回数—0, 10, 20 回

※牛乳にエタノールを加えた後、常温で放置した。

※エタノールの濃度は 99.5%のものを、牛乳は賞味期限内のものを使用した。

※無脂肪牛乳を用いた実験では、脂肪の影響

を考えないこととする。

結果

すべての条件において、無調整牛乳、無脂肪牛乳ともに、エタノールを入れてすぐに凝固物の生成が始まり、1日後には見かけ上変化はなくなった(図1)。



図1 生成した凝固物

実験1の結果より、以降実験の条件は次のようにする。

牛乳—無調整牛乳、無脂肪牛乳 5mL

エタノール—10 mL、99.5%

振とう回数—10回

実験 2：牛乳の成分量との比較による凝固物の主成分の推定

目的

凝固物の主成分を明らかにする

方法

- ① 牛乳にエタノールを加え、振とうした。
- ② 1日後に、①で生成した凝固物をろ過した。
- ③ ②でろ過した凝固物を1日乾燥させ、凝固物の質量を精密ばかりで測定した。

結果

無調整牛乳—凝固物の質量0.397g (5回の平均値)

表 1 無調整牛乳の成分

無調整牛乳	5mL
タンパク質	0.170g
脂質	0.195g
炭水化物	0.243g
食塩相当量	0.005g
カルシウム	0.006g

成分の組み合わせと質量

タンパク質+脂質	=0.365g
タンパク質+炭水化物	=0.413g
脂質+炭水化物	=0.438g
タ+脂+炭	=0.608g

牛乳の成分が上澄みに残っている可能性を考慮すると、凝固物の質量より成分の組み合わせの質量が大きくなければいけない。そこで、この条件を満たす組み合わせは、「タンパク質と炭水化物」、「脂質と炭水化物」、「タンパク質と脂質と炭水化物」という 3 つの組み合わせである。

無脂肪牛乳—凝固物の質量0.348g（5回の平均値）

表 2 無脂肪牛乳の成分

無脂肪牛乳	5mL
タンパク質	0.170g
脂質	0.195g
炭水化物	0.243g
食塩相当量	0.005g
カルシウム	0.006g

成分の組み合わせと質量

タンパク質+脂質	=0.213g
タンパク質+炭水化物	=0.503g
脂質+炭水化物	=0.310g
タ+脂+炭	=0.513g

無脂肪牛乳でも無調整牛乳の場合と同様に考えると、「タンパク質と炭水化物」という組み合わせが考えられる。

考察

結果より、凝固物の主成分は、「タンパク質と炭水化物」であると考えられる。

さらに、牛乳のたんぱく質の 80% がカゼイン、炭水化物の 99.9% がラクトースであるため、凝固物の主成分はカゼイン、ラクトースだと考えられる。

実験 3：顕微鏡による凝固物の形態の観察

目的

凝固物を顕微鏡で観察し、凝固物の形態を確認する。

実験 3-1：凝固物の観察

方法 3-1

生成した無調整牛乳の凝固物の一部分を、容器からそのまま取り出し、光学顕微鏡（株式会社内田洋行 D-EL4）を用いて観察した。

結果 3-1

透過光による顕微鏡の観察では、実験開始後すぐでは、白い凝固物（図 2）が観察されただけであったが、実験開始後 1 か月のものでは黒い塊が観察された（図 3）。



図 2 実験開始後すぐ（透過光）

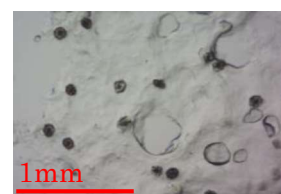


図 3 実験開始後 1 か月（透過光）

実験開始後 1 か月のものの反射光による観察では、光を反射して白く光り、角張っている凝固物がみられた（図 4）。また実験開始後 2 か月のものでは、さらにその凝固物が大きくなっている（図 5）こともわかる。

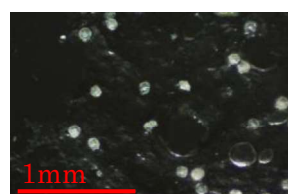


図 4 実験開始後 1 か月（反射光）



図 5 実験開始後 2 か月（反射光）

考察3-1

光を反射し白く光った凝固物は、時間が経過するにつれ大きくなり、また角張っていたことから、この凝固物は結晶だと推定される。

実験 3-2：糸を加えての観察

方法 3-2

結晶であれば、糸を核の代わりとして結晶が析出すると考え、牛乳にエタノールを加える際に糸を入れ、その後糸の周りに光を反射する凝固物が析出するか観察した。

結果 3-2

光を反射する凝固物は、糸の周りに析出した。

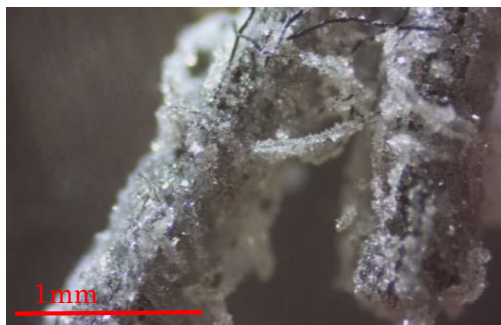


図 6 実験開始後 1 週間（糸あり、反射光）

考察 3-2

糸の周りに結晶が析出したことより、この凝固物は結晶といえる。また、凝固物中では結晶になる物質が、牛乳中より高濃度で存在していると考えられる。

実験 4：結晶の成分の推定

目的

結晶がラクトースであるかどうか確認する。

実験 4-1 アカディを用いての観察

方法 4-1

牛乳中のラクトースがあらかじめ分解され、無調整牛乳と比べ約 2 割程度しかない乳飲料（アカディ）を用いた。

- ① アカディにエタノールを加え、さらにそのとき、糸も加えた。
- ② 1 週間後に糸を取り出した。
- ③ 取り出した糸を顕微鏡で観察した。

※今回コントロールとして、無調整牛乳でも実験を行い、結晶の形態を比較した。

結果4-1



図 7 無調整牛乳の場合

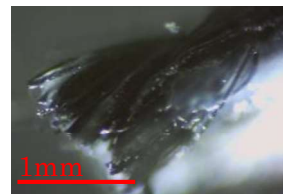


図 8 アカディの場合

無調整牛乳では、糸の周りに光を反射する凝固物が析出していることが確認できたが、アカディでは、糸の周りに光を反射する凝固物は確認できなかった。

考察 4-1

無調整牛乳では結晶が観察され、アカディでは、結晶が観察できなかったため、この結晶はラクトースだと考えられる。

実験4-2：ラクトース溶液を用いての実験

方法4-2

- ① ラクトース溶液を作った。
- ② ラクトース溶液にエタノールを加え、結晶が析出するか確認した。

条件

蒸留水—2mL

ラクトース—0.05g, 0.10g, 0.15g, 0.20g

※ラクトースの溶解度は0.216g/mL

結果4-2

ラクトース	析出の有無	濃度
0.05g	△	2.4%
0.10g	△	4.7%
0.15g	○	6.9%
0.20g	○	9.0%

△チンダル現象 ○肉眼で確認

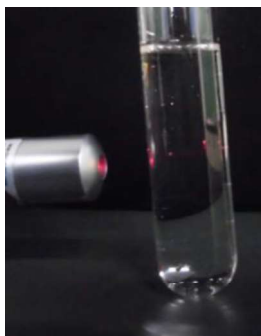


図 9 チンダル現象



図 10 結晶の析出

ラクトースが0.05g、0.10gのとき肉眼では結晶は確認できないが、レーザーを照射すると結晶が確認できた。

「ラクトース水溶液の濃度」が「牛乳のラクトースの濃度」以上のとき、すべての条件で析出した。

考察

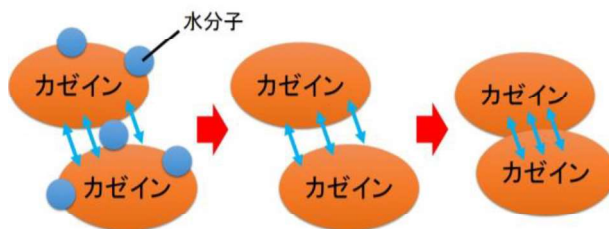
牛乳2mLに含まれるラクトースの量は、0.080gであり、結果から、牛乳よりラクトースの量が少ない0.05gのラクトース水溶液から析出したため、結晶がラクトースだということがわかった。

エタノールを加えることによって、親水性の高いエタノールにラクトースの水分子が奪われ溶解度を超え、その超えた分が析出する。

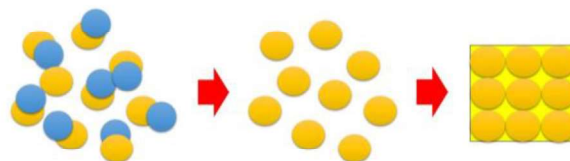
3 凝固物生成の仕組みの考察

牛乳にエタノールを加えると凝固物が生成する仕組みとして、次のように考えられる。牛乳にエタノールを加えると、親水性の高いエタノールがカゼイン、ラクトースに水和している水分子を奪う。それによって、カゼインのコロイド同士が凝集、ラクトースでは、濃度が大きくなることで析出したラクトース分子が規則正しく配列することによって結晶化する。

カゼインの場合



ラクトースの場合



4 結論

牛乳にエタノールを加えると、カゼインとラクトースを主成分とした凝固物が生成する。また、凝固物中には、ラクトースが結晶となって析出している。

5 参考文献

- (1) 日本甜菜製糖株式会社飼料事業部低酸度二等乳

http://www.nitten-feed.jp/tec_news/950/

- (2) 牛乳凝固の化学

https://www.jstage.jst.go.jp/article/kagakutoseibutsu1962/3/9/3_9_458/_pdf

- (3) 牛乳の栄養成分と働き

<http://www.nara-gyunyuya.com/contents/gyunyu/seibun/seibun.htm>

内側に見えるミルククラウン

班員 榎本 侑弥、大目 隆翔、中島 涼、古谷 柊

担当教員 山本 一博

キーワード：ミルククラウン、着色、波模様

When we compared dripped milk and milk in the container, we found a wavy pattern inside of an ordinary milk crown. We found that the wavy pattern of the “inside milk crown” and the “outside milk crown” did not coincide. We think that this phenomenon occurs because the “outside milk crown” pushes the surface of the inside of milk when it falls.

1 はじめに

ミルククラウン現象とは、容器に入った牛乳に牛乳を一滴滴下するとき綺麗な王冠状となって立ち上がる現象である（図1）。滴下した牛乳と容器内の牛乳を区別するため容器内の牛乳を少量の墨汁で着色して実験を行うと、ミルククラウンの内側に波模様ができることを発見した（図2）。またこのとき、凹凸の位置が入れ替わっていることが分かった。ここで図1のミルククラウンを「外側のミルククラウン」、図2の波模様を「内側のミルククラウン」と名付け、本研究では、「内側のミルククラウン」が形成される条件や、「外側のミルククラウン」と「内側のミルククラウン」の関係を明らかにすることを目的として実験を行った。



図1 「外側のミルククラウン」

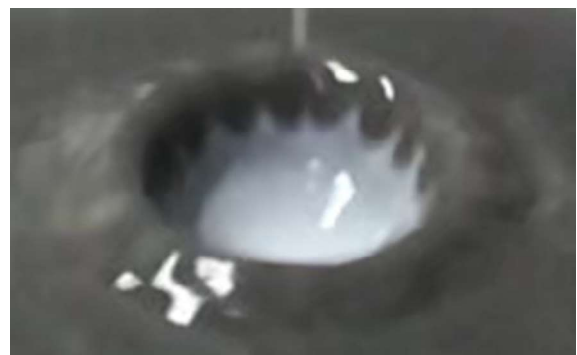


図2 「内側のミルククラウン」

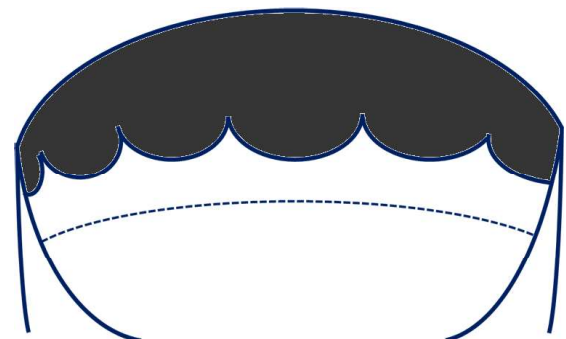


図3 「内側のミルククラウン」の断面図

2 実験

【実験Ⅰ－1】

〈目的〉

「外側のミルククラウン」と「内側のミルククラウン」の形成と容器の牛乳の深さの関係を調べる。

〈方法〉

・容器に入れた牛乳と滴下する牛乳を見分けるため、容器の牛乳を墨汁で着色する。

（付け足した墨汁は少量のため実験に影響は

ないと考えた。)

- ・ビュレットで液面から30cmの高さに固定し、牛乳を滴下した。
- ・牛乳の深さを1.0cm～5.5cm（0.5cmおき）に変え、6回ずつ実験を行った。
- ・ミルククラウンの形成の様子をスマートフォンのスローカメラで撮影・観察した。



図4 実験の様子

〈結果〉

表1 内・外でミルククラウンができた回数

深さ (cm)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
外側	3	4	4	1	2	1	2	3	1	2
内側	1	2	2	1	2	0	2	2	1	1

牛乳の深さが1.0cm～2.0cmで「内側のミルククラウン」と「外側のミルククラウン」の形成数に差が生じた。

【実験Ⅰ－2】

〈仮説〉

実験Ⅰ－1より容器の底に滴下した牛乳が到達することにより「内側のミルククラウン」に影響を与える。

〈方法〉

- ・主な方法は実験Ⅰ－1の条件と同じである。
- ・容器の下に色のついた下敷きを敷く。

※下敷きの色が見えたとき、滴下した牛乳が容器の底に到達したと判断した。



図5 緑色の下敷きを使った実験の様子

〈結果〉

表2 滴下した牛乳が底に到達した深さ

深さ (cm)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5
底	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-

+到達する -到達しない

牛乳の深さが1.0cm～2.0cmで滴下した牛乳が底に到達した。

〈考察〉

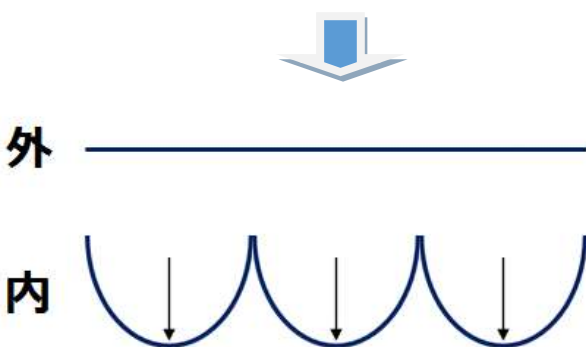
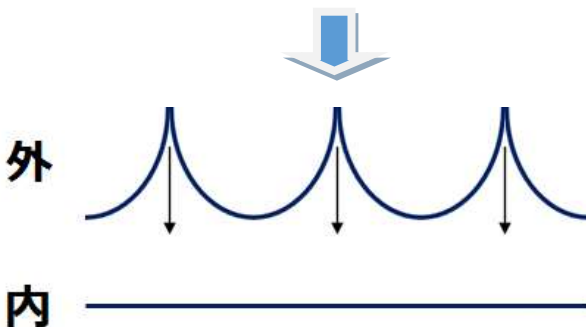
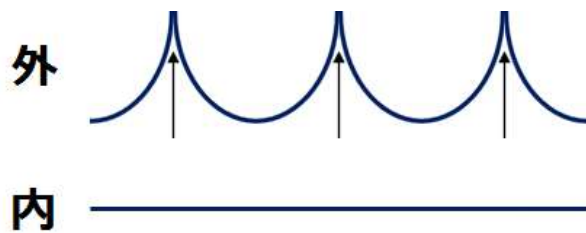
「外側のミルククラウン」と「内側のミルククラウン」の形成数に差が生じたときと滴下した牛乳が容器の底に到達する条件が一致した。

また、牛乳が底に到達しない2.5cm以上で「内側のミルククラウン」の形成数に差ができなくなったことから「内側のミルククラウン」が確実に形成される条件は、滴下した牛乳が容器の底に到達しないことであることがわかった。

【実験2】

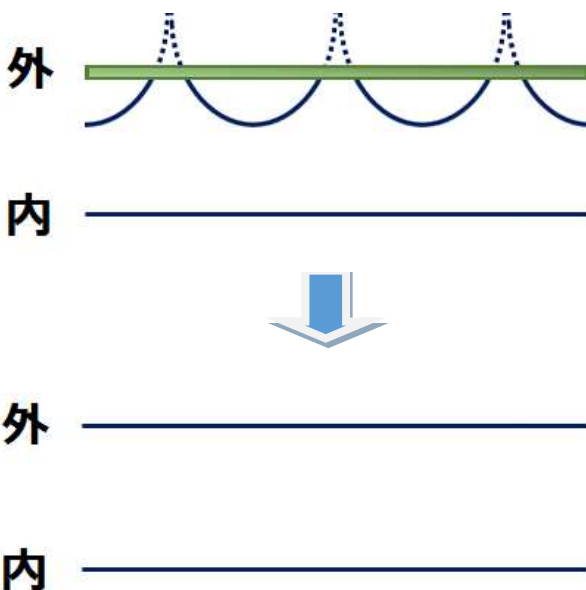
〈仮説〉

牛乳を滴下して立ち上がった「外側のミルククラウン」が落ちるとき「外側のミルククラウン」が内側の液面を押すことで、「内側のミルククラウン」が形成される。



〈予想〉

「外側のミルククラウン」をできないようにすると「内側のミルククラウン」も不完全な形になる。



〈方法〉

- ・主な方法は実験Ⅰ－１の条件と同じである。
- ・容器の牛乳の水面に牛乳一滴が通るほどの穴を開けたシートを使用する。
- ・牛乳を滴下する前の容器内の液面に触れないようシートをかぶせ、「外側のミルククラウン」の立ち上がりを阻止した。

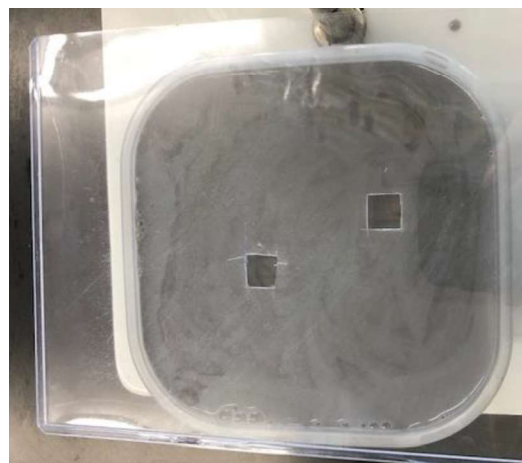


図 6 シートを使った実験の様子

〈結果〉

「外側のミルククラウン」の立ち上がりを阻止すると、「内側のミルククラウン」も不完全な形になった。



図 7 「外側のミルククラウン」



図 8 不完全な「内側のミルククラウン」

〈考察〉

内側の液面が立ち上がった「外側のミルククラウン」に押され、「内側のミルククラウン」が形成されている。

また、外側の凸の位置と内側の凹の位置が一致することが分かった。

3 今後の展望

立ち上がった「外側のミルククラウン」の大きさを変えてそのときの「内側のミルククラウン」の大きさの変化を調べ、二つのミルククラウンの大きさの相関をとる。

4 参考文献

A. M. Worthington. A study of splashes.
LONGMANS, GREEN, AND CO. 1908.

セイタカアワダチソウのアレロケミカル による抗カビ作用

班員 伊豆 里華子、松岡 未紗、宮崎 倅輔、森田 樹

担当教員 荒邦 陽子

キーワード：セイタカアワダチソウ、cis-DME、アレロケミカル

We studied that whether the allelochemical contained in goldenrod root can prevent spreading of the aspellgilus. We observed how dried root powder and the extract of cis-DME, which is the allelochemical of goldenrod root, affected the growth of the aspellgilus. As a result, we found that cis-DME is not effective in blocking the growth of the aspellgilus, but goldenrod root can prevent spreading of aspellgilus.

1 はじめに

アレロパシー効果とは、他種の植物への多感作用の総称である。セイタカアワダチソウは、根に含まれるcis-DME(cis-dehydro-matericariaester)というアレロケミカルによって植物や細菌の成長を阻害することが知られている。一方で真菌類(カビ)に対する影響はよく分かっていない。本研究ではアレロケミカルを含むセイタカアワダチソウ(*Solidago altissima*)の根を用いてその抗カビ作用を確認することを目的とした。この抗カビ作用が確認できれば天然由来の抗カビ物質としての活用が期待される。

そのためにセイタカアワダチソウの根の乾燥粉末、cis-DME抽出液を用いてコウジカビの成長にどのような影響を及ぼすかを観察した。その結果、セイタカアワダチソウの根には抗カビ作用があるがcis-DMEには無いことが分かった。

乾燥させた。その後、乳鉢を用いて細かくすりつぶし粉末状にした。また、0.8%滅菌生理食塩水100mLに米麴3gをとかし、コウジカビの菌液を作った。100 μ Lの菌液をサブロー寒天培地にコンラージ棒を用いて塗布し、コウジカビを植え付けた。その培地のうへに粉末状にしたセイタカアワダチソウの根0.5gを撒いた。またカビが正常に生えることを確認するためにコントロールとしてサブロー寒天培地にコウジカビだけを植え付けた。それらの培地をインキュベーターで30℃に保ち、状態を観察した。



図1 すりつぶした根の粉末

2 実験 I

<仮説>

セイタカアワダチソウの根はコウジカビの成長を阻害する。

<方法>

セイタカアワダチソウの根を60℃で4日間乾

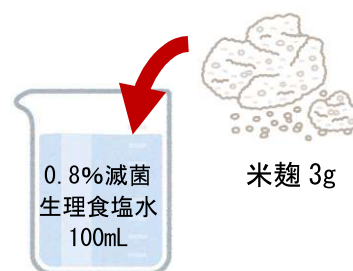


図2-1 実験方法①



サブロー寒天培地

図 2-2 実験方法②

<結果>

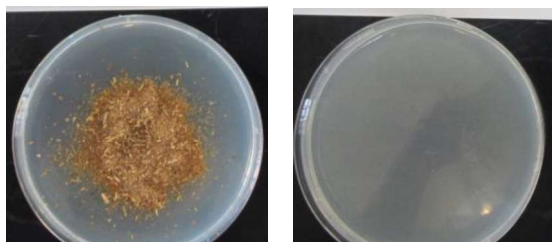


図 3 根の粉末を撒いた培地とコントロール

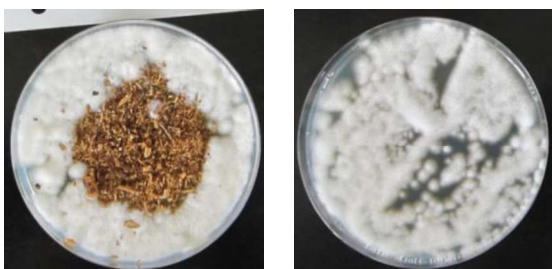


図 4 2日後の根の粉末を撒いた培地とコントロール

コントロールにはコウジカビが全体に成長したが、根を撒いた培地には根を撒いた範囲にコウジカビが成長しなかった。

<考察>

セイタカアワダチソウの根には抗カビ作用がある。しかし、化学的な要因が働いたわけではなく根が物理的に邪魔となってコウジカビの成長が阻害された可能性が残った。そこで化学的な要因が働いたことを確認するために実験Ⅱを行った。

3 実験Ⅱ

<仮説>

実験Ⅰのセイタカアワダチソウの根の代わりに、化学的な要因がないと考えられるガラスをもちいた場合には、カビの成長は阻害されない。

<方法>

殺菌済みのガラスの破片を実験Ⅰのセイタカアワダチソウの根の乾燥粉末と同じ体積用意し、培地のうえにおき実験Ⅰと同様な手順で培地のカビの生え方を観察した。

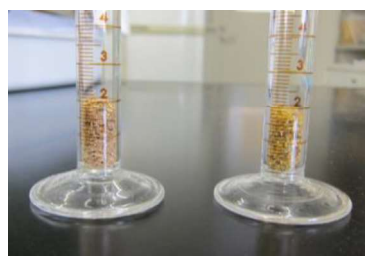


図 5 ガラスと根の体積をそろえる様子

<結果>

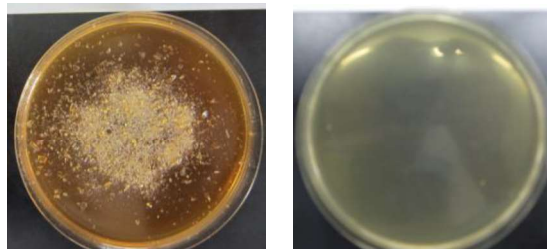


図 6 ガラスの粉末を撒いた培地とコントロール

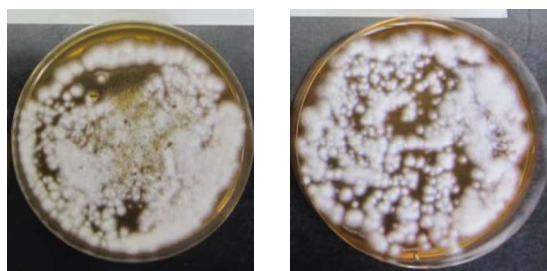


図 7 2日後のガラスの粉末を撒いた培地とコントロール

ガラスの上にもカビが生えているのが確認された。

<考察>

実験Ⅰのセイタカアワダチソウの根の上にはカビが生えなかったのに対してガラスの粉末の上にはカビが生えたことからセイタカアワダチソウの根は単にコウジカビの成長を物理的に邪魔しただけでなく、何らかの化学物質によってコウジカビの成長を阻害したことが分かった。

4 実験Ⅲ

<仮説>

セイタカアワダチソウのアレロケミカル作用によりコウジカビの成長が阻害される。

<方法>

先行研究によってcis-DMEを抽出できると分かっているヘキサン100mLにセイタカアワダチソウの根の粉末10gを加え、1週間置き、セイタカアワダチソウに含まれるアレロケミカルであるcis-DMEを抽出した。

その抽出液を、丸く切ったろ紙にしみこませ乾燥させたものを、コウジカビが塗布されたサブロー寒天培地に9つ置き観察した。またヘキサンが気化したことを確認するために、ヘキサンを染み込ませ乾燥させたろ紙を置いた培地をコントロールとして用意した。また何も置かない培地をもうひとつのコントロールとして用意した。

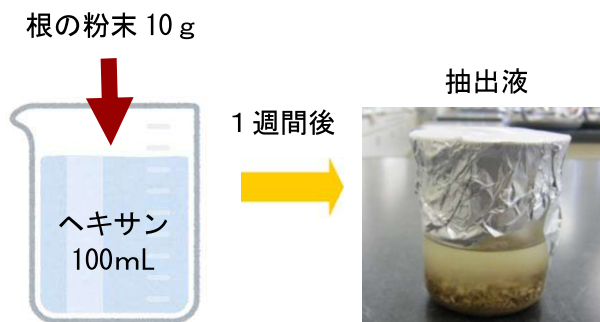


図8 抽出方法

<結果>

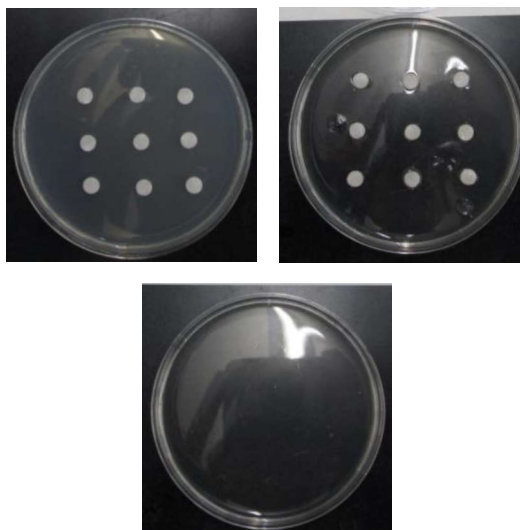


図9 抽出液を染み込ませたろ紙を置いた培地と2種類のコントロール



図10 2日後の抽出液を染み込ませたろ紙を置いた培地と2種類のコントロール

この実験では、ろ紙のまわりに阻害円があればcis-DMEがコウジカビの成長を阻害したといえる。3回同じ実験を行ったが全ての実験でカビが生え阻害円は確認できなかった。

<考察>

抗菌作用がある時にみられる阻害円がみられないことからcis-DMEは抗真菌活性を示さない。ここからcis-DMEではない根の中の別の物質がはたらいた可能性や、cis-DMEが別の物質

と組み合わせることで抗真菌活性をもつ可能性が考えられる。

5 結論

実験Ⅰ・Ⅱよりセイタカアワダチソウの根には抗カビ作用があることが確認された。しかし実験Ⅲよりセイタカアワダチソウのアレロケミカルであるcis-DMEには抗カビ作用がないことがわかった。

6 今後の展望

cis-DME以外の物質で抗カビ作用をもつ物質の有無、もしくはcis-DMEと組み合わせることで抗カビ作用をもつ物質の有無を調べたい。

7 参考文献

並木中等教育学校5年遠山大樹. cis-DMEの高純度結晶化とそのバイオアッセイ

https://www.jss.or.jp/fukyu/mentor/data/27_14_toyama_slide.pdf (参照2019-10-04)

辻久生, 谷由美, 上田博夫. セイタカアワダチソウの根茎に含まれる抗菌性物質について.

農化. 1977. 第51巻, 第10号, p609-615

マガキの殻を原料とする焼成パウダーの殺菌作用について

班員 久保田 一誠、酒井 悠乃、多賀 悠樹、水上 千鶴
担当教員 小林 広典

キーワード：マガキ、pH、カルシウムイオン、水酸化カルシウム

Many oyster shells are discarded in our town. However in our research, after heated the oyster shells have disinfection. So they can be effective used. We conclude that the causes of disinfection is the effect of alkalinity and calcium ion.

1 はじめに

七尾湾ではカキの養殖が盛んである。それに伴って毎年1,500 t ものカキ殻が廃棄される。その多くは利活用されことなく海岸に放置されているのを見て、有効に活用できないかと考えた。同様の主成分（炭酸カルシウム）を持つホタテでは、砕いて1,000℃で1時間焼成したもの（以降ホタテ焼成パウダー）に殺菌作用がみられることが分かっている。今研究では同様に焼成したカキ殻（カキ焼成パウダー）にも同様の殺菌作用があり、廃棄されるカキ殻を有効活用できることを示すことと、カキ焼成パウダーの殺菌作用の原因を解明することを目的に行った。

2 研究方法と結果

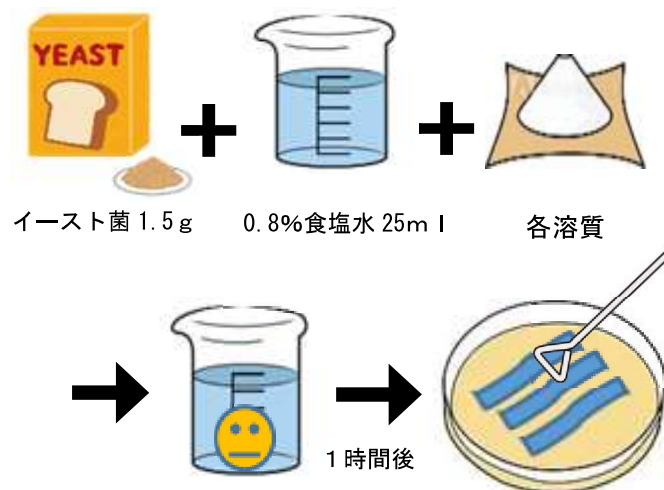
＜材料と方法＞

① 焼成パウダー

七尾市中島町で廃棄される予定の養殖カキの殻を用いた。これをハンマーで細かく砕き、粉末状にした。電気マッフル炉を用いて1,000℃で1時間焼成した。なおこのとき焼成パウダーの主成分は酸化カルシウムとなっている。

② 殺菌作用の有無

市販のイースト菌を用いて行った。以下の実験で使った各水溶液にイースト菌を1.5 g 入れ、1時間放置した。上澄みを取り出し、寒天培地（LB 培地）にコンラージ棒で播種した。30℃に保ったインキュベーターに入れ、7 日後のコロニーの様子を各実験で対象と比較し、判断した。



3 実験

実験 I 焼成パウダーの殺菌作用の有無

0.8%食塩水 25mL に焼成パウダーを 1 g 加えた。このとき、pH は 12.6 と強塩基性を示した。この水溶液と、焼成パウダーを加えない 0.8%食塩水 25mL を用い、上記②の方法で殺菌作用を見た。



<結果>

コントロールには全体にコロニーができ、大きなコロニーも見られたが、焼成パウダーを加えた場合では小さなコロニーがまばらにできた。焼成パウダーはコントロールと比べコロニーが少なかった（図1）。



コントロール

焼成パウダー

図1 焼成パウダー水溶液に入れた場合のイースト菌のコロニーの様子

<考察>

カキ殻の焼成パウダーに殺菌作用があることが分かった。焼成パウダーを加えた水溶液は強塩基性であった。そのため強塩基性水溶液であることが殺菌作用の原因ではないかと考えた。

実験Ⅱ 強塩基性水溶液と殺菌作用の関係

強塩基性の水溶液の殺菌作用を確かめるため、実験1の焼成パウダー水溶液と同pH、同体積の酸化カルシウム水溶液、水酸化ナトリウム水溶液を用意した。上記②の手順で実験を行い殺菌作用を見た。



<結果>

pHをそろえたにも関わらず、酸化カルシウムではコロニーがほとんど見られなかったが、水酸化ナトリウムではたくさんのコロニーが見られた。（図2）



酸化カルシウム

水酸化ナトリウム

図2 高pH水溶液に入れた場合のイースト菌のコロニーの様子

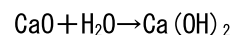
<考察>

pHをそろえたにもかかわらず、コロニーの様子に違いが見られたことから、強塩基性水溶液であることが殺菌作用の原因になっているとは言えない。

これまでの実験で殺菌作用が見られた水溶液にはカルシウムイオンが含まれる。よって、カルシウムイオンが殺菌作用の原因となっているのではないかと考えた。

実験Ⅲ カルシウムイオンと殺菌作用の関係

実験2で用いた酸化カルシウムと同じ物質量の炭酸カルシウムと塩化カルシウム、水酸化カルシウムを用意し、カルシウムイオンの量が等しい水溶液を3種作った。これらの殺菌作用を確認した。

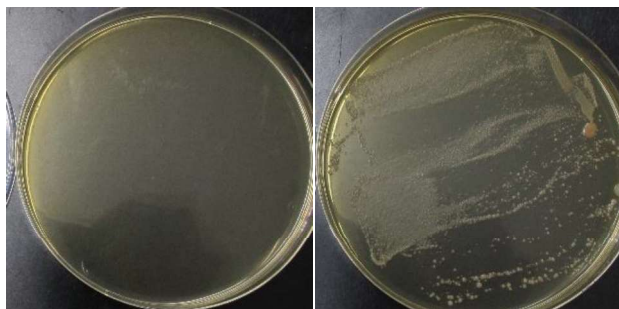


上記化学式は酸化カルシウムが水に溶けると水酸化カルシウムになることを表している。

実験 1 の焼成パウダーは溶け残りが出たため、完全とは言えないが水酸化カルシウムである。

<結果>

水溶液中のカルシウムイオンの数が等しくなっているにもかかわらず炭酸カルシウム、塩化カルシウムでは、全体に多くのコロニーが見られた。水酸化カルシウムではコロニーはほとんど見られなかった。(図3)



水酸化カルシウム

塩化カルシウム



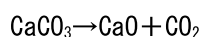
炭酸カルシウム

図 3 カルシウムイオンが存在する水溶液に入れた場合のイースト菌のコロニーの様子

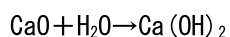
<考察>

コロニーの様子に違いがみられたことから、殺菌作用の原因はカルシウムイオンであるとは言えない。

カキ殻の主成分は炭酸カルシウムであり、焼成すると、酸化カルシウムになる。



さらに酸化カルシウムは水に溶解すると水酸化カルシウムとなる。



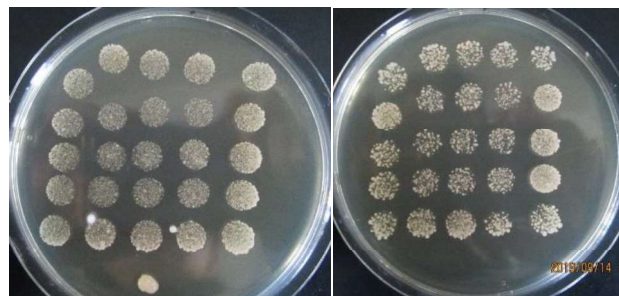
このことと実験1, 2, 3の結果から水酸化カルシウムに特有の殺菌作用があると考えた。

実験 4 酸化カルシウムの濃度と殺菌作用の関係

水酸化カルシウムは酸化カルシウムが水に溶解とできる物質であることと、焼成パウダーの主成分が酸化カルシウムであることをふまえ、酸化カルシウムを用いた。25mL の溶液に酸化カルシウムをモル濃度が 0.015mol/L, 0.010mol/L, 0.005mol/L となるように加え、殺菌作用を確認した。ただし、寒天培地には溶液をマイクロピペットで 3μL ずつ滴下した。

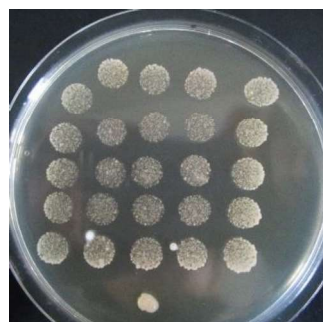
<結果>

酸化カルシウムの濃度の上昇に伴い、1 滴あたりに形成されるコロニーの数は少なくなった (図 4) (図 5)。



0.015mol/L

0.010mol/L



0.005mol/L

図 4 酸化カルシウムの濃度を変化させた水溶液に入れた場合のイースト菌のコロニーの様子

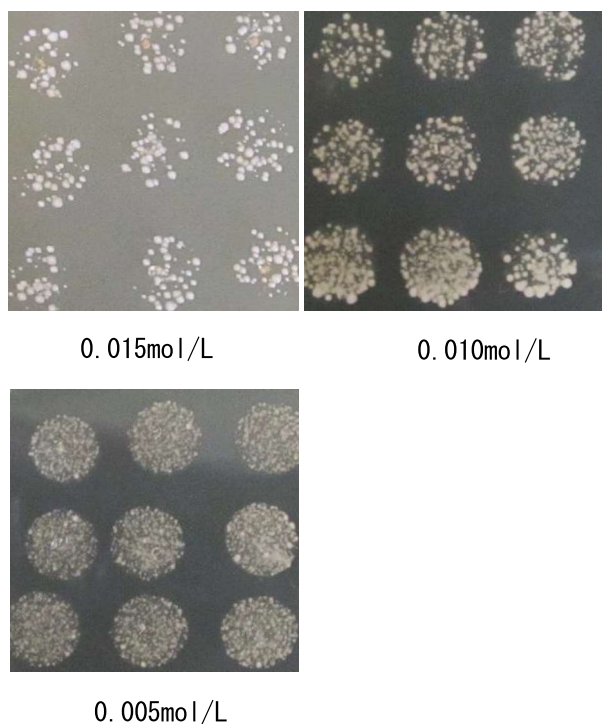


図5 酸化カルシウムの濃度を変化させた水溶液に入れた場合のイースト菌のコロニーの様子（拡大）

<考察>

酸化カルシウムの濃度が上昇するにつれて、1滴当たりのコロニーの数が少なくなった。このことから酸化カルシウムの濃度上昇に伴い殺菌作用も強くなることが分かった。

さらに、水酸化カルシウムに特有の殺菌作用があることが考えられる。

4 結論

実験1から焼成パウダーには殺菌作用があると分かった。ホタテと同様に、廃棄されるカキ殻を有効に活用できる。

その原因として強塩基性であること、カルシウムイオンが存在することが考えられたが、それぞれが独立して殺菌作用を持つとは言えなかった。

実験4からは殺菌作用の原因が水酸化カルシウムであることが示唆された。

5 今後の展望

殺菌作用の原因が高 pH 条件下におけるカルシウムイオンの働きではないかという仮説を立てて実験していく。

さらに実用化に向け、イースト菌以外の菌でも実験を行う。また、実際の環境条件下で実験し、焼成パウダーの有用性を示していく。

6 参考文献

長澤 博司, 上条 克司, 風見 ふたば, 鈴木 喬. 石灰系化合物の殺菌特性. Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan. 2002. 9 巻, 301 号, p492-497.

澤井 淳, 五十嵐 英夫, 菊池 幹夫, 加熱処理した貝殻粉末の抗菌活性を応用した微生物制御. 日本食品微生物学会雑誌. 2003. 20 巻, 1 号, p1-7.